ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МАРЧУКОВСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2018

Тезисы

Международной конференции
"Вычислительная математика и математическая геофизика"
посвященной 90-летию со дня рождения
академика А. С. Алексеева

8-12 октября 2018 г.
Академгородок, Новосибирск, Россия

УДК 519.6
ББК 22.19

Тезисы Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Новосибирск. 8–12 октября 2018 г. Новосибирск: Академиздат, 2018. 120 стр.

ISBN 978-5-6041788-3-6

Целью Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева, является привлечение специалистов по численному анализу, прикладной математике и вычислительным технологиям к обсуждению актуальных вопросов математики и математического моделирования, а также вопросов практического применения современных численных методов. Основные темы конференции: методы решения дифференциальных уравнений, задач вычислительной алгебры и аппроксимации; методы Монте-Карло и численное статистическое моделирование; математическое моделирование задач физики атмосферы и океана и задач охраны окружающей среды; вычислительные задачи геофизики; моделирование систем информатики и параллельные супервычисления; активная сейсмология, геоинформатика и дистанционное зондирование; обратные задачи в геофизике; высокопроизводительные вычисления в науках о Земле.

Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-01-20086 Г)
и Новосибирского государственного университета

При поддержке

Новосибирского государственного университета
Регионального математического центра НГУ
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирского отделения Российской академии наук
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
Правительства Новосибирской области
Мэрии города Новосибирска
Института вычислительной математики РАН
Института вычислительного моделирования СО РАН
Института вычислительных технологий СО РАН
Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН
Института систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

Информационная поддержка
Пресс-служба СО РАН

Сайт конференции: http://conf.nsc.ru/msr18

ISBN 978-5-6041788-3-6

© Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2018

Международная конференция "Марчуковские научные чтения" 2018 г. посвящена 90-летию со дня рождения академика Анатолия Семеновича Алексеева – ученого с мировым именем, выдающегося специалиста в области теоретической и вычислительной геофизики, математического моделирования геофизических явлений и геоинформатики. Деятельность А. С. Алексеева в мировой науке и практике охватывает разработку и широкое внедрение математических методов решения фундаментальных научных проблем планетарного масштаба, в том числе исследование механизмов и прогнозирование землетрясений и цунами, изучение последствий падения на Землю крупных небесных тел (астероидов, метеоритов, обломков комет и др.).

Анатолий Семенович обладал умением создавать доброжелательную и плодотворную атмосферу проведения научных исследований. Организаторский талант, высокий интеллект, знания Анатолия Семеновича часто помогали коллегам и ученикам в работе.

В 1963 г. Г. И. Марчук пригласил Анатолия Семеновича на работу в Вычислительный центр (ныне Институт вычислительной математики и математической геофизики) Сибирского отделения РАН. После отъезда Гурия Ивановича в Москву в 1980 г. А. С. Алексеев возглавлял институт в течение 20 лет (1980–1999 гг.), включая самое трудное для отечественной науки десятилетие.

Необходимо отметить, что после защиты кандидатской диссертации в 1955 г. Анатолий Семенович совместно с коллегами принял участие в создании лучевого метода расчета волновых полей. За эту работу коллектив ученых в 1982 г. был удостоен Государственной премии СССР.

А. С. Алексеев руководил группой сотрудников, занимавшихся разработкой численных методов решения прямых и обратных задач геофизики и применением результатов в сейсмологии и сейсморазведке. Анатолий Семенович был прекрасным лектором, и основу группы составили его ученики с механико-математического и геолого-геофизического факультетов Новосибирского государственного университета. Можно считать, что именно тогда возникла его школа.

Работы над актуальными проблемами сейсмологии и изучение глубинного строения Земли убедили А. С. Алексеева в необходимости постановки и решения нового класса задач математической физики – обратных задач геофизики. В 1962 г. вышла его первая работа по обратным динамическим задачам сейсмики, в которой была изложена новая концепция математического моделирования в геофизике. В качестве необходимых элементов технологии исследования предлагались прямые задачи (анализ) и обратные задачи (синтез-построение среды с заданными волновыми проявлениями). К этой идее естественным образом добавилось использование численных методов решения задач на ЭВМ. Анатолием Семеновичем совместно с учениками были развиты численные методы решения таких задач, а также численно-аналитические методы решения прямых динамических задач сейсмики. Их исследования привели к созданию замкнутого цикла математического моделирования волновых полей для сложно построенных моделей сред и выдвинули сибирскую школу теоретической геофизики на передовые позиции в мировой науке. А. С. Алексеевым в сотрудничестве с его учеником, будущим академиком Б. Г. Михайленко и канадским геофизиком Г. Роном были открыты новые типы "нелучевых" волн, которые могут учитываться при интерпретации сейсмических данных. Эти волны в 1991 г. были зарегистрированы в качестве Открытия № 402 в Государственном реестре открытий СССР.

Под руководством Анатолия Семеновича и его учеников были разработаны методы и алгоритмы математического моделирования волн цунами, выполнен широкий круг вычислительных экспериментов, позволивших установить новые связи между типом землетрясения и его цунами-опасностью.

С конца 1970-х годов начали разрабатываться научные основы нового метода изучения глубинного строения Земли с высоким разрешением, связанного с зондированием среды регулярными колебаниями, возбуждаемыми мощными низкочастотными вибраторами. Были получены принципиально новые результаты, способствовавшие становлению новых вибрационных геотехнологий, направленных на изучение сложно построенных структур земной коры и верхней мантии Сибири, повышение нефтеотдачи пластов и др.

В 1978 г. по инициативе А. С. Алексеева были организованы первые в СССР 3D сейсмические наблюдения. В результате был получен первый опыт 3D сейсмической съемки. Сейсмическая голография послужила прообразом 3D миграции – необходимого элемента сейсмической обработки данных в настоящее время.

За разработку А. С. Алексеевым концепции национальной программы защиты Земли от астероидной опасности на основе конверсии ракетного вооружения Международный Астрономический Союз в 2001 г. присвоил малой планете № 9933 имя "Алексеев".

В последние годы А. С. Алексеев разрабатывал основы многодисциплинарных методов математического моделирования объектов и явлений в науках о Земле, на базе которых совместно с китайскими сейсмологами создана многодисциплинарная модель оценки интегрального предвестника землетрясений, используемая для разработки физико-математической концепции прогноза землетрясений.

А. С. Алексеев был награжден орденами Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени, "Знак Почета", "Кирилла и Мефодия" II-й степени, медалями "За доблестный труд", "За заслуги перед Отечеством" II-й степени, "Заслуженный создатель космической техники".

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели программного комитета:

акад. РАН В. П. Дымников (ИВМ РАН, Москва), акад. РАН А. Н. Коновалов (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск), акад. РАН Е. Е. Тыртышников (ИВМ РАН, Москва), акад. РАН Б. Н. Четверушкин (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, Москва), чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, чл.-корр. РАН Г. А. Михайлов (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск).

Секретарь д.ф.-м.н. А. Г. Фатьянов (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск)

Члены программного комитета

С. В. Алексеенко	Новосибирск, Россия	В. Э. Малышкин	Новосибирск, Россия
А. И. Аптекарев	Москва, Россия	Г. Н. Малышкин	Снежинск, Россия
В. А. Бабешко	Ростов-на-Дону, Россия	М. А. Марченко	Новосибирск, Россия
М. А. Бектемесов	Алматы, Казахстан	Ал. Г. Марчук	Новосибирск, Россия
В. И. Бердышев	Екатеринбург, Россия	С. Б. Медведев	Новосибирск, Россия
В. Б. Бетелин	Москва, Россия	Е. И. Моисеев	Москва, Россия
Г. А. Бочаров	Москва, Россия	Г. М. Мутанов	Алматы, Казахстан
И. В. Бычков	Иркутск, Россия	А. В. Николаев	Москва, Россия
Ю. В. Василевский	Москва, Россия	В. В. Пененко	Новосибирск, Россия
В. И. Васильев	Якутск, Россия	Г. А. Платов	Новосибирск, Россия
В. В. Васин	Екатеринбург, Россия	В. П. Пяткин	Новосибирск, Россия
В. В. Воеводин	Москва, Россия	А. С. Родионов	Новосибирск, Россия
А. Ф. Воеводин	Новосибирск, Россия	В. Г. Романов	Новосибирск, Россия
Ю. С. Волков	Новосибирск, Россия	А. А. Романюха	Москва, Россия
В. А. Вшивков	Новосибирск, Россия	К. В. Рудаков	Москва, Россия
В. А. Галкин	Сургут, Россия	К. К. Сабельфельд	Новосибирск, Россия
Б. М. Глинский	Новосибирск, Россия	В. А. Садовничий	Москва, Россия
С. К. Годунов	Новосибирск, Россия	В. М. Свешников	Новосибирск, Россия
С. В. Головин	Новосибирск, Россия	А. Л. Скубачевский	Москва, Россия
С. К. Голушко	Новосибирск, Россия	С. И. Смагин	Хабаровск, Россия
С. С. Гончаров	Новосибирск, Россия	А. Л. Собисевич	Москва, Россия
М. А. Гузев	Владивосток, Россия	Л. Б. Соколинский	Челябинск, Россия
Г. В. Демиденко	Новосибирск, Россия	А. В. Тихонравов	Москва, Россия
Ю. Г. Евтушенко	Москва, Россия	М. П. Федорук	Новосибирск, Россия
И. Н. Ельцов	Новосибирск, Россия	А. М. Федотов	Новосибирск, Россия
С. М. Ермаков	Санкт-Петербург, Россия	В. М. Фомин	Новосибирск, Россия
Ю. Л. Ершов	Новосибирск, Россия	А. И. Хисамутдинов	Новосибирск, Россия
Ю. И. Журавлев	Москва, Россия	Р. М. Шагалиев	Саров, Россия
В. П. Ильин	Новосибирск, Россия	В. В. Шайдуров	Красноярск, Россия
Р. И. Илькаев	Саров, Россия	Ю. И. Шокин	Новосибирск, Россия
М. Н. Калимолдаев	Алматы, Казахстан	М. И. Эпов	Новосибирск, Россия
Т. Ш. Кальменов	Алматы, Казахстан	А. Г. Ягола	Москва, Россия
Б. А. Каргин	Новосибирск, Россия	G. Bao	Hangzhou, China
А. В. Кельманов	Новосибирск, Россия	J. Cheng	Shanghai, China
Г. М. Кобельков	Москва, Россия	J. Dongarra	Knoxville, USA
В. В. Ковалевский	Новосибирск, Россия	R. Glowinski	Houston, USA
В. М. Ковеня	Новосибирск, Россия	D. N. Hao	Hanoi, Vietnam
В. В. Козлов	Москва, Россия	A. Hasanov	Izmir, Turkey
Н. А. Колчанов	Новосибирск, Россия	R. Lazarov	CollegeStation, USA
В. Н. Крупчатников	Новосибирск, Россия	J. Liu	Nanjing, China
М. М. Лаврентьев	Новосибирск, Россия	T. Liu	Beijing, China
Ю. М. Лаевский	Новосибирск, Россия	M. Pagano	Pisa, Italy
Г. Г. Лазарева	Новосибирск, Россия	S. Zhang	Tianjin, China
Б. Ю. Лемешко	Новосибирск, Россия	J. Sundermann	Hamburg, Germany
В. Н. Лыкосов	Москва, Россия	O.B. Widlund	New-York, USA

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель организационного комитета чл.-корр РАН С. И. Кабанихин (ИВМиМГ СО РАН)

Заместители: д.т.н. В. В. Ковалевский (ИВМиМГ СО РАН), проф. Ю. М. Лаевский (ИВМиМГ СО РАН)

Секретарь организационного комитета: к.ф.-м.н. И. В. Суродина

Члены организационного комитета (ИВМиМГ): д.ф.-м.н. А. Г. Фатьянов, к.ф.-м.н. М. А. Боронина, Л. П. Брагинская, д.ф.-м.н. Е. Н. Голубева, к.ф.-м.н. Л. В. Вшивкова, к.т.н. Г. М. Воскобойникова, А. А. Ефимова, О. Г. Заварзина, И. Н. Иванова, д.ф.-м.н. Х. Х. Имомназаров, к.ф.-м.н. Е. Г. Каблукова, к.ф.-м.н. А. Е. Киреева, С. Н. Косова, М. В. Крайнева, д.ф.-м.н М. А. Марченко, к.ф.-м.н В. Н. Мартынов, к.ф.-м.н. И. Н. Медведев, Н. Ю. Подойникова, Д. В. Перевозкин, А. В. Петухов, к.ф.-м.н. Э. А. Пьянова, д.ф.-м.н. Г. В. Решетова, к.т.н. Е. В. Русин, к.т.н. О. Д. Соколова, К. В. Ткачёв, А. Г. Усов, Е. В. Чимаева, Л. П. Шерстюгина, М. С. Юдин, к.ф.-м.н. А. Н. Юргенсон

Члены организационного комитета (ИНГГ СО РАН): проф. В.Н. Глинских, д.ф.-м.н. Чеверда В.А., к.ф.-м.н. Лисица

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

Фейеровские процессы в обратных задачах

В. В. Васин
Уральский федеральный университет
Институт математики и механики УрО РАН
E-mail: vasin@imm.uran.ru

Итерационные процессы с оператором шага, для которого выполнено свойство фейеровости [1], представляют удобный аппарат для приближенного решения нерегулярных операторных уравнений, выступающих в качестве математических моделей нелинейных некорректно поставленных задач. Это обусловлено тем, что класс фейеровских операторов замкнут относительно произведения и выпуклой суммы, что позволяет строить всевозможные гибридные методы с тем же свойством, генерировать оператор шага из базовых фейеровских отображений и гибко учитывать дополнительные априорные ограничения на решение [2]. Кроме того, отсутствие единственности решения и разрешимости задачи не является препятствием для использования фейеровских процессов [1]. В работе, в рамках двухэтапного метода исследуются модифицированные схемы ньютоновского и градиентного типов, порождающие фейеровские аппроксимации решений некорректных обратных задач. Обсуждаются приложения итерационных методов к решению обратных задач термического зондирования атмосферы по определению вертикальных профилей концентраций парниковых газов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00024).

Список литературы

1. Васин В. В., Еремин И. И. Операторы и итерационные процессы фейеровского типа. Теория и приложения. Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2005.
2. Васин В.В., Агеев А. Л. Некорректные задачи с априорной информацией. Екатеринбург: "Наука", 1993.

Об интегрированном вычислительном окружении для методов оптимизации решения обратных задач

В. П. Ильин
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: Ilin@sscc.ru

Рассматривается концепция архитектуры, структуры данных, технические требования и особенности основных компонент интегрированного вычислительного окружения нового поколения для высокопроизводительных методов и технологий решения междисциплинарных многомерных обратных задач математического моделирования на суперЭВМ. Реализуемые формулировки описываются параметризованными начально-краевыми задачами для систем дифференциальных и/или интегральных уравнений с реальными данными, включающими сложные разномасштабные конфигурации кусочно-гладких многосвязных границ и контрастные материальные свойства сред в различных подобластях. Искомое решение определяется из условий минимума целевого функционала при заданных линейных и/или функциональных ограничениях на неизвестные параметры. Итерационные алгоритмы сводятся к многократному решению прямых задач, формально представляющих собой уравнения состояния для исходной проблемы. Применяемые современные методы условной минимизации включают модифицированные алгоритмы множителей Лагранжа, внутренних точек, последовательного квадратичного программирования и доверительных интервалов. Для особо ресурсоемких постановок используются методы суррогатной оптимизации со специальными аппроксимационными подходами на основе радиальных базисных функций.

Решение прямых задач выполняется с помощью аппроксимационных методов конечных объемов и разрывных алгоритмов Галеркина различных порядков точности на неструктурированных

сетках, а также параллельных итерационных алгоритмов декомпозиции областей в подпространствах Крылова. Высокая производительность алгоритмов обеспечивается средствами гибридного программирования с использованием систем MPI и многопотоковых технологий на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной и иерархической общей памятью, а также путем векторизации операций. Интегрированность разрабатываемого математического и программного обеспечения достигается с помощью системной поддержки таких технических характеристик, таких как гибкое расширение состава моделей и алгоритмов, адаптация к эволюции компонентных платформ, переиспользование эффективных внешних продуктов, согласованное участие различных групп разработчиков, а также дружественные интеллектуальные интерфейсы для конечных пользователей с различной профессиональной подготовкой. Реализуемая концепция ИВО ориентирована на длительный жизненный цикл и широкую востребованность для получения новых фундаментальных знаний, а также для глубокого изучения и оптимизации процессов и явлений из различных сфер деятельности.

Математические основы цифрового месторождения

С. И. Кабанихин[1,2,3], М. А. Шишленин[1,2,3]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
[3]Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН
E-mail: kabanikhin@sscc.ru, mshishlenin@ngs.ru

"Цифровое месторождение" – обобщающий термин, который описывает все виды деятельности в ходе технологического процесса [1,2]. Цифровое месторождение – объединение и развитие технологий разведки, бурения, разработки, эксплуатации, цифрового управления процессами и производствами добычи нефти и газа в сочетании со стандартизированными современными коммуникационными технологиями, а также поддержка при принятии решений. В том числе будут представлены алгоритмы повышения производительности и мониторинга скважин в реальном времени, увеличение отдачи пласта резервуара, определение пластовых параметров по измерению давления внутри скважин стандартными датчиками, а также экономические модели ввода новых и эксплуатации действующих месторождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-01-00865, 17-51-540004, 16-29-15120, 16-01-00755), МОН РК грант № AP05134121.

Список литературы

1. Kamal, S. Z., Williams, J., Liddle, J. Continuous Improvement of Assets Through Existing and New Digital Oilfield Technology // Society of Petroleum Engineers. 2014. SPE-167908-MS.
2. Feineman, D. R. Assessing the Maturity of Digital Oilfield Developments // Society of Petroleum Engineers. 2014. SPE-167832-MS.

Экономичные разностные схемы для вычисления векторных потоков

Ю. М. Лаевский
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: laev@labchem.sscc.ru

В докладе представлен краткий обзор исследований, выполненных автором совместно с В.В. Ворониным в 2012–2017 годах по конструированию экономичных разностных схем решения нестационарных краевых задач, представленных в виде системы законов сохранения. Основной идеей предлагаемого подхода является восстановление схемы для векторного потока по заданной схеме расщепления (схеме-прообразу) вычисления сеточной дивергенции потока. В качестве схем-прообразов могут рассматриваться такие хорошо известные схемы, как классическая схема переменных направлений для двумерных задач и различные ее модификации, в том числе и обобщения на трехмерный случай, локально-одномерные схемы, схемы типа предиктор-корректор и пр. В докладе представлены «полезные» априорные оценки, благодаря которым сконструированы схемы для задач с негладкими решениями.

Список литературы

1. К.В. Воронин, Ю.М. Лаевский. Об одном подходе к построению потоковых схем расщепления в смешанном методе конечных элементов // Математическое моделирование, 2014, т.26, №12, 33-47.
2. Voronin K., Laevsky Y. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed finite element method for parabolic problems // Journal of Numerical Mathematics, 2017, v.25, №1, p.17-34.
3. Voronin K., Laevsky Yu.M. A flux predictor-corrector scheme for solving 3D heat transfer problem // Numerical Analysis and Applications, 2017, v.10, Is.4, p.287-298.

Байесовские методы обработки больших данных с использованием суперкомпьютерного гетерогенного вычислительного комплекса высокой плотности PetaCube

М. А. Марченко, А. В. Новиков
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: marchenko@sscc.ru; allex.novikov@sscc.ru

Для усвоения и анализа больших данных применяются методы искусственного интеллекта, машинного обучения, активно используются нейронные сети. Основой для реализации упомянутых технологий служат методы байесовского вывода. Байесовский подход также эффективно применяется в различных областях исследований при решении обратных задач с усвоением больших данных.

Для численного статистического моделирования выборочных значений случайных векторов в соответствии с плотностью апостериорного распределения параметров модели необходимо применять вычислительно эффективные алгоритмы. Широко используемый метод Метрополиса – Хастингса обладает большой вычислительной трудоемкостью и его применение при обработке больших данных нецелесообразно. Поэтому предлагаются новые подходы, обладающие существенно меньшей трудоемкостью, основанные на моделировании траекторий специального случайного процесса с целью получения выборочных значений в соответствии с плотностью апостериорного распределения параметров.

Для реализации алгоритмов численного статистического моделирования при использовании байесовского подхода необходимо использовать массивно-параллельные вычисления на суперкомпьютерной технике. С этой целью предлагается использовать библиотеку PARMONC, разработанную ранее одним из авторов доклада.

Для хранения больших данных и реализации алгоритмов их обработки предлагается использовать универсальный суперкомпьютерный гетерогенный вычислительный комплекс высокой плотности PetaCube. Комплекс использует комплектующие от ведущих производителей: AMD, Intel, NVIDIA. Вычислительный комплекс PetaCube поддерживает масштабируемость и позволяет создать систему с суммарной производительностью и объемом накопителей вплоть до экзауровня, его использование позволяет эффективно решать разнообразные задачи обработки больших данных с помощью байесовского подхода и методов численного статистического моделирования, реализовывать методы искусственного интеллекта и машинного обучения.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (коды проектов 18-01-00599, 18-41-540017, 16-01-00755, 16-01-00530).

Рандомизированные алгоритмы метода Монте-Карло для решения задач со случайными параметрами

Г. А. Михайлов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: gam@sscc.ru

Рандомизированные алгоритмы метода Монте-Карло строятся путем совместной реализации базовой вероятностной модели задачи и ее случайных параметров с целью исследования параметрического распределения линейных функционалов. В докладе представлена оптимизация таких алгоритмов, причем для оценки плотности распределения используется статистическая ядерная оценка. Формулируется также рандомизированный проекционный алгоритм для оценки распределения нелинейного функционала с приложением к решению задачи исследования флуктуаций критичности процесса размножения частиц в случайной среде. Представлены реалистические вычислительные модели экспоненциально коррелированных неотрицательных однородных изотропных случайных

полей плотности среды, реализации которых практически близки к непрерывным, а одномерные распределения – к гауссовским. Реалистичность предложенных моделей подтверждена визуализацией вычисленного на этой основе поля освещенности для проходящего через среду излучения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002) при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 16-01-00530, 17-01-00823, 18-01-00356 (в части, связанной с нелинейными функционалами).

Численные алгоритмы решения обратных задач и задач усвоения данных на основе систем прямых и сопряженных уравнений

А. В. Пененко
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: aleks@ommgp.sscc.ru

Представлены результаты разработки системы усвоения данных мониторинга и идентификации источников загрязнений для модели адвекции-диффузии-реакции атмосферных примесей. Задача усвоения данных решается как последовательность связанных обратных задач. Вычислительная система основана на использовании вариационного подхода и схемы расщепления [1]. Кроме оптимизационного подхода к решению обратных задач в работе изучается подход на основе решения квазилинейных операторных уравнений с использованием операторов чувствительности [2]. Эти операторы строятся из ансамбля независимых решений системы сопряжённых уравнений модели. Приводятся примеры приложений.

Работа выполнена при поддержке РНФ по проекту 17-71-10184 (в части разработки алгоритмов на основе ансамблей сопряженных уравнений с данными типа изображений). Приложение к условиям города Новосибирска выполнено при поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (проект 17-41-543309).

Список литературы:

1. Пененко, А.; Мукатова, Ж.; Пененко, В.; Гочаков, А. & Антохин, П. Численное исследование прямого вариационного алгоритма усвоения данных в городских условиях // Оптика атмосферы и океана, 2018, 31, 456–462.
2. Пененко А.В. Метод Ньютона-Канторовича для решения обратных задач идентификации источников в моделях продукции-деструкции с данными типа временных рядов // СибЖВМ (в печати)

Прямые и обратные задачи гидротермодинамики и химии атмосферы

В. В. Пененко
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: penenko@sscc.ru

Цель исследований - разработка методов и технологий моделирования для решения прямых и обратных задач охраны окружающей среды с оценкой перспектив и рисков при различных вариантах природных и техногенных воздействий. Конкретно обсуждаются задачи по тематике "Экология городов и регионов Сибири".

Для решения таких задач используются методы математического моделирования процессов геофизической гидротермодинамики и химии в системе Земля с усвоением доступных данных мониторинга. Теоретической основой, объединяющей модели и данные, являются вариационные принципы со слабыми ограничениями. Они обеспечивают согласованный учет разномасштабных процессов в единой системе и оценки неопределенностей в моделях по отношению к усваиваемым данным. В результате получается так называемая "бесшовная" технология моделирования. Построение численных моделей для ее реализации осуществляется на основе вариационной концепции сопряженных интегрирующих множителей в структуре методов расщепления и декомпозиции с применением технологии конечных элементов/объемов.

Работа выполняется в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 00315-2016-004, при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137).

Исследование тенденций климата Арктики в условиях глобального потепления

Г. А. Платов, Е. Н. Голубева, В. Н. Крупчатников, В. В. Малахова
E-mail: platov.g@gmail.com

Проблема исследования климата Земли находится в центре внимания на протяжении нескольких десятилетий и в последнее время стала особенно острой в связи с так называемым "глобальным потеплением". Рост температуры воздуха в среднем на 0.74 градуса в течение прошлого столетия примерно на две трети состоит из прироста за период 1980-2000 г. Изменение температуры на столь незначительную величину, которую можно и не ощутить, вызывает ряд более существенных последствий в климатической системе. Одним из наиболее ярких проявлений "глобального потепления" является стремительное сокращение ледяной массы Земли, как горных и континентальных ледников, так и плавучего льда. Тот факт, что значительная часть Арктики в результате сезонных колебаний летом полностью освобождается ото льда, требует всестороннего изучения для понимания новых условий взаимодействия атмосферы и океана в условиях полярных широт.

Вычислительные проблемы анализа и оптимизации ненадежных структур

А. С. Родионов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики
E-mail: alrod@sscc.ru

В докладе рассматриваются проблемы разработки эффективных алгоритмов вычисления некоторых характеристик связности сетей с ненадежными элементами, моделируемых случайными графами, гиперграфами и гиперсетями. Прежде всего это вероятность связности заданного подмножества S узлов ($R(G,S)$), средняя вероятность связности пары узлов ($\boldsymbol{R}(G)$) и ожидаемый размер связной подсети, содержащей выделенный узел x ($\boldsymbol{C}(G)$). В силу доказанной NP-трудности многих из рассматриваемых задач и подзадач [1], особенно важным представляется разработка точных алгоритмов, позволяющих рассчитывать значения показателей для структур возможно большей размерности, тем самым получая эталонные значения для оценки качества приближенных и эвристических алгоритмов. Основные приемы повышения эффективности алгоритмов заключаются в использовании различных способов редукции и декомпозиции, а также в их параллельной реализации.

Второй класс решаемых задач составляют задачи получения так называемых полиномов надежности, т. е. полиномиальных выражений для рассматриваемых показателей в случае равно надежных элементов сети. Существенного повышения эффективности вычисления коэффициентов этих полиномов можно достичь использованием возможности получения некоторых из них по их смысловому значению для одного из возможных представлений полинома [2].

Третий класс задач связан со структурной оптимизацией, т. е. подбором структур, которые в рамках стоимостных ограничений обеспечивают допустимые значения этих показателей. Предлагается использование эволюционных алгоритмов, прежде всего генетических, модифицированных применением кумулятивных оценок в определении пригодности решений [3]. Впервые представляются результаты по построению улучшенных кумулятивных оценок для $\boldsymbol{R}(G)$ и $\boldsymbol{C}(G)$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00775) и Проекта 0315-2016-0006 ФАНО РФ.

Список литературы

1. Bodlaender, H.L., Bodlaender, H.L., Wolle, T., Wolle, T.: A note on the complexity of network reliability problems // IEEE Trans. Inf. Theory 47, P. 1971-1988 (2004).

2. Rodionov A., Rodionova O. Reliability Polynomials: Obtaining and Usage // Mathematical models and computational methods, 2nd Edition. Proc. of the Int. Conf. Applied Mathematics, Computational Science & Engineering, Crete, Greece, October 17-19, 2015. ISSN: 2227-4588, ISBN: 978-1-61804-350-4 P. 226-229

3. Migov, Denis A.; Nechunaeva, Kseniya A.; Nesterov, Sergei N.; Rodionov, Alexey S. Cumulative Updating of Network Reliability with Diameter Constraint and Network Topology Optimization // LNCS, Vol: 9786, P. 141-152 (2016).

Inverse phaseless problems that use the vawe interference

V. G. Romanov
Sobolev Institute of Mathematics SB RAS
E-mail: romanov@math.nsc.ru

We consider the inverse problems for differential equations with complex-valued solutions in which the modulus of a solution to the direct problem on some special sets is a given information in order to determine coeffcients of this equation; the phase of this solution is assumed unknown. Earlier, in similar problems the modulus of the part of a solution that corresponds to the field scattered on inhomogeneities in a wide range of frequencies was assumed given. But this is physically much more diffcult to measure the modulus of a scattered field than that of the full field. In this connection the question arises how to state inverse problems with the full-field measurements as an information. The present talk is devoted to the study of this question. We propose to take two plane waves moving in opposite directions as an initiating field and to measure the modulus of a full-field solution relating to interference of the incident waves. We consider also the problems of recovering the potential for the Schrodinger equation and the permittivity coeffcient of the Maxwell system of equations corresponding to time-periodic electromagnetic oscillations. For these problems we establish uniqueness theorems for solutions. The problems are reduced to solving some well-known problems.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant 17–01–00120).

Алгоритмы стохастического моделирования для уравнений дрифта-диффузии и визуализации наноструктурированных материалов

К. К. Сабельфельд
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: karl@osmf.sscc.ru

В докладе представлены новые результаты автора в области стохастического моделирования стационарных и нестационарных процессов дрифта-диффузии-реакций и их приложений в задачах оптоэлектроники, визуализации наноразмерных материалов, оценки квантовой эффективности светодиодов и сенсоров, и ряд других приложений [1-3]. Разработанные методы являются бессеточными как по пространству, так и по времени. Другой важной особенностью методов является возможность прямого вычисления различных интегральных функционалов без вычисления самого поля решений. В частности, в задачах катодолюминесценции и при вычислении тока, индуцированного электронным пучком, непосредственно вычисляются потоки экситонов на поверхность полупроводника и общая концентрация экситонов с радиационной рекомбинацией. Предложенный метод стохастического моделирования распространен и на системы уравнений дрифта-диффузии, описывающих рекомбинацию экситонов различной природы. Важной особенностью предложенного метода является точное моделирование траекторий, при этом нет разделения процессов диффузии и дрифта. Возможности метода иллюстрируются решением ряда прикладных задач оптоэлектроники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00083).

Список литературы

1. K.K. Sabelfeld, Application of the von Mises–Fisher distribution to Random Walk on Spheres method for solving high-dimensional diffusion–advection–reaction equations, Statistics and Probability Let. 138 (2018), 137-142.

2. V. Kaganer, K. Sabelfeld, O. Brandt. Piezoelectric field, exciton lifetime, and cathodoluminescence intensity at threading dislocations in GaN0001. Applied physics letters. v. 112 (2018), issue 12, 122101.

3. K. Sabelfeld and A. Kireeva. Probability distribution of the life time of a drift-diffusion-reaction process inside a sphere and disc with applications in transient CL simulations. Monte Carlo Meth. and Appl., 24 (2018), iss. 2.

Аналитические методы в задачах сейсмики

А. Г. Фатьянов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: fat@nmsf.sscc.ru

В работе приведен аналитический метод моделирования сейсмических волновых полей для широкого круга сейсмических сред (включая упругие, неупругие, анизотропные, анизотропно-неупругие, пористые, трещиноватые, случайно-неоднородные и т.д). Сконструирована неотражающая граница для аналитического метода моделирования, позволяющая проводить расчеты на сверхдальние расстояния.

На основе созданных программных модулей проведено моделирование волновых полей. Объяснен эффект возрастания кратных волн и явление монотонного смещения резонанса в область более низких частот с увеличением расстояния регистрации, обнаруженное при экспериментальных работах с вибратором.

Получено устойчивое аналитическое решение для волновых полей в шаре планетарных размеров. Обнаружено физическое явление: возникновение волн – предшественников впереди первого вступления PKP волн в рамках сферической классической модели Земли AK135. В настоящее время общепринято, что без введения в нижней мантии рассеивателей (и тем самым усложнения сферической модели) описать появление предшественников на реальных данных нельзя. Результаты данной работы говорят о более простом строении Земли, чем считается в настоящее время.

Stable reconstruction of the initial condition in parabolic equations

Hào Dinh Nho
Hanoi Institute of Mathematics Vietnam Academy of Science and Technology
E-mail: hao@math.ac.vn

The problem of reconstructing the initial condition in parabolic equations from final time, or boundary or interior observations is discussed. This problem is frequently arising in practice, but unfortunately, is severely ill-posed in the sense that a small perturbation in the observations may course arbitrarily large errors in the solution. We present some stability estimates for this problem and propose variational methods for solving it in a stable way. Several numerical examples are presented for showing the effciency of the approach.

This work has been completed in collaboration with Nguyen Thi Ngoc Oanh (Thai Nguyen University), Phan Xuan Thanh (Hanoi University of Technology and Science), Nguyen Van Duc (University of Vinh).

Трехмерные обратные задачи восстановления магнитного поля по экспериментальным данным

А. Г. Ягола[1], Д. В. Лукьяненко[1], Я. Ван[2,3]
[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
[2]Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences
[3]University of the Chinese Academy of Sciences
E-mail: yagola@physics.msu.ru

Математические модели в магнитостатике, связывающие плотность магнитного момента ограниченного тела и его магнитную индукцию достаточно хорошо известны (см., например, [1]). Менее известны математические модели магнитостатики, связывающие объемную (или поверхностную) плотность магнитного момента тела с полным тензором градиентов компонент магнитной индукции (ГКМИ), измеряемым в некоторой удаленной от тела области (см., например, [2]). Было установлено, что тензор ГКМИ в таких моделях обладает большей чувствительностью к тонкой структуре распределения магнитного момента, чем сама магнитная индукция. Поэтому измерения тензора ГКМИ представляются более перспективными для интерпретации магнитных полей с помощью решения обратных задач. Модели, включающие тензор ГКМИ, порождают обратные задачи

нахождения плотности магнитного момента по тензору ГКМИ в различных постановках. Но все эти обратные задачи описываются операторными уравнениями первого рода, которые в общем случае представляют собой некорректно поставленные задачи. Они могут как иметь неединственное решение, так и не иметь классического решения вообще. При этом решение, как правило, неустойчиво по отношению к ошибкам измерения входных данных (компонент тензора ГКМИ). Эти трудности преодолеваются с помощью применения специальных методов решения таких некорректно поставленных задач регуляризирующих алгоритмов (РА). В работе рассматриваются РА решения трехмерной обратной задачи обращения измеренного магнитного поля и его градиента на поверхности и над поверхностью Земли для отыскания распределения магнитного поля подземного объекта.

Работа поддержана грантом РФФИ 17-51-53002 ГФЕН_а.

Список литературы

1. Lukyanenko D.V., Yagola A.G. Some methods for solving of 3d inverse problem of magnetometry // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2016, Vol. 4, no. 3, p. 414.

2. Ван Я., Лукьяненко Д.В., Ягола А.Г. Регуляризированное обращение полных тензорных магнитно-градиентных данных // Вычислительные методы и программирование: Новые вычислительные технологии (Электронный научный журнал), 2016, Т. 17, № 1. С. 1320.

Секция 1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЛГЕБРЫ И АППРОКСИМАЦИИ

Конечно-объемный алгоритм для решения уравнений Навье – Стокса

П. В. Бабинцев, В. М. Ковеня
Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: maskot.g@gmail.com

Для численного решения уравнений Навье – Стокса сжимаемого газа, записанных в интегральной форме, предложен класс конечно-объемных схем типа предиктор-корректор. Введение различных форм расщепления на этапе предиктора позволяет: получить различные классы схем, реализация которых сводится к решению отдельных уравнений; обеспечить запас устойчивости алгоритма в целом; аппроксимировать исходные уравнения в консервативной форме. Среди рассмотренных форм расщепления по аналогии с конечно-разностными схемами [1] выбраны те из них, которые обеспечивают максимальную устойчивость схем при минимальном влиянии расщепления на ее свойства. Этот подход позволяет построить экономичные алгоритмы, реализуемые за минимальное число операций на отдельную ячейку, сведя их реализацию к скалярным прогонкам или схемам бегущего счета. Получаемые схемы консервативны, что позволяет использовать их при решении стационарных и нестационарных задач, обладают вторым (или более высоким) порядком аппроксимации. Для устранения не монотонности решений, присущих схемам второго порядка аппроксимации, вводится сглаживающий оператор. В целях повышения устойчивости порядок аппроксимации алгоритмов на этапе предиктора и корректора может быть различным. Приведены примеры расчетов различных задач: задачи о регулярном и нерегулярном отражении скачков в рамках уравнений Эйлера, задачи обтекания уступа и пространственном обтекании затупленного конуса.

Список литературы

1. Ковеня В. М. Алгоритмы расщепления при решении многомерных задач аэродинамики. Рос. акад. наук. Сиб. Отд-ние, 2014.

Нелокальные проблемы асимптотических методов теории возмущений

В. С. Белоносов
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: belonosov@academ.org

Научный коллектив под руководством А. С. Алексеева разработал концепцию, объясняющую повышение продуктивности нефтяных месторождений при слабых вибрационных воздействиях эффектом параметрического резонанса [1]. Обоснование концепции базируется на методе усреднения Крылова – Боголюбова, применение которого осложняется его локальным характером, а также известной проблемой малых знаменателей. Эта проблема исследована нами в [2,3], но изучение нелокальных вариантов метода усреднения для нелинейных дифференциальных уравнений только начинается. Доклад посвящен новым результатам в данном направлении для обыкновенных уравнений с полиномиальными нелинейностями.

Список литературы

1. Алексеев А. С., Алтунина Л. К., Белоносов В. С., Доровский В. Н., Имомназаров Х. Х., Сердюков С. В., Сказка В. В. Физико-математическая модель процессов в нефтеносном пласте при волновых воздействиях // Интервал. Передовые нефтегазовые технологии. 2005. № 11. С. 4–9.

2. Белоносов В. С. Спектральные свойства обобщенных функций и асимптотические методы теории возмущений // Математический сборник. 2012. Т. 203, № 3. С. 3–22.

3. Белоносов В. С. Асимптотический анализ параметрической неустойчивости нелинейных гиперболических уравнений // Математический сборник. 2017. Т. 208, № 8. С. 4–30.

Решение краевых задач для бигармонического уравнения в нерегулярных областях с дискретно заданной границей методом коллокации и наименьших квадратов

В. А. Беляев
Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН
E-mail: belyaevasily@mail.ru

Реализован метод коллокации и наименьших квадратов для решения бигармонического уравнения в нерегулярных областях с дискретно заданной границей области, для восполнения которой строится параметрический двойной сплайн. Исходная область включается в прямоугольник, который покрывается регулярной сеткой с прямоугольными ячейками. На границе области используется "одинарный" слой нерегулярных ячеек двух типов: самостоятельные и несамостоятельные. Вытянутые и относительно малые несамостоятельные ячейки присоединяются к соседним самостоятельным ячейкам. В граничных ячейках использованы "законтурные" точки коллокации и точки согласования. Эти приемы позволили существенно уменьшить обусловленность системы линейных алгебраических уравнений приближенной задачи. Приведено сравнение полученных результатов с известными результатами других авторов, которые использовали конечно-разностный метод повышенного порядка аппроксимации. В качестве приложения решение бигармонического уравнения использовано для моделирования напряженно-деформированного состояния изотропных тонких пластин.

Развитие метода дихотомии матричного спектра и его приложения

Э. А. Бибердорф
Новосибирский государственный университет
Институт математики СО РАН
E-mail: biberdorf@ngs.ru

Дихотомия матричного спектра является перспективной альтернативой спектральной задаче в классической постановке, особенно в применении к проблеме устойчивости. Идеи разделения спектра относительно некоторых кривых впервые были алгоритмизированы Годуновым С.К. и его учениками [1]. Попытки применения этих методов к исследованию устойчивости течений потребовали целого ряда видоизменений сложившихся подходов и создания новых алгоритмов [2]. Для исследования устойчивости пристеночных течений создан алгоритм дихотомии спектра матричного пучка гиперболой и аналогичный алгоритм дихотомии параболой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-**01-00791**).

Список литературы

1. Godunov S.K., Sadkane M. Some new algorithms for the spectral dichotomy methods. Linear Algebra Appl. 2003. Vol. 358. P. 173-194.

2. Бибердорф Э.А., Блинова М.А., Попова Н.И. Модификации метода дихотомии матричного спектра и их применение к задачам устойчивости. СибЖВМ, 2018, Т. 21, № 2. С. 139-153

Математическое моделирование процесса теплопереноса в трещиноватом коллекторе

Ю. О. Бобренёва, И. М. Губайдуллин
Уфимский государственный нефтяной технический университет
E-mail: yu.o.bobreneva@gmail.com

Гидродинамические исследования скважин позволяют определять пластовое давление и параметры исследуемого пласта. Однако проведение традиционных видов гидродинамических исследований в трещиноватом коллекторе вызывают трудности и не всегда позволяют определять параметры

пласта. Основная проблема связана с тем, что трещиноватый пласт характеризуется дискретностью свойств вследствие наличия двух видов пустотности: система естественных трещин и система матриц [1-2]. Поэтому развитие новой методики, которая основывается на использовании температурных данных [3], позволит дополнить стандартный подход и определить параметры пласта и пластовое давление. В данной работе рассматривается математическая модель процесса теплопереноса в трещиноватом коллекторе. Внедрение нового подхода в практику позволит повысить достоверность и качество информации о геолого-физических характеристиках продуктивных пластов в коллекторах такого типа.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (код проекта 16-29-15116).

Список литературы

1. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. М.: Недра, 1986. 608 с.

2. Черницкий А.В. Геологическое моделирование нефтяных залежей массивного типа в карбонатных трещиноватых коллекторах. М.: ОАО "РМНТК Нефтеотдача", 2002. 254 с.

3. Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965. 238 с.

Групповой анализ одномерного уравнения двухскоростной гидродинамики с одним давлением

Г. С. Васильев, Х. Х. Имомназаров
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: george.vasiliev@yandex.ru

В одномерном обратимом гидродинамическом приближении рассмотрен частный случай изотермической системы уравнений движения двухскоростной среды с одним давлением [1]. С помощью метода группового анализа [2–4] выписаны все инвариантные и частично инвариантные подмодели системы и в некоторых случаях найдены соответствующие решения. Получено представление всех уравнений системы в дивергентной форме, что позволило провести исследование поведения модели на разрывных решениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00729, код проекта 18-51-41002).

Список литературы

1. Доровский В. Н., Перепечко Ю.В. Теория частичного плавления // Геология и геофизика. 1989. №9. С. 56-64.

2. Овсянников Л. В. Групповой анализ дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1989.

3. Лагно В. И., Спичак С. В., Строгний В. И. Симметрийный анализ уравнений эволюционного типа. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.

4. Головин С. В., Чесноков А. А. Групповой анализ дифференциальных уравнений. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2009.

Ударно-волновое нагружение кольцевой области неоднородной жидкости со свободной поверхностью

В. А. Вшивков[1], Е. С. Большакова[2], В. К. Кедринский[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьевна СО РАН
E-mail: vsh@ssd.sscc.ru

Решается задача о волновом процессе в кювете в слое жидкости со свободной поверхностью. Источником генерации ударных волн (УВ) служит задание массовой скорости коротким цилиндрическим поршнем (источником), расположенным вертикально соосно с осью симметрии. Импульс массовой скорости имеет вид экспоненты, в которой задается различная максимальная скорость и постоянная спада. Построена двумерная численная модель по формированию, распространению

ударной волны и ее отражению от свободной поверхности (формирование волны разгрузки (ВР)). Численный расчет выполняется в несколько этапов. Первый из них (представлен в докладе) - численная модель формирования УВ в тонком цилиндрическом слое со свободной поверхностью, распространение и отражение УВ от свободной поверхности (формирование ВР), и фокусировка ВР в сторону оси симметрии в чистой жидкости и в жидкости с микропузырьками. В процессе распространения ВР в сторону оси симметрии в расчет включалась двухфазная математическая модель Иорданского-Когарко-ван Виигаардена (система ИКванВ) [1], которая рассчитывала и формирование кавитационной пузырьковой зоны за фронтом ВР, и динамику структуры ВР. Для чистой жидкости было показано, что в области значений радиуса, близкой 3 см, амплитуда УВ в процессе распространения уменьшается пропорционально r -0.45 , в дальнейшем регистрируется асимптотика r -0.72. Распространение ВР к поршню носит кумулятивный характер. За фронтом ВР регистрируется интенсивный рост газовой фазы вплоть до 500 k0 при максимальной скорости поршня 100 м/с и постоянной спада 10 мкс.

Список литературы

1. Kedrinskii V.K. The Iordansky-Kogarko-van Wijngaarden Model: Shock and Rarefaction Wave Interaction in Babbly Liquid // A Symposium in Honour of Leen van Wijngaarden, In Fascination of Fluid Dynamics, eds. A. Biesheuvel, G. F. van Heijst, 1997/98, Kluwer Academic Publishers, P.115 -`130

Моделирование желобковой неустойчивости при разлете облака плазмы в замагниченном фоне

К. В. Вшивков[1], Г. И. Дудникова[2]
[1]Институт лазерной физики СО РАН
[2]Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: vkv76ru@gmail.com

В связи с проведением экспериментов с лазерной плазмой, возникла необходимость детального исследования наблюдаемой в лабораторных условиях желобковой неустойчивости на основе численного моделирования. Рассматривается трехмерная задача взаимодействия разлетающегося плазменного облака, имеющего форму шара, с замагниченной фоновой плазмой. Численная модель основана на сочетании кинетического и гидродинамического описания ионной и электронной компонент плазмы с использованием метода частиц-в-ячейках. Исследовано влияние начальных параметров облака и фона на размеры токового слоя, формирование желобковой структуры облака, время зарождения желобков, их форма и количество.

Серия вычислительных экспериментов, с использованием современных суперкомпьютеров,, была проведена с учетом основных параметров плазмы и магнитного поля на стенде КИ-1 ИЛФ СО РАН [1, 2].

Работа выполнена в рамках Программы ИЛФ СО РАН по Фундаментальным Исследованиям по Проекту 0307-2017-0015 и при поддержке гранта РФФИ 16-01-00209 с использованием ресурсов ЦКП Сибирский суперкомпьютерный центр ИВМиМГ СО РАН.

Список литературы

1. Захаров Ю. П., Антонов В. М., Бояринцев Э. Л. и др. // Физика плазмы. Т. 32. № 3. С. 207-229 (2006).
2. Zakharov Yu. P., Antonov V. M., Boyarintsev E. L. et al. // Third International Conf. "Inertial Fusion Science and Application", LLNL, USA: Monterey. P. 974-977 (2004).

Численное моделирование нестационарных тепловых полей с учетом фазовых переходов

В. С. Гладких, А. В. Петухов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: petukhov@lapasrv.sscc.ru

В работе рассматривается процесс изменения тепловых полей в многолетнемерзлых грунтах под воздействием сезонных колебаний температуры на поверхности грунта и антропогенных

объектов, таких как эксплуатационные скважины и замораживающие колонки. Математическая модель процесса описывается нестационарным уравнением теплопроводности с учетом фазовых переходов поровой влаги. Численная реализация основана на схеме Кранка – Николсона для аппроксимации по времени и методе барицентрических конечных объемов для аппроксимации по пространству. Приводятся результаты численных расчетов для набора трехмерных модельных задач на последовательности сгущающихся сеток. Приводятся результаты численного моделирования трехмерных тепловых полей при наличии эксплуатационных скважин с учетом сезонных колебаний температуры на поверхности грунта на вычислительных системах с общей памятью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-15122), Российского научного фонда (14-11-00485-П).

Эффективная численная схема для решения прямой задачи Захарова – Шабата

Н. И. Горбенко[1], В. П. Ильин[1], Л. Л. Фрумин[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Институт автоматики и электрометрии СО РАН
E-mail: nikolay.gorbenko@gmail.com

Прямая и обратная задачи рассеяния для связанных волновых уравнений является активной области исследований, в частичности для различных важных приложений, таких как конструкцию волновода и диагностику неисправностей линии электропередачи, геофизические исследования, ядерная энергия и т. д. В этой работе для решения прямой задачи Захарова – Шабата на основе метода конечных объемов на неравномерной сетке предложена численная аппроксимация со вторым порядком точности. Предложен эффективный численный метод для решения полученной системы уравнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта N 14-00485 P).

Список литературы

1. V. E. Zakharov and A. B. Shabat, "Exact theory of 2-dimensional self focusing and one-dimensional self-modulation of waves in nonlinear media," Sov. Phys. J. Exp. Theor. Phys. **34,** 62–69 (1972).

Вопросы разработки параллельного программного обеспечения для методов декомпозиции области

Я. Л. Гурьева, Д. В. Перевозкин
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: yana@lapasrv.sscc.ru

Рассматриваются различные аспекты разработки параллельного программного обеспечения для метода декомпозиции области: использование технологии MPI-программирования для кластерных систем, точки выбора при проектировании параллельных программ методов декомпозиции области, необходимость реализации действия матрицы без явного ее представления, работа с множествами индексов при программной реализации операторов ограничения и продолжения, а также при обмене данными между подобластями. На ряде численных экспериментов для модельной задачи исследуются вопросы наилучшего выбора конфигурации запуска исполняемой программы на кластере для минимизации времени расчета и предлагается стратегия проведения серии вычислительных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14–11–00485П) и Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18–01–00295 А).

Аппроксимация производных функций с большими градиентами на основе сплайновой интерполяции

А. И. Задорин[1], И. А. Блатов[2], Е. В. Китаева[3]
[1]Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН
[2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
[3]Самарский национальный исследовательский университет
E-mail: blatow@mail.tu

Исследуется вопрос аппроксимации производных функций с большими градиентами в экспоненциальном пограничном слое. Применение классических формул численного дифференцирования к таким функциям приводит к существенным погрешностям. Предлагается вычислять производные по значениям функции в узлах сетки на основе сплайн-интерполяции. Это позволяет приблизить производные гладкими функциями. Исследуется два подхода: дифференцирование кубического сплайна на сетке Шишкина [1] и экспоненциального сплайна такой же гладкости на равномерной сетке [2]. Получены оценки погрешности вычисления первой и второй производных, равномерные по малому параметру. Обсуждаются результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00727).

Список литературы

1. Блатов И.А., Задорин А.И., Китаева Е.В. Об интерполяции кубическими сплайнами функций с большими градиентами в пограничном слое // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2017. Т. 57, № 1. С. 9–28.

2. Блатов И.А., Задорин А.И., Китаева Е.В. О равномерной по параметру сходимости экспоненциальной сплайн-интерполяции при наличии пограничного слоя // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2018. Т. 58, № 3. С. 365–382.

Вариант смешанного метода конечных элементов для решения задачи фильтрационного течения двухфазной жидкости в пористой среде

М. И. Иванов, И. А. Кремер, Ю. М. Лаевский
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: ivanov@sscc.ru, kremer@sscc.ru, laev@labchem.sscc.ru

Фильтрационное течение двухфазной жидкости в пористой среде описывается моделью Маскета – Леверетта, которая включает в себя закон Дарси и закон сохранения масс для каждой из фаз, а также условие на скачок фазных давлений, обусловленный действием капиллярных сил. Модель Маскета – Леверетта записывается как система уравнений первого порядка относительно суммарной скорости фильтрующейся жидкости и обобщенного скалярного давления вытесняющей фазы [1, 2]. Описанная смешанная система уравнений формулируется в обобщенном виде с минимальными требованиями на регулярность решения. Подсистема уравнений "скорость – давление" решается смешанным методом конечных элементов. Для аппроксимации искомых переменных используются векторные элементы Равьяра – Тома и скалярные элементы наименьшего порядка. Для интегрирования закона сохранения масс, записанного в терминах насыщенности вытесняющей фазы, предложен вариант экономичной явной "upwind" схемы. Проведены сравнения результатов расчетов со схемами Лакса-Вендроффа и "Кабаре" [3].

Список литературы

1. Antontsev S. N., Kazhikhov A. V., Monakhov V. N., Boundary value problems in mechanics of nonhomogeneous fluids. //Studies in Mathematics and its Applications, 22, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1990, xii+309 pp.

2. Ю. М. Лаевский, П. Е. Попов, А. А. Калинкин, Моделирование фильтрации двухфазной жидкости смешанным методом конечных элементов, Матем. моделирование, 2010, Т. 22, № 3, С. 74–90.

3. Ю. М. Лаевский, Т. А. Кандрюкова, Об аппроксимации разрывных решений уравнения Баклея–Леверетта, Сиб. журн. вычисл. матем., 2012, Т. 15, № 3, С. 271–280.

Numerical methods for solution of the inverse problem of mean field games

E. A. Kondakova[1,2], O. I. Krivorotko[1,2], S. I. Kabanikhin[1,2]
[1]Novosibirsk State University,
[2]Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
E-mail: ekondak95@mail.ru, olga.krivorotko@sscc.ru, kabanikhin@sscc.ru

Major global events shaped by large populations in social media, such as the Arab Spring, the Black Lives Matter movement, and the fake news controversy during the 2016 U.S. presidential election, provide significant impetus for devising new models that account for macroscopic population behavior resulting from the aggregate decisions and actions taken by all individuals. Mean fields games describe the analysis of differential games in which the number of players tends to plus infinite [1-2]. The paper considers numerical methods for the problem of optimal planning, i.e. the problem in which the positions of a very large number of identical rational agents, with common value function, evolve from a given initial spatial density to a desired target density at the final horizon time. The results of the numerical calculations for the mathematical model of social media are presented and discussed.

The work has been supported by the grant of the President of RF (no. MK-1214.2017.1), Ministry of Education and Science of Russian Federation and by the grant of the RSF (no. 18-71-10044).

References

1. Achdou Y., Camilli F., Capuzzo-Dolcetta I. Mean field games: numerical methods for the planning problem. Pre-publication. 2010.
2. Lions P.-L. Notes on Mean Field Games // Lecture at Tor Vergata University. 2013.

Оценка глобальной погрешности численного интегрирования и анализ устойчивости на конечном интервале времени уток-циклов одной кинетической модели

Е. А. Лашина [1,3], Н. А. Чумакова [1,3], Г. А. Чумаков [2,3]
[1] Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
[2] Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН
[3] Новосибирский государственный университет
E-mail: lashina@catalysis.ru

Нами проводится исследование одной кинетической модели гетерогенной каталитической реакции, которая является сингулярно-возмущенной системой двух нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений [1]. При некоторых значениях параметров (см. [1]), сосуществуют устойчивый неустойчивый предельные циклы, которые обладают высокой параметрической чувствительностью и являются утками. Численное исследование утки-цикла усложняется тем, что малые возмущения начальной точки могут вызывать конечные вариации решения при условии, что время нахождения фазовой точки вблизи неустойчивой части медленного многообразия достаточно продолжительно. Для анализа точности численного интегрирования в работе проводится исследование устойчивости решений системы на конечном интервале времени. Также предлагаются оценки глобальной погрешности численного интегрирования, в том числе, для случая, когда интегрирование проводится на временном интервале, равном нескольким периодам.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект АААА-А17-117041710084-2, АААА-А17-117041710076-7) и Института математики СО РАН (проект I.1.5.3).

Список литературы

1. Chumakov G.A., Lashina E.A., Chumakova N.A. On estimation of the global error of numerical solution on canard-cycles // Mathematics and Computers in Simulation. 2015. V. 116, P.59-74.

Алгоритм третьего порядка точности решения неявных систем ОДУ (MATHGEO18)

А. И. Левыкин
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: lai@osmf.sscc.ru

В химической кинетике и в других важных приложениях возникает задача Коши для жесткой системы ОДУ неразрешенных относительно производной [1–3]. Построен пятистадийный L-устойчивый (м,к)-метод, предназначенный для решения неявных жестких систем ОДУ. На основе этого метода сформулирован алгоритм интегрирования переменного шага, допускающий замораживание матриц производных. Приведены результаты расчетов, подтверждающие эффективность нового алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00168).

Список литературы

1. Hairer, E. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems / E. Hairer, G. Wanner. Berlin : Springer-Verlag, 1996. 614 p.
2. Gear, C. W. Differential-algebraic equations index transformations // SIAM J. Sci. Stat. Comput. 1988.Vol. 9, № 1. P. 39-47.
3. Левыкин А. И. A Study of (m,k)-Methods for Solving Differential-Algebraic Systems of Index 1 / E. A. Новиков // Communication on Computer and Information Science, Springer Int. Publishing, 2015. V. 549, P. 94-107.

Разрешимость начально-краевой задачи для уравнений движения бинарных смесей вязких сжимаемых теплопроводных жидкостей в общем случае трех пространственных переменных

А. Е. Мамонтов, Д. А. Прокудин
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
E-mail: aem@hydro.nsc.ru, prokudin@hydro.nsc.ru

В работе проводилось исследование системы уравнений движения бинарных смесей вязких сжимаемых теплопроводных жидкостей [1]–[3], состоящей из дифференциальных законов сохранения массы, импульса для каждой компоненты и закона сохранения энергии для смеси в целом и представляющей собой обобщение известной модели Навье – Стокса – Фурье для вязких сжимаемых теплопроводных однокомпонентных сред. Доказана теорема существования решений начально-краевой задачи динамики смесей вязких сжимаемых теплопроводных жидкостей в общем случае трех пространственных переменных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-31-00034.

Список литературы

1. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред, ч. 1. М.: Наука, 1987.
2. Rajagopal K. L., Tao L. Mechanics of mixtures. Singapore: World Scientific, 1995.
3. Mamontov A. E., Prokudin D. A. Viscous compressible multi-fluids: modeling and multi-d existence // Methods Appl. of Anal. 2013. V. 20, № 2. P. 179–195.

Полунеявные проекционные методы для решения системы уравнений Навье – Стокса

С. И. Марков[1], Н. Б. Иткина[2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный технический университет
E-mail: itkina@ami.nstu.ru

Вихревое течение несжимаемого газа описывается системой нестационарных уравнений Навье– Стокса. Для интегрирования по времени нестационарных уравнений Навье – Стокса применяется проекционный метод Chorin – Temam. Пространственная дискретизация выполняется на базе вычислительной схемы разрывного метода Галёркина в функциональном пространстве H(div).

Приводятся результаты математического моделирования течения газа в канале с меняющимся диаметром и сравнительный анализ с данными физического эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ (СП-3627.2016.5).

Численное оценивание областей безопасности систем с возмущающими воздействиями

А. Н. Рогалев
Институт вычислительного моделирования СО РАН
E-mail: rogalyov@icm.krasn.ru

Границы областей безопасности математических моделей технических систем оцениваются при проверке технической устойчивости (ограниченности всех решений) и оценке зон технической устойчивости. Во многих задачах структура управляемых динамических систем и ее параметры известны с некоторой погрешностью, необходимым требованием к управляемым динамическим системам является их устойчивость по отношению к структурным и внешним возмущениям. Изучение технической устойчивости систем и управления технической устойчивостью оказывается полезным, когда другие понятия устойчивости не соответствуют постановке задачи.

Вычисление границ областей решений численных моделей сложных систем выполняется методами [1], значительно расширенными оценкой геометрических характеристик областей. При этом оценка устойчивости выполняется на конечном интервале времени при учете возмущающих сил или управляющих воздействий. Приводятся примеры численных расчетов.

Список литературы

1. Границы областей решений дифференциальных уравнений с возмущающими воздействиями // Труды Международной конференции по вычислительной и прикладной математике "ВПМ'17" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 25 июня – 14 июля [Электрон. ресурс]. http://conf.nsc.ru/cam17/ru/proceedings. Стр. 734-738.

Об устойчивых возмущениях динамических уравнений с неограниченным оператором, имеющим абсолютно непрерывный спектр.

В. В. Сказка
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: skazka@math.nsc.ru

Работа является продолжением исследований, начатых в [1,2] и посвященных вопросам о влиянии непрерывного спектра на явление параметрического резонанса в дифференциальных уравнениях. Рассматриваются обыкновенное дифференциальное уравнение в гильбертовом пространстве с малым периодическим возмущением. Когда добавок равен нулю, уравнение порождает равномерно ограниченную группу. Исследуется класс возмущений, при которых не возникает эффект параметрического резонанса.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № I.1.5., проект № 0314-2016-0012.

Список литературы

1. В.В.Сказка. "О влиянии непрерывного спектра на эффект параметрического резонанса. Случай ограниченных операторов"// Математический сборник, 2014 г., том 205, номер 5, страницы 77–96.

2. В.В.Сказка, "Об устойчивых возмущениях линейных дифференциальных уравнений, порождающих равномерно ограниченную группу", Математический сборник, 2017, том 208 номер 8 , стр. 168–182.

Новый метод решения внешней краевой задачи для уравнения Лапласа декомпозицией областей с пересечением

А. О. Савченко, А. В. Петухов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: savch@ommfao1.sscc.ru

Предложен метод решения трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа, основанный на декомпозиции расчетной области с пересечением. Исходная краевая задача сводится к решению операторного уравнения относительно искомых значений функции на вспомогательной сфере, заключающей в себя исходную поверхность. Это уравнение аппроксимируется системой линейных алгебраических уравнений, которая решается итерационными методами в подпространствах Крылова. Скорость сходимости итераций и достигаемая точность иллюстрируется серией численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00168), Российского научного фонда (код проекта 14-11-00485) .

Моделирование электрического и магнитного полей в образце породы

Н. В. Штабель
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А. А. Трофимука
E-mail: orlovskayanv@ipgg.sbras.ru

Измерение электрофизических характеристик среды относится к неразрушающим методам исследования. Томография образцов породы (кернов) позволяет получить представление о внутренней структуре образца. Изучение воздействия внешнего электромагнитного поля на керн дает информацию об электрофизических эффективных свойствах образца. Теоретические исследования влияния внутренней структуры и свойств материалов на электрофизические параметры выполняются с помощью математического моделирования. Для более полного анализа необходимо моделировать не только электрическое, но и магнитное поля, возбуждаемые одним и тем же внешним источником. Предложены вычислительные схемы для совместного моделирования электрического и магнитного полей в образцах среды с внутренней неоднородной структурой. Использованные схемы построены на базе векторного метода конечных элементов на различных типах сеточных разбиений (тетраэдры и полиэдры).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта офи_м 16-29-15094).

Анализ источников электромагнитных полей в геоэлектрике

Э. П. Шурина[1,2], Д. А. Архипов[2]
[1]Новосибирский государственный технический университет
[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: d_arhipov@list.ru

Исследование околоскважинного пространства электромагнитными методами выполняется преимущественно с помощью частотного способа возбуждения поля. Как правило, это делается с помощью геофизических зондов с индукционными катушками, опускаемых в скважину.

В скважинной электроразведке в качестве источника используется соленоидальная катушка, генерирующая электрическое поле. При наличии стальной обсадной колонны напряженность электрического поля вне скважины на 6-7 порядков меньше, чем без обсадки. Поэтому в качестве генераторной катушки эффективнее использовать тороидальную катушку.

В работе проведено математическое моделирование электромагнитного поля от тороидальной катушки с магнитным сердечником. Моделирование показало, что поле, генерируемое тороидальной катушкой, имеет большие амплитуды вне скважины при наличии обсадной колонны, чем соленоидальной.

Вычислительные схемы моделирования электромагнитного поля, были построены на базе векторного метода конечных элементов на тетраэдральном разбиении [1-2] с использованием специального многоуровневого решателя [3].

Список литературы

1. Webb J.P. Edge elements and what they can do for you//IEEE Transaction on magnetic, 1993, 2, p.1460-1465.
2. Nedelec J.C. Mixed Finite Elements in R3. - In: Numer. Math., ќ3 ,1980, p. 315 - 341.
3. Shurina E.P., Arkhipov D.A. Multilevel algebraic methods of modeling the 3D electromagnetic field. Actual problems of electronics instrument engineering (APEIE). 12th International Conference, 2-4 oct, 2014, Novosibirsk, 2014, P. 611-616.

Simulation of the harmonic electromagnetic fields in heterogeneous media using vector FEM on polyhedral meshes

E. P. Shurina[1,2], D. V. Dobroliubova[2], E. I. Shtanko[2]
[1]Novosibirsk state technical university
[2]Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
E-mail: mik_kat@ngs.ru

We focus on the electromagnetic fields in a wide frequency range (kHz to GHz) in heterogeneous materials with complex internal structure and non-regularly arranged arbitrarily shaped inclusions, typical of the native media, such as rock samples or biological tissue. Native materials are characterized by multiple scales, internal interfaces and highly contrast electrophysical properties of the constituent phases.

Computational schemes based on the modern nonconforming vector finite element method modifications, namely, the virtual vector finite element method on arbitrary shaped polyhedra, are considered.

The work is supported by the complex program of fundamental research of SB RAS "Integrated Interdisciplinary Research", 2018-2020, on the subject of "Experimental research and mathematical modelling of the native and manufactured engineering objects with phase changing materials", and the Program of the Presidium RAS No. 27

Расширенный гетерогенный многомасштабный метод для моделирования упругой деформации трехмерных трещиноватых объектов

Э. П. Шурина[1,2], А. Ю. Кутищева[1,2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
[2]Новосибирский государственный технический университет
E-mail: kutischeva.anstasia@yandex.ru

Большинство геологических сред являются трещиноватыми. Можно выделить два типа трещин: макротрещины или магистральные трещины (например результат гидроразрыва пласта) и микротрещины. Для численного моделирования напряженно деформированного состояния объектов с макротрещинами успешно применяется расширенный метод конечных элементов (XFEM), основанный на представлении пространства решения в виде суммы двух подпространств: регулярного, отвечающего эффективным свойствам среды, и сингулярного, учитывающего особенности решения вблизи трещины [1-2]. Для объектов с микротрещиноватостью классический XFEM не может быть эффективно применен, поскольку вычислительные затраты с увеличением количества трещин чрезмерно возрастают.

В данной работе для моделирования напряженно-деформированного состояния трехмерного объекта с микротрещиноватостью предлагается расширенный гетерогенный многомасштабный метод конечных элементов (XFE-HMM), основанный на идеях многомасштабных методов о разделении масштабов решения с помощью специальных дополнительных подпространств с неполиномиальными многомасштабными функциями формы для построения которых предлагается использовать XFEM. Такой гибридный метод позволяет расширить применимость, как XFEM, так и многомасштабных методов для моделирования объектов с микротрещиноватостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (проект 27).

Список литературы

1. Belytschko T., Black T.E. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing // Int. J. Numer. Meth. Engng.. 1999. T. 45. P. 601-620.
2. Савенков Е.Б., Борисов В.Е., Критский Б.В. Алгоритм метода X-FEM с представлением поверхности трещины на основе проекции ближайшей точки // Препр. ИПМ им. М. В. Келдыша. 2018. Т. 42, С. 36.

Секция 2. МЕТОДЫ МОНТЕ-КАРЛО И ЧИСЛЕННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Численные методы решения стохастических дифференциальных уравнений, сохраняющие первый интеграл

Т. А. Аверина[1,2], К. А. Рыбаков[3]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
[3]Московский авиационный институт
E-mail: ata@osmf.sscc.ru

В работе рассматриваются системы стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) с первым интегралом. Точное решение таких систем с вероятностью 1 находится на гладком многообразии [1]. Однако, при численном решении, из-за вычислительной погрешности, моделируемые траектории не принадлежат многообразию, а лежат в некоторой его окрестности [2]. Основной целью работы является построение модифицированных численных методов решения СДУ, сохраняющих первый интеграл. Проведена апробация предложенной модификации.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002) и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-08-00530-а).

Список литературы

1. Дубко В. А. Вопросы теории и применения стохастических дифференциальных уравнений. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989.
2. Averina T. A., Karachanskaya E. V., Rybakov K. A. Statistical analysis of diffusion systems with invariants // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. V. 33, no. 1. P. 1–13.

О разрешимости одно- двумерных моделей уравнения Больцмана

А. Ш. Акыш, Н. Баймулдина, Н. Закариянова
Казахский национальный университет им. Аль−Фараби
E-mail:akysh41@mail.ru

Существование глобальных решений одно- двумерных моделей Годунова - Султангазина [1] для уравнения Больцмана доказывалось многими исследователями для узких классов начальных функций.

Для решения задачи Коши одно- двумерных моделей Годунова - Султангазина используется метод расщепления [2, 3] и доказано существование и единственность глобальных решений для широкого класса начальных данных.

Список литературы

1. Годунов С. К., Султангазин У. М. О дискретных моделях кинетического уравнения Больцмана //Успехи матем. наук. 1971. № 36, 3. С. 3-51.
2. Акыш А. Ш. Сходимость метода расщепления для нелинейного уравнения Больцмана // Сиб. журн. вычисл. математики. 2013. Т.16, №2. С. 123.
3. Акыш А. Ш. Вычислительные задачи нелинейных уравнений Больцмана // Труды Международной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий Аль-Хорезми 2016". Бухарский государственный университет, 2016. Т. 2. С. 19-22.

Сравнение численных моделей поверхности морского волнения

Т. В. Алёшина[1], К. В. Литвенко[2]
[1]Ingram Micro Cloud
[2]НФ Полюс-СТ
E-mail: litchristina@gmail.com

Спектральные модели получили широкое распространение для исследования различных стохастических объектов и явлений, таких как турбулентность, атмосферная облачность и др. Однако проблема выбора оптимальной модели для конкретной задачи до сих пор недостаточно исследована. В работе оцениваются погрешности оценок некоторых функционалов от спектральных моделей

морской поверхности, используя аналоги метода Рунге и процесса Эйткена. Проводится сравнение моделей, описанных в работах [1] и [2] методом, основанным на вычислении погрешности воспроизведения корреляционной функции для нерандомизированных моделей и оценивании "среднего отклонения" для корреляционных функций для рандомизированных моделей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00159).

Список литературы

1. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. - Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2005, 259 с.

2. Litvenko K.V., Prigarin S.M., The error analysis for spectral models of the sea surface undulation. Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, 2014, V.29, No.4, P. 239-250.

Метод математических ожиданий для оптически толстых плоских слоев

В. С. Антюфеев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: ant@osmf.sscc.ru

В [1] изложен экономичный метод расчета переноса излучения в плоском слое.

Получены формулы для плотности распределения по высоте точки столкновения при фиксированных направлениях пробега частицы в предыдущей части траектории. Эту плотность можно представить в виде линейной комбинации некоторых "базисных" функций специального вида. Коэффициенты линейных комбинаций вычисляются по рекуррентным формулам [1].

Для значений оптической толщины слоя не превышающих 5 этот метод ускоряет расчет в 5-6 раз. Однако, с увеличением оптической толщины программа расчета перестает работать из-за ошибки "переполнения". Анализ метода обнаружил, что коэффициенты линейных комбинаций быстро увеличиваются по абсолютной величине с ростом оптической толщины

Введение дополнительных (присоединенных) "базисных" функций позволяет избавиться от этого явления и проводить расчеты модифицированным методом математических ожиданий для больших значений оптической толщины слоя.

Список литературы

1. Антюфеев В. С. Метод математических ожиданий для решения задач переноса излучения с плоской геометрией // Журнал Вычислительной Математики и Математической Физики, 1979, Т.19, №6.

Алгоритмы статистического моделирования для решения кинетического уравнения коагуляции со случайными параметрами

А. В. Бурмистров[1,2], М. А. Коротченко[1]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: burm@osmf.sscc.ru, kmaria@osmf.sscc.ru

В работе изучается нелинейное уравнение Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, которые зависят от размера взаимодействующих частиц (см., например, [1]) и, кроме того, являются случайными процессами. Рассматривается задача численной оценки вероятностных моментов линейных функционалов от решения исходного уравнения. Для этого предлагается использовать метод двойной рандомизации при моделировании эволюции системы частиц. Строятся новые алгоритмы метода Монте-Карло в рамках подхода, предложенного ранее в [1, 2]. Построенные алгоритмы могут быть использованы для решения уравнения Смолуховского со случайными параметрами общего вида.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002), а также при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 16-01-00530, 17-01-00698, 18-01-00356).

Список литературы

1. Бурмистров А.В., Коротченко М.А. Весовые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки и параметрического анализа решения кинетического уравнения коагуляции // Сибирский журнал вычислительной математики. 2014. Т. 17. № 2. С. 125–138.

2. Бурмистров А.В., Коротченко М.А. Использование оценки по столкновениям при решении уравнения Смолуховского методом Монте-Карло // В сборнике: Марчуковские научные чтения – 2017: Труды Международной научной конференции. 2017. С. 126–132.

О численной устойчивости рандомизированных проекционных алгоритмов

А. В. Войтишек
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: vav@osmf.sscc.ru

В данной работе проведено сравнение проекционных, сеточных и проекционно-сеточных рандомизированных функциональных алгоритмов численного приближения решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода на компактном множестве [1, 2]. Показано, что для многих практически важных задач применение сеточных алгоритмов (в частности, метода зависимых испытаний) затруднено из-за невозможности вычисления ядер и свободных членов исследуемых интегральных уравнений. Для таких задач весьма целесообразным видится использование проекционных алгоритмов. Однако, в отличие от сеточных методов, для этих алгоритмов несколько затруднено применение теории условной оптимизации. В этом смысле проще и эффективнее использовать проекционно-сеточные методы, для которых нахождение условно-оптимальных параметров не является сверхсложной задачей.

В работе [3] под научным руководством автора доклада на тестовом примере из учебника [4] проведено численное сравнение проекционного метода с базисными функциями Эрмита и метода зависимых испытаний. Здесь интегральное уравнение является одномерным, решение представляет собой гладкую функцию, особенности в ядре и свободном члене интегрального уравнения отсутствуют. В этой ситуации метод зависимых испытаний ожидаемо показал большую эффективность (экономичность).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что проекционный метод хуже воспроизводит гладкость решения по сравнению с сеточным методом зависимых испытаний. Можно также вполне определенно говорить о численной неустойчивости проекционного метода.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002).

Список литературы

1. Voytishek A.V., Shipilov N.M. On randomized algorithms for numerical solution of applied Fredholm integral equations of the second kind // AIP Conference Proceedings 1907, 030015 (2017).

2. Войтишек А.В. Разработка и оптимизация рандомизированных функциональных численных методов решения практически значимых интегральных уравнений Фредгольма второго рода // Сибирский журнал индустриальной математики. 2018. Т. 21. № 2 (74) С. 32–45.

3. Шипилов Н.М. Сравнительный анализ рандомизированных проекционных, сеточных и проекционно-сеточных функциональных алгоритмов численного решения уравнений Фредгольма второго рода (Выпускная квалификационная работа магистра). НГУ, 2018.

4. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. М.: Издательство Юрайт, 2018.

Определение параметрической чувствительности в задаче теплообмена фюзеляжа самолета на основе метода статистического моделирования

С. А. Гусев[1], В. Н. Николаев[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С. А. Чаплыгина
E-mail: sag@osmf.sscc.ru

В работе рассматривается задача теплообмена в теплозащитной панели сотового типа, которая является составной частью теплозащитного покрытия фюзеляжа самолета. При этом процесс переноса описывается третьей краевой задачей для уравнения теплопроводности. Значения температуры при решении задач такого типа целесообразно определять с использованием сглаживания разрывных коэффициентов в уравнении теплопроводности с последующим применением метода статистического моделирования на основе вероятностного представления [1-2]. Основное внимание в данной работе уделено определению производных решения рассматриваемой краевой задачи по параметрам с помощью метода [3]. Рассмотрено применение производных по параметрам решения краевой задачи к определению параметров в граничном условии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002).

Список литературы

1. Gusev S.A., Nikolaev V.N. Calculation of heat transfer in heterogeneous structures such as honeycomb by using numerical solution of stochastic differential equations // Advanced Materials Research. 2014. V. 1016. P. 758-763.

2. Гусев С.А. Применение СДУ к оценке решения уравнения теплопроводности с разрывными коэффициентами// Сибирский журнал вычислительной математики. 2015. Т.18,№2. С. 147-161.

3. Gusev S.A. Using SDE for solving inverse parabolic boundary value problem with a Neumann boundary condition // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2007. V. 22, No 5. P. 449-470.

Алгоритм блуждания по сферам для решения обратной задачи определения дефектов в полупроводниках

О. В. Дульзон[1], И. А. Шалимова[1,2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: odulzon@gmail.com

На основе алгоритма блуждания по сферам решается прямая задача вычисления интенсивности катодо-люминесценции и потока экситонов в полупроводниках с дефектами. Задача рассматривается в полупространстве, а дефекты представляются в виде цилиндров [1]. Время первого выхода экситона на сферу и координата выхода моделируются на основе известных плотностей [1]. Плотность распределения времени первого выхода на сферу имеет вид знакопеременного ряда, поэтому для ее моделирования реализуется алгоритм [2]. Для решения обратной задачи определения плотности дефектов используется интерполяционный полином Ньютона.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00083).

Список литературы

1. Sabelfeld K.K. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems. MCMA, 23 (2017), N3, 189-212.

2. Luc Devroye, The series method for random for random variate generation and its application to the Kolmogorov-Smirnov distribution // American Journal of Mathematical and Management Sciences, 1981 1:4, 359-379, DOI:10.1080/01966324.1981.10737080

Анализ влияния случайных шумов на солитонное решение уравнения Кортевега–де-Фриза методом Монте-Карло

А. А. Иванов, С. С. Артемьев, Д. Д. Смирнов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: aivanov@sscc.ru

Солитоны или уединенные волны встречаются в разных областях науки: в гидродинамике, физике плазмы, нелинейной акустике, сейсмике, физике элементарных частиц. Описание импульсов в волоконно-оптических линиях связи, электромагнитных волн в плазме, поверхностных волн на глубокой воде можно получить при моделировании солитонных решений в нелинейных математических моделях [1]. Классическими уравнениями для моделирования солитонного решения являются уравнения Кортвега-де-Вриза и sin-Гордона. В работе методом численного статистического моделирования исследуется влияние случайных шумов на солитонные решения, возникающие при решении стохастических дифференциальных уравнений с частными производными (СДУЧП) Кортвега-де-Вриза и sin-Гордона. Расчет различных статистических и частотных характеристик решений нелинейных СДУЧП производится путем учета случайных коэффициентов и внешних возмущений в дискретных схемах. Приводятся результаты численных экспериментов, проведенных на кластере НКС - 30Т Сибирского Суперкомпьютерного центра при ИВМиМГ СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-01-00698 А, 18-01-00599 А).

Список литературы

1. Н.Н. Калиткин. Численные методы. М.: Наука, 1978.

Весовое статистическое моделирование процессов переноса оптического излучения в случайно-неоднородных средах

Е. Г. Каблукова[1], Б. А. Каргин[1,2], П. Чжэн[2,3]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
[3]Хэйлунцзянский университет
E-mail: kablukovae@sscc.ru

Для оптимизации численного статистического моделирования полей оптического электромагнитного излучения в случайно неоднородных средах разработан новый весовой алгоритм, являющийся вариантом метода математических ожиданий [1]. В этом алгоритме моделирование траекторий фотонов осуществляется для подходящим образом подобранной детерминированной среды, а стохастическая структура среды учитывается с помощью специальных весовых множителей. В большом числе практически важных задач оптики стохастических сред данный алгоритм допускает простое численное интегрирование соответствующих случайных оценок, необходимых для эффективного вычисления средних характеристик полей излучения. Для численного моделирования случайных реализаций стохастических полей рассеивающих и поглощающих сред использованы алгоритмы, основанные на так называемых потоковых и спектральных моделях случайных полей [2, 3]. Численно исследована эффективность данного алгоритма в сравнении с широко применяемым алгоритмом, основанным на моделировании длин свободных пробегов методом "максимального сечения" [1].

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания No 0315-2016-0002, при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 16-01-00145).

Список литературы

1. Ермаков С.М., Михайллов Г.А, Курс статистического моделирования. М.: Наука. 1976.
2. Михайлов Г.А,, Войтишек А.В, Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М.: Академия. 2006.
3. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск. 2005.

Стохастическая модель поля оптической толщины слоистой облачности

Е. Г. Каблукова[1], В. А. Огородников[1,2], С. М. Пригарин[1,2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: Jane_K@ngs.ru

Работа посвящена созданию численной стохастической модели слоистой облачности для решения задач переноса изучения в облачной атмосфере. Проведен статистический анализ случайных полей оптической толщины облаков, восстановленных по результатам самолетных измерений [1]. В предположении однородности, исследованы одномерные распределения и корреляционная структура случайных полей. Численная модель случайного поля оптической толщины облака конструируется на основе метода обратной функции распределения. Для моделирования вспомогательного гауссовского случайного поля используется алгоритм двумерной авторегрессии и метод условных математических ожиданий [2-3].

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания No 0315-2016-0002, при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 16-01-00145).

Список литературы

1. Schafer M., Bierwirth E., Ehrlich A., Jakel E., Werner F., Wendish M. Directional horizontal inhomogeneities of cloud optical thickness fields retrieved from ground-based and airborne spectral imaging // Atmos. Chem. Phys. 2017,M. 17. P. 2359 – 2372.

2. Marple S.L., Jr., Digital spectral analysis with applications. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1987.

3. Ogorodnikov V.A., Prigarin S.M., Numerical Modelling of Random Processes and Fields: Algorithms and Applications. VSP, Utrecht, the Netherlands, 1996.

A stochastic kinetic-thermodynamic model and simulation algorithm for nanowire burst nucleation and growth

E. G. Kablukova, K. K. Sabelfeld
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
E-mail: kablukovae@sscc.ru

We suggest a kinetic-thermodynamic stochastic model of self-induced nucleation of GaN nanowires (NW) by the molecular beam epitaxy. A remarkable feature of the nanowire nucleation in the epitaxy method is a very long incubation time followed by a rapid, so-called burst nucleation of stable GaN islands, which then grow as nanowires. During the incubation time, no stable nuclei appear. The rapid nucleation is achieved by a key element which is the inclusion of a concentration-dependent critical nucleus size, determined self-consistently along with the subcritical cluster population density in accordance with the thermodynamic nucleation theory [1]. In [2, 3] a nanowire growth model has been developed where diffusion of atoms, NW coalescence and rescattering of atoms between the nanowires was taken into account while the initial distribution of nanowires on the substrate was taken when the formation of new NW nuclei has been terminated in accordance with the experimental data. We construct a stochastic nucleation model where the atoms are diffusing on a 2D grid, clusters are formed as two atoms meet each other on a node, and the unstable clusters may disaggregate with a prescribed rate. A critical size of the stable nuclei is taken from the thermodynamic nucleation theory which strongly depends on the ratio of the instantaneous concentration of atoms on the substrate to the saturation concentration [1]. Our simulations show that the model developed is able to demonstrate long incubation time followed by a rapid nucleation of new nanowires.

Support of the Russian Science Foundation under Grant N14-11-00083 is kindly acknowledged.

References

1. A. Baronov, K. Bufkin, D. W. Shaw, B.L. Johnson and D.L. Patrick, A simple model of burst nucleation. *Phys. Chem. Chem. Phys*., **17** (2015), 20846.

2. S. Fernández-Garrido, V. M. Kaganer, K. K. Sabelfeld, T. Gotschke, J. Grandal, E. Calleja, L. Geelhaar, and O. Brandt, Self-regulated radius of spontaneously formed GaN nanowires in molecular beam epitaxy. *Nano letters*, **13**(7) (2013), 3274-80.

3. Sabelfeld, K. K., Kablukova, E. G. Stochastic model and simulation of growth and coalescence of spontaneously formed GaN nanowires in molecular beam epitaxy. *Computational Materials Science*, **141** *(2018)*, 341-352.

Вероятностная модель нестационарных совместных временных рядов приземной температуры, относительной влажности воздуха и атмосферного давления

Н. А. Каргаполова, В. А. Огородников
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: nkargapolova@gmail.com

В работе предложена стохастическая модель временных рядов приземной температуры, относительной влажности воздуха и атмосферного давления, учитывающая суточный ход реальных метеорологических процессов. Входные параметры модели (одномерные распределения и корреляционная структура совместных временных рядов) определяются по данным многолетних реальных наблюдений на метеорологических станциях. На основе модельных реализаций исследованы некоторые статистические свойства редких сочетаний температуры, относительной влажности и давления.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00149-а) и Президента Российской Федерации (грант No МК-659.2017.1).

Метод Монте-Карло в задаче аэрокосмического лазерного зондирования верхнего слоя океана

Б. А. Каргин [1,2], А. Б. Каргин [2], С. М. Пригарин [1,2]
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: bkargin@osmf.sscc.ru

Строгое решение подавляющего числа прямых и обратных задач оптики системы океан-атмосфера возможно лишь в статистической формулировке. Это обусловлено тем, что поле оптического излучения системы океан-атмосфера в значительной мере формируется под воздействием взволнованной морской поверхности, отражающей и преломляющей приходящее электромагнитное излучение. А характерной особенностью этого воздействия является случайный характер ветрового волнения морской поверхности. Таким образом, математическая суть подобных задач заключается в вычислении соответствующих функционалов от решения уравнения переноса излучения, заданных на случайном поле, каковым является взволнованная морская поверхность. В данной работе рассмотрена статистическая модель переноса лазерного излучения в системе океан-атмосфера, описываемая нестационарным интегральным уравнением переноса в среде со случайно-неоднородной преломляющей границей и предложен весовой алгоритм решения этого уравнения методом Монте-Карло. Используемая спектральная модель ветрового волнения позволяет методом Монте-Карло учесть эффекты затенения и переотражения излучения элементами поверхности, а также исследовать особенности эхо сигналов в условиях наличия пены. Представлены результаты серии численных экспериментов.

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания No 0315-2016-0002, при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект16-01-00145).

Расчет методом Монте-Карло оптической передаточной функции системы океан – атмосфера

Б. А. Каргин[1,2], О. С. Ухинова [2]
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: bkargin@osmf.sscc.ru

В работе рассмотрена задача расчета методом Монте-Карло функции передачи контраста яркости через светорассеивающую среду при наличии в ней случайной преломляющей границы. Интерес к таким задачам связан с исследованием возможностей дистанционного обнаружения и распознавания подводных объектов при наблюдении поверхности океана в оптическом диапазоне

с аэрокосмических или приводных летательных аппаратов [1]. Наличие между наблюдателем и наблюдаемыми объектами светорассеивающей среды приводит к радиационному искажению истинных характеристик объектов. Исследование влияния светорассеяния на качество передачи изображения основано на принципах теории линейных систем [2]. Оптимальным фильтром искажений пространственной структуры яркости изображения для линейных изопланатических систем является так называемая оптическая передаточная функция (ОПФ). Алгоритмы расчета методом Монте-Карло ОПФ таких систем были рассмотрены, например, в [3]. В отличие от решаемой в [3] задачи рассматриваемая в данной работе система является строго говоря нелинейной из-за наличия случайной преломляющей излучение взволнованной поверхности океана. Нелинейность возникает вследствие эффектов преломления и переотражения излучения с одних неровных элементов поверхности на другие части поверхности. В приближении лучевой оптики описана статистическая модель процесса переноса оптического излучения в виде интегрального уравнения для плотности столкновений в системе океан-атмосфера для полной и упрощенной "фацетной" моделей случайной взволнованной поверхности океана. На основе аналоговых и весовых алгоритмов статистического моделирования процессов переноса оптического излучения выполнена серия численных расчетов ОПФ системы океан-атмосфера и численно оценено влияние взволнованной поверхности океана на качество передачи изображения подводных объектов.

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания No 0315-2016-0002, при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 0315-2016-002).

Список литературы

1. Гильберт Г. Д., Долин Л. С., Левин И. М., Лучинин А. Г., Стюарт С. Влияние условий освещения на видимость морского дна // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. №1. С.126-135.

2. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. М.: Мир, 1971. 495 с.

3. Б. А. Каргин, А.Е. Лаврентьев, С.М. Пригарин. Система автоматизации статистического моделирования радиационного поля отмосферы // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т.12. №3. С 238-245.

Теоретический и численный анализ начально-краевой задачи для уравнения переноса излучения с френелевскими и ламбертовскими условиями сопряжения

А. Ким[1,2], И. В. Прохоров[1,2]
Дальневосточный федеральный университет
Институт прикладной математики ДВО РАН
E-mail: prokhorov@iam.dvo.ru

Рассматривается задача Коши для нестационарного уравнения переноса излучения в трехмерной многокомпонентной среде с обобщенными условиями сопряжения на границах раздела [1-3]. Доказана однозначная разрешимость начально-краевой задачи в случае, когда оператор сопряжения представляет собой линейную комбинацию операторов френелевского и ламбертовского типа. Для численного нахождения решения построены различные модификации метода Монте-Карло, использующие ветвление траекторий и оптимизацию при выборе переходных плотностей в соответствующих цепях Маркова. Проведены вычислительные эксперименты применительно к задаче визуализации трехмерных сцен [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 14-11-00079) и РФФИ (код проекта 18-31-00050).

Список литературы

1. Прохоров И.В., Сущенко А.А., Ким А. Начально-краевая задача для уравнения переноса излучения с диффузными условиями сопряжения //Сибирский журнал индустриальной математики. 2017. Т. 20. № 1. С. 75-85.

2. Kim A., Prokhorov I.V. The branching Monte Carlo methods for the Cauchy problem of the radiative transfer equation with Fresnel matching conditions //Proceedings of the International Conference "Days on Diffraction 2017". IEEE Conferences. 2017. P. 168–173.

3. Ким А., Прохоров И.В. Теоретический и численный анализ начально-краевой задачи для уравнения переноса излучения с френелевскими условиями сопряжения //Журнал вычислительной математики и математической физики. 2018. Т. 58. № 5. С. 762-777.

Исследование сходимости алгоритмов методов Монте-Карло восстановления матрицы рассеяния

А. С. Корда, С. А. Ухинов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: asc@osmf.sscc.ru

Рассматривается задача восстановления компонент аэрозольной матрицы рассеяния атмосферы по наземным наблюдениям поляризованного излучения. Для решения этой задачи в были предложены итерационные алгоритмы, основанные на численном статистическом моделировании процесса переноса, где значения неизвестных компонент матрицы рассеяния последовательно уточняются путем выделения вклада однократного рассеяния в наблюдаемый вектор Стокса многократно рассеянного излучения.

В данной работе исследуется сходимость предложенных методов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-01-00823, 18-01-00356,18-31-00213).

Расчет частотных характеристик стохастической модели динамики ударных волн методом Монте-Карло

Г. Г. Лазарева, С. С. Артемьев, В. Д. Корнеев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: ssa@osmf.sscc.ru

В работе методом Монте-Карло исследуется модель динамики ударных волн, задаваемая системой стохастических дифференциальных уравнений с частными производными. Исследуется взаимодействие ударных волн большой интенсивности и длительности с пузырьками газа [1]. Для параметрического анализа численных решений предлагается использовать частотные характеристики, обобщающие решение параболического уравнения [2]. Приводятся результаты численных экспериментов, проведенных на многопроцессорном компьютере НКС–1П Сибирского Суперкомпьютерного центра при ИВМиМГ СО РАН. Проведенные расчеты позволяют оценить разброс плотности, скорости и давления за счет учета случайных возмущений в формуле давления. Увеличение диапазона изменения скорости и давления со временем говорит о неустойчивости модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (код проекта 17-01-00698 А).

Список литературы

1. Вшивков В. А., Лазарева Г. Г., Численное моделирование динамики ударных волн в пузырьковых системах. // Вычислительные технологии. 2003. Т. 8 № 5. С. 29–39.

2. Артемьев С. С., Марченко М. А., Корнеев В.Д., Якунин М.А., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Анализ стохастических колебаний методом Монте-Карло на суперкомпьютерах. Изд-во СО РАН, Новосибирск, 2016.

О k-выборочных критериях проверки однородности законов

Б. Ю. Лемешко, И. В. Веретельникова
Новосибирский государственный технический университет
E-mail: lemeshko@ami.nstu.ru

Методами статистического моделирования исследуются распределения статистик и мощность множества k-выборочных критериев однородности законов. Построены модели предельных распределений k-выборочного критерия однородности Андерсона–Дарлинга. Предложены новые k-выборочные критерии однородности, базирующиеся на использовании двухвыборочных критериев Смирнова, Лемана – Розенблатта и Андерсона – Дарлинга. Построены модели предельных

распределений для предложенных критериев. Проведен сравнительный анализ мощности множества k-выборочных критериев, включая критерии Жанга с тремя различными статистиками.

Построенные модели предельных распределений статистик для k-выборочных критериев однородности (Андерсона – Дарлинга и предложенных в работе) дают возможность при использовании критериев осуществлять корректные и информативные выводы с вычислением достигнутого уровня значимости p-value.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственной работы «Обеспечение проведения научных исследований» (№ 1.4574.2017/6.7) и проектной части государственного задания (№ 1.1009.2017/4.6).

Численные условные спектральные модели океанических волн-убийц: примеры и сходимость

К. В. Литвенко[1], С. М. Пригарин[1,2,]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: litchristina@gmail.com

Аномально высокие волны, известные как волны-убийцы, представляют собой малоизученное явление, существование которого долгое время ставилось под сомнение. На сегодняшний день идет интенсивное изучение этого явления, однако единой теории экстремальных волн до сих пор не существует. В работах [1, 2] для численного моделирования гигантских волн предложены условные спектральные модели. В данной работе условные спектральные модели используются для имитации морской поверхности с аномально высокими волнами различной формы ("солитон", "белая стена", "три сестры"). Доказана функциональная сходимость условных спектральных моделей поверхности морского волнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00159).

Список литературы

1. Литвенко К.В., Пригарин С.М., Численные стохастические модели поверхности морского волнения и гигантских океанических волн, Сибирский журнал вычислительной математики, 2014, Т.17, №4, С.349-361.

2. Prigarin S.M., Litvenko K.V., Conditional spectral models of extreme ocean waves, Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, 2012, V.27, No.3, P.289-302.

Исследование критичности процесса размножения частиц в случайной среде на основе рандомизированной гомогенизации

Г. З. Лотова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: lot@osmf.sscc.ru

Настоящая работа посвящена разработке алгоритмов для оценки вероятностных моментов параметров критичности процесса переноса частиц с размножением в случайной среде, а также вероятности надкритичности. С этой целью разработан метод на основе специальной рандомизированной гомогенизации с дополнительным умножением на "функцию ценности". Предложенный способ гомогенизации дает более точные результаты, чем разработанный в [1] способ на основе линеаризации с использованием производных.

Полученные формулы были протестированы с помощью расчетов методом Монте-Карло вероятностных моментов эффективного коэффициента размножения частиц и его производных по параметру среды. Такие производные эффективно оцениваются методом Монте-Карло путем дифференцирования вспомогательных весов [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проекты 0315-2016-0002, 0315-2016-0010).

Список литературы

1. Lotova G.Z., Mikhailov G.A. Moments of the Critical Parameters of the Transport of Particles in a Random Medium // Computational Mathematics and Mathematical Physics, V. 48, № 12, 2008, pp. 2254-2265.

2. Lotova G.Z., Mikhailov G.A., Estimates of the fluctuations of criticality parameters in the particle transport process in a random medium // Russ.J.Numer.Anal.Math.Modelling, Vol.19, No. 2, 2004, p. 173-183.

Моделирование двумерных распределений, связанных с копулами

О. А. Махоткин
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: oam@osmf.sscc.ru

В докладе рассматривается задача моделирования двумерных случайных переменных, для которых известны только маргинальные распределения и некоторые корреляционные характеристики. Используя копулу, можно получить полноценное двумерное распределение с теми же частными характеристиками. Копулой называется двумерная функция распределения, имеющая равномерные маргинальные распределения. Для моделирования распределений, связанных с копулами, предлагается использовать аппроксимацию их плотностей вероятности билинейными конечными элементами. Увеличивая число узлов сетки, используемой для приближения плотностей, можно сделать погрешность аппроксимации малой по сравнению с погрешностью замены исходного распределения копулой. Для исследования эффективности предлагаемого алгоритма были проведены компьютерные эксперименты с использованием тестового двумерного полиномиального распределения. Для приближения использовалась копула Моргенштерна. Проведено сравнение эффективности моделирования случайных переменных методом обращения, исключения и аппроксимацией. Метод аппроксимации оказался примерно в четыре раза быстрее метода исключения. Экспериментально подтверждено, что при использовании в методе аппроксимации алгоритма Walker'а время моделирования одной реализации случайных переменных не зависит от размера используемой равномерной сетки .

Универсальная модификация векторного весового метода подобных траекторий с конечной трудоемкостью

И. Н. Медведев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: min@osmf.sscc.ru

Весовой метод зависимых испытаний или весовой метод подобных траекторий (МПТ) позволяет строить оценки функционалов на одной марковской цепи одновременно для заданного диапазона параметров задачи. При выборе подходящей цепи Маркова необходимо учитывать дополнительные условия, обеспечивающие конечность трудоемкости весового МПТ.

В работе изучается вопрос о конечности трудоемкости векторных весовых метода подобных траекторий (МПТ) для оценки линейных функционалов от решений набора систем интегральных уравнений 2-го рода. Построена универсальная модификация векторного весового МПТ с ветвлением траектории цепи соответственно элементам матричных весов. Доказано, что трудоемкость построенного алгоритма ограничена, если ограничены базовые функционалы. Представлены результаты численных расчетов с использованием модифицированной весовой оценки для некоторых задач теории переноса излучения с учетом поляризации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 18-01-00356 а, 16-01-00530 а, 17-01-00823 а).

Численные стохастические спектральные модели периодически коррелированных метеорологических временных рядов

А. М. Медвяцкая
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: medvyatskaya@mail.ru

Данная работа посвящена вопросам, связанным с использованием периодически коррелированных процессов для моделирования рядов температуры воздуха. В докладе представлен приближенный алгоритм моделирования периодически коррелированных метеорологических временных рядов на основе модификации нерандомизированного спектрального представления случайного процесса непрерывного аргумента. Модификация этого представления состоит в том, что вместо спектральной плотности для стационарного процесса используется смесь спектральных плотностей.

Показано, что корреляционные функции для этих процессов обладают периодическими свойствами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00149-а), правительства Новосибирской области (грант No 17-41- 543338 р-мол-а) и Президента Российской Федерации (грант No МК-659.2017.1).

Список литературы

1. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 320с.

2. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005. С. 252.

Численное стохастическое моделирование временных рядов комплексов метеорологических элементов с учетом суточной нестационарности

А. М. Медвяцкая, О. В. Сересева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: seresseva@mail.ru

В работе рассматривается модель совместных нестационарных негауссовских периодически коррелированных временных рядов приземной температуры воздуха и относительной влажности, с учетом суточной периодичности одномерных распределений и периодической специфики матричной корреляционной функции. Для временных рядов температуры воздуха используется гауссовское приближение [1]. Одномерное распределение временных рядов влажности аппроксимируется бета распределением с параметрами, периодически зависящими от времени. Для моделирования используется метод обратных функций распределения. Латентный гауссовский периодически коррелированный процесс строится на основе специальной векторной модели авторегрессии, учитывающей периодичность авто- и взаимных корреляционных связей. Параметры модели оцениваются по данным наблюдений для двух метеорологических станций, расположенных различных климатических зонах. Приводятся оценки характеристик аномальных сочетаний этих параметров с учетом суточного хода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (коды проектов 7-47-540342, 17-41-543338).

Список литературы

1. Derenok K.V., Ogorodnikov V.A. Numerical simulation of significant long-term decreases in air temperature // Russ. J. Num. Anal. Math. Modelling, 2008, Vol. 23, No 3. P. 223–237.

Одномерный подход к моделированию течения разреженной смеси водорода и метана через нагретый цилиндрический канал с учетом газофазных реакций

М. Ю. Плотников[1], Е. В. Шкарупа[2]
[1]Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: plotnikov@itp.nsc.ru

В последние годы развивается метод синтеза алмазных структур из газовой фазы, основанный на термической активации газа при контакте с протяженными поверхностями при течении в канале. Его отличительная особенность – гетерогенная диссоциация водорода при многократном столкновении его молекул с горячей поверхностью. Процесс осаждения алмазных структур газофазным методом представляет собой сложную многопараметрическую задачу. Результат зависит от концентраций сталкивающихся с поверхностью подложки атомов водорода и фрагментов развала углеродсодержащих газов. Для приближенного расчета изменения состава газа при течении через цилиндрический канал был предложен одномерный подход, включающий алгоритм прямого статистического моделирования (ПСМ) для моделирования течения метана с водородом с учетом гетерогенных реакций и расчет изменения состава смеси вследствие газофазных реакций на основе решения уравнений равновесной химической кинетики. Для сравнения был реализован расширенный алгоритм метода ПСМ, включающий моделирование газофазных реакций. Проведено сравнение результатов, полученных двумя алгоритмами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 18-08-00295, 16-01-00530).

Применение проекционного метода для численного решения нелинейного уравнения Больцмана методом Монте-Карло

С. В. Рогазинский
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: svr@osmf.sscc.ru

В работе проекционный метод используется для построения алгоритма статистического моделирования для решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана. В качестве ортонормированного базиса использовались полиномы Эрмита.

Алгоритм верифицировался на решении задачи однородной релаксации газа с известным решением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-01-00356, 16-01-00530).

Список литературы

1. Бобылев А. В. О точных решениях уравнения Больцмана // ДАН СССР, 1975, Т. 225, №6, С. 1296-1299.
2. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. М.: Наука, 1967.
3. Mikhailov, G. A., Rogazinskii, S. V. Probabilistic model of many-particle evolution and estimation of solutions to a nonlinear kinetic eqution // Russian journal of numerical analysis and mathematical modelling, 2012, V. 27, No.3, P.229-242.
4. Михайлов Г.А, Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М.: Издательский центр ``Академия", 2006
5. Иванов М.С., Рогазинский С.В. Экономичные схемы статистического моделирования течений разреженного газа // Математическое моделирование. 1989, т.1, С. 130-145.
6. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 2004

Векторные алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования процесса переноса поляризованного излучения

С. А. Роженко[1], Г. А. Михайлов[1,2], С. М. Пригарин[1,2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: s.rozhenko@sscc.ru

Известны два варианта весовых векторных алгоритмов статистического моделирования переноса поляризованного излучения: удобный для параметрического анализа результатов "стандартный" алгоритм и обеспечивающий конечность дисперсий оценок "адаптивный" алгоритм [1, 2, 3]. Использование "адаптивного" алгоритма осложняется необходимостью моделирования не известной заранее переходной плотности; оптимальный вариант применяемого в этом случае алгоритма "метода исключения" представлен в настоящей работе. Построен новый комбинированный алгоритм с конечной дисперсией, а также алгоритм со "смешанной" переходной плотностью, сравнительная эффективность которого численно исследована для задачи переноса излучения с молекулярной матрицей рассеяния. Показано, что в случае более реального аэрозольного рассеяния стандартный алгоритм может быть практически подходящим даже в случае сравнительно большой оптической толщины слоя среды. С этой целью для различных значений толщины построены оценки спектрального радиуса матрично-интегрального оператора, определяющего средние квадраты стандартных оценок компонентов векторной интенсивности рассеянного излучения. Для оценки углового распределения векторной интенсивности рассеянного излучения разработана статическая ядерная оценка с учетом векторных весов проходящих квантов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 16-01-0530, 17-01-00823, 18-01-00356, 18-31-00213 мол, 16-01-00145, 18-01-00609).

Список литературы

1. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Новосибирск: Наука, 1976. [Engl. trans.: Springer, 1980].
2. G. W. Kattawar and G. N. Plass, Appl. Opt. 7 (8), 15191527 (1968).
3. M. Kerscher, W. Krichbaumer, M. Noormohammadian, and U. G. Oppel, Opt.

Mesh free stochastic algorithm for anisotropic transient diffusion imaging of dislocations and defects in semiconductors

K. K. Sabelfeld, A. E. Kireeva
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
E-mail: karl@osmf.sscc.ru

In this presentation we implement and apply to practically relevant imaging problems in semiconductors a stochastic algorithm suggested in [1] for solving anisotropic transient diffusion equations where the random walk is carried out on arbitrary cubes or parallelepipeds inside the domain. The method is mesh free both in space and time, and is well applied to solve high-dimensional problems with complicated domains. The algorithm is based on tracking the trajectories of the diffusing particles exactly in accordance with the probabilistic distributions derived from the explicit representation of the relevant Green functions for a cube and parallelepiped. It can be conveniently used not only for the solutions, but also for a direct calculation of fluxes to any part of the boundary without calculating the whole solution in the domain. Applications in exciton transport in semiconductors and cathodoluminescence imaging methods are discussed. In particular, we calculate the time resolved cathodoluminescence intensity for a set of dislocations in semiconductors considered in our recent study [2]. The transients of the cathodoluminescence are used to solve the inverse problem of recovering the diffusion length of excitons and the dislocations density.

Support of Russian Science Foundation under Grant 14-11-00083 is kindly acknowledged.

References

1. Sabelfeld K.K. Stochastic simulation methods for solving isotropic and anisotropic drift-diffusion equations in cathodoluminescence imaging, submitted to *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 2018.*

2. Sabelfeld K.K., Kireeva A. A. Probability distribution of the life time of a drift-diffusion-reaction process inside a sphere with applications to transient cathodoluminescence imaging, *Monte Carlo Methods and Applications*, v.24 (2018), N2, 79 – 92.

Бесконечно малые в вычислениях

Л. Я. Савельев
Новосибирский государственный университет,
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
E-mail: savelev@math.nsc.ru

Рассмотрим базовую мультипликативную группу $\mathcal{B} = (\varepsilon^i)$ с единицей $\varepsilon^0 = 1$, образованную целыми степенями последовательности $\varepsilon = (1/n)$. Лорановские полиномы с вещественными (комплексными) коэффициентами и переменной ε образуют кольцо $\mathcal{Z}$ без делителей нуля. Назовем секвенциальными числами (s-числами) элементы его поля частных $\mathcal{S}$. С каждым s-числом естественно связать рациональную функцию, заменяя переменную на вещественную (комплексную). Секвенциальные числа делятся на постоянные и переменные. Постоянные числа отождествляются со своими значениями.

Поле $\mathcal{S}$ изоморфно подполю поля формальных степенных рядов. Наименьший номер $m = \mathrm{ord}(x)$ ненулевого коэффициента s-числа $x = \sum_{i=m}^{\infty} a_i \varepsilon^i$ называется порядком этого числа. Порядок для поля $\mathcal{S}$ определяется стандартно: $x > 0 \Leftrightarrow a_m > 0$ и $x > y \Leftrightarrow x - y > 0$. Он согласован с поведением в окрестности нуля представляющих s-числа рациональных функций. Для каждого s-числа существует строго большее базовое s-число. Все s-числа делятся на бесконечно малые $\mathcal{O}$ (ord $(x) > 0$ и ноль), конечные $\mathcal{F}$ (ord $(x) = 0$ и ноль), бесконечно большие $\mathcal{G}$ (ord $(x) < 0$). Каждое конечное число равно сумме вещественного и бесконечно малого. Все бесконечно малые числа между строго отрицательными и строго положительными вещественными. У множества $\mathcal{O}$ нет точных граней.

Введение бесконечно малых чисел позволяет дать простые алгебраические определения предела и дифференциала, рассматривать функции с бесконечно малыми и большими значениями на бесконечно малых и больших интервалах, сглаживать разрывные функции и производить последовательные вычисления по достаточно простым алгоритмам. Добавление бесконечно малых слагаемых к коэффициентам позволяет учитывать эмпирические и вычислительные погрешности в содержательных задачах со сложными вычислениями. Сглаженные дискретные распределения, бесконечно малые и бесконечно большие плотности, могут оказаться полезными в различных стохастических задачах.

Оценки статистических характеристик пространственно-временных метеорологических полей

С. С. Скворцов, В. А. Огородников, Н. А. Каргаполова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: skvortsovstepan54@gmail.com

В докладе представлены результаты исследования статистических характеристик стохастических пространственно-временных полей среднесуточной приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков. Исследования проводились на основе данных реальных наблюдений на 53 метеорологических станциях Европейской части Российской Федерации за 50 лет.

Для построения параметрических стохастических моделей метеорологических полей исследованы вопросы аппроксимации одномерных распределений случайных полей аналитическими функциями и проведен анализ их пространственно-временной корреляционной структуры

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00149-а) и Президента Российской Федерации (грант No МК-659.2017.1).

Параллельные алгоритмы численного решения стохастического двумерного уравнения теплопроводности методом Монте-Карло на суперкомпьютере (MATHGEO18)

Д. Д. Смирнов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: smirnovdd@mail.ru

С помощью метода Монте-Карло исследуется поведение численного решения стохастического двумерного уравнения теплопроводности [1]. Для высокоточной оценки вероятностных характеристик от решения этого уравнения требуется проводить дискретизацию с малыми шагами и моделировать миллионы реализаций. Эти требования приводят к тому, что решение этой задачи за приемлемое время возможно только с помощью параллельных алгоритмов на суперкомпьютере. Все расчеты проводились на суперкомпьютере с помощью комплекса программ ParSPDE, основанного на комплексе программ AMIKS, в который встроена библиотека ParMONC, предназначенная для распараллеливания реализаций [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-01-00698, 18-01-00599).

Список литературы

1. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы математической физики. М.: Научный мир, 2000.
2. Марченко М. А., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Комплекс программ AMIKS для численного решения СДУ методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // Вычислительные технологии. 2017. Т. 22, № 3. С. 61–70.

Электрический каротаж в многомасштабной среде с логарифмически нормальной электропроводностью

О. Н. Соболева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: Olga@nmsf.sscc.ru

В рамках теории подсеточного моделирования получены уравнения для эффективных коэффициентов случайных полей с логарифмически-нормальным распределением для электропроводности изотропной фрактальной среды с учетом членов разложения второго порядка в теории возмущений относительно масштаба измерения. Сравниваются результаты теоретического и численного моделирования с результатами полученными другими методами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002).

Использование полусферических гармоник для оценки двунаправленных угловых характеристик излучения с учетом поляризации

Н. В. Трачева, С. А. Ухинов
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: tnv@osmf.sscc.ru

В работе рассматривается алгоритм метода Монте-Карло для оценки двунаправленных угловых характеристик рассеянного поляризованного излучения. Данный алгоритм построен на основе проективного разложения векторной функции углового распределения потока излучения на заданной поверхности по некоторому ортонормированному базису функций [1]. В качестве базиса мы предлагаем использовать полусферические гармоники, ортогональные с весом $\mu = \cos\theta$, где θ – широта, отсчитываемая от нормали к поверхности, построенные на основе присоединенных полиномов Якоби [2]. Данный подход позволяет получить численные оценки двунаправленных угловых распределений интенсивности и степени поляризации излучения, пропущенных и отраженных оптически толстыми слоями рассеивающего и поглощающего вещества.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-01-00823, 18-01-00356, 18-31-00213) и в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002).

Список литературы

1. Tracheva N.V., Ukhinov S.A. Two-dimensional projection Monte Carlo estimators for the study of angular characteristics of polarized radiation // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. T. 33, № 3. C. 187–199.

2. Machotkin, O. A., Analysis of radiative transfer between surfaces by hemispherical harmonics // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 1996. T. 56, № 6. C. 869–879.

Применение метода Монте-Карло для исследования динамики аэрозольных кластеров в разреженной газовой среде

А. А. Черемисин[1,2], А. В. Кушнаренко[1]
Сибирский федеральный Университет
[2]Красноярский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения
E-mail: aacheremisin@gmail.com

Для моделирования гравитофотофоретического движения сложных аэрозольных кластеров и частиц в разреженной газовой среде, был разработан алгоритм расчета силового воздействия, которое оказывает газовая среда на аэрозольный кластер (фотофоретическая сила и вязкое трение, их моменты). Алгоритм основан на приближении свободномолекулярного режима газокинетической теории и оценке специальных матриц переноса методом Монте-Карло [1].

Алгоритм позволил рассчитать также фотофоретическое взаимодействие аэрозольных частиц и кластеров и показать, что возникающее при освещении дальнодействующее газокинетическое отталкивание между частицами является сильным и способно оказать существенное влияние на скорость их коагуляции [2].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (код проекта 16-05-00901а).

Список литературы

1. Cheremisin A. A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clusters in a rarefied gas medium by the Monte Carlo method // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2010. V. 25, I.3. P. 209–233.

2. Cheremisin A. A., Kushnarenko A. V. Photophoretic interaction of aerosol particles and its effect on coagulation in rarefied gas medium // Journal of Aerosol Science. 2013. V. 62. PP. 26–39.

Метод лагранжевых точек для исследования переноса в атмосфере при значительной погрешности в измерениях скорости ветра

А. А. Черемисин[1,2], П. В. Новиков[2]
[1]Сибирский федеральный университет
[2]Красноярский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения
E-mail: aacheremisin@gmail.com

В настоящее время для исследования переноса загрязнений в атмосфере используются лагранжевы модели, в рамках которых рассчитываются траектории движения воздушных масс по измеренным со спутников полям скоростей ветра. Для учета стохастической природы атмосферы рассматривают ансамбли - пучки траекторий, которые идут от источника загрязнения и расширяются за счет турбулентного перемешивания (A. Stohl et al., 2005).

Проблема заключается в грубости пространственно-временной сетки, а еще в большей степени в погрешности самих измерений скорости ветра, а также в учете перемешивания атмосферы мезомасштабного характера.

В рамках статистического моделирования нами были рассмотрены особенности вероятностного поведения траекторий лагранжевых точек. В результате в 2007 была предложена оригинальная методика расчета протяженных траекторий для стратосферы на основе адаптивного подхода и мето-

да ансамблей. При старте траекторий проводится мезомасштабное размытие источника аэрозоля, а результаты траекторного анализа рассматриваются на синоптическом масштабе.

Проверка методики была осуществлена на основе лидарных наблюдений аэрозольных слоев в г. Томске, спутниковых данных по распространению дисульфида серы после извержения целого ряда вулканов в Северном полушарии в 2008-2017 годах, а также наблюдений аэрозоля, возникшего после вторжения в атмосферу челябинского метеорита.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-05-00901а).

Алгоритм блуждания по сферам для решения неизотропного уравнения диффузии

И. А. Шалимова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: ias@osmf.sscc.ru

В работе решается начально-краевая задача для нестационарного уравнения неизотропной диффузии. На основе полученных представлений вероятностей первого выхода на границу области по пространству [1] и времени стоится алгоритм блуждания по сферам и подсчитываются искомые функционалы, такие как интенсивность катодо-люминисценции, поток на дислокации в полупроводниках. Задача решалась в полупространстве, в качестве дислокаций использовались цилиндры. Настоящая работа является продолжением работы [1], где рассматривался стационарный случай, и [2] - для изотропной диффузии и нестационарного случая.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00083).

Список литературы

1. Shalimova I.A., Sabelfeld K.K. Random walk on spheres method for solving anisotropic drift-diffusion problems. MCMA, 24 (2018), N1, 43-54

2. Sabelfeld K.K. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems. MCMA, 23 (2017), N3, 189-212.

Анализ осциллятора Ван-дер-Поля с пуассоновской составляющей методом статистического моделирования

М. А. Якунин
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: yma@osmf.sscc.ru

Настоящая работа является продолжением работы [1] по исследованию осциллирующих решений стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) и оценок функционалов от таких решений. Для осциллятора Ван-дер-Поля путем статистического моделирования траекторий решения СДУ численно исследовано влияние параметров пуассоновской составляющей на распределение решения СДУ. Рассмотрены случаи постоянной и центрированной случайной величины скачков пуассоновской составляющей. Исследована оценка плотности вероятности численного решения СДУ Ван-дер-Поля в стационарном режиме.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0002).

Список литературы

1. Артемьев С.С., Якунин М.А. Параметрический анализ осциллирующих решений СДУ с винеровской и пуассоновской составляющими методом Монте-Карло // Сиб. журн. индустриальной математики. 2017. Т. 20, № 2. С. 3–14.

Секция 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА И ЗАДАЧ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Условия формирования и диссоциации метангидратов на полуострове Ямал по модельным расчетам

М. М. Аржанов[1], В. В. Малахова[2], И. И. Мохов[1,3]
[1]Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[3] Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
E-mail: malax@sscc.ru

На основе результатов моделирования термического состояния многолетнемерзлых грунтов определены термобарические условия формирования, стабильности и диссоциации континентальных газовых гидратов по модельным расчетам в течение последних 130 тыс. лет при различных палеосценариях, учитывающих покровное оледенение, трансгрессию моря и повышенные геотермальные потоки. Согласно результатам численных расчетов, в настоящее время в толще мерзлых пород возможно существование реликтовых газовых гидратов на глубинах менее 100–150 м в метастабильном состоянии. Эти реликтовые метангидраты сравнительно неглубокого залегания могли "пережить" потепление в оптимуме голоцена и сохраниться при отрицательных температурах в ММП даже в условиях повышенного геотермального потока. Увеличение интенсивности потока тепла приводит к полному исчезновению зоны стабильности гидратов метана в периоды трансгрессий, что может стать причиной образования скоплений метана в слое мерзлого грунта. При превышении предельного давления, которое выдерживают мерзлые породы, может произойти выброс газа в атмосферу [1].

Работа выполнена в рамках проекта, поддержанного Министерством образования и науки РФ (14.616.21.0082) с использованием результатов, полученных в рамках проектов РФФИ и программ РАН.

Список литературы

1. Аржанов М. М., Мохов И. И., Денисов С.Н. // Доклады АН. 2016. Т. 468. № 5. С. 572-574.

Моделирование климатических изменений с помощью совместной модели климатической системы PlaSim-ICMMG 1.0

И. В. Боровко[1,2], Г. А. Платов[1]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт Росгидромета
E-mail:irina@ommfao1.sscc.ru

Для прогноза климатических изменений необходима совместная модель динамики атмосферы и океана. В ИВМиМГ СО РАН была разработана модель климатической системы PlaSim-ICMMG 1.0. За основу были взяты модель атмосферы промежуточной сложности Planet Simulator и глобальная модель океана, разработанная в нашем институте. Модель была протестирована на нескольких численных экспериментах. PlaSim-ICMMG 1.0. удовлетворительно воспроизводит основные особенности климатической системы и может быть использована для оценки климатических изменений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-05-00382).

Optimization of anti-wave protection of port water areas using numerical simulation

A. Vazhenin[1], An. Marchuk[1], K. Hayashi[2]
[1]University of Aizu
[2]Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
E-mail: vazhenin@u-aizu.ac.jp

Numerical models for tsunami propagation use two types of boundary conditions: fully reflective (at a coastline) and open (providing a free exit of a wave off the computational domain). Basing on numerical modeling of the long wave propagation, the new algorithm has been developed implementing the partial reflection of the wave energy by a submerged barrier. The proposed method uses the inner boundary condition just behind a submerged vertical barrier. The results, obtained after the one-dimensional modeling of wave propagation over such a barrier demonstrates a good correlation with laboratory experiments in a flume [1]. Integrating with the original digital bathymetry editor [2], the algorithm allows determining the optimal size, position and height of the proposed construction mitigating the tsunami impact on crucial objects at a shore. The algorithm proposed was implemented as applied to some harbors and ports of the north-east coast of Japan.

References

1. Fridman A. M., Alperovich L. S., Shemer L., Pustil'nik L., Shtivelman D., Marchuk A. G., Liberzon D. Tsunami wave suppression using submarine barriers // Physics-Uspekhi, 2010, V. 53 (8), P. 809–816.
2. Hayashi K., Vazhenin A., Marchuk A. Source Data and Bathymetry Editor in Tsunami Modeling Environment // New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques, 2016, V. 286, P. 235-245.

Self-similar formation of the thermodynamical spectrum in Lieth model of turbulence

V. N. Grebenev[1], S. V. Nazarenko[2], S. B. Medbedev[1]
[1]Institute of Computational Technologies SB RAS
[2]Universite Cote d'Azur Nice
E-mail: vngrebenev@gmail.com

The appearance of a thermodynamic part of the energy spectrum of turbulence for large wave numbers was established numerically in the paper [1]. In the frame of the Leith model of turbulence [2] this result is proven analytically with the construction of a self-similar ansatz. Moreover, we investigate the phenomenon of "secondary dissipation" spectrum depletion under the transition to the thermalised range of spectrum.

References

1. Nazarenko S.V., .Grebenev V.N. Self-similar formation of the Kolmogorov spectrum in the Leith model of turbulence// Phys. A: Math. Theor. 2017. Vol. 50(3), P. 035501-035518.
2. Leith C. Diffusion approximation to inertial energy transfer in isotropic turbulence// Phys. Fluids. 1967. Vol. 10, 1409-1419.

Моделирование миграции радионуклидов от пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов в расчетном коде GeRa

Ф. В. Григорьев[1], А. В. Плёнкин[2], И. В. Капырин[1]
[1]Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН
[2]Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
E-mail: grig-fedor@yandex.ru

Геомиграционное моделирование является основным средством подтверждения долговременной безопасности пунктов глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО). В таком расчете приходится учитывать процессы, происходящие на различных пространственных масштабах, поэтому обычно создаются две модели миграции: модель ближней зоны (описывает процесс выхода радионуклидов за пределы системы инженерных барьеров) и модель дальней зоны (описывает процесс движения радионуклидов в геологической среде до границ биосферы).

В данной работе предлагается дополнить эти две модели расширенной моделью ближней зоны, подробно учитывающей конструктивные элементы пункта захоронения, что позволяет детально описать течение подземных вод и перенос радионуклидов вблизи этих элементов. Модель создана в расчетном коде GeRa [1] для одной из концепций ПГЗРО в Нижнеканском массиве и может быть использована при сравнительном анализе различных концепций ПГЗРО и для расчета источника поступления радионуклидов для модели дальней зоны.

Список литературы

1. Капырин И.В., Иванов В.А., Копытов Г.В., Уткин С.С. Интегральный код GeRa для обоснования безопасности захоронения РАО // Горный журнал. 2015. №10. С. 44–55.

Studying the ionosphere nonlinear dynamics for the total electron content nowcasting

A. V. Zhukov[1], D. N. Sidorov[1,2], A A. Mylnikova[1], Yu. V. Yasukevich[1]
[1]Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS
[2]Institute of Energy Systems SB RAS
E-mail: dsidorov@isem.sei.irk.ru

The complex dynamical processes in the ionosphere are defined by variety of parameters including solar activity, geomagnetic activity, neutral atmosphere state. These and other parameters influence the electron density and total electron content (TEC) which are the main ionosphere parameters. The solar and geomagnetic indices are mostly used to describe the ionosphere dynamics. It is to be noted that these indices' relevance vary during the transition process. In this paper we continue our works [1,2] and propose the new method for characterisation of the key parameters' impact on the Earth ionosphere's dynamics. The method is based on the decision trees ensembles models. Our results demonstrate that the importance of 24-hrs exponentially averaged TEC is one of the main parameters influencing the ionosphere dynamics. It implies the strong meteorological process influence as well 24-hour ionosphere stationarity. Joint increase in the relevance of the geomagnetic and solar indices at the midlatitudes pointed out the multiplicative character of these indices influence on TEC.

This work was performed under the Russian Science Foundation Grant №17-77-20005.

References

1. Zhukov A., Sidorov D., Mylnikova A., Yasyukevich Yu. Machine learning methodology for ionosphere total electron content nowcasting // International Journal of Artificial Intelligence. 2017. V.16(1). P. 144–157
2. Zhukov A.V., Sidorov D.N., Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V. Selecting the key control parameters for the ionospheric total electron content nowcasting // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. V.15(3). P. 263-272, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-263-272 (in Russian).

Моделирование комбинированной адсорбционно-каталитической системы для очистки газовых выбросов от примесей ЛОС

С. В. Зажигалов[1,2], А. Н. Загоруйко[1,2,3], Н. А. Чумакова[1,2]
[1]Институт катализа СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
[3]Новосибирский государственный технический университет
E-mail: zazhigalov@gmail.com

Адсорбционно-каталитический процесс является эффективной технологией очистки промышленных выбросов от примесей летучих органических соединений (ЛОС). Чередуются стадии адсорбции ЛОС на поверхности катализатора и последующей высокотемпературной регенерации катализатора [1]. Однако нагрев может вызывать десорбцию неокисленных ЛОС и снижение степени очистки [2]. Способом преодоления этого недостатка является применение комбинированной системы, состоящей из относительно крупных зерен адсорбента-катализатора (5–10 мм) и каталитически активных микроволокон (~10 мкм) [3].

В работе рассмотрена нестационарная двумерная модель (переменные по длине слоя и радиусу зерна) адсорбционно-каталитического процесса в описанном комбинированном слое. Учитываются массо- и теплоперенос в газовом потоке, диффузионные процессы в пористом зерне катализатора, массо- и теплообмен между газовой и твердой фазами, а также химическая реакция в зерне и на волокнистом катализаторе. Для описания процесса в порах и на внутренней поверхности зерна использованы системы уравнений параболического типа и обыкновенных дифференциальных уравнений по времени в каждой радиальной точке. Процесс в потоке газа описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями по длине слоя.

Авторами предложен алгоритм построения решения начально-краевой задачи и выполнен ее параметрический анализ.

Работа выполнена в рамках проекта ББФ № 0303-2016-0017 ИК СО РАН.

Список литературы

1. А.Н. Загоруйко. Успехи химии. 2007. Т. 76. № 7. С. 691.
2. N.V. Vernikovskaya, A.N. Zagoruiko, N.A. Chumakova, A.S. Noskov. Chem. Eng. Sci. 1999. V. 54. P. 4639.
3. S.V. Zazhigalov, N.A. Chumakova, A.N. Zagoruiko. Chem. Eng. Sci. 2012. V.76. pp. 81-89.

Топологический подход в исследовании процессов переноса субстанций

М. В. Зарецкая[1], В. В. Лозовой[2], А. Г. Зарецкий[1]
[1]Кубанский государственный университет
[2]Южный научный центр РАН
E-mail: zarmv@mail.ru

При построении современных систем регулирования качества окружающей среды необходимо применять математический аппарат, адекватно и достоверно описывающий процессы и явления, происходящие в исследуемой блочно структурированной среде. Такую возможность предоставляют методы, имеющие топологическую основу [1]. Однако при строгом следовании алгоритму оценка исследуемых параметров требует значительного времени, что недопустимо при практической реализации и принятии управленческих решений по природоохранной деятельности. В работе предложен метод построения приближенных решений систем интегральных уравнений, возникающих при исследовании топологическим методом граничных задач переноса для сред сложного строения, без ущерба точности результатов. Выполнено обоснование предложенных выводов для задач, поставленных в декартовой и криволинейных системах координат. Рассмотрено применение приближенных методов в задачах оценки качества водной среды или атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края (код проекта 16-41-230154).

Список литературы

1. Зарецкая М.В., Савченко Н.В. Моделирование установившегося процесса распространения примесей в средах сложной структуры // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 6. С.51–54.

Оценка параметров модели с помощью алгоритма ансамблевого сглаживания Калмана

Е. Г. Климова
Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: klimova@ict.nsc.ru

Оценка состояния окружающей среды по математической модели и данным наблюдений производится с помощью процедуры усвоения данных. Важной составляющей процедуры усвоения данных является оценка не только прогнозируемых величин, но и параметров, не описываемых моделью.

В докладе рассматривается алгоритм совместной оценки прогнозируемых переменных и параметров модели на основе ансамблевого фильтра Калмана. Для использования данных наблюдений из

некоторого временного интервала при оценке значений в заданный момент времени рассматривается алгоритм ансамблевого сглаживания Калмана.

В докладе предлагается обобщение ансамблевого пи-алгоритма, представляющего собой вариант стохастического ансамблевого фильтра Калмана. Обобщенный алгоритм является алгоритмом ансамблевого сглаживания, при котором ансамблевое сглаживание производится для среднего по выборке значения и затем производится трансформация ансамбля возмущений.

В докладе приводятся результаты модельных численных экспериментов по оценке параметра модели, а именно, эмиссии пассивной примеси для 1-мерной модели переноса и диффузии.

Математическая модель установления гидрологического режима Новосибирского водохранилища в безледоставный период

В. В. Кравченко, Е. Н. Голубева, Г. А. Платов, М. В. Крайнева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: kravt@omfao.sscc.ru

Представлена трехмерная численная модель для Новосибирского водохранилища, на основании которой решена задача построения картины течений и распространения тепла в водоеме в безледоставный период. Эксперимент проведен для нижней части Новосибирского водохранилища (от с. Завьялово до дамбы Новосибирской ГЭС). В качестве исходных данных использованы средние за день значения температуры воздуха, силы и направления ветра, притока из рек Обь, Каракан, Мильтюш, Бердь и Коен.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-41-220002) и программы президиума РАН №51 (код проекта 0315-2018-0016).

Исследование сезонной и межгодовой изменчивости термодинамических характеристик шельфовых вод Восточно-Сибирского сектора Арктики на основе численного моделирования

М. В. Крайнева, Е. Н. Голубева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: krayneva-m@yandex.ru

Представлена модификация численной модели динамики океана, разработанной в ИВМиМГ СОРАН с целью описания процессов, протекающих в шельфовых районах океана, в рамках крупномасштабной модели. Основой модификации является применение комбинированной численной сетки по вертикали (сигма-системы в шельфовой зоне и z-системы в глубоком океане). В рамках тестирования проводится сравнение работы двух подходов (численной модели с комбинированной сеткой по вертикали и численной модели с z-системой). Приводятся результаты численных экспериментов по расчету гидрологических характеристик шельфовой зоны Северного Ледовитого океана.

Работа подготовлена при поддержке программы президиума РАН №51 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования" и Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-05-00396, 17-05-00382).

Динамика арктических колебаний и полярного вихря при изменении климата

В. Крупчатников[1,2,4], Г. А. Платов[1,4], Ю. Мартынова[2,3], И. Боровко[1,2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт Росгидромета
[3]Институт мониторинга климатических экологических систем СО РАН
[4]Новосибирский государственный университет
E-mail: vkrupchatnikov@yandex.ru

В докладе обсуждается динамика арктических колебаний (АО) и полярного вихря (ПВ) в контексте взаимодействия динамики атмосферы в Арктике и средних широт в условиях изменения глобального климата и быстрого потепления в Арктике в нижнем слое тропосферы (за счет механизма положительных обратных связей, усиления атмосферных потоков тепла и влаги в Арктику и перенос

тепла течениями в океане). Это сложная задача, учитывая относительно короткий период наблюдения этого явления. Обсуждаются теоретические концепции и методы решения этой проблемы. Стратосферный полярный вихрь, шторм-треки, струйные течения, полярность Североатлантических и Арктические колебаний, полярные циклоны - эти объекты динамики атмосферы находятся в центре внимания доклада.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-05-00558 и 17-05-00383).

Исследование способности моделей речного стока воспроизводить гидрологические процессы в дельте реки Лены

А. И. Крылова[1], Е. А. Антипова[1], О.С. Чмеленко[2]
[1]*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*
[2]*Новосибирский государственный университет*
E-mail: alla@climate.sscc.ru

Исследуются гидродинамический метод описания неустановившегося движения воды в дельте реки Лены (нелинейная модель на основе уравнений Сен-Венана) и гидрологический метод трансформации гидрографа стока (линейная модель с сосредоточенными параметрами) [1].

Для линейной модели, описывающей связь между расходами воды в выходном и входном створах речного бесприточного участка, решение представляется в виде интеграла Дюамеля. В качестве функции влияния рассматривается аппроксимация кривой добегания, рассмотренная Калининым Г.П. и Милюковым П.И. [2].

Работа выполняется в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (код проекта 0315-2016-0004) и программы Президиума РАН (код проекта -315-2018-0016).

Список литературы

1. Калинин Г.П., Кучмент Л.С., Корень В.И. Принципы построения математических моделей формирования стока. Международный симпозиум по паводкам и их расчетам. Ленинград, 1967. С.55 - 60.

2. Калинин Г.П., Милюков П.И. Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс // Труды ЦИП. 1958. Вып 66, 72 с.

Восстановление формы начального возмущения в очаге цунами по части волнового профиля

Д. Е. Кузаков[1], М. М. Лаврентьев[1,2], Ан. Г. Марчук[3]
[1]*Новосибирский государственный университет*
[2]*Институт автоматики и электрометрии СО РАН*
[3]*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*
E-mail: dmitry.kuzakov@gmail.com

Важной характеристикой систем предупреждения о цунами является время, требуемое для анализа данных о состоянии морской поверхности для выявления возможной опасности.

Один из способов выполнения прогноза цунамиопасности на основе данных глубоководных гидрофизических датчиков заключается в следующем:

На основе измерений профиля волны выполняется восстановление начальной формы возмущения водной поверхности в очаге цунами.

По начальной форме возмущения моделируется распространение волны во всей рассматриваемой акватории.

Значительную часть времени, требуемого для обоснованного прогноза, составляет ожидание прохода волны над датчиком. Однако восстановить форму возмущения с точностью, достаточной для адекватной оценки опасности цунами, возможно и по части профиля волны. При этом возникает вопрос: какой части записи будет достаточно для выполнения предсказания опасности волны с заданной точностью? В работе описаны численные эксперименты по ее определению. Результаты позволят существенно уменьшить суммарное время, требуемое для предсказания опасности цунами.

Особенности моделирования амбиполярной диффузии F слоя Земной ионосферы

Д. В. Кулямин[1], П. А. Останин[2], В. П. Дымников[1]
[1]Институт вычислительной математики РАН (Москва), Россия
[2]Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет)
E-mail: kulyamind@mail.ru

В докладе представлена разрабатываемая в Институте вычислительной математики (ИВМ РАН) численная динамическая модель F слоя Земной ионосферы. Данная работа является частью общей задачи создания глобальной совместной модели термосферы-ионосферы ИВМ РАН (для высот 90-500 км) на основе представленной модели ионосферы с включением ее в качестве вычислительного блока в созданную модель общей циркуляции термосферы [1]. В докладе сформулирована постановка задачи для двумерной динамической модели ионосферы на основе решения уравнений движения плазмы в приближении амбиполярной диффузии в сферических геомагнитных координатах, рассмотрены ключевые особенности решаемой системы уравнений, связанные с появлением членов со смешанными производными, наличием закона сохранения и свойствами граничных условий [2]. Разработаны и реализованы два метода численного интегрирования модели: неявный итерационный метод и полунеявный на основе метода расщепления, проведена валидация численных реализаций и сравнение точности и эффективности разработанных методов на основе заданного аналитического решения. Показано, что модель воспроизводит основные особенности формирования F слоя ионосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-17-01305).

Список литературы

1. Kulyamin, D. V. and V. P. Dymnikov. A three-dimensional model of general thermospheric circulation. // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. V.28, №4, P. 353-380.

2. Ostanin P. A., Kulyamin D. V., Dymnikov V. P. Numerical modelling of the earth's ionosphere f region // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 96, no. 1. P. 012011(1)–012011(11).

Исследование геофизической турбулентности с использованием алгебраической модели напряжений Рейнольдса

Л. И. Курбацкая, А. Ф. Курбацкий
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН
E-mail: L.Kurbatskaya@omtgp.sscc.ru

Моделирование турбулентности является важным фактором в атмосферных исследованиях для описания значительного турбулентного транспорта тепла и импульса. Общий подход был предложен Меллором и Ямадой [1, 2], где была выведена хорошо известная иерархия моделей турбулентности, основанная на транспортных уравнениях для напряжений Рейнольдса и турбулентного потока тепла в атмосферном пограничном слое. Существенный прогресс был достигнут в последние годы для вывода более общих моделей из транспортных уравнений для напряжений Рейнольдса и турбулентного потока тепла. Ключевое понятие здесь - так называемое слабо равновесное приближение [3, 4], которое пренебрегает адвекцией и диффузией определенных безразмерных величин. Это приближение приводит к связанной неявной системе алгебраических уравнений для турбулентных потоков. Разрешение замкнутых уравнений для турбулентных потоков импульса и тепла с помощью символьной алгебры приводит к явной (безытерационной) алгебраической модели турбулентных потоков [5].

Недавняя попытка более основательного понимания геофизической турбулентности указала на потребность в дополнительном прогностическом уравнении для турбулентной потенциальной энергии, что позволяет проследить за превращением кинетической энергии в потенциальную с ростом устойчивости течения [6]. В свою очередь это позволило на квазиэмпирической основе учесть воздействие внутренних гравитационных волн на турбулентный перенос при возрастающей устой-

чивости атмосферного пограничного слоя, в частности [7]. В докладе дается более развернутое изложение результатов двух последних цитированных публикаций, в частности.

Работа была выполнена в рамках госзадания Института теоретической и прикладной механики СО РАН № 0323-2018-0008 и госзкадания Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН № 0315-2016-0004 и частичной поддержки РФФИ по гранту № 18-48-540005.

Список литературы

1. Mellor G. L., Yamada T. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers // J. Atmos. Sci. 1974. 31:1791–1806.

2. Mellor G.L., Yamada T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems // Rev. Geophys. Space Phys. 1982. 20:851–875.

3. Rodi W. The prediction of free turbulent boundary layers by use of a two-equation model of turbulence. 1972. PhD thesis, University of London.

4. Rodi W. A new algebraic relation for calculating the Reynolds stresses // Z Angew. Math. Mech. 1976. 56:T219–221.

5. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. Особенности вихревой диффузии импульса и тепла в устойчиво стратифицированных течениях окружающей среды // Теплофизика и аэромеханика. 2015. 22 (2): 171-185.

6. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. О вихревом перемешивании и энергетике турбулентности в устойчивом атмосферном пограничном слое // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. 48 (5): 595-602.

7. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. О турбулентном числе Прандтля в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2012. 48 (5): 595-602.2010. 46 (2): 187-196.

Современное состояние субаквальной криолитозоны и зоны стабильности метангидратов восточного сектора Арктики

В. В. Малахова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: malax@sscc.ru

В работе представлены результаты математического моделирования динамики и распространения субаквальной мерзлоты на шельфе восточной Арктики с учетом географического распределения величины геотермического потока [1]. Моделирование динамики мерзлых пород шельфа проведено с помощью математической модели, которая описывает перераспределение тепла в системе атмосфера - океан - донные отложения, дополненной уравнением диффузии соли [2]. Для исследования динамики мерзлоты и определения ее мощности на современном этапе времени используется палеогеографический сценарий, учитывающий изменения уровня океана и формирование мерзлых толщ на протяжении 400 тысяч лет [2]. Согласно проведенным расчетам толщина мерзлого слоя в донных отложениях шельфа зависит от глубины моря, геотермического потока, засоления донных отложений и составляет от 20 до 600 м. Полученная мощность мерзлоты уменьшается с увеличением расстояния от берега. Большие значения потоков тепла в областях рифтов и на внешнем шельфе приводят к более сильной деградации подводной мерзлоты. Положение верхней границы мерзлоты в донных отложениях зависит от глубины моря и содержания солей. В численном эксперименте получено, что верхняя граница ММП расположена на глубине 12 - 27 м ниже морского дна в зависимости от области шельфа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-05-00396, 17-05-00382, 18-05-00087).

Список литературы

1. Davies J. H. Global map of Solid Earth surface heat flow // Geochem. Geophyst. Geosyst. 2013. V. 14. № 10. P. 4608-4622.

2. Malakhova V.V., Eliseev A.V. The role of heat transfer time scale in the evolution of the subsea permafrost and associated methane hydrates stability zone during glacial cycles // Glob. Planet. Change. 2017. V. 157. P. 18-25.

Методы построения волновых лучей цунами

Ан. Г. Марчук
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: mag@omzg.sscc.ru

В работе представлены некоторые из методов построения волновых лучей цунами, разработанные автором в течение последних 30 лет. Методы базируются как на дифференциальных уравнениях для волнового луча, так и на геометрических построениях, учитывающих свойства волновых лучей в средах с переменной проводимостью. Также рассмотрены методы, работающие в сеточных областях, и на вариационных принципах.

Описанные методы позволяют решать задачи, связанные с кинематикой длинных волн, в том числе и оценивать амплитуду волны цунами в рамках лучевой теории. Построение волновых лучей позволяет выявлять различные особенности поведения цунами над неровным дном, а также влияние формы очага на направленность излучения волновой энергии. Методы были протестированы на полученных автором точных аналитических решениях для формы волновых фронтов и лучей над модельным рельефом дна. А формулы для оценки высот цунами лучевым методом верифицированы с помощью численного решения системы дифференциальных уравнений мелкой воды. Представленные методы могут быть использованы службами предупреждения цунами для оперативного прогноза и оптимизации расположения сети наблюдения за поверхностью океана.

К клеточно-автоматным моделям рассеяния многокомпонентных субстанций

А. В. Павлова, С. Е. Рубцов
Кубанский государственный университет
E-mail: pavlova@math.kubsu.ru

Расширить возможности изучения процессов миграции и превращения субстанций позволяет клеточно-автоматное (КА) моделирование [1], применяемое в качестве дополнения к развитым моделям и численным методам.

Работа посвящена реализации пространственных КА-моделей диффузии и трансформации субстанций. Рассмотрены следующие сценарии: поглощение одного вещества другим, независимая миграция компонентов примеси, появление нового вещества в результате взаимодействия исходных. Локальная конфигурация в виде блока из восьми кубиков определена шаблоном [2]. Реализована КА-диффузия в пространстве со сложной границей. Каждому блоку в базовой подстановке сопоставлен параметра бинарного типа, в результате чего блоки подразделяются на внутренние и граничные. Введенный параметр определяет необходимость вращения блока при выполнении базовой подстановки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-41-230175_р).

Список литературы

1. Бандман О.Л. Клеточно-автоматное моделирование пространственной динамики. Новосибирск: СО РАН. 2000. 113 с.

2. Рубцов С.Е., Павлова А.В., Савенков С.И. О клеточно-автоматных моделях конвекционно-диффузионных процессов примесей // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2016. № 2. С. 62–68.

Усвоение данных мониторинга химического состава атмосферы

А. В. Пененко
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: a.penenko@yandex.ru

Работа является продолжением исследований [1,2] по созданию системы усвоения данных мониторинга для модели переноса и трансформации атмосферных примесей. Усвоение данных химического состава осуществляется за счет оценки функции источников выбросов математической модели. Численно изучается возможность восстановления параметров источников примесей вариационными алгоритмами и использование их для прогнозирования с привлечением различной априорной информации о расположении и временном ходе мощности источников на примере Новосибирской городской агломерации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) в части разработки вариационных алгоритмов усвоения данных и Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Новосибирской обл. (код проекта 17-41-543309) в части применения к условиям г. Новосибирска.

Список литературы

1. Penenko, A.; Penenko, V.; Tsvetova, E.; Grishina, A. & Antokhin, P. Sequential Variational Data Assimilation Algorithms at the Splitting Stages of a Numerical Atmospheric Chemistry Model // Large-Scale Scientific Computing, Springer International Publishing, 2018 , P. 536-543.

2. Пененко, А.; Мукатова, Ж.; Пененко, В.; Гочаков, А. & Антохин, П. Численное исследование прямого вариационного алгоритма усвоения данных в городских условиях // Оптика атмосферы и океана, 2018, 31, 456–462.

Усвоение данных алгоритмами на основе ансамблей решений сопряженных уравнений

А. В. Пененко
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: a.penenko@yandex.ru

В оперативной практике усвоения данных зачастую используются алгоритмы вариационного типа с применением функционалов Тихонова. Эти алгоритмы экономичны по количеству используемой памяти и достаточно универсальны, однако их распараллеливание возможно только на уровне решения прямых и сопряженных задач при вычислении градиента целевого функционала. В данной работе вариационный алгоритм решения обратной задачи поиска источников в рамках схемы усвоения типа 4DVAR заменяется на алгоритм на основе решения квазилинейных уравнений с использованием операторов чувствительности [1,2]. В свою очередь, эти операторы строятся как агрегаты из ансамбля решений сопряженных уравнений, что обеспечивает высокую эффективность распараллеливания алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по проекту 17-71-10184 (в части разработки алгоритмов и их исследовании). Векторизация и оптимизация программ для ЭВМ выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (4.1.3 Совместные лаборатории НГУ - ННЦ СО РАН).

Список литературы:

1. Пененко, А. Согласованные численные схемы для решения нелинейных обратных задач идентификации источников градиентными алгоритмами и методами Ньютона-Канторовича // Сиб. журн. вычисл. матем., 2018, 21, 99-116.

2. Пененко А.В. Метод Ньютона-Канторовича для решения обратных задач идентификации источников в моделях продукции-деструкции с данными типа временных рядов // Сиб. журн. вычисл. Математики / РАН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, (положительные рецензии).

Численное исследование влияния климатических вариаций на ледовое поле

Г. А. Платов[1,2], Е. Н. Голубева[1,2], М. В. Крайнева[2], В. В. Малахова[2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: Platov.G@gmail.com

Согласно выводам доклада [1] и ряда других исследований и оценочных докладов [2, 3] подчеркивается высокая вероятность сохранения тенденции ускоренного потепления Арктического региона по сравнению с планетой в целом. В данной работе мы пытаемся оценить насколько изменения индексов атмосферной циркуляции связаны с глобальным потеплением, привлекая для этого анализ эмпирических мод состояния нижней атмосферы, включающего не только поле давления, но и поле приземной температуры и поле приземного ветра.

Наиболее ярким проявлением климатических тенденций в Арктике является заметное сокращение площади и объема плавучих льдов в Северном Ледовитом океане [1]. Это может быть связано как с потеплением арктических вод, вызванным глобальным изменением характера взаимодействия океана и атмосферы, так и с локальным атмосферным воздействием.

Модификация временных рядов для коэффициентов разложения позволяет выяснить какая из мод атмосферной циркуляции более ответственна за сокращение площади и объема морского льда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-05-00382 и 16-05-00558).

Список литературы

1. ACIA, 2005: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, 1042 pp.

2. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

3. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2011. №2 (6), С. 66-79.

Численный эксперимент по моделированию распространения пассивных примесей от точечных источников в условиях летней атмосферы Байкальского региона

Э. А. Пьянова[1], А. В. Гочаков[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт
E-mail: pyanova@ommgp.sscc.ru

Работа посвящена моделированию атмосферной динамики в Байкальском регионе в летний период. В это время в регионе из года в год происходит большое количество лесных пожаров. Для численного описания метеорологических процессов над рассматриваемой территорией мы используем мезомасштабную модель динамики атмосферы ИВМиМГ СО РАН с различным горизонтальным разрешением расчетных сеток. Процессы распространения дымовых выбросов от пожаров упрощенно описаны конвективно-диффузионным уравнением для пассивных примесей. При выполнении сценарных расчетов для получения начальных распределений метеополей и задания граничных условий мы использовали оперативные расчеты глобальной прогностической модели NCEP GFS. Поля глобальной модели интерполировались с помощью утилит препроцессинга WPS (WRF Preprocessing System) на ограниченную область (48.0 - 59.83º с.ш. и 96.29 - 119.59º в.д.) на сетку в σ-координатах модели WRF. Затем эти поля дополнительно интерполировались в узлы расчетных прямоугольных сеток модели ИВМиМГ СО РАН.

Работа в части развития базовых математических моделей выполняется в рамках темы государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0315-2016-0004. Адаптация модели и проведение исследований для Байкальского региона выполнена при поддержке РФФИ 17-29-05044.

Модели оценивания полей концентраций примеси от площадных источников

В. Ф. Рапута[1], Т. В. Ярославцева[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]ФБУН Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора
E-mail: raputa@.sscc.ru

Процессы загрязнения атмосферы и поверхности земли примеси от неорганизованных площадных источников до сих пор изучены недостаточно и зависят от значительного числа факторов, обладающих большой изменчивостью [1]. К ним в первую очередь следует отнести текущую эмиссию источников и эффективную высоту подъема примеси, дисперсный состав аэрозольных частиц.

В докладе обсуждаются методы численного анализа данных экспериментальных исследований загрязнения территорий атмосферными выбросами площадных источников, получения количественных закономерностей формирования полей выпадений аэрозольных примесей. Использование асимптотик решений полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии, априорных сведений о характеристиках источников примеси и протекающих атмосферных процессах позволяет существенно снизить степень неопределенности в моделях оценивания и соответственно уменьшить требования к объему необходимой экспериментальной информации. Приведены примеры апробации моделей применительно к источникам природного и антропогенного происхождения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (код проекта 17-47-540342), государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0004).

Список литературы

1. Возженников О.И., Нестеров А.В. О переносе примеси в атмосфере при ветровом подхвате с подстилающей поверхности // Метеорология и гидрология. 1988. № 11. С. 63-70.

Оценка статистических параметров субмикронных аэрозолей г. Новосибирска и анализ связей с метеорологическими условиями

О. В. Сересева[1], В. Ф. Рапута[1], Т. В. Ярославцева[2], А. М. Медвяцкая[1]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]ФБУН Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора
E-mail: seresseva@mail.ru

Современные тенденции контроля качества атмосферного воздуха в городах требуют создания плотных сетей мониторинга [1, 2], позволяющих оперативно определять, как химический, так и дисперсный состав загрязняющих примесей.

В работе проводится сравнительный анализ измерений концентраций субмикронных фракций аэрозоля в атмосферном воздухе г. Новосибирска с метеорологическими параметрами. Исследованы корреляционные связи между аэрозольными компонентами (PM 2.5, PM 10) и источниками примесей, находящимися в окрестностях станций. Проведены сравнения уровней концентраций аэрозолей для случаев слабых и сильных ветров, показана зависимость от источников и суточной динамики их выбросов. Особое внимание уделено направленным поступлениям примесей от крупных ТЭЦ и автомагистралей города в пункты наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (гранты № 17-47-540342, № 17-41-543338).

Список литературы

1. Безуглая Э.Ю., Чичерин С.С., Шарикова О.П. Состояние и перспективы сети мониторинга атмосферы в городах // Труды ГГО. Л.: Гидрометеоиздат. 1998. - Вып. 549. - С. 3-10.

2. Hu J., Wang Y., Ying Q., and Zhang H. Spatial and temporal variability of PM2.5 and PM10 over the North China Plain and the Yangtze River Delta, China. // Atmos. Environ. 2014. 95. 598–609. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.019.

Численное моделирование метеорологической ситуации и качества воздуха над городом

А. В. Старченко[1,2], А. А. Барт[1], Л. И. Кижнер[1], С. А. Проханов[1]
[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет
[2]Институт вычислительных технологий СО РАН
Email: starch@math.tsu.ru

Представлены результаты применения мезомасштабной метеорологической модели высокого разрешения TSU-NM3 и мезомасштабной фотохимической модели переноса примеси, разрабатываемых в НИ ТГУ и ТНЦ СО РАН и предназначенных для прогноза и исследования метеорологической ситуации и качества воздуха над ограниченной урбанизированной территорией или крупным транспортным узлом Сибирского региона. Модель переноса примеси учитывает адвективно-турбулентный транспорт составляющих примеси и фотохимические реакции, приводящие к образованию тропосферного озона и аэрозольных частиц PM10 и PM2.5.

Разрабатываемый комплекс моделей применяется для детального исследования метеообстановки и качества атмосферного воздуха над городом Томск и его окрестностями для большого количества разнообразных ситуаций, характерных для рассматриваемого региона. Особое внимание при численном моделировании уделяется случаям проявления эффекта городского "острова тепла" и его влияния на газовый и аэрозольный состав приземного воздуха. Результаты расчетов сравниваются с наблюдениями, выполненными в научных учреждениях Томского научного центра (ИОА СО РАН и ИМКЭС СО РАН), а также метеослужбой аэропорта Богашево (Томск), а также с расчетами по привлеченным мезомасштабным моделям (WRF и CAMx).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700178 р_а).

Гидродинамика и массоперенос в природной гетерогенной системе

Е. А. Цветова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: e.tsvetova@ommgp.sscc.ru

В последнее время в озере Байкал обнаружены многочисленные подводные выходы газов и крупные залежи газогидратов метана, поэтому изучение многофазных систем в этом контексте становится актуальным. В докладе обсуждаются формулировки математических моделей и постановки задач для исследования поведения многофазных систем в природных условиях, соответствующих условиям озера. С использованием преимуществ методов математического моделирования, рассматриваются постановки задач, изучающих отдельные аспекты поведения физических систем, в трехмерных пространственных формулировках.

Основной несущей средой в системе является вода, для которой формулируется негидростатическая модель, учитывающая главные действующие силы. Для природных систем, в отличие от технических, необходимо учитывать действие силы Кориолиса. Все примеси, и газ и гидрат, легче воды, поэтому они всплывают относительно основного потока, вступая в условия межфазного взаимодействия в зависимости от различных параметров и состояния окружающей среды. В работе изучаются параметризации межфазного динамического обмена.

Для решения систем уравнений типа конвекции-диффузии-реакции применяются численные алгоритмы, основанные на методе расщепления и использовании дискретно-аналитических аппроксимаций с сопряженными интегрирующими множителями [1].

Работа выполняется в рамках темы государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0315-2016-0004 и поддержана РФФИ (код проекта 17-01-00137).

Список литературы

1. Penenko V.V., Tsvetova E.A., Penenko A.V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies // Computers and Mathematics with Applications. 2014. V.67. Issue.12. P.2240-2256.

Exact solutions of the generalization of Leith model of the wave turbulence

Yu. A. Chirkunov
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
E-mail: chr101@mail.ru

A generalization of the Leith's model of the phenomenological theory of the wave turbulence are researched. With the methods of group analysis, the basic models possessing nontrivial symmetries are obtained. For each model, all the invariant submodels are found. For nonlinear differential equations describing these models, formulas for the production of new solutions containing arbitrary constants are obtained. By virtue of these formulas each researched solution generates a family of the new solutions. In an explicit form some invariant solutions (not connected by point transformations) describing invariant submodels are found. The physical meaning of these solutions is obtained. In particular, with the help of these solutions the turbulent processes for which there are "destructive waves" both with fixed wave numbers and with varying wave numbers are described. On the example of an invariant solution of rank 1 it was shown that the search of the invariant solutions of rank 1 that can not be found explicitly, can be reduced to solving of the integral equations. For this solution turbulent processes are researched for which at the initial instant of a time and for a fixed value of the wave number either the turbulence energy and rate of its change or the turbulence energy and its gradient are given. Under certain conditions, the existence and uniqueness of the solutions of the boundary value problems describing these processes are established.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-01-00446 a and by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

References

1. Yu. A. Chirkunov. Submodels of the generalization of the Leith's model of the phenomenological theory of turbulence and of the model of nonlinear diffusion in the inhomogeneous media without absorption. J. Phys. A: Math. Theor. 2015. 395501. Vol. 48. No. 39. 22 pp. DOI 10.1088/1751-8113/48/39/395501. (See also Journal of Phisics A: Mathematical and Theoretical Highlights of 2015 collection).

Submodels of Khohlov - Zabolotskaya - Kuznetsov model of nonlinear hydroacoustics with dissipation

Yu. A. Chirkunov, N. F. Belmetsev
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
Tyumen State University
E-mail: chr101@mail.ru

We study three-dimensional Khokhlov-Zabolotskaya-Kuznetsov (KZK) model of the nonlinear hydroacoustics with dissipation [1] . This model is described by third order quasilinear partial differential equation of the (KZK). We obtained that the (KZK) equation admits an infinite Lie group of the transformations, depending on the three arbitrary functions. We studied the submodels of rank 0 and 1, described by the invariant solutions of the (KZK) equation. These solutions are found either explicitly, or their search is reduced to the solution of the nonlinear integro-differential equations. For example, we obtained the solutions that we called by "Ultrasonic knife" and "Ultrasonic destroyer". For the submodel "Ultrasonic knife" at each fixed moment of the time in the field of the existence of the solution near a some plane the pressure increases indefinitely and becomes infinite on this plane. The submodel "Ultrasonic destroyer" contains a countable number of "Ultrasonic knives". With a help of the invariant solutions we researched a propagation of the intensive acoustic waves (one-dimensional, axisymmetric and planar) for which the acoustic pressure, speed and acceleration of its change, or the acoustic pressure, speed and acceleration of its change in the radial direction, or the acoustic pressure, speed and acceleration of its change in the direction of one of the axes are specified at the initial moment of the time at a fixed point. Under the certain additional conditions, we established the existence and the uniqueness of the solutions of boundary value problems, describing these wave processes.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-01-00446 a and by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

References

1. Yu. A. Chirkunov, N. F. Belmetsev. Invariant submodels and exact solutions of Khohlov-Zabolotskaya-Kuznetsov model of nonlinear hydroacoustics with dissipation. Intern. J. of Non-Linear Mechan. 2017. V. 95, pp.216-223.

Submodels of generalized three dimentional porous medium model in the presence of non-stationary absorption or source

Yu. A. Chirkunov, Yu. L. Skolubovich
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
E-mail: chr101@mail.ru

The present report is devoted to the obtaining and investigating of the new nonlinear submodels of the fluid and gas motion in a porous medium using a generalized three-dimensional model of a porous medium in the presence of nonstationary absorption or a source. Analytic (mathematical) modeling is performed, which includes a group classification (using the algorithm proposed in [1, 2]) of the nonlinear differential equation of this model in order to identify the submodels that have nontrivial symmetries. For these submodels, formulas for the production of new solutions are obtained and invariant submodels are found. Some invariant solutions describing these invariant submodels are found either explicitly, or their search is reduced to solving of the nonlinear integral equations. The obtained solutions can be used as tests in numerical calculations performed in the studies of filtration processes, in the study of the soils at the initial stage of construction of buildings and structures, in the development of oil and gas fields in the shales, and in other studies related to underground aero-hydrodynamics. These solutions will make it possible to assess the degree of adequacy of the obtained mathematical models to real physical processes, after carrying out experiments corresponding to these solutions, and estimating the resulting deviations.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-01-00446 a and by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

References

1. Yu. A. Chirkunov. Generalized Equivalence Transformations and group classification of systems of differential equations. J. Appl. Mech. Techn. Phys. 53(2). 147–155 (2012). DOI:10.1134/S0021894412020010.
2. Yu. A. Chirkunov. Submodels of model of nonlinear diffusion with non-stationary absorption. International J. of Non-Linear Mechanics. 91. 86–94 (2017). DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2017.02.011.

Численное моделирование двухфазного течения в открытом русле

В. В. Чуруксаева, А. В. Старченко
Томский государственный университет
E-mail: chu.vv@mail.ru

Представлены новая нестационарная математическая модель двухфазного турбулентного изотермического течения смеси "вода - ледяные частицы" и численный метод, позволяющий проводить расчеты при неоднородном распределении дисперсной фазы, вплоть до полного ее исчезновения. Построенная математическая модель используется для численного исследования течения на участке поймы р. Томь во время весеннего ледохода.

Приводятся результаты тестирования предложенной модели на течениях воды с легкими частицами в открытых каналах различной геометрии, проведенные для исследования влияния параметров дисперсной фазы на течение.

Численные расчеты, выполненные по предложенной модели для р. Томь, показывают пригодность построенных моделей и численного метода к моделированию ледовых явлений и связанных с ними процессов (например, подтопления поймы) в реальных руслах. Результаты расчетов позволяют определить области поймы, которые будут подтоплены при определенных параметрах течения в начальный момент времени и физических характеристиках ледяного покрова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00386).

Calculation of parameters of atmospheric gravity currents with a hyperbolic model

M. S. Yudin
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
E-mail: yudin@ommfao.sscc.ru

A numerical mathematical model of a compressible atmosphere is employed to calculate the important characteristics of motion of gravity flows, for example, front speed and surface pressure past orographic obstacles of various shapes and steepness. Specifically, in this paper an investigation is carried out to estimate the effects of the orographic parameters on the speed of propagation of a gravity current (cold atmospheric front) over flat terrain and a steep obstacle with a non-hydrostatic hyperbolic model of atmospheric dynamics. Two types of models on atmospheric wave front propagation are used: a finite-difference model version based on a terrain-following coordinate transformation and a finite-element one based on triangular elements. The former is used for a relatively smooth orography, and the latter for steep surfaces. The versions of the model are described in [1].

The results of a series of calculations with the model on the front wind speed are presented. These results are in good agreement with an empirical formula of the speed of gravity flow propagation in the real atmosphere [2]. The well-observed phenomenon of striking difference in the behavior of the surface pressure in front propagation under stable and neutral versions of atmospheric stratification is also well simulated.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research under grant 17-01-00137, and ICMMG SB RAS under target program 0315-2016-0004.

References

1. Yudin M.S., Inversion effects on wind and surface pressure in atmospheric front propagation simulation with a hyperbolic model // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, V. 96, N.1,2017 https://doi.org/10.1088/1755-1315/96/1/012002

2. Schultz, D. A Review of Cold Fronts with Prefrontal Troughs and Wind Shifts, M W R,2005,V.133, P. 2449-2472

Исследование влияния атлантических вод на состояние ледового покрова в евразийском бассейне Северного Кедовитого океана с помощью численного моделирования

Д. Ф. Якшина, Е. Н. Голубева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: iakshina.dina@gmail.com

Выделяют несколько причин, вызывающих напрямую или косвенно сокращение ледового покрова. В первую очередь это, конечно, тепловое воздействие со стороны атмосферы, температура которой последние десятилетия показывает устойчивый тренд на повышение. Усиление ветровой циркуляции в меридиональном направлении способствует выносу льда за пределы СЛО и, следовательно, уменьшению общей площади ледового покрова. Также нельзя не учитывать влияние со стороны океана.

В настоящей работе производится выявление физических механизмов, определяющих изменчивость состояния ледового покрова на основе численного моделирования. Для исследования использовалась совместная региональная численная модель океан – лед Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана, разработанная в ИВМиМГ СО РАН. В процессе исследования анализируются тепловые потоки на ледовой границе со стороны океана и со стороны атмосферы, рассчитываются коэффициенты корреляции этих потоков с объемом льда в регионе. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии на арктический лед тепла, поступающего от океана вдоль траектории прохождения теплых атлантических вод.

Работа подготовлена при поддержке программы президиума РАН №51 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования" и Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-05-00558, 17-05-00396, 17-05-00382).

Сравнительный анализ параметризаций вертикального перемешивания в численной модели Северного Ледовитого океана

Д. Ф. Якшина, Е. Н. Голубева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: iakshina.dina@gmail.com

Достоверное описание процессов вертикального перемешивания на сегодняшний день одна из актуальных задач в численном моделировании океана. Для арктических вод, характерна сложная вертикальная стратификация, обусловленная процессами образования и таяния льда, а также поступлением вод различной солености из Атлантического и Тихого океанов. Поэтому необходимо особенно тщательно подходить к тестированию используемых параметризаций вертикального перемешивания в численных моделях Северного Ледовитого Океана (СЛО). Для моделирования отклика системы океан-лед на происходящие климатические изменения требуется корректное воспроизведение формирования верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) океана, который является важным звеном в процессе обмена потоками океана с ледовым покрытием и атмосферой.

В настоящей работе проводится сравнительный анализ наиболее распространенных параметризаций вертикального перемешивания в региональной численной модели Северной Атлантики и СЛО. Тестирование параметризаций производится с помощью семейства одномерных моделей турбулентного перемешивания GOTM (http://gotm.net/), доступных для подключения в численные модели в качестве библиотеки на языке FORTRAN.

Работа подготовлена при поддержке программы президиума РАН №51 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования" и Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-05-00558, 17-05-00396, 17-05-00382).

Секция 4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИКИ

Суперкомпьютерное 3D моделирование сейсмических волновых полей в средах, характерных для магматических вулканов

Б. М. Глинский[1,2], В. Н. Мартынов[1], А.Ф. Сапетина[1]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: afsapetina@gmail.com

В данной работе развиваются подходы к математическому моделированию вулканических структур для создания необходимого математического и программного аппарата, обеспечивающего возможность активного вибросейсмического мониторинга. С этой целью в рамках методологии со-дизайна [1] рассматривается применение различных математических постановок динамической теории упругости и численных методов их решения для создания параллельного алгоритмического и программного обеспечения, оптимизированного под архитектуру гибридного кластера, для моделирования сейсмических волновых полей в 3D средах, характерных для магматических вулканов. В данном случае под со-дизайном понимается рассмотрение архитектуры суперкомпьютера на всех этапах разработки алгоритма и кода, начиная с физической и математической постановки задачи. Разработаны программные комплексы для проведения численных экспериментов. Приводятся результаты расчетов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0009) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-07-00434, 16-01-00455) и гранта президента РФ № МК-152.2017.5.

Список литературы

1. Glinskiy B.M., Kulikov I.M., Chernykh I.G., Snytnikov A.V., Sapetina A.F., Weins D.V. the integrated approach to solving large-size physical problems on supercomputers // Supercomp. RuSCDays 2017. CCIS. V. 793. P. 278–289.

Математическое моделирование в задачах оценки цунамиопасности морских побережий

В. К. Гусяков
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: gvk@sscc.ru

Математическое моделирование представляет собой одно из наиболее мощных и гибких средств изучения сложных природных явлений, в отношении которых постановка прямого натурного эксперимента является, как правило, невозможной. Характерным примером опасного природного явления, характеризующегося малой повторяемостью и тяжелыми последствиями, являются волны цунами, возникающие в глубоком океане при некоторых сильных подводных землетрясениях, но вызывающие основные разрушения в прибрежной зоне. Две главные научно-практические задачи в проблеме цунами - это оперативный прогноз и предварительное цунамирайонирование побережья. Основная проблема оценки цунамиопасности океанического побережья, имеющего перед собой зону субдукции, состоит в получении реалистичных оценок места и времени возникновения в ближайших сегментах этой зоны мега-землетрясения с магнитудой 9.0 и выше. Получение таких оценок представляет собой сложную научно-практическую проблему и фактически сводится к решению задачи долгосрочного прогноза сильнейших землетрясений. В докладе дается обзор исследований проводимых в лаборатории изучения цунами ИВМиМГ СОРАН, которые позволяют уточнять оперативные прогнозы и давать долгосрочные оценки цунамиопасности побережья.

Исследования выполняются при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-05-00450).

Оценка напряженности разнотипных блоков структурированных литосферных плит

М. В. Зарецкая
Кубанский государственный университет
E-mail: zarmv@mail.ru

В общем случае для описания сейсмических процессов предлагается рассматривать кору Земли как блочную структуру и применять метод блочного элемента и топологический математический

аппарат [1]. В структуру среды, моделируемой, например, пространством, слоем, прямоугольными параллелепипедами, включаются блоки с цилиндрической (шахты, штольни) или сферической границей (резервуары подземных вод, месторождения полезных ископаемых, полости). Каждый элемент блочной структуры рассматривается как ориентированное многообразие с краем с топологий, индуцированной евклидовым пространством. Применением топологического подхода реализуется автоморфизм топологического объекта на себя, оператор краевой задачи получает отображение в изоморфное пространство преобразования Фурье или Фурье-Бесселя медленно растущих обобщенных функций. Над функциональными уравнениями выполняются операции внешнего анализа, включающие факторизацию коэффициента функционального уравнения, вычисление форм-вычетов Лере, построение псевдодифференциальных уравнений, извлечение из них интегральных уравнений и их решение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00191_а).

Список литературы

1. Зарецкая М.В., Бабешко О.М., Зарецкий А.Г., Лозовой В.В. О разнотипных блочных элементах в задачах геоэкологии // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2017. № 2. С. 36–41.

Об одной математической модели разбухания глинистого сланца

Б. Х. Имомназаров[1], П. В. Коробов[2], Х. Х. Имомназаров[3]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
[3]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: imom@omzg.sscc.ru

Бурение нефтяной скважины через сланцевые образования может быть медленным и затрудненным. Некоторые сланцы поглощают воду из бурового раствора в скважине, если химический потенциал воды в буровом растворе выше, чем уровень воды в сланце. Эксперименты, показывающие это, были отмечены Chenevert (1970), Bol (1986), Simpson et. al (1989), Salisbury et al (1991), Chenevert & Osisanya (1992), Bol et al (1992), Mody & Hale (1993) and Onaisi et al (1993). Если сланец, окружающей ствол скважины набухает, то диаметр ствола скважины будет уменьшен, и бурильная колонна может оказаться в ловушке, что потребует дополнительных времени и денег.

В докладе линейная теория пороупругости, описываемая тремя упругими параметрами, применяется к сланцевому разбуханию с водным электролитом. Предполагается, что сланец ведет себя как изотропная, идеальная ионная мембрана, и в этом случае разбухание зависит только от полного напряжения и от химического потенциала воды в порах породы. Показано, что коэффициент диффузии является функцией пористости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00729, код проекта 18-31-00120).

Применение теории пороупругости для описания химически активного глинистого сланца

Б. Х. Имомназаров[1], В. А. Няго[2], Х. Х. Имомназаров[2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: imom@omzg.sscc.ru

Основной целью математического моделирования пластовых систем "в целом" является расширение представлений о сложных физико-химических процессах в пласте, сопровождающих процесс добычи углеводородов при использовании современных высокотехнологичных методов увеличения нефтедобыче. Для корректного описания этих процессов требуется согласованный учет влияния термодинамических, химических и других факторов, определяющих характер течения многофазного многокомпонентного флюида в пласте.

В докладе линейная теория пороупругости, описываемая тремя упругими параметрами, применяется для описания химически активного глинистого сланца. Показано, что деформация в упругодеформируемой пористой среде является функцией напряжения и порового давления . Дополнительные осмотические эффекты присутствуют в некоторых породах, например, сланцах. Следовательно, эти эффекты в свою очередь модифицируют термодинамику, рассматриваемой системы. А именно в выражение внутренней энергии появляется дополнительное слагаемое, обусловленное химическими потенциалами из всех химических видов в поровой жидкости. Вследствие этого в соотношениях деформации-напряжений появляется слагаемое, обусловленное химическими потенциалами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-01-00729, 18-31-00120).

Об одной краевой задаче для стационарной системы уравнений двухскоростной гидродинамики с одним давлением

Х. Х. Имомназаров, М. В. Урев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: imom@omzg.sscc.ru

Рассматривается краевая задача для стационарной системы уравнений двухскоростной гидродинамики с одним давлением в полупространстве. Показано, что если для одной скорости на границе полупространства поставлены граничные условия второго рода, то для другой скорости необходима постановка граничного условия, удовлетворяющая определенному условию согласования с граничными условиями для первой скорости. Данная система уравнений сводится к последовательному решению двух краевых задач: второй краевой задаче Стокса и векторному уравнению Пуассона с соленоидальным ограничением на решение и согласованным с первой задачей граничным условием.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-51-41002).

Конвекция термической литосферы и ее геологические следствия в модели первого приближения

Б. В. Лунёв, В. В. Лапковский
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: bobvalmail@mail.ru

Построена модель первого приближения для описания развития конвективной неустойчивости континентальной термической литосферы, сопутствующего частичного декомпрессионного плавления вещества, сепарации, миграции и замерзания образующегося расплава, обусловленных конвекцией деформаций коры и заполнения осадками образующихся на поверхности впадин. Проведенные численные эксперименты показали развитие в верхней мантии свободной конвекции, индуцирующей в легкой коре противотечение, вызывающее формирование над восходящими потоками осадочных бассейнов, а над нисходящими – поднятий, образующих, при переходе к квазистационарному режиму, платформенные щиты. Расчеты воспроизводят характерные структуры литосферы, коры и собственно осадочных бассейнов и этапы их эволюции, соответствующие имеющимся геолого-геофизическими данным. Предложенная модель пригодна для описания широкого класса геодинамических процессов подобного масштаба. Она проста, основана на надежно установленных экспериментальных фактах, дает в рамках своей детальности адекватные, понятным образом интерпретируемые, нетривиальные результаты и позволяет естественным образом вводить следующие приближения для уточнения и детализации.

Работа выполнена в рамках программы IX.131.2.2. фундаментальных научных исследований СО РАН.

Законы сохранения и другие формулы для уравнения эйконала и их геометрические аспекты

А. Г. Меграбов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: fat@nmsf.sscc.ru

Доклад развивает результаты статей автора в статьях в Докладах РАН (2004, т.395, №2; 2009, т. 424, №5; 2010, т. 433, № 3, 4; 2011, т. 441, №3) и в Lobachevskii J. of Mathematics (2018, V. 39, N 1).

Рассматривается уравнение эйконала для скалярного поля времен $\tau(x,y,z)$ в неоднородной изотропной среде с показателем преломления $n(x,y,z)$. Оно является основной математической моделью в кинематической сейсмике и геометрической оптике. Найдены дифференциальные законы сохранения для этого уравнения в плоском и трехмерном случаях различного порядка, т.е. дивергентные тождества, выражающие равенство нулю некоторого дивергенции некоторого векторного поля. Это векторное поле выражается через решение τ уравнения эйконала (поле времен) и показатель преломления n. Эти тождества равносильны законам сохранения (дивергентные тождествам) для семейства лучей и для семейства фронтов, где векторное поле под знаком дивергенции выражается через классические геометрические характеристики кривых лучей – их орты Френе (единичные векторы касательной, главной нормали и бинормали), кривизну и кручение, либо через классические геометрические характеристики поверхностей фронтов – их нормаль, главные кривизны, главные направления, гауссову и среднюю кривизны. В конечном итоге все эти геометрические величины могут быть выражены либо через единичный касательный вектор луча, либо через единичную нормаль к фронту.

В плоском случае закон сохранения для уравнения эйконала имеет следующий геометрический смысл: сумма векторов кривизны кривых лучей и фронтов есть соленоидальное поле, т. е. дивергенция этой суммы равна нулю. Обсуждаются приложения полученных формул.

Все формулы найдены на основе общих векторных и геометрических формул (дифференциальных законов сохранения и других формул), полученных автором для семейств произвольных гладких кривых, семейств произвольных гладких поверхностей и произвольных гладких векторных полей.

Математическое моделирование распространения инфразвуковых и сейсмических волн для модели земля – атмосфера с учетом стратификации ветра и поглощения энергии в атмосфере

А. А. Михайлов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: alex_mikh@omzg.sscc.ru

В данной работе исследуются результаты численного моделирования распространения инфразвуковых и сейсмических волн в совмещенной модели атмосфера – земля. Рассматривается распространение инфразвуковых волн в Атмосфере при наличии стратификации ветра и наличии Рэлеевского трения. Исследуется влияние данных факторов на амплитуду волн в зависимости от их направления распространения относительно направленности ветра. Распространение инфразвуковых волн в изотермической атмосфере описывается линеаризованной системой уравнений Навье – Стокса в виде гиперболической системы первого порядка для трехмерной Декартовой системы координат. Распространение сейсмических волн в литосфере описывается гиперболической системой первого порядка в терминах скоростей вектора смещения и компонент тензора напряжений согласно теории упругости. В работе описывается эффективный численный алгоритм для решения поставленной динамической задачи. Особенностью рассматриваемого алгоритма является комбинирование интегральных преобразований Лагерра по времени и Фурье по пространству с конечно-разностным методом.

Математическое моделирование особенности распространения сейсмических волн в совмещенной модели вязкоупругости и пороупругости

А. А. Михайлов, Х. Х. Имомназаров
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: alex_mikh@omzg.sscc.ru , imom@omzg.sscc.ru

В докладе исследуется распространение сейсмических волн в диссипативном приближении для совмещенной теории динамической вязкоупругости и пороупругости. Исходная система совмещенной модели представляется в симметрическом t-гиперболическом виде в терминах скоростей, напряжений и давления. Параметры пористой среды выражены тремя скоростями распространения сейсмических волн. Отметим, что полученные решения позволяют изучить особенности распространения сейсмических волн в насыщенных жидкостью (воздухом) пористых (снежных) средах.

Алгоритм численного решения построен на основе спектрального метода Лагерра. Полученные результаты показали наличие сильной зависимости затухания амплитуды второй продольной волны от коэффициента трения. Полученные формулы позволяют моделировать скорости смещений пористого каркаса и насыщающей его жидкости, а также порового давления и компонент тензора напряжений, как при заданных упругих параметрах среды, так и при заданных скоростях распространения поперечных и продольных волн в пористой среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-01-00729, 16-07-01052).

Структура, форматы и содержание специализированной базы данных в ENDDB (MATHGEO18)

А. В. Михеева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: anna@omzg.sscc.ru

Базы данных GIS-ENDDB [1] делятся на два блока. Блок по предметным БД с опциями выбора основного (сейсмического или импактного) каталога и связываемых с ним дочерних каталогов (механизмов, данных измерений и т.д.) и блок картографической БД с опциями выбора слоев. Второй блок включает в себя несколько уровней - базу цифровых данных рельефа и геофизических наблюдений, используемых для построения оттененной фоновой карты; базу данных по тектонике (границы плит, орогенов, разломные зоны земной коры, тектонические зоны или линеаментно-доменные структуры ВОЗ, а также кольцевые и линейные структуры Космогеологических карт); каталог вулканов, базу данных пунктов геофизических наблюдений и базу стандартных слоев физической и культурной географии. Функции управления данными разделяются на пользовательскую часть (управляемую в среде пользовательского интерфейса) и внешнюю часть (управляемую с помощью внешних файлов описаний и внешних структур хранения данных).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0009).

Список литературы

1. Михеева А. В. Геоструктурные элементы, выявляемые математическими алгоритмами и цифровыми моделями геоинформационно-вычислительной системы GIS-ENDDB // Новосибирск: Омега Принт, 2016.

Континуальные модели и методы расчета динамики слоистых и блочных сред с нелинейными контактными условиями

И. С. Никитин[1], Н. Г. Бураго[2], А. Д. Никитин[1]
[1]Институт автоматизации проектирования РАН
[2]Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН
E-mail: i_nikitin@list.ru

Континуальные модели деформируемых твердых сред с дискретным набором плоскостей скольжения (слоистые, блочные среды) и с нелинейными (вязкопластическими) условиями проскальзывания на контактных границах могут быть получены методом асимптотического осреднения [1] и зачастую сводятся к анизотропным упруговязкопластическим системам уравнений [2]. Для устойчивого численного решения динамических уравнений упруговязкопластичности для изотропного и анизотропного случая разработан явно-неявный метод с явной аппроксимацией уравнений движения и неявной аппроксимацией определяющих соотношений, содержащих малый параметр в знаменателе свободного члена. Приведены примеры численных решений динамических задач об отражении волн от препятствий в неупругой слоистой и блочной среде, формирования зон скольжений и отслоений на границах структурных элементов [3], а также задач о трансформации упругих волн при прохождении сквозь слоистые и блочные флюидосодержащие массивы в упругой среде.

Список литературы

1. Бахвалов Н.С., Г.П. Панасенко. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, 1984.

2. Nikitin I.S., Burago N.G., Nikitin A.D. Continuum Model of the Layered Medium with Slippage and Nonlinear Conditions at the Interlayer Boundaries // Solid State Phenomena. 2017. V. 258. Pp. 137–140.

3. Никитин И.С. Динамические модели слоистых и блочных сред с проскальзыванием, трением и отслоением // Изв. РАН. МТТ. 2008. № 4. С.154–165.

Численное моделирование неоднородных двухфазных потоков в канале

Ю. В. Перепечко[1], К. Э. Сорокин[1], Ш. Х. Имомназаров[2]
[1]Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: perep@igm.nsc.ru

Работа посвящена исследованию нестационарного течения неоднородных смесей сжимаемых минерализованных вязких жидкостей. Численный анализ нелинейной системы дифференциальных уравнений проводится на основе метода контрольного объема совместно с итерационной процедурой расчета давления IPSA [1]. Расчеты потоков через грани контрольных объемов проводятся по схеме HLPA [2]. Уравнения двухскоростной гидродинамики предполагают равенство температуры в фазах и учитывают поверхностное натяжение и вязкости фаз, межфазное трение, диффузию примеси [3]. Проведено исследование различных режимов течения неоднородных по объемному содержанию фаз двухскоростных потоков в горизонтальных и наклонных каналах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-01-00729, 16-29-15131).

Mathematical modeling of elastic waves propagation in stratified 3D porous media

V. Priimenko[1,2], M. Azeredo[1], M. Miranda[1], I. Oliveira[1]
[1]State University of Norte Fluminense Darcy Ribeiro
[2]National Institute of Science and Technology of Petroleum Geophysics
E-mail: slava@lenep.uenf.br

There is considered a layered heterogeneous poroelastic isotropic medium with physical parameters characterized by piecewise constant functions of the depth only. We derive a mathematical algorithm for calculating reflected/transmitted poroelastic waves across all temporal frequencies [1]. To define the frequency effect we use the dynamic permeability expression proposed by Jonhson, Koplik and Dashen in 1987 [2]; in the time domain, this coefficient introduces order 1/2 shifted fractional time derivative involving a convolution product. The algorithm proposed is based on the formalism introduced by Ursin in 1983 [3].

The algorithm obtained was tested numerically in a 1D-case [4]. The numerical experiments confirm the effectiveness of the proposed algorithm in identifying the main wave elements in both low frequency and high frequency regimes in the reservoir and laboratory scales.

Authors thank the Program for the Formation of Human Resources in Geophysics - PRH-PB 226 (UENF/PETROBRAS) for the financial support and the Laboratory of Engineering and Exploration of Petroleum (LENEP/CCT/UENF) for having provided the conditions for this work.

References

1. Miranda M., Priimenko V. An algorithm for calculating reflected/transmitted poroelastic waves across all frequencies // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2017. V. 5(4). P.55-69.

2. Johnson D.L., Koplik J., Dashen R. Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media // Journal of Fluid Mechanics. 1987. V. 176(1). P. 379–402.

3. Ursin B. Review of elastic and electromagnetic waves propagation in horizontally layered media // Geophysics. 1983. V. 48(8). P. 1063-1081.

4. Oliveira I., Azeredo M., Priimenko V. Modelagem de propagação das ondas elásticas em meios porosos 1D: modelos de Biot vs. Biot-JKD // Expanded Abstracts of the VIII Symposium of Brazilian Geophysics. 2018. P.1-5.

Список литературы

1. Yeoh G. H., Tu J. Computational techniques for multi-phase flows. Oxford, Butterworth-Heinemann. 2010.

2. Wang J. P., Zhang J. F., Qu Z. G., He Y. L., Tao W. Q. Comparison of robustness and efficiency for SIMPLE and CLEAR algorithms with 13 high-resolution convection schemes in compressible flows // Numerical Heat Transfer, Part B. 2014. V. 66, P. 133-161.

3. Dorovsky, V. N., Perepechko, Yu. V., Sorokin, K. E. Two-velocity flow containing surfactant // Journal of Engineering Thermophysics. 2017. V. 26, No. 2. P. 160-182.

К моделям деформационных процессов при статическом взаимодействии литосферных структур

И. С. Телятников
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук
E-mail : ilux_t@list.ru

Создание теории сейсмического процесса связано с изучением деформационных процессов корового уровня. Цель работы – исследование напряженно-деформированного состояния литосферных структур, моделируемых системой покрытие – подложка, при их статическом взаимодействии.

Предложено упрощение метода блочного элемента [1] для разноразмерных блоков. Исследована статическая задача для двух протяженных пластин, контактирующих вдоль прямолинейного разлома, на упругом слое при заданной локализованной поверхностной нагрузке. Граничные условия на стыке пластин определяются типом их взаимодействия [2], контакт с подложкой считается идеальным.

На основе метода блочного элемента получена система нагруженных функциональных уравнений Винера – Хопфа относительно Фурье-образов контактных напряжений между покрытием и подложкой. Предложен алгоритм решения системы для статической задачи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края (код проекта 16-41-230184_а).

Список литературы

1. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Топологический метод решения граничных задач и блочные элементы // ДАН. 2013. Т. 449, № 6. С. 657–660.

2. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М.: Наука, 1972. 432 с.

О восстановлении параметров пласта по данным измерений ИНГК радиационного захвата

А. И. Хисамутдинов[1,2], Чжао Сюэцзянь[2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: KhisamutdinovAI@ipgg.sbras.ru

Хорошо известно, что при достаточной минерализации пластовых вод импульсный нейтронный гамма каротаж(ИНГК), в котором регистрируют временной спектр гамма-квантов радиационного захвата, позволяет определять коэффициент водо-нефтенасыщенности пласта. Стандартно интерпретация данных измерений производится на основе приближений и эмпирических закономерностей. В настоящем докладе развивается предложение производить инверсию на основе теоретических представлений о переносе частиц, используя подход и численные методы "последовательные приближения по характерным взаимодействиям" из [1-3]. Были проведены численные эксперименты по восстановлению коэффициента водо-нефтенасыщенности. Результаты последних представлены в докладе, они подтверждают действенность предложенного; в том числе, ---сходимость итерационного процесса.

Список литературы

1. Хисамутдинов А. И. Характерные взаимодействия и последовательные приближения в двух задачах о восстановлении коэффициентов уравнений переноса(и состава среды). Новосибирск: "Гео", 2009. 48 с.

2. Khisamutdinov A.I. Characteristic interactions and successive approximations in problems on evaluating coefficients of transport equation and elemental content of a medium. J. of Inverse problems, 2011, No.2, p.189-222

3. Khisamutdinov A.I. The approach of ‘successive approximations over characteristic interactions’ for inverse problems of uclear-geophysical technologies. Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling 2018; 33(4); (in print)

4. Годунов С. К. Элементы механики сплошной среды. М.: Наука, 1978.

Численное моделирование конвекции в зоне спрединга и субдукции

В. В. Червов[1], Г. Г. Черных[2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука, СО РАН
[2]Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: elixirexpo@yandex.ru; chernykh@nsc.ru

Построена трехмерная численная модель тепловой конвекции в верхней мантии Земли в естественных переменных, основанная на уравнениях Навье–Стокса в приближении Обербека–Буссинеска и геодинамическом приближении. Дискретизация задачи осуществляется с применением неявной реализации метода искусственной сжимаемости в сферической системе координат. Выполнено детальное тестирование численной модели. Представлены результаты численных расчетов трехмерной конвекции под океанической литосферой в зонах раздвижения плит (спрединг) и формирования слэба (субдукция). Указан механизм возникновения погружающихся холодных областей океанической литосферы под воздействием архимедовых сил. В результате надвига континента на океаническую литосферу получены тепловые аномалии, имеющие вид слэбов, погруженных в мантию. Выявлены тепловые аномалии, имеющие вид тяжелой гравитационно-неустойчивой холодной "капли", возникновение и отрыв которой от кромки континента по времени совпадает с теоретическими оценками отрыва приращенного в процессе спрединга мантийного вещества с образованием слэба.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта № 44 "Изучение зон субдукции и связанного с ними вулканизма методами геофизики, петрологии и математического моделирования" "Комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН II.1 (№ 0316-2018-0008)" ипрограммы Президиума РАН АААА-А18-118021490041-5.

Построение многоуровневых решателей для дискретного аналога задачи Дарси

Э. П. Шурина[1,2], С. А. Трофимова[1], Н. Б. Иткина[2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
[2]Новосибирский государственный технический университет
E-mail: shurina@corp.nstu.ru, svetik-missy@mail.ru, itkina.nat@yandex.ru

В работе рассматривается смешанная вариационная постановка на базе разрывного метода Галёркина для решения задачи Дарси. Исследуются способы построения многоуровневого решателя для дискретного аналога.

Основная идея смешанного метода заключается в нахождении как первичной, так и дуальной переменной, при этом осуществляется поиск критической точки соответствующего функционала над конечно-элементным пространством допустимых пробных функций, которое представимо в виде прямой суммы двух или более подпространств [1].

Для получения дискретного аналога в работе используется разрывный метод Галёркина (DG-метод) [2]. Основная идея DG-метода заключается в локальной аппроксимации решения на каждом конечном элементе. На межэлементных границах решение определяется при помощи специальных операторов следа функций.

Основным недостатком DG-метода является возрастание количества степеней свободы. Проблемы, связанные с увеличением размерности системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (ухудшение обусловленности и изменение структуры матрицы СЛАУ), могут быть разрешены при помощи построения специализированных решателей [3].

Список литературы

1. Arnold D. N. Mixed finite element methods for elliptic problems // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1990. No. 82. P. 281-300.

2. Arnold D. N., Brezzi F., Marini L. D. Unified analysis of discontinuous Galerkin methods for elliptic problems // SIAM J. Numer. Anal. 2002. Vol. 39, No. 5. P. 1749-1779.

3. Kraus J., Margenov S. Robust Algebraic Multilevel Methods and Algorithms, in: Radon Series on Computational and Applied Mathematics, vol. 5, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2009. 246 pp.

Секция 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ИНФОРМАТИКИ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СУПЕРВЫЧИСЛЕНИЯ

Сжатие цветных изображений с помощью однопроходной схемы кодирования

М. П. Бакулина
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: marina@rav.sscc.ru

Рассматривается задача эффективного сжатия цветных изображений без потерь качества. Как известно, однопроходные алгоритмы кодирования ошибок предсказания по сравнению с двухпроходными позволяют лучше сжимать изображения такого вида. Однако в однопроходных алгоритмах возникает задача кодирования источников с неизвестной статистикой, так как ошибки предсказания кодируются сразу по мере прохождения изображения.

В данной работе предлагается метод сжатия цветных изображений, основанный на однопроходной схеме кодирования. Доказывается эффективность построенного алгоритма при сравнении его с эффективным двухпроходным алгоритмом из [1] и известным стандартом сжатия изображений JPEG [2].

Список литературы

1. Bakulina M.P. An efficient block coding method for binary system // Software&Systems, 2017. V. 30, № 2. Pp. 282-285.

2. Weinberger M.J., Seroussi G., Sapiro G. The LOCO-I lossless image compression algorithm: Principles and standardization into JPEG-LS // IEEE Trans. Image Process. 2000. V. 9, № 8. pp. 1310-1324.

3. Said A., Pearlman W.A. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees // IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology, June 1996. Pp. 234-250.

Информационная система относительно месторождений углеводородов

Ю. В. Гласко[1], В. Г. Филатов[2], В. М. Мегеря[3], В. И. Старостенко[4], И. Н. Корчагин[4], А. М. Лобанов[2], А. А. Никитин[2], Д. М. Фырнин[1]
[1]Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ
[2]МГРИ-РГГРУ
[3]Ханты-Мансийск геофизика
[4]Институт Геофизики НАН Украины
E-mail: glaskoyv@mail.ru

В данном сообщении мы представляем web ориентированную информационную систему Deposits относительно 30 регионов (таблица region), в которых расположены месторождения нефти и газа (таблица depositbc). Система пополняется. Информация по месторождениям интегрирует данные геофизических, геологических и математических исследований представленные в совместных с автором доклада статьях и книгах. В их числе публикации [1-3]. Акцент базы данных делается на структуру и математические методы, примененные при исследовании месторождений. Основное внимание уделено месторождениям России и СНГ. Наиболее широко освящены месторождения Западной Сибири. При создании ИС использован frameworker Yii 2 и его утилита Gii. Серверы используют Ampps сборку. База данных использует php инструменты.

Работа выполнена в рамках НИР Создание и развитие информационных систем учебного и административного назначения МГУ (ЦИТИС АААА-А17-117021310312-2).

Список литературы

1. Мегеря В.М., Филатов В.Г., Старостенко В.И., Корчагин И.Н., Лобанов А.М., Гласко Ю.В., Волоцков М.Ю., Скачков С.А. Возможности и перспективы применения несейсмических методов для поисков скоплений углеводородов и геосолитонная концепция их образования. // Геофизический журнал. (Киев). 2012. Т. 34, № 3. С. 4-21.

2. В.М. Мегеря, В.И. Старостенко, В.Г. Филатов, А.М. Лобанов А.М. и др. Месторождения углеводородов неструктурного типа и их проявления в гравитационных полях. М.: РГГРУ, 2011.

3. В.М. Мегеря, В.И. Старостенко, В.Г. Филатов, А.М. Лобанов А.М. и др. Поиски месторождений углеводородов на основе площадного градиента, гравимагнитных аномалий и геосолитонной концепции. М.: РГГРУ, 2012.

4. Марк Сафронов. Разработка веб-приложений в Yii 2. М.: ДМК, 2015.

Программный комплекс для решения 3-мерных задач математической физики на основе концепции БСМ

Л. А. Голубева, В. С. Горшунов, В. П. Ильин, Э. Б. Эрдышев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: golubeva@labchem.sscc.ru

Для решения задачи математической физики можно выделить три важных этапа: построение геометрической модели, построение сеточной модели, решение уравнений [1]. Один из основных аспектов БСМ (базовая система моделирования) [2-3] – обеспечить возможность выполнения всех трех вышеозначенных этапов как единого целого. В рамках этой концепции предлагается реализовать три основных компоненты, в дальнейшем будем называть их модулями:

"Вороной" – задание геометрической и функциональной структуры данных;

"Делоне" – построение сеточной структуры данных;

"Чебышев" – аппроксимация уравнений.

Программный комплекс предполагает предоставление понятного графического интерфейса, построение сетки, возможности отображения геометрической и сеточной модели, решение и визуализация решения. В качестве современного отечественного программного обеспечения, которое может служить основой для реализации модулей БСМ была выбрана ИИПП "Гербарий" [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00485)

Список литературы

1. Ильин В.П. Фундаментальные вопросы математического моделирования.//Вестник Российской Академии Наук, т. 86, № 4, 2016, 26–36.

2. Голубева Л.А., Ильин В.П., Козырев А.Н. О программных технологиях в геометрических аспектах математического моделирования.–Вестник НГУ, серия Информационные технологии, т. 10, N 2, 2012, 25-33.

3. Ильин В.П., Гладких В.С. Базовая система моделирования (БСМ):концепция, архитектура и методология "Современные проблемы математического моделирования, обработки изображений и параллельных вычислений 2017" (СПММОИиПВ-2017), Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. С. 151-158.

4. http://tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=3846

Численные эксперименты на суперкомпьютере MVS-10P при решении стохастических уравнений с оценками погрешности

Л. П. Каменщиков
Институт вычислительного моделирования СО РАН
E-mail: lpk@icm.krasn.ru

Рассматривается система стохастических дифференциальных уравнений с мультипликативным шумом, описывающая поведение некоторого ансамбля ионных частиц в оптических решетках–ловушках. Данная модель предложена И. В. Красновым [1–3]. Обычно, из начального 3D хаотического распределения частиц, при включении ловушки очень быстро формируется упорядоченная структура (кристалл), которая постепенно разрушается из-за действия случайных сил, обусловленных квантовыми флуктуациями. Наличие дальнодействующих кулоновских сил существенно усложняет модель и увеличивает время счета. В процессе моделирования находятся время жизни кристалла, мера его компактности и многие другие характеристики. Для определения точности расчетов выполнена серия численных экспериментов, в которых изменялся шаг по времени и число моделируемых траекторий. О точности можно судить по числу совпадающих значащих цифр в полученной оценке времени жизни кристалла при разных параметрах расчетной схемы. При этом проверялось, чтобы совпадающие значащие цифры не зависели от применения разных наборов псевдослучайных

чисел. Расчеты проводились на суперкомпьютере MVS-10P (Торнадо) в МСЦ РАН. Число используемых вычислительных ядер достигало 1024, а время счета могло составить сутки и более.

Список литературы

1. Krasnov I. V., Kamenshchikov L. P. All-optical trapping of strongly coupled ions // Optics Communications. 2014. V. 312, Iss. 3. P. 192–198.

2. Krasnov I. V., Kamenshchikov L. P. Ions in the cell of the dissipative optical superlattice: cooling trapping and Coulomb cluster formation // Laser Physics. 2015. V. 25, № 11. P. 115501– (1-8).

3. Kamenshchikov L. P., Krasnov I. V. Supercomputer modeling of stochastic dynamics of the Mercury ion array in an optical lattice // CEUR Workshop Proc. 2016. V. 1839. P. 324–333.

Распараллеливание решения трехмерных краевых задач с использованием ускорителей Phi

И. А. Климонов[1], В. Д. Корнеев[2], В.М. Свешников[1,2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: victor@lapasrv.sscc.ru

В работе авторов [1] была исследована эффективность распараллеливания трехмерных краевых задач с использованием графических ускорителей GPU. В настоящей работе распараллеливание проводится с использованием ускорителей Phi. Основной целью проведенной работы являлось сравнение эффективностей распараллеливания на данных архитектурах. Сравнение проводилось на одном и том же экспериментальном материале и при одинаковых численных алгоритмах, изложенных в работе [2]. Даны результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (код проекта 14-11-0485п) и РФФИ (код проекта 16-01-00168).

Список литературы

1. Климонов И.А., Корнеев В.Д., Свешников В.М. Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU // Выч. методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2016. Т. 17. № 1. С. 65-71.

2. Korneev V. D., Sveshnikov V. M. Parallel algorithms and domain decomposition techniques for solving three-dimensional boundary value problems on quasi-structured grids // Numerical analysis and applications. 2016. Vol. 9, Issue 2. Pp. 141-149.

The numerical modeling of interacting galaxies on Intel Xeon Phi clusters: methodology, code, first results

I. M. Kulikov
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
E-mail: kulikov@ssd.sscc.ru

In this talk, a novel computation technique for numerical modeling of interacting galaxies on Intel Xeon Phi clusters is described. The co-design of parallel numerical algorithms for interacting galxies simulations is described in details. We used RSC PetaStream architecture supercomputers based on Intel Xeon Phi accelerators for this tests. The research of the interacting galaxies is given in paper. We achieve a 134x speedup with one Intel Xeon Phi accelerator and 75% weak scaling efficiency with using of 224x Intel Xeon Phi accelerators.

The research work was supported by the Grant of the President of Russian Federation for the support of young scientists number MK - 1445.2017.9, RFBR grants 18-01-00166 and 18-07-00757.

Модель доставки разнородных продуктов

О. А. Ляхов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: loa@rav.sscc.ru

В известных моделях маршрутизации с разделенным обслуживанием клиентов одинаковыми транспортными средствами (SDVRP) и использованием разных транспортных средств ограниченной

грузоподъемности (HFFVRP) предполагается перевозка однородных продуктов. В практике транспортной логистики возникают более сложные задачи: требуется перевезти со склада каждому потребителю комплект продуктов в заранее заданном количестве при ограниченной грузоподъемности транспортных средств. В работе предлагается целочисленная линейная модель построения маршрутов транспортных средств по доставке клиентам разнородных продуктов. Модель может быть использована в организации перевозок в торговых, ремонтных, почтовых организациях и любых производственных предприятиях с широким ассортиментом используемых комплектующих изделий. Применение модели позволяет сократить транспортные расходы и определить состав парка транспортных средств, необходимый для доставки потребителям разнородных продуктов с минимальными затратами.

Работа выполнена по плану ПФНИ (код проекта 0315-2016-006).

Критерии динамической балансировки нагрузки кластера в параллельной программной реализации клеточно-автоматных моделей потоков

Ю. Г. Медведев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: medvedev@ssd.sscc.ru

Исследовалась параллельная программная реализация клеточно-автоматных моделей потоков [1-3]. Проблема неравномерности загрузки устранялась путем динамической балансировки с одномерным распределением клеточного массива по процессорам [4]. При использовании в качестве критерия перебалансировки традиционного отношения времен выполнения итерации соседними процессорами выявлен эффект возникновения автоволн в процессе перераспределения нагрузки, когда дополнительные элементы клеточного массива поступают на процессор с левого и правого его соседей на четных итерациях, вызывая при этом дисбаланс с обратным соотношением времени, вследствие чего на нечетных итерациях эта нагрузка вынуждена возвращаться назад соседям. Предложенная в качестве альтернативного критерия балансировки разность времен выполнения задания соседними ядрами более тонко учитывает долю нагрузки, передаваемую соседям. В этом случае автоволны не образуются и, что приводит к уменьшению дисбаланса нагрузки кластера. В работе даны рекомендации по использованию исследованных критериев.

Список литературы

1. Rothman D. H., Zaleski S. Lattice-gas cellular cutomata: simple models of complex hydrodinamics — Cambridge University Press. 1997.

2. Бандман О.Л. Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // Системная информатика. 2006. No10. С. 59–113.

3. Медведев Ю.Г. Программный комплекс клеточно-автоматного моделирования газопорошковых потоков // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ’2012): труды международной научной конференции (Новосибирск, 26 – 30 марта 2012 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012, с. 732.

4. Медведев Ю.Г. Динамическая балансировка нагрузки кластера в программном комплексе моделирования газопорошковых потоков // Восьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ТГУ, 2015. С. 17–18.

Расчет надежности сети с учетом двухвершинных сечений

Д. А. Мигов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: mdinka@rav.sscc.ru

Рассматривается задача точного расчета вероятности связности случайного графа. Данная характеристика является одним из основных показателей надежности сетей. Для решения предлагается подход основанный на структурной декомпозиции сети. Ускорение достигается за счет сведения расчета надежности исходной сети к расчету надежности группы сетей меньшей размерности. Разработан метод, позволяющий учитывать сразу группу двухвершинных сечений, что существенно

быстрее, чем рекурсивный обход сечений с использованием соответствующей формулы. Проведено экспериментальное исследование целесообразности проведения декомпозиции для сечений размера более чем два.

Работа поддержана РФФИ (код проекта 18-07-00460).

Оптимизация синтеза нелинейных моделей с помощью биоинспирированных алгоритмов

О. Г. Монахов, Э. А. Монахова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: monakhov@rav.sscc.ru

Рассматривается решение проблемы построения нелинейных моделей (математических выражений, функций, алгоритмов, программ) на основе заданных экспериментальных данных, множества переменных, базовых функций и операций. Разработан алгоритм унифицированного многовариантного эволюционного синтеза нелинейных моделей, который использует представление хромосомы в виде вектора действительных чисел и позволяет применить различные биоинспирированные алгоритмы оптимизации при поиске моделей. Получены оценки эффективности предложенного подхода с использованием пяти различных биоинспирированных алгоритмов (генетического алгоритма, дифференциальной эволюции, алгоритма оптимизации роем частиц, алгоритма колонии пчел, алгоритма оптимизации на основе преподавания и обучения) и проведено его сравнение со стандартным алгоритмом генетического программирования и алгоритмом декартового генетического программирования. Проведенные эксперименты показали существенное преимущество предложенного подхода по сравнению с указанными алгоритмами как по времени поиска решения (более чем на порядок в большинстве случаев), так и по вероятности нахождения заданной функции (модели) (во многих случаях более чем в два раза).

Using hexagonal grid in cellular automata and CNN models for pattern formation

M. B. Ostapkevich
The Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics
E-mail: ostap@ssd.sscc.ru

The simulation of pattern formation is an essential part of research into a wide variety of natural phenomena and artificial systems. One of the promising approaches to their simulation is based upon the notions of cellular automata and cellular-neural networks. The existing discrete models use the rectangular grid. A hexagonal grid offers some advantages over the rectangular one. Particularly, these are the equal distances between all the neighbor cells and more axes of symmetry. These qualities would allow to generate patterns, which correspond to the real world configurations within versatile complex systems to a greater extent. A cellular-automata model and a cellular neural network with hexagonal grid and templates of various radii are presented and their properties are investigated. An application library for cellular-neural network model construction and simulation with rectangular and hexagonal grids of arbitrary template radii as well as a visualization tool were implemented as a by-product of the research.

Среднее арифметическое математических ожиданий потоков между парами вершин ненадежной сети, как характеристика ее пропускной способности

А. С. Родионов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет
E-mail: alrod@sscc.ru

В докладе рассматривается новый показатель качества сети с ненадежными связями, характеризующий ее пропускную способность "в целом", а именно среднее арифметическое математических ожиданий потоков между всеми парами вершин. Этот показатель хорошо подходит, например, для оценки качества структуры дорожной сети мегаполиса. Нахождение математического ожидания максимального потока между выделенной парой узлов сети с ненадежными связями, моделируемой

случайным графом, является известной задачей [1, 2]. Однако, полный перебор пар узлов с расчетом соответствующих математических ожиданий неэффективен: для каждой пары рассматриваются все возможные разрушения сети. Рассмотрение всех пар для каждого разрушения дает сокращение числа операций, однако и в этом случае происходят многократные повторные вычисления. В докладе показаны различные приемы декомпозиции и учета структурных особенностей сетей, позволяющие существенно снизить количество операций при вычислении рассматриваемого показателя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00775) и Проекта 0315-2016-0006 ФАНО РФ.

Список литературы

1. Evans, J. Maximum flow in probabilistic graphs – the discrete case // Networks. 1976. № 2(6). P. 161–183.
2. Fujii Y., Wadayama T. An analysis on minimum s-t cut capacity of random graphs with specified degree distribution // In: Proc. of the 2013 IEEE Int. Symp. on Information Theory. P. 2895–2899.

Метод кластеризации в задачах сбора информации в беспроводных сетях

О. Д. Соколова
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: olga@rav.sscc.ru

Повышение эффективности функционирования современных сетей передачи данных – актуальная задача, которой посвящено множество исследований российских и зарубежных авторов [1-3]. Одна из тенденций современных исследований в области разработки оптимальных методов сбора и передачи данных состоит в следующем: разбиение множества узлов сети на кластеры, использование возможностей ключевых узлов (cluster-head, CH) в каждом кластере для передачи собранной информации к базовой станции (или, наоборот, для распространения информации в кластере) [4-5]. При моделировании таких сетей как БСС (беспроводные сенсорные сети), сети с узлами на транспортных средствах VANET (Vehicle ad-hoc networks), необходимо учитывать специфику передачи информации в беспроводной среде. Например, разбиение узлов на кластеры может существенно повысить эффективность распространения коротких сообщений в транспортной среде. CH может передавать сообщения узлам своего кластера, используя широковещательную передачу с пониженной мощностью передатчика. Для этого может использоваться отдельный радиоканал. Такая организация передачи информации в сети позволяет оптимизировать время работы и энергопотребление. В докладе рассматриваются различные алгоритмы разбиения множества узлов на кластеры, приводится сравнительный анализ работы алгоритмов на различных топологиях сети.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН (проект 0315-2016-0006) и при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (проект № 17-47-540977 р_а).

Список литературы

1. M. Grzenda, A. Awad, J. Furtak, J. Legierski Advances in Network Systems: Architectures, Security, and Applications // Springer, 2016. 352 C.
2. Дядюнов А. Н., Кузнецов К.Н. Моделирование беспроводных сенсорных сетей // Научный вестник МГТУ ГА. – 2009. № 139. С. 63-69.
3. Sokolova O.D., Yurgenson A.N., Shakhov V.V. Data transmission problem for modern data networks // Proceedings 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE - 2014. C. 660-662.
4. Prashant Krishan Comparison and Performance Analysis of Dynamic and Static Clustering Based Routing Scheme in Wireless Sensor Network // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 2, Issue 4, April 2013. P. 1808-1812.
5. Ameer Ahmed Abbasi, Mohamed Younis A survey on Clustering algorithms for wireless sensor networks // Computer Communications № 30 (2007). P. 2826-2841.

Параллельная реализация мезомасштабной метеорологической модели для исследования атмосферных процессов над городом

А. В. Старченко[1,2], Е. А. Данилкин[1], С. А. Проханов[1]
[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет
[2]Институт вычислительных технологий СО РАН
Email: *starch@math.tsu.ru*

Представлен параллельный алгоритм решения системы уравнений мезомасштабной метеорологической модели высокого разрешения TSU-NM3. Метеорологическая модель является негидростатической и включает трехмерные нестационарные уравнения гидротермодинамики атмосферного пограничного слоя с параметризацией турбулентности, микрофизики влаги, длинноволновой и коротковолновой (солнечной) радиации в атмосфере, адвективного и скрытого потоков тепла на границе ее взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью. Уравнения модели решаются численно на основе метода конечного объема и явно-неявных разностных схем второго порядка аппроксимации. В качестве основного подхода распараллеливания выбрана двумерная декомпозиция (по горизонтальным сеточным линиям) сеточной области на подобласти с применением технологии параллельных вычислений Message Passing Interface. Такой подход позволил добиться эффективности параллельных вычислений 80 % на сетке 50x50x30 при использовании 64 ядер кластера ТГУ Cyberia. Для дальнейшего повышения скорости параллельных вычисления для рассматриваемого численного алгоритма решения уравнений метеорологической модели проводились эксперименты по организации параллельных вычислений с помощью совместного использования технологий MPI+OpenMP, MPI+CUDA.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (грант № 16-41-700178 р_а).

Задачи совмещенного размещения сетей инженерных коммуникаций различного назначения

Г .Ы. Токтошов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: tgi_tok@rambler.ru

Задачи проектирование сетей инженерных коммуникаций различного назначения (газо-, водопроводы, теплосети, сети связи и электроснабжения и т.п.) в условиях городской застройки возникают при строительстве новых или модернизация существующих сетей с целью обеспечение потребности населенных пунктов, торговых площадок, центров обслуживание заявок и т.п.

Сети инженерных коммуникаций в современном представлении – это крупные пространственные объекты со сложной иерархической структурой, связывающей источники целевой продукции (газ, нефть, вода, электричество, информация и т.п.) с потребителями. Задача минимизации затрат на строительство и эксплуатацию инженерных сетей является актуальной в виду увеличивающихся масштабов городов и других систем, для которых сети инженерного обеспечения является неотъемлемой частью нормального функционирования современных городов.

Однако в условиях современных городов подземное или открытое пространство чрезвычайно насыщены инженерными коммуникациями различного назначения, стоимость которых весьма высока и составляет значительную долю от общей стоимости градостроительного процесса. Поэтому, одной из важнейших задач проектирования и строительства городских инженерных коммуникаций является снижение протяженности, следовательно, стоимость построения сетей за счет их совмещенного размещения.

В настоящей работе предложена новая методика совмещенного размещения сетей инженерных коммуникаций в одной траншее с учетом их совместимости. Методика основывается на моделях эволюционного синтеза и теории гиперсетей.

Распределенные алгоритмы управления распределенными данными в системе фрагментированного программирования LuNA

Г. А. Щукин
Новосибирский государственный технический университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: schukin@ssd.sscc.ru

Параллельная реализация крупномасштабных численных моделей для вычислительных систем с распределенной памятью требует декомпозиции данных задачи на фрагменты и распределения фрагментов данных по вычислительным узлам. Для повышения эффективности исполнения параллельной программы используются такие средства, как динамическая балансировка загрузки, а также распределение данных с учетом минимизации коммуникаций между узлами. В работе рассматриваются разработанные алгоритмы управления распределенными данными для системы фрагментированного программирования LuNA [1-3]. Алгоритмы осуществляют распределение и поиск фрагментов данных задачи по вычислительным узлам, а также миграцию фрагментов данных между узлами для динамической балансировки нагрузки. В целях масштабируемости на большое число вычислительных узлов алгоритмы являются распределенными, где отсутствует центральный узел и каждый узел взаимодействует только с фиксированным числом соседних узлов. Проведено тестирование алгоритмов на реальных вычислительных задачах с целью определения их применимости и эффективности.

Список литературы

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A., Schukin G.A. Scalable distributed data allocation in LuNA fragmented programming system. The Journal of Supercomputing, February 2017, vol. 73, no. 2, pp. 726-732.

2. Малышкин В.Э., Перепелкин В.А., Щукин Г.А. Распределенный алгоритм управления данными в системе фрагментированного программирования LuNA. Журнал "Проблемы информатики", № 1(34), 2017. - С. 74-88.

Malyshkin V.E., Perepelkin V.A., Schukin G.A. Distributed Algorithm of Data Allocation in the Fragmented Programming System LuNA. PACT-2015, Springer, LNCS vol. 9251, pp. 80-85.

Секция 6. АКТИВНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Скоростные и упругие свойства геологической среды в месте проведения подземных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне.

А. В. Беляшов, В. Д. Суворов, Е. А. Мельник
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
E-mail: BelyashovAV@ipgg.sbras.ru

Для изучения состояния блоков горных пород, подвергшихся воздействию подземных ядерных взрывов, на участке Семипалатинского испытательного полигона (площадью 6.0×3.5 км^2) проведены сейсмические исследования методом первых вступлений вдоль 8 параллельных профилей длиной по 6 км и шагом между ними 0.5 км. Методом прямого лучевого трассирования построены двумерные скоростные разрезы по P и S волнам до глубины 300 м, рассчитаны упругие параметры поствзрывной среды – коэффициенты Vp/Vs и Пуассона.

В верхней части разреза выделены области пониженных значений скорости сейсмических волн (до 1.0–1.5 км/с относительно до-взрывных значений), интерпретированные нами в качестве зон откольных разрушений. Мощность откольных зон достигает 80 м, их горизонтальные размеры зависят от плотности размещения «боевых» скважин вдоль профиля и изменяются от 0.5 км (для отдельных скважин) до 4 км (для группы скважин). Зоны отколов характеризуются повышенными значениями коэффициентов Vp/Vs (>1.8) и Пуассона (>0.3).

С привлечением данных о скорости волн в горных породах, полученных до проведения взрывов, рассчитан параметр плотности трещин, позволяющий оценить степень взрывного разуплотнения горных пород. В результате предварительного анализа данных установлено общее снижение скорости P и S волн при увеличении Vp/Vs и коэффициента Пуассона за счет трещиноватости, что характерно для флюидонасыщенных сред.

Список литературы

1. Беляшов А. В., Суворов В.Д., Мельник Е.А. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке Семипалатинского ядерного испытательного полигона // Технологии сейсморазведки. 2013. №3. С. 64-75.
2. Беляшов А. В., Суворов В.Д., Мельник Е.А. Техногенно-измененные приповерхностные породы на участке Семипалатинского испытательного полигона: характеристика по сейсмическим данным // Технологии сейсморазведки. - 2015. - №1. - С. 106-110.
3. Gueguen Y. and M. Kachanov. Effective Elastic Properties of Cracked Rocks – An Overview. Mechanics of Crustal Rocks // Springer Wien New -York, Courses and Lectures. 2011. N 533. P. 239
4. Zelt C.A., Smith R.B. Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure // Geophys. J. 1992. P. 16–34.

Развитие научной информационной системы по активной сейсмологии

Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, В. В. Ковалевский
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: ludmila@opg.sscc.ru

В работе рассмотрены вопросы формирования и агрегации научного контента по активной сейсмологии, представлены этапы создания научной информационной системы, обеспечивающей систематизацию и интеграцию результатов научных исследований и информационных ресурсов предметной области.

Список литературы

1. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В. Структура и сервисы системы информационной поддержки вибросейсмических исследований// Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2017) [Электронный ресурс]: Сборник трудов всероссийской конференции (29-31 августа 2017 г., г. Бердск. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017. 323 с. ISBN 978-5-905569-08-1Стр.241-245 http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2017/416796/(S3)BraginskayaLP.pdf

2. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В., Загорулько Г.Б. Систематизация научных знаний по активной сейсмологии на основе онтологий. Материалы IV Международной конференции "Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле. ITES-2016", г. Южно-Сахалинск, 7-11 августа 2016 г. Стр. 70-71

3. Загорулько Ю. А. Технология разработки интеллектуальных научных интернет-ресурсов, ориентированная на экспертов предметной области // Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем. Сборник избранных научных статей. Труды Четвертого Всероссийского симпозиума (С.-Петербург, 6–8 октября 2014 г.). Под ред. Е.В. Кудашева, В.А. Серебрякова. М.: ВЦ РАН, 2014 - Т.1. - С.69-86.

Математическое моделирование взаимодействия акустических колебаний с растительным массивом

Г. М. Воскобойникова, Д. А. Караваев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: gulya@opg.sscc.ru

В работе представлена система уравнений акустики в двухмерном случае для изучения вопросов взаимодействия акустических волн с растительным массивом. Предложен способ решения системы уравнений, описывающий распространения акустических волн от точечного источника в неоднородной модели "атмосфера-лес". При этом в основные уравнения входит добавочный коэффициент в виде демпфирующей функции, представляющей наличие леса. Для численной реализации разработана и представлена конечно-разностная схема. Авторами выполнено численное моделирование процессов распространения инфразвуковых акустических колебаний в нижней атмосфере при наличии растительного массива с учетом вносимой при этом силы трения. Рассмотрена задача взаимодействия акустических волн, падающих под заданным углом на грунт, покрытый растительным слоем, и сейсмических волн, возникающих в грунте, в модели "воздух – лес". Оценено влияние коэффициента трения на скорость затухания акустических колебаний в растительности. Разработана и реализована программа расчета уровней акустического давления в разных средах с применением волнового уравнения для атмосферы, уравнений газовой динамики Эйлера для леса, уравнения упругости для грунта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-07-01052).

Экспериментальные исследования по калибровке сейсмических станций с использованием мощных вибраторов

Б. М. Глинский[1], А. Ф. Еманов[2], В. В. Ковалевский[1], В. М. Соловьев[2], М. С. Хайретдинов[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН
E-mail: gbm@sscc.ru

Академиком А. С. Алексеевым было предложена идея разработки технологии калибровки сейсмических трасс и сейсмостанций с помощью зондирующих сигналов с высокими метрологическими характеристиками для повышения эффективности систем контроля за несанкционированными ядерными испытаниями в рамках договора Comprehensive Test Ban Treaty (CTBT). Такие сигналы могут быть получены от мощных вибраторов, управляемых по амплитуде, частоте и времени. Такие источники были разработаны в Сибирском отделении РАН: ЦВ -100, ЦВ – 40, ГРВ – 50.

Международный научно-технический центр (МНТЦ) поддержал проект "Создание технологии калибровки сейсмических станций и сейсмических трасс с использованием мощных сейсмических вибраторов", который получил название МНТЦ 1067. Научный руководитель проекта – академик А. С. Алексеев. Иностранными коллабораторами проекта выступили Lawrence Livermore National Laboratory USA, Los Alamos National Laboratory USA, Data Centre CTBTO Vienna International Centre.

В рамках выполнения этого проекта было проведено сравнение волновых полей, возбуждаемых промышленными взрывами и мощными вибросейсмическими источниками с точки зрения определения первых вступлений и динамики волн, показано, что мощные вибраторы могут быть использованы для калибровки. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований с использованием мощных вибраторов и промышленных взрывов как в рамках выполнения проекта МНТЦ 1067, так и в новых исследованиях.

Работа выполнена работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0009) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проект 16-07-00434).

Исследование поляризационных характеристик вибросейсмических сигналов

А. П. Григорюк, В. В. Ковалевский, Л. П. Брагинская
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: and@opg.sscc.ru

В работе представлены результаты исследования параметров поляризации сейсмических волн в ходе вибросейсмического мониторинга Байкальской рифтовой зоны на протяжении 2003-2014 годов с использованием мощного сейсмического вибратора ЦВО-100 [1]. Установлена связь параметров поляризации [2] с вариациями напряженного состояния геологической среды, вызванными землетрясением.

Список литературы

1. Татьков Г.И., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д., Толочко В.В., Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Вибросейсмические исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий // Отечественная геология. 2013. № 3. С. 16–23.

2. A. Jurkevics Polarization analysis of three-component array data. // Bulletin of the Seismological Society of America, 78(5), 1725–1743.

Скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии Сибирской платформы и Байкальской складчатой области по данным подземных ядерных взрывов

А. А. Добрынина[1, 2], В. А. Саньков[1, 3], В. В. Чечельницкий[4]
[1]Институт земной коры СО РАН
[2]Геологический институт СО РАН
[3]Иркутский государственный университет
[4]Байкальский филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН"
E-mail: dobrynina@crust.irk.ru

В течение 1976-1987 гг. в бывшем Советском Союзе на территории Иркутской области и Забайкальского края (Восточная Сибирь) и республики Саха было произведено десять подземных ядерных взрывов мощностью от 3.2 до 15 килотонн на глубинах до 1500 метров [1]. Взрывы были записаны региональной аналоговой сетью сейсмических станций, локализованной в пределах Байкальского рифта и прилегающих к нему районах на расстояниях от 250 до 1400 км. В настоящей работе представлены первые предварительные результаты построения региональных годографов и определения скоростей сейсмических волн в коре и верхней мантии региона по данным о временах прихода основных региональных сейсмических фаз: Pg, Pn, Sg и Sn. Согласно полученным данным, средние скорости сейсмических волн в коре составляют для продольных волн Pn=8.25 км/с, Pg=6.12 км/с, для поперечных – Sn=4.57 км/с, Sg=3.58 км/с. Помимо определения средних скоростей сейсмических волн для всего региона, также были получены средние скорости сейсмических волн в коре и на подошве мантии для трех крупных блоков: Сибирской платформы, Байкало-Патомского нагорья и Забайкальского блока. Полученные скорости хорошо согласуются с известными данными о скоростном строении Байкальского рифта [2–4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Иркутской области (код проекта 17-45-388049).

Список литературы

1. Sultanov D.D., Murphy J.R., Rubinstein Kh.D. A seismic source summary for Soviet peaceful nuclear explosions // Bull. Seismol. Soc. Am. 1999. V. 89 (3). P. 640–647.

2. Крылов С.В., Мандельбаум М.М., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Селезнев В.С. Недра Байкала (по сейсмическим данным). Москва, Наука, 1981. 105 с.

3. Мордвинова В.В. Строение земной коры и верхней мантии Центральной Азии на основе телесейсмических объемных волн. Автореферат на соискание степени доктора геол.-мин. наук, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, 2009. 50 с.

4. Cherepanova Y., Artemieva I.M., Thybo H., Chemia Z. Crustal structure of the Siberian craton and the West Siberian basin: An appraisal of existing seismic data // Tectonophysics. 2013. № 609. P. 154–183.

Вибрационные колебания в геологических средах как сигналы и как фактор воздействия

А. Ф. Еманов[1], А. А. Еманов[1], А. А. Бах[1], В. С. Селезнев[2]., В. М. Соловьев[1], А. В. Фатеев[1]
[1]Алтае-Саянский филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН"
[2]Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба РАН"
E-mail: emanov@gs.sbras.ru

Доклад посвящен изучению вибрационных колебаний в средах от мощных вибраторов и промышленных установок; исследуются свойства сигналов, возбуждаемых в средах, нелинейные эффекты и распространение в геологических средах. Оцениваются возможности накопления вибрационных колебаний в импульсные сейсмограммы в условиях регистрации колебаний на фоне нестационарных шумов.

Приводятся экспериментальные данные о сейсмическом воздействии вибрационных колебаний на сейсмически активизированные среды. Установлен факт влияния вибрации на протекание наведенной сейсмичности в районе угольных шахт. Оценивались воздействия промышленных взрывов на наведенную сейсмичность в Кузбассе. Показано, что наведенная сейсмичность на угольных месторождениях не зависит от сейсмического воздействия от взрывных работ, а взрывы на рудных месторождениях вызывают сейсмические процессы.

В инженерных сооружениях вибрация с умеренными амплитудами сочетается с нелинейными эффектами. В данном случае фиксируется нелинейность, вызванная с некоторой свободой в соединениях блочных конструкций.

Вибрационные колебания, как от специализированных сейсмических источников, так и промышленных комбайнов возбуждают колебания с нелинейными эффектами в ближней зоне источников, способные оказывать воздействие на активизированные и блочные среды с влиянием на их поведения. Обнаруженные эффекты создают предпосылки разработки новых технологий для управления сейсмическим процессом при добыче полезных ископаемых и в диагностике физического состояния инженерных сооружений.

Подход к оценке времени вступления сигнала с привлечением кластерного анализа

В. И. Знак[1], С. Кунду[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Институт прикладной математики, Дханбад, Индия
E-mail: znak@opg.sscc.ru; kundu_santi@yahoo.co.in

В своей основе сейсмические и вибросейсмические волны являются периодическими сигналами. Привлечение кластерного анализа [1–2] позволяет находить оценки положения сигнала на оси времени. В основе подхода лежит привлечение оценки дисперсии сигнала и исследование полученных результатов как изображения кластерных образований. Для повышения эффективности подхода предлагается использовать метод статистических испытаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-57-45166 ИНД_а).

Список литературы

1. Знак В.И., Грачев О.В. Некоторые вопросы повышения качества зашумленных периодических сигналов и численной оценки их параметров и характеристик; кластерный подход – постановка задачи // Сибирский журнал вычислительной математики. 2009, Т. 12, № 1, С. 41-55.

2. Vladimir Znak. 2017, On studying Characteristics of Periodic Signals Based on the Cluster Analysis // Journal of Computer Engineering & Information Technology, Val. 6, N 3, pp.1-5. DOI: 10.4172/2324-9307.1000173.

Моделирование сейсмического поля рифтовой зоны с применением суперкомпьютеров

Д. А. Караваев
E-mail kda@opg.sscc.ru

В работе рассматривается решение динамической задачи геофизики для двухмерного случая в постановке для скоростей и напряжений. Численное моделирование проводится на основе разностного метода [1]. Представлена организация параллельных вычислений и разработаны программное обеспечение для расчетов с применением суперкомпьютеров. С использованием разработанного программного обеспечения воссоздана двухмерная модель рифтовой зоны протяженностью в сотни километров [2]. Представлены рассчитанные снимки сейсмического поля и теоретические сейсмограммы от точечного источника. Полученные данные показывают хорошее совпадение с результатами натурного эксперимента. Расчеты проведены с использованием многоядерных вычислительных систем Центра коллективного пользования Сибирский суперкомпьютерный центр.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-51-41002 Узб_т, 18-41-543012 р_мол_а, 18-47-540006 р_а, 16-07-01052 А, 17-57-45166 ИНД_а), Российского научного фонда (код проекта 18-11-00044).

Список литературы

1. Moczo P. Introduction to Modeling Seismic Wave Propagation by the Finite-Difference Method. Lecture Notes, Kyoto University, 1998

2. Mordvinova V.V., Artemiev A.A. The three-dimensional shear velocity structure of lithosphere in the southern Baikal rift system and its surroundings. Russian Geology and Geophysics, Vol. 51, No. 6, 2010, pp. 694-707.

Анализ данных вибросейсмического мониторинга южного Прибайкалья

В. В. Ковалевский[1], Ц. А.Тубанов[2], Л. П. Брагинская[1], А. П. Григорюк[1]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Геологический институт СО РАН
E-mail: kovalevsky@sscc.ru

В докладе приведены результаты анализа данных 10-летнего вибросейсмического мониторинга южного Прибайкалья, проводившегося с использованием 100-тонного вибратора Южно-Байкальского геодинамического полигона. Для анализа использовались вибрационные сейсмограммы, полученные на сейсмостанциях Тырган и Хурамша. Исследованы сезонные изменения спектра излучения вибратора и зарегистрированных сейсмограмм. Предложен алгоритм компенсации сезонных вариаций вибрационных сейсмограмм на основе спектральных преобразований. Получены оценки вариаций времен вступлений волн и их амплитуд на вибрационных сейсмограмм для двух сейсмостанций и определена величина многолетнего временного тренда этих вариаций.

Список литературы

1. Татьков Г.И., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д., Толочко В.В., Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Вибросейсмические исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. // Отечественная геология. - 2013.- №3. - С. 16-23. ISSN 0869-7175.

2. Ковалевский, В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д. Выделение медленных вариаций времен вступлений волн при коррекции сезонных изменений вибросейсмограмм // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2015, Т.1, С.180-186

Физическое моделирование отражения упругих волн от шероховатых границ

Ю. И. Колесников[1,2], Р. Н. Бейсембаев[3], К. В. Федин[1,3]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Сейсмологический филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН"
[3]Новосибирский государственный университет
E-mail: kolesnikovyi@ipgg.sbras.ru

Приведены результаты физического моделирования отражения упругих волн от шероховатых границ. Шероховатые границы между водой и плексигласом создавались фрезерованием на плоской поверхности плексигласа чередующихся прямолинейных пазов треугольного или прямоугольного

сечения. Поперечный размер пазов, их глубина и расстояние между ними были соизмеримы с длиной волны в воде. Таким образом, моделировались азимутально-неоднородные шероховатые границы.

Результаты экспериментов показали, что характер и степень влияния шероховатости границы на ее отражательную способность зависят от соотношения длины волны и характерного размера шероховатости, а также от формы локальных неоднородностей границы. Во всех исследованных случаях шероховатость границ ведет к уменьшению эффективных (кажущихся) коэффициентов отражения на докритических и близких к критическим углах падения и, как правило, к их возрастанию на закритических углах по сравнению с зеркальной границей.

Отражение упругих волн от азимутально анизотропной среды: результаты физического моделирования

Ю. И. Колесников [1,2], К. В. Федин[1,3]
[1] Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2] Сейсмологический филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН"
[3] Новосибирский государственный университет
E-mail: kolesnikovyi@ipgg.sbras.ru

Проведено ультразвуковое физическое моделирование упругих волн, отраженных от границы воды и низкоскоростной азимутально анизотропной среды. Тонкослоистая модель анизотропной среды была напечатана на 3D-принтере из ABS-пластика. Результаты экспериментов показали, что для такой границы при углах падения менее 25° коэффициенты отражения практически не зависят от азимута плоскости падения. При бóльших углах падения наблюдается азимутальная зависимость коэффициентов отражения, наиболее сильно проявляющаяся при азимутах плоскости падения 45-60° относительно направления слоистости. Результаты измерений в направлении слоистости хорошо согласуются с теоретическими коэффициентами отражения для границы изотропных сред. Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для тестирования алгоритмов и программ расчета волновых полей в средах с азимутально анизотропными слоями, коэффициентов отражения для границ анизотропных сред, а также для верификации различных методов AVO-анализа.

Using FPGA technology for high performance data processing in systems of active geophysical monitoring

M. B. Ostapkevich[1], R. F. Minahudin[2]
[1]Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
[2]Novosibirsk State Technical University
E-mail: ostap@ssd.sscc.ru

The algorithm of flow convolution is applied to wide specter of geophysical problems [1]. Computing convolution at the moment of experiment helps researchers to see immediately if the experiment is successful. The implementation of convolution requires high performance, compact size and a tiny power consumption at the same time. FPGA meets these demands. It makes it possible to construct computationally intensive implementations by exploiting parallelism inherent to the problem itself. The descriptions of the designed architecture of flow convolution computing device and its implementation using Artix-7 [2] are presented.

References

1. Hairetdinov, M.S. Algorithms of flow convolution in the problems of active vibro-acoustic monitoring / M.S. Hairetdinov, G.M. Voskoboynikova, G.S. Sedukhina – GeoSibir, 2017.

2. Artix-7 FPGAs Data Sheet: DC and AC Switching Characteristics. Xilinx - v1.24, April 4, 2018. - DS-181.

Активная сейсмология и ГСЗ с мощными вибраторами в Сибири

В. С. Селезнев[1], А. Ф. Еманов[2], В. М. Соловьев[2], А. С. Сальников[3], В. И. Юшин[4], В. Н. Кашун[1], С. А. Елагин[2], Н. А. Галева[2]
[1]Сейсмологический филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН",
[2]Алтае-Саянский филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН",
[3]Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья,
[4]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
E-mail: sel@gs.sbras.ru

В Сибирском отделении Российской академии наук около 40 лет развивается метод активного вибросейсмического мониторинга с мощными вибраторами. Интерес к этому методу связан с широкими его возможностями по изучению напряженно-деформированного состояния среды в очаговых зонах готовящихся землетрясений и способностью заменить большие взрывы вибраторами. Главный объем работ с мощными вибраторами выполнен в Алтае-Саянском регионе и на Востоке России.

Описаны методика, техника работ и реализованные системы наблюдений при работе с вибраторами. Представлены материалы экспериментальных исследований с 40-100 тонными вибраторами; показано, что при вибрационном воздействии регистрируется поле продольных и поперечных волн от основных опорных границ земной коры и верхней мантии (преломленные и отраженные P- и S-волны от поверхности фундамента и коровых границ, преломленные и отраженные P- и S-волны от поверхности Мохоровичича). Сравнение качественных взрывных и вибрационных записей на близких (или почти взаимных) расстояниях при одних и тех же частотных диапазонах в целом показывает практическое совпадение волновых полей, сохранение форм записи опорных волн и их кинематических параметров. Приведены уникальные данные, полученные при регистрации монохроматических и свип сигналов на удалениях в 400-1000 км, а также многолетние ряды режимных вибросейсмических наблюдений.

Изучены характеристики излучения вибраторов на неоднородных грунтах; исследованы вопросы точности и повторяемости волновых полей при регистрации монохромов и свип-сигналов на больших удалениях и в разных условиях, включая регистрацию на донных станциях; проведено практическое опробование использования мощных 40-тонных вибраторов на профилях ГСЗ в труднодоступной местности Сибири. Все это убедительно свидетельствует о реальной возможности широкомасштабного внедрения мощных вибраторов для активного геофизического мониторинга сейсмоопасных территорий и региональных глубинных сейсмических исследований.

Циклические шкалы измерений: их свойства, расстояния, меры сходства

В. А. Сергеев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: vas@omzg.sscc.ru

В работах по теории измерений, планированию эксперимента, анализу данных и знаний, распознаванию образов [1-4] шкалы измерений (далее для краткости — шкалы), относящиеся к свойствам и их значениям, рассматривались для линейно-упорядоченных совокупностей значений (за исключением шкалы имен с неупорядоченными значениями). Однако существуют практические ситуации (требующие соответствующих постановок задач), когда первое значение свойства некоторой шкалы совпадает с его последним значением. Такие шкалы названы циклическими. Свойства таких шкал в задачах анализа данных могут быть как прямыми (играющими роль зависимых переменных или образов), так и косвенными (независимыми переменными). Для тех и для других требуются специальные формулы для мер сходства и расстояний. В докладе, соответствующим этим тезисам, рассматриваются полностью или частично полученные автором ответы на заданные выше вопросы и представлены результаты такого рассмотрения.

Список литературы

1. Воронин Ю.А. Введение мер сходства и связи для решения геолого-геофизических задач // ДАН СССР. 1971. Т.199, №5. С. 1011-1015.

2. Воронин Ю.А., Сергеев В.А. К методологии и теории формального задания и использования структур в геоинформатике // Тр. междун. конф. "Математические методы в геофизике" / ИВМиМГ СО РАН. Новосибирск, 2003. С. 641-646.

3. Загоруйко Н.Г. Когнитивный анализ данных. – Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2013. 186 с.

4. Витяев Е.Е. Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2006. 293с.

Режимные вибросейсмические наблюдения в Алтае-Саянском регионе: результаты, перспективы

В. М. Соловьев[1], А. Ф. Еманов[1], В. С. Селезнев[2], В. Н. Кашун[2], С. А. Елагин[1]
[1]Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба РАН"
[2]Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба РАН"
E-mail: sol@gs.sbras.ru

Режимные вибросейсмические исследования с мощными вибраторами в Алтае-Саянском регионе начались фактически сразу после установки 100-тонного вибратора на Быстровском полигоне в начале 80-ых годов прошлого столетия. Первые эксперименты по изучению повторяемости волнового поля выполнялись в ближней зоне и на удалении 20 км от ЦВ-100. С 1996 по 2004 год со 100-тонным вибратором проводились регулярные наблюдения с интервалом в 7-10 дней на сейсмостанции "Новосибирск" на удалении примерно 50 км; в последующем, по настоящее время, режимные наблюдения выполняются с 40-тонным вибратором ЦВ-40.

За длительный период вибросейсмических исследований в северо-западной части Алтае-Саянского региона отработана методика и техника режимных наблюдений, изучены волновые поля от вибраторов на удалениях до 445 км и прохождение монохроматических сигналов по площади на удалениях до тысячи километров. Результаты неоднократных многодневных экспериментов показали, что по кинематическим параметрам повторяемость волновых полей в ближней и дальней зоне составляет 10–3с. Это на порядок меньше выявляемых по данным мониторинга сезонных вариаций кинематических параметров P- и S-волн по трассе Быстровка-Ключи вдоль Новосибирского водохранилища.

Материалы режимных вибросейсмических исследований, а также экспериментальные работы с вибраторами в различных геоморфологических условиях в ряде регионов России свидетельствуют о сильном влиянии грунтов в "ближней зоне" на характеристики излучения вибратора. Приведены результаты экспериментов по изучению влияния резонансов в системе вибратор/грунт, промерзания и оттаивания грунта под вибратором на его характеристики излучения, а также результаты эксперимента по стабилизации характеристик излучения вибратора ЦВ-40.

Приведены примеры многолетних рядов режимных наблюдений с 100-тонным и 40-тонным вибраторами в северо-западной части Алтае-Саянского региона, графики сезонных вариаций волновых полей P-и S-волн и результаты исследований по расширению апертуры режимных вибросейсмических наблюдений за счет использования сейсмологических станций с хорошим прохождением сигналов от вибратора.

Глубинные вибросейсмические исследования в Сибири

В. М. Соловьев[1], В. С. Селезнев[2], А. Ф. Еманов[1], А. С. Сальников[3], В. Н. Кашун[2], С. А. Елагин[1]
[1]Алтае-Саянский филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН"
[2]Сейсмологический филиал ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН",
[3]Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья
E-mail: sol@gs.sbras.ru

Одним из успешных и важных применений мощных 40-100-тонных вибраторов в Сибири стало их использование на профилях глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Первый такой 300-километровый профиль ОГТ-ГСЗ Быстровка-Новокузнецк был отработан со 100-тонным и 40-тонным вибраторами еще в 2001 году. В последующем (2002-2015 гг.) метод ГСЗ, выполняемый с комплексным использованием взрывных и вибрационных источников и мобильной цифровой регистрирующей аппаратурой, был одним из главных методов геофизических исследований на опорных профилях (геотрансектах) на Востоке России. Фактически была создана новая технология ГСЗ, позволяющая выполнять полевые работы в промышленных и гражданских территориях, экологических зонах и заповедниках, где с использованием только химических взрывов проводить исследования невозможно. Описаны методика, техника работ и реализованные системы наблюдений при работе с вибраторами. На большом фактическом материале опорных профилей показаны приемы получения качественного материала от мощных вибраторов, включающие как повышение интенсивности излучения за счет накопления сеансов и группирования вибраторов, так и улучшения отношения сигнал/шум при использовании оптимальных условий приема. Использование специальных процедур цифровой обработки виброграмм на основе суммирования фрагментов записей с минимальным уровнем шумов позволяет существенно поднять качество полевых вибрационных данных до уровня, в ряде случаев сравнимого с данными от мощных химических взрывов.

Приведены результаты работ ГСЗ на профилях 2ДВ, 2ДВ-А, 3ДВ и 1-СБ на Востоке России общей протяженностью около 7000 км. Наряду с глубинными сейсмическими разрезами, освещающими земную кору до границы Мохоровичича крупных тектонических зон Охотско-Чукотского региона, Сибирской платформы, Прибайкалья и Забайкалья, при работах ГСЗ был получен большой фактический материал по излучению вибраторов на неоднородных грунтах, исследованы вопросы группирования мощных дебалансных вибраторов и регистрации их на донных станциях.

Региональное структурно-тектоническое районирование верхней коры Забайкалья по сейсмогравитационным данным по профилю 1-СБ

В. Д. Суворов, Е. А. Мельник, Е .В. Павлов
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
E-mail: SuvorovVD@ipgg.sbras.ru

Принципиальная новизна исследований заключается в применении метода первых вступлений (МПВ) для изучения разломно-складчатых структур, верхней коры, тогда как ранее он традиционно использовался в условиях полого залегающих слоев в платформенных условиях. Новые возможности метода совместно с закритическими отражениями определяются технологией решения прямых кинематических задач сейсмики в двумерных слоисто неоднородных средах.

Объект изучения вдоль профиля 1-СБ, вследствие высокой геологической изученности, является эталонным для оценки эффективности применения сейсмического метода совместно с гравитационными наблюдениями.

Технологией проб и ошибок в методе прямого лучевого трассирования (Zelt & Smith, 1992) определялись параметры разреза (скорость и глубина залегания слоев) обеспечивающих приемлемые невязки наблюденных и расчетных времен пробега волн (до 0.05–0.07 с), регистрирующихся в первых (преломленно-рефрагированные волны) и последующих вступлениях (закритические отраженные).

Распределение плотности в коре получено по аномалиям Буге (спутниковые данные гравитационного поля WGM2012) в программе (Кочнев и др., 2008). Корреляция между гравитацион-

ным и сейсмическими ускорениями определены дополнительные характеристики структурно-тектонических блоков.

Обнаружена высокая корреляция между сейсмическими и приповерхностными геологическими характеристиками верхней коры, свидетельствующая о принципиальной возможности выделения структурно-тектонических блоков. Последние, с различными скоростными, плотностными и структурными неоднородностями, прослежены на глубину 4–6 км и разделены полого наклоненными разломными зонами шириной до 7–10 км.

Список литературы

1. Кашубин С. Н., Мильштейн Е. Д., Винокуров И. Ю., Эринчек Ю. М. (ВСЕГЕИ), Сержантов Р. Б., Татаринов В. Ю. (Роснедра). Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин – основа глубинного 3D картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа// Региональная геология и металлогения. 2016. № 67. С. 43-48.

2. Кочнев В.А., Гоз И.В., Поляков В.С. Технология расчета плотностной скоростной моделей и статических поправок по гравиметрическим данным //Геофизика. 2008. № 4. С. 28-33.

3. Суворов В. Д., Мельник Е. А., Павлов Е. В., Сальников А. С. Региональное структурно-тектоническое районирование верхней коры Забайкалья по сейсмогравитационным данным вдоль опорного профиля 1-СБ// Геодинамика и тектонофизика, 2018, № 9(2). С.439-459.

4. Bonvalot, S., Balmino, G., Briais, A., Kuhn, M., Peyrefitte, A., Vales N. et al., World Gravity Map. – 2012. Bureau Gravimetrique International (BGI), map, CGMW-BGI-CNES-IRD Ed., Paris.

5. Zelt C.A., Smith R., 1992. Seismic traveltime inversion for 2D crustal velocity structure. Geophys. J. Int. 108, 183–204.

Проблемы вибросейсмического просвечивания очаговых зон Байкальской рифтовой зоны

Ц. А. Тубанов[1,2], В. В. Ковалевский[3], Л. П. Брагинская[3], А. Д. Базаров[1], Е. И. Герман[1]
[1]Геологический институт СО РАН
[2]Бурятский филиал ФИЦ ЕГС РАН
[3]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: geos@ginst.ru

В докладе анализируются результаты вибросейсмических исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны, выполненные институтами СО РАН с применением мощного вибросейсмического источника Южнобайкальского полигона. В отличие от взрывных источников, имеющих дополнительные ограничения по экологическим воздействиям, мощные низкочастотные вибрационные источники типа ЦВО-100 характеризуются высокой стабильностью параметров излучаемых ими сейсмических волн, которая обеспечивается компьютерными системами управления.

Выявлены проблемы, связанные с условиями излучения в ближней зоне и приема сигнала в точках наблюдения. Нестабильность основных параметров вибропросвечивания, выявленная в результате многолетних наблюдений, проявляется в сезонных вариациях времен пробега сейсмических волн, влиянии микросейсмической обстановки на отношение сигнал – шум. Все это затрудняет выявление аномалий времен пробега, связанных с изменением напряженно-деформированного состояния среды.

Предлагается совершенствование существующей системы вибросейсмического просвечивания посредством реконструкции компьютерной системы управления вибратором и использования сейсмических антенн на сейсмических станциях.

Проектирование геоинформационной базы данных землетрясений

А. Т. Турарбек
Казахский национальный университет им. аль-Фараби
E-mail: turarbekasem1@gmail.com

При проектировании геоинформационной базы данных (ГБД) землетрясений в первую очередь формируются задачи и этапы проектирования. Для проектирования ГБД множество разнообразных задач, можно сгруппировать в четыре основных этапа [1]: 1) Первый этап состоит в том, чтобы

преобразовать поставленные вопросы в структуру базы данных; 2) Второй этап – создание базы данных; 3) Третий этап – анализ данных. Он включает наложение слоев, запросы атрибутов и местоположения объектов для ответа на каждую логическую часть вопроса, хранение этих ответов, а также выбор и объединение ответов для получения полного решения задач; 4) Четвертый этап анализа в рамках проекта – организация представления результатов анализа для тех, кто не работает с ГБД и имеет различный уровень опыта работы с картами. Для представления результатов используются карты, отчеты и графики или все вместе.

Можно выделить несколько групп функций, которые должны быть реализованы в составе геоинформационной базы данных [2]: ввод пространственных данных; хранение пространственных данных; обработка пространственных данных; представление пространственных данных; использование пространственных данных из иных источников.

Список литературы

1. Абрамян С.Г. Концепция создания ГИС-технологии для экологического мониторинга линейных объектных ремонтно-строительных потоков// Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Строит. информатика. 2010. Вып. 4 (11).

2. Гурьев А.Т., Алешко Р.А., Васендина И.С., Шошина К.В., Щеников В.С. Разработка геоинформационной системы на базе программного обеспечения с открытым исходным кодом// Вестник Брянского государственного технического университета.2014 г. № 3. С. 114-118..

3. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др. Учебное пособие для студентов вузов. М.: Издательский центр "Академия". 2004.

Технология активного мониторинга в изучении взаимодействия геофизических полей

М. С. Хайретдинов[1,2], В. В. Ковалевский[1], Г. М. Воскобойникова[1] , Г. Ф. Седухина[1], А. А. Якименко[1,2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный технический университет
E-mail: marat@opg.sscc.ru

Проблема изучения взаимодействия волновых полей разной физической природы имеет фундаментальное теоретическое, так и прикладное значение. В работе рассматривается задача изучения взаимодействия геофизических полей -сейсмических, акустических, метеорологических - в связи с проблемой прогнозирования геоэкологических рисков, порождаемых различными техногенными и природными событиями. Доказывается, что метеозависимые процессы распространения инфразвука от взрывов в атмосфере могут многократно усиливать экологическую нагрузку на окружающую социальную и природную среду. Такая ситуация наблюдается в районах открытых угольных разрезов, различных полигонов и других объектов, в которых проводятся регулярные взрывы. В связи с этим авторами предлагается и исследуется метод активного вибрационного зондирования смежных сред- литосфера –атмосфера строго повторяющимися маломощными вибрационными сейсмическими и акустическими колебаниями, которые способны излучать мощные сейсмические вибраторы [1].

Обоснованы и доказаны возможности дальней регистрации одновременно обоих типов колебаний до сотни километров. Применение предложенного подхода активного мониторинга природной среды принципиально позволяет добиться экологической чистоты, высокой повторяемости и прецизионной точности оцениваемых параметров сейсмоакустических колебаний. Результаты работ иллюстрируются данными натурных экспериментов и численных расчетов [2].

Список литературы

1. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН, «Гео» Изд. СО РАН, 2004, 387 с.

2. Хайретдинов М.С., Ковалевский В.В., Воскобойникова Г.М., Седухина Г.Ф. Оценивание метеозависимых геоэкологических рисков от взрывов с помощью сейсмических вибраторов // Технология сейсморазведки, №3, 2016, С. 132-138.

Оценка результатов гидроразрыва пласта методом сейсмоэмиссионной томографии

Е. А. Хогоев[1], А. А. Брыксин[2], А. В. Лисейкин[2], В. С. Селезнев[2], Ю. И. Колесников[1]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
[2]Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба РАН"
E-mail: HogoevEA@ipgg.sbras.ru

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) – один из наиболее эффективных методов интенсификации работы нефтяных и газовых скважин. Наиболее эффективным для горизонтальных скважин является многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП), одна из самых передовых технологий в нефтяной отрасли. В докладе представлены результаты опытных работ по оценке параметров трещин, инициируемых МГРП, методом сейсмоэмиссионной томографии. Этот метод отличается от традиционных методов локализации сейсмических источников тем, что не требует определения времен вступлений, поэтому он может быть использован при работе с сигналами без четких вступлений.

Опытные работы были выполнены в районе проведения многостадийного ГРП в скважине с горизонтальным завершением. Для регистрации пассивных сейсмических данных до начала, во время проведения и после окончания ГРП в районе его проведения была развернута площадная сеть из 28 автономных цифровых станций "Байкал-АСН" и вертикальных геофонов GS-One. В результате проведенных работ получены оценки преимущественной ориентации и предполагаемых относительных (а с учетом объема закачанного проппанта и абсолютных) размеров инициированных ГРП трещин.

Секция 7. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ: ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Development of algorithms and software tools for processing textural images

G. B. Abdikerimova[1], A. L. Bychkov[2], S. S. Khayrulin[3], F. A. Murzin[3], N. E. Russkikh[3], E. I. Ryabchikova[4], Wei Xinyu[5]
[1]L. N. Gumilyov Eurasian National University
[2]Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS
[3]A. P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS
[4]Institute of Molecular Biology and Fundamental Medicine SB RAS
[5]Heilongjiang University
E-mail: murzin@academ.org

Investigations are focused on a creation of scientific and technical solutions in the field of processing images of a textural type. Various sets of textural signs (about 20 features) and spectral transformations on the basis of orthogonal matrixes (the greatest interest, 6 transformations represent) are used. Also experiments on application of the R/S-analysis, fractal analysis and wavelet-analysis are carried out. Further it is supposed to use algorithms of machine learning to predict different parameters.

The work is carried out in order to fulfill the Agreement No. 16-13-10200 of May 12, 2016 (grant) between the Russian Science Foundation and Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS.

Комплекс програмного обеспечения в задачах космического мониторинга опасных гидрометеорологических явлений

В. В. Асмус[1], А. А. Бучнев[2], В. А. Кровотынцев[1], В. П. Пяткин[2]
[1]ФГБУ "НИЦ "Планета"
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: pvp@ooi.sscc.ru

Программный комплекс "PlanetaMonitoring" [1] (совместная разработка ФГБУ "НИЦ "Планета" и ИВМиМГ СО РАН) находится в постоянном развитии с учетом ввода в эксплуатацию новых российских и зарубежных космических аппаратов. Комплекс является представительным набором программных технологий, позволяющих решать различные задачи обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2, 3]. Перечислим некоторые из этих программных технологий: фильтрация спутниковых изображений; радиометрическая и геометрическая коррекция; географическая привязка; трансформирование в картографические проекции и монтаж изображений; выделение линеаментов и кольцевых структур; распознавание и классификация объектов окружающей среды (кластерный анализ и распознавание с обучением); определение пространственных перемещений объектов по разновременным спутниковым изображениям. Эти технологии широко используются при решении задач мониторинга опасных гидрометеорологических явлений (паводки, ледовая обстановка, лесные пожары, приводный ветер, загрязнения и др.).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0003) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066).

Список литературы

1. Асмус В.В., Бучнев А.А., Кровотынцев В.А., Пяткин В.П., Салов Г.И. Planetamonitoring: программный комплекс обработки спутниковых данных // Проблемы информатики. – 2013, № 3. – С. 85-99.

2. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

3. Кровотынцев В.А., Тренина И.С., Волгутов Р.В., Максимов А.А., Маслова Н.А. Информационная продукция спутникового мониторинга полярных акваторий Земли и замерзающих морей России //Метеоспектр, №2, 2014, с. 89-98.

Анализ временных рядов температуры поверхности Земли

П. В. Воронина[1,2], Д. Л. Чубаров[1], Н. Н. Добрецов[3]
[1]Институт вычислительных технологий СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
[3]Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
E-mail: pol.voronina@gmail.com

В докладе рассматриваются временные ряды данных температуры поверхности Земли, восстановленной по данным приборов MODIS/Terra. Данные содержатся в продуктах серии MOD11A1 и хранятся в архиве спутниковых данных ИВТ СО РАН. В анализе температурного временного ряда в качестве базовой статистики для массива данных рассматривается набор таких характеристик как среднее значение, максимальное и минимальное значения, стандартное отклонение, коэффициент вариации, квартили, коэффициент асимметрии, эксцесс, излагаются характерные особенности ряда; предлагается подбор статистической модели, представляющей временной ряд, проводится поиск выбросов в значениях временного ряда. Для выявления выбросов в ряду данных рассмотрен метод RST (Robust Satellite Technique). Продемонстрированы возможности метода для анализа временных рядов данных дистанционного зондирования Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ ФНИ (проекты № 0316-2016-0002, № 0330-2016-0018).

Спутниковые данные в задачах определения параметров внутриконтинентальных водных объектов

А. А. Донцов[1], И. А. Суторихин [1,2], А. А. Коломейцев[1]
[1]Институт водных и экологических проблем СО РАН
[2]Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: alexdontsov@yandex.ru

Представлены результаты определения динамики песчаных наносов (побочней и осередков) в русле реки Объ по данным космических аппаратов (КА) Sentinel-2, Landsat-8 и наземных измерений. Определены площадные характеристики наносов, приводится оценка точности определения площади песчаных наносов по спутниковым данным. Показаны результаты сопоставления экспедиционных данных измерения концентрации хлорофилла "a" в поверхностном слое Новосибирского водохранилища и озера Красиловское со значением спектрального индекса NDCI, вычисленного по данным КА Sentinel-2. Был рассчитан коэффициент корреляции R, между значениями индекса NDCI и данными наземных измерений, который составил 0,93.

Показано, что спутниковые данные могут служить надежным и актуальным источником информации о состоянии внутриконтинентальных водоемов и водотоков.

Methane retrieval from dual-band spectral measurements: method, software and comparative characterization

I. V. Zadvornykh[1], K. G. Gribanov[1], V. I. Zakharov[1], R. Imasu[2,3]
[1]Ural Federal University
[2]Atmosphere and Ocean Research Institute
[3]The University of Tokyo
E-mail: ilyazadvornyh@gmail.com

Atmospheric vertical profile of main isotopologue of methane can be retrieved with better accuracy and vertical resolution if inversion method involves simultaneously satellite spectral measurements in thermal and near infrared spectral ranges, as measured by GOSAT [1]. We propose the method and software for joint retrieval of methane vertical profile from themal (TIR) and shortwave infrared (SWIR) spectral ranges of TANSO-FTS/GOSAT sensor [2]. Also we showed [3] that joint dual-band retrieval of methane vertical profile improves vertical resolution compared to single-band retrieval. In this paper we performed

full characterization of joint retrieval in the frame of optimal estimation method [4]. Averaging kernels, a posteriory covariance matrices, degrees of freedom are analyzed.

The study was supported by Russian Science Foundation grant No.18-11-00024.

References

1. Greenhouse gases observing satellite GOSAT "IBUKI". About GOSAT. [Электрон. ресурс]. URL: http://www.gosat.nies.go.jp/en/about_1_goal.html.

2. Zadvornykh I.V., Gribanov K.G., Zakharov V.I., Imasu R. Radiative Transfer Code for the Thermal and Near-Infrared Regions with Multiple Scattering // Atmospheric and Oceanic Optics. 2017. V. 30, № 4 .P. 305–310.

3. Zadvornykh I.V., Gribanov K.G., Zakharov V.I., Imasu R.The joint methane profiles retrieval approach from GOSAT TIR and SWIR spectra // Proc. of SPIE. 2017. doi: 10.1117/12.2288700.

4. Rodgers C. Inverse methods for atmospheric sounding: Theory and practice. World Scientific Publishing, Singapore, London, 2000.

Итерационные методы обращения преобразования Радона в полосе для реконструкции структуры грязевого вулкана

И. Г. Казанцев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: kig@ooi.sscc.ru

В работе представлены результаты применения итерационных методов для реконструкции структуры грязевого вулкана Карабетова. Классические методы восстановления хорошо работают в условиях большого объема проекционных данных, обладающих регулярностью, то есть равномерностью взятия отсчетов по углам просвечивания и пространству детекторов. С точки зрения волновой теории, лежащей в основе моделирования формирования регистрируемых сигналов от источников, нами рассматривается упрощенная линеаризованная прямая задача, с данными в виде интегралов по лучам. Геометрия сбора геофизических данных вибрационного просвечивания вулкана позволяет моделировать задачу восстановления скоростных профилей приповерхностных объемов в виде преобразования Радона в полосе, на одной стороне которой находятся источники, на другой - приемники. Однако небольшое количество отсчетов не позволяет применять аналитические методы обращения преобразования Радона [1]. Поэтому реконструкция основана на алгебраических методах, использующих минимизацию полной вариации. Результаты восстановления иллюстрируются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066).

Список литературы:

1. Гольдин С. В. К теории лучевой сейсмической томографии: Преобразование Радона в полосе и его обращение // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 5. С. 3–18.

Кластеризация в диаграммах Вороного

П. А. Ким
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: kim@ooi.sscc.ru

Рассматриваются вопросы естественной кластеризации [1], возникающие при задании разбиения Вороного по точкам локальных минимумов. Предлагается конвенциональный алгоритм точной кластеризации, позволяющий оценивать степень близости разработанных ранее многочисленных разнородных, плохо стыкующихся алгоритмов кластеризации к некоему стандарту.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066) и Базового проекта ФАНО (код проекта 0315-2016-0003).

Список литературы

1. Ким П.А. Федоровых О.П. О методе естественной кластеризации в задачах оптимизации межбюджетных трансфертов. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013.IX Международный научный конгресс, Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология": сб.материалов в 2 т., т.1. Новосибирск: СГГА, 2013. 219 с.: стр.168-171.

Распределенные облачные вычисления в обработке аэрокосмических изображений

П. А. Ким[1], А. А. Бучнев[1], Ф. В. Пяткин[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета»
E-mail: kim@ooi.sscc.ru

Рассматриваются вопросы организации распределенных облачных вычислений [1] в обработке аэрокосмических изображений. Основу архитектуры облака представит одноранговая структура зеркал, в перспективе наращиваемая до многоранговой структуры, с общей библиотекой гиперспектральных данных.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00066) и Базового проекта ФАНО (проект № 0315-2016-0003).

Список литературы

1. Бучнев А.А., Ким П.А., Пяткин В.П., Салов Г.И. Макет облачного web-сервиса по выделению линеаментов и кольцевых структур на космических изображениях.// Журн. Сиб. Федерального Ун-та. Техника и Технология. – 2017. – Т. 10, № 6. – С. 741-746.

Использование спутниковой информации в задачах оценивания параметров источников примеси и характеристик атмосферы

А. А. Леженин[1], В. Ф. Рапута[1], Т. В. Ярославцева[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]ФБУН Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора
E-mail: lezhenin@ommfao.sscc.ru

На снимках из космоса шлейфы от дымовых труб наглядно представляют процессы атмосферного распространения примесей [1]. Наиболее отчетливо это наблюдается в зимний период времени.

В работе проводится анализ траекторий дымовых шлейфов на спутниковых снимках с использованием уравнений гидротермодинамики и переноса примеси в нижней атмосфере. Профиль ветра в атмосферном пограничном слое определяется с помощью уравнений Экмана, метеорологической и аэрологической информации.

На основе данных спутниковых наблюдений применительно к выбросам от высотных труб новосибирских ТЭЦ выполнены оценки дополнительных высот подъема дымовых струй. Полученные результаты вполне удовлетворительно согласуются с расчетами по известным соотношениям, включающих в себя тепловой поток плавучести и динамический импульс выбросов [2].

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН №51 (проект 0315-2018-0016), государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0004) и РФФИ (грант № 17-47-540342).

Список литературы

1. Кондратьев К. Я., Григорьев Ал. А., Покровский О. М., Шалина Е. В. Космическое дистанционное зондирование атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.

Математическое моделирование ионосферных возмущений

В. В. Медведев, В. А. Суроткин, А. Д. Колин
Калининградский государственный технический университет
E-mail: yojik14@gmail.com

В данном докладе рассматриваются результаты численных расчетов меридиональной и зональной компонент скоростей нейтрального ветра, концентрации различных ионов, температура

электронов и ионов, и при различных возмущениях ионосферы, полученных путем вычислительного эксперимента на основе математической модели ионосферы Земли.

Моделирование поведения заряженных частиц и их параметров, вдоль силовой трубки основывается на численном решении системы уравнений непрерывности, движения и энергии. Соотношения Стефана-Максвелла впервые были получены из классической кинетической теории газов в работе в рамках первого приближения для коэффициентов термодиффузии.

Эти уравнения получены в рамках основного предложения, что градиенты гидродинамических величин и внешние силы вызывают малое отклонение функций распределения от равновесного максвелловского распределения, модифицированный метод Чепмена-Энскога решения уравнений Больцмана для ионизованных многокомпонентных смесей невозбужденных одноатомных газов умеренной плотности в квазиравновесном случае приводит к макроскопическим уравнениям переноса первого порядка для вектора полного тепла и диффузионных скоростей различных компонентов.

Полученная математическая модель дифференциальных уравнений является жесткой, что требует применение нестандартных методов решения.

В докладе рассматриваются различные варианты аппроксимации уравнений и граничных условий для получения численно устойчивой разностной схемы.

Метод классификации с частичным обучением для обработки гиперспектральных изображений

П. В. Мельников, И. А. Пестунов
Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: pestunov@ict.sbras.ru

В задачах классификации аэрокосмических изображений процесс получения обучающих выборок классов зачастую связан со значительными материальными и временными затратами. Поэтому на практике обучающие выборки обычно имеются не для всех классов и, как правило, эти выборки являются непредставительными. При классификации гиперспектральных изображений (ГСИ) проблема формирования представительных обучающих выборок еще более усложняется и становится практически неразрешимой.

В то же время при классификации изображений всегда доступен большой объем непомеченных данных. В этих условиях для расширения обучающих выборок можно использовать методы классификации с частичным обучением. Эти методы позволяют наращивать обучающие выборки благодаря использованию информации о совместной плотности распределения, содержащейся в непомеченных данных.

В докладе предлагается процедура классификации ГСИ с частичным обучением, заключающаяся в выполнении следующей последовательности действий: 1) выделение информативных признаков с помощью метода главных компонент; 2) кластеризация данных с помощью быстрого сеточного алгоритма CCA; 3) наращивание обучающих выборок с помощью непараметрического алгоритма soft-PARZEN; 4) собственно классификация.

Приводятся результаты экспериментального исследования предлагаемой процедуры с использованием ГСИ Salinas и Indian Pines.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-37-00492-мол_а).

К задаче скорейшего обнаружения на зашумленном изображении объектов-целей, движущихся к заданному охраняемому объекту

В. П. Пяткин, Г. И. Салов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: kim@ooi.sscc.ru

Проблема охраны важных объектов включает в себя, в частности, следующую важнейшую задачу. Дано зашумленное изображение (или матричный приемник), на котором в результате экспозиции могут быть зарегистрированы следы (треки) объектов-целей (ОЦ), движущихся прямолинейно к заданной точке O – центру охраняемого объекта. Обнаружение, как правило, ведется последовательно или параллельно по разным направлениям от точки O. Достаточно рассмотреть обнаружение по

одному из таких направлений вдоль луча (полосы), исходящего из точки О навстречу движущемуся ОЦ, т. е. навстречу следу ОЦ, направленному на точку О. В силу разных причин физического характера след ОЦ может быть неоднородным по длине, иметь разрывы и плохо видимым, скрытым в шумах и помехах. Анализ данных вдоль полосы, начиная с некоторого расстояния от точки О, разумно выполнять с помощью скользящего вдоль луча окна некоторой протяженности и шириной, несколько большей ширины полосы, которая близка к ширине следа ожидаемого объекта. Данные внутри скользящего окна следует наблюдать (измерять) на последовательности перпендикуляров к средней линии полосы в точках (пикселях) области полосы и симметрично по обе стороны от полосы в точках окружающего полосу сложного случайного фона. Если окно еще не надвинулось на след ОЦ, то возможные результаты наблюдений на каждом перпендикуляре в окне при известных условиях можно рассматривать как независимые однородные случайные величины. Напротив, если перпендикуляр пересек след ОЦ, то величины, наблюдаемые на этом перпендикуляре в точках полосы, могут быть стохастически больше (или меньше) величин, наблюдаемых в точках фона. Таким образом, задача скорейшего обнаружения ближайших к точке О точек следа ОЦ сводится к скорейшему обнаружению появления неоднородности ("разладки") величин в точках на перпендикулярах, но так, чтобы (с одной стороны), по возможности избежать "ложной тревоги", и (с другой стороны), чтобы расстояние (время) между точкой (моментом) подачи сигнала "тревоги" и точкой (моментом) появления "разладки" было бы по возможности минимальным. В докладе предлагается последовательный алгоритм обнаружения для общего случая с неизвестными вероятностными распределениями.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0003) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066).

Анализ загрязнения снежного покрова в окрестностях промышленных предприятий

Т. В. Ярославцева[1], В. Ф. Рапута[2]
[1]ФБУН Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: tani-ta@list.ru

Спутниковые снимки достаточно достоверно фиксируют выпадения на снежный покров антропогенных аэрозолей [1]. Использование моделей реконструкции полей выпадений примесей позволяет проводить количественную интерпретацию наземного мониторинга снежного покрова [2].

В докладе обсуждаются методы численного анализа данных наземных и спутниковых наблюдений загрязнения снежного покрова от точечных и распределенных источников. Исследуются ореолы выноса взвешенных веществ от высотных труб Новосибирского электродного завода, обогатительных фабрик, карьерных выработок, технологической трассы. С использованием моделей реконструкции установлены функциональные связи между изображениями ореолов и наземными данными, что позволяет существенно оптимизировать систему мониторинга загрязнения.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН №51 (проект 0315-2018-0016), государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0004) и РФФИ (грант № 17-47-540342).

Список литературы

1. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров как индикатор кумулятивного загрязнения в сфере влияния городов и дорог // Метеорология и гидрология. 2013. № 3. С. 94-106.

2. Рапута В.Ф., Шлычков В.А., Леженин А.А., Романов А.Н., Ярославцева Т.В. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 8. С. 713-718.

Секция 8. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИКИ

Эффективный алгоритм решения трехмерной коэффициентной обратной задачи с интегральными данными для волнового уравнения в цилиндрической области

А. Б. Бакушинский[1], А. С. Леонов[2]
[1]Институт системного анализа ФИЦ ИУ РАН
[2]Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
E-mail: ilposed@sumail.ru

Предлагается и обосновывается не требующий больших вычислительных ресурсов и большого времени расчетов численный алгоритм определения параметров локальной неоднородности, рассеивающей скалярное волновое поле в трехмерной конечной цилиндрической области при акустическом или специальном электромагнитном зондировании среды. Данными для решения такой обратной задачи служат специальные интегральные по времени функционалы от регистрируемого волнового поля. Алгоритм развивает идеи, изложенные в [1], и основан на быстром преобразовании Фурье в предположениях о финитности неоднородностей. Приведены типичные результаты расчетов по решению такой обратной задачи на персональном компьютере средней производительности для модельных данных, демонстрирующие возможности предлагаемого алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-01-00039а,15-01-00026а) и Программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского ядерного университета Московского инженерно-физического института, проект № 02.а03.21.0005 от 27.08.2013.

Список литературы:

1. Bakushinsky A.B. and Leonov A.S. Fast numerical method of solving 3D coefficient inverse problem for wave equation with integral data// 2017 J. Inv. Ill-Posed Probl. aop (DOI: 10.1515/jiip-2017-0041).

Калибровка диффузионной модели для описания долговременной эволюции берегового профиля

Д. А. Барамия[1], Н. И. Горбенко[2], М. М. Лаврентьев[1, 3]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[3]Институт автоматики и электрометрии СО РАН
E-mail: BaramiyaDenis@gmail.com

Для моделирования процесса долговременной эволюции профиля глубин в прибрежной зоне была предложена диффузионная модель [1]. Решалась задача подбора коэффициентов этой модели, обеспечивающих соответствие решения данным измерений. Для получения лучшего приближения коэффициентов решалась обратная задача, состоящая в минимизации функционала невязки.

Для решения прямой задачи, а именно, вычисления профиля глубин при заданных коэффициентах уравнения диффузии, использовался метод конечных элементов. В качестве аппроксимирующих функций применялись полиномы первой степени.

Тестирование проводилось на базе данных JARKUS, полученных у побережья Голландии. Достигнута относительная погрешность описания эволюции берегового профиля на уровне 5-10%.

Список литературы

1. H.I. De Vriend, M. Capobianco, T. Chesher, TH.E. de Swart, B. Latteux, and M.J.F. Stive, Approaches to long-term modelling of coastal morphology: a Review // Coastal Engineering, Elsevier Science Publ. B.V., Amsterdam, 1993, vol. 21, pp. 225--269.

Обоснование сходимости конечно-разностного алгоритма решения обратной задачи для кинетического уравнения переноса нейтронов

К. С.Бобоев
Новосибирский архитектурно-строительный университет
E-mail: boboev@mail.ru

Рассматривается конечно-разностный способ решения прямой и обратной задачи для кинетического уравнения переноса нейтронов на основе метода сферических гармоник по некоторой дополнительной информации о решении прямой задачи на границе области [1]. Определение коэффициентов основано на идее обращения разностной схемы [2]. Доказана сходимость предложенного метода.

Список литературы

1. Романов В.Г., Кабанихин С.И.,Бобоев К.С. Обратная задача для - приближении кинетического уравнения переноса. - ДАН СССР,1984, т.276, №2,с.296-299.

2. Алексеев А.С., Добринский В.И. Некоторые вопросы практического использования обратных динамических задач сейсмики. Мат.проблемы геофизики, Новосибирск, 1975,вып 6,ч.2,с. 7-53.

Численные методы решения ретроспективной обратной задачи теплопроводности

В. И. Васильев[1], А. Л. Карчевский[2], А. М. Кардашевский[1], В. В. Попов[1]
[1]Северо-Восточный федеральный университет
[2]Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
E-mail: vasvasil@mail.ru

Рассматриваются различные численные методы решения ретроспективной обратной задачи теплопроводности: явная разностная схема, итерационные методы вариационного типа, метод решения с помощью квадратурной формулы аппроксимирующей интеграл Пуассона и метод А.Л.Карчевского, основанный на использовании ряда Фурье. Представлены результаты вычислительного эксперимента на автомодельном решении. Явная разностная схема работает при больших значениях разностного числа Куранта и точность невысокая, ее нецелесообразно использовать для решения практических задач. Из итерационных методов метод сопряженных градиентов быстрее сходится и точность восстановления начального условия достаточно высокая. Решение рассматриваемой задачи с помощью интеграла Пуассона при использовании регуляризации дискретного аналога дает очень высокую точность. Метод А.Л.Карчевского дает превосходные результаты для одномерной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Мегагранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.Y26.31.0013).

Решение обратной задачи восстановления источника цунами на основе метода r-решения на примере Ильяпель цунами 2015

Т. А. Воронина
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: tanvor@bk.ru

Рассматривается обратная задача математической физики для восстановления начальной формы волны цунами по измерениям колебаний уровня свободной поверхности, обусловленных пришедшей волной в серии удаленных приемников. Распространение волн описывается в рамках линейной теории мелкой воды, относительно источника цунами предполагается, что известна лишь его локализация. Аппроксимация задачи осуществляется на основе конечно-разностного подхода. Рассматриваемая задача относится к классу некорректных задач; для ее решения применяются метод наименьших квадратов и метод r-решения. Регуляризация оператора прямой задачи в этом случае осуществляется путем сужения оператора на подпространство, являющееся линейной оболочкой его первых правых сингулярных векторов. Строится обобщенное нормальное r-решение, что позволяет избежать неустойчивости численного решения, свойственной большинству обратных задач сейсмики в силу объективной зашумленности реальных данных. Изучаются вопросы улучшения качества инверсии. Предложенный подход применяется для численного моделирования источника Чилийского цунами 16 сентября 2015 г.

Existence results and iterative method for solving a fully third order nonlinear differential equation with integral boundary condition

Dang Quang A[1], Dang Quang Long[2]
[1]Center for Informatics and Computing, VAST
[2]Institute of Information Technology, VAST
E-mail: dangquanga@cic.vast.vn, dqlong88@gmail.com

We consider a boundary value problem for fully third order differential equation u(4)(t)=f(t,u(t), u’(t),u’’(t)) with three boundary conditions including one integral boundary condition. For the particular case f = f(u(t)), very recently in [1] the existence of positive solutions was studied by employing the fixed point theory on cones. In this paper, by the method developed in [2]-[5] we establish the existence, uniqueness and positivity of solution and propose an iterative method for finding the solution. Some examples demonstrate the validity of the obtained theoretical results and the efficiency of the iterative method.

This work is supported by Vietnam National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED) under the grant number 102.01-2017.306.

References

1. Guendouz C., Haddouchi F., Benaicha S. Existence of positive solutions for a nonlinear third-order integral boundary value problem, arXiv:1801.08990v1 [math.CA] 26 Jan 2018.

2. Dang, Q.A., Ngo, K.Q. Existence results and iterative method for solving the cantilever beam equation with fully nonlinear term, Nonlinear Anal. Real World Appl. 36, (2017) 56-68.

3. Dang, Q.A., Dang, Q.L., Ngo, K.Q. A novel efficient method for nonlinear boundary value problems, Numer. Algor., 76, 427-439 (2017).

4. Dang, Q.A., Ngo, K.Q. New Fixed Point Approach For a Fully Nonlinear Fourth Order Boundary Value Problem, Bol. Soc. Paran. Mat. 36(4), 209-223 (2018).

5. Dang Q.A, Dang Q. L. A simple efficient method for solving sixth order nonlinear boundary value problems, Comp. Appl. Math. DOI 10.1007/s40314-018-0643-1 (2018).

Метод квазиобращения для задачи Коши

В. А. Дедок
Институт математики СО РАН
E-mail: dedok@math.nsc.ru

В работе рассматривается задача продолжения волнового поля с плоской границы внутрь полуплоскости. Для гиперболического уравнения с младшим членом с коэффициентом, зависящим от двух пространственных переменных, разработан метод регуляризации, основанный на методе квазиобращения [1] для дифференциального оператора более высокого порядка. Предложены условия, при выполнении которых приближенное решение сходится к точному. Исследуется скорость сходимости приближенного решения к точному при выполнении данных ограничений в зависимости от величины малого параметра, а так же условия ослабления данных ограничений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17–01–00120), комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН II.1, проект № 0314-2018-0009.

Список литературы

1. Романов В. Г., Бугуева Т. В., Дедок В. А. Регуляризация решения задачи Коши. Метод квазиобращения // Сиб. журн. индустр. матем., (2018).

Метод визуализации сред на основе векторной RTM-декомпозиции

Г. Н. Ерохин
Балтийский федеральный университет им. И. Канта
E-mail: GErokhin@kantiana.ru

Метод Reverse Time Migration (RTM) [1-2] широко используется для пересчета поверхностных данных в данные общей точки изображения - Angle Domain Common Image Gathers (ADCIG), однако в силу волновой природы метод часто порождает данные с помехами. Для преодоления этого применяется регуляризация данных в расширенном пространстве ADCIG [3-4]. В данной работе рассматривается метод полной векторной декомпозиции данных - Vector Pair RTM (VPRTM) который обеспечивает построение расширенного пространства данных для общей точки изображения Vector Domain Common Image Gathers (VDCIG) [5-6]. Методы статистической оценки распределений в многомерном пространстве параметров сигнала VDCIG позволяет строить изображение акустической среды более детально, чем RTM-методом и проводить необходимые исследования среды более естественно и качественно. Метод обеспечивает одномоментно построение дифракционных изображений, рефлекторов, AVO атрибутов, углов наклонов, анизотропии рассеяния, скоростной томографии среды и др. Метод демонстрирует интерференционную природу построения таких сейсмических изображений, аналогичную технологии оптической голографии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 16-11-10027).

Список литературы:

1. Baysal, E., D. D. Kosloff, and J. W. C. Sherwood, 1983, Reverse time migration: Geophysics, 48, 1514–1524, doi: 10.1190/1.1441434.

2. McMechan, G. A., 1983, Migration by extrapolation of time-dependent boundary values: Geophysical Prospecting, 31, 413–420, doi: 10.1111/ j.1365-2478.1983.tb01060.x.

3. Yoon, K., and K. J. Marfurt, 2006, Reverse-time migration using the Poynting vector: Exploration Geophysics, 37, 102–107.

4. Sava P., S. Fomel, 2006, Time-shift imaging condition in seismic migration: Geophys., 71, №. 6, S209–S217.

5. Erokhin G., Pestov L.,Danilin A., Kozlov M., and Ponomarenko D., 2017, Interconnected vector pairs image conditions: New possibilities for visualization of acoustical media, SEG Technical Program Expanded Abstracts 2017: 4624-4629., https://doi.org/10.1190/segam2017-17587902.1

6. G. Erokhin, A. Danilin and M. Kozlov., 2018, Visualization of Ultra-Weak Diffractors based on Vector Pair RTM, 80th EAGE Conference & Exhibition 2018, Copenhagen, Denmark, Extended Abstracts, DOI: 10.3997/2214-4609.201801648

Алгоритм первичной обработки георадарных данных

К. Т. Искаков, С. А. Боранбаев, Ж. О. Оралбекова
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилёва
E-mail: kazizat@mail.ru

Сущность обработки георадиолокационных данных состоит, прежде всего, в выделении полезного сигнала на фоне помех и шума. Для выделения полезных сигналов используют отличие их характеристик от соответствующих характеристик шума и волн-помех [1]. Одним из способов обработки радарограммы является вейвлет преобразование.

Для очистки сигнала от шума использовался вейвлеты Добеши db4 [2]. В практических приложениях используются аппроксимирующие и детализирующие вейвлет-коэффициенты, без вычисления конкретной формы вейвлетов [3]. При реализации вейвлет-анализа применялся программно-управляемая пороговая обработка детализирующих вейвлет-коэффициентов - метод получил трешолдинг. В алгоритмах трешолдинга порог ограничения можно адаптивно изменять и устанавливать отдельно для каждого коэффициента.

Поиск оптимального значения – величины порога означает отыскание такого порога, который при наименьшем смещении восстановленного сигнала обеспечивает наибольшее значение отношения сигнал/шум. Критерий Штейна несмещенной оценки риска (Stein's unbiased risk estimation) позволяет определить оптимальное значение порога, соответствующее уровню разложения сигнала [3].

Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.18, ИРН AP05133922.

Список литературы

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учеб. пособ. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.
2. Daubechies Ingrid, (2006): Ten Lectures on Wavelets, 9e, SIAM, ISBN: 780-89871-274-2.
3. Mallat Stephane, (2008): A Wavelet Tour of Signal Processing, 3e2008, Academic Press, ISBN 978-01-237-4370-1.
4. Donoho DL. De-noising by soft-thresholding, IEEE Trans. Inform.Theory 1995;41(3):612-627.

Transformations of Radon, Funk-Minkowski and Newton's potentials

S. G. Kazantsev
Sobolev Institute of Mathematics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
E-mail: kazan@math.nsc.ru

In the paper we establish a connection between the Newton's single- and double-layer potentials with the Funk-Minkowski transformation, an analogously known connection between the Newton's volume potential and the Radon transform. The integral identities containing the Radon, Funk-Minkowski transforms and differential operators of vector fields (divergence, curl, gradient) are obtained. A new method for Helmholtz decomposition of vector field is proposed.

Нахождение диффузно-отражающей поверхности при облучении импульсным источником

В. А. Кан[1], И. В. Прохоров[2]
[1]Дальневосточный федеральный университет
[2]Институт прикладной математики ДВО РАН
E-mail: prokhorov@iam.dvo.ru

В работе рассматривается обратная задача для нестационарного уравнения переноса излучения в области с неизвестной границей, на которой заданы условия диффузного отражения по закону Ламберта. Требуется найти неизвестную границу при некотором условии переопределения решения начально-краевой задачи. С физической точки зрения такая постановка задачи наиболее близка к проблемам мониторинга земной поверхности и морского дна с помощью авиационных радиолокационных станций и гидролокаторов бокового обзора [1-3]. Рассмотрена упрощенная двумерная модель локации ламбертовской кривой и для определения кривой получено нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение, имеющее решение в квадратурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-11-00079).

Список литературы

1111/Кирейтов В. Р. Обратные задачи фотометрии. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1981.

Прохоров И.В., Сущенко А.А. Исследование задачи акустического зондирования морского дна методами теории переноса излучения //Акустический журнал. 2015. Т. 61. № 3. С. 400-408.

Прохоров И.В., Сущенко А.А., Кан В.А. Об одной задаче определения рельефа дна флуктуирующего океана //Сибирский журнал индустриальной математики. 2015. Т. 18. № 2. С. 99-110.

Формирование базы сигналов по данным георадара Лоза В

А. Т. Кусаинова[1], Т. Миргаликызы[1], Б. Б. Шолпанбаев[2], М. К. Турарова[1]
[1]Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилёва
[2]Казахский национальный педагогический университет им. Абая
E-mail: ainurkussainova89@gmail.com

В рамках работы был исследован научно-исследовательский полигон, находящейся в 76 км. от города Астаны. Проведены измерения, по приему отраженных сигналов от заранее известных образцов (мишеней) полигона. Для проведение экспериментов был использован современный георадар "Лоза В". Были сформированы базы сигналов по данным георадара Лоза В. По результатам работы была составлена карта фактического материала с указанием профилей, расположения аномалесодержащих областей и описанием предполагаемых объектов. Подобные экспериментальные исследования были проведены и изучены в статье [1], в которой на основе интерпретации радарограмм, полученных с помощью прибора "Зонд-12" были установлены приближенные позиции (по глубине залегания) искусственных "мишеней".

Работа поддержана грантом МОН РК по договору № 132 от 12.03.18 "Разработка алгоритмов и встроенного программного обеспечения по определению геоэлектрического разреза для геоинформационной технологии — GPR" (ИРН AP05133922)

Список литературы

1. Kazizat Iskakov, Samat Boranbayev, Bahtıyar Isin, Zhadyra Alimbayeva. Experimental data of researches using ground-penetrating radar "Zond-12c" and interpretation radarograms / 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN), 14-19 October 2015. Antalya-Turkey. P. 327.

Приближенное решение задачи рефракционной томографии в цилиндре

С. В. Мальцева, А. П. Полякова, И. Е. Светов
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
E-mail: maltsevasv@math.nsc.ru, apolyakova@math.nsc.ru, svetovie@math.nsc.ru

Классическая модель компьютерной томографии предполагает прямолинейный характер распространения зондирующего излучения [1]. Естественным обобщением классической модели томографии стал учет рефракции. Явление искривления луча с необходимостью возникает в любой неоднородной среде. Для решения задач классической томографии имеется ряд теоретически обоснованных и хорошо работающих на практике численных методов, в то время как методы решения задач восстановления функций, заданных в средах с рефракцией и поглощением, развиты не в полной мере. В работе рассматривается задача восстановления скалярного поля, распределенного в цилиндрической области, заполненной рефрагирующей средой с поглощением, по томографическим данным об этом поле. Предлагается подход, состоящий в послойном восстановлении искомого поля. Данными томографического типа служат значения экспоненциального лучевого преобразования, вычисленные с использованием веерных схем наблюдения с источниками и приемниками, принадлежащими эллипсам, полученным пересечением боковой поверхности цилиндра и семейств параллельных плоскостей, расположенных под фиксированным углом к его оси. В частности, одно из таких семейств плоскостей перпендикулярно оси цилиндра.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-31-00392-мол_а).

Список литературы

1. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии. М.: Мир, 1990.

Прямой метод решения одномерной коэффициентной обратной задачи для системы уравнений теории упругости

Н. С. Новиков
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: novikov-1989@yandex.ru

В работе рассматривается обратная задача для системы динамических уравнений теории упругости, заключающаяся в определении параметров Ламе и плотности среды по некоторому набору измерений.

Для решения этой задачи был применен метод Гельфанда – Левитана – Крейна во временной области [1,2], что позволяет свести задачу к последовательному решению нескольких семейств линейных интегральных уравнений. Приведены результаты численных экспериментов, в основе которых лежит дискретизация интегральных уравнений и обращение полученных теплицевых СЛАУ [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00409).

Список литературы

1. Kabanikhin, Sergey I. , Sabelfeld, Karl K. , Novikov, Nikita S. , Shishlenin, Maxim A. Numerical solution of an inverse problem of coefficient recovering for a wave equation by a stochastic projection methods. Monte Carlo methods and applications, Volume 21, Issue 3, p. 189–203.

2. Kabanikhin, Sergey I. , Novikov, Nikita S. , Sabelfeld, Karl K. , Shishlenin, Maxim A. Numerical solution of the multidimensional Gelfand-Levitan equation. Journal of inverse and ill-posed problems, Volume 23, Issue 5, p. 439-450.

3. Kabanikhin, Sergey I., Novikov, Nikita S., Oseledets, Ivan V., Shishlenin, Maxim A. Fast Toeplitz linear system inversion for solving two-dimensional acoustic inverse problem. Journal of Inverse and Ill-posed Problems, Volume 23, Issue 6, Pages 687–700.

Оценка устойчивости решения прямой задачи для двумерного уравнения акустики в треугольной области

А. Т. Нурсеитова, С. Е. Касенов
Казахский национальный университет им. аль-Фараби
E-mail: altynna@mail.ru

Некорректные задачи удобно рассматривать как обратные к некоторым прямым (корректным) задачам [1]. Это обусловлено применением для решения некорректных задач, например, градиентных методов, суть которых заключается в поочередном решении корректных задач (прямой и к ней сопряженной). Поэтому исследование корректности построенной прямой задачи является, так сказать, предварительным этапом при изучении обратных (некорректных) задач. Рассматриваемая начально-краевая задача для уравнения акустики с данными на времениподобной поверхности некорректна в классах функций конечной гладкости. Пример Адамара приведен, например, в работе [2]. В работе [3] для данной задачи получен градиент целевого функционала. В данной работе вводится понятие обобщенного решения прямой задачи и получена оценка его устойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по теме "Численные методы идентифицируемости обратных и некорректных задач естествознания" (AP05134121).

Список литературы

1. Кабанихин С. И., Бектемесов М. А., Нурсеитова А. Т. Итерационные методы решения обратных и некорректных задач с данными на части границы. Алматы-Новосибирск: ОФ "Международный фонд обратных задач"; благотворительный фонд обратных задач естествознания, 2006.

2. Кабанихин С. И., Нурсеитов Д. Б., Шолпанбаев Б. Б. Задача продолжения электромагнитного поля в сторону залегания неоднородностей // Сиб электронные математические известия. 2014. Т.11. С. 85-102.

3. Нурсеитов Д. Б., Бектемесов М. А., Касенов С. Е., Алимова А. Н. Обратная задача для уравнения акустики // Вестник КазНПУ имени Абая серия "Физико-математические науки". 2015. №3(51). С. 88-93.

Некоторые алгоритмы цифрового месторождения

А. Ю. Приходько, М. А. Шишленин
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: Prikhodko1997@gmail.com

Важной задачей диагностики скважины является оперативное определение изменения дебита, обводненности и газового фактора.

Математическая модель распределения давления и температуры по стволу скважины [1] (прямая задача) описывается системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (однофазный и двухфазный потоки). Математическая модель основана на решении уравнения тепло- и массопереноса.

Формулировка обратной задачи как задачи минимизации, позволяет применять методы глобальной оптимизации для определения искомых параметров.

В данной работе предложен метод восстановления газового фактора, дебита скважины и обводненности продукции на основе решения обратной задачи с дополнительным измерением давления и температуры в устье скважины. Для решения обратной задачи и оценки искомых параметров применяются методы глобальной оптимизации: генетический алгоритм [2], метод Роя частиц [3], имитации отжига [4]. Проведен сравнительный анализ алгоритмов определения этих параметров и приведены результаты численных расчетов.

Список литературы

1. С.И. Кабанихин, А.Н. Черемисин, М.А. Шишленин. Обратная задача определения обводненности и дебита в вертикальной фонтанной скважине // Сибирский журнал индустриальной математики. 2011. Т. 14, № 3(47). С. 31--36.
2. Deb K. et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II//IEEE transactions on evolutionary computation. -2002. -Т. 6. -№. 2. -С. 182-197.
3. Shi, Y.; Eberhart, R.C. (1998). "A modified particle swarm optimizer". Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. pp. 69–73.
4. Dueck G. W., Butler J. T. A heat quench algorithm for the minimization of multiple-valued programmable logic arrays//Computers & electrical engineering. -1996. -Т. 22. -№. 2. -С. 103-107

Использование оценки точного решения при обратном анализе ошибок численных решений

А. Н. Рогалев
Институт вычислительного моделирования СО РАН
E-mail: rogalyov@icm.krasn.ru

Обратный анализ ошибок на основе обратных задач показал свою эффективность при оценке ошибок решений для систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [1]. В докладе исследуется обратный анализ ошибок решений дифференциальных уравнений, выполняется управление дефектом (невязкой) численного решений, построение теневых решений (решений задач с возмущенной правой частью) и применение метода модифицированных уравнений, предложены алгоритмы для реализации этих методов. Исследуется также асимптотическая связь между локальной погрешностью, часто используемой для подбора величины шага численных методов решения задач с начальными данным и дефектом (невязкой), а также разность между точным решением возмущенной дефектом задачи и ее численным решением. Приводятся примеры численных расчетов.

Список литературы

1. Рогалев А.Н. Обратные задачи оценки ошибки численных решений// Труды Международной конференции по вычислительной и прикладной математике "ВПМ’17" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 25 июня – 14 июля [Электрон. ресурс]. http://conf.nsc.ru/cam17/ru/proceedings. С. 739-743.

Экономичный алгоритм решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами

С. Б. Сорокин
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: sorokin@sscc.ru

Одним из широко используемых подходов к решению задачи Коши для эллиптических уравнений является сведение ее к обратной задаче. В общих случаях (сложная геометрия расчетной области) численные методы ее решения основываются на итерационной процедуре.

В случае стандартных расчетных областей (прямоугольник, круг) при решении задачи Коши для уравнения Лапласа можно рассчитывать на конструирование эффективных прямых алгоритмов, базирующихся на специфике геометрии.

Известно, что в случае стандартных расчетных областей (прямоугольник, круг) для численного решения прямых задач для уравнения Лапласа имеются экономичные алгоритмы, основанные на методе разделения переменных.

Как показывают проведенные исследования, метод разделения переменных позволяет строить экономичные численные алгоритмы и для рассматриваемой задачи продолжения.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Фундаментальных исследований ОМН РАН "Современные вычислительные и информационные технологии решения больших задач", программы

Фундаментальных исследований Президиума РАН "Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация".

Стабилизация многошаговых схем высокого порядка точности для решения одностороннего волнового уравнения в задачах сейсморазведки.

А. В. Терехов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: Andrew.terekhov@mail.ru

Рассмотрены спектрально-разностные методы высокого порядка точности для решения одностороннего волнового уравнения на основе интегрального преобразования Лагерра по времени. Для обеспечения высокой пространственной точности и устойчивости расчетов может применяться метод Ричардсона. Однако такой подход является вычислительно затратным, поэтому были рассмотрены альтернативные алгоритмы на основе многошаговых схем Адамса. Для обеспечения устойчивости сначала для одномерного, а затем и для двумерного случаев были разработаны стабилизирующие процедуры на основе сплайн интерполяции. Это позволило устойчиво реализовать метод типа предиктор-корректор, в рамках которого краевая задача для эллиптических уравнений высокого порядка заменяется на последовательность обращений эллиптических операторов второго порядка, что позволяет снизить вычислительные затраты. Для оценки точности и устойчивости разностных аппроксимаций на основе преобразования Лагерра было получено аналитическое решение, которое может быть вычислено экономично, если для суммирования воспользоваться быстрыми алгоритмами вычисления дискретной линейной свертки. Для двумерного случая устойчивость и точность предлагаемых процедур была исследована на примере реализации алгоритма миграции в рамках задачи сейсмической разведки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-41-543002), гранта Президента РФ (номер гранта МК-152.2017.5).

Обратные задачи для уравнения Блэка – Шоулза

М. А. Шишленин[1,2,3], С. И. Кабанихин[1,2,3], А. А. Шананин[4], S. Zhang[5]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
[3]Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
[4]Московский физико-технический институт (государственный университет)
[5]Tianjin University of Finance and Economics, Beijing, China
E-mail: mshishlenin@ngs.ru, kabanikhin@sscc.ru, alexshan@yandex.ru

Финансовая математика — относительно молодая дисциплина, бурно развивающаяся в последние десятилетия [1,2,3]. Это развитие было обусловлено формированием мощных финансовых рынков с разнообразными инструментами перераспределения рисков между участниками рынка.

В работе разработан градиентный метод решения обратной задачи для уравнения Блэка-Шоулза определения функции доходности и волатильности фондового рынка как функций от времени и пространства. Получен вид градиента через решения прямой и сопряженной задачи. Приведены результаты численных расчетов. Показано, что при выпуске новых опционов точность и интервал восстановления функций возрастает.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-07-00507, 17-51-150001, 17-51-540004, 16-29-15120, 16-01-00755, 16-01-00437), МОН РК грант № AP05134121.

Список литературы

1. H. Egger, H.W. Engl. Tikhonov regularization applied to the inverse problem of option pricing: convergence analysis and rates // Inverse Problems. 2005. Vol. 21, No. 3. Pp. 1027-1045.
2. V. Isakov, Z.-C. Deng, B. Hon. Recovery of time dependent volatility in option pricing model // Inverse Problems. 2016. Vol. 32. 115010.
3. M.V. Klibanov, A.V. Kuzhuget, K.V. Golubnichiy. An ill-posed problem for the Black-Scholes equation for a pro table forecast of prices of stock options on real market data // Inverse Problems. 2016. Vol. 32, No. 1. 015010.

Секция 9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Двумодальное сверхглубинное зондирование Земли переменным электромагнитным полем естественного происхождения

В. В. Аксёнов
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: aksenov@omzg.sscc.ru

Сверхглубинное зондирование Земли магнитным полем спокойных солнечно-суточных вариаций осуществлялось неоднократно. Однако обнаружились большие перепады глубин до проводящего слоя, определенных по экспериментальным данным в различных точках земного шара, в то время как временные частоты при этом не различались. Более того, в магнитном поле – вариаций, а также в поле КПК были зафиксированы эффекты, явно противоречащие первому уравнению Максвелла. В [1] эти эффекты подробно рассмотрены: эффект Van Vleuten, эффект Четаева Д.Н. Поэтому с целью найти объяснение столь необычному поведению естественных электромагнитных полей на Земле, необходимо обратить внимание на тот факт, что Земля является, в том числе, космическим объектом, для которого гидромагнитные эффекты магнитных полей, наблюдаемые в космосе [2], наверняка присущи. Учет в теории этих эффектов [3] приводит к созданию новой двумодальной теории электромагнитного зондирования Земли, в результате применения ее к экспериментальным данным исчезают большие перепады глубин до проводящего слоя Земли.

Список литературы

1. В.В. Аксёнов Электродинамика наблюдаемого на Земле естественного электромагнитного поля// Изв. Вузов. Геология и разведка. 2016. №2. С. 50-60.
2. Parker E.N. Cosmical Magnetic Fields. – Clarendon Press Oxford, 1979. Vol. 1. – 608 p. Vol.2. – 479 p.
3. Аксенов В.В. Тороидальное разложение векторного потенциала магнитного поля и его приложения // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 2015, №6. – С. 127-133.

Учет влияния подстилающей среды при расчете ЭДС, индуцируемой в приемной петле во время линейного выключения тока в источнике

Е. Ю. Антонов[1], Н. О. Кожевников[1, 2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: antonovey@ipgg.sbras.ru

При решении прямых и обратных задач импульсной индуктивной электроразведки расчет индукционных переходных характеристик производится с учетом конечной длительности выключения тока в генераторной петле (источнике) для времен, когда ток уже выключен. Однако при изучении верхней части геологического разреза особый интерес представляет ЭДС, индуцируемая в приемной петле во время выключения тока в источнике. Эта ЭДС необходима для расчета переходного процесса тока в замкнутой петле-модели, используемой при тестировании измерительных систем для импульсной индуктивной электроразведки [1], а также собственной переходной характеристики измерительного тракта аппаратуры [2]. Для расчета ЭДС переходного процесса во время выключения тока с учетом влияния, которое оказывает на нее подстилающая среда, авторы использовали свертку отклика от горизонтально-слоистой среды, возбуждаемой ступенчатым изменением тока, с линейно убывающим током. Результаты численных расчетов тестировались с помощью аналитических выражений для модели среды в виде однородного проводящего полупространства. В докладе обсуждаются результаты расчетов, а также некоторые проблемы, возникающие при использовании конкретных алгоритмов для решения прямой задачи метода переходных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-05-00363).

Список литературы

1. Кожевников Н.О. Переходный процесс в петле и его использование при оценке измерительной системы для импульсной индуктивной электроразведки // Геология и геофизика, 2012, Т. 53, №11, С. 1614 – 1627.

2. Шарлов М.В., Кожевников Н.О., Шелохов И.А. Аномальное замедление спада ЭДС индукционного переходного процесса при работе соосными установками с небольшими генераторными петлями // Инженерная и рудная геофизика 2018 - Алматы, Казахстан, 23-27 апреля 2018 г. С. 1–10.

Компьютерная модель поляризационного микроскопа для наблюдения фотореалистических интерференционных картин

Л. Ф. Васильева[1], В. А. Дебелов[1], Р. А. Шелепаев[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Институт геологии и минералогии СО РАН
E-mail:ludvas@oapmg.sscc.ru

Интерференционные картины [1] наблюдаются минералогами при рассмотрении оптически анизотропных прозрачных минералов через поляризационный микроскоп [2]. Это ортоскопические картины в параллельном свете и коноскопические картины в сходящемся поляризованном свете, образованные лучами, прошедшими через кристаллическую пластинку при скрещенных или параллельных поляризаторе и анализаторе, и наблюдаемые в фокальной плоскости объектива микроскопа. Они позволяют специалисту определить многие кристаллооптические параметры исследуемого минерала, да и сам минерал. В рамках компьютерной модели поляризационного микроскопа (КМПМ) выполняется прямое моделирование, т. е. расчет распространения лучей света: источник – конденсор (линза) – поляризатор – образец минерала – анализатор (2-й поляризатор) – объектив (линза) – картинная плоскость. В данной работе рассмотрены требования к каждому из этапов прохождения луча в системе.

Компьютерных моделей различных микроскопов разработано достаточно много, модели поляризационных микроскопов отсутствуют. Отличительные особенности данной разработки: линзы обеспечивают физически корректную обработку линейно поляризованного света, образец является оптически анизотропным прозрачным минералом.

В основе расчета лежит робастный алгоритм взаимодействия луча поляризованного света с границей двух прозрачных оптически изотропных или анизотропных сред [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00762).

Список литературы

1. Шаскольская М.П. Кристаллография. Учеб. пособие для втузов. М.: Высшая школа, 1976.
2. Скворцов Г. Е., Панов В. А., Поляков Н. И., Федин Л. А. Микроскопы / Под ред. Н. И. Полякова. Л.: Машиностроение, 1969.
3. Debelov V. A., Kozlov D. S. A Local Model of Light Interaction with Transparent Crystalline Media. // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2013, Vol. 19, No. 8, P. 1274–1287.

Алгоритм расчета фотореалистических интерференционных коноскопических картин

В. А. Дебелов, Л. Ф. Васильева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: debelov@oapmg.sscc.ru; ludvas@oapmg.sscc.ru

Интерференционные коноскопические картины наблюдаются минералогами при рассмотрении оптически анизотропных прозрачных минералов через поляризационный микроскоп [1]. Это интерференционные картины в сходящемся поляризованном свете, образованные лучами, прошедшими через кристаллическую пластинку при скрещенных или параллельных поляризаторе и анализаторе, и наблюдаемые в фокальной плоскости объектива микроскопа. Они позволяют специалисту определить многие кристаллооптические параметры исследуемого минерала, да и сам минерал. Одно из основных понятий – это *изогира* – геометрическое место точек коноскопических фигур, в которых направления колебаний параллельны главным сечениям поляризаторов. Достаточно хорошо проработаны алгоритмы численной аппроксимации изогир. Существуют работы по приближению фото-

реалистических интерференционных картин на основе той или иной эвристики заполнения цветами областей между изогирами.

В данной работе выбран другой подход, когда изогиры вообще не строятся, а выполняется прямое моделирование, т. е. расчет распространения лучей света: источник – поляризатор – пластина – анализатор – объектив – картинная плоскость. В основе расчета лежит робастный алгоритм взаимодействия луча поляризованного света с границей двух прозрачных оптически изотропных или анизотропных сред [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00762).

Список литературы

1. Шаскольская М.П. Кристаллография. Учеб. пособие для втузов. М.: Высшая школа, 1976.

2. Debelov V. A., Kozlov D. S. A Local Model of Light Interaction with Transparent Crystalline Media. // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2013, Vol. 19, No. 8, P. 1274–1287.

Моделирование геоэлектромагнитных полей с исключением нуль-ядра rotrot-оператора

П. А. Домников
Новосибирский государственный технический университет
E-mail: p_domnikov@mail.ru

Проводится моделирование трехмерных гармонических по времени геоэлектромагнитных полей с применением векторного метода конечных элементов [1]. В данной задаче используется уравнение с ротор-роторным оператором, который при наличии непроводящих областей в расчетной области обладает большим нуль-ядром, что приводит к вырожденной конечноэлементной системе линейных алгебраических уравнений. Для исключения нуль-ядра rot-оператора в непроводящих областях применяется технология деревьев-кодеревьев [2] с исключением неизвестных, соответствующих градиентным функциям, соответствующих ядру rot-оператора. Для этого в конечноэлементной сетке строится остовное дерево и исключаются неизвестные, связанные с ребрами остовного дерева, что приводит к невырожденной конечноэлементной матрице меньшего размера. Проводятся вычислительные эксперименты по исследованию вычислительной эффективности разработанного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (номер гранта МК-6811.2018.5)

Список литературы

1. Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 899 с.

2. Bossavit A. Computational Electromagnetism: Variational Formulations, Complementarity, Edge Elements. Academic Press, 1998, 352pp.

Программа обработки данных многоразносных импульсных электромагнитных зондирований Q-Trans

М. А. Корсаков[1], М. И. Эпов[1,2], Е. Ю. Антонов[1]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: acidmk@yandex.ru

Решение обратных задач наземной электроразведки в рамках горизонтально-слоистой модели среды зачастую становится ресурсоемким процессом и напрямую зависит от количества интерпретируемых кривых. В тоже время, достоверность восстановления геоэлектрического разреза повышается, при использовании большего количества данных. В докладе рассматриваются результаты обработки данных импульсных электромагнитных зондирований с системой наблюдений, аналогичной используемым в сейсморазведке. Установка, состоит из множества приемных датчиков, расположенных на одной линии слева и справа относительно генераторной петли (источника). Анализ

данных, полученных такой установкой, осуществлялся на основе трансформации нестационарных электромагнитных зондирований в волновую область [1]. В программе Q-Trans используется алгоритм преобразующий функции, являющиеся решением уравнения типа теплопроводности в пространство решений волнового уравнения на основе SVD-регуляризации [2].

Список литературы

1. Резницкая К. Г., 1974. Связь между решениями задачи Коши для уравнений различных типов и обратные задачи. В кн.: Математические проблемы геофизики. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. вып. 5. ч. I. с. 55-62.

2. Грецков Г.А., Эпов М.И., Антонов Е.Ю. Волновые трансформанты нестационарного электромагнитного поля в проводящих средах // Геология и геофизика, 2017, т. 58, № 6, с. 924-934.

Численное моделирование прямых и обратных задач электротомографии на кустовых площадках месторождений

А. В. Мариненко[1], М. И. Эпов, В. В. Оленченко[1]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Новосибирский государственный университет
E-mail: arkadiy@reqip.net

Для геофизических исследований методом электротомографии на постоянном токе часто возникает необходимость проведения предварительного численного моделирования. Особенно это актуально в том случае, когда имеется некоторая информация о подвергаемых томографии породах. Например, такая информация есть на геофизических площадках, где проведено бурение скважин. Целью данной работы является разработка программного комплекса, который позволит изучить влияние объектов, содержащихся в слое земли и над ним на результирующую картину кажущихся сопротивлений (инверсии), а также методов минимизации этого влияния. Подобная проблема возникает в случае тех же скважин с металлической обсадкой, наличие которых сильно затрудняет решение задачи инверсии [1]. Для решения прямых задач использовался узловой метод конечных элементов, а для обратных задач применялся подход, описанный в работе [2].

Список литературы

1. Сергеев К. С., Рыжков В. И. и др. Изучение многолетнемерзлых пород с использованием комплекса методов инженерной геофизики (на примере кустовой площадки нефтегазо-конденсатного месторождения в Западной Сибири) // Журнал "Инженерные изыскания", №10-11/2015, С. 46-53.

2. Rucker C. Advanced Electrical Resistivity Modelling and Inversion using Unstructured Discretization // Dissertation, Leipzig, 2011, 121 p.

Аналитические методы в геоэлектрике

В. С. Могилатов
Новосибирский государственный университет
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: mvecs@ya.ru

Мы имеем ввиду математические методы, которые приводят к обозримым и легко вычисляемым представлениям. Обычно это модификации классического метода разделения переменных, примененного к системе уравнений Максвелла. Такие представления сохраняют свою важность для обоснования базовых свойств методов геоэлектрики. Как примеры, рассматриваются задачи с наклонными линиями в морской электроразведке во временной области [1]. А также линейные приближения в двухмерных задачах и задачи в средах с двухосной анизотропией [2]. Вместе с тем, усложнение условий применения метода разделения переменных, как это происходит, например, в задаче с двухосной анизотропией, ставит вопрос о целесообразности такого подхода к решению, поскольку полученные алгоритмы уже нельзя отнести к легко вычисляемым. И, следовательно, разумна альтернатива в виде сугубо численных методов решения системы уравнений Максвелла.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-17-00095).

Список литературы

1. Могилатов В. С., Злобинский А. В. Универсальное математическое обеспечение зондирований становлением // Геофизика, 2017, №1. С. 45-55.

2. Могилатов В. С., Беспалов А Н. Учет двухосной анизотропии проводимости среды в геоэлектрических исследованиях // Изв. РАН. Сер.: Физика Земли, 2009, №9. С. 97-103.

Моделирование и совместная инверсия данных электрического каротажа в моделях с электрической анизотропией

О. В. Нечаев, В. Н. Глинских
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
E-mail: oleg.v.nechaev@gmail.com

В работе формулируется прямая и обратная задачи электрического каротажа об определении компонент тензора удельного сопротивления горных пород по измерениям методами БКЗ, БК и ВИКИЗ в нефтегазовых скважинах. Исследуется возможность восстановления горизонтальной и вертикальной составляющих, а также угла наклона осей тензора удельного сопротивления. На основании проведенных вычислительных экспериментов можно сделать вывод, что совместное использование данных зондов различного типа, при решении обратной задачи, позволяет восстанавливать значения элементов диагонального тензора удельного сопротивления, а также проводить оценку угла наклона главных осей тензора анизотропии относительно оси скважины. Большая ошибка идентификации угла наклона связана с тем, что изначально рассматриваемые каротажные зонды не были предназначении для решения задач связанных с анизотропной удельной проводимостью. С другой стороны, при отсутствии данных каротажа с другим типом зондов, наличие возможности восстанавливать компоненты тензора удельной проводимости и угла наклона (пусть и с погрешностью) является существенной, так как это сильно влияет на оценку нефтесодержания пласта.

Трехмерное моделирование разломных структур в Чуйской впадине по данным метода становления электромагнитного поля

А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова, Н. В. Штабель
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
E-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

В работе представлены результаты трехмерного моделирования разломной структуры в центральной части Чуйской впадины Горного Алтая на участке Мухор-Тархата. На этом участке проводятся регулярные ежегодные наблюдения методом электромагнитного зондирования становлением поля (ЗС), получено глубинное строение разломной зоны [1]. Для верификации и уточнения структурных особенностей геоэлектрической модели и было выполнено трехмерное моделирование.

Трехмерные модели формировались из набора трехслойных геоэлектрических моделей, полученных в результате интерпретации в рамках горизонтально-слоистой модели среды, в три этапа. На первом этапе были выполнены вычисления для модели, включающей разрывное нарушение с незначительным сдвигом слоев по сместителю (до 40м). Для следующего расчета сдвиг по сместителю был увеличен до 80 м. На третьем этапе с учетом первых двух расчетов была рассмотрена модель, в которой варьировалось положение основного разрывного нарушения относительно пунктов измерений.

Моделирование сигналов ЭДС в приемных петлях выполнено с помощью программы ImpSound3D (Штабель Н.В., ИНГГ СО РАН). Программа позволяет моделировать электрическое поле для трехмерных моделей среды на базе векторного метода конечных элементов во временной области на тетраэдральных нестуктурированных сетках [2]. В результате сопоставления полевых и модельных данных ЗС была выбрана оптимальная модель.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (а 17-05-00654, 18-05-00389)

Список литературы

1. Неведрова Н.Н., Шалагинов А.Е. Мониторинг электромагнитных параметров в зоне сейсмической активизации Горного Алтая // Геофизика. – 2015. – № 1. – С. 31-40.

2. Штабель Н.В., Эпов М.И., Антонов Е.Ю., Корсаков М.А. Аппроксимация субвертикальной границы в задачах импульсных электромагнитных зондирований // Геология и геофизика. – 2014. Т. 55. № 1. С. 108-118.

Inverse attitude control of a flexible satellite

A. D. Saspayeva , K. S. Zhilisbayeva
Al-Farabi Kazakh National University
E-mail: asem.saspayeva@gmail.com

To meet ever more demanding mission requirements, the spacecraft attitude should be controlled with high accuracy. In order to achieve the precise attitude control, a variety of attitude disturbance sources should be taken into account, specifically flexible structures such as solar panels and antennas. This paper presents an adaptive backstepping method for flexible spacecraft attitude stabilization control and active vibration suppression. Then this controller is proposed for use in situations when there are only magnetic actuators. In addition, for the actuator is shown to be instantaneously underactuated, and is only controllable in the time-varying sense.

The basis of this method is the Lyapunov stability criterion. The method consists in the sequential approach of each system integrator, by adding negative feedback. After it, we will get control law for the original object. When you create a control system in such a way before the developer gets the task of choosing the Lyapunov function and choice of the coefficients obtained regulator. Backstepping gives a significant advantage in the synthesis of control, because it does not require linearization. The proposed controller guarantees the system to be asymptotically stable, and provides high accuracy control, external disturbance rejection, and robustness to flexible vibrations.

References

1. Halder, A, Kumar Giri, D, Sinha,M . Adaptive Integrator backstepping control for magnetically actuated satellite //2014. IFAC Proceedings volumes, Vol.47, Issue 1,pp.255-262.

2. Hu,Q., Xiao,B. Robust adaptive backstepping attitude stabilization and vibration reduction of flexible spacecraft subject to actuator saturation // 2010. Journal of Vibration and Control17(11), pp. 1657–1671

3. Krstic, M.,Tsiotras P. Inverse optimal stabilization of a rigid spacecraft // 2009. IEEE Transactions on AutamaticControl,Vol.44, No.5

4. Kristiansen, R., Nicklasson, P. J., and Gravdahl, J. M. Satellite attitude control by quaternion based backstepping. // 2009.IEEE Transaction on Control System Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 227 232.

5. Pichuzhkin, A., Roldugin, D.(2016) Geomagnetic field models for satellite angular motion. Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. No. 87. 30 с. doi:10.20948/prepr-2016-87.

Практические приложения численного моделирования и инверсии в задачах электрокаротажа

К. В. Сухорукова[1], О. В. Нечаев [1], И. В. Суродина [2], А. М. Петров [1]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: suhorukovakv@ipgg.sbras.ru, ivanov@gmail.com

В практике электрического каротажа сигналы зондов преобразуются в значения кажущегося удельного электрического сопротивления, то есть сопротивления однородной среды. По этим значениям оценивается насыщение коллектора. Несоответствие однородной среды и среды, отклик от которой измеряет прибор, приводит к ошибочным заключениям.

Изменение при бурении прискважинной зоны породы заставляет увеличивать глубинность зондов, что снижает их вертикальное разрешение. С другой стороны, фильтрация бурового раствора в коллектор зависит от его пористости, проницаемости и насыщения и формирует специфический радиальный профиль УЭС. Поэтому задача каротажа состоит в том, чтобы как можно более точно и детально восстановить как вертикальное, так и радиальное распределения электрофизических характеристик, а тем самым – и насыщение коллектора в условиях вертикальной, наклонной или горизонтальной скважины, при высоких контрастах электропроводности породы и бурового раствора. Усложнение строения геоэлектрической модели приводит к необходимости создания новых 2D и 3D алгоритмов расчета сигналов электрокаротажа.

Численное моделирование и инверсия успешно применены при интерпретации сигналов электромагнитного и электрического каротажа в нескольких типичных ситуациях в нефтяных скважинах Западной Сибири.

Трехмерное численное моделирование рельефа кристаллического фундамента при решении гидрогеологических задач методом электротомографии в с. Михайловка Искитимского района Новосибирской области

А. Н. Фаге , А.М. Санчаа , О. В. Шемелина
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: faguetan@ipgg.sbras.ru

Новосибирская область характеризуется достаточно неоднородным геологическим строением. Так, западная часть представлена мощными толщами рыхлых пород, где выдержанные водоносные горизонты начинаются лишь на больших глубинах. Правобережье р. Обь характеризуется выходами скальных пород на поверхность и в целом характеризуется относительно небольшими мощностями четвертичных отложений. В этой связи в некоторых районах бурение водозаборных скважине даже в хорошо изученных местах способно преподнести неприятные сюрпризы: Новосибирский район, Искитимский, Маслянинский – здесь периодически возникают ситуации, когда новые скважины, пробуренные в нескольких метрах от высокодебитовых существующих, дают малый объем воды.

Использование метода электротомографии при исследовании водоносных горизонтов позволяет обнаруживать особенности геологического строения, не попадающие на геологические карты и, соответственно, находить наиболее перспективные участки для строительства водозаборных скважин.

Для качественной интерпретации полевых данных необходимо использовать методы трехмерного численного моделирования, поскольку они позволяют уменьшить неоднозначности, возникающие при инверсии.

Работы методом электротомографии с использованием численного трехмерного моделирования в с. Михайловка Искитимского района Новосибирской области позволили выдать грамотное гидрогеологическое заключение и сэкономить значительные бюджетные средства на бурении заведомо непродуктивной скважины.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00007) и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 18-45-540011.

Трехмерное моделирование для обоснования результатов электротомографии

И. О. Шапаренко[1], И. В. Суродина[2], Н. Н. Неведрова[1]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: shaparenkoio@ipgg.sbras.ru

Электротомография – современный, широко востребованный метод постоянного тока, предназначенный для построения двумерных и трехмерных геоэлектрических моделей приповерхностной части земной коры по данным, полученным на поверхности или в скважинах. Электротомография основана на применении многоэлектродных электроразведочных установок, подключаемых к аппаратуре, способной по заданной схеме по-разному коммутировать токовые и измерительные электроды [1]. Преимущества метода заключаются в высокой разрешающей способности и наглядности полученных разрезов и моделей. С использованием метода накоплен большой объем полевых данных на сложно-построенных участках межгорных впадин Горного Алтая

Для этих данных численное моделирование проводилось как на стадии планирования полевых работ, так и для верификации результатов. Перед проведением измерений была собрана априорная информация о предполагаемых размерах, глубине залегания, литологических характеристиках исследуемых объектов. Используя моделирование, были опробованы разные типы установок, изменялся шаг между электродами и профилями для того, чтобы выбрать оптимальную методику измерений [2]. Как правило, двумерное моделирование не отражает всей сложности среды. Именно выполнение трехмерного моделирования позволило учесть влияние особенностей строения, в частности наклонных границ, присутствующих в области исследования.

Список литературы

1. Балков Е.В., Панин Г.Л, Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика. 2012. № 6. С. 54–63.

2. Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Суродина И.В., Шапаренко И.О. Оценка возможности восстановления разломной зоны методом электротомографии по данным численного моделирования // Геодинамика. Геомеханика и геофизика: XVI Всерос. семинар, посвящ. 80-летию со дня рожд. акад. С.В. Гольдина (стационар "Денисова пещера", Россия, Алтайский край, п. Солонешное 25-30 июля 2016 г.). 2016. С. 24.

Секция 10. СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СЛОЖНО УСТРОЕННЫХ ТРЕХМЕРНО НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВОЛНОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

SVD-анализ оператора обратной динамической задачи сейсмики

А. А. Василенко
Новосибирский государственный университет
E-mail: alexvas1996@ya.ru

Обратная динамическая задача сейсмики заключается в нахождении скоростной модели упругой среды по зарегистрированным в ходе полевых работ данным. Задача сводится к минимизации целевого функционала, который является квадратом нормы разности наблюдаемых (зарегистрированных) и смоделированных данных.

Стандартным подходом для отыскания точки минимума служит организация итерационного процесса. Отсюда мы получаем систему линейных алгебраических уравнений для перехода к следующему приближению. Матрица этой системы, будучи конечномерным приближением компактного оператора, плохо обусловлена. Поэтому для ее обращения нужно применять регуляризацию, которая основывается на усечении SVD-разложения и построении r-псевдообратного оператора.

В работе приводятся и обсуждаются результаты численных экспериментов. Поскольку на практике получить данные для низких частот достаточно сложно, возникает необходимость в изучении влияния частотного диапазона сейсмических данных на качество восстановления скоростной модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-17-01128).

Список литературы

1. Gadylshin K.G., Cheverda V.A. (2017): Reconstruction of a depth velocity model by full waveform inversion // Doklady Akademii Nauk, 2017, Vol. 476, No. 6, pp. 693-697.

2. Silvestrov I., Tcheverda V. (2011): SVD analysis in application to full waveform inversion of multicomponent seismic data // J. Phys.: Conf. Ser. 290 012014.

3. Linearized inversion of data of multi-offset data for vertically inhomogeneous background / V. Cheverda, F. Clement, V. Khaidukov, V. Kostin // J. Inv. Ill-Posed Problems. – 1998. – Vol. 6, no. 5. – P. 453-484.

4. Костин В.И., Чеверда В.А. r-решения уравнения первого рода с компактным оператором в гильбертовых пространствах: существование и устойчивость // Доклады РАН. 1997. Т. 355, № 3.

Data space reflectivity Full Waveform Inversion: macrovelocity reconstruction

K. G. Gadylshin
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
E-mail : GadylshinKG@ipgg.sbras.ru

В настоящее время все существеннее сказывается тот факт, что нефтяные месторождения, расположенные в наиболее доступных и изученных районах, начинают истощаться. Поиск новых месторождений приходится вести в районах с весьма сложными геологическими условиями. При этом возникает необходимость применять новые методы регистрации и обработки геофизических данных, которые позволили бы извлекать как можно более полную и достоверную информацию о строении среды. При разработке новых систем наблюдений и процедур обработки важным этапом является их теоретическое обоснование: анализ тех возможностей и ограничений, которыми они в принципе обладают, и выявление тех условий, при которых они дают наилучший результат. Общепризнано, что одним из самых общих методов извлечения количественной информации об упругих параметрах среды из сейсмических данных является обращение полных волновых полей (синонимы: решение обратной динамической задачи сейсмики (ОДЗ), full-waveform inversion (FWI)

и сейсмическая инверсия). Как правило, ОДЗ формулируется как нелинейная задача минимизации целевого функционала, характеризующего (в некоторой норме) невязки сейсмограмм, зарегистрированных в ходе полевых работ, а также рассчитанных синтетических сейсмограмм. Обзор, посвященный состоянию дел в данной области, и ссылки на основные источники могут быть найдены в (Virieux and Operto, 2009). Однако, прямое применение FWI к решению ОДЗ устойчиво восстанавливает только резко осциллирующую компоненту решения и неспособно восстановить гладкую скоростную модель. Проблема заключается в отсутствии в спектре зарегистрированного сигнала очень низких временных частот и чрезвычайно больших расстояний между источниками и приемниками. В работе мы сконцентрируемся на применении метода обращения полного волнового поля в модифицированной постановке (Clement, Chavent and Gomez, 2001) к данным сейсморазведки МОВ.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 18-35-00253, 16-05-00800.

Литература

1. Clement F., Chavent G. and Gomez S. 2001 Migration-based traveltime waveform inversion of 2-D simple structures: A synthetic example, Geophysics, 66, pp. 845-860.

2. Virieux J., Operto S. 2009. An overview of full-waveform inversion in exploration geophysics. Geophysics. 74(6), WCC1 – WCC26.

Определение поглощения упругих сред по полным волновым полям

А. В. Кириленко
Новосибирский государственный университет
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: alexkirnsu@gmail.com

Существование поглощения сейсмических волн показано в ходе большого количества лабораторных и натурных экспериментов, в том числе, в ходе полевых наблюдений. Поглощение существенным образом влияет на характер формирования и распространения сейсмических волновых колей, поэтому его учет чрезвычайно важен.

На данный момент разработано большое количество реологических моделей, которые учитывают эффекты поглощения. Наиболее популярные из них – это модель Кольского-Футтермана [1], модель Кельвина–Фойгта [2], модель стандартного линейного твердого тела (SLS) [3], а также модель обобщенного стандартного линейного твердого тела (GSLS) [4]. Эффекты связанные с поглощением и рассеянием обычно характеризуются величиной добротности (количество длин волн, проходя через которое, волна затухает в epi раз). В классических работах [5-6] было показано, что для сейсмических волн на низких частотах (до 200 Гц) добротность на зависит от частоты. Данное наблюдение является ключевым при осуществлении прямого моделирования.

Данная работа посвящена реконструкции функции добротности Q по сейсмическому отклику в приемниках. В качестве среды с поглощением рассматривается модель обобщенного стандартного линейного тела (GSLS), которая опирается на t-метод [7] и его модификацию [8]. Восстановление функции добротности сводится к решению обратной задачи сейсмики в линеаризованной постановке, которая решается с помощью метода обращения полного волнового поля [9].

В работе продемонстрированы результаты численных экспериментов на модельных данных, которые подтверждают работоспособность и эффективность разработанного численного алгоритма.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-17-01128).

Список литературы

1. Kolsky, H., The propagation of stress pulses in viscoelastic solids, Philosophical Magazine, -1956, 1, 693-710.

2. Casula, G., Carcione, J., Generalized mechanical model analogies of linear viscoelastic behaviour, Bollettino di geofisica teorica ed applicata, -1992, XXXIV(136).

3. Ben-Menahem, A., Singh, S., Seismic waves and sources, Springer-Verlag, New York, 1981.

4. Carcione, J. M., Kosloff, D., Kosloff, R., Wave propagation simulation in a linear viscoacoustic medium, Geophysical Journal International, - 1988, 93(2), 393–401.

5. Futterman, W., Dispersive body waves, Journal Geophysical Research, - 1962, 67, 5279–5291.

6. McDonal F.J., Angona F.A., Mills R.L., Sengbush R.L., van Nostrand R.G., White J.E. Attenuation of shear and compressional waves in Pierre shale, Geophysics. -1958. -V.23. -P.421-439.

7. Blanch J., Robertsson O., and Symes W. Modeling of a constant Q: Methodology and algorithm for an efficient and optimally inexpensive viscoelastic technique, Geophysics. -1995. -V.60. -P.176–184.

8. Hestholm S., Ketcham S., Greenfield R., Moran M., McMechan G. Quick and accurate Q parameterization in viscoelastic wave modeling, Geophysics. -2006 -V.71. - P.147-150.

9. Virieux, J., Operto, S., An overview of full waveform inversion in exploration geophysics, Geophysics, -2009, 74(6), WCC1–WCC26.

Прямой малоранговый метод решения 3D задач в частотной области в сравнении с моделированием во времени

В. И. Костин, С. А. Соловьев
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: 511ssa@mail.ru

Предлагается многоуровневый прямой MPI решатель в частотной области для численного моделирования акустических волн в трехмерных гетерогенных средах. Для уменьшения потребления памяти и времени вычисления на этапе LDLt факторизации, нижний треугольный фактор L сжимается с использованием свойства разреженности данных и аппроксимации матрицами малого ранга внедиагональных блоков матрицы L. Сжатие позволяет решать в приемлемых временных системах более 10^8 уравнений, соответствующих реалистичным геофизическим моделям. Сравнение производительности нашего решателя с высокооптимизированным промышленным решателем во временной области доказывает, что оба подхода дополняют друг друга - в зависимости от размера задачи и вычислительной конфигурации тот или иной решатель может быть предпочтительным.

Гибридный алгоритм для моделирования волновых процессов в средах с локальными осложняющими факторами

В. В. Лисица, В. А. Чеверда, Г. В. Решетова, Д. М. Вишневский
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
E-mail: LisitsaVV@ipgg.sbras.ru

В работе представлен численный алгоритм для моделирования волновых процессов в средах с локальными осложняющими факторами, такими как анизотропия, поглощение сейсмической энергии, скопления мелкомасштабных неоднородностей, резкоконтраснтые границы. Учет этих факторов требует использования сложных математических моделей и численных методов, либо чрезвычайно детальной дискретизации. При этом, указанные особенности модели среды зачастую локализованы в пространстве, поэтому целесообразным является локальное использование сложных моделей и численных методов только в определенных подобластях, в то время как в основной части расчетной области возможно применение эффективных конечно-разностных схем. Именно на этом принципе основан предлагаемый в работе гибридный алгоритм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-05-00031, 18-01-00579, 16-05-00800).

3D кинематическая томография на отраженных волнах для построения глубинно-скоростных моделей в задачах сейсморазведки

Д. А. Неклюдов[1], К. Г. Гадыльшин[1], М. И. Протасов[1], А. П. Правдухин[2]
[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
[2]ООО "Ингеосервис"
E-mail: dmitn@mail.ru

В настоящей работе мы предлагаем алгоритм автоматической 3D кинематической томографии на отраженных волнах для построения макроскоростных моделей, необходимых для построения глубинных сейсмических изображений. Алгоритм реализует численное решение обратной

кинематической задачи сейсмики в томографической постановке. Его основной отличительной чертой является то, каким образом происходит вычисление невязок времен пробега отраженных волн. Подход основывается на использовании результатов стандартного скоростного анализа и временной миграции до суммирования (PSTM). Для расчета невязок используются: 1) Набор определенных в кубе PSTM основных отражающих горизонтов; 2) Куб скоростей суммирования по общей глубинной точке (ОГТ); 3) начальная макромодель. На первом этапе производится "численная демиграция через глубину" в начальной скоростной модели снятых на временном сейсмическом изображении отражающих поверхностей. Далее из локализованных в глубине отражающих площадок с известной нормалью строится набор отраженных лучей, вдоль которых определяются "вычисленные" время пробега. "Наблюденные" времена в соответствующих точках определяются в гиперболической аппроксимации с использованием скоростей суммирования ОГТ. Обратная кинематическая задача, которая заключается в минимизации разницы "вычисленных" и "наблюденных" времен, решается методом IRLS (англ. - iterative reweighted least squares) [1]. Численные эксперименты на реальных данных подтверждают эффективность предложенного метода.

References

1. Woodward V., Nichols D., Zdraveva O., Whitfield P, Johns T. A decade of tomography// Geophysics .- 2008 - №5. P. VE5-VE11.

Численное моделирование распространения сейсмических волн в трещиновато-пористой среде: влияние связности трещин на затухание волн

М. А. Новиков[1], В. В. Лисица[2]
[1]Новосибирский государственный университет
[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
E-mail: NovikovMA@ipgg.sbras.ru; LisitsaVV@ipgg.sbras.ru

Работа посвящена исследованию влияния различных характеристик трещиноватости пороупругой флюидонасыщенной среды на частотно-зависимое затухание проходящих волн. Методом имитации отжига сгенерирован набор трещиноватых моделей сложной двумасштабной структуры с различной степенью связности трещин. Проведен статистический анализ геометрии систем трещин. С помощью конечно-разностной схемы, аппроксимирующей динамические уравнения Био, был проведен ряд численных экспериментов по распространению волны в системах с трещинами, заполненными высокопористым высокопроницаемым материалом. Результаты демонстрируют существенное влияние степени связности трещин на частотно-зависимое затухание.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-05-00031, 18-01-00579, 16-05-00800).

Реконструкция трехмерных рассеивающих объектов в упругих средах

М. И. Протасов, В. А. Чеверда
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: protasovmi@ipgg.sbras.ru

Представляется метод построения трехмерных дифракционных сейсмических изображений. Он является *трехмерным аналогом развитой ранее процедуры построения дифракционных изображений* [2]. Алгоритм заключается в асимметричном суммировании данных с весами, вычисляемыми с использованием Гауссовых пучков [1]. Основной отличительной особенностью здесь является построение весов суммирования путем трассировки из точек изображения в направлении источников и приемников. *Данная методика имеет* важное свойство, позволяющее получать трехмерные селективные изображения, содержащие ориентированные определенным образом отражающие элементы и дифрагирующие/рассеивающие объекты. Именно это дает информацию о распределении неоднородностей субсейсмического масштаба. Кроме того, описанная процедура дает возможность получать трехмерные индикатрисы рассеяния, несущие информацию о некоторых важных свойствах субсейсмических объектов. В частности, на этой основе становится возможным определение

преимущественной ориентации трещин. Работоспособность метода продемонстрирована на синтетических данных, рассчитанных для реалистичной модели среды, содержащей разломы, зоны трещиноватости и кавернозности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-17-01128).

Список литературы

1. Popov M.M. Ray theory and Gaussian beam for geophysicists. EDUFBA: SALVADOR-BAHIA, 2002.
2. Protasov M.I., Reshetova G.V., and Tcheverda V.A., Fracture detection by Gaussian beam imaging of seismic data and image spectrum analysis. // Geophysical Prospecting. 2016. v.64(1). P. 68–82.

Цифровой керн: от микротомографии к мезомасштабным упругим параметрам

Г. В. Решетова[1], Т. С. Хачкова[2]
[1]Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
E-mail: kgv@nmsf.sscc.ru

В работе представлен новый параллельный алгоритм оценки упругих свойств образцов горной породы по 2D и 3D изображениям компьютерной томографии [1]. Метод основан на принципе эквивалентности энергии деформаций, в котором в качестве однородных граничных условий выбираются статические граничные условия, имитирующие физический эксперимент и сначала определяются компоненты тензора податливости. Особенностью алгоритма является новая схема решения задач статического нагружения образца методом установления задачи динамической теории упругости и схема параллельной реализации на основе MPI+OpenMP. С минимальными изменениями этот подход модифицирован для получения частотно-зависимых эффективных параметров для образцов карбонатной породы.

Список литературы

1. Решетова Г. В., Т.С. Хачкова. Численный метод оценки эффективных упругих характеристик горной породы по двумерным и трехмерным цифровым изображениям керна // Вычислительные методы и программирование. 2017. Т. 18. С. 416-433.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

В. В. Васин 6
В. П. Ильин 6
С. И. Кабанихин, М. А. Шишленин 7
Ю. М. Лаевский 7
М. А. Марченко, А. В. Новиков 8
Г. А. Михайлов 8
А. В. Пененко 9
В. В. Пененко 9
Г. А. Платов, Е. Н. Голубева,
В. Н. Крупчатников, В. В. Малахова 10
А. С. Родионов 10
V. G. Romanov 11
К. К. Сабельфельд 11
А. Г. Фатьянов 12
Hào Dinh Nho 12
А. Г. Ягола, Д. В. Лукьяненко, Я. Ван 12

Секция 1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЛГЕБРЫ И АППРОКСИМАЦИИ

П. В. Бабинцев, В. М. Ковеня 14
В. С. Белоносов 14
В. А. Беляев 15
Э. А. Бибердорф 15
Ю. О. Бобренёва, И. М. Губайдуллин 15
Г. С. Васильев, Х. Х. Имомназаров 16
В. А. Вшивков, Е. С. Большакова,
В. К. Кедринский 16
К. В. Вшивков, Г. И. Дудникова 17
В. С. Гладких, А. В. Петухов 17
Н. И. Горбенко, В. П. Ильин, Л. Л. Фрумин 18
Я. Л. Гурьева, Д. В. Перевозкин 18
А. И. Задорин, И. А. Блатов, Е. В. Китаева 19
М. И. Иванов, И. А. Кремер, Ю. М. Лаевский 19
E. A. Kondakova, O. I. Krivorotko,
S. I. Kabanikhin 20
Е. А. Лашина, Н. А. Чумакова, Г. А. Чумаков 20
А. И. Левыкин 21
А. Е. Мамонтов, Д. А. Прокудин 21
С. И. Марков, Н. Б. Иткина 21
А. Н. Рогалев 22
В. В. Сказка 22
А. О. Савченко, А. В. Петухов 23
Н. В. Штабель 23
Э. П. Шурина, Д. А. Архипов 23
E. P. Shurina, D. V. Dobroliubova, E. I. Shtanko. 24
Э. П. Шурина, А. Ю. Кутищева 24

Секция 2. МЕТОДЫ МОНТЕ-КАРЛО И ЧИСЛЕННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Т. А. Аверина, К. А. Рыбаков 25
А. Ш. Акыш, Н. Баймулдина, Н. Закариянова 25
Т. В. Алёшина, К. В. Литвенко 25
В. С. Антюфеев 26
А. В. Бурмистров, М. А. Коротченко 26
А. В. Войтишек 27
С. А. Гусев, В. Н. Николаев 28
О. В. Дульзон, И. А. Шалимова 28
А. А. Иванов, С. С. Артемьев, Д. Д. Смирнов. 29
Е. Г. Каблукова, Б. А. Каргин, П. Чжэн 29
Е. Г. Каблукова, В. А. Огородников,
С. М. Пригарин 30
E. G. Kablukova, K. K. Sabelfeld 30
Н. А. Каргаполова, В. А. Огородников 31
Б. А. Каргин, А. Б. Каргин, С. М. Пригарин ... 31
Б. А. Каргин, О. С. Ухинова 31
А. Ким, И. В. Прохоров 32
А. С. Корда, С. А. Ухинов 33
Г. Г. Лазарева, С. С. Артемьев, В. Д. Корнеев . 33
Б. Ю. Лемешко, И. В. Веретельникова 33
К. В. Литвенко, С. М. Пригарин 34
Г. З. Лотова 34
О. А. Махоткин 35
И. Н. Медведев 35
А. М. Медвяцкая 36
А. М. Медвяцкая, О. В. Сересева 36
М. Ю. Плотников, Е. В. Шкарупа 37
С. В. Рогазинский 37
С. А. Роженко, Г. А. Михайлов,
С. М. Пригарин 38
K. K. Sabelfeld, A. E. Kireeva 38
Л. Я. Савельев 39
С. С. Скворцов, В. А. Огородников,
Н. А. Каргаполова 39
Д. Д. Смирнов 40
О. Н. Соболева 40
Н. В. Трачева, С. А. Ухинов 40
А. А. Черемисин, А. В. Кушнаренко 41
А. А. Черемисин, П. В. Новиков 41
И. А. Шалимова 42
М. А. Якунин 42

Секция 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА И ЗАДАЧ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. М. Аржанов, В. В. Малахова, И. И. Мохов 43
И. В. Боровко, Г. А. Платов 43
A. Vazhenin, An. Marchuk, K. Hayashi 44
V. N. Grebenev, S. V. Nazarenko,
S. B. Medbedev 44
Ф. В. Григорьев, А. В. Плёнкин,
И. В. Капырин 44
A. V. Zhukov, D. N. Sidorov, A A. Mylnikova,
Yu. V. Yasukevich 45
С. В. Зажигалов, А. Н. Загоруйко,
Н. А. Чумакова 45
М. В. Зарецкая, В. В. Лозовой, А. Г. Зарецкий 46
Е. Г. Климова 46
В. В. Кравченко, Е. Н. Голубева, Г. А. Платов,
М. В. Крайнева 47
М. В. Крайнева, Е. Н. Голубева 47
В. Крупчатников, Г. А. Платов, Ю. Мартынова,
И. Боровко 47
А. И. Крылова, Е. А. Антипова,
О. С. Чмеленко 48
Д. Е. Кузаков, М. М. Лаврентьев,
Ан. Г. Марчук 48
Д. В. Кулямин, П. А. Останин,
В. П. Дымников 49
Л. И. Курбацкая, А. Ф. Курбацкий 49
В. В. Малахова 50
Ан. Г. Марчук 51
А. В. Павлова, С. Е. Рубцов 51
А. В. Пененко 52
А. В. Пененко 52
Г. А. Платов, Е. Н. Голубева, М. В. Крайнева,
В. В. Малахова 53
Э. А. Пьянова, А. В. Гочаков 53
В. Ф. Рапута, Т. В. Ярославцева 54
О. В. Сересева, В. Ф. Рапута,
Т. В. Ярославцева, А. М. Медвяцкая 54
А. В. Старченко, А. А. Барт, Л. И. Кижнер,
С. А. Проханов 55
Е. А. Цветова 55
Yu. A. Chirkunov 56
Yu. A. Chirkunov, N. F. Belmetsev 56
Yu. A. Chirkunov, Yu. L. Skolubovich 57
В. В. Чуруксаева, А. В. Старченко 57
M. S. Yudin 58
Д. Ф. Якшина, Е. Н. Голубева 58
Д. Ф. Якшина, Е. Н. Голубева 59

Секция 4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИКИ

Б. М. Глинский, В. Н. Мартынов,
А.Ф. Сапетина 60
В. К. Гусяков 60
М. В. Зарецкая 60
Б. Х. Имомназаров, П. В. Коробов,
Х. Х. Имомназаров 61
Б. Х. Имомназаров, В. А. Няго,
Х. Х. Имомназаров 61
Х. Х. Имомназаров, М. В. Урев 62
Б. В. Лунёв, В. В. Лапковский 62
А. Г. Меграбов 62
А. А. Михайлов 63
А. А. Михайлов, Х. Х. Имомназаров 63
А. В. Михеева 64
И. С. Никитин, Н. Г. Бураго, А. Д. Никитин 64
Ю. В. Перепечко, К. Э. Сорокин,
Ш. Х. Имомназаров 65
V. Priimenko, M. Azeredo, M. Miranda,
I. Oliveira 65
И. С. Телятников 66
А. И. Хисамутдинов, Чжао Сюэцзянь 66
В. В. Червов, Г. Г. Черных 67
Э. П. Шурина, С. А. Трофимова, Н. Б. Иткина . 67

Секция 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ИНФОРМАТИКИ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СУПЕРВЫЧИСЛЕНИЯ

М. П. Бакулина 68
Ю. В. Гласко, В. Г. Филатов, В. М. Мегеря,
В. И. Старостенко, И. Н. Корчагин,
А. М. Лобанов, А. А. Никитин, Д. М. Фырнин. 68
Л. А. Голубева, В. С. Горшунов, В. П. Ильин,
Э. Б. Эрдышев 69
Л. П. Каменщиков 69
И. А. Климонов, В. Д. Корнеев,
В.М. Свешников 70
I. M. Kulikov 70
О. А. Ляхов 70
Ю. Г. Медведев 71
Д. А. Мигов 71
О. Г. Монахов, Э. А. Монахова 72
M. B. Ostapkevich 72
А. С. Родионов 72
О. Д. Соколова 73
А. В. Старченко, Е. А. Данилкин,
С. А. Проханов 74
Г. Ы. Токтошов 74
Г. А. Щукин 75

Секция 6. АКТИВНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

А. В. Беляшов, В. Д. Суворов, Е. А. Мельник .. 76
Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк,
В. В. Ковалевский 76
Г. М. Воскобойникова, Д. А. Караваев 77
Б. М. Глинский, А. Ф. Еманов,
В. В. Ковалевский, В. М. Соловьев,
М. С. Хайретдинов 77
А. П. Григорюк, В. В. Ковалевский,
Л. П. Брагинская 78
А. А. Добрынина, В. А. Саньков,
В. В. Чечельницкий 78
А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, А. А. Бах,
В. С. Селезнев., В. М. Соловьев, А. В. Фатеев ..79
В. И. Знак, С. Кунду 79
Д. А. Караваев 80
В. В. Ковалевский, Ц. А.Тубанов,
Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк 80
Ю. И. Колесников, Р. Н. Бейсембаев,
К. В. Федин 80
Ю. И. Колесников, К. В. Федин 81
M. B. Ostapkevich, R. F. Minahudin 81
В. С. Селезнев, А. Ф. Еманов, В. М. Соловьев,
А. С. Сальников, В. И. Юшин, В. Н. Кашун,
С. А. Елагин, Н. А. Галева 82
В. А. Сергеев 82
В. М. Соловьев, А. Ф. Еманов, В. С. Селезнев,
В. Н. Кашун, С. А. Елагин 83
В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Ф. Еманов,
А. С. Сальников, В. Н. Кашун, С. А. Елагин ... 84
В. Д. Суворов, Е. А. Мельник, Е .В. Павлов 84
Ц. А. Тубанов, В. В. Ковалевский,
Л. П. Брагинская, А. Д. Базаров, Е. И. Герман .. 85
А. Т. Турарбек 85
М. С. Хайретдинов, В. В. Ковалевский,
Г. М. Воскобойникова, Г. Ф. Седухина,
А. А. Якименко 86
Е. А. Хогоев, А. А. Брыксин, А. В. Лисейкин,
В. С. Селезнев, Ю. И. Колесников 87

Секция 7. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ: ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

G. B. Abdikerimova, A. L. Bychkov,
S. S. Khayrulin, F. A. Murzin, N. E. Russkikh,
E. I. Ryabchikova, Wei Xinyu 88
В. В. Асмус, А. А. Бучнев, В. А. Кровотынцев,
В. П. Пяткин 88
П. В. Воронина, Д. Л. Чубаров,
Н. Н. Добрецов 89
А. А. Донцов, И. А. Суторихин,
А. А. Коломейцев 89
I. V. Zadvornykh, K. G. Gribanov, V. I. Zakharov,
R. Imasu 89
И. Г. Казанцев 90
П. А. Ким 90
П. А. Ким, А. А. Бучнев, Ф. В. Пяткин 91
А. А. Леженин, В. Ф. Рапута,
Т. В. Ярославцева 91
В. В. Медведев, В. А. Суроткин, А. Д. Колин . 91
П. В. Мельников, И. А. Пестунов 92
В. П. Пяткин, Г. И. Салов 92
Т. В. Ярославцева, В. Ф. Рапута 93

Секция 8. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИКИ

А. Б. Бакушинский, А. С. Леонов 94
Д. А. Барамия, Н. И. Горбенко,
М. М. Лаврентьев 94
К. С.Бобоев 94
В. И. Васильев, А. Л. Карчевский,
А. М. Кардашевский, В. В. Попов 95
Т. А. Воронина 95
Dang Quang A, Dang Quang Long 95
В. А. Дедок 96
Г. Н. Ерохин 96
К. Т. Искаков, С. А. Боранбаев,
Ж. О. Оралбекова 97
S. G. Kazantsev 97
В. А. Кан, И. В. Прохоров 97
А. Т. Кусаинова, Т. Миргаликызы,
Б. Б. Шолпанбаев, М. К. Турарова 97
С. В. Мальцева, А. П. Полякова, И. Е. Светов .. 98
Н. С. Новиков 99
А. Т. Нурсеитова, С. Е. Касенов 99
А. Ю. Приходько, М. А. Шишленин 99
А. Н. Рогалев 100
С. Б. Сорокин 100
А. В. Терехов 101
М. А. Шишленин, С. И. Кабанихин,
А. А. Шананин, S. Zhang 101

Секция 9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРИЛОЖЕНИЯ

В. В. Аксёнов 102
Е. Ю. Антонов, Н. О. Кожевников 102

Л. Ф. Васильева, В. А. Дебелов,
Р. А. Шелепаев 103
В. А. Дебелов, Л. Ф. Васильева 103
П. А. Домников 104
М. А. Корсаков, М. И. Эпов, Е. Ю. Антонов . 104
А. В. Мариненко, М. И. Эпов,
В. В. Оленченко 105
В. С. Могилатов 105
О. В. Нечаев, В. Н. Глинских 106
А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова,
Н. В. Штабель 106
A. D. Saspayeva, K. S. Zhilisbayeva 107
К. В. Сухорукова, О. В. Нечаев,
И. В. Суродина, А. М. Петров 107
А. Н. Фаге, А.М. Санчаа, О. В. Шемелина.....108
И. О. Шапаренко, И. В. Суродина,
Н. Н. Неведрова 108

Секция 10. СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СЛОЖНО УСТРОЕННЫХ ТРЕХМЕРНО НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВОЛНОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

А. А. Василенко 109
K. G. Gadylshin 109
А. В. Кириленко 110
В. И. Костин, С. А. Соловьев 111
В. В. Лисица, В. А. Чеверда, Г. В. Решетова,
Д. М. Вишневский.....111
Д. А. Неклюдов, К. Г. Гадыльшин,
М. И. Протасов, А. П. Правдухин 111
М. А. Новиков, В. В. Лисица..... 112
М. И. Протасов, В. А. Чеверда..... 112
Г. В. Решетова, Т. С. Хачкова..... 113

МАРЧУКОВСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2018

Тезисы

Ответственные за выпуск:
А. Г. Фатьянов, И. В. Суродина

Компьютерная верстка *О. Г. Заварзина*

Подписано к печати 01.10.2018. Формат 60×84, 1/8.
Усл. печ. л. 13,7. Тираж 200 экз. Заказ № .

Отпечатано в типографии ИП Малыгин
630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, д. 6/1; тел. +7 (383) 217–43–46