

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Отчет подразделений ИВМиМГ СО РАН

о выполнении плановых заданий 2016 г.



Новосибирск-2017

СОДЕРЖАНИЕ

Научно-организационная деятельность.....	4
Важнейшие результаты научных исследований в 2016 г.	17
Лаборатория методов Монте-Карло	34
Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений.....	44
Лаборатория стохастических задач	52
Лаборатория вычислительной физики.....	66
Лаборатория математических задач химии	76
Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере	85
Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов	102
в природной среде	
Лаборатория численного анализа и машинной графики.....	115
Лаборатория математических задач геофизики	123
Лаборатория численного моделирования сейсмических полей	146
Лаборатория математического моделирования волн цунами	151
Лаборатория геофизической информатики	160
Лаборатория обработки изображений.....	173
Лаборатория системного моделирования	183
Лаборатория прикладных систем	187
Лаборатория моделирования динамических процессов в информационных сетях	191
Лаборатория синтеза параллельных программ.....	200
Лаборатория параллельных алгоритмов решения больших задач	210
Лаборатория Сибирский суперкомпьютерный центр	224
Справочная информация	217

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Награды сотрудников Института в 2016 г.:

- медалью ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени награжден академик РАН А. Н. Коновалов;
- премию Евразийской ассоциации обратных задач ЕААР получил член-корреспондент РАН С. И. Кабанихин;
- дипломом и золотой медалью Европейской Научно-Промышленной палаты награжден д.ф.-м.н. А. В. Войтишек;
- почетное звание "Заслуженный испытатель космической техники" Федерации космонавтики России присвоено к.т.н. А. А. Бучневу;
- почетным орденом "Экологический щит России" Международного форума "Мировой опыт и экономика России" награжден д.ф.-м.н. В. В. Пененко.

Прием делегаций в институте в 2016 г.:

- 23 июня – визит делегации Тоталь – Россия (Total E&P Russie);
- 1 сентября – визит делегации Федерального агентства связи во главе с руководителем О. Д. Духовницким.

Выборы нового состава Ученого совета Института состоялись 19 февраля 2016 г. Проведено 18 заседаний Ученого совета института, на которых были рассмотрены научные, кадровые и организационные вопросы, заслушаны научные доклады сотрудников Института:

- "Явно разрешимые дискретные модели для линейных задач математической физики", академик РАН А. Н. Коновалов.
- "Математическое моделирование динамики сжимаемых сред в задачах естествознания", член-корреспондент РАН Г. Г. Лазарева.
- "Автоматическое конструирование параллельных программ численного моделирования и активные знания", д.т.н. В. Э. Малышкин.
- "Численное исследование динамики океана (1967–2016 гг.)", д.ф.-м.н. В. И. Кузин.
- "Информация об экспедиции в район падения Учурского метеорита, проведенной лабораторией ММВЦ в июле–августе 2016 г.", д.ф.-м.н. В. К. Гусяков.
- Отчет по проекту РНФ "Стохастические и клеточно-автоматные модели и алгоритмы для систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений и их применение к моделированию бимолекулярных реакций и процессов аннигиляции электронов и дырок в нановискерах" за 2015 г., д.ф.-м.н. К. К. Сабельфельд.
- План работ по проекту РНФ "Высокопроизводительное моделирование турбулентных режимов генерации высокочастотного электромагнитного излучения в системе плазма – релятивистский электронный пучок", д.ф.-м.н. В. А. Вшивков.
- "Математические модели и методы в задачах проектирования и анализа эффективности беспроводных сенсорных сетей", к.ф.-м.н. В. В. Шахов.
- "Методы расчета показателей надежности сетей различного назначения", к.ф.-м.н. М. А. Мигов.
- "Оптимизация весовых алгоритмов статистического моделирования", к.ф.-м.н. И. Н. Медведев.
- "Решение прямых кинетических задач с использованием суперЭВМ", к.ф.-м.н. И. Г. Черных.
- "Численное статистическое моделирование кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц с использованием распределенных вычислений", к.ф.-м.н. М. А. Марченко.

– "Математическое моделирование трехмерных гидродинамических процессов в самосогласованном гравитационном поле на суперЭВМ", к.ф.-м.н. И. М. Куликов.

– Отчет об участии в конференции "Супервычисления и математическое моделирование" в Сарове, д.ф.-м.н. В. П. Ильин, к.ф.-м.н. М. А. Шишленин, к.ф.-м.н. И. М. Куликов, к.ф.-м.н. А. В. Снытников.

– Отчет об участии в конференции "Суперкомпьютерные дни" в Москве и предложения Института по концепции развития СКЦ, д.т.н. Б. М. Глинский, к.ф.-м.н. И. Г. Черных.

– "Высокопроизводительные технологии моделирования и обработки спутниковых данных", к.т.н. Е. В. Русин.

Также на заседаниях Ученого совета были заслушаны доклады гостей Института:

– "Конденсация пара на криволинейных поверхностях", д.ф.-м.н. И. В. Марчук, ИТ СО РАН, НГУ.

– "Как бороться с пробками?", д.ф.-м.н. А. В. Гасников, МФТИ, ИППИ РАН (Москва).

Продолжена работа по грантам Президента РФ по поддержке молодых кандидатов наук (к.ф.-м.н. А. В. Пененко, к.ф.-м.н. И. М. Куликов), получены четыре новых гранта (к.ф.-м.н. Н. А. Каргаполова, к.ф.-м.н. О. И. Криворотько, к.ф.-м.н. И. М. Куликов, к.ф.-м.н. А. В. Терехов).

Продолжена работа по четырем проектам Российского научного фонда, руководители: д.ф.-м.н. В. П. Ильин, д.ф.-м.н. К. К. Сабельфельд, д.ф.-м.н. Ю. М. Лаевский, д.ф.-м.н. В. А. Вшивков.

В 2016 г. проводились работы по девяти базовым проектам фундаментальных научных исследований, 46 проектам РФФИ (из них 30 инициативных проектов, 10 молодежных проектов, 2 проекта ориентированных фундаментальных исследований, 3 проекта на поддержку проведения конференций, один проект на издание монографии), четырем проектам РНФ, 8 проектам Президиума РАН и ОМН РАН.

В 2016 г. состоялись защиты трех кандидатских диссертаций (О. В. Сересева, А. А. Витвицкий, А. Ю. Амбос) и двух докторских диссертаций (С. А. Гусев, М. А. Шишленин).

Институт является базовым для шести кафедр университетов Новосибирска:

– четырех кафедр Новосибирского государственного университета (вычислительной математики, вычислительных систем, математических методов геофизики (механико-математический факультет), параллельных вычислений (факультет информационных технологий));

– двух кафедр Новосибирского государственного технического университета: параллельных вычислительных технологий (факультет прикладной математики и информатики) и сетевых информационных технологий (факультет автоматизации и вычислительной техники).

В Институте в период с 27 июня по 8 июля 2016 г. проходила практика студентов Международного университета информационных технологий г. Алма-Ата (Республика Казахстан).

В Институте работают десять научных семинаров. В Институте проводится обучение в аспирантуре по шести образовательным программам (специальностям), работают два совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

На базе ИВМиМГ СО РАН работают Центр коллективного пользования "Сибирский суперкомпьютерный центр СО РАН", Фонд алгоритмов и программ СО РАН.

Издательская деятельность

– С 1993 г. издается журнал "Journal of Inverse and Ill-Posed Problems", периодичность шесть номеров в год. Главный редактор – директор ИВМиМГ СО РАН, член-корреспондент РАН С. И. Кабанихин. Ответственный редактор – д.ф.-м.н. М. А. Шишленин. Журнал индексируется в системах цитирования Web of Science и Scopus. Импакт фактор журнала 0,987. Квартиль журнала Q1.

– С 1998 г. издается "Сибирский журнал вычислительной математики", периодичность четыре номера в год. Главный редактор – директор ИВМиМГ СО РАН, член-корреспондент РАН С. И. Кабанихин. Заместители главного редактора: академик РАН А. Н. Коновалов, д.ф.-м.н. Ю. М. Лаевский. Журнал индексируется в системах цитирования Web of Science и Scopus.

– С 2008 г. издается журнал "Проблемы информатики", периодичность четыре номера в год. Главный редактор – д.т.н. Малышкин В. Э. Заместители главного редактора: д.т.н. А. С. Родионов, к.ф.-м.н. В. В. Шахов.

– С 1993 г. издается ежегодный журнал на английском языке "Bulletin of the Novosibirsk Computing Center". Серии журнала: Computer Science; Mathematical Modeling in Geophysics; Numerical Analysis; Numerical Modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment Studies. Главный редактор – д.ф.-м.н. Ю. М. Лаевский. Ответственный редактор – д.ф.-м.н. А. И. Роженко.

– С 1995 года издается журнал Monte Carlo Methods and Applications с периодичностью четыре номера в год. Главный редактор - д.ф.-м.н. К.К. Сабельфельд. Журнал индексируется в системе цитирования Scopus.

Международные конференции

В 2016 г. проведены 4 международные конференции:

1. Российско-британский научный семинар по теме "Количественная неопределенность в обратном моделировании", Новосибирск, 25–27 апреля 2016 г.

2. 2-я Международная конференция "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 29 августа – 2 сентября 2016 г.

3. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

4. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

Международные соглашения, контракты, гранты

Выполнялись, либо были заключены два меморандума о взаимопонимании, четыре договора и одно соглашение:

1. Меморандум о взаимопонимании между Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация) и Сункьонкванским национальным университетом (г. Сункьонкван, Республика Корея).

Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – ведущий научный сотрудник лаборатории математического моделирования информационных сетей, д.т.н. А. С. Родионов; от Сункьонкванского национального университета – руководитель исследовательского центра по распознаванию образов Донгхо Вон. Срок меморандума: 01.01.2007 г. – 31.12.2016 г.

2. Договор о научно-исследовательском сотрудничестве между Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация) и Восточно-Казахстанским государственным техническим университетом им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан). Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин; от Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева – ректор Ж. К. Шаймарданов. Срок договора: 23.10.2015 г. – 23.10.2020 г.

3. Договор о сотрудничестве между Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация) и Малазийским технологическим университетом (г. Джохор, Малайзия). Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – зав. лабораторией синтеза параллельных программ д.т.н. В. Э. Малышкин; от Малазийского технологического университета – профессор, заместитель директора по науке и инновациям Мохд Азрай Кассим (Mohd Azraai Kassim). Срок договора: 05.12.2013 г.- 05.12.2017 г.

4. Лицензионный договор на использование названия журнала и его отличительных характеристик "Сибирский журнал вычислительной математики" между компанией "Pleiades Publishing Ltd" (Британские Виргинские Острова, США), Сибирским отделением Российской академии наук (СО РАН) и Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация). Координаторы: от "Pleiades Publishing Ltd" – президент А. Шусторович; от Сибирского отделения Российской Академии наук – Председатель СО РАН, академик Н. Л. Добрецов; от ИВМиМГ СО РАН – директор, главный редактор лицензионного журнала "Сибирский журнал вычислительной математики", чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин. Срок договора: 06.08.07 г. – 06.08.16 г.

5. Договор о сотрудничестве по проведению исследований задач, возникающих при разведке и добыче нефти и газа в Республике Узбекистан между Каршинским государственным университетом (г. Карши, Республика Узбекистан) и Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация). Координаторы: от Каршинского государственного университета – ректор Б. А. Шоимкулов; от ИВМиМГ СО РАН – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин. Срок договора: 23.01.2015 г.– 23.01.2019 г.

6. Меморандум о взаимном сотрудничестве между Международным казахско-турецким университетом им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Республика Казахстан) и Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация). Координаторы: от Международного казахско-турецкого университета – ректор У. С. Абдибеков; от ИВМиМГ СО РАН – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин. Срок меморандума: 28.10.2015 г. – 28.10.2020 г.

7. Соглашение о сотрудничестве N170-1/15 между АО "Международный университет информационных технологий" (г. Алматы, Республика Казахстан) и Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация). Координаторы: от АО "Международный университет информационных технологий" – ректор Д. А. Шыныбеков; от ИВМиМГ СО РАН – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин. Срок соглашения: 02.11.2015 г. – 02.11.2020 г.

Командировки за рубеж

В 2016 г. за рубеж командировано 47 сотрудников Института, вместо 90 в 2015 г. Причем командировок для участия в международных конференциях 36 (из них 3 – в страны ближнего зарубежья); 11 краткосрочных командировок, касающихся научной кооперации

(из них 8 – в страны ближнего зарубежья). Страны, в которые было осуществлено командирование: Германия, Австрия, Франция, Великобритания, Италия, Монако, Португалия, Испания, Болгария, США, Китайская Народная Республика, Республика Корея, Республика Казахстан, Республика Узбекистан.

Германия

1. Черных И. Г., с.н.с. Участие в международной суперкомпьютерной выставке, г. Франкфурт (Германия), с 21.06.2016 г. по 23.06.2016 г.

2. Сабельфельд К. К., г.н.с., д.ф.-м.н. Совместная научная работа по теме "Моделирование в оптоэлектрике", Институт твердотельной электроники, г. Берлин (Германия), с 16.07.2016 г. по 27.08.2016 г.

3. Казанцев И. Г., с.н.с., д.ф.-м.н. Участие в международной конференции "Компьютерная томография – 2016", г. Бамберг (Германия), с 18.07.2016 г. по 22.07.2016 г.

4. Голубева Е. Н., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в семинаре "Наблюдения за Восточно-Сибирским рельефом, анализ данных и моделирование", г. Бремерхафен (Германия), с 06.12.2016 г. по 10.12.2016 г.

Австрия

5*. Воскобойникова Г. М., м.н.с. Участие в международной конференции по геонаукам, г. Вена (Австрия), с 12.04.2016 г. по 25.04.2016 г.

6. Пененко А. В., к.ф.-м.н., н.с. Участие в Генеральной ассамблее Европейского союза наук о Земле, г. Вена (Австрия), с 17.04.2016 г. по 24.04.2016 г.

Франция

7. Голубева Е. Н., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в семинаре по океаническим исследованиям, университет Пьера и Марии Кюри, г. Париж (Франция), с 15.03.2016 г. по 20.03.2016 г.

8. Лазарева Г. Г., с.н.с., д.ф.-м.н. Участие в семинаре "Математическое моделирование динамики сжимаемых сред", г. Париж (Франция), с 30.05.2016 г. по 03.06.2016 г.

9. Голубева Л. А., к.ф.-м.н., н.с. Научная работа по решению задач математической химии, г. Рен (Франция), с 20.06.2016 г. по 30.07.2016 г.

10. Ильин В. П., д.ф.-м.н., г.н.с. Участие в международной конференции "Разреженные матрицы", г. Тулуза (Франция), с 29.06.2016 г. по 03.07.2016 г.

Великобритания

11. Ильин В. П., д.ф.-м.н., г.н.с. Участие в международной конференции "Программное обеспечение в математических моделях", г. Варвик (Великобритания), с 03.07.2016 г. по 10.07.2016 г.

12. Гладких В. С., инженер. Участие в международной конференции "Программное обеспечение в математических моделях", г. Варвик (Великобритания), с 03.07.2016 г. по 10.07.2016 г.

Италия

13. Черных И. Г., с.н.с. Участие в международной конференции "Численные методы" г. Калабрия (Италия), с 18.06.2016 г. по 26.06.2016 г.

14. Ильин В. П., д.ф.-м.н., г.н.с. Участие в международной конференции "Численные методы" г. Калабрия (Италия), с 23.06.2016 г. по 26.06.2016 г.

15. Марчук А. Г. Участие в 7-м Международном симпозиуме по цунами, г. Испра (Италия), с 12.09.2016 г. по 16.09.2016 г.

Здесь и далее символом "" отмечено командирование за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований.

Монако

16. Родионов А. С., зав. лаб., д.т.н. Участие в собрании региона 8 Института инженеров электротехники и электроники, г. Монте-Карло, Монако, с 17.03.2016 г. по 22.03.2016 г.

Португалия

17. Родионов А. С., зав. лаб., д.т.н. Участие в 107-м Собрании региона 8 Института инженеров электротехники и электроники, г. Порту (Португалия), с 23.09.2016 г. по 27.09.2016 г.

Испания

18*. Мигов Д. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 15-й Международной конференции по приложениям в компьютерном инжиниринге, г. Пальма-де-Майорка (Испания), с 19.08.2016 г. по 21.08.2016 г.

19. Каргаполова Н. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 30-й Европейской международной конференции по моделированию, г. Лас-Пальмас (Испания), с 24.10.2016 г. по 28.10.2016 г.

Болгария

20. Ильин В. П., д.ф.-м.н., г.н.с. Участие в международной конференции "Численный анализ и приложения", г. Лозенец (Болгария), с 14.06.2016 г. по 21.06.2016 г.

21. Суродина И. В., к.ф.-м.н., с.н.с. Участие в международной конференции "Численный анализ и приложения", г. Лозенец (Болгария), с 14.06.2016 г. по 24.06.2016 г.

22. Савченко А. О., к.ф.-м.н., с.н.с. Участие в международной конференции "Численный анализ и приложения", г. Лозенец (Болгария), с 14.06.2016 г. по 24.06.2016 г.

23. Ефимова А. А., м.н.с. Участие в международной конференции "Численный анализ и приложения", г. Лозенец (Болгария), с 14.06.2016 г. по 23.06.2016 г.

24. Вшивкова Л. В., м.н.с. Участие в международной конференции "Численный анализ и приложения", г. Лозенец (Болгария), с 14.06.2016 г. по 23.06.2016 г.

25. Ефимова А. А., м.н.с. Участие в 8-ой международной конференции Евро-Американского Консорциума по продвижению математики в технических и естественных науках г. Албена (Болгария), с 23.06.2016 г. по 30.06.2016 г.

26. Вшивкова Л. В., м.н.с. Участие в 8-ой международной конференции Евро-Американского Консорциума по продвижению математики в технических и естественных науках г. Албена (Болгария), с 23.06.2016 г. по 30.06.2016 г.

27. Афанасьева Н. М., м.н.с. Участие в международной конференции по математическому моделированию, г. Албена (Болгария), с 28.06.2016 г. по 07.07.2016 г.

США

28. Голубева Е. Н., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в международном совещании "FAMOS-4" (форум по арктическим моделям и синтезированным наблюдениям), Вудс-Хольский океанографический институт, г. Вудс-Хол (США), с 31.10.2016 г. по 09.11.2016 г.

29. Платов Г. А., с.н.с., д.ф.-м.н. Участие в международном совещании "FAMOS-4" (форум по арктическим моделям и синтезированным наблюдениям), Вудс-Хольский океанографический институт, г. Вудс-Хол (США), с 31.10.2016 г. по 09.11.2016 г.

30. Якшина Д. Ф., м.н.с. Участие в международном совещании "FAMOS-4" (форум по арктическим моделям и синтезированным наблюдениям), Вудс-Хольский океанографический институт, г. Вудс-Хол (США), с 31.10.2016 г. по 09.11.2016 г.

31. Черных И. Г., с.н.с. Участие в международной конференции "Суперкомпьютеры-2016", г. Солт Лэйк Сити (США), с 13.11.2016 г. по 21.11.2016 г.

Китайская Народная Республика

32. Пененко А. В., к.ф.-м.н., с.н.с. Участие в Международной конференции "Второй Пин-Европейский эксперимент", г. Пекин (Китай), с 16.05.2016 г. по 23.05.2016 г.

33. Родионов А. С., зав. лаб., д.т.н. Участие в Международной конференции "Вычислительная математика и приложения", г. Пекин (Китай), с 02.07.2016 г. по 08.07.2016 г.

34. Сорокин С. Б., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в 5-й Китайско-российской конференции по численной алгебре и приложениям", г. Пекин (Китай), с 26.07.2016 г. по 07.08.2016 г.

35. Кабанихин С. И., директор, чл.-корр. РАН. Обсуждение перспектив международного сотрудничества, Шанхайский университет финансов и экономики, г. Шанхай (Китай), с 24.11.2016 г. по 08.12.2016 г.

Республика Корея

36. Шахов В. В., н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Мобильные технологии и беспроводные сети", г. Чеджу (Республика Корея), с 20.05.2016 г. по 28.05.2016 г.

Республика Казахстан

37. Решетова Г. В., в.н.с. д.ф.-м.н. Научная работа по теме: "Численное моделирование сейсмических волновых полей в флюидонасыщенных средах", г. Алматы (Республика Казахстан), с 29.02.2016 г. по 28.04.2016 г.

38. Малышкин В. Э., д.т.н., зав.лаб. Научная работа по теме "Параллельные вычислительные технологии", г. Алматы (Республика Казахстан), с 04.04.2016 г. по 17.04.2016 г.

39. Городничев М. А., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Разработка системного программного обеспечения для объединения разнородных суперкомпьютеров в единую вычислительную систему", Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы (Казахстан), с 07.08.16 г. по 28.08.16 г.

40. Перепелкин В. А., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Разработка системного программного обеспечения для объединения разнородных суперкомпьютеров в единую вычислительную систему", Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы (Казахстан), с 07.08.16 г. по 28.08.16 г.

41. Киреев С. Е. к.ф.-м.н., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Разработка системного программного обеспечения для объединения разнородных суперкомпьютеров в единую вычислительную систему", Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы (Казахстан), с 07.08.16 г. по 28.08.16 г.

42. Щукин Г. А., инженер. Совместная научная работа по теме: "Разработка системного программного обеспечения для объединения разнородных суперкомпьютеров в единую вычислительную систему", Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы (Казахстан), с 07.08.16 г. по 28.08.16 г.

43. Ковалевский В. В. Участие в 9-ой международной конференции "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", г. Алматы (Республика Казахстан), 08.08.2016 г. по 13.08.2016 г.

44. Пененко А. В., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в международной конференции "Математические методы и современные космические технологии", г. Алматы (Республика Казахстан), с 03.10.2016 г. по 07.10.2016 г.

45. Городничев М. А., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Средства программирования высокопроизводительных облаков", Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы (Казахстан), с 04.12.16 г. по 11.12.16 г.

46. Перепелкин В. А., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Средства программирования высокопроизводительных облаков", Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы (Казахстан), с 04.12.16 г. по 11.12.16 г.

Республика Узбекистан

47. Имомназаров Х. Х., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в школе-семинаре молодых ученых "Актуальные вопросы анализа", государственный университет г. Карши (Узбекистан), с 14.04.16 г. по 12.05.2016 г.

Прием зарубежных ученых и представителей фирм

В 2016 г. было принято 65 иностранных гостей из 10 стран:

1. Леопольд Томас Генри ПРАЙС (Leopold Thomas Henry PRICE), студент Университета Бирмингема, Великобритания. Срок визита: 19.10.2015 г.–30.07.2017 г. Цель визита: Обучение по магистерской программе НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме "Теория вероятности и математическая статистика" (второй семестр с 01.02.2016 г. по 30.07.2016 г., третий семестр с 01.09.2016 г. по 20.01.2017 г.). Ответственный за курс второго и третьего семестра ведущий научный сотрудник лаборатории стохастических задач д.ф.-м.н. Войтишек А. В.

2. Ван СЯОТУН (Wang XIAOTONG), инженер, провинция Чжецзян, г. Шень Чжоу (Китай). Срок визита: 19.10.2015 г.–30.07.2017 г. Цель визита: обучение по магистерской программе НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме: "Обратные и некорректные задачи: теория, численные методы и приложения" (второй семестр с 01.02.2016 г. по 30.07.2016 г., третий семестр с 01.09.2016 г. по 20.01.2017 г.). Ответственный за курс второго и третьего семестра старший научный сотрудник лаборатории математических задач геофизики, к.ф.-м.н. Шишленин М. А.

3. Мухаммад ТАЛІХА МИРЗА (Muhammad TALHA MIRZA), студент университета Карачи, г. Карачи (Пакистан). Срок визита: 01.11.2015 г.–30.07.2017 г. Цель визита: Обучение по магистерской программе НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме: "Теория вероятности и математическая статистика" (второй семестр с 01.02.2016 г. по 30.07.2016 г., третий семестр с 01.09.2016 г. по 20.01.2017 г.). Ответственный за курс второго и третьего семестра ведущий научный сотрудник лаборатории стохастических задач, д.ф.-м.н. Войтишек А. В.

4. Изатулла МУХАММАД (Izzatullah MUHAMMAD), инженер фирмы "LEAP ENERGY PARTNERS", г. Куала-Лумпур (Малайзия). Срок визита: 23.11.2015 г.– 01.09.2017 г. Цель визита: обучение по магистерской программе НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме: "Обратные и некорректные задачи: теория, численные методы и приложения" (второй семестр с 01.02.2016 г. по 30.07.2016 г., третий семестр с 01.09.2016 г. по 20.01.2017 г.). Ответственный за курс второго и третьего семестра старший научный сотрудник лаборатории математических задач геофизики к.ф.-м.н. Шишленин М. А.

5. Лебедев Данил, докторант Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы (Республика Казахстан). Срок визита: 01.03.2016 г.–22.03.2016 г. Цель визита: Прохождение стажировки по теме: "Разработка и реализация фрагментированного алгоритма и параллельной программы задачи трехмерной фильтрации трехфазной жидкости"

6. Райед Сармад Башир АЛЬ-ЛАШИ (Raied Sarmad Basheer AL-LASHI), научный сотрудник Школы наук о питании Университета Лидса, г. Лидс (Великобритания) Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании"

7. Майкл Джефффри КРЭББ (Michael Geoffrey CRABB), научный сотрудник Департамента математики Университета Манчестера, г. Манчестер (Великобритания). Срок визита:

25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

8. Майкл Кристофер Гарри ДОУСОН (Michael Christopher Harry DAWSON), научный сотрудник факультета инжиниринга Университета Лидса, г. Лидс (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

9. Марко ДЕ АНДЖЕЛИС (Marco DE ANGELIS), научный сотрудник Института оценки рисков Университета Ливерпуля, г. Ливерпуль (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

10. Аойфе Мэри ФОЛИ (Aoife Mary FOLEY), научный сотрудник Школы механики и аэрокосмического инжиниринга университета г. Белфаста (Ирландия). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

11. Хэмед ХАДДАД ХОДАПАРАСТ (Hamed HADDAD KHODAPARAST), старший преподаватель Колледжа инжиниринга университета Суонси, г. Суонси (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

12. Даниил ЛЕСНИК (DANIEL LESNIC), профессор кафедры прикладной математики Университета Лидса, г. Лидс (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

13. Фредерик Джеймс Форемэн СИМОНС (Frederick James Foreman SYMONS), студент Университета г. Кардиффа (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

14. Кэтрин Маргарет Мэри ТЭНТ (Katherine Margaret Mary TANT), научный сотрудник Департамента математики и статистики университета Стратклайда, г. Глазго (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

15. Арета Леонора ТЕКЕНТРУП (Aretha Leonore TECKENTRUP), научный сотрудник Института математики Университета Йорика (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

16. Харалампос СОУМПАС (Charalampos TSOUMPAS), преподаватель кафедры биомедицинских изображений Университета Лидса, г. Лидс (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

17. Вэйчжо ВАН (Weizhuo WANG), преподаватель Школы инжиниринга Манчестерского столичного университета (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: Участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

18. София ТИТАРЕНКО (Sofya TITARENKO), научный сотрудник кафедры экологии Земли Университета Лидса, г. Лидс (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

19. Володимир КИСИЛЬ (Volodymyr KYSIL), преподаватель Университета Лидса, г. Лидс (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

20. Анна КИРПИЧНИКОВА (Anna KIRPICHNIKOVA), старший преподаватель Университета Ливерпуля, г. Ливерпуль (Великобритания). Срок визита: 25.04.2016 г.–27.04.2016 г. Цель визита: участие в семинаре "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

21. Жером Жозеф НИКОЛЯ (Jerome Joseph NICOLAS), студент Колледжа высшего образования Лисэ Сэн Жозеф Ля Саль, г. Лорьян (Франция). Срок визита: 01.05.2016 г.–04.07.2016 г. Цель визита: прохождение стажировки в лаборатории синтеза параллельных программ по темам: 1. Основы параллельного программирования; 2. Введение в организацию распределенных вычислений.

22. Валентин КИГЕ (Valentin QUIGUER), студент Колледжа высшего образования Лисэ Сэн Жозеф Ля Саль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 01.05.2016 г.–04.07.2016 г. Цель визита: прохождение стажировки в лаборатории синтеза параллельных программ по темам: 1. Основы параллельного программирования; 2. Введение в организацию распределенных вычислений.

23. Гийом Луи Корентен Робер КУЗЕН (Guillaume Louis Corentin Robert COUSIN), студент Колледжа высшего образования Лисэ Сэн Жозеф Ля Саль, г. Лорьян (Франция). Срок визита: 01.05.2016 г.–04.07.2016 г. Цель визита: прохождение стажировки в лаборатории синтеза параллельных программ по темам: 1. Основы параллельного программирования; 2. Введение в организацию распределенных вычислений.

24. Оливье Альбер Жан ПРИЖАН (Ollivier Albert Jean PRIGENT), зам. директора Колледжа высшего образования Лисэ Сэн Жозеф Ля Саль, г. Лорьян (Франция). Срок визита: 16.05.2016 г.–18.05.2016 г. Цель визита: знакомство с проектами лаборатории синтеза параллельных программ и содержанием учебных курсов, проводимых сотрудниками лаборатории в НГУ. Проведение совместных научных семинаров по теме "Организация параллельных вычислений на высокопроизводительных вычислительных кластерах".

25. Магали Сесиль Мадлон ГАРД (Magali Cecile Madelon GARDE), специалист по международным связям Колледжа высшего образования Лисэ Сэн Жозеф Ля Саль, г. Лорьян (Франция). Срок визита: 16.05.2016 г.–18.05.2016 г. Цель визита: знакомство с проектами лаборатории синтеза параллельных программ и содержанием учебных курсов, проводимых сотрудниками лаборатории в НГУ. Проведение совместных научных семинаров по теме "Организация параллельных вычислений на высокопроизводительных вычислительных кластерах".

26. Клод Бернар Мари ГЕГАННО (Claude Bernard Marie GUEGANNO), преподаватель информатики Колледжа высшего образования Лисэ Сэн Жозеф Ля Саль, г. Лорьян (Франция). Срок визита: 16.05.2016 г.–18.05.2016 г. Цель визита: знакомство с проектами лаборатории синтеза параллельных программ и содержанием учебных курсов, проводимых сотрудниками лаборатории в НГУ. Проведение совместных научных семинаров по теме "Организация параллельных вычислений на высокопроизводительных вычислительных кластерах".

Студенты 3-го курса АО "Международного университета информационных технологий", г. Алматы (Республика Казахстан):

27. Олжаев Олжас

28. Иманкарим Санжар

29. Секенов Куандык

30. Айбатбек Айгерим

31. Амантаев Ильяс

32. Мукыш Жасулан

33.Кемелбек Акылбек

34.Сабыржан Алтынай

35. Тастемирова Аида

36. Токен Газиза

37. Бокушев Адиль

38.Синица Артем

39. Талипов Абзал

40. Карашбаева Жанат Оспанкызы, преподаватель

Срок визита: 27.06.2016 г.–08.06.2016 г. Цель визита: прохождение научно-исследовательской практики по программе "Численные методы решения прямых и обратных задач математической физики".

41. Садыкова Акманат, студентка университета им. Аль-Фараби, г. Алматы (Республика Казахстан). Срок визита: 28.06.2016 г.–17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

42. Лебедев Даниил, научный сотрудник университета им. Аль-Фараби, г. Алматы (Республика Казахстан). Срок визита: 28.06.2016 г.–17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

43. Шкорин Михаил, студент университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 28.06.2016 г.–17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

44. Курбанбек Назаралы, студент университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 28.06.2016 г.–17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

45. Иманкулов Тимур, научный сотрудник университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 28.06.2016 г.– 17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

46. Хибатханулы Ержан, студент университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 28.06.2016 г.– 17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

47. Абдияхметова Зухра, научный сотрудник университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 28.06.2016 г.– 17.07.2016 г. Цель визита: подготовка к участию и участие в 27-й летней школе по параллельным вычислениям.

48. Александр Дидье Патрис ЖОЛЛИВЕ (Alexandre Didier Patrice JOLLIVET), научный сотрудник Университета г. Лилля (Франция). Срок визита: 06.08.2016 г.– 04.09.2016 г. Цель визита: проведение совместных научных работ по теме: "Обратные и некорректно поставленные задачи".

49. Ли ФАНЬ (Li FAN), студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин (Китай). Срок визита: 11.10.2016 г.–11.10.2017 г. Цель визита: Обучение в магистратуре ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Обратные задачи охраны окружающей среды и экологии". Первый семестр с 11.10.2016 г. по 01.02.2017 г. Ответственный – зав. лабораторией математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде д.ф.-м.н. Пененко В. В.

50. Чжэн ЦЗЯНПЭН (Zheng TSZYANPEN), студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин (Китай). Срок визита: 11.10.2016 г.–11.10.2017 г. Цель визита: обучение в магистратуре ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Обратные задачи охраны окружающей среды и экологии". Первый семестр с

11.10.2016 г. по 01.02.2017 г. Ответственный за курс первого семестра зав. лабораторией математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде д.ф.-м.н. Пененко В. В.

51. Сыхуэй ВАН (Sihui WANG), студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин (Китай). Срок визита: 15.10.2016 г.–04.10.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по программе "Прикладная математика и информатика". Первый семестр с 15.09.2016 г. по 31.01.2017 г. Ответственный за курс первого семестра г.н.с. лаборатории вычислительной физики д.ф.-м.н. Ильин В. П.

52. Цюли ЛИ (Qiuli LI), студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин (Китай). Срок визита: 15.10.2016 г.–04.10.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по программе "Прикладная математика и информатика". Первый семестр с 15.09.2016 г. по 31.01.2017 г.). Ответственный за курс первого семестра зав. лабораторией математических задач химии д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

53. Яру ПАНЬ (Yaru PAN), студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин (Китай). Срок визита: 15.10.2016 г.–04.10.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по программе "Прикладная математика и информатика". Первый семестр с 15.09.2016 г. по 31.01.2017 г. Ответственный за курс первого семестра зав. лабораторией математических задач химии, д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

54. Дарья Витальевна ПРЯДЧЕНКО, студентка, Восточно-Казахстанская обл. (Республика Казахстан). Срок визита: 01.11.2016 г.–30.08.2017 г. Цель визита: обучение в бакалавриате НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по программе "Разработка алгоритмов и программного обеспечения для решения задач оптимального размещения геометрических фигур на плоскости". Ответственный за курс первого семестра – ведущий программист лаборатории численного моделирования сейсмических полей Куликов А. И.

55. Хасахайн-Али ХУССЕЙН (Hasahain-Ali HUSSEIN), студент университета им. Имама Джаваара аль Садика, г. Наджаф (Республика Ирак). Срок визита 07.11.2016 г.–30.06.2017 г. Цель визита: обучение по магистерской программе факультета автоматики и вычислительной техники НГТУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Прикладные информационные системы и технологии". Ответственный за курс первого семестра г.н.с. лаборатории геофизической информатики д.т.н. Хайретдинов М. С.

56. Цюань МУ (Quan MU), студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин (Китай). Срок визита 05.12.2016 г.–30.07.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по программе "Прикладная математика и информатика". Первый семестр с 05.12.2016 г. по 31.01.2017 г. Ответственный за курс первого семестра в.н.с. лаборатории стохастических задач д.ф.-м.н. Пригарин С. М.

57. Александр АЛЕКСЕЕНКО (Aleksander ALEKSEENKO), профессор государственного университета Нортриджа, штат Калифорния (США). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

58. Елман ХАЗАР (Elman HAZAR), профессор университета Сакарьи (Турция). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

59. Максат КАЛИМОЛДАЕВ, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, директор Института информационных и вычислительных технологий Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы, (Республика

Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

60. Мактагали БЕКТЕМЕСОВ, д.ф.-м.н., профессор Казахского национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

61. Мувашархан ДЖЕНАЛИЕВ, д.ф.-м.н., профессор Института информационных и вычислительных технологий Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

62. Сауле НЫСАНБАЕВА, д.т.н., профессор Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

63. Данияр НУРСЕИТОВ, к.ф.-м.н. Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

64. Алтын НУРСЕИТОВА, к.ф.-м.н. Казахского национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы, (Республика Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

65. Мурат СУЛТАНОВ, к.ф.-м.н., доцент Международного казахско-турецкого университета им. Ясави, г. Туркестан (Республика Казахстан). Срок визита: 12.12.2016 г.–16.12.2016 г. Цель визита: участие в 12-й Международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем".

Важнейшие результаты научных исследований в 2016 г.

Приоритетное направление I.2 "Вычислительная математика"

Программа I.2.1. "Вычислительные методы в задачах естествознания"

1. Оптимальные термодинамически согласованные экономичные дискретные модели для динамических задач линейной теории упругости.

Акад. РАН Коновалов А. Н.

Для систем уравнений линейной теории упругости построены и обоснованы оптимальные, явно разрешимые дискретные (сеточные) модели. В основе моделей лежат законы сохранения вида $\operatorname{div} F = 0$. Для задач теории упругости построены модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии. Под оптимальностью понимается, в том числе, такая характеристика дискретной модели, как возможность максимальной степени распараллеливания. Полученные теоретические результаты могут быть использованы при решении конкретных тепловых задач и задач теории упругости, например задачи сейсмостойкости наземных сооружений при проведении подземных горных работ.

Публикации:

1. Коновалов А. Н., Попов Ю. П. Оптимальные явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии для динамических задач линейной теории упругости // Сиб. матем. журн. 2015. Т. 56, № 5. С. 1092–1099.

2. Коновалов А. Н. Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом энергии в линейных задачах математической физики // Тез. докладов 8-й Всероссийской конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова, и Молодежной школы-конференции, Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. Екатеринбург: ИММ УРО РАН, 2016. С. 52.

Конференции:

1. Коновалов А. Н. Термодинамически согласованные экономичные дискретные модели для динамических задач линейной теории упругости. 11-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 октября 2016 г.

2. Коновалов А.Н. Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии для динамических задач линейной теории упругости. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

3. Коновалов А. Н. Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом энергии в линейных задачах математической физики. 8-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященная памяти академика А.Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г.

2. Вычислительные "реалистические" модели случайных полей и исследование прохождения излучения через случайную среду.

Член-корр. РАН Михайлов Г. А., к.ф.-м.н. Амбос А. Ю.

Разработана методика эффективного осреднения радиационной модели для стохастической среды, т. е. для построения детерминированного уравнения переноса излучения, в какой-то степени воспроизводящего осредненные характеристики радиационного поля. В связи с этим построены путем суммирования n независимых реализаций базового "мозаичного"

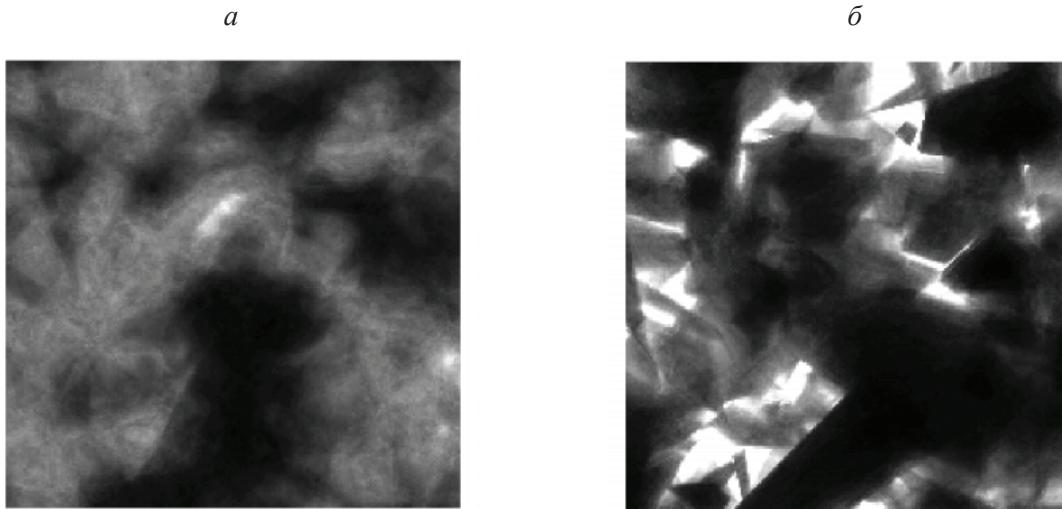


Рис. 1. Визуализация в квадрате 50×50 поля интенсивности изучения, проходящего через слой вещества толщиной $H = 10$ со случайной плотностью σ_{50} :
 $a - \rho=3.6, p_0=0.00055, E\sigma_n=1, D\sigma_n=0.16$; $b - \rho=3.6, p_0=0.301, E\sigma_n=1, D\sigma_n=1$

поля Пуассона "реалистические" вычислительные модели изотропных неотрицательных экспоненциально коррелированных случайных плотностей σn среды, реализации которых близки к непрерывным, а условное одномерное распределение в непустой части среды является достаточно естественным. Показано, что соответствующая осредненная вероятность прохождения кванта практически определяется корреляционным радиусом ρ плотности и степенью заполненности среды, а также указанным выше условным распределением.

Публикации:

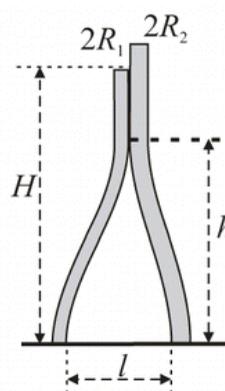
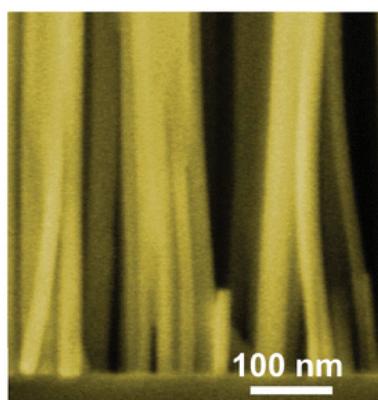
1. Амбос А. Ю. Вычислительные модели мозаичных однородных изотропных случайных полей и соответствующие задачи переноса излучения // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 1. С. 19–32.
2. Амбос А. Ю., Михайлов Г. А. Эффективное осреднение стохастических радиационных моделей на основе статистического моделирования // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 2016. Т. 56, № 5. С. 896–908.
3. Ambos A. Yu., Mikhailov G. A. Solution of radiative transfer theory problems for 'realistic' models of random media using the Monte Carlo method // Rus. J. Num. Anal. Math. Model. 2016. Vol. 31, № 3. P. 1–10.
4. Михайлов Г. А., Амбос А. Ю. Новая вычислительная модель изотропного "разорванного" экспоненциально коррелированного случайного поля // Докл. Акад. наук. 2016. Т. 469, № 3. С. 283–286.
5. Амбос А. Ю. Разработка вычислительных моделей мозаичных случайных сред с приложением в теории переноса излучения: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.07, Новосибирский гос. ун-т, Новосибирск, 2016.

3. Стохастическая модель и алгоритмы моделирования процесса выращивания нановискеров методом молекулярно-пучковой эпитаксии.

Д.ф.-м.н. Сабельфельд К. К., к.ф.-м.н. Каблукова А. Г.

Разработаны стохастическая модель и алгоритмы моделирования процессов выращивания GaN нановискеров методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Работа проводилась

в сотрудничестве с группой ученых-физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин). Проведен цикл экспериментальных и теоретических исследований процессов зарождения, коалесценции и роста нановискеров, формирующихся атомами галлия и азота. Удалось объяснить эффект выравнивания нановискеров по высоте в процессе их роста, рассчитаны распределения по диаметрам и высотам в зависимости от многочисленных параметров задачи, таких как плотность нановискеров на подложке, характеристики источника атомов галлия и азота, покрытие подложки, коэффициент поверхностной диффузии атомов галлия, константы рекомбинации атомов на поверхности нановискеров и от ряда других параметров процесса роста. Большой практический интерес связан с использованием GaN нановискеров в оптоэлектронике и элементной базе квантовых компьютеров.



Публикации:

1. Kaganer V. M., Fernandez-Garrido S., Dogan P., Sabelfeld K. K., Brandt O. Nucleation, growth and bundling of GaN nanowires in molecular beam epitaxy: Disentangling the origin of nanowire coalescence // *Nano Letters*. 2016. V. 16, N 6. P. 3717–3725.

2. Sabelfeld K. K., Kablukova E. G. Stochastic simulation of nanowire growth in plasma-assisted molecular beam epitaxy // *Comput. Materials Sci*. 2016. V. 125. P. 284–296.

3. Sabelfeld K. K. Splitting and survival probabilities in stochastic random walk methods and applications // *Monte Carlo Methods Appl*. 2016. V. 22, iss. 1. P. 55–72.

Конференции:

1. Сабельфельд К.К. Стохастическое моделирование роста нановискеров. 11-я Конференция и 10-я школа молодых ученых и специалистов по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе. КРЕМНИЙ 2016, Новосибирск, 12–15 сентября 2016 г.

4. Алгоритмы решения стохастических дифференциальных уравнений и их приложения.

К.ф.-м.н. Аверина Т. А.

Построена двухуровневая модификация устойчивого численного метода решения стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) в смысле Стратоновича, которая применена для анализа быстропротекающих процессов в сильно неравновесных средах [1]. Разработанный статистический алгоритм на основе численных методов решения СДУ и методов моделирования пуассоновских потоков [2] применен для моделирования начальной флуктуационной стадии конденсации с учетом заряда капель. Исследовалось явление получения кластера заданного размера для разных параметров модели [3].

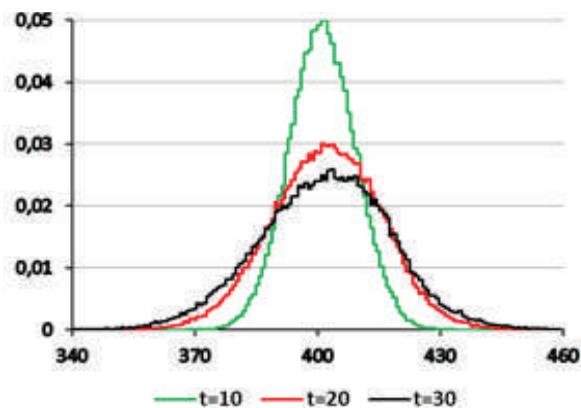


Рис. 1

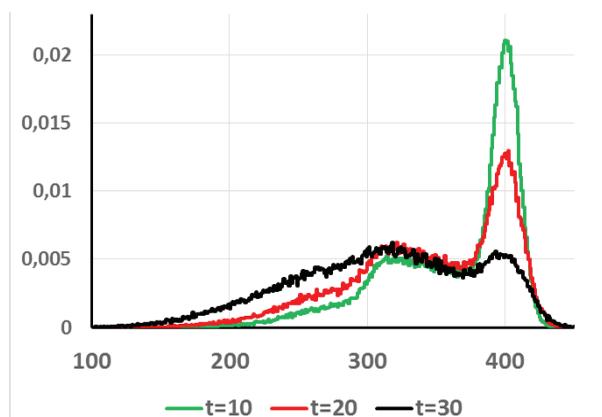


Рис. 2

На рис. 1,2 приведена плотность распределения кластеров по размерам для разных моментов времени, когда начальный размер кластера больше критического. На рис. 1 не учитывается заряд капли, на рис. 2 учитывается. Графики демонстрируют, что учет релейской неустойчивости привел к бимодальному распределению капель конденсата по размерам, что важно учитывать при зарядовом диспергировании в процессе получения порошков.

Публикации:

1. Аверина Т. А., Змиевская Г. И., Бондарева А. Л., Хилков С. А. Решение уравнений стохастического аналога неравновесной стадии фазового перехода и пористость карбида кремния : препр. № 21 ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. Москва, 2016.

2. Аверина Т. А. Использование модификаций метода максимального сечения для моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 4 (68). С. 3–10.

3. Averina T. A., Zmievskaia G. I. Numerical modeling of the initial fluctuation condensation stage with charge drops // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016 (принята к печати).

Конференции:

1. Аверина Т. А., Змиевская Г. И. Флуктуационная неустойчивость фазового перехода. Алгоритмы решения квазилинейных стохастических дифференциальных уравнений и приложения. 21-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", Новороссийск, Абрау-Дюрсо, 5–11 сентября 2016 г. Тезисы. ISBN 978-5-98354-024-8. Москва: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2016. С. 60–61.

2. Аверина Т. А., Змиевская Г. И. Численное моделирование начальной флуктуационной стадии конденсации с учетом заряда капель. 11-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 октября 2016 г.

5. Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления.

К.ф.-м.н. Малахова В. В., д.ф.-м.н. Голубева Е. Н.

На основе использования численных моделей океана, морского льда и теплопереноса в донных отложениях промоделирован процесс формирования подводной мерзлоты Восточного сектора Арктики и исследована ее динамика при современном состоянии климата, определяемом в настоящем исследовании данными реанализа атмосферы. Оценивается

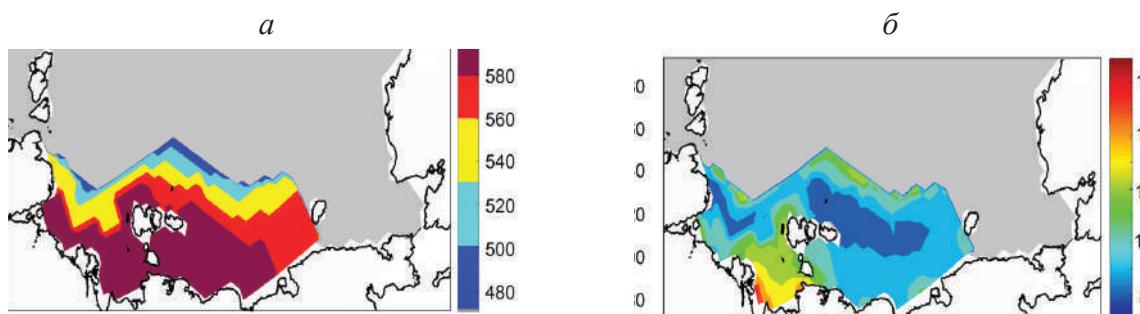


Рис. 1. Моделируемое состояние подводной мерзлоты на шельфе восточной Арктики (в м):
 а – положение нижней границы мерзлых пород в донных отложениях;
 б – глубина протаивания мерзлых пород от морского дна, полученная для 2100 г.

возможность дестабилизации субаквальной мерзлоты при предполагаемом потеплении климата, обусловленном повышенным выбросом парниковых газов, при наиболее экстремальном сценарии потепления в полярных регионах до конца 21 в. (атмосферный сценарий RCP8.5). Численное моделирование восстанавливает картину пространственно-временной изменчивости состояния мерзлоты, что позволяет выделить области шельфа, наиболее чувствительные к возможным климатическим изменениям. Понижение границы мерзлых пород при заданном сценарном потеплении в зависимости от области шельфа может составить 1–11 м только в результате теплового воздействия, и дополнительно 5–10 м за счет учета засоления порового пространства донных отложений (рис. 1). Расчетная мощность зоны стабильности газогидратов метана на шельфе составила примерно 770–870 м. Из результатов модельных расчетов следует, что до конца 21 в. газогидратный слой остается изолированным от поверхности морского дна слоем мерзлого грунта. При полученных скоростях деградации мерзлоты метаногидраты останутся изолированными еще несколько тысяч лет после 2100 г.

Публикации:

1. Малахова В. В., Голубева Е. Н. Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления в XXI в. // Лед и Снег. 2016. Т. 56. № 1. С. 61–72. DOI: 10.15356/2076-6734-2016-1-61-72.
2. Елисеев А. В., Малахова В. В., Аржанов М. М., Голубева Е. Н., Денисов С. Н., Мохов И. И. Изменение границ многолетнемерзлого слоя и зоны стабильности гидратов метана на арктическом шельфе Евразии в 1950–2100 гг. // Докл. Акад. наук. 2015. Т. 465. № 5. С. 1–6.
3. Malakhova V. V., Eliseev A. V. How sensitive are modeled contemporary subsea permafrost thaw and thickness of the methane clathrates stability zone in Eurasian Arctic to assumptions on Pleistocene glacial cycles? // Clim. Past Discuss. 2016. doi:10.5194/cp-2016-66.

Конференции

1. Malakhova V. V. On the thermal influence of thermokarst lakes on the subsea permafrost evolution // Proc. of SPIE. 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 2016.
2. Малахова В. В. Моделирование субмаринных таликов на шельфе моря Лаптевых // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 4. № 1. С. 120–124.

6. Вариационные методы направленного мониторинга на основе совместного использования моделей и методов разделения масштабов исследуемых процессов.

Д.ф.-м.н. Пененко В. В.; к.ф.-м.н. Пененко А. В.; к.ф.-м.н. Цветова Е. А.

Представлен новый подход к исследованию природных процессов с использованием методов теории чувствительности математических моделей к вариациям различных факторов в сочетании с методами ортогональной декомпозиции многомерных функциональных полей, участвующих в технологии моделирования. Основная цель стратегии направленного мониторинга состоит в идентификации регионов в пространственно-временной области исследуемых процессов, в которых желательно получать дополнительную информацию из наблюдений и усваивать ее в моделях с целью улучшения прогноза изменения состояний системы. Для выделения таких регионов применимы методы разделения масштабов, на их основе – количественные методы выделения главных факторов.

Публикации:

1. Пененко В. В. Применение методов разделения масштабов для направленного мониторинга и исследования климатоэкологических процессов // ИнтерЭкспо "ГЕО-Сибирь-2016". XII. Сб. материалов в 2 т. Т. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 91–95. ISBN 978-5-87693-90908.

2. Пененко А. В., Пененко В. В., Цветова Е. А. Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 4. С. 401–418.

3. Penenko V. V., Penenko A. V., Tsvetova E. A. Variational modeling technology with data assimilation for environmental prediction and risk assessment // Proc. of the 2nd Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 6th PEEX Meeting, Editors: H. K. Lappalainen, Markku Kulmala et al. 2016. P. 371–376.

Конференции

1. Penenko V., Tsvetova E., Penenko A. Variational approach to direct and inverse problems of atmospheric pollution studies. Конгресс Европейского геофизического союза (EGU-2016), Вена.

2. Пененко В. В. Организация стратегий направленного мониторинга на основе совместного использования моделей и методов разделения масштабов исследуемых процессов. 12-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 2016.

7. Новая высокоточная потоковая схема расщепления для решения 3D задачи теплопереноса.

Д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.; к.ф.-м.н. Воронин К. В.

Построена и исследована потоковая схема предиктор-корректор в трехмерном случае. Методической основой для построения новой потоковой схемы стал разработанный ранее общий подход, использующий абсолютно устойчивые скалярные схемы-прообразы. Для предложенной ранее потоковой схемы расщепления по схеме-прообразу Дугласа – Ганна приведены примеры ее чувствительности к уменьшению гладкости решения, в том числе даны примеры, демонстрирующие фактическое отсутствие сходимости. В то же время новая потоковая схема, основанная на схеме-прообразе предиктор-корректор, на тех же примерах сходится со вторым порядком. Двумерный вариант этой схемы совпадает со схемой, предложенной Т. Арбогастом с коллегами в 2007 г. на основе алгоритма Удзавы. В этом смысле предложенная потоковая схема является обобщением схемы на основе алгоритма Удзавы на трехмерный случай.

Публикации:

1. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed finite element method for parabolic problems // J. of Num. Math., published online in Just accepted. 2016. Feb. DOI: 10.1515/jnma-2015-0076.

2. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Поточковая схема предиктор-корректор для решения 3D задачи теплопереноса // СибЖВМ (в печати).

Конференции:

1. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A new approach to constructing splitting schemes in mixed FEM for heat transfer problem // European conference on numerical mathematics and advanced applications (ENUMATH-2015), Ankara (Turkish), September 14–18, 2015.

2. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A new approach to constructing splitting schemes in mixed FEM for heat transfer problem // The 4th Chinese–Russian workshop on numerical methods and mathematical modeling, Tianjin (China), October 24–28, 2015.

8. Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квази-структурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU.

Д.ф.-м.н. Свешников В. М.; магистрант 2-го курса Климонов И. А., к.ф.-м.н. Корнеев В. Д.

Исследована эффективность применения графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках. Распараллеливание осуществляется методом декомпозиции расчетной области на подобласти, сопрягаемые без наложения, основанном на прямой конечно-разностной аппроксимации уравнения Пуанкаре – Стеклова на интерфейсе. Возникающий при этом итерационный процесс по подобластям распараллеливается на CPU. Для выполнения процедуры решения подзадач в подобластях, отнимающей наибольшую часть времени решения всей задачи, применяется метод Писмана – Речфорда, который обладает быстрой сходимостью. Его распараллеливание осуществляется на GPU в системе CUDA. Показано, что применение графических ускорителей значительно (более чем в 60 раз) сокращает время решения задачи по сравнению с расчетами только на CPU.

Публикации:

1. Корнеев В. Д., Свешников В. М. Параллельные алгоритмы и технологии декомпозиции расчетной области для решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 2. С. 183–193.

2. Климонов И.А., Корнеев В.Д., Свешников В.М. Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. Т. 17. 2016. С. 65–71.

3. Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Исследование эффективности применения графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // Труды Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016). 2016. С. 181–190.

4. Климонов И.А. Распараллеливание решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках с использованием графических ускорителей // Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции (МНСК). 2016. С. 119.

Конференции:

1. Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Исследование эффективности применения графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // Труды Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г.

2. Климонов И. А. Распараллеливание решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках с использованием графических ускорителей // 54-ая Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016), Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г.

3. Климонов И. А. Применение графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 11–13 апреля 2016 г.

Патенты:

1. Свешников В. М., Корнеев В. Д. Свидетельство о государственной регистрации программ "Программа для распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках". № 2016615399 от 30 марта 2016 г.

2. Свешников В. М., Климонов И. В. Свидетельство о государственной регистрации программ "Программа для решения трехмерных краевых задач методом Писмана – Рэчфорда с использованием графических ускорителей". № 2016615398 от 30 марта 2016 г.

9. Визуализация явления интерференции при расчете фотореалистических изображений пространственных сцен.

Д.т.н. Дебелов В. А., к.ф.-м.н. Васильева Л. Ф.

Разработаны: математическая модель взаимодействия когерентных лучей света в среде с изотропными прозрачными объектами и алгоритм решения задачи визуализации явления интерференции при расчете фотореалистических изображений пространственных сцен. Результат расширяет возможности систем виртуальной реальности при моделировании природных оптических явлений. Расчетный алгоритм базируется на трассировке лучей света, характеризующихся состоянием поляризации, фазой и индикатором когерентности. В отличие от других исследовательских работ в области реалистической визуализации данный алгоритм точнее учитывает взаимодействие луча с поверхностью объекта: угол Брюстера, разложение Френеля в плоскости падения луча на луч с параллельной и луч с перпендикулярной поляризациями.

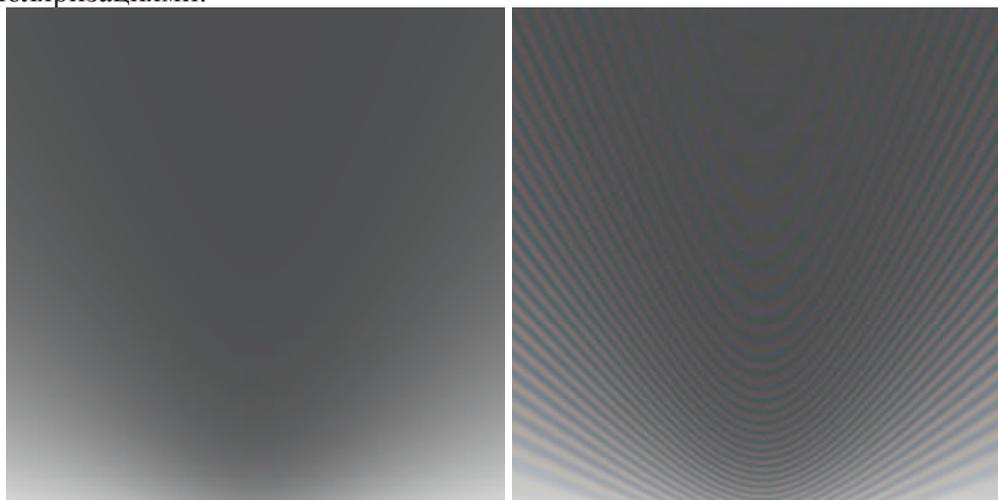


Рис. 1. Эксперимент "Двулучевая интерференция. Деление амплитуды" (Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973); слева – изображение, рассчитанное существующими программами; справа – предлагаемым алгоритмом

Публикации:

1. Васильева Л. Ф., Дебелов В. А. Эволюция модели луча света для рендеринга // Труды 5-й Международной конференции "Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности – SC-IoT-VRTerro2016", Пушкино, 21–24 ноября 2016 г. С. 178–184.

2. Дебелов В. А. Интерференция света, изотропные прозрачные объекты, трассировка лучей // В сборнике трудов 25-й Международной научной конференции "ГРАФИКОН'2015", Протвино, 22–25 сентября 2015 г. С. 168–173.

Конференции:

1. Васильева Л. Ф., Дебелов В. А. Эволюция модели луча света для рендеринга // 5-я Международная конференция и Школа-семинар для молодых ученых "Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности – SC-IoT-VRTerro2016", Пушкино, 21–24 ноября 2016 г.

2. Дебелов В. А. Применение рекурсивной трассировки лучей для изображения эффекта интерференции в сценах с изотропными прозрачными объектами // Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2015", Новосибирск, 19–23 октября 2015 г.

3. Дебелов В. А. Интерференция света, изотропные прозрачные объекты, трассировка лучей // 25-я Международная научная конференция, Протвино, 22–25 сентября 2015 г.

Приоритетное направление I.3 Математическое моделирование

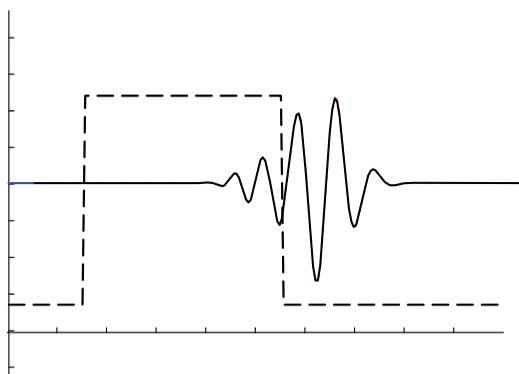
Программа I.3.1. "Математическое моделирование и разработка новых численных методов в задачах геофизики, физики океана и атмосферы, и охраны окружающей среды".

1. Оптимальные разностные схемы для волнового уравнения

К.ф.-м.н. Мاستрюков А. Ф.

Для волнового уравнения получены оптимальные параметры разностных схем, при которых разностные схемы 2-го порядка аппроксимации дают точность решения уравнений, близкую к точности решения по схемам 4-го порядка аппроксимации.

Волновое уравнение решается в спектральной области с использованием разложения Лагерра. В разностную схему вводятся дополнительные параметры α , β , γ , d . Значения этих параметров определяется минимизацией погрешности аппроксимации уравнения на точном аналитическом решении.



На рисунке показано распространение импульса через слой в однородном пространстве (слой обозначен пунктирной линией). Расчет, полученный оптимальной схемой второго

порядка точности, совпадает с расчетом, полученным обычной схемой четвертого порядка точности и точным решением.

Публикации

1. Мастрюков А. Ф. Оптимальные разностные схемы для волнового уравнения // Сибирский журнал вычислительной математики. 2016. Т. 19, № 4. С. 385–399.

2. Оценки цунамиопасности морских побережий при учете риска возникновения сильнейших цунами сейсмического происхождения.

Д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Рассмотрены проблемы оценки цунамиопасности морских побережий при учете риска возникновения сильнейших цунами сейсмического происхождения. Выделен класс особо опасных трансокеанских событий, характеризующихся предельно высокими заплесками (до 40–50 м) на протяженных участках побережья (до 500–1000 км). Критерием выделения таких событий в каталогах являются наличие высот более 5 м на расстоянии более 5000 км от очага. Основным источником таких трансокеанских цунами являются подводные мегаземлетрясения с магнитудой 9.0 и выше, возникающие с повторяемостью от 200–300 до 1000–1200 лет на некоторых участках зон субдукции. Такие события вносят основной вклад в оценки цунамиопасности океанского побережья. Корректный учет возможности и вероятности возникновения таких землетрясений в субдукционных зонах, непосредственно угрожающих данному побережью, является ключевым моментом при получении долгосрочных оценок цунами-риска (цунамирайонировании побережья).

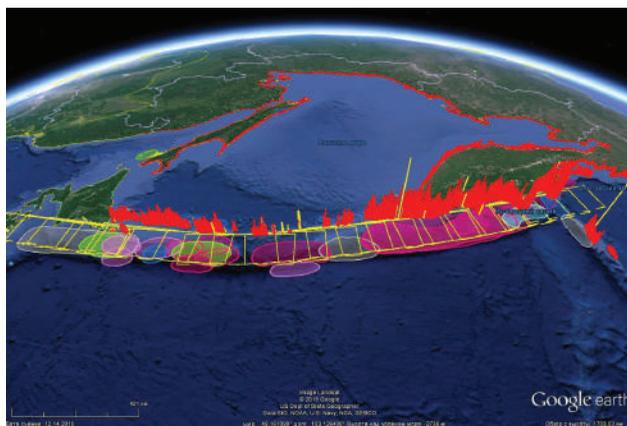


Рис. Карта очагов сильнейших цунамигенных землетрясений Курило-Камчатского региона и расчетные высоты цунами от системы модельных очагов магнитуды $M_w 9.0$, распределенных вдоль Курило-Камчатской сейсмогенной зоны. Расчет генерации и распространения цунами выполнен на основе программных комплексов STATIC (ИВМиМГ) и MGC (ИВТ)

Публикации:

1. Гусяков В. К., Бейзель С. А., Чубаров Л. Б. Оценка цунамиопасности Охотского моря от региональных и удаленных источников // Вулканология и сейсмология. 2015. № 4. С. 59–72.

2. Гусяков В. К. Цунами на Дальневосточном побережье России: историческая перспектива и современная проблематика // Геология и геофизика. 2016. № 9. С. 1601–1615.

Конференции:

1. Гусяков В. К. Цунами в Мировом океане: проблемы параметризации и интерпретации данных наблюдений. Научная конференция "Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология", Севастополь, 26–30 сентября 2016 г.

2. Гусяков В. К. Мега-цунами Мирового океана и проблемы безопасности морских побережий. Научная сессия секции океанологии, физики атмосферы и географии ОНЗ РАН, г. Севастополь, МГИ РАН, 29 сентября 2016 г.

3. Разработка и исследование лазерно-информационной технологии дальней регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с применением прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий.

Д.т.н. Хайретдинов М. С.

Совместно с Институтом лазерной физики СО РАН создан макет и проведены испытания лазерно-информационной системы регистрации низкочастотных акустических колебаний сейсмических вибраторов с использованием лазерной измерительной линии. Разработаны методика проведения экспериментальных работ и программы анализа данных. Проведены оригинальные натурные эксперименты по одновременной регистрации акустических колебаний с помощью акустических датчиков и измерительной лазерной линией от вибратора ЦВ-40 (вибросейсмический полигон "Быстровка"), а также мощных динамиков (лазерный полигон "Кайтанак", Республика Горный Алтай).

Оценены параметры процессов акустооптического волнового преобразования, помехоустойчивость алгоритмов и программ лучевого приема акустических колебаний.

Компоненты акустооптической системы



Публикации:

1. Хайретдинов М. С., Поллер Б. В., А. В. Бритвин, Г. Ф. Седухина. Акустооптическая информационная система инфранизких частот // Материалы 12-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. Т. 2. С. 8–13.

2. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф. Оценка метеозависимых геоэкологических рисков от взрывов с помощью сейсмических вибраторов // Технологии сейсморазведки. № 3. 2016. С. 132–138. <http://ts.sbras.ru> doi: 10.18303/1813-4254-2016-3-132-138.

4. Новые методы нечеткой кластеризации данных дистанционного зондирования Земли расширенными алгоритмами С-средних и Густафсона – Кесселя.

К.т.н. Бучнев А. А.

Предложены новые методы нечеткой кластеризации данных ДЗЗ расширенными алгоритмами С-средних и Густафсона – Кесселя. В алгоритме Густафсона – Кесселя с каждым кластером связана индивидуальная метрика, определяемая нечеткой ковариационной матрицей векторов, входящих в кластер (метрика Махаланобиса). В алгоритме С-средних метрика является евклидовой. Расширения алгоритмов состоят в следующем. 1) Вводятся объемные прототипы кластеров – гипершары для алгоритма С-средних и гиперэллипсоиды для алгоритма Густафсона – Кесселя. Все векторы признаков, попадающие внутрь такого прототипа, полностью принадлежат кластеру. Размеры прототипов динамически меняются на каждой итерации алгоритмов. Объемные прототипы позволяют не делить векторы признаков, близкие к центру кластера, с другими кластерами. 2) Вводится понятие нечеткой меры сходства кластеров. Кластеры, мера сходства которых на какой-либо итерации превышает заданный порог, объединяются. Такой подход позволяет, отправляясь от заведомо большого числа кластеров, объединять кластеры в течение итерационного процесса, получая плотные множества в исходном наборе векторов признаков. Для начальной инициализации матрицы членства используются выходные данные нечеткой кластеризации методом С-средних.

Публикации:

1. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Нечеткие кластеры с объемными прототипами в тематической обработке данных дистанционного зондирования Земли // Материалы 3-й Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сентября 2016 г. С. 7–10.

Конференции:

2. 3-я Международная научная конференция "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13-16 сентября 2016 г.

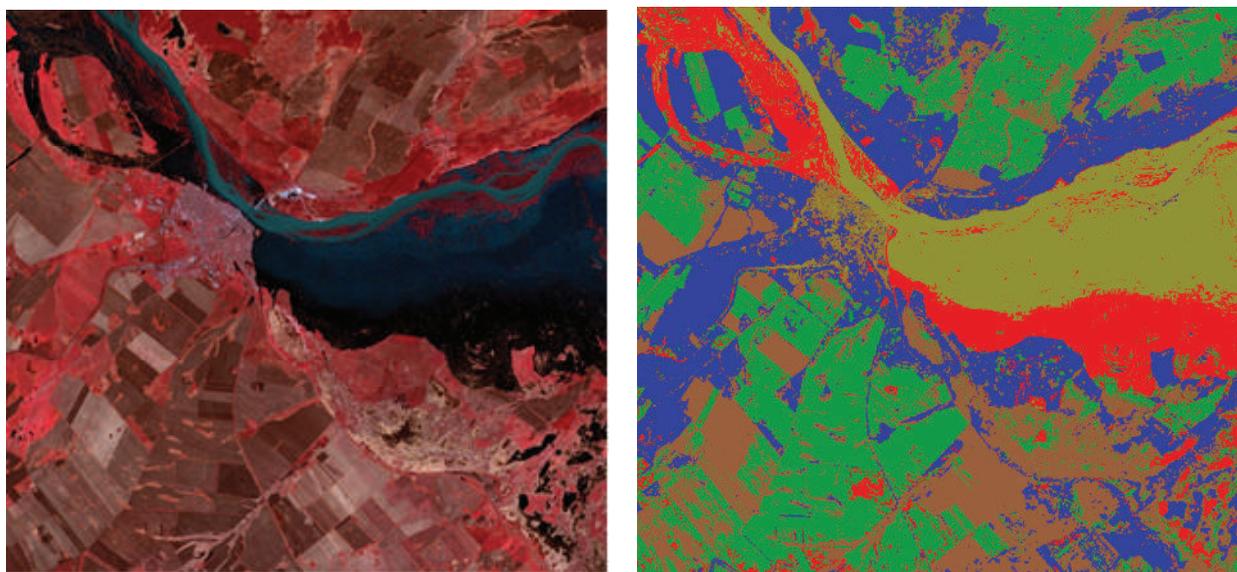


Рис. 1. Паводковая ситуация на р. Обь в районе г. Камень-на-Оби (май 2011 г, изображение ИСЗ SPOT-4, разрешение 20 м) (а); результат нечеткой классификации расширенным алгоритмом Густафсона – Кесселя: получено 5 кластеров (во входных данных задавалось 8 кластеров) (б)

5. Улучшение и применение в биоинспирированных алгоритмах структурной оптимизации методов построения кумулятивных оценок показателей надежности сетей с ненадежными каналами.

Д.т.н. Родионов А. С., к.ф.-м.н. Мигов Д. А., Нечунаева К. А.

Разработаны методы ускорения кумулятивного уточнения границ различных показателей надежности сети для скорейшего принятия решения о ее достаточной надежности/ненадежности по отношению к наперед заданному порогу. Данный подход был предложен в 2010 году (J.-M. Won, F. Karraу) и в настоящее время является одним из наиболее значимых результатов в области анализа сетевой надежности. Суть метода состоит в обновлении значений границ надежности исходной сети в процессе факторизации при получении значений надежности для очередных оконечных графов. Оценивание может продолжаться вплоть до получения точного значения в момент схождения границ. Ранее были получены ускоренные по сравнению с результатами J.-M. Won, F. Karraу алгоритмы получения кумулятивных границ для вероятности связности случайного графа и собственные алгоритмы получения таких границ для средней вероятности связности пары вершин случайного графа и математического ожидания размера связного подграфа, содержащего выделенную вершину.

Для последних показателей получены ускоренные алгоритмы. Ускорение достигнуто за счет получения конечных выражений, позволяющих за один шаг рассчитывать частичные суммы вероятностей связности пар вершин, в которых хотя бы одна вершина принадлежит цепи.

На основе линейной аппроксимации границ получены приближенные значения показателей, более точные, чем простое среднее границ. Применение кумулятивных границ и этих приближений позволяет существенно ускорить исполнение биоинспирированных алгоритмов структурной оптимизации, в частности генетического алгоритма и алгоритма клонирования.

Границы и приближение размера связного подграфа



Границы и приближение размера связного подграфа

Публикации:

1. Migov D. A., Nechunaeva K. A., Nesterov S. N., Rodionov A. S. Cumulative updating of network reliability with diameter constraint and network topology optimization // ICCSA 2016, LNCS, V. 9786. P. 141–152.

2. Rodionov A. S., Migov D. A. New advantages of using chains in computing multiple s-t probabilistic connectivity. ICCSA 2016, LNCS. Vol. 9785. P. 117–128.

3. Rodionov A. S. Cumulative estimated values of structural network's reliability indices and their usage // Proc. of the 10th Intern. IEEE scientific and techn. conf. "Dynamics of systems, mechanisms and machines" (Dynamics), Omsk, Nov. 15–17, 2016.

6. Математические модели и методы анализа эффективности беспроводных сенсорных сетей.

К.ф.-м.н. с.н.с. Шахов В. В., к.т.н. с.н.с. Соколова О. Д., к.ф.-м.н. н.с. Юргенсон А. Н.

Разработан ряд методов для анализа производительности беспроводных сенсорных сетей и оценки их отказоустойчивости в условиях конкретных разрушающих воздействий. В основе методов лежит аппарат случайных графов. Предложены новые модели для анализа случайного графа, отображающего топологию сети, для оценки его элементов - вероятности существования вершин и ребер, случайных значений (весов), поставленных в соответствие ребрам и вершинам графа. Модели основаны на Марковских процессах с непрерывным временем и учитывают следующие характеристики: параметры рабочего цикла сенсоров, характеристики MAC протоколов и окружающей среды, интенсивность трафика, расход энергии на мониторинг, скорость восстановления заряда батарей сенсоров от внешних источников. Проведен анализ качества указанных оценок.

Публикации:

1. Shakhov V. Performance evaluation of MAC protocols in energy harvesting wireless sensor networks // Lecture Notes in Computer Science. Springer. 2016. Vol. 9787. P. 344–352.

2. Shakhov V. A graph-based method for performance analysis of energy harvesting wireless sensor networks reliability // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 391. Springer. P. 127–132.

3. Shakhov V. On a new type of attack in wireless sensor networks: Depletion of battery // Proc. of the 11th Intern. forum on strategic technology 2016 "IFOST 2016", IEEE. P. 491–494.

4. Shakhov V. On efficiency improvement of energy harvesting wireless sensor networks // 39th Intern. conf. on telecommunications and signal processing "TSP-2016", IEEE, Vienna (Austria), June 2016. P. 56–59.

5. Shakhov V., Yurgenson A., Sokolova O. Analysis of fault tolerance of wireless sensor networks // Proc. of the 13th Intern. conf. on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2016), IEEE, Novosibirsk, Oct. 3–6, 2016. Vol. 1 (Part 2). P. 390–393.

6. Шахов В. В., Юргенсон А. Н., Соколова О. Д. Моделирование воздействия атаки Black Hole на беспроводные сети // Программные продукты и системы. (принято в печать)

Конференции:

1. 13th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (AP11th International forum on strategic technology 2016 (IFOST 2016), IEEE, Novosibirsk, 3–6 October 2016.

2. 11th International forum on strategic technology 2016 (IFOST 2016), IEEE, Novosibirsk, June 2016.

3. 39th International conference on telecommunications and signal processing (TSP 2016), IEEE, Vienna (Austria).

7. Разработка алгоритмов дифференциальной эволюции для оптимизационных задач в финансовой математике.

К.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Монахова Э. А.

Разработаны и исследованы новые и модифицированные алгоритмы дифференциальной эволюции (ДЭ) на основе новой стратегии для операции мутации. Преимуществом предложенной стратегии является то, что она использует дополнительный второй вектор для операции мутации, и пространство поиска увеличивается. Результаты экспериментов

показывают, что предложенная стратегия имеет преимущество на тестовых примерах по сравнению с другими стратегиями мутации ДЭ. Применение предложенного алгоритма ДЭ на реальных финансовых данных показывает целесообразность и эффективность его использования при оптимизации торговых стратегий. Рассмотрена оптимизация портфеля инвестиций по данным, взятым из Национальной фондовой биржи (Индия) за десять лет по десяти банкам. Поиск оптимального решения происходит с помощью предложенного алгоритма дифференциальной эволюции. Экспериментально показана целесообразность данного подхода к оптимизации портфеля инвестиций и получены оценки его эффективности.

Разработан подход для оптимизации торговых стратегий (алгоритмов), основанный на анализе финансовых временных рядов, индикаторах финансовых рынков и эволюционных вычислениях. Предложено использование нового алгоритма дифференциальной эволюции для поиска оптимальных параметров торговых стратегий при максимизации их доходности. Экспериментальные результаты на финансовых данных, полученных для российского и индийского фондовых рынков, показали, что этот подход может улучшить в несколько раз доходность торговых стратегий.

Публикации:

1. Монахов О. Г., Монахова Э. А., Пант М. Применение алгоритма дифференциальной эволюции для оптимизации стратегий на основе финансовых временных рядов // Сибирский журнал вычислительной математики. 2016. № 2. С. 193–202.

2. Zaheer, H., Pant, M., Kumar S., Monakhov O. Book chapter "A novel mutation strategy for differential evolution" // Problem Solving and Uncertainty Modeling through Optimization and Soft Computing Applications. Ser.: IGI Global, Information Science Pub. 2016. P. 20–31.

3. Zaheer, H., Pant, M., Monakhov O., Monakhova E. Portfolio analysis of ten national banks through differential evolution // Proc. of the 5th International conference on soft computing for problem solving (SocProS 2015). Springer-Verlag, Berlin-Singapore. 2016. P. 851–861.

4. Zaheer H., Pant M., Monakhov O., Monakhova E. A Simple and Efficient Co-operative Approach for Solving Multi modal Problems // Proc. of the Intern. conference on electrical, electronics and optimization techniques, Chennai (India), March 3–5, 2016. P. 731–737.

Конференции:

1. Zaheer H., Pant M., Monakhov O., Monakhova E. A Simple and efficient co-operative approach for solving multi modal problems // Intern. conf. on electrical, electronics and optimization techniques, Chennai (India), March 3–5, 2016.

Приоритетное направление I.4. Высокпроизводительные вычисления

Программа I.4.1. "Математическое моделирование с использованием параллельных и распределенных вычислений".

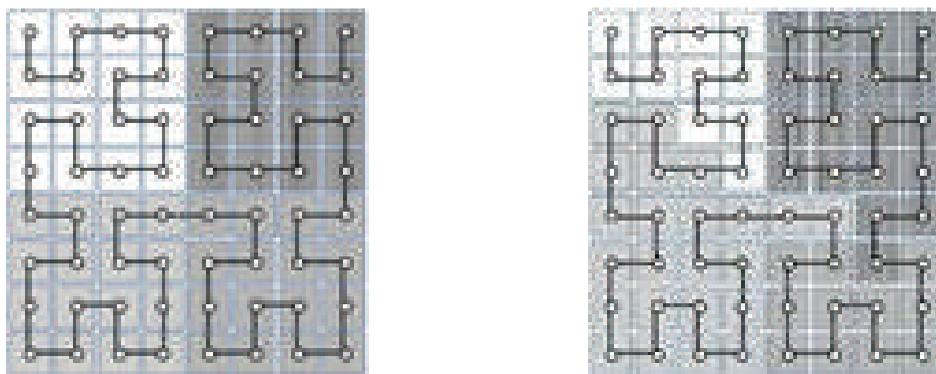
1. Системные алгоритмы с локальными связями для параллельной реализации больших численных моделей на пета- и эксафлопсных мультикомпьютерах.

Д.т.н. проф. зав. лаб. Малышкин В.Э.

Разработан технологический распределенный системный алгоритм с локальными взаимодействиями для распределенного динамического распределения ресурсов мультикомпьютера в ходе крупномасштабного численного моделирования на эксафлопсных мультикомпьютерах (алгоритм "веревочка", Rope-of-Beads (RoB)). Выполнена и протестирована реализация алгоритма. Назначение алгоритма в его текущем варианте – использование в

системах программирования мультикомпьютеров для решения проблемы статического и динамического распределения распределенной памяти.

Основная идея построения алгоритма – моделировании в нем распределенных во времени и пространстве природных процессов типа диффузии, гравитации и/или растекания жидкости в системе сообщающихся сосудов, в которые вносятся технологические модификации для получения приемлемого по качеству конечного результата. Поэтому используется идея кривой, проходящей через каждую точку пространства, в данном случае – через каждый узел мультикомпьютера, с нанизанными на нее процессами. Миграции процессов соответствует передвижение процессов по веревочке с соответствующим изменением назначения ресурсов процессу. Алгоритм работает в каждом узле мультикомпьютера, асинхронно, с использованием только своих данных и данных из узлов 1-окрестности текущего узла. Выравнивание нагрузки с неизменным сохранением отношения соседства на множестве процессов происходит параллельно и распределенно. Алгоритм веревочка превосходит алгоритм на базе Hash-функции многократно, что говорит о хорошем сохранении отношения соседства (входные переменные операций прикладного алгоритма находятся близко от узла, где процессы исполняются) и о равномерной загрузке узлов мультикомпьютера.



Публикации:

1. Malyshkin V. E. Parallel computing technologies 2016 // Springer, Germany. J. of Supercomputing. 2016 (принята к публикации).
2. Malyshkin V., Perepelkin V., Schukin G. Scalable distributed data allocation in LuNA fragmented programming system // Springer, Germany. J. of Supercomputing. 2016 (принята к публикации).
3. Akhmed-Zaki D., Lebedev D., Perepelkin V. Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow ("Oil-Water-Gas") numerical model in LuNA fragmented programming system // J. of Supercomputing, S.I.: Parallel Computing Technologies - 2016. Springer, 2016. P. 1–7.
4. Ткачева А. А. Эффективное исполнение фрагментированных программ с помощью средств прямого управления в системе LuNA на примере задачи редуцирования данных // Проблемы информатики. 2016. № 2(31). С. 21–29.

Конференции:

1. Киреев С. Е., Перепелкин В. А. Исследование производительности реализации метода IADE в системе фрагментированного программирования LuNA // Труды Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. С. 780.
2. Лебедев Д. В., Перепелкин В. А. Решение трехмерного модельного уравнения теплопроводности в системе фрагментированного программирования LuNA // Труды

Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. С. 784.

3. Ткачева А. А. Эффективное исполнение фрагментированных программ с помощью средств прямого управления в системе LuNA на примере задачи редуцирования данных // Проблемы информатики. 2016. № 2(31). С. 21–29.

4. Перепелкин В. А., Софронов И. В., Ткачева А. А. Оптимизирующая компиляция фрагментированных программ на базе вычислительных моделей // Материалы 17-й Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 октября – 3 ноября 2016 г. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2016. С. 99.

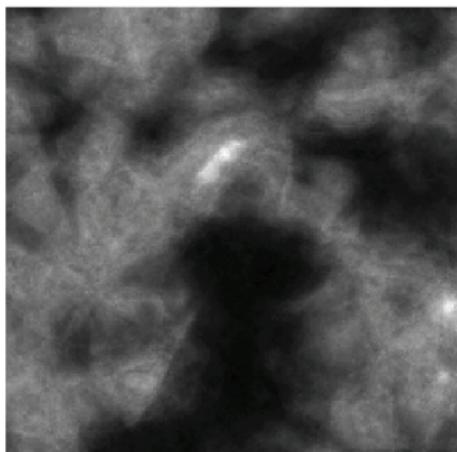
Лаборатория методов Монте-Карло

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Рогазинский С. В.

Важнейшие достижения

Разработана методика эффективного осреднения радиационной модели для стохастической среды, т. е. построения детерминированного уравнения переноса излучения, в некоторой степени воспроизводящего осредненные характеристики радиационного поля. В связи с этим построены путем суммирования n независимых реализаций базового "мозаичного" поля Пуассона "реалистические" вычислительные модели изотропных неотрицательных экспоненциально коррелированных случайных плотностей среды, реализации которых близки к непрерывным, а условное одномерное распределение в непустой части среды является достаточно естественным. Показано, что соответствующая осредненная вероятность прохождения кванта практически определяется корреляционным радиусом плотности и степенью заполненности среды, а также указанным выше условным распределением.

a



б

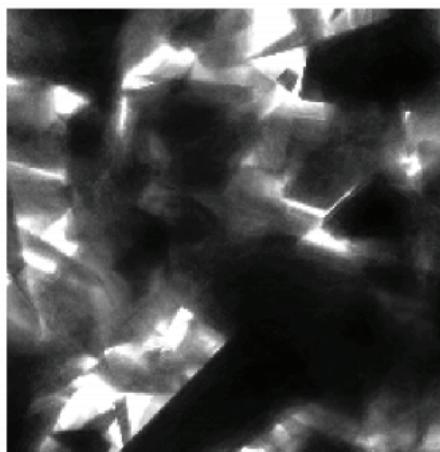


Рис. 1. Визуализация в квадрате 50×50 поля интенсивности излучения, проходящего через слой вещества толщиной $H = 10$ со случайной плотностью σ_{50} :
a – $\rho=3.6$, $p_0=0.00055$, $E\sigma_n=1$, $D\sigma_n=0.16$; *б* – $\rho=3.6$, $p_0=0.301$, $E\sigma_n=1$, $D\sigma_n=1$

Чл.-корр. РАН Михайлов Г. А., к.ф.-м.н. Амбос А. Ю.

Результаты опубликованы в работах:

1. Амбос А. Ю. Вычислительные модели мозаичных однородных изотропных случайных полей и соответствующие задачи переноса излучения // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 1. С. 19–32.
2. Амбос А. Ю., Михайлов Г. А. Эффективное осреднение стохастических радиационных моделей на основе статистического моделирования // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 2016. Т. 56, № 5. С. 896–908.
3. Ambos A. Yu., Mikhailov G. A. Solution of radiative transfer theory problems for 'realistic' models of random media using the Monte Carlo method // Rus. J. Num. Anal. Math. Model. 2016. Vol. 31, № 3. P. 1–10.

4. Михайлов Г. А., Амбос А. Ю. Новая вычислительная модель изотропного "разорванного" экспоненциально коррелированного случайного поля // Докл. Акад. наук. 2016. Т. 469, № 3. С. 283–286.

5. Амбос А. Ю. Разработка вычислительных моделей мозаичных случайных сред с приложением в теории переноса излучения: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.07, Новосибирский гос. ун-т, Новосибирск, 2016.

Отчет по этапам работ, завершенным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР I.2.1.2 "Разработка алгоритмов статистического моделирования для суперкомпьютерного решения задач математической физики, а также индустриальной математики".

Номер государственной регистрации НИР 01201370225.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН Михайлов Г. А.

Разработана методика эффективного осреднения радиационной модели для стохастической среды, т. е. построения детерминированного уравнения переноса излучения, в некоторой степени воспроизводящего осредненные характеристики радиационного поля. В связи с этим построены путем суммирования n независимых реализаций базового "мозаичного" поля Пуассона "реалистические" вычислительные модели изотропных неотрицательных экспоненциально коррелированных случайных плотностей среды, реализации которых близки к непрерывным, а условное одномерное распределение в непустой части среды является достаточно естественным. Показано, что соответствующая осредненная вероятность прохождения кванта практически определяется корреляционным радиусом плотности и степенью заполненности среды, а также указанным выше условным распределением.

Для решения задач теории переноса электронов в газе под действием сильного внешнего электрического поля построены эффективные алгоритмы вычисления коэффициентов диффузии (продольного и поперечного). На основе параллельного трехмерного алгоритма метода Монте-Карло ELSHOW на суперЭВМ получены выборки состояний частиц в электронной лавине для заданного момента времени. Отметим, что использование диффузионного приближения с целью вычисления соответствующих вспомогательных "диффузионных радиусов" и коэффициентов диффузии не дает удовлетворительных результатов. Поэтому с помощью "мик로그руппированных" статистических выборок строились рандомизированные проекционные и, для контроля, ядерные статистические оценки плотности распределения частиц в лавине. При этом использовались разложения по полиномам Лагерра и Эрмита. Получены оптимальные (в смысле минимизации среднеквадратической погрешности) шаги осреднения для ядерной оценки. С помощью таких оценок плотности вычислялись "диффузионные радиусы" и коэффициенты диффузии. Показана высокая эффективность проекционных оценок для вычисления диффузионных характеристик методом Монте-Карло.

Разработана модификация весового "метода зависимых испытаний" со случайным расщеплением моделируемой траектории цепи Маркова. На примере вероятностной модели односкоростного переноса частиц показано, что использование такой модификации существенно расширяет класс решаемых задач по сравнению со стандартным методом.

Построена модификация весового статистического моделирования эволюции N -частичного ансамбля, фазовые состояния которого меняются вследствие парных взаимодействий частиц, для приближенного решения нелинейного кинетического уравнения. В случае, когда вспомогательный вес превышает единицу, предлагается использовать рандомизированное

ветвление траектории модельного ансамбля частиц или соответствующее его расширение. Показано, что ветвление на начальном этапе моделирования может существенно снизить его трудоемкость. Дополнительное улучшение можно получить, заменив ветвление на расширение ансамбля. Вследствие частичного увеличения объема модельного ансамбля такая модификация может уменьшить детерминированную погрешность по отношению к предельному значению для $N \rightarrow \infty$. При этом трудоемкость моделирования практически не увеличивается, если используется метод мажорантной частоты, обеспечивающий трудоемкость порядка $O(N)$. Положительным свойством рассматриваемой модификации является то, что она не требует ветвления сложных многочастичных траекторий и уменьшает флуктуации числа точек в модельном ансамбле. С другой стороны, эффективность ветвления можно повысить, используя графические ускорители. Численный анализ построенных алгоритмов осуществлялся для специально сформулированных модельных задач о релаксации смеси химически нейтральных газов и химически реагирующих газов с сильно различающимися концентрациями. Расчеты для химически реагирующих газов показали, что в случае оценки скоростного момента второй компоненты смеси трудоемкость S_w алгоритма стандартного весового алгоритма и трудоемкость S_{br} весового алгоритма с заменой ветвления на рандомизированное расширение модельного ансамбля удовлетворяет соотношению $S_w/S_{br} = 1.8$. Весовой алгоритм с заменой ветвления на рандомизированное расширение модельного ансамбля с использованием ограничения по объему модельного ансамбля предпочтительнее стандартного весового алгоритма также благодаря уменьшению детерминированной погрешности вследствие расширения объема модельного ансамбля.

Проведен теоретический анализ возможности использования аппарата статистической физики для оценки статистической погрешности метода прямого статистического моделирования (ПСМ). Предложен простой способ приближенной оценки статистической погрешности при вычислении компонент скорости и температуры. Он позволяет практически без дополнительных вычислений оценить уровень статистической погрешности при любой степени зависимости выборочных значений. Тестирование разработанного подхода было выполнено на примере классических задач Фурье и Куэтта, а также задачи о сверхзвуковом течении потока разреженного газа сквозь проницаемую преграду.

С целью численного статистического моделирования траекторий ветвящихся процессов разработана методика мелкоблочного распараллеливания с выделением вложенных вычислительных блоков в алгоритме. При накоплении достаточно большого числа частиц моделирование происходящих от них ветвей дерева распределяется по свободным ядрам; для каждой такой ветви учитывается ее вклад в оценку функционала. Разработана также методика комбинированного распараллеливания на гибридной вычислительной системе; получена формула, выражающая ускорение от применения комбинированного распараллеливания. Для сравнения разных методик распараллеливания проводились расчеты на кластере МВС-10П в МСЦ РАН: на каждом узле два 8-ядерных процессора Intel Xeon E5-2690 и два 61-ядерных сопроцессора Intel Xeon Phi SE10X. При этом использовались разработанные ранее параллельная программа ELSHOW и библиотека PARMONC. Показано, что с применением комбинированного распараллеливания можно получить выигрыш в трудоемкости примерно в 4.5 раза.

Методика построения оценки метода подобных траекторий была применена к решению задач о рассеянии солнечного излучения облачным слоем. Она показала свою эффективность, позволив на одной марковской цепи получить оценки интенсивности для длин волн всего видимого спектра для облачного слоя достаточно большой толщины. Задача состояла

в оценке угловых распределений характеристик отраженного облачным слоем видимого света, таких как светимость, цветовой оттенок и цветовые компоненты системы RGB. При таком отражении наблюдается световое явление "глония", изучение которого представляет отдельный интерес, например, для уточнения параметрической идентификации оптических моделей среды. В связи с тем, что незагрязненный облачный слой практически не поглощает солнечное излучение, потребовалась более точная, в сравнении с предыдущими работами, мажорантная оценка спектрального радиуса оператора, связанного с условием применимости метода подобных траекторий. Был предложен простой в реализации алгоритм построения соответствующей оценки. Полученные результаты показали, что метод подобных траекторий может успешно применяться в задачах атмосферной оптики.

Предложен новый алгоритм восстановления индикатрисы и второй компоненты матрицы аэрозольного рассеяния по наземным наблюдениям вектора Стокса в альмукуантарате. Этот алгоритм объединяет предложенные ранее и позволяет повысить точность восстановления индикатрисы. Проведено более полное исследование устойчивости методов восстановления индикатрисы и второй компоненты к ошибке начальных данных. Выполнены дополнительные расчеты спектральных радиусов матриц Якоби методов, позволяющие обосновать их сходимость.

Разработаны новые алгоритмы метода Монте-Карло для численной оценки решения нелинейного кинетического уравнения Смолуховского с помощью моделирования соответствующих цепей Маркова, описывающих эволюцию многочастичной системы. При этом используется весовое моделирование, что позволяет применить для оцениваемого решения параметрический анализ и вычислять на тех же траекториях параметрические производные от решения. Построенные оценки "по столкновениям" могут быть использованы для рандомизированного ветвления траекторий модельного ансамбля коагулирующих частиц.

Продолжены исследования по распознаванию образов методом Монте-Карло, а именно, решалась задача определения размеров n -мерного тела с заранее известной конфигурацией. Разработан и запрограммирован алгоритм, проведены соответствующие расчеты и проверка эффективности алгоритма. Доказана теорема о скорости его сходимости.

Проведены исследования случайного числа обусловленности плохо обусловленной матрицы большого размера. Рассматривалась система линейных алгебраических уравнений с плохо обусловленной матрицей большого порядка и случайным вектором правой части. Показано, что в этих условиях случайное число обусловленности матрицы системы сосредоточено в малой окрестности числа, значительно меньшего, чем "стандартное" число обусловленности. Полученные результаты могут быть использованы для определения коэффициента регуляризации при решении некорректных обратных задач.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 15-01-00894-а "Разработка комплекса эффективно реализуемых на многопроцессорных суперЭВМ алгоритмов статистического моделирования процессов переноса частиц различной природы с учетом стохастичности среды, поляризации и влияния внешнего силового поля".

Руководитель проекта – чл.-корр. РАН Михайлов Г. А.

В задаче переноса заряженных частиц под действием внешнего силового поля разработаны новые алгоритмы метода Монте-Карло для корректного вычисления диффузионных коэффициентов. Показано, что в этом случае диффузионная модель уступает по точности

кинетическим моделям, в которых статистическая оценка плотности частиц определяется с помощью "ядерных оценок" и с помощью разложения по ортогональным полиномам.

Построены новые алгоритмы статистического моделирования переноса излучения через стохастические однородные изотропные среды различных типов. Для этого разработана специальная геометрическая реализация "метода максимального сечения", позволяющая учитывать поглощение излучения весовым экспоненциальным множителем. Теоретически и с помощью вычислительных экспериментов изучена зависимость функционалов решения интегрального уравнения переноса, таких как средняя вероятность прохождения, от корреляционной длины и типа поля. Доказана теорема об их сходимости к соответствующим функционалам для осредненного поля при уменьшении корреляционной длины до нуля.

Построена несмещенная модификация "метода подобных траекторий" с ветвлением траектории цепи для оценки конечного набора линейных функционалов от решений интегральных уравнений 2-го рода с неотрицательными элементами. Доказано, что трудоемкость построенного алгоритма ограничена, если максимум величины спектрального радиуса соответствующих интегральных операторов меньше единицы.

Разработан алгоритм метода Монте-Карло для исследования интенсивности прошедшего через слой вещества излучения на основе разложения плотности соответствующего углового распределения по полиномам, ортонормированным с ламбертовским весом. Оптимизация алгоритма осуществляется по критерию трудоемкости вычислений. Разработанный алгоритм позволяет достаточно точно оценить даже малое влияние поляризации, а также отклонение изучаемого углового распределения от ламбертовского.

Проект РФФИ № 16-01-00530-а "Разработка параллельно реализуемых эффективных весовых алгоритмов статистического моделирования для численного исследования течений химически реагирующих газов, включая процессы образования наночастиц".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Рогазинский С. В.

Разработаны новые статистические алгоритмы решения задач, описываемых кинетическими уравнениями типа Больцмана. Соответствующие модели основаны на использовании многочастичной модели газа, динамика которой описывается уравнением Колмогорова (автотранспортные задачи, задачи коагуляции, образования наночастиц). Предложенные для решения задач коагуляции методы были адаптированы для изучения процесса ценообразования на бирже в модели больцмановского типа. В данной модели сделки интерпретируются как результат кинетического взаимодействия пары частиц при моделировании динамики многочастичной системы с помощью соответствующих цепей Маркова. В отличие от уравнения коагуляции, в модели формирования цены появляется система из двух кинетических уравнений, которые описывают поведение двух плотностей: цен спроса и предложения.

Для решения задач о развитии электронных лавин в газах при построении функциональной оценки плотности частиц предложено использовать группированные выборки. Такой подход позволяет уменьшить используемый объем памяти компьютера, не уменьшая точность статистической ядерной оценки плотности. Разработаны алгоритмы вычисления коэффициентов диффузии на основе группированных выборок и ядерных оценок. Анализ результатов показал, что оценки коэффициентов диффузии на основе ядерных оценок точнее и, следовательно, предпочтительнее.

Предложена оригинальная методика обоснования докритичности неоднородных ветвящихся процессов для численного статистического моделирования односкоростного переноса частиц в случайной среде.

Разработаны подходы к оценке величины флуктуаций термодинамических величин в предположении, что система находится в состоянии термодинамического равновесия. Предложен простой способ приближенной оценки статистической погрешности при вычислении компонент скорости и температуры. Тестирование корректности использования разработанного подхода было выполнено на примере классических задач для трех одномерных течений, типичных для динамики разреженного газа: задача Фурье при выбранном наборе параметров характеризуется большим градиентом плотности и температуры; в задаче Куэтта моделируется течение газа со значительным градиентом скорости; сверхзвуковое течение характеризуется движением частиц с большой скоростью в заданном направлении. Теоретический и численный анализ продемонстрировал применимость приближенных формул для оценки статистической погрешности вычисления компонент скорости и температуры для широкого класса задач динамики разреженного газа, исключая зоны существенной неравновесности, где более корректно использование доверительных интервалов, построенных на основе центральной предельной теоремы и требующих дополнительных вычислений.

Проект РФФИ № 16-31-00123 мол_а "Разработка методов и алгоритмов численного стохастического моделирования для решения задач атмосферной оптики и статистической метеорологии".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Трачева Н. В.

Разработан алгоритм метода Монте-Карло для исследования пространственно-угловых характеристик поляризованного излучения, отраженного назад или прошедшего через слой вещества, основанный на рандомизированном проекционном методе с использованием ортогональной с некоторым весом системы полиномов. Проведено численное исследование влияния поляризации на проходящий и отраженный интегральные потоки излучения и на коэффициенты ортогонального разложения. Проведенные прецизионные вычисления для ряда модельных сред показали, что оценки интегральных потоков и коэффициентов разложения, полученные при моделировании с учетом поляризации и без, статистически различимы. Проведено численное исследование углового распределения степени поляризации излучения. Получены также оценки дисперсий соответствующих функционалов.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа Президиума РАН № I.33П, проект "Суперкомпьютерное статистическое моделирование переноса излучения с учетом различных трехмерных и, в том числе, стохастических функциональных характеристик радиационной модели среды".

Руководитель – чл.-корр. РАН Михайлов Г. А.

С помощью "микроруппированных" численно-статистических выборок построены рандомизированные проекционные (с использованием полиномов Лагерра и Эрмита) и, для контроля, ядерные статистические оценки плотности распределения частиц в электронной лавине. Тестовые расчеты показали высокую эффективность проекционных оценок для вычисления диффузионных характеристик методом Монте-Карло.

Построены вычислительные модели изотропных неотрицательных экспоненциально коррелированных случайных полей, реализации которых близки к непрерывным, а условное одномерное распределение в непустой части среды является достаточно естественным.

Показано, что соответствующая осредненная вероятность P прохождения кванта практически определяется корреляционным масштабом и степенью заполненности среды, а также указанным выше условным распределением. Полученные ранее выражения для параметров детерминированной модели, воспроизводящей вероятность P , обобщены на случай реалистических случайных моделей сред. Для исследования флуктуаций критичности процесса переноса частиц с размножением в случайной среде разработан допускающий эффективное распараллеливание алгоритм, основанный на оценке спектрального радиуса интегрального оператора переноса.

Численно исследовалось влияние поляризации на проходящий и отраженный интегральные потоки излучения и на коэффициенты ортогонального разложения интенсивности и степени поляризации излучения. Методом Монте-Карло изучены особенности распространения лазерных импульсов в атмосферной облачности, которые обусловлены многократным рассеянием излучения при дистанционном зондировании наземными и космическими лидарами.

Построена модификация весового метода подобных траекторий с ветвлением траектории цепи соответственно параметрическому максимуму вспомогательного веса. С целью численного статистического моделирования траекторий ветвящихся процессов разработана методика мелкоблочного распараллеливания с выделением вложенных вычислительных блоков в алгоритме.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Амбос А. Ю. Вычислительные модели мозаичных однородных изотропных случайных полей и соответствующие задачи переноса излучения // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 1. С. 19–32. (в базе РИНЦ)

2. Амбос А. Ю., Михайлов Г. А. Эффективное осреднение стохастических радиационных моделей на основе статистического моделирования // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 2016. Т. 56, № 5. С. 896–908. (в базе РИНЦ)

3. Михайлов Г. А., Амбос А. Ю. Новая вычислительная модель изотропного "разорванного" экспоненциально коррелированного случайного поля // Докл. Акад. наук. 2016. Т. 469, № 3. С. 283–286. (в базе РИНЦ)

4. Михайлов Г. А., Трачева Н. В., Ухинов С. А. Рандомизированный проекционный метод для оценки угловых распределений поляризованного излучения на основе численного статистического моделирования // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 2016. Т. 56. № 9. С. 1560–1570. (в базе РИНЦ)

5. Плотников М. Ю., Шкарупа Е. В. Оценка статистической погрешности при вычислении компонент скорости и температуры методом прямого статистического моделирования // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 3. С. 317–330. (в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Ambos A. Yu., Mikhailov G. A. Solution of radiative transfer theory problems for 'realistic' models of random media using the Monte Carlo method // Rus. J. Num. Analysis. Math. Model. 2016. V. 31, № 3. P. 127–136. (в базах Wos, Scopus, РИНЦ)

2. Ambos, A. Y. Numerical models of mosaic homogeneous isotropic random fields and problems of radiative transfer // Num. Analysis and Applications. 2016. V. 9, № 1. P. 12–23.

(в базах Wos, Scopus, РИНЦ)

3. Ambos, A. Y., Mikhailov, G. A. Effective averaging of stochastic radiative models based on Monte Carlo simulation // *Comput. Math. and Math. Phys.* 2016. V. 56, № 5. P. 881–893.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
4. Lotova G. Z. Monte Carlo algorithms for calculation of diffusive characteristics of an electron avalanche in gases // *Rus. J. Num. Analysis and Math. Modelling.* 2016. V. 31, № 6. P. 369–377.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
5. Medvedev I. N. The method of similar trajectories with branching according to parametric maximum of the auxiliary weight // *Ibid.* P. 379–385.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
6. Mikhailov G. A., Ambos A. Y. New computational model of an isotropic "broken" exponentially correlated random field // *Doklady Math.* 2016. V. 94. N 1. P. 411.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
7. Mikhailov G. A., Prigarin S. M., Rozhenko S. A. Weighted Monte Carlo estimators for angular distributions of the solar radiation reflected from a cloud layer // *Rus. J. Num. Analysis and Math. Modelling.* 2016. V. 31, No 4. P. 197–205.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
8. Mikhailov G. A., Tracheva N. V., Ukhinov S. A. Randomized projection method for estimating angular distributions of polarized radiation based on numerical statistical modeling // *Comput. Math. and Math. Phys.* 2016. 56: 1540. doi:10.1134/S0965542516090141.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
9. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. Heterogeneous activation of rarefied hydrogen in thin tubes // *Vacuum.* 2016. V. 129. P. 31–37. DOI: 10.1016/j.vacuum.2016.04.001
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
10. Plotnikov M. Y., Shkarupa E. V. Estimating the statistical error in calculating velocity and temperature components by the direct simulation Monte Carlo method // *Num. Analysis and Appl.* 2016. Vol. 9, No. 3. P. 246–256.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)
11. Rogasinsky S. V. Weighted statistical modelling algorithms with branching and extension of a model ensemble of interacting particles // *Russ. J. Num. Analysis and Math. Modelling.* 2016. V. 31. № 4. P. 207–215.
(в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)

Прочие издания

1. Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Кинетические модели и моделирование многочастичных систем // *Естеств. и матем. науки в современном мире.* 2016. № 40. С. 60–69.
(в базе *РИНЦ*)
2. Коротченко М. А., Бурмистров А. В. Моделирование динамики многочастичных ансамблей при использовании кинетических моделей // *Образов. ресурсы и технологии.* 2016. № 2 (14). С. 324–330.
(в базе *РИНЦ*)

Участие в конференциях и совещаниях

1. 9-й Сибирский конгресс женщин-математиков", Красноярск, 17–20 мая 2016 г. – 1 доклад (Коротченко М. А.).
2. 17-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию, Новосибирск, 30 октября – 3 ноября 2016 г. – 3 доклада (Коротченко М. А., Трачева Н. В.).
3. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 11–13 апреля 2016 г. – 2 доклада (Трачева Н. В., Роженов С. А.).
4. The 30th European Simulation and Modelling Conference - ESM'2016, October 26–28, 2016 – 1 доклад (Трачева Н. В.).

5. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 1 пленарный доклад (Марченко М. А.).

6. International conference on the methods of aerophysical research, Perm, June 27 – July 3, 2016 – 1 доклад (Шкарупа Е. В.)

7. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 1 доклад (Марченко М. А.).

Участие в оргкомитетах конференций

Усов А. Г. – член оргкомитета конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 11
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 18
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5
 Публикаций в зарубежных изданиях – 11
 Публикаций в прочих изданиях – 2
 Докладов на конференциях – 10, в том числе 1 пленарный.
 Участников оргкомитетов конференций – 1

Кадровый состав

1. Рогазинский С. В.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Михайлов Г. А.	советник РАН	чл.-корр. РАН
3. Антюфеев В. С.	с.н.с.	д.ф.-м.н.
4. Ухинов С. А.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
5. Лотова Г. З.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
6. Шкарупа Е. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
7. Медведев И. Н.	н.с.	к.ф.-м.н.
8. Коротченко М. А.	н.с. 0.7 ст.	к.ф.-м.н.
9. Трачева Н. В.	н.с., 0.5 ст.	к.ф.-м.н.
10. Роженко С. А.	н.с., 0.25 ст.	к.ф.-м.н.
11. Корда А. С.	м.н.с., 0.7 ст.	к.ф.-м.н.
12. Амбос А. Ю.	м.н.с., 0.25 ст.	к.ф.-м.н.
13. Усов А. Г.	ведущ. программист,	0.1 ст.

Амбос А. Ю., Роженко С. А., Коротченко М. А., Корда А. С., Трачева Н. В. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Михайлов Г. А. – профессор НГУ;
 Рогазинский С. В. – профессор НГУ;
 Ухинов С. А. – профессор НГУ, зам. декана ММФ;
 Антюфеев В. С. – профессор НГУ, ВКИ НГУ и СУНЦ НГУ;

Медведев И. Н. – доцент НГУ;
Лотова Г. З. – старший преподаватель НГУ;
Усов А. Г. – старший преподаватель НГУ, зам.декана ММФ;
Трачева Н. В. – ассистент НГУ.

Руководство аспирантами

Зайцева А. А. – 1-й год, ММФ НГУ, руководитель Лотова Г. З.

Руководство студентами

Андреева К. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Медведев И. Н.

Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Артемьев С. С.

Важнейшие достижения

Построена двухуровневая модификация устойчивого численного метода решения СДУ в смысле Стратоновича, которая применена для анализа быстропротекающих процессов в сильнонеравновесных средах. Разработанный статистический алгоритм на основе численных методов решения СДУ и методов моделирования пуассоновских потоков применен для моделирования начальной флуктуационной стадии конденсации с учетом заряда капель. Исследовалось явление получения заданного размера кластера для разных параметров модели.

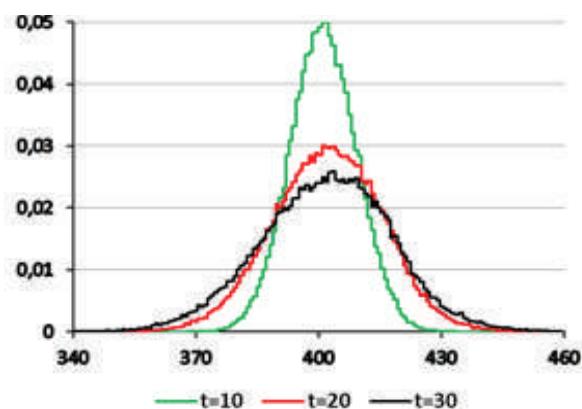


Рис. 1

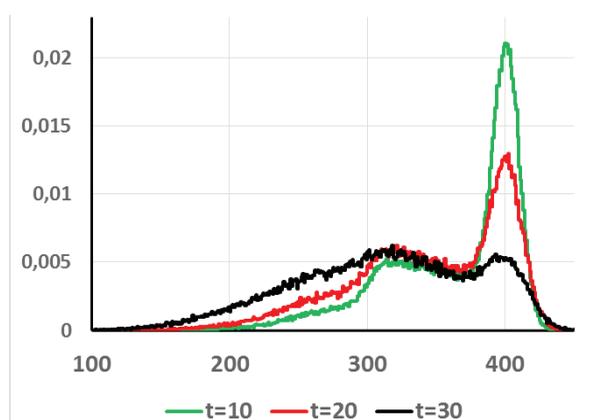


Рис. 2

На рис. 1, 2 приведена плотность распределения кластеров по размерам, когда начальный размер кластера больше критического, для различных моментов времени. На рис. 1 не учитывается заряд капли, а на рис. 2 – учитывается. Графики демонстрируют, что учет релейевской неустойчивости привел к бимодальному распределению капель конденсата по размерам, что важно учитывать при зарядовом диспергировании в процессе получения порошков.

К.ф.-м.н. Аверина Т. А.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Аверина Т. А., Змиевская Г. И., Бондарева А. Л., Хилков С. А. Решение уравнений стохастического аналога неравновесной стадии фазового перехода и пористость карбида кремния : препр. № 21 ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. Москва, 2016.

2. Аверина Т. А. Использование модификаций метода максимального сечения для моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 4 (68). С. 3–10.

3. Averina T. A., Zmievskaya G. I. Numerical modeling of the initial fluctuation condensation stage with charge drops // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016 (принята к печати).

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. 21-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", Новороссийск, Абрау-Дюрсо, 5–11 сентября 2016 г.

2. 11-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 октября 2016 г.

Отчет по этапам НИР, завершенным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.2.1.2 "Разработка алгоритмов статистического моделирования для суперкомпьютерного решения задач математической физики, а также индустриальной математики".

Научный руководитель – чл.-корр. РАН Михайлов Г. А.

Выполнен анализ различных стохастических моделей химических реакций, движения частиц и зарядов в электромагнитном поле, движения ракет и спутников.

Проведены аналитические и численные исследования точности оценок моментов решений СДУ с пуассоновской составляющей

Исследована флуктуационная неустойчивость фазового перехода процесса конденсации пара на стадии зародышеобразования с учетом заряда капли с помощью разработанных численных методов решения СДУ и статистических алгоритмов моделирования пуассоновских потоков.

Исследованы метод оценки решений уравнений теплопроводности с разрывными коэффициентами на основе численного решения СДУ и метод определения производных по параметрам математических ожиданий функционалов диффузионных процессов. Разработан метод определения положения подвижной границы области в задаче плавления с использованием вероятностного представления. Защищена докторская диссертация по данной тематике.

Для численной оценки линейных функционалов от решения кинетического уравнения коагуляции, которое часто возникает в различных физических системах, построены новые весовые алгоритмы статистического моделирования. В частности, разработаны весовые оценки по столкновениям, в том числе и для параметрических производных по параметрам, входящим в коэффициенты коагуляции исходного уравнения.

С помощью динамического распределения вычислительной нагрузки построены новые эффективные алгоритмы метода Монте-Карло для разнодлинных траекторий на кластерах. Проведен анализ взаимодействия солитонов, описываемых нелинейным уравнением Шредингера.

Проводятся работы по созданию алгоритмов и программ для параметрического анализа решений систем СДУ в частных производных. Разрабатываются новые частотные и статистические характеристики для анализа численных решений СДУЧП

Проведены исследования стохастических моделей солитонов, уравнения Шредингера в квантовой механике, уравнений переноса и Бюргерса, уравнений Навье – Стокса.

Разработан комплекс программ AMKS для параллельных алгоритмов статистического моделирования решений систем СДУ на суперкомпьютере. Начата разработка комплекса программ, в который будет включена возможность проведения полного параметрического анализа решений систем СДУ в частных производных на суперкомпьютере с выводом результатов расчетов в мультимедийной форме. С помощью обобщенного явного метода Эйлера начаты численные эксперименты по параметрическому анализу решений уравнений Навье – Стокса турбулентного течения жидкости с учетом случайных возмущений.

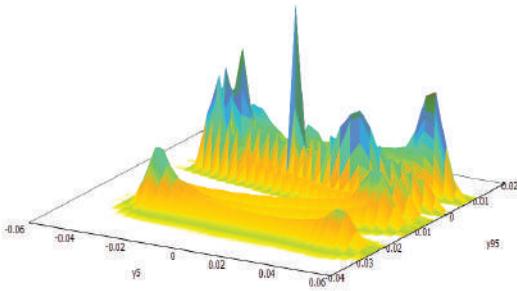


Рис. 3

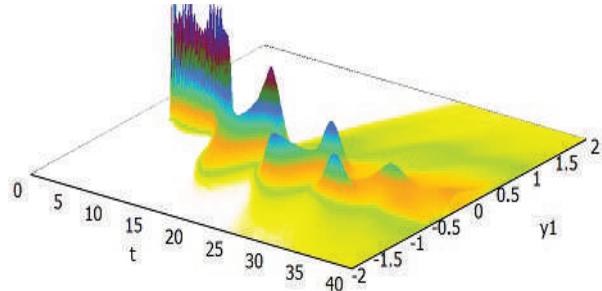


Рис. 4

На рис. 3 приведен график частотного фазового портрета для пары компонент численного решения системы СДУ, полученной путём дискретизации одномерного уравнения Навье – Стокса; на рис. 4 – график частотной интегральной кривой динамики развития плотности распределения компоненты решения системы СДУ для модели пространственного движения нерелятивистского электрического заряда в постоянном неоднородном магнитном поле.

Продолжена работа над созданием эффективных алгоритмов моделирования одномерных и многомерных случайных величин. В частности, предложены эффективные алгоритмы моделирования двумерных случайных величин с плотностями вероятности, построенными с использованием копул.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 14-01-00340-а "Анализ стохастических дифференциальных моделей методом Монте-Карло на суперкомпьютерах".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Артемьев С. С.

В 2016 г. в ходе выполнения проекта получены следующие результаты.

Разработаны новые модели в виде СДУ с осциллирующими решениями для исследования динамики механических систем, виброударных систем, колебаний упругих тел, поведения концентраций компонент химических реакций, турбулентного движения частиц в жидкостях и газах, движения летательных аппаратов.

Разработаны новые статистические и частотные характеристики для анализа поведения решений систем параболических дифференциальных уравнений с учетом случайных возмущений, а также новых характеристик численных решений стохастических моделей гидродинамики: частотные линии тока, статистический портрет скоростей, частотный поток жидкости, статистические профили скоростей в продольных и поперечных сечениях каверны, частотные вихревые линии, поверхности уровня с постоянными скоростями или давлениями.

Проведено численное исследование и анализ распространения лазерных импульсов в оптических волноводах, описываемых нелинейным уравнением Шредингера со случайным начальным условием и случайной правой частью в виде аддитивного гауссова шума. Результаты расчетов показали хорошее соответствие физическим экспериментам для уровней, присущих неизбежным начальным шумам в генераторе импульсов. Проведен анализ взаимодействия солитонов, описываемых нелинейным уравнением Шредингера.

На основе численного решения систем СДУ разработан метод оценки решений краевых задач для линейных параболических уравнений с разрывными коэффициентами. С

использованием предложенного метода решена практическая задача с реальными физическими данными для расчета теплопереноса в сотовой теплозащитной панели, каркас которой изготовлен из углепластика, а наполнителем служит воздух. Разработан новый метод оценки решений уравнений теплопроводности с разрывными коэффициентами на основе численного решения СДУ. Разработаны параллельный алгоритм и программа для суперкомпьютера для определения состояния теплоизолированной обшивки самолета, содержащей теплозащитные сотовые панели с воздушным охлаждением. В программе реализован новый метод определения температуры в неоднородном материале, основанный на применении интегрального усреднения и численного решения СДУ.

Разработаны новые статистические алгоритмы решения ряда задач, не связанных с динамикой разреженного газа, описываемых кинетическими уравнениями типа Больцмана. Соответствующие модели при этом основаны на использовании многочастичной модели газа, динамика которой описывается уравнением Колмогорова (движение автотранспортных потоков, процессы коагуляции, формирование цены на бирже).

Построена универсальная математическая модель автотранспортного потока для различных типов движений. Разработаны статистические алгоритмы оценки решений автотранспортных задач. Разработаны специальные алгоритмы, повышающие эффективность статистического моделирования с помощью аппарата весовых и рандомизированных статистических оценок для решения многомерных интегральных уравнений. С помощью численных экспериментов продемонстрирована практическая целесообразность и эффективность использования интегрального уравнения и моделирования соответствующих цепей Маркова при решении автотранспортных задач.

Для изучения вопроса группирования автомобилей на полосе в кластеры было рассмотрено кинетическое уравнение коагуляции Смолуховского с коэффициентами, которые являются линейной комбинацией постоянного и аддитивного коэффициентов и могут быть рассмотрены как первое приближение физических коэффициентов. Предложена оптимизация алгоритмов по параметрам, используемых в весовом алгоритме для моделирования соответствующей цепи Маркова.

Разработан комплекс программ AMIKS для параллельных алгоритмов статистического моделирования решений систем СДУ на суперкомпьютере. Создан модуль визуализации, в который включена возможность проводить полный параметрический анализ решений систем СДУ в частных производных на суперкомпьютере с выводом результатов расчетов в мультимедийной форме. С помощью обобщенного явного метода Эйлера начаты численные эксперименты по параметрическому анализу решений уравнений Навье – Стокса турбулентного течения жидкости с учетом случайных возмущений. В издательстве СО РАН при финансовой поддержке издательского гранта РФФИ 16-11-00160 напечатана монография Артемьев С. С. и др. "Анализ стохастических колебаний методом Монте-Карло на суперкомпьютерах".

Для вычислений на суперкомпьютерах разработаны высокоэффективные параллельные статистические алгоритмы и программы для оценок и анализа решений систем параболических уравнений математической физики с учетом случайных шумов параметров уравнений, случайных внешних сил и случайных начально-краевых условий, в том числе и в задачах с подвижной границей. Разработаны модификации алгоритмов для гетерогенных кластеров со статическим и вариантами динамического распределения нагрузки по процессорам. Численные эксперименты проведены на гибридном кластере НКС - 30Т + GPU Сибирского суперкомпьютерного центра при ИВМиМГ СО РАН.

Публикации

Монографии

1. 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. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016.

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Артемьев С. С., Якунин М. А. Анализ точности оценок первых моментов решения СДУ с винеровской и пуассоновской составляющими методом Монте-Карло // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 1. С. 33–45. (в базах *Wos, Scopus*)

[Artemiev S. S., Yakunin M. A. Analysis of estimation accuracy of the first moments of a Monte Carlo solution to an SDE with Wiener and Poisson components // Numer. Analys. Appl. 2016. 9: 24. doi: 10.1134/S1995423916010031] (в базах *Wos, Scopus*)

2. Артемьев С. С., Иванов А. А. Анализ влияния случайных шумов на течение автоколебательных химических реакций методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // СибЖИМ. 2016. Т. 19, № 4. С. 15–21. (в базе *РИНЦ*)

3. Аверина Т. А. Использование модификаций метода максимального сечения для моделирования систем со случайной структурой с распределенными переходами // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 4. С. 3–10. (в базах *Wos, Scopus*)

[Averina T. A. A randomized maximum cross-section method to simulate random structure systems with distributed transitions // Numer. Analys. Appl. 2016. V. 9, No 3. P. 179–190. doi: 10.1134/S1995423916030010] (в базе *Wos, Scopus*)

4. Гусев С. А., Николаев В. Н. Исследование теплового состояния отсеков пассажирского самолёта с сотовыми конструкциями фюзеляжа // Науч. вестн. НГТУ. 2016. № 1. С. 7–18. (в базе *РИНЦ*)

Зарубежные издания

1. Averina T. A., Zmievskaya G. I. Numerical modeling of the initial fluctuation condensation stage with charge drops // IOP Conference. Ser.: Materials Science and Engineering. 2016. Eng. 158 012010. DOI:10.1088/1757-899X/158/1/012010. (в базе *Scopus*)

2. Alshevskaya A. A., Lopatnikova J. A., Krugleeva O. L., Nepomnyschih V. M., Lukinov V. L., Karaulov A. V., Sennikov S. V. Expression density of receptors to IL-1 in atopic dermatitis // Molecular Immunol. 2016. No 75. P. 92–100. (в базе *Wos*)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Аверина Т. А., Рыбаков К. А. Практическая реализация алгоритма прогнозирования в стохастических системах с пуассоновской составляющей // Труды 12-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–17 дек. 2016 г. С. 3–10. (в базе *РИНЦ*)

2. Аверина Т. А. Численное исследование влияния пуассоновской составляющей на решение стохастического дифференциального уравнения // Материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. "Аналитические и численные методы моделирования естественно-научных и социальных проблем", Пенза, 6–9 дек. 2016 г. С. 26–32.

3. Коротченко М. А., Бурмистров А. В. Моделирование динамики многочастичных ансамблей при использовании кинетических моделей // Труды Междунар. конф. "9-й Сиб. конгр. женщин-математиков", Красноярск, 17–20 мая 2016 г. (в базе *РИНЦ*)

4.Коротченко М. А., Бурмистров А. В. Оценка по столкновениям метода Монте-Карло для параметрического анализа решения кинетического уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами // Труды 17-й Всерос. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 октября – 3 нояб. 2016 г. (в базе РИНЦ)

5.Бурмистров А. В., Коротченко М. А., Reisswich M. Моделирование цены методом Монте-Карло в рамках модели больцмановского типа // Там же. (в базе РИНЦ)

6.Гусев С. А., Николаев В. Н. Моделирование теплового состояния отсеков и систем магистрального самолета с сотовыми конструкциями при использовании вероятностного метода // Международная научно-техническая конференция, посвящённая 75-летию со дня основания СибНИА, Новосибирск, 20–21 окт. 2016 г. (в базе РИНЦ).

Прочие издания

1.Аверина Т. А., Змиевская Г. И., Бондарева А. Л., Хилков С. А. Решение уравнений стохастического аналога неравновесной стадии фазового перехода и пористость карбида кремния // Препр. ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2016. 37 с. (в базе РИНЦ)

2.Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Кинетические модели и моделирование многочастичных систем // Естественные и математические науки в современном мире. 2016. № 40. С. 60–69. (в базе РИНЦ)

3.Коротченко М. А., Бурмистров А. В. Моделирование динамики многочастичных ансамблей при использовании кинетических моделей // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 2, вып. 14. С. 324–330. (в базе РИНЦ)

4.Alshevskaya A. A., Lopatnikova J., Krugleeva O., Nepomnyschih V., Lukinov V., Sennikov S. TNF-Alpha Receptors expression on immune cells in atopic dermatitis is associated with disease activity // ЦИТОКИНЕ. 2016. V. 87. 69. (в базе WoS)

Сдано в печать

1.Иванов А. А. Анализ стохастического движения заряженной частицы в магнитном поле методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // СибЖИМ.

2.Марченко М. А., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Комплекс программ АМІКС для численного решения СДУ методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // Выч. технол.

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте

1.Свидетельство № 2016616439 РФ. АМІКС – программа для численного анализа стохастических осцилляторов на массивно-параллельных вычислительных системах : Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Артемьев С. С., Марченко М. А., Корнеев В. Д., Иванов А. А., Смирнов Д. Д.; зарег. 26.02.2016.

Участие в конференциях и совещаниях

1.12-я Междунар. Азиат. школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–17 дек. 2016 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

2.15-я Междунар. конф. "Авиация и космонавтика", Москва, 14–18 нояб. 2016 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

3.1-я Междунар. конф. "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 окт. 2016 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

4."Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", Новороссийск; Абрау-Дюрсо, 5–11 сент. 2016 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

5. Международная конференция "9-й Сибирский конгресс женщин-математиков", Красноярск, 17–20 мая 2016 г. – 1 доклад (Бурмистров А. В.).

6. 17-я Всерос. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 окт. – 3 нояб. 2016 г. – 2 доклада (Бурмистров А. В.).

7. Юбилейная международная научно-техническая конференция, посвящённая 75-летию со дня основания СибНИА, Новосибирск, 20–21 окт. 2016 г. – 1 доклад (Гусев С. А.).

8. Конференция Молодых учёных ИВМиМГ СО РАН 2016 г. – 1 доклад (Смирнов Д. Д.).

9. Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач, Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г. – 1 доклад (Смирнов Д. Д., Иванов А. А.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 6
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 5
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 10
 Монографий, глав в монографиях – 1
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 4
 Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 2
 Публикаций в материалах международных конференций – 6
 Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 1
 Публикаций в прочих изданиях – 4
 Докладов на конференциях – 11

Кадровый состав

1. Артемьев С. С.	зав. лаб., д.ф.-м.н.
2. Аверина Т. А.	с.н.с., к.ф.-м.н.
3. Гусев С. А.	с.н.с., к.ф.-м.н.
4. Бурмистров А. В.	н.с., к.ф.-м.н.
5. Иванов А. А.	м.н.с.
6. Лукинов В. Л.	н.с., к.ф.-м.н.
7. Махоткин О. А.	н.с., к.ф.-м.н.
8. Смирнов Д. Д.	м.н.с.
9. Якунин М. А.	с.н.с., к.ф.-м.н.

Иванов А. А., Смирнов Д. Д. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Артемьев Сергей Семенович	– проф. НГУ
Аверина Татьяна Александровна	– доц. НГУ
Гусев Сергей Анатольевич	– доц. НГТУ
Махоткин Олег Александрович	– доц. НГУ
Лукинов Виталий Леонидович	– доц. СибГУТИ, ассист. НГУ., совм. ВКИ НГУ
Бурмистров Александр Васильевич	– ст. преп. НГУ

Руководство аспирантами

Евсеева В.М. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Артемьев С. С.

Руководство студентами

- Самойлов Н. В. – 1-й курс магистратуры, ММФ НГУ, руководитель Артемьев С. С.
Решетов Г. А. – 1-й курс магистратуры, ММФ НГУ, руководитель Артемьев С. С.
Рогов А. А. – 6-й курс ИВТ СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
Рыбкин О. И. – 4-й курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.
Ведринцев М. А. – 5-й курс ИВТ СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.

Лаборатория стохастических задач

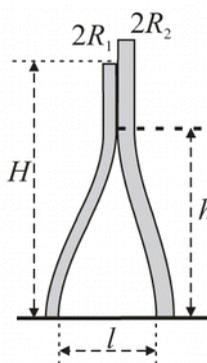
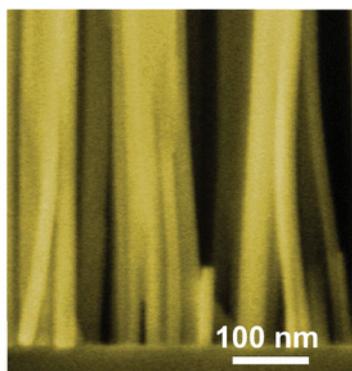
Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

Важнейшие достижения

Стохастическая модель и алгоритмы моделирования процесса выращивания нановискеров методом молекулярно-пучковой эпитаксии.

Д.ф.-м.н. Сабельфельд К. К., к.ф.-м.н. Каблукова А. Г.

Разработаны стохастическая модель и алгоритмы моделирования процессов выращивания GaN нановискеров методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Работа проводилась в сотрудничестве с группой немецких физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин). Проведен цикл экспериментальных и теоретических исследований процессов зарождения, коалесценции и роста нановискеров, формируемых атомами галлия и азота. Удалось объяснить эффект выравнивания нановискеров по высоте в процессе их роста, рассчитаны распределения по диаметрам и высотам в зависимости от многочисленных параметров задачи, таких как плотность нановискеров на подложке, характеристики источника атомов галлия и азота, покрытие подложки, коэффициента поверхностной диффузии атомов галлия, константы рекомбинации атомов на поверхности нановискеров и ряда других параметров процесса роста. Большой практический интерес связан с использованием GaN нановискеров в оптоэлектронике и элементной базе квантовых компьютеров.



Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Kaganer V. M., Fernandez-Garrido S., Dogan P., Sabelfeld K. K., Brandt O. Nucleation, growth and bundling of GaN nanowires in molecular beam epitaxy: Disentangling the origin of nanowire coalescence // *Nano Letters*. 2016. V. 16, N 6. P. 3717–3725.

2. Sabelfeld K. K., Kablukova E. G. Stochastic simulation of nanowire growth in plasma-assisted molecular beam epitaxy // *Comput. Materials Sci*. 2016. V. 125. P. 284–296.

3. Sabelfeld K. K. Splitting and survival probabilities in stochastic random walk methods and applications // *Monte Carlo Methods Appl*. 2016. V. 22, iss. 1. P. 55–72.

Результаты исследований представлены на 11-й конференции и 10-й школе молодых ученых и специалистов по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе "КРЕМНИЙ–2016", Новосибирск, 12–15 сент. 2016 г.

Данная работа получила поддержку Российского научного фонда, грант 14-11-00083.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

1. Исследовано влияние статистических отклонений от средних значений оптических характеристик безоблачной атмосферы и облаков на временное распределение лидарного сигнала от рассеивающей среды. Рассматриваемые модели безоблачной атмосферы построены на основе экспериментальных данных с воспроизведением корреляционной функции между компонентами вектора коэффициентов аэрозольного рассеяния. В модели облачного слоя задано математическое ожидание вертикального профиля коэффициента рассеяния, характерного для облаков типа St, а среднеквадратические отклонения сечения рассеяния описываются стационарным случайным процессом на основе потока Пальма с экспоненциальной корреляционной функцией. Получены временные распределения интенсивности эхо-сигнала, осредненные по случайным реализациям векторных коэффициентов аэрозольного рассеяния и соответствующие коэффициенты корреляции между интенсивностью эхо-сигнала и коэффициентами рассеяния. Численно показано, что при моделировании случайной нижней границы облака средняя интенсивность эхо-сигнала от облачного слоя в начальные моменты времени уменьшается в два раза и более.

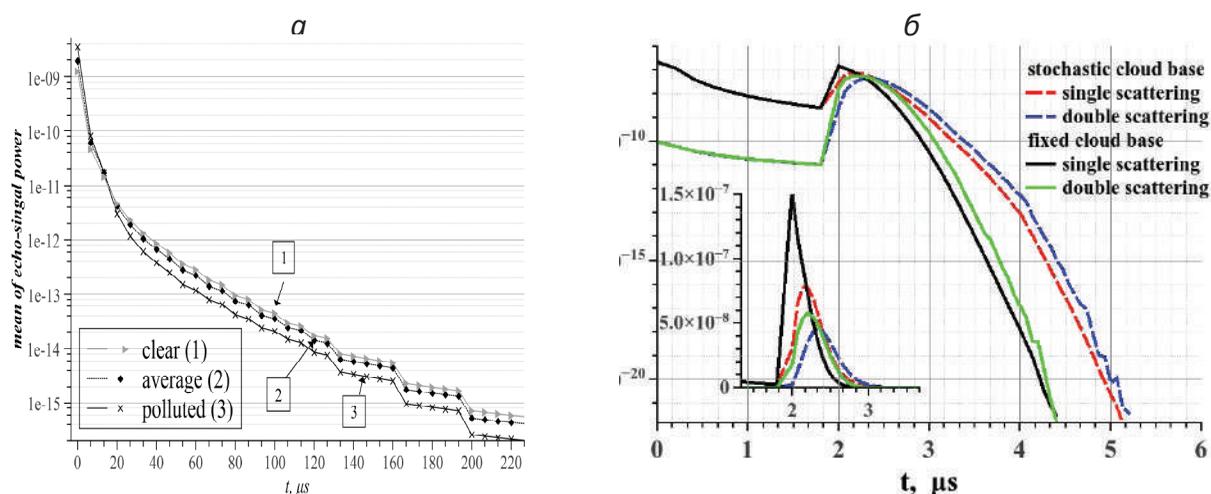


Рис. 1 Средние значения временного распределения интенсивности эхо-сигнала для случайной модели безоблачной атмосферы (а); средние значения временного распределения однократно и двукратно рассеянного излучения для случайной модели облачного слоя со стационарной и случайной нижней границей (б)

2. Исследована возможность восстановления плотности распределения сферических частиц (капель) по размерам в оптически тонких рассеивающих средах по известным значениям индикатрисы рассеяния. Решение задачи основано на обращении интегрального уравнения первого рода. Задача неустойчива к погрешностям начальных данных. Предложен метод решения задачи на основе регуляризации Тихонова. Для минимизации функционала используется один из вариантов метода приведенного градиента с ограничениями на решение. Показано, что предложенный способ обращения уравнения, в отличие от метода наименьших квадратов, удовлетворительно аппроксимирует спектры размеров частиц в облаках для значений индикатрисы рассеяния с уровнем шума порядка 10 %.

3. Сформулирован аналог принципа эквираспределения для стохастических адаптивных сеток, используемых при решении многомерных задач численного интегрирования.

Рассмотрена проблема выбора плотности распределения узлов при реализации алгоритма самоорганизации Кохонена для построения адаптивных сеток при решении задачи численного приближения функций. Для гладких приближаемых функций в одномерном случае предложено использовать в качестве плотности адаптивных узлов корень квадратный из модуля второй производной приближаемой функции.

4. Разработана и реализована двухслойная клеточно-автоматная (КА) модель реакции окисления монооксида углерода (СО) на поверхности платины для динамически изменяющейся температуры поверхности катализатора. Двухслойный КА представляет собой однонаправленную параллельную композицию основного КА моделирующего реакцию окисления, и второго слоя, моделирующего явление теплопроводности на поверхности катализатора. Константы скорости реакции вычисляются с помощью уравнения Аррениуса в зависимости от значений температуры в каждой клетке КА. С помощью реализованного КА исследована динамика реакции при неоднородном начальном нагреве поверхности катализатора: высокая температура в центре катализатора и низкая – по краям. Обнаружены следующие устойчивые состояния реакции окисления: 1) на поверхности образуются кислородные кольца и пятна; 2) поверхность покрывается СО; 3) происходит периодическая смена покрытия поверхности кислородом и СО; 4) покрытие поверхности не образуется.

5. Исследованы свойства моментов распределения кусочно-линейного случайного процесса, построенного на пуассоновских потоках с независимыми одинаково распределенными величинами в пуассоновских опорных точках. Получены точные выражения для математического ожидания, дисперсии, асимметрии и эксцесса как функций от времени. Получены асимптотические выражения для этих функций. Получены точные выражения для корреляционной функции процесса.

6. Получены аналитические выражения для корреляционных функций кусочно-постоянных процессов, основанных на неоднородных потоках с произвольным периодическим параметром распределения интервала между смежными точками потока. Численно показано, что асимптотически процесс является периодически коррелированным.

7. Продолжены исследования приближенных моделей гауссовских периодически коррелированных процессов на основе спектрального представления. Проведены численные исследования точности моделирования в зависимости от числа используемых гармоник. Построены различные модификации моделей: модель векторных периодически коррелированных приближенных гауссовских процессов, в которой случайные амплитуды гармоник представляют собой независимые векторы с заданной корреляционной матрицей, а также порождаемая этим процессом модель скалярного бипериодически коррелированного процесса. Приведены численные примеры периодически коррелированных процессов на основе этого представления. На основе данных многолетних наблюдений построена численная стохастическая модель временных рядов приземной температуры воздуха с учетом суточного хода параметров распределения.

8. Разработан алгоритм моделирования двумерных однородных гауссовских полей для специального класса корреляционных функций. Проводится подготовка разработанных программ моделирования случайных процессов и полей для реализации на суперкомпьютерах.

9. Проведены исследования по разработке на основе данных наблюдений численной стохастической модели совместных рядов максимальной, минимальной приземной температуры воздуха и индикаторов суточных осадков на годовом интервале с учетом годового хода параметров распределений. Построен алгоритм совместного моделирования этих

нестационарных рядов с использованием пороговых преобразований соответствующих латентных гауссовских рядов. Получены общие соотношения, связывающие корреляции латентного гауссовского ряда с корреляциями индикаторного ряда.

10. На основе численной стохастической модели совместных пространственно-однородных полей среднесуточной температуры воздуха и среднесуточной относительной влажности на регулярной сетке с использованием данных наблюдений на сети метеорологических станций Новосибирской обл. проведены исследования характеристик аномальных метеорологических явлений. Получены оценки характеристик неблагоприятных сочетаний рассматриваемых метеорологических параметров.

11. Предложен новый векторный стохастический алгоритм для вычисления итераций больших матриц и матричных градиентов, которые оказываются особенно эффективными при нахождении главного собственного вектора стохастической матрицы, и, в частности, при решении задачи PageLink, используемой в поисковых системах Google.

12. Решена смешанная краевая задача для уравнения Дарси со случайным коэффициентом гидравлической проницаемости. Представлен подход, основанный на разложении решения по стохастическим полиномам Эрмита. Рассчитаны различные эйлеровы и лагранжевы статистические характеристики течения методом Монте-Карло и предложенным методом.

13. Разработана численная статистическая модель переноса лазерного сигнала в системе атмосфера-океан с учетом ветрового волнения морской поверхности в задаче аэрокосмического лазерного зондирования океана.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ 16-31-00038-мол-а "Разработка и качественный анализ алгоритмов численного стохастического моделирования случайных процессов и полей".

Руководитель – к.ф.-м.н. Каргаполова Н. А.

В первый год выполнения проекта разработаны эффективные алгоритмы численного статистического моделирования

– асимптотически периодически коррелированных кусочно-постоянных процессов, основанные на восполнении различных классов неоднородных точечных потоков;

– периодически коррелированных процессов на основе их спектрального представления;

– изотропных и однородных гауссовских полей с невыпуклыми корреляционными функциями.

Также был предложен простой в реализации метод оценки спектрального радиуса оператора, возникающего при оценке среднеквадратической погрешности оценок метода подобных траекторий. Предложенные алгоритмы были использованы для решения задач статистической метеорологии и атмосферной оптики. На основе реальных данных были разработаны

– модели пространственных полей среднемесячной температуры воздуха, а также суммарного за месяц количества осадков, учитывающие характерную для реальных процессов неоднородность корреляционных связей;

– модель нестационарных временных рядов приземной температуры воздуха, учитывающая суточный ход реального метеорологического процесса;

– модель комплекса нестационарных метеорологических процессов (индикатора осадков, минимальной и максимальной суточной температур), учитывающая годовую периодичность (годовой ход) реальных процессов.

Построенные модели были использованы для оценки вероятностей возникновения аномальных и экстремальных метеорологических явлений.

Исследована эффективность весового метода подобных траекторий при решении задач атмосферной оптики применительно к задаче о моделировании оптического явления глории.

Проект РФФИ № 16-01-00145 "Методы статистического моделирования для решения задач активного и пассивного дистанционного зондирования облачной атмосферы".

Руководитель – д.ф.-м.н. Пригарин С. М.

В ходе первого года работы над проектом разработаны и реализованы новые методы и алгоритмы статистического моделирования для решения ряда прямых и обратных задач атмосферной оптики, дистанционного зондирования, а также для исследования радиационного баланса и процессов переноса излучения в океане и облачной атмосфере. Основные результаты за отчетный период получены по следующим направлениям:

– исследование влияния многократного рассеяния излучения на формирование эхосигналов моностатических, бистатических и широкоугольных лидаров для различных оптических сред;

– изучение особенностей распространения зондирующих лазерных импульсов в дисперсных средах;

– разработка новых весовых методов Монте-Карло, которые позволяют на одной марковской цепи одновременно оценивать характеристики поля, отраженного средой излучения для достаточно широкого диапазона длин волн;

– исследование методом Монте-Карло радиационных полей в океане и атмосфере с различными типами облачности и учетом взаимодействия излучения с подстилающей поверхностью;

– разработка новых алгоритмов вычисления коэффициентов диффузии на основе рандомизированных проекционных оценок плотности распределения частиц в электронной лавине для решения задач теории переноса электронов в газе;

– изучение влияния статистических флуктуаций вертикального распределения коэффициента аэрозольного рассеяния на формирование лидарных эхо-сигналов от безоблачной атмосферы;

– разработка методов статистического моделирования и проведение численных экспериментов по наземному зондированию облачного слоя линейно поляризованным излучением терагерцового диапазона для нескольких длин волн из окон прозрачности атмосферы;

– разработка и исследование новых методов моделирования случайных функций для решения прикладных задач оптики атмосферы и океана, где необходимо использование адекватных моделей природных процессов и полей;

– восстановление спектра капель по зашумленным значениям облачной индикатрисы рассеяния.

За отчетный период опубликовано и принято к печати 17 работ, не считая тезисов докладов, среди них 11 публикаций в зарубежных и российских рецензируемых журналах. Результаты исследований представлены на международной (4 доклада) и региональной (1 доклад) конференциях.

Проект РФФИ № 15-01-00977 "Стохастические краевые задачи и их приложения в задачах матфизики и физхимии: модели и методы Монте-Карло на основе случайных блужданий".

Руководитель – д.ф.-м.н. Сабельфельд К. К.

В 2016 г. получены следующие результаты: развиты новые подходы и алгоритмы стохастического моделирования для решения краевых задач со случайными входными данными в части обобщения на случайные поля с достаточно произвольной структурой корреляционного тензора; разработаны новые стохастические алгоритмы рандомизированного вычисления итераций матричных операторов очень высокой размерности. Алгоритмы основаны на случайном блуждании векторных состояний, задаваемых столбцами матрицы. Для уменьшения статистической погрешности предложен метод преобразования исходной матрицы к двойной стохастической. Особый интерес разработанные методы представляют для исследования эволюции марковских цепей с очень большим числом состояний и вычислении стационарного распределения таких марковских процессов. К классу разрабатываемых матричных стохастических методов относится и предложенный нами метод рандомизированного градиентного спуска, который показал хорошие результаты и высокое быстродействие при решении задач минимизации погрешности с помощью рандомизированного проекционного метода.

Проект РФФИ №15-01-01458 "Разработка и исследование численных стохастических моделей случайных процессов и полей для решения задач статистической метеорологии, гидрологии, океанологии и геофизики"

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Огородников В. А.

Основные результаты второго года работы над проектом:

– Получены точные выражения для математического ожидания, дисперсии, асимметрии и эксцесса как функций от времени для кусочно-линейного случайного процесса на пуассоновских потоках с независимыми одинаково распределенными величинами в пуассоновских опорных точках. Получены асимптотические выражения для этих функций.

– Получены аналитические выражения для корреляционных функций кусочно-постоянных процессов, основанных на неоднородных потоках с произвольным периодическим параметром распределения интервала между смежными точками потока. Численно показано, что асимптотически процесс является периодически коррелированным.

– Построены различные модификации приближенных моделей гауссовских периодически коррелированных процессов на основе спектрального представления: модель векторных периодически коррелированных приближенных гауссовских процессов, а также порождаемая этим процессом модель скалярного периодически коррелированного и би-периодически коррелированного процесса.

– Реализован алгоритм моделирования условных негауссовских полей при заданных условиях в виде неравенств.

– На основе спектральной модели гауссовского периодически коррелированного случайного процесса построена численная стохастическая модель временных рядов приземной температуры воздуха с учетом суточного хода параметров распределения.

– Исследуются подходы к оптимизации метода стохастической интерполяции неоднородных случайных полей со станций в узлы регулярной сетки с использованием разработанного в рамках проекта метода оценки степени неоднородности поля по корреляциям.

– Получены характеристики аномальных осадков на основе условных и безусловных моделей пространственных полей суточных сумм жидких осадков. Получены оценки

характеристик неблагоприятных сочетаний среднесуточной температуры воздуха и среднесуточной относительной влажности на основе численной модели пространственных полей этих метеорологических параметров.

– С использованием порогового преобразования элементов гауссовского ряда построен алгоритм численного стохастического моделирования совместных рядов максимальной, минимальной за сутки приземной температуры воздуха и индикаторов суточных осадков на годовом интервале с учетом годового хода параметров распределений. Получены общие соотношения, связывающие корреляции гауссовского и индикаторного рядов.

– Получены достаточные условия сходимости рандомизированных и нерандомизированных моделей морской поверхности в пространствах интегрируемых и непрерывно дифференцируемых функций.

– Построены оптимальные с вычислительной точки зрения спектральные модели поверхности морского волнения для различных спектров и областей моделирования, предназначенные для численного моделирования аномально высоких волн.

– В рамках метода подсеточного моделирования получены эффективные коэффициенты для задачи распространения акустических волн в многомасштабной неоднородной анизотропной среде. Предложенная методика позволяет оценить влияние мелкомасштабных пульсаций на крупномасштабную компоненту геофизических полей.

Результаты работ по проектам РНФ

Проект РНФ № 14-11-00083 "Стохастические и клеточно-автоматные модели и алгоритмы для систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений и их применение к моделированию бимолекулярных реакций и процессов аннигиляции электронов и дырок в нановискерах".

Руководитель – д.ф.-м.н. Сабельфельд К. К.

1. Разработан новый метод стохастического моделирования зарождения и роста нановискеров с учетом всех на сегодняшний день известных механизмов. В работе, опубликованной в 16-м номере журнала Nano Letters за 2016 г., написанной совместно с группой немецких физиков из института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин), исследован эффект коалесценции нановискеров (NW bundling) в процессе роста. В данной работе предложено объяснение коалесценции нановискеров, основанное на принципе минимизации упругой энергии. Идея заключается в том, что два соседних нановискера, при достижении определенной критической длины, находятся в более выгодном состоянии, с точки зрения выигрыша поверхностной энергии за счет упругой энергии, если они коалесцируют, при этом критическая длина нановискера, при которой включается триггер слипания, зависит как от радиусов слипающихся нановискеров, так и от расстояния между ними. Получена простая аналитическая формула для нахождения этой критической высоты, которой достигает нановискер меньшего размера из двух слипающихся нановискеров. Учет коалесценции нановискеров заставляет пересмотреть всю картину формирования и роста, поскольку такие важные характеристики, как распределение по диаметрам, плотность нановискеров на подложке, и заполнение – становятся переменными величинами, которые меняются с высотой и временем выращивания. Эти зависимости подробно изучаются в работе как экспериментально, так и с помощью компьютерного моделирования. В целом можно отметить, что данная работа должна послужить основой для более глубокого исследования процесса выращивания нановискеров методом молекулярно-пучковой эпитаксии.

2. Для решения задачи моделирования роста нановискеров предложена стохастическая модель роста, и предпринято детальное исследование этого процесса с учетом полученной информации о коалесценции нановискеров. Моделирование, с одной стороны, подтвердило сделанное нами ранее предположение о причинах выравнивания высот нановискеров, а с другой – обнаружило другие интересные эффекты, в частности, закон самосохранения двумодального распределения по высотам и сужение этого распределения в условиях, когда плотность нановискеров на подложке не превышает определенной величины, при этом распределение по диаметрам достаточно узкое. Отсюда сделан вывод о возможности выращивания ансамбля нановискеров с весьма узким распределением по высотам, и, более того, физики приступили к экспериментам по данным рекомендациям.

3. Для дальнейшего анализа и усовершенствования разработанного нами кинетического метода моделирования процессов рекомбинации электронов и дырок при наличии дефектов предпринят сравнительный анализ двумерных и трехмерных моделей этих процессов, причем для контроля точности проводилась также реализация клеточно-автоматной модели. Эти исследования выявили характер пространственно-временных корреляций, что позволяет объяснять эволюцию феномена сегрегации в бимолекулярных реакциях. По данному направлению опубликовано несколько работ.

4. По направлению катодоллюминесцентной визуализации удалось решить ряд принципиальных проблем, как физических, так и математических. В результате совместных исследований, проведенных совместно с группой немецких физиков из Института твердотельной электроники (Берлин) удалось сформулировать задачу о расчете контраста катодоллюминесценции на дислокациях в виде уравнения переноса экситонов с третьими граничными условиями, определяющими скорость рекомбинации на границе дислокации и поверхности кристалла. Решение такой задачи опубликовано в наших работах. Сформулирована и доказана теорема взаимности, сводящая исходную задачу с точечным источником экситонов к решению однородной задачи с модифицированными граничными условиями. Для модифицированных краевых задач в этих работах построен экономичный метод стохастического моделирования, позволяющий строить контрастные кривые для метода катодоллюминесценции. Данный подход оказался интересен для экспериментаторов еще и тем, что позволяет определять диффузионную длину экситонов по контрастным кривым. Случай проникающих дислокаций подробно исследован в работе, опубликованной в 121-м выпуске журнала "Statistics and Probability Letters" за 2016 г. Отметим, что предложенный подход, основанный на моделировании траекторий экситонов методом блуждания по сферам и цилиндрам существенно экономичнее традиционных методов. Не менее важным является способность метода работать с геометриями, включающими дефекты и дислокации весьма малых размеров. В разностных методах это требует выбора сетки, которая измельчается по мере приближения к границам дефектов, что трудоемко как с точки зрения написания программ, так и с точки зрения времени вычислений. Особенно остро это проявляется при наличии сдвиговых внешних сил, когда приходится использовать уравнения диффузии-дрифта. Нам удалось построить обобщение алгоритма блуждания по сферам и для этого случая. Оказалось, что дрейфовый вектор порождает распределение на сфере, совпадающее с распределением фон Мизеса – Фишера, известного в статистике. Удалось построить простой и весьма экономичный метод моделирования точек на сфере, выбираемых в соответствии с этим распределением.

Следует отметить, что разработанный метод применим и к случаю, когда внешний вектор сдвига меняется в пространстве. Это будет далее использоваться в запланированных

работах по расчету контрастных кривых и визуализации дислокаций при наличии переменного потенциала вокруг дислокаций. Подготовлена публикация, в которой проведен анализ экспериментальных данных с помощью разработанных математических методов.

Еще одна трудность при решении задач катодолюминесценции – наличие плоской части границы (подложки) с условием частичного отражения. В этом случае моделирование отражений напрямую оказывается трудоемким. Для решения данной проблемы предложена модификация алгоритма блуждания по сферам, которая существенно повышает его эффективность. Результаты упомянутых исследований представлены в монографии, в которой также представлены стохастические алгоритмы, лежащие в основе всех методов моделирования, развитых в рамках данного проекта РФФ.

Публикации

Монографии, главы в монографиях

1. Sabelfeld K., Simonov N. A. Stochastic methods for boundary value problems. Berlin: Walter de Gruyter, 2016, 200 p. *(в базе Scopus)*
2. Kireeva A. Two layer asynchronous cellular automata // Designing Beauty: The Art of Cellular Automata / Ed.: Adamatzky A., Martinez G. J. Emergence, Complexity and Computation. Vol. 20. Springer, 2016. P. 119–120 (ISBN 978-3-319-27270-2).

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Mikhailov G. A., Prigarin S. M., Rozhenko S. A. Weighted Monte Carlo estimators for angular distributions of the solar radiation reflected from a cloud layer // Russ. J. of Num. Analysis and Math. Modelling. 2016. V. 31, No 4. P. 197–205. *(в базах Scopus, Wos)*
2. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г., Креков М. Г. Численное исследование влияния спектра размеров капель на деполяризацию терагерцового эхосигнала // Изв. вузов. Физика. Тематический выпуск. 2016. Т. 59, № 12/2. С. 41–146. *(в базе Wos)*
3. Пригарин С. М. Статистическое моделирование эффектов, связанных с многократным рассеянием импульсов наземных и космических лидаров в облачной атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 9. С. 747–751. *(в базе РИНЦ)*
4. Сабельфельд К. К., Киреева А. Е. Дискретное стохастическое моделирование рекомбинации электронов и дырок в 2D- и 3D-неоднородных полупроводниках // Прикладная дискретная матем. 2016. № 4(34). С. 110–127. *(в базе РИНЦ; перевод в базе Scopus)*
5. Сабельфельд К. К., Киреева А. Е. Параллельная реализация стохастической клеточно-автоматной модели рекомбинации электронов и дырок в 2D и 3D неоднородных полупроводниках // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Вычисл. матем. и информ. 2017, № 6(1), С. 87–103.
6. Ogorodnikov V. A., Sereseva O. V., Kargapolova N. A. Stochastic models of piecewise-constant and piecewise-linear non-Gaussian processes based on Poisson flows // Russ. J. Num. Anal. Math. Modelling. 2016. Vol. 31. № 3. P. 179–185. *(в базах Scopus, Wos)*

Зарубежные издания

1. Babicheva G. A., Kargapolova N. A., Ogorodnikov V. A. Special algorithms for the simulation of homogeneous random fields // Num. Analysis and Appl. 2016. Vol. 9. № 2. С. 95–106. *(в базах Scopus, Wos)*
2. Hahn K., Massopust P. R., Prigarin S. A new method to measure complexity in binary or weighted networks and applications to functional connectivity in the human brain // BMC Bioinformatics. 2016. Vol. 17, iss. 87. DOI 10.1186/s12859-016-0933-9. *(в базах Scopus, Wos)*

3. Sabelfeld K. K. A random walk on spheres based kinetic Monte Carlo method for simulation of the fluctuation-limited bimolecular reactions // *Math. and Comput. in Simulation*. V. 2016. DOI:10.1016/j.matcom.2016.03.011. (в базе *Wos*)

4. Kaganer V. M., Fernandez-Garrido S., Dogan P., Sabelfeld K. K., Brandt O. Nucleation, growth and bundling of GaN nanowires in molecular beam epitaxy: Disentangling the origin of nanowire coalescence // *Nano Letters*. 2016. Vol. 16, No 6. P. 3717–3725. DOI:10.1021/acs.nanolett.6b01044 (в базе *Wos*)

5. Sabelfeld K. K. Stochastic projection methods and applications to some nonlinear inverse problems of phase retrieving // *Math. and Comput. in Simulation*. Vol. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matcom.2016.08.001> (в базе *Wos*)

6. Sabelfeld K. K. Splitting and survival probabilities in stochastic random walk methods and applications // *Monte Carlo Methods Appl.* 2016. Vol. 22, iss. 1. P. 55–72. (в базе *Scopus*)

7. Sabelfeld K. K. Random walk on semi-cylinders for diffusion problems with mixed Dirichlet-Robin boundary conditions // *Ibid.* Vol. 22, iss. 2. P. 117–131. (в базе *Scopus*)

8. Sabelfeld K. K. Vector Monte Carlo stochastic matrix-based algorithms for large linear systems // *Monte Carlo Methods Appl.* 2016. Vol. 22, iss. 3. (в базе *Scopus*)

9. Sabelfeld K. K., Kablukova E. G. Stochastic simulation of nanowire growth in plasma-assisted molecular beam epitaxy // *Comput. Materials sci.* 2016. Vol. 125. P. 284–296. (в базах *Scopus, Wos*)

10. Sabelfeld K. K. A mesh free floating random walk method for solving diffusion imaging problems // *Stat. and Probab. Letters*. Vol. 121. P. 6–11. [Electron. resource]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spl.2016.10.006>. (в базе *Wos*)

11. Sabelfeld K. K. Random walk on spheres method for solving drift-diffusion problems. *Monte Carlo Methods Appl.* 2016. Vol. 22, iss. 4. P. 265–281. (в базе *Scopus*)

12. Kablukova E. G., Kargin B. A., Lisenko A. A., Matvienko G. G. Numerical simulation of polarization characteristics of an echo signal in the process of ground-based cloud sensing in the terahertz range // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2016. Vol. 29, iss. 1. P. 33–41, 33. doi:10.1134/S1024856016010073 (в базе *Scopus*)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Kablukova E. G., Prigarin S. M. Monte Carlo simulation of specific features of radiation regime in clouds caused by underlying surface // *Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100351N, Nov. 29, 2016*. DOI: 10.1117/12.2248976. (в базе *Scopus*)

2. Kargapolova N. A. Monte Carlo simulation of piecewise-constant periodically correlated processes // *Proc. of the European simulation and modelling conf., Belgium, 2016*. P. 79–83. (в базе *Scopus*)

3. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г. Численное моделирование поляризационных характеристик эхо-сигнала при наземном зондировании облаков в терагерцовом диапазоне // *Труды 25-й Всерос. открытой научной конф. "Распространение радиоволн"*, Томск, 4–9 июля 2016 г. Т. 2. С. 31–34.

4. Kargin B. A., Kargin A. B., Prigarin S. M. A statistical model for optical radiation transfer in the ocean-atmosphere system // *Proc. SPIE 10035, 22nd Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 100352S, Nov. 29, 2016*. DOI:10.1117/12.2249502N. DOI:10.1117/12.2248976. (в базе *Scopus*)

5. Kargin B. A., Kablukova Y. G. A numeric estimate of the sensitivity of the land-based LIDAR echo signal to statistical variations of the aerosol scattering coefficient in a cloudless

atmosphere. // Proc. SPIE 10035, 22nd Intern. symp. atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 1003552, Nov. 29, 2016. DOI: 10.1117/12.2249503.

6. Каргин Б. А., Каблукова Е. Г. Численная оценка чувствительности эхо-сигнала лидара наземного базирования к статистическим вариациям коэффициента аэрозольного рассеяния безоблачной атмосферы // Материалы 22-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г. [Электрон. ресурс]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2016. С. С82–С85.

7. Каргин Б. А., Каргин А. Б., Пригарин С. М. Статистическая модель переноса оптического излучения в системе океан-атмосфера // Там же. С.Р6–Р9.

8. Пригарин С. М., Миронова Д. Э. Статистическое моделирование распределений фотонов в оптической среде при рассеянии лазерных импульсов // Там же. С. В74–В77

9. Каблукова Е. Г., Пригарин С. М. Статистическое моделирование особенностей радиационного режима в облачности, обусловленных подстилающей поверхностью // Там же. С. СВ70–В73.

10. Сушкевич Т. А., Стрелков С. А., Максакова С. В., Козодеров В. В., Фомин Б. А., Фалалеева В. А., Краснокутская Л. Д., Белов В. В., Тарасенков М. В., Пригарин С. М. Особенности моделирования радиационного форсинга на климат в регионе Арктики // Там же. С. CD19-D22.

11. Каргаполова Н. А. Об одном алгоритме моделирования асимптотически периодически коррелированных случайных процессов на основе неоднородных пуассоновских точечных потоков // Труды конф. молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, 11–13 апр. 2016 г. Новосибирск: ИВМиМГ, 2016 (в базе РИНЦ)

12. Kargapolova N. A. Algorithms for numerical simulation of piecewise-constant periodically correlated processes based on different types of point flows // Proc. of the 4th stochastic modeling techniques and data analysis International conference with demographics workshop, Malta, 2016. P. 183–191.

13. Prigarin S. M., Mironova D. E. Stochastic simulation of 3D distributions for laser pulses scattered in optical media // Proc. SPIE 10035, 22nd International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 100351M, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2248964 (в базе Scopus)

14. Kireeva A. E., Sabelfeld K. K. Parallel implementation of stochastic cellular automata model of electron-hole recombination in a semiconductor // Proc. of the 10th Annual Intern. scientific conference on parallel computing technologies, Arkhangelsk, March 29–31, 2016. Vol. 1576. urn:nbn:de:0074-1576-1. P. 167–180. (в базе Scopus)

15. Сабельфельд К. К., Киреева А. Е. Параллельная реализация стохастической клеточно-автоматной модели рекомбинации электронов и дырок в полупроводнике // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016). 2016. С. 167–180. (в базе РИНЦ)

Прочие издания

1. Prigarin S. M., Kablukova E. G., Zabinyako G. I. On derivation of the size distribution of cloud droplets from the phase function // Bull. NCC. Ser. Num. Analysis. 2016. Vol. 18. P. 49–56. (в базе РИНЦ)

2. Сересева О. В. Разработка алгоритмов численного статистического моделирования специальных негауссовских случайных процессов и полей. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2016. 16 с.

3. Kargapolova N. A. Stochastic weather generator based on non-linear transformations of Gaussian processes // 5th Data Analysis and Modeling of the Earth System conference. Abstracts booklet., Germany, 2016, p. 62

4. Kargapolova N. A. Monthly average temperatures and precipitation stochastic simulation in the Lake Baikal region // Program and Proc. of the 3rd workshop on stochastic weather generators. France, 2016. P. 25.

5. Ogorodnikov V. A., Sereseva O. V., Kargapolova N. A. Numerical stochastic models of conditional meteorological fields // Ibid. P. 34.

6. В.А. Огородников, С.С. Скворцов. Численная стохастическая модель совместных полей температуры и относительной влажности // Тезисы докладов XXIII Рабочей группы "Аэрозоли Сибири", Томск, 2016, с. 42.

Учебные пособия

1. Каргаполова Н. А. Стохастические модели метеорологических процессов. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. ISBN 978-5-4437-0541-5.

2. Каргаполова Н. А., Огородников В. А. Алгоритмы численного моделирования случайных процессов с периодическими характеристиками. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2016. ISBN 978-5-4437-0567-5.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Конференция молодых ученых Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 11–13 апр. 2016 г., – 2 секционных доклада (Каргаполова Н. А., Сересева О. В.).

2. Международная конференция "Параллельные вычислительные технологии 2016" (ПаВТ) – 1 секционный доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.)

3. 22-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", 2016 г., Томск – 3 доклада, из них 1 пленарный (Каргин Б. А., Каргин А. Б., Пригарин С. М., Каблукова Е. Г.).

4. International workshop on nitride semiconductors (IWN 2016), Oct. 2–7, 2016, Orlando (USA) – 1 секционный доклад (Feix F., Flissikowski T., Sabelfeld K. K., Kaganer V. M., Grahn H. T., Brandt O.).

5. 11-я конференция "Стохастическое моделирование роста нановискеров" и 10-я школа молодых ученых и специалистов по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе "Кремний–2016", Новосибирск, 12–15 сент. 2016 г., – 3 секционных доклада (Сабельфельд К. К.).

6. Симпозиум "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии" в рамках 10-й Международной конференции по биоинформатике регуляции и структуры геномов и системной биологии ("Bioinformatics of genome regulation and structure systems biology – BGRS / SB-2016"). Новосибирск, 29 авг. – 2 сент. 2016 г. – 1 пленарный доклад (Сабельфельд К. К.).

7. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Сабельфельд К. К., Шалимова И. А.).

8. The 30th European simulation and modelling conference, Лас-Пальмас (Испания), 26–26 окт. 2016 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

9. The 5th data analysis and modeling of the earth system conference, Гамбург (Германия), 26–28 сентября 2016 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

10. The 4th stochastic modeling techniques and data analysis Intern. conf., Валетта (Мальта), 1–4 июня 2016 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

11. The 3rd workshop on stochastic weather generators, Ванн (Франция), 17–20 мая 2016 г. – 2 доклада (Каргаполова Н. А., Огородников В. А., Сересева О. В.).

12. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", Новосибирск, 18–22 дек. 2016 г. – 1 доклад (Левыкин А. И.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Войтишек А. В.:

– член оргкомитета конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 11–13 апреля 2016 г.;

– член научного комитета секции "Математика" 54-й Международной студенческой научной конференции "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г.

2. Сабельфельд К. К.:

– член научного комитета секции "Математика" 54-й Международной студенческой научной конференции "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г.;

– член программного комитета 8-й конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 2016 г.

3. Пригарин С. М. – член программного комитета 8-й конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 2016 г.

4. Огородников В. А. – член программного комитета 8-й конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 10

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 17

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 5

Монографий, глав в монографиях – 4

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 6

Публикаций в зарубежных изданиях – 12

Публикаций в материалах международных конференций – 15

Публикаций в прочих изданиях – 6

Докладов на конференциях – 15, из них 2 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 6

Кадровый состав

1. Каргин Б. А.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Войтишек А. В.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Сабельфельд К. К.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
4. Огородников В. А.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
5. Пригарин С. М.	в.н.с.	д.ф.-м.н.

6. Шалимова И. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
7. Левыкин А. И.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
8. Ухинова О. С.	н.с.	к.ф.-м.н.
9. Каблукова Е. Г.	н.с.	к.ф.-м.н.
10. Каргаполова Н. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
11. Киреева А. Е.	н.с.	к.ф.-м.н.
12. Сересева О. В.	м.н.с. (0,5)	к.ф.-м.н.
13. Каргин А. Б.	ведущ. инженер	

Сересева О. В., Киреева А. Е., Каргаполова Н. А. – молодые научные сотрудники

Педагогическая деятельность

Каргин Б. А.	– профессор НГУ
Пригарин С. М.	– профессор НГУ
Войтишек А. В.	– профессор НГУ
Левыкин А. И.	– доцент НГУ
Шалимова И. А.	– доцент НГУ
Каргаполова Н. А.	– доцент НГУ
Сабельфельд К. К.	– профессор НГУ
Огородников В. А.	– профессор НГУ

Руководство аспирантами

1. Алешина Т.В. – 1-й год, НГУ, руководитель Пригарин С.М.
2. Анисова М. А. – 3 год, ИВМ и МГ, руководитель Войтишек А.В.
3. Дульзон О. В. – 1-й год, НГУ, руководитель Шалимова И.А.
4. Еремеев Г. В. – 1-й год, НГУ, руководитель Сабельфельд К. К.
5. Коковякин Д. Г. – 1-й год, руководитель Сабельфельд К. К.
6. Скворцов С. С. . – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Огородников В. А.
7. Бабичева Г. А. . – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Огородников В. А.
8. Медвяцкая А. М. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Огородников В. А.
9. Сагоякова Е. Р. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Огородников В. А.

Руководство студентами

1. Абдразакова А. Р. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Войтишек А. В.
2. Алдохин А. С. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Войтишек А. В.
3. Шипилов Н. М. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Войтишек А. В.
4. Заковряшин А. В. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Пригарин С. М.
5. Миронова Д. Э. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Пригарин С. М.
6. Рыбдылова Г. С. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Пригарин С. М.
7. Андорный Е. Н. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Сабельфельд К. К.
8. Прасол Д. А. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Сабельфельд К. К.
9. Никушкин Н. Ю. – 2-й год магистратуры НГУ, руководитель Огородников В. А.

Лаборатория вычислительной физики

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Важнейшие достижения

Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU.

Исследована эффективность применения графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках. Распараллеливание осуществляется методом декомпозиции расчетной области на подобласти, сопрягаемые без наложения, основанном на прямой конечно-разностной аппроксимации уравнения Пуанкаре – Стеклова на интерфейсе. Возникающий при этом итерационный процесс по подобластям распараллеливается на CPU. Для выполнения процедуры решения подзадач в подобластях, отнимающей наибольшую часть времени решения всей задачи, применяется метод Писмана – Речфорда, который обладает быстрой сходимостью. Его распараллеливание осуществляется на GPU в системе CUDA. Показано, что применение графических ускорителей значительно (более чем в 60 раз) сокращает время решения задачи по сравнению с расчетами только на CPU.

Д.ф.-м.н Свешников В. М., Климонов И. А., к.ф.-м.н. Корнеев В. Д.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.4.1.2 "Математическое моделирование сложных природных процессов с использованием параллельных и распределенных вычислений".

Номер государственной регистрации НИР 01201370231.

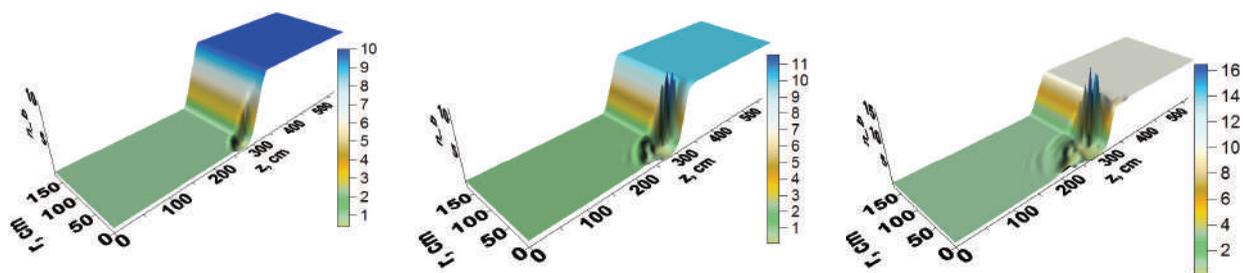
Руководители: д.ф.-м.н. Вшивков В. А., д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Разработаны и экспериментально исследованы новые "сверхпараллельные" неявные итерационные методы наименьших квадратов в подпространствах Крылова с полиномиальными предобуславливателями на основе чебышевского ускорения.

Проведены исследования применимости метода полусопряженных невязок с предобуславливанием по методу Якоби для решения модельной краевой задачи трехмерного уравнения Навье – Стокса в кубической области методом декомпозиции расчетной области.

Рассмотрены фундаментальные вопросы математического моделирования при решении междисциплинарных задач на современных многопроцессорных вычислительных системах постпетафлопсного уровня. Проведена многомерная классификация прикладных проблем по производственным отраслям, по типам научных приложений, по виду математических постановок, а также по особенностям применяемых вычислительных методов и информационных технологий. Сформулированы проблемы высокой производительности и интеллектуальности математического и программного обеспечения, а также предложены пути их решения.

Предложен, реализован и исследован алгоритм решения трехмерной внешней краевой задачи для уравнения Гельмгольца методом декомпозиции расчетной области с пересечением.



Проведено экспериментальное исследование нового подхода к решению трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа методом декомпозиции расчетной области без пересечения с условиями типа Нейман – Нейман.

Предложены новые способы построения квазиструктурированных локально модифицированных сеток. Качество построенных сеток проверено на примере решения модельной краевой задачи в области с криволинейными границами.

Предложены, теоретически и экспериментально исследованы алгоритмы распределения объемного заряда на неструктурированных тетраэдральных сетках и квазиструктурированных параллелепипедальных сетках.

Исследованы структуры возмущений, генерируемых при разлете облака плазмы сложного состава в однородном (или неоднородном) плазменном фоне, при помощи гибридной модели для моделирования нестационарных процессов взаимодействия плазменных потоков в лабораторной и космической плазме

На рисунке приведены графики плотности фона в случае неоднородного плазменного фона и облака сложного состава, состоящего из водорода (50 %) и углерода (50 %), в последовательные моменты времени.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 14-07-00128 "Параллельные алгоритмы и программное обеспечение методов декомпозиции областей".

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработано и исследовано семейство мультипредобусловленных методов полусопряженных направлений (MPSCD), основанное на свойствах A_q -ортогонализации векторов при $q = 0,1$ и обеспечивающее в случае симметричности матрицы A или значения $q = 1$ минимизацию нормы невязки в блочных подпространствах Крылова с меняющимся от итерации к итерации составом применяемых предобуславливающих матриц, что дает значительное обобщение и развитие подходов к построению гибких, или динамических, предобусловленных алгоритмов обобщенных минимальных невязок (FGMRES), имеющих широкое распространение в вычислительном сообществе и эквивалентных по скорости сходимости предложенным подходам MPSCD.

Разработаны и экспериментально исследованы алгебро-геометрические принципы ускорения двухуровневых итерационных методов декомпозиции сеточных подобластей в подпространствах Крылова на основе оптимизируемых блочных представлений Якоби – Шварца и формирования дополнительных дефляционных подпространств с применением малоранговых аппроксимаций исходных матриц и грубосеточной коррекции искомого решения путем использования базисных функций различных порядков. Предложены также оригинальные алгоритмы полиномиального предобуславливания крыловских процессов

с помощью экономичного чебышевского ускорения и решения вспомогательной задачи наименьших квадратов малой размерности, обеспечивающие кардинальное сокращение ресурсоемких и энергозатратных коммуникационных операций, а в итоге – значительное повышение масштабируемости параллельных вычислений на современных гибридных архитектурах кластерных суперкомпьютеров. На внешних итерациях по подобластям используются или стабилизированные методы бисопряженных направлений (BiCGStab или BiCRStab), или алгоритмы MPSCR, или FGMRES. Решение вспомогательных СЛАУ в подобластях осуществляется синхронно с помощью прямых или итерационных методов. Для подобластей специального вида, где вспомогательные краевые задачи допускают разделение переменных, предложен аддитивный вариант неявных методов переменных направлений, обладающий сверхвысокой степенью параллелизма, достигаемой за счет разложения дробно-рациональной функции в сумму простых дробей. Разработаны также методы декомпозиции для решения актуальных внешних трехмерных краевых задач на основе представления расчетной области совокупностью двух параметрически пересекающихся подобластей, ограниченной и неограниченной, причем в первой из них применяются сеточные алгоритмы конечных элементов или конечных объемов, а во второй – интегральные выражения для решения.

Предложенные и исследованные параллельные алгоритмы реализованы в составе библиотеки программ KRYLOV для высокопроизводительного решения широкого класса задач вычислительной алгебры, концептуально представляющей собой интегрированное инструментальное окружение, ориентированное на автоматизированное построение алгоритмов с целью повышения производительности труда разработчиков и активное внедрение в практику решения задач компьютерного моделирования конечными пользователями с различной профессиональной подготовкой. Разработанное математическое и программное обеспечение предназначено для масштабированного распараллеливания на современных гетерогенных архитектурах суперкомпьютерных кластеров, без формальных ограничений на число степеней свободы и числа используемых вычислительных устройств, включая графические ускорители GPU. Реализация параллельных алгоритмов на многоядерных центральных процессорных устройствах (CPU) осуществляется средствами гибридного программирования трех типов: на верхнем итерационном уровне – с помощью системы передачи сообщений MPI, а на нижнем уровне – путем организации многопоточковых вычислений и применения векторизации арифметических операций (технологии OpenMP и AVX). На графических ускорителях распараллеливание реализуется средствами системы CUDA. Вычислительное ядро библиотеки включает методы автоматизированной двухуровневой сбалансированной декомпозиции сеточных подобластей с помощью технологии разделения графов, представленных в сжатом разреженном формате CSR, алгоритмы минимизации межпроцессорных коммуникаций на основе формирования буферов информационных обменов, а также средства тестирования итерационных процессов на каталогизированном наборе методических СЛАУ или с использованием доступных международных матричных коллекций типа MATRIX MARKET или FLORIDA. Значительное внимание при реализации библиотеки уделено повышению производительности вычислений за счет оптимизации программного кода и активного использования высокоэффективных матрично-векторных функций из общедоступных библиотек SRARSE BLAS и MKL INTEL.

Проект РФФИ № 16-01-00168 "Разработка алгоритмов и технологий численного моделирования задач электрофизики в сложных областях на квазиструктурированных несогласованных сетках".

Руководитель – д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Разработаны алгоритмы и технологии построения квазиструктурированных сеток в плоских или осесимметричных геометрически сложных областях. Предложены и реализованы алгоритмы и технологии локальной модификации квазиструктурированных сеток с сохранением структурированности подсеток, что важно для эффективного решения задач электрофизики. Качество построенных сеток подтверждено результатами численного решения серии методических задач.

Разработаны алгоритмы и технологии применения графических ускорителей (GPU) при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках. Экспериментально показано значительное (до 60 раз) ускорение вычислений по сравнению с расчетами только на центральном процессоре.

Предложены и обоснованы новые алгоритмы решения внешних краевых задач методом декомпозиции расчетной области без пересечения.

Получены аналитические выражения, являющиеся основой построения кусочно-аналитических схем интегрирования уравнений движения заряженных частиц.

Результаты работ по проектам РФФ

Проект РФФ № 14-11-00485 "Высокопроизводительные методы и технологии моделирования электрофизических процессов и устройств".

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Предложен и исследован ряд методов решения нестандартных многомерных краевых задач, в том числе с помощью декомпозиции областей, а также разработаны новые итерационные алгоритмы линейной алгебры. Полученные результаты применяются участниками проекта к решению электрофизических задач, однако разработанные методы и технологии имеют достаточно общий характер и могут эффективно применяться в других актуальных приложениях.

Для моделирования трехмерных полей, описываемых уравнениями Лапласа или Гельмгольца в неограниченных областях со сложной геометрией границы и условием излучения на бесконечности предложены и исследованы различные варианты методов декомпозиции расчетной области на две подобласти, одна из которых ограниченная, а вторая – неограниченная. Рассматривались случаи непересекающихся подобластей или с разными величинами пересечений, варьировались типы условий на внутренних границах и изучались свойства сходимости итераций по подобластям в широком диапазоне частот. При этом во внутренней подобласти со сложной геометрией границы решение вычисляется универсальными методами конечных объемов или конечных элементов, а решение внешней краевой задачи для второй подобласти экономично рассчитывается с помощью интегрального представления. Свойства разработанных алгоритмов в отношении достигаемой точности и скорости сходимости итераций исследованы экспериментально на представительном наборе тестовых задач.

Получены также следующие результаты теоретического и методического характера: для стационарного режима предложены и исследованы методы решения уравнений диффузии и двухскоростной гидродинамики с одним давлением, которые являются переопределенной системой и представляют интерес для ряда электрофизических приложений. Для второй задачи устанавливается необходимое условие разрешимости с помощью так называемого множителя Лагранжа. При исследовании рассматриваемой краевой задачи используется смешанная обобщенная постановка, для решения регуляризированной версии которой используются векторные конечные элементы Неделека на тетраэдрах.

Основные успехи в области итерационных методов решения симметричных и несимметричных СЛАУ в последние десятилетия связаны с развитием предобусловленных алгоритмов в подпространствах Крылова. Одним из популярных направлений в работах ряда зарубежных авторитетных авторов оказались подходы индуцированной редукции размерностей (IDR), определяемые с помощью специальных ортогональных подпространств Сонневельда. Показано, что данное семейство алгоритмов является развитием итерационных процессов в подпространствах Крылова с использованием ускоряющих известных приемов дефляции, или агрегации, на основе малоранговой аппроксимации исходной матрицы.

Проведены исследования "неявного" итерационного процесса крыловского типа, в котором базисные векторы подпространств вычисляются циклически на основе трехчленных формул чебышевского ускорения, а минимизация функционала невязки осуществляется с помощью решения вспомогательной переопределенной задачи малой размерности методами наименьших квадратов (МНК). Предложенные блочные МНК в подпространствах Крылова дают кардинальное повышение быстродействия при распараллеливании на МВС, поскольку позволяют вычислять многочисленные скалярные произведения одновременно на "своих" процессорах. При этом сокращается не только общий объем передаваемых данных, но и число коммуникационных операций, которые не только существенно замедляют вычислительный процесс, но и являются наиболее энергозатратными. Результаты экспериментальных исследований вариантов МНК на представительном наборе методических СЛАУ подтверждают теоретические оценки сходимости итераций и обнаруживают удовлетворительную устойчивость. Рассмотренные подходы расширяют теоретические представления о возможных обобщениях процессов в подпространствах Крылова и открывают новые конструктивы к построениям эффективных алгоритмов для решения практических задач.

Для решения многомерных задач сильноточной электроники с интенсивными пучками заряженных частиц предложены и разработаны адаптивные квазиструктурированные несогласованные сетки нового типа. Для их построения расчетная область разбивается структурированной параллелепипедальной макросеткой на подобласти, в каждой из которых строится своя структурированная подсетка. Адаптация сеток осуществляется за счет регулировки плотности распределения узлов параллелепипедальных подсеток и путем построения в граничных подобластях тетраэдральных неструктурированных подсеток.

Для распараллеливания расчета потенциала электрического поля предложен метод прямой аппроксимации интерфейсного уравнения типа Пуанкаре – Стеклова, который требует построения матрицы СЛАУ лишь в подобластях, предполагает несогласованные подсетки и допускает эффективное применение быстро сходящихся методов в подпространствах Крылова. Дальнейшие разработки по ускорению вычислений были реализованы с применением графических ускорителей. Наибольший объем вычислений приходится на решение подзадач в подобластях, осуществляемое с помощью трехмерного аналога метода Писмана – Рэчфорда. В его основе лежит выполнение прогонок для решения трехдиагональных систем, которые допускают эффективную параллельную реализацию в системе CUDA. Проведенные численные эксперименты показали значительное (до 60 раз) ускорение по сравнению с расчетами без GPU.

Продолжались работы над развитием концепции, архитектуры и функционального наполнения базовой системы моделирования (БСМ) как интегрированного инструментального окружения, ориентированного на поддержку всех основных технологических этапов моделирования на суперкомпьютерах постпетафлопного уровня.

**Результаты работ по научно-исследовательским программам,
проектам РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН**

Программа Президиума РАН № 8, проект № 15.5 "Новые информационные и вычислительные технологии для решения актуальных проблем естествознания, в частности, задач геофизики и атмосферной оптики".

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработаны и экспериментально исследованы новые "сверхпараллельные" неявные итерационные методы наименьших квадратов (МНК) в подпространствах Крылова с полиномиальными предобуславливателями на основе чебышевского ускорения, обеспечивающие эффективный масштабируемый параллелизм для решения сверхбольших систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с разреженными матрицами, возникающими при сеточных аппроксимациях многомерных краевых задач математического моделирования.

Программа ОМН РАН № 3, проект 17.4 "Современные вычислительные технологии решения больших задач естествознания, геофизики, физики атмосферы и океана и охраны окружающей среды, в том числе, в интересах Арктики и Сибири".

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Рассмотрены фундаментальные вопросы математического моделирования при решении междисциплинарных прямых и обратных задач на современных многопроцессорных вычислительных системах постпетафлопсного уровня. Выполнена многомерная классификация прикладных проблем по производственным отраслям, типам научных приложений, виду математических постановок, а также по особенностям применяемых вычислительных методов и информационных технологий. Сформулированы проблемы высокопроизводительности и интеллектуальности математического и программного обеспечения, а также предложены пути их решения.

Публикации**Зарубежные издания**

1. Il'in V. P., Skopin I. N. About performance and intellectuality of supercomputer modeling // Programming And Computer Software. 2016. Vol. 42, iss. 1. P. 5–16. (в базах *Wos, Scopus*)

2. Il'in V. P. Fundamental issues of mathematical modeling // Herald Of The Russian Academy Of Sciences. 2016. Vol. 86, iss. 2. P 118–126. (в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)

3. Il'in V. P. Problems of parallel solution of large systems of linear algebraic equations // J. of Mathem. Sci. 2016. Vol. 216, N 6. P. 795–804. (в базах *Scopus, РИНЦ*)

4. Gorbenko N. I., Il'in V. P. The additive Peaceman – Rachford method // Ibid. P. 753–760.

(в базах *Scopus, РИНЦ*)

5. Butyugin D. S., Gurieva Y. L., Ilin V. P., Perevozkin, D. V. Some geometric and algebraic aspects of domain decomposition methods – domain decomposition methods in science and engineering XXII // Lecture Notes in Computational Science and Engineering. 2016. Vol. 104. P 117–125. (в базах *Wos, Scopus, РИНЦ*)

6. Korneev V. D., Sveshnikov V. M. Parallel algorithms and domain decomposition techniques for solving three-dimensional boundary value problems on quasi-structured grids // Num. Analysis And Appl. 2016. Vol. 9, iss. 2. P 141–149. (в базах *Wos, Scopus*)

7.Savchenko A.O., Il'in V.P., Butyugin D. S. A method for solving an exterior three-dimensional boundary value problem for the Laplace equation // J. of Appl. and Industrial Math. 2016. Vol. 10, iss. 2. P. 277–287. (в базе Scopus)

8.Klimonov I. A., Korneev V. D., Sveshnikov V. M. Studying the effectiveness of graphics accelerators paralleling solutions of three-dimensional boundary value problems on quasi-structured grids // Proc. of the 10th Annual Intern. scientific conference on parallel computing technologies, Arkhangel'sk, March 29–31, 2016. Vol. 1576. P 181–190. (в базе Scopus)

9.Vshivkova L., Dudnikova G., Vshivkov K. Hybrid numerical model of shock waves in collisionless plasma // Proc. of the 8th Intern. conf. "Application of mathematics in technical and natural sciences", Albena (Bulgaria), June 22–27, 2016. Vol. 1773, iss. 1. ID. 110017 (в базе Scopus)

10.Savchenko A., Petukhov A. An overlapping domain decomposition for the Helmholtz exterior problem // Lect. Notes in Comput. Sci. Springer, 2016. P 704–710. (в базе Scopus)

11.Vshivkova L., Dudnikova G. Hybrid model of particle acceleration on a shock wave front // Lect. Notes in Comput. Sci. Springer, 2016. P 704–710. (в базе Scopus)

Материалы международных конференций и совещаний

1.Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Исследование эффективности применения графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПАВТ'2016). 2016. С. 181–190. (в базе РИНЦ)

Прочие публикации

1.Ильин В. П., Скопин И. Н. О производительности и интеллектуальности суперкомпьютерного моделирования // Программирование. 2016. № 1. С. 10–25. (в базе РИНЦ)

2.Ильин В. П. Фундаментальные вопросы математического моделирования // Вестн. РАН. 2016. Т. 86, № 4. С. 26–36. (в базе РИНЦ)

3.Гурьева Я. Л., Ильин В. П., Перевозкин Д. В. Алгебро-геометрические и информационные структуры методов декомпозиции областей // Вычислительные методы и программирование. 2016. Т. 17. С. 132–146. (в базе РИНЦ)

4.Бутюгин Д. С., Ильин В. П., Савченко А. О. Метод решения внешней трехмерной краевой задачи для уравнения Лапласа // СибЖИМ. 2016. Т. 19, № 2. С. 88–99. (в базе РИНЦ)

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

6.Васькин Ю. Ю., Скопин И. Н. Автоматизация обработки данных высокопроизводительного секвенирования // Естеств. и техн. науки. 2016. № 10 (100). С. 182–185. (в базе РИНЦ)

7.Васькин Ю. Ю., Скопин И. Н. Система генерации сервисов доступа к геномным базам данных // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 8-1 (30). С. 15–20. (в базе РИНЦ)

8.Ильин В. П. Итерационные процессы в подпространствах Крылова – Сонневельда // Записки науч. семин. ПОМИ. 2016. Т. 453. С. 114–130.

9.Ильин В. П. О методах наименьших квадратов в подпространствах Крылова // Там же. С. 131–147.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Свидетельство № 2016615399 РФ. Программа для распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Свешников В. М., Корнеев В. Д.; зарег. 30.03.2016.

2. Свидетельство № 2016615398 РФ. Программа для решения трехмерных краевых задач методом Писмана – Рэчфорда с использованием графических ускорителей : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Свешников В. М., Климонов И. В.; зарег. 30.03.2016.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 6th conference on numerical analysis and applications (NAA'16), Lozenetz (Bulgaria), June 15–22, 2016 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Вшивкова Л. В., Савченко А. О., Петухов А. В., Ильин В. П.).

2. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. – 1 доклад (Климонов И. А., Свешников В. М.).

3. 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016), Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г. – 1 доклад (Климонов И. А.).

4. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 11–13 апреля 2016 г. – 1 доклад (Климонов И. А.).

5. 8-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики"; Всероссийская молодежная школа-конференция, Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. – 3 доклада (Свешников В. М., Савченко А. О., Петухов А. В., Ильин В. П., Гладких В. С., Москалев А. В.).

6. 16-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 3–7 октября 2016 г. – 1 пленарный доклад (Ильин В. П.).

7. Russian supercomputing days, Moscow, 26–27 сентября 2016 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).

8. PDE software frameworks, Warwick (UK), August 4–7, 2016 – 1 доклад (Гладких В. С., Гурьева Я. Л., Ильин В. П., Перевозкин Д. В., Петухов А. В., Скопин И. Н.).

9. NUMTA 2016, Pizzo (Italy), June 19–25, 2016 – 1 доклад (Ильин В. П.).

10. SparseDays 2016, Toulouse (France), June 30 – July 1, 2016 – 1 доклад (Ильин В. П., Гурьева Я. Л.).

11. Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе, Сургут, 17–18 мая 2016 г. – 1 пленарный доклад (Ильин В. П.).

12. Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики, Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. – 2 доклада (Ильин В. П., Вшивкова Л. В.).

13. Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач, Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 1 пленарный доклад (Ильин В. П.).

14. The 8th conf. of the Euro-American Consortium for promoting the application of mathematics in technical and natural sciences, Albena (Bulgaria), June 22–27, 2016 – 1 доклад (Вшивкова Л. В.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Ильин В. П.:

– член программного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.;

– член программного комитета Международной конференции "Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ) 2016", Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г.;

– член оргкомитета 10-й Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов "Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем" (МКМ–2016), Пенза, 23–27 мая 2016 г.;

2. Свешников В. М. – член программного комитета Международной конференции по математическому моделированию МКММ-2015, Херсон (Украина), 19–23 сентября 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 4
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 12
 Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 2
 Публикаций в материалах международных конференций – 1
 Публикаций в прочих изданиях – 9
 Докладов на конференциях – 19, в том числе 4 пленарных.
 Участников оргкомитетов конференций – 4

Кадровый состав

1. Свешников В. М.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Ильин В. П.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Гурьева Я. Л.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
4. Савченко А. О.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
5. Горбенко Н. И.	н.с. 0,6 ст.	к.ф.-м.н.
6. Скопин И. Н.	с.н.с. 0,5 ст.	к.ф.-м.н.
7. Вшивкова Л. В.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
9. Петухов А. В.	м.н.с.	
10. Перевозкин Д. В.	м.н.с. 0,25 ст.	
11. Козырев А. Н.	м.н.с. 0,25 ст.	
13. Ицкович Е. А.	ведущ. программист	
14. Тарасевич Л. М.	техник 1-й категории	
15. Гладких В. С.	инженер 1-й категории 0,6 ст.	

Козырев А. Н., Перевозкин Д. В. – молодые научные сотрудники

Педагогическая деятельность

Ильин В. П.	– профессор НГУ
Свешников В. М.	– профессор НГУ
Скопин И. Н.	– доцент НГУ
Горбенко Н. И.	– доцент СИУ РАНХиГС

Руководство студентами

1. Климонов И. В. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Свешников В. М.
2. Третьяков А. Н. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Свешников В. М.
3. Смуткин Е. С. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.
4. Чеканников С. П. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.
5. Ван Сы Ху Эй – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.
6. Патрала В. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
7. Коробов В. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
8. Осипов Н. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
9. Фаршатов А. А. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
10. Прокопчук А. В. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
11. Захаров А. М. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.

Лаборатория математических задач химии

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Важнейшие достижения

Новая высокоточная потоковая схема расщепления для решения 3D задачи тепломассопереноса.

Построена и исследована потоковая схема предиктор-корректор в трехмерном случае. Методической основой для построения новой потоковой схемы стал разработанный ранее общий подход, использующий абсолютно устойчивые скалярные схемы-прообразы. Для предложенной ранее потоковой схемы расщепления по схеме-прообразу Дугласа – Ганна приведены примеры ее чувствительности к уменьшению гладкости решения, в том числе даны примеры, демонстрирующие фактическое отсутствие сходимости. В то же время новая потоковая схема, основанная на схеме-прообразе предиктор-корректор, на тех же примерах сходится со вторым порядком. Двумерный вариант этой схемы совпадает со схемой, предложенной Т. Арбогастом с коллегами в 2007 г. на основе алгоритма Удзавы. В этом смысле предложенная потоковая схема является обобщением схемы на основе алгоритма Удзавы на трехмерный случай.

К.ф.-м.н. Воронин К. В., д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed finite element method for parabolic problems // J. of Num. Math., published online in Just accepted. 2016. Feb. DOI: 10.1515/jnma-2015-0076.

2. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Потоковая схема предиктор-корректор для решения 3D задачи теплопереноса // СибЖВМ (в печати).

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР I.2.1.1 "Сеточные методы для высокопроизводительных ЭВМ и их применение в задачах естествознания".

Номер государственной регистрации НИР 01201370224.

Руководители: д.ф.-м.н. Дебелов В. А., д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Построена и исследована потоковая схема предиктор-корректор в трехмерном случае. Методической основой для построения новой потоковой схемы послужил разработанный ранее общий подход, использующий абсолютно устойчивые скалярные схемы-прообразы. Для предложенной ранее потоковой схемы расщепления по схеме-прообразу Дугласа – Ганна приведены примеры ее чувствительности к уменьшению гладкости решения, в том числе даны примеры, демонстрирующие фактическое отсутствие сходимости. В то же время новая потоковая схема, основанная на схеме-прообразе предиктор-корректор, на тех же примерах сходится со вторым порядком. Двумерный вариант этой схемы совпадает со схемой, предложенной Т. Арбогастом и др. в 2007 г. на основе алгоритма Удзавы. В этом смысле предложенная потоковая схема является обобщением схемы на основе алгоритма Удзавы на трехмерный случай. На примерах решений с пониженной гладкостью разработанная схема демонстрирует значительное преимущество в точности:

Погрешность потоковой схемы (схема-прообраз Дугласа – Ганна)

h	тест (1)		тест (2)		тест (3)	
	$\varepsilon_{I,\infty}$	$\varepsilon_{I,2}$	$\varepsilon_{I,\infty}$	$\varepsilon_{I,2}$	$\varepsilon_{I,\infty}$	$\varepsilon_{I,2}$
2^{-4}	3.2e-4	1.3e-4	4.3e+0	8.0e-1	4.2e+1	8.3e+0
2^{-5}	7.7e-5	3.6e-5	9.1e-1	1.5e-1	3.6e+1	3.2e+0
2^{-6}	1.9e-5	8.6e-6	3.2e-1	3.7e-2	4.8e+1	2.5e+0

Погрешность потоковой схемы (схема-прообраз предиктор-корректор)

h	тест (1)		тест (2)		тест (3)	
	$\varepsilon_{I,\infty}$	$\varepsilon_{I,2}$	$\varepsilon_{I,\infty}$	$\varepsilon_{I,2}$	$\varepsilon_{I,\infty}$	$\varepsilon_{I,2}$
2^{-4}	3.9e-4	2.2e-4	2.1e-1	5.6e-2	1.4e-1	5.2e-2
2^{-5}	9.4e-5	5.0e-5	6.5e-2	1.6e-2	3.9e-2	1.2e-2
2^{-6}	2.3e-5	1.2e-5	1.6e-2	4.0e-3	9.4e-3	3.0e-3

Продолжены работы над созданием наилучших (в некотором смысле) кубатурных формул на сфере, инвариантных относительно различных групп вращений. В частности, разработан высокоэффективный алгоритм поиска наилучших кубатурных формул для сферы, инвариантных относительно группы вращений диэдра с инверсией D_{2h} , с помощью которого выполнены обширные численные расчеты с использованием вычислительной техники Сибирского суперкомпьютерного центра. В результате получены все наилучшие кубатурные формулы данного вида симметрии до 35-го порядка точности.

Реализован параллельный прямой метод решения больших разреженных систем линейных алгебраических уравнений с использованием процессоров Xeon Phi. Процессоры этого типа используют большее число потоков, чем линейка процессоров Xeon, но с существенно меньшим объемом памяти на поток. При этом основная проблема связана с ограниченностью памяти при процедуре исходной перестановки элементов матрицы с целью сужения ненулевой ленты, в процессе реализации которой матрица собиралась на одном узле. Для процессоров Xeon Phi такую сборку невозможно выполнять на одном узле, следовательно, необходимо реализовывать "распределенную версию" алгоритма перестановки матрицы, работающую не хуже или незначительно хуже в терминах числа ненулевых элементов, получаемых при факторизации, и времени счета по сравнению с широко используемым алгоритмом METIS. Ниже приведены результаты сравнения с алгоритмом METIS на процессорах Xeon Phi на большой серии матриц из широко известной Коллекции Университета Флориды. На рис. 1 синяя кривая – отношение ширины ленты предлагаемого алгоритма к алгоритму METIS. Проигрыша нет практически для всех примеров. Красная кривая – отношение времени счета предлагаемого алгоритма к алгоритму METIS. По этому отношению тесты были упорядочены. При этом, несмотря на то что только на 45 % примеров продемонстрирован выигрыш предлагаемого алгоритма, но этот выигрыш гораздо существеннее, чем проигрыш на оставшейся части тестов.

Разработана новая двумерная модель фильтрационного горения газа в терминах теплового потока инертной пористой среды, потока полной газовой энтальпии и потока массы

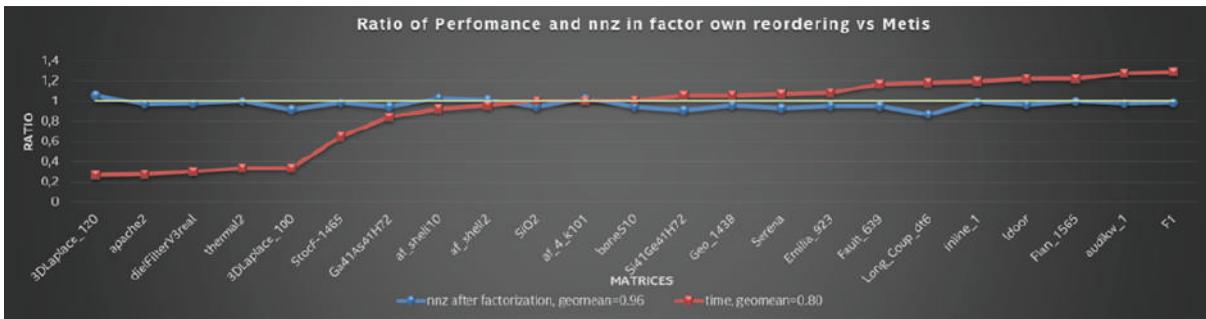


Рис. 1

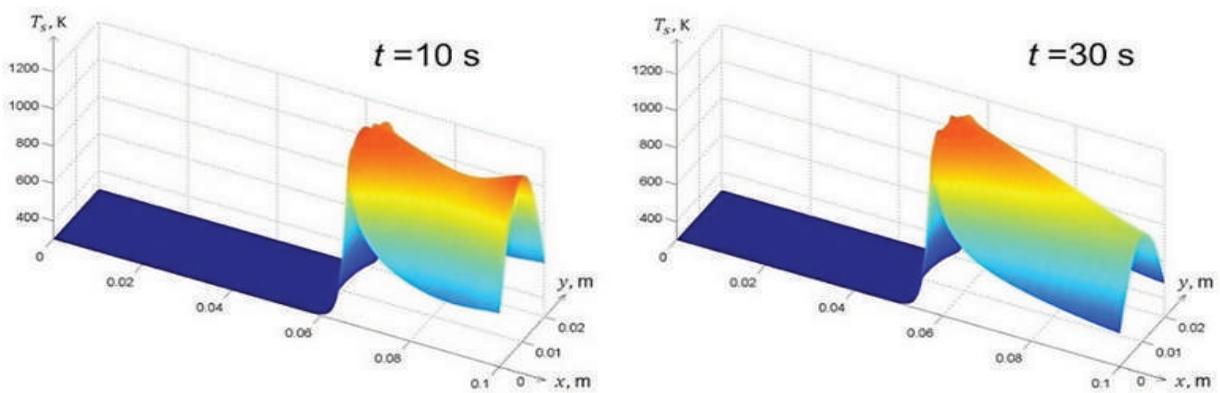


Рис. 2. Температура каркаса при фильтрационном горении газа

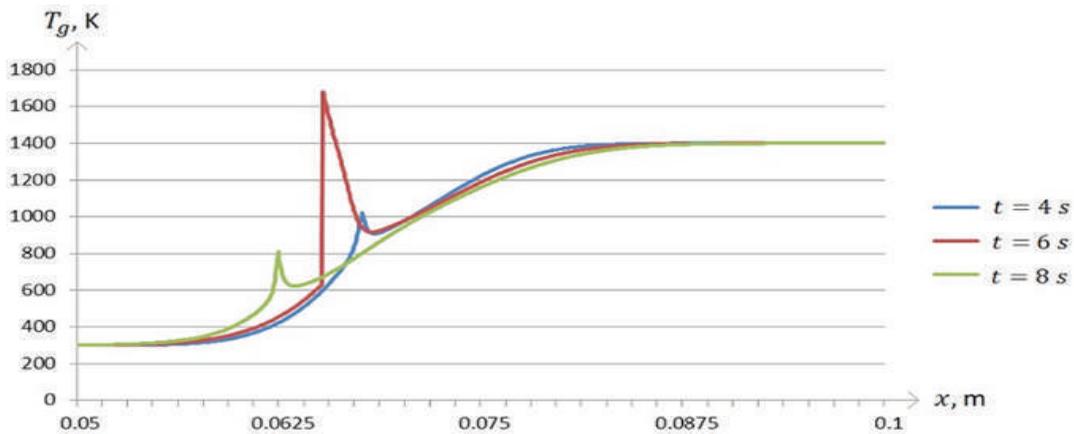


Рис. 3. Пульсационный режим фильтрационного горения газа

реагирующей смеси. Усовершенствован алгоритм вычисления скорости фронта горения, на основе которого исследован ряд одномерных моделей: модель с бесконечно интенсивным теплообменом, модель перехода горения в режим высоких скоростей, модель пульсационного горения. Методической основой этих результатов явился устойчивый алгоритм вычисления мгновенной скорости фронта горения, также разработанный в отчетном году.

Разработана новая двумерная модель фильтрационного горения газа в терминах теплового потока инертной пористой среды, потока полной газовой энтальпии и потока массы реагирующей смеси. Усовершенствован алгоритм вычисления скорости фронта горения, на основе которого исследован ряд одномерных моделей: модель с бесконечно интенсивным теплообменом, модель перехода горения в режим высоких скоростей, модель пульсационного

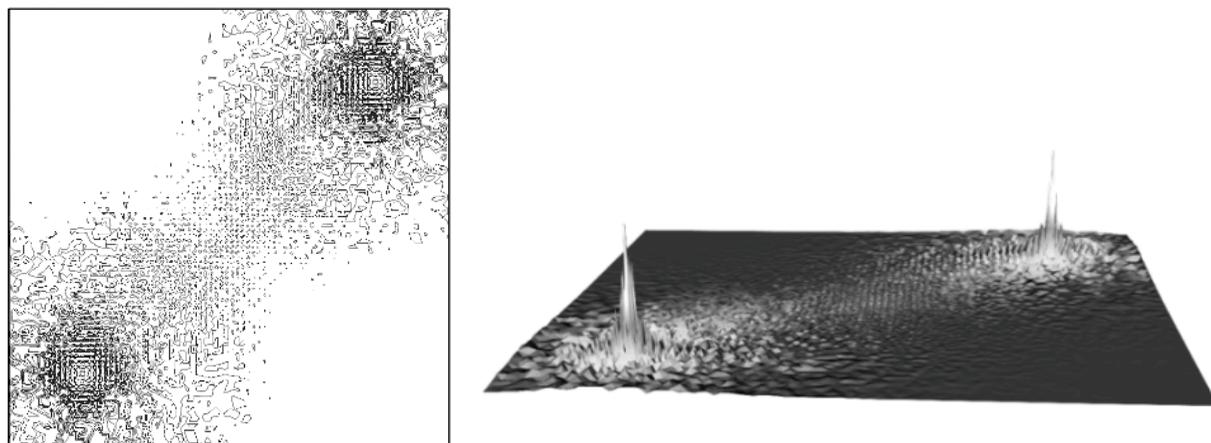


Рис. 4. Сравнение методов учета скважин: концентрация погрешности горения. Методической основой этих результатов явился устойчивый алгоритм вычисления мгновенной скорости фронта горения, также разработанный в отчетном году.

Осуществлена экспериментальная проверка методики учета скважин, предложенной Ю. М. Лаевским в 2010 г. А именно, выполнено сравнение предложенной методики, основанной на локальном описании скважин в обобщенной форме при заданных дебетах, с непосредственным моделированием методом конечных элементов с использованием суперпозиции решения по решениям для одиночных скважин с заданным на них давлением. Эксперименты проводились для одной нагнетательной и одной эксплуатационной скважины. На рисунках представлены результаты сравнения.

Результаты работ по проектам РАН

Проект президиума РАН П.2П/Л.3-1 "Методы решения задач фильтрационного горения газа на высокопроизводительных вычислительных системах".

Отв. исполнитель – д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Построены, реализованы и численно исследованы с точки зрения точности неявные методы решения уравнений фильтрационного горения газа в режиме низких скоростей. При этом рассмотрена многомерная модель в виде системы законов сохранения и уравнений состояния. Осуществлено распараллеливание задачи на кластере НКС–30Т Сибирского суперкомпьютерного центра.

Проект ОМН РАН П.2П/Л.3-3 "Новое поколение параллельных алгоритмов для суперЭВМ на примере решения задач геологии и геофизики".

Отв. исполнитель – д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Разработанные на основе схем-прообразов типа "предиктор-корректор" схемы для одновременного вычисления температуры и теплового потока применены к построению трехмерной вычислительной модели динамики теплового поля при формировании Таймыр-Североземельского орогена в конце палеозоя. В качестве основных факторов, влияющих на тепловое поле в рамках модели, приняты расслоение континентальной коры и концентрация радиоактивных элементов. Полученная модель позволяет исследовать характер и объемы прогрева и остывания участков утолщенной континентальной коры орогена при асимметричной коллизии косога типа.

Результаты работ по проекту РНФ

Проект РНФ № 15-11-10024 "Новые вычислительные модели разработки нефтяных месторождений Крайнего Севера и Арктики и создание на их основе высокопроизводительного программного обеспечения на суперЭВМ для задач фильтрации многофазной жидкости в трещиновато-пористых средах".

Руководитель – д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Ниже приводятся результаты, полученные только сотрудниками лаборатории МЗХ, включая временно включенных в состав лаборатории как исполнителей проекта РНФ.

Разработан ряд вычислительных моделей процессов фильтрации в трещиновато-пористых средах, что включает разработку как исходных математических моделей, так и алгоритмической базы для их реализации и соответствующих компьютерных программ. В частности, разработан научный код для численного моделирования процессов просачивания в трещиновато-пористые среды в условиях вечной мерзлоты. Данный код состоит из программной реализации нескольких математических моделей: модели двойной пористости для описания процесса в трещиновато-пористой среде, уравнения Ричардса для описания процесса просачивания и модели Стефана для описания фазовых переходов в многолетне-мерзлых грунтах. Алгоритмической основой кода явились схемы расщепления по физическим процессам по времени с использованием явно-неявных схем с простейшей линеаризацией. Реализация пространственной аппроксимации проводилась с применением свободной конечно-элементной библиотеки FEniCS. На основе указанной алгоритмической базы разработан и протестирован масштабируемый код с возможностью запуска на кластере.

Разработана 3D вычислительная модель таяния льда в многолетнемерзлых породах при тепловом воздействии от кустов скважин. Рассмотрены две "геометрии куста": линейное расположение скважин и радиальное. Число скважин варьируется от 2 до 8. Рассмотрена энтальпийная постановка, в которую, в отличие от классической задачи Стефана, не входит положение фронта фазового перехода как искомая функция. Поскольку энтальпия является неоднозначной функцией температуры, осуществлена регуляризация задачи, когда разрывная энтальпия заменяется непрерывной кусочно-линейной функцией. Пространственная аппроксимация осуществлена по методу конечных элементов на неструктурированной тетраэдральной сетке с кусочно-линейным базисом. При реализации метода использовались свободные библиотеки: Gmsh для описания 3D геометрии и построения тетраэдральной сетки и FEniCS для реализации собственно метода конечных элементов. Для аппроксимации по времени использована чисто неявная схема с линеаризацией с предыдущего временного слоя.

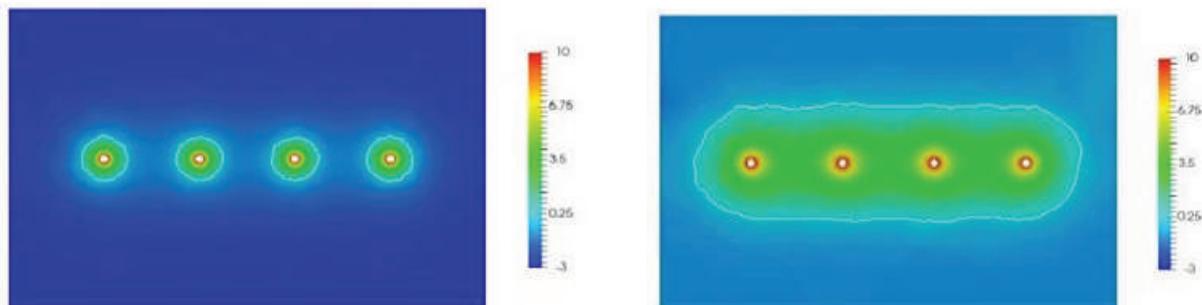


Рис. 5. Температура в разные моменты времени при линейном расположении скважин

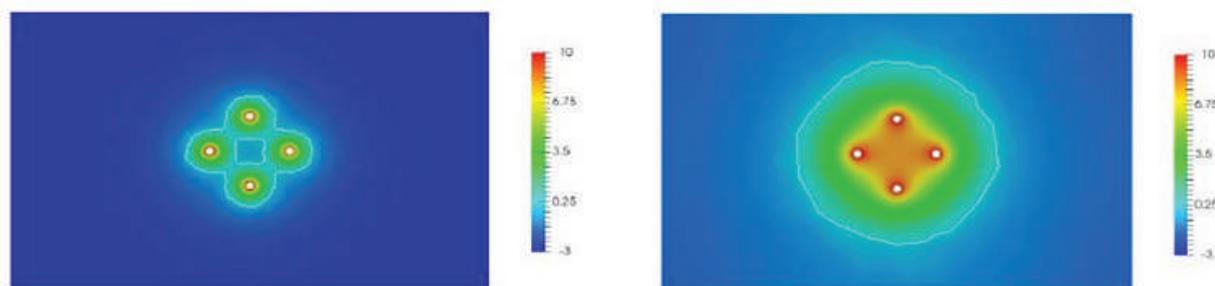


Рис. 6. Температура в разные моменты времени при радиальном расположении скважин

Разработан основанный на разрывном методе Галеркина алгоритм численного решения задачи конвекции-диффузии, возникающей при моделировании процесса фильтрации многофазной жидкости. При этом для определения вектора суммарной скорости и давления использовался смешанный метод конечных элементов. Собственно разрывным методом Галеркина аппроксимировалось уравнение переноса для насыщенности, что позволило построить противопотоковую схему. Численные эксперименты подтвердили высокую эффективность разработанного алгоритма.

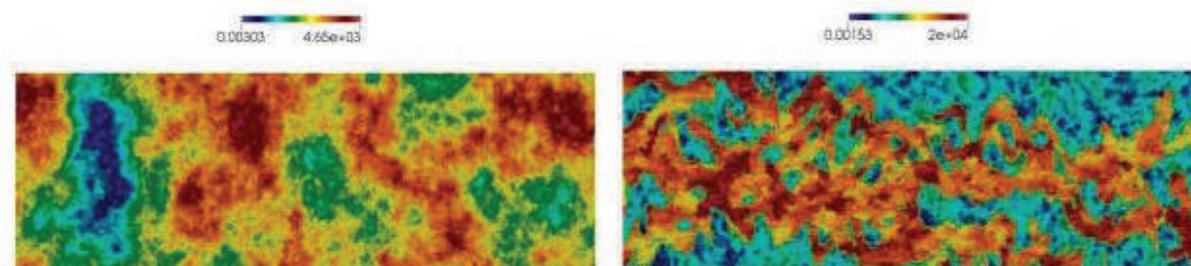


Рис. 7. Гетерогенный коэффициент проницаемости: варианты 1, 2

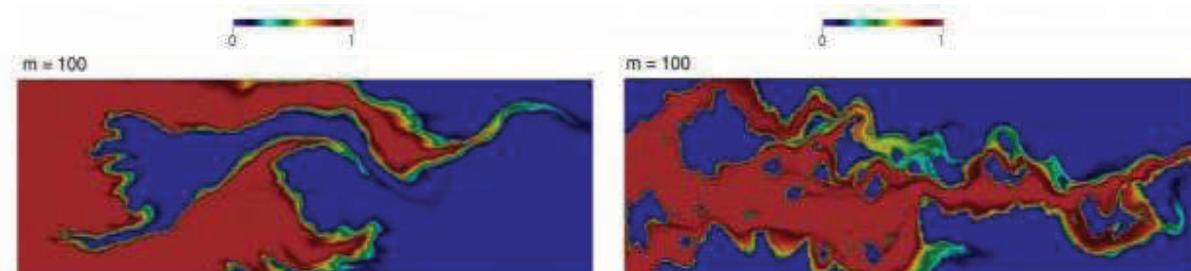


Рис. 8. Водонасыщенность для вариантов 1, 2

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Васильева М. В., Васильев В. И., Тимофеева Т. С. Численное решение методом конечных элементов задач диффузионного и конвективного переноса в сильно гетерогенных пористых средах // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Физико-математические науки. 2016. Т. 158, № 2. С. 243–261. (в базе РИНЦ)

2. Popov A. S. Cubature formulas on a sphere invariant under the dihedral group D_{2h} // Sib. Electron. Mathem. Rep. 2016. V. 13. P. 252–259. DOI:10.17377/semi.2016.13.018.

(в базе Scopus)

Зарубежные издания

1. Brown D. L., Vasilyeva M. A generalized multiscale finite element method for poroelasticity problems II: Nonlinear coupling // *J. of Comput. and Applied Mathem.* 2016. V. 297. P. 132–146. DOI:10.1016/j.cam.2015.11.007. (в базе *Wos*)
2. Chung E. T., Leung W. T., Vasilyeva M. Mixed GMsFEM for second order elliptic problem in perforated domains // *Ibid.* V. 304. P. 84–99. DOI:10.1016/j.cam.2016.02.038. (в базе *Wos*)
3. Talonov A., Vasilyeva M. On numerical homogenization of shale gas transport // *Ibid.* V. 301. P. 44–52. DOI:10.1016/j.cam.2016.01.021. (в базе *Wos*)
4. Vabishchevich P. N., Grigoriev A. V. Numerical modeling of fluid flow in anisotropic fractured porous media // *Num. Analysis and Applications.* 2016. V. 9., iss. 1. P. 45–56. DOI: 10.1134/S1995423916010055. (в базе *Wos*)
5. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed finite element method for parabolic problems // *J. of Numerical Mathematics.* [Electron. resource]. 2016. Feb. DOI:10.1515/jnma-2015-0076. (в базе *Wos*)
6. Afanaseva N. M., Kolesov A. E. Numerical solution of the thermal influence of oil well cluster on permafrost // *Application of Mathem. in Techn. and Natural Sci. AIP conf. proc.* DOI:10.1063/1.4965005. (в базе *Scopus*)
2. Y. M. Laevsky, M. V. Vasilieva, A. V. Grigoriev, A. A. Kalinkin. Mathematical models of fluid flow in fractured-porous media // 7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition, published online, 2016, DOI: 10.3997/2214-4609.201600183. (в базе *Scopus*)

Участие в конференциях и совещаниях

1. 7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition, April 11–14, 2016, Saint-Petersburg – 1 доклад (Лаевский Ю. М., Васильева М. В., Григорьев А. В., Калинин А. А.).
2. 6th Conference on numerical analysis and applications (NAA'16), Lozenetz (Bulgaria), 15–22 June, 2016 – 1 доклад (Григорьев А. В.).
3. 8th Conference of the Euro-American consortium for promoting the application of mathematics in technical and natural sciences (AMiTaNS'16), Albena (Bulgaria), June 21–27, 2016 – 1 доклад (Афанасьева Н. М.).
4. 3-я Международная конференция "Суперкомпьютерные технологии математического моделирования" (СКТеММ-2016), Москва, 27 июня – 1 июля 2016 г. – 3 доклада (Григорьев А. В., Лаевский Ю. М., Носова Т. А., Васильева М. В.).
5. Численное моделирование мультифизических процессов на высокопроизводительных вычислительных системах (ЧММП-2016), Якутск, 3–8 июля 2016 г. – 1 доклад (Лаевский Ю. М., Васильева М. В., Григорьев А. В., Калинин А. А.).
6. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", Новосибирск, 18–22 декабря 2016 г. – 1 доклад (Попов А. С.).

Участие в конференциях и совещаниях

1. 7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition, Saint-Petersburg April 11–14, 2016 – 1 доклад (Лаевский Ю. М., Васильева М. В., Григорьев А. В., Калинин А. А.).
2. Sixth Conference on Numerical Analysis and Applications (NAA'16), Lozenetz (Bulgaria) 15–22 June, 2016 – 1 доклад (Григорьев А. В.).
3. Eighth Conference of the Euro-American Consortium for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences (AMiTaNS'16), Albena (Bulgaria), June 21–27, 2016 – 1 доклад (Афанасьева Н. М.).

4. 3-я Международная конференция "Суперкомпьютерные технологии математического моделирования" (СКТеММ-2016), Москва, 27 июня – 1 июля 2016 г., – 3 доклада (Григорьев А. В., Лаевский Ю.М., Носова Т. А., Васильева М. В.).

5. Численное моделирование мультифизических процессов на высокопроизводительных вычислительных системах (ЧММП-2016), Якутск, 3–8 июля 2016 г. – 1 доклад (Лаевский Ю. М., Васильева М. В., Григорьев А. В., Калинин А. А.).

6. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", Новосибирск, 18–22 декабря 2016 г. – 1 доклад (Попов А. С.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 5

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 3

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 1

Докладов на конференциях – 8

Кадровый состав

1. Лаевский В. М. зав. лаб. д.ф.-м.н.

2. Калинин А. А. с.н.с. 0.5 ст. к.ф.-м.н.

3. Кремер И. А. с.н.с. 0.5 ст. к.ф.-м.н.

4. Попов А. С. с.н.с. к.ф.-м.н.

5. Голубева Л. А. н.с. 0.5 ст. к.ф.-м.н.

6. Литвиненко С. А. с.н.с. к.ф.-м.н.

7. Воронин К. В. м.н.с. 0.1 ст. к.ф.-м.н.

8. Иванов М. И. м.н.с. 0,9 ст.

9. Носова Т. А. м.н.с.

10. Сандер И. А. ведущий прогр.

11. Юматова Л. А. прогр. 1-й кат. 0.5 ст.

Молодые научные сотрудники: Воронин К. В., Калинин А. А., Носова Т. А.

Сотрудники, временно включенные в 2016 году в состав лаборатории МЗХ для выполнения работ по проекту РФФ №15-11-10024:

1. Васильева М. В. с.н.с. к.ф.-м.н.

2. Афанасьева Н. М. м.н.с. к.ф.-м.н.

3. Григорьев А. В. м.н.с. к.ф.-м.н.

Педагогическая деятельность

Лаевский Ю. М. – профессор НГУ

Голубева Л. А. – доцент НГУ

Калинин А. А. – доцент НГУ

Воронин К. В. – ст. преподаватель НГУ

Литвиненко С. А. – ассистент НГУ

Руководство аспирантами

1. Первунин А. С. – 1-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.

2. Соколова И.С. – 1-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Калинин А. А.

3. Жукова М. В. – 2-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Калинин А. А.

4. Андерс А. В. – 3-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Калинин А. А.

5. Андерс Р. В. – 3-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Калинин А. А.

Руководство студентами

1. Мурычева Н. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Калинин А. А.
2. Стуколова А. С. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.
3. Ли Цюли – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.
4. Пань Яжу – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.
5. Анисимова А. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.

Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Важнейшие достижения

Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления.

На основе использования численных моделей океана, морского льда и теплопереноса в донных отложениях промоделирован процесс формирования подводной мерзлоты Восточного сектора Арктики и исследована ее динамика при современном состоянии климата, определяемом в настоящем исследовании данными реанализа атмосферы. Оценивается возможность дестабилизации субаквальной мерзлоты при предполагаемом потеплении климата, обусловленном повышенным выбросом парниковых газов, при наиболее экстремальном сценарии потепления в полярных регионах до конца XXI в. (атмосферный сценарий RCP8.5). Численное моделирование восстанавливает картину пространственно-временной изменчивости в состоянии мерзлоты, что позволяет выделить области шельфа, наиболее чувствительные к возможным климатическим изменениям. Понижение границы мерзлых пород при заданном сценарном потеплении в зависимости от области шельфа может составить 1–11 м только в результате теплового воздействия и дополнительно 5–10 м за счет учета засоления порового пространства донных отложений (рис. 1). Расчетная мощность зоны стабильности газогидратов метана на шельфе составила примерно 770–870 м. Из результатов модельных расчетов следует, что до конца XXI в. газогидратный слой останется изолированным от поверхности морского дна слоем мерзлого грунта. При полученных скоростях деградации мерзлоты метаногидраты останутся изолированными еще несколько тысяч лет после 2100 г.

К.ф.-м.н. Малахова В. В., д.ф.-м.н. Голубева Е. Н.

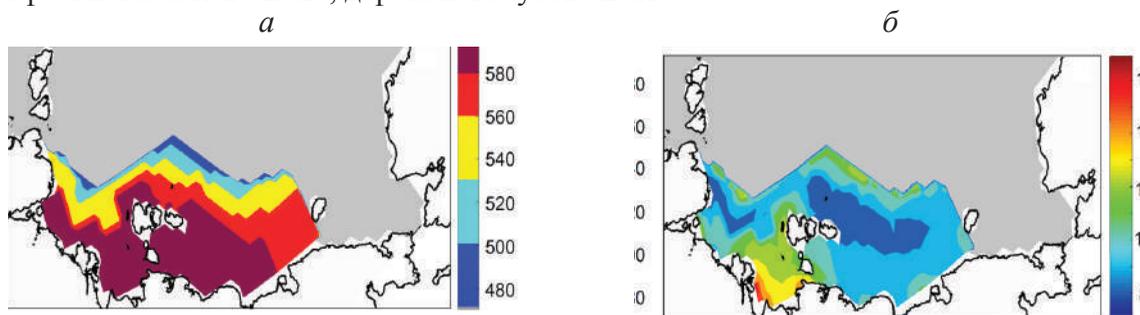


Рис. 1. Моделируемое состояние подводной мерзлоты на шельфе восточной Арктики (в м):
а – положение нижней границы мерзлых пород в донных отложениях;
б – глубина протаивания мерзлых пород от морского дна, полученная для 2100 г.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Малахова В. В., Голубева Е. Н. Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления в XXI в. // Лед и Снег. 2016. Т. 56. № 1. С. 61–72. DOI: 10.15356/2076-6734-2016-1-61-72.

2. Елисеев А. В., Малахова В. В., Аржанов М. М., Голубева Е. Н., Денисов С. Н., Мохов И. И. Изменение границ многолетнемерзлого слоя и зоны стабильности гидратов метана на арктическом шельфе Евразии в 1950–2100 гг. // Докл. Акад. наук. 2015. Т. 465. № 5. С. 1–6.

3.Malakhova V. V. On the thermal influence of thermokarst lakes on the subsea permafrost evolution // Proc. SPIE 10035, 22nd International symposium atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 100355U, Nov. 29, 2016. DOI: 10.1117/12.2248714.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2016 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 1.3.1.2 "Математическое моделирование и разработка новых численных методов в задачах геофизики, физики океана и атмосферы и охраны окружающей среды".

Номер государственной регистрации НИР 01201002447.

Раздел 1 "Разработка математических моделей динамики атмосферы, океана и водных объектов суши".

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

По модели речного стока проведены расчеты для десяти моделей сценария RCP8.5 CMIP-5 Проекта IPCC: CNRM (Франция), INM (Россия), GFDL (США), HadGEM2 (Великобритания), MIROC5 (Япония), MPI-ESM (Германия), CMCC-CM (Италия), CSIRO-Mk3.6.0 (Австралия), GISS-E2-H (США), MRI-CGCM3 (Япония). Как и в предыдущих расчетах, наблюдается положительный линейный тренд стока для всех моделей в одиннадцати анализируемых бассейнах рек. При существенном разбросе оценок модели в среднем качественно воспроизводят основные фазы внутригодового распределения речного стока для анализируемых водосборов (рис. 2).

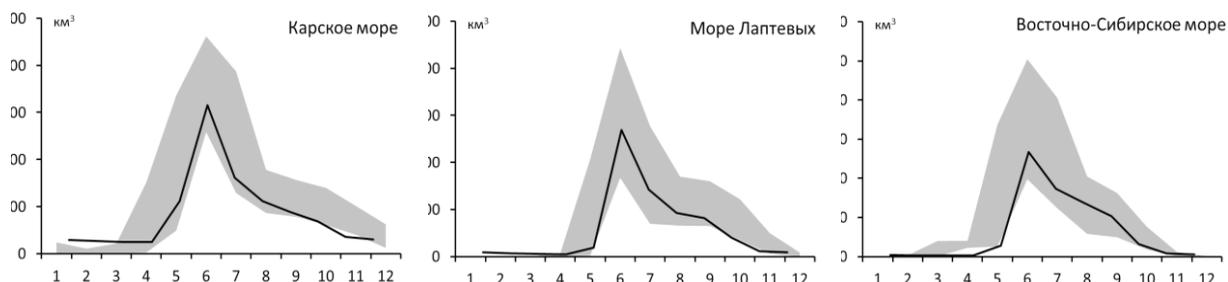


Рис. 2. Гидрографы по мультимодельному расчету в сопоставлении с данными наблюдений

Выявлены и изучены основные моды арктической циркуляции и проведен ряд численных экспериментов по исследованию их влияния на региональную циркуляцию арктических морей России. Проведен ряд численных экспериментов с совместной моделью Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики, включающей модули океана и льда. Все эксперименты можно разделить на две серии. Первая основана на использовании в качестве форсинга результатов реанализа в период середины и конца XX в. Среди использованных данных реанализ NCEP/NCAR, CORE-1 и CORE-2, JMA. На основе этих экспериментов, во-первых, подтверждена способность модели адекватно воспроизводить как общие черты циркуляции и термодинамики региона, так и отдельные особенности, связанные с периодами положительной и отрицательной фаз арктической и североатлантической осцилляций и связанные с периодами потепления и похолодания арктических промежуточных вод, вызванные распространением теплых водных масс из северной Атлантики. Во-вторых, выявлены наиболее важные моды арктической циркуляции, связанные с периодами циклонической и антициклонической аномалий в круговороте моря Бофорта и Канадском бассейне (рис. 3). Особенностью этих мод является их связь с основными индексами атмосферной

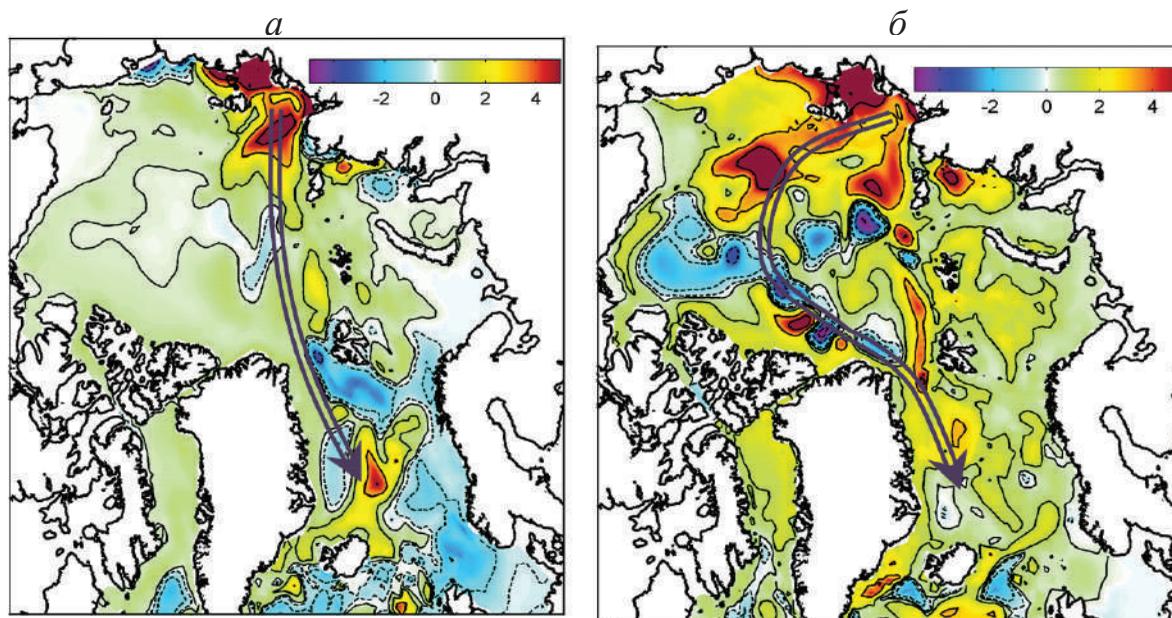


Рис. 3. Распространение аномалий пресной воды стока сибирских рек в период доминирования антициклонической моды (а) и циклонической моды циркуляции (б) в Северном Ледовитом океане

циркуляции в регионе – североатлантической (NAO) и арктической (АО) осцилляциями, – а также с периодами накопления и сброса накопленных распресненных вод в круговороте моря Бофорта. При этом подтвердился полученный в предыдущих исследованиях вывод о том, что в середине 20-го столетия наблюдалось синхронное поведение индекса АО и индекса арктической осцилляции океана, а примерно с 1980-х годов их поведение становится асинхронным.

Вторая серия экспериментов связана с анализом возможных климатических изменений в Арктике в XXI в. и основывается на использовании в качестве атмосферного форсинга результатов сценарного численного моделирования в рамках проекта МГЭИК. Особое внимание при этом уделялось не только изучению циркуляционных мод, но и исследованию режимов стока основных рек Сибири и распространению аномалий речного стока в Северном Ледовитом океане. Рассматривалось несколько вариантов атмосферного форсинга построенного на результатах моделей CMIP-5 CNRM (Франция), INM (Россия), GFDL (США), MIROC5 (Япония), CMCC-CM (Италия), CSIRO-Mk3.6.0 (Австралия). В частности, выявлена корреляция между индексом арктической циркуляции и аномалиями речного стока. Особенности движения атмосферы выражены в значениях индекса арктической осцилляции (АО), приводящего к изменениям индекса арктической океанической осцилляции (АОО). Для оценки индексов в XXI в. использовались результаты расчетов по сценариям IPCC. Основные отличия заключаются в различном характере циркуляции при разных значениях индекса АОО. В первой половине столетия, когда реализовывалась фаза положительного индекса циркуляции, вынос отклонений содержания пресной воды из района возмущений (Карское море и море Лаптевых) в сторону пролива Фрама происходит практически по прямой линии, соединяющей эти два района, благодаря трансполярному дрейфу, и распространяется далее вдоль южного побережья Гренландии в Атлантический океан. Во второй половине XXI в. фаза индекса циркуляции была отрицательной, поэтому траектория движения аномалий пресной воды, соответствуя изолиниям функции тока этого периода, пролегает далеко за пределами хребта Ломоносова. Это приводит к дефициту или увеличению объема аномалий пресной воды в центральной части Северного Ледовитого океана (СЛО).

Изучена роль двойной диффузии и существующие подходы к ее описанию в крупномасштабных моделях океана. Проведены расчеты чувствительности численной модели океана к параметризации. Явление "двойной диффузии" проявляется в возникновении активной турбулентности в условиях устойчивой стратификации и связано с различной скоростью диффузионного распространения тепла (теплопроводность) и солёности. Различают два типа явлений двойной диффузии: тропический и полярный. В рамках решения задачи усовершенствования параметризации мезомасштабных процессов в океане, рассматривался вопрос описания процессов двойной диффузии в СЛО. С помощью численного моделирования проведено сравнение различных подходов к описанию вертикальной турбулентности в океане, в том числе b-ε модель, модель Меллора – Ямады, KPP и OPPS. Показано, что ни одна из рассмотренных популярных моделей не воспроизводит в достаточной степени эффекты двойной диффузии, поэтому требуется разработка дополнительной параметризации, позволяющей вводить дополнительные вертикальные потоки тепла и солей в ситуациях, когда действие двойной диффузии потенциально возможно.

На основе трехмерного численного моделирования с использованием данных атмосферного реанализа исследовалось состояние вод и морского льда Северного Ледовитого океана с уточнением процессов в шельфовых районах Восточной Арктики. Для исследования использовалась система вложенных региональных численных моделей Северного Ледовитого океана (сеточное разрешение 10–25 км), шельфовой зоны моря Лаптевых (разрешение 3–4 км), окрестностей дельты р. Лены (разрешение до 400 м). Анализировалась роль шельфовых районов в формировании термохалинной структуры Арктического бассейна. Среди наиболее значимых процессов выделяются распространение пресных речных вод и формирование Великой Сибирской полыньи.

Изменчивость атмосферной циркуляции является основным фактором, влияющим на траекторию распространения речных вод в летний период. Полученные трехмерные поля температуры, солёности, скорости течений позволяют выделить две наиболее характерные траектории распространения вод в летний период: в полярном направлении и вдоль побережья Восточной Сибири. Анализ пространственно-временной изменчивости расчетных полей показал, что тепловой речной сток, существенно влияющий на термохалинную структуру вод шельфовой зоны, не вносит значимых изменений в состояние вод и ледового покрова основной области Арктического бассейна.

Топографические особенности шельфовой зоны приводят к формированию припайного льда, присутствующего в регионе с октября до июня. В модели применяется параметризация этого процесса на основе установления нулевых скоростей для дрейфа льда в шельфовой зоне. Южный ветер, способствующей направленному на север переносу льда, формирует полынью в области материкового склона. Это создает условия для обмена с атмосферой, образования нового льда, высвобождения соли и формирования слоя холодного арктического халоклина, изолирующего слой атлантических вод от нижней кромки льда.

На основе рекомендаций, вытекающих из методов решения обратных задач переноса аэрозольных примесей и теории планирования эксперимента, были проведены полевые исследования многокомпонентного загрязнения снежного покрова в окрестностях Новосибирского электродного завода (НЭЗ) (рис. 4). С учетом дополнительных априорных сведений о характеристиках источников завода и дисперсном составе выбрасываемых примесей разработаны малопараметрические модели реконструкции полей выпадений в моно- и полидисперсном приближении.

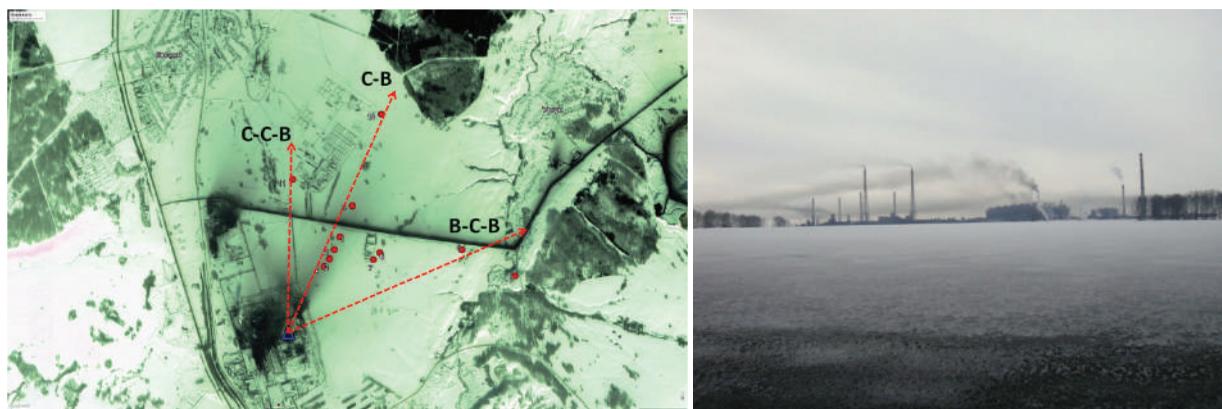


Рис. 4. Схема отбора проб снега, фотографии промплощадки НЭЗ с расстояния 1.5 км и этапов пробоотбора

Численный анализ данных маршрутных наблюдений показал, что основные выпадения полиароматических углеводородов происходят от высотных труб обжигового цеха в составе крупнодисперсных фракций частиц и являются весьма значительными. Поступления в атмосферу ряда тяжелых металлов и компонентов ионного состава осуществляются от более низких источников НЭЗ в составе сравнительно легких фракций частиц. Проведенный попарный корреляционный анализ позволил подтвердить их принадлежность к источникам завода. По данным мониторинга загрязнения снежного покрова численно восстановлены поля концентраций и приведены оценки суммарных выпадений от НЭЗ различных компонентов примесей в зимнем сезоне 2016 г. и сравнения с данными предыдущих исследований (рис. 5).

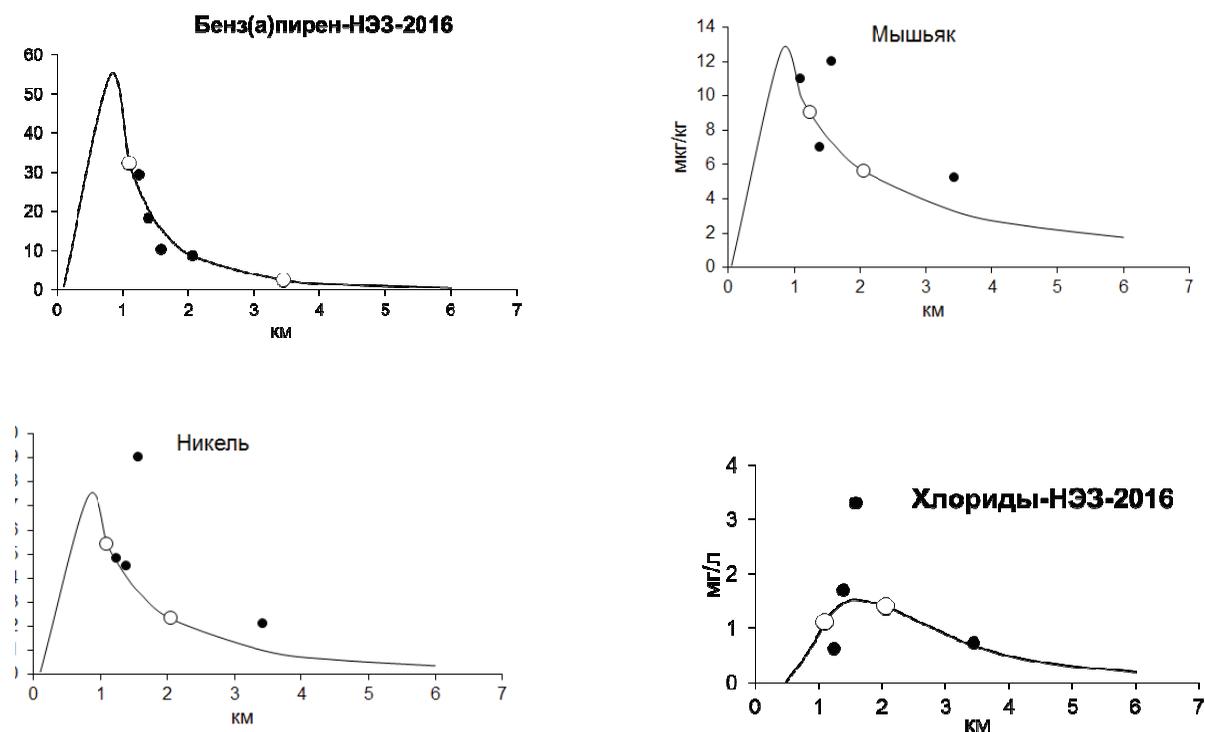


Рис. 5. Численная реконструкция концентрации бенз(а)пирена, мышьяка, никеля, хлоридов в северо-восточном направлении от НЭЗ: белые окружности – опорные точки, черные – контрольные точки наблюдений

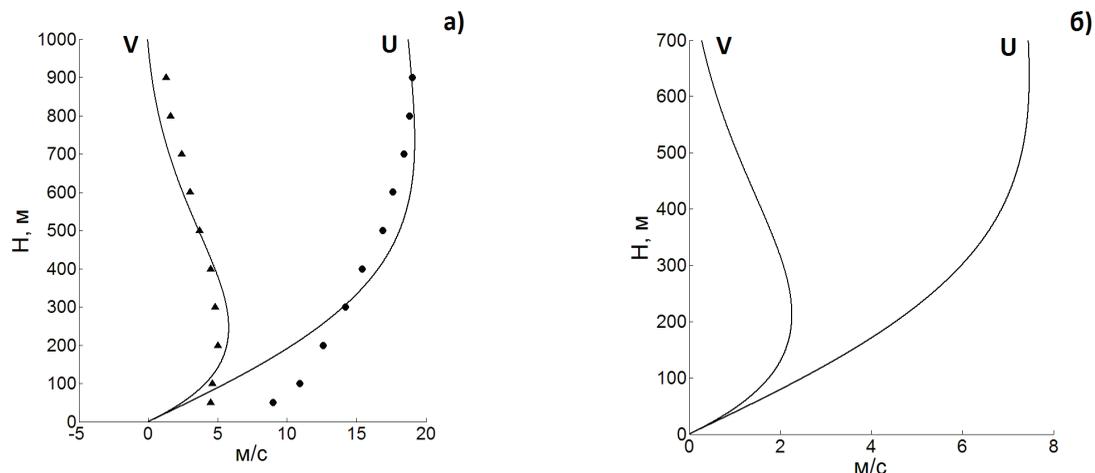


Рис. 6. Составляющие скорости ветра, рассчитанные по модели на основе данных Лейпцигского эксперимента (а) и по измеренному значению угла α на спутниковом снимке (б) (г. Омск); окружностями и треугольниками обозначены измеренные на различных уровнях компоненты скорости ветра U и V , соответственно

Предложена модель численного восстановления профилей скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена в пограничном слое атмосферы (рис. 6), основанная на уравнениях Экмана. Проведена верификация модели на известных аэрологических данных Лейпцигского эксперимента. Представлены результаты численного моделирования поля ветра, выполненного на основе спутниковых наблюдений дымовых факелов от высотных труб ТЭЦ г. Омска (рис. 7) и данных аэрологического зондирования.

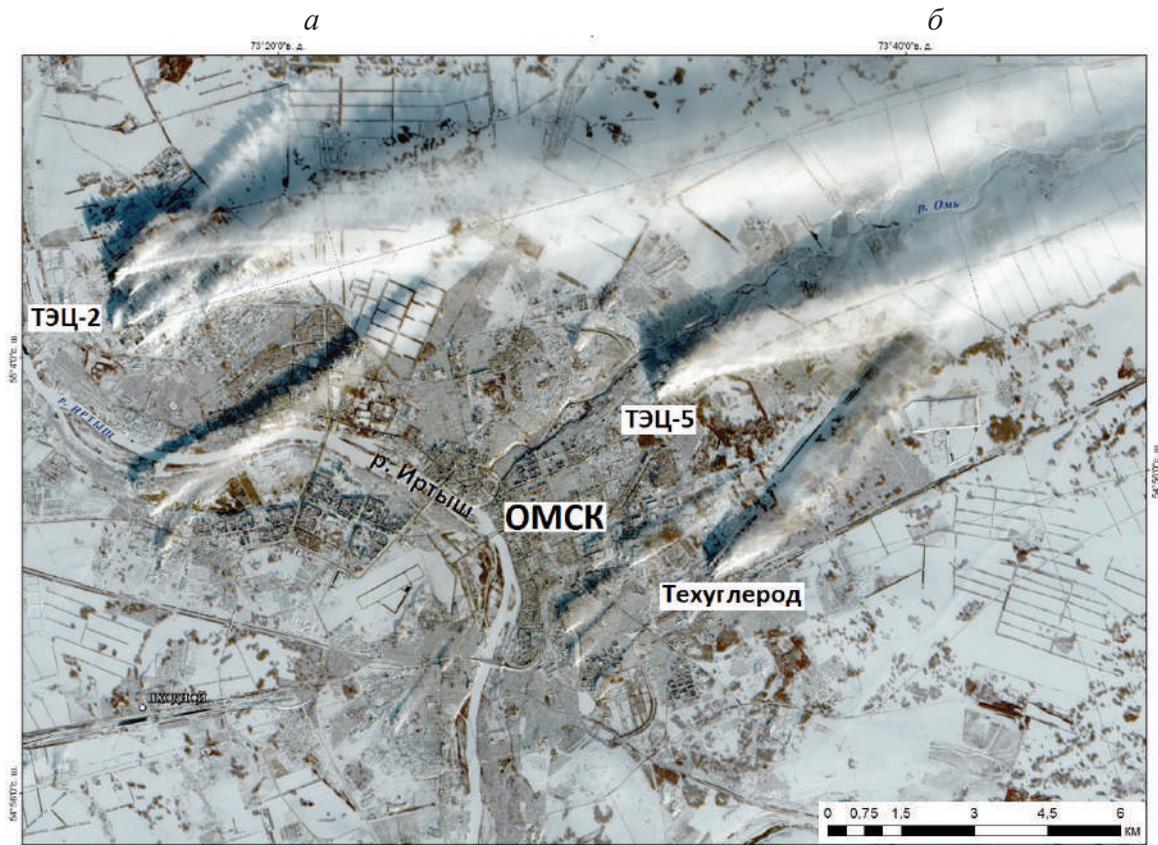


Рис. 7. Снимок г. Омска с ИСЗ "Landsat-8" (03.01.2015 г.) в 12 час. местного времени



Рис. 8. Источники выбросов сажи на территории Красноярска

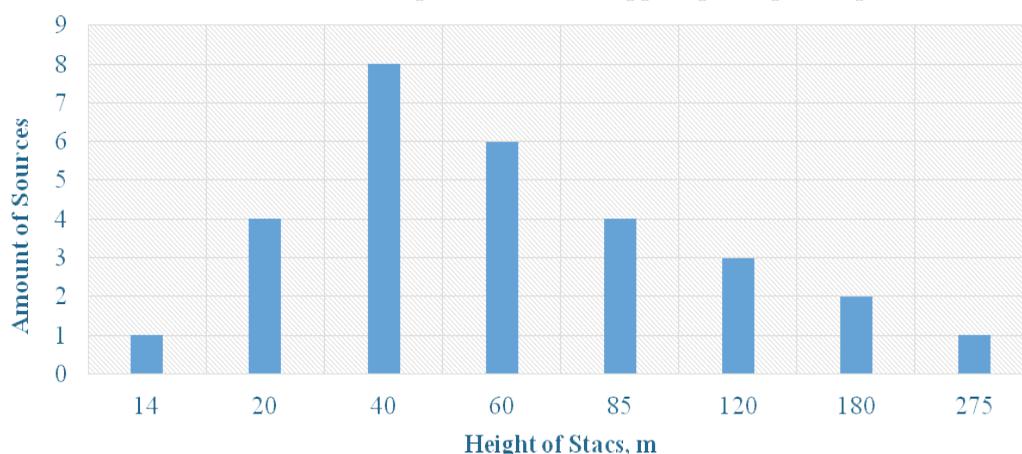


Рис. 9. Распределение основных источников сажи по высотам труб

Рассмотрены особенности расположения и локализации основных источников эмиссии сажи на территории Красноярска. Показано, что в условиях сложной орографии создаются условия для формирования экстремально высоких уровней загрязнения частицами пыли и черным углеродом. Стационарные источники в Красноярске выбрасывают в воздух 129,8 тыс. т загрязняющих веществ в год. Выбросы крупнейших предприятий составляют 91,9 % от общего объема (47,2 % – ОАО "РУСАЛ" (Красноярск) и 44,7 % – ТЭЦ 1, 2, 3). Доля сажи в общем объеме выбросов составляет примерно 3 %. Особенности расположения источников эмиссии черного углерода и сажи на территории города могут формировать значительный уровень риска здоровью населения от загрязнения воздуха этими частицами (рис. 8–9).

Сформулированы и показаны основные критерии релевантности, которым должны отвечать первичные данные, получаемые с городских станций контроля загрязнения атмосферного воздуха. На примере Красноярска и некоторых районов США проведено сравнение характеристик контролируемых территорий и показателей загрязнения. Приведены примеры несоответствия получаемых данных параметрам эмиссии вследствие недостаточного учета особенностей воздухообмена и переноса загрязняющих веществ внутри квартальных территорий, предложены пути и методы решения.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ №14-05-00730-а "Исследование формирования и баланса водных масс Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования".

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Проведены численные эксперименты с учетом речного стока по модели циркуляции Арктического океана, рассчитанные на основе данных шести моделей для сценария RCP8.5 CMIP-5. В результате выделены основные типы арктической циркуляции океана, соответствующие циклонической и антициклонической модам.

Выполнено исследование роли вихревого переноса в распространении гренландского стока ледниковых вод и формировании термохалинной структуры морей Северной Атлантики. Выяснилось, что вихревой перенос играет существенную роль в распространении речных вод во внутреннюю часть бассейна северных морей Атлантики.

Разработана новая версия модели циркуляции СЛО с учетом уровенной поверхности. Получено, что введение уровенной поверхности не привело к значительным изменениям расчетных гидрологических полей СЛО по сравнению с аналогичным расчетом по ранней версии модели, использующей условие "твердой крышки" на поверхности океана.

Проведено исследование роли диффузии солей в поровом пространстве донных отложений при моделировании подводной мерзлоты. Проведенное исследование показало, что распределение температуры по глубине в осадочных разрезах морей Восточной Сибири существенно зависит от содержания солей в поровых водах.

Проведено изучение динамики субаквальной мерзлоты на шельфе морей восточной Арктики до 2100 г. с учетом атмосферного воздействия, соответствующего сценарию потепления. Расчет с учетом климатических изменений на протяжении XXI в. показал, что температура придонного слоя воды существенно влияет на скорость деградации верхнего слоя мерзлых пород на шельфе.

Проект РФФИ № 16-05-00558-а "Исследование взаимодействия динамики атмосферы Арктического региона и средних широт при изменении климата на основе диагноза и численного моделирования".

Руководитель – д.ф.-м.н. Крупчатников В. Н.

В рамках создания системы совместного моделирования в 2016 г. на вычислительном сервере с процессорами Intel Xeon были установлены полярная и обычная версии WRF версии 3.7.1. В ходе анализа результатов расчетов, проведенных в СибНИГМИ и в Гидрометцентре России, выбран необходимый набор параметризаций подсеточных процессов для решения поставленных задач, поскольку в проекте предполагается организация счета PWRP с использованием данных моделирования климатической системы (с применением метода динамического даунскейлинга). На данном этапе организована работа системы с использованием крупномасштабных данных ERA-Interim. Разработана предварительная версия модели климатической системы – набор параллельно работающих и взаимодействующих модулей, ответственных за различные компоненты климатической системы; в качестве атмосферного модуля был использован атмосферный блок модели климатической системы PlaSim, модуль циркуляции океана, модуль термодинамики и дрейфа льда, разработанные в ИВМиМГ СО РАН; программный комплекс включает отдельный модуль (coupler), обеспечивающий синхронизацию и взаимодействие компонент. В качестве теста проведен расчет модели климатической системы на срок 10 лет, начальное состояние атмосферы было получено в предыдущих экспериментах с полным вариантом модели PlaSim.

Проведено исследование, направленное на изучение влияния ветровой циркуляции над отдельными областями Арктики на состояние ледового покрова СЛО.

В целях исследования механизмов развития полярных циклонов на основе модели влажной бароклинной неустойчивости с учетом потоков явного и скрытого тепла на поверхности и конвекции выполнено моделирование сезонного хода распределения конвективной доступной потенциальной энергии (CAPE) в арктической зоне и в средних широтах Северного Полушария при различных сценариях динамики климата; при моделировании по сценарию потепления климата, которое сопровождается относительно быстрым потеплением Арктики (БПА) и сокращением площади и концентрации морского льда, обнаруживается ослабление стратосферного полярного вихря в зимний период.

Проект РФФИ № 16-35-00439 мол-а "Оценка влияния атлантических вод на состояние ледового покрова Северного Ледовитого океана".

Руководитель – Якшина Д. Ф.

Проведена серия численных экспериментов для получения изменчивости состояния СЛО в период 1948–2013 гг. с использованием данных реанализа атмосферы NCEP/NCAR (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>). На основе полученных результатов проанализирована пространственно-временная изменчивость климатических характеристик региона:

- трехмерная циркуляция вод,
- поля температуры и солёности,
- траектория распространения теплых промежуточных вод в Арктике,
- тепловые потоки, поступающие к поверхности со стороны атмосферы,
- тепловые потоки, поступающие к поверхности со стороны океана,
- толщина льда.

Полученные результаты сопоставлены с данными наблюдений. Выявлены корреляционные зависимости между потоками, поступающими к поверхности со стороны океана/атмосферы и толщиной льда.

Проведена модификация численной модели океана, с включением и тестированием модели вертикального турбулентного перемешивания GOTM (www.gotm.net).

С использованием новой версии численной модели протестированы четыре параметризации вертикального перемешивания, среди них – модели второго порядка k-epsilon, KPP.

Проанализировано среднемесячное распределение океанических и ледовых характеристик, полученных в численном эксперименте. По результатам моделирования изменчивость ледового покрова практически одинакова для всех параметризаций. Количественные различия имеются, но они несравнимы с межгодовой изменчивостью. Выявлена сильная чувствительность температуры атлантических вод к выбору схемы перемешивания в регионе пролива Фрама и склона Евразийского шельфа.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа ОМН РАН № 1.3 "Современные вычислительные и информационные технологии решения больших задач".

Раздел 6 "Комплексные математические модели климата Сибирского региона".

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

За отчетный период получены результаты анализа гидрологических входных данных для модели стока рек Сибирского региона в XXI в. Анализ проводился на данных расчетов

по десяти моделям по сценарию RCP 8.5 проекта CMIP5 МГЭИК. Эти данные использовались при расчетах речного стока от сибирских рек в Северный Ледовитый океан. При этом расчеты баланса пресной воды в Северном Ледовитом океане дают два режима распределения пресной воды в зависимости от индекса Арктической океанической осцилляции.

Программа Президиума РАН № 23, проект 23.3 "Разработка системы моделей циркуляции Арктического океана для изучения процессов между шельфом и глубоким океаном".

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

За отчетный период проведены исследования температуры поверхности Тихого океана на основе данных реанализа NCEP / NCAR. В работе использованы два метода. Первый является классическим анализом естественных ортогональных функций (ЕОФ), позволяющим выделять явления Эль-Ниньо и Ля-Нинья в тропиках. При этом осуществлена возможность реконструкции аномалии ТПО в периоды этих явлений с достаточно высокой точностью при использовании нескольких первых ЕОФ. Необходимо отметить, что для реконструкции в периоды между этими экстремальными событиями требуется гораздо больше гармоник. Изменчивость ТПО в средних и высоких широтах на основе этого подхода не может быть выделена с достаточной точностью, вследствие того, что она существенно слабее по сравнению с сильным сигналом в тропиках. Чтобы выделить эти сигналы, используется метод кластерного анализа. Полученные результаты показывают, что, кроме сигнала в тропиках, существуют хорошо выраженные квазидесятилетние сигналы между восточными и западными частями Тихого океана, а также в области продолжения Куроисио и в субполярном круговороте.

Программа Президиума РАН № 18, проект "Развитие моделей и методов оптимального мониторинга загрязнения территории Сибири в зонах катастрофического действия природных и техногенных площадных источников".

Руководитель – д.ф.-м.н. Рапута В. Ф.

Исследованиями загрязнения снежного покрова и атмосферного воздуха в крупных городах юга Западной Сибири и спутниковых наблюдений городских территорий установлены качественные и количественные закономерности между концентрациями ряда компонентов примеси, таких как сажа – бенз(а)пирен, взвешенные вещества – осадок в снеге. Результаты этих исследований могут быть использованы для взаимного контроля в городах данных наблюдений в снеге и приземном слое воздуха, существенно дополнить в зимнее время стационарную сеть наблюдений, провести оценки ингаляционных рисков здоровью городского населения. С использованием моделей реконструкции полей региональных выпадений примесей проведено количественное исследование ореолов загрязнения снежного покрова на спутниковых снимках для ряда крупных промышленных предприятий и угольных ТЭЦ Западной и Восточной Сибири. Выявлено наличие устойчивых функциональных связей между изменениями тонов серого цвета и динамикой концентраций примесей.

На основе решений кинематического уравнения переноса примеси в атмосфере разработана малопараметрическая модель реконструкции осевой части следа разнородной грубодисперсной примеси от высотного источника.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Kokovkin V. V., Raputa V. F., Morozov S. V., Yaroslavtseva T. V. Polyaromatic hydrocarbons in the vicinity of the major highways of Novosibirsk Siberia // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2016. № 4. С. 483–489. (в базе РИНЦ)

2. Mikhailuta S. V., Lezhenin A. A. Black carbon, soot and dust particles in the atmosphere of an industrial city // Там же. Т. 24, № 4. С. 447–453. (в базе РИНЦ)

3. Platov G., The influence of shelf zone topography and coastline geometry on coastal trapped waves // *Num. Analysis and Appl.* 2016. No 9(3). P. 231–245. (в базах Scopus, РИНЦ, WoS)

4. Raputa V. F., Kokovkin V. V., Morozov S. V., Yaroslavtseva T. V. Organic carbon in the city territories of the South of West Siberia // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2016, № 4. С. 483–489. (в базе РИНЦ)

5. Кузин В. И., Лобанов А. С. Анализ вариаций температуры поверхности тропической и северной частей Тихого океана // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2016. Т. 52. № 5. С. 618–627. (в базах РИНЦ, Scopus, WoS)

[Kuzin V. I.; Lobanov A. S. Analysis of variations in the surface temperature of tropical and Northern Pacific Ocean // *Izvestiya Atmospheric And Oceanic Physics*. 2016. Vol. 52, iss. 5. P. 550–559.] (в базах Scopus, WoS)

6. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Анализ стока Сибирских рек в XXI в. // *Оптика атмосферы и океана*. 2016. Т. 29. № 6. С. 478–481. (в базах РИНЦ, Scopus)

7. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Численный анализ атмосферной циркуляции и распространения загрязняющих примесей в окрестностях Норильского промышленного района // *Оптика атмосферы и океана*. 2016. Т. 29, № 6. С. 467–471. (в базах Scopus, РИНЦ).

[Lezhenin A. A., Raputa V. F., Yaroslavtseva T. V. Numerical analysis of atmospheric circulation and pollution transfer in the environs of Norilsk industrial region // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2016. Vol. 29, No 6. P. 565–569. (в базе Scopus)]

8. Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Изучение динамики выпадений аэрозольных примесей на основе спутниковых данных // *Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер. Техника и технологии*. 2016. Т. 9, № 7. С. 950–959. (в базе РИНЦ)

9. Малахова В. В., Голубева Е. Н. Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления в XXI в. // *Лед и Снег*. 2016. Т. 56, № 1. С. 61–72. DOI: 10.15356/2076-6734-2016-1-61-72. (в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Aksenov Y., Karcher M., Proshutinsky A., Gerdes R., de Cuevas B., Golubeva E., Kauker F., Nguyen A. T., Platov G. A., Wadley M., Watanabe E., Coward A. C., Nurser A. J. G. Arctic pathways of Pacific Water: Arctic Ocean model intercomparison experiments // *J. Of Geophys. Research – Oceans* V: 121(1). 2016. P. 27–59. (в базах Scopus, WoS)

2. Dukhovskoy D. S., Myers P. G., Platov G., Timmermans M. L., Curry B., Proshutinsky A., Bamber J. L., Chassignet E., Hu X. M., Lee C. M., Somavilla R. Greenland freshwater pathways in the sub-Arctic Seas from model experiments with passive tracers // *Ibid.* 2016. P. 877–907. (в базах Scopus, WoS)

3. Kuzin V. I., Lapteva N. A. Assessment of changes in hydrology of Siberia in the XXIst century // *Proc. SPIE 10035, 22nd Intern. symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics*, 100356B, Nov. 29, 2016. DOI: 10.1117/12.2249037. (в базах Scopus, WoS)

4. Lezhenin, A. A., Yaroslavtseva, T. V., Raputa, V. F. Calculation of wind profiles using satellite imagery of smoke plumes // Proc. SPIE 10035, 22nd International symposium atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 100355T. Nov. 29, 2016. DOI: 10.1117/12.2248713.

(в базах Scopus, WoS)

5. Malakhova V. V. On the thermal influence of thermokarst lakes on the subsea permafrost evolution // Proc. SPIE 10035, 22nd International symposium atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 100355U. Nov. 29, 2016. DOI: 10.1117/12.2248714.

(в базах Scopus, WoS)

6. Malakhova V. V., Eliseev A. V. How sensitive are modeled contemporary subsea permafrost thaw and thickness of the methane clathrates stability zone in Eurasian Arctic to assumptions on Pleistocene glacial cycles? // Clim. Past Discuss. DOI: 10.5194/cp-2016-66. 2016.

Материалы международных конференций и совещаний

1. Артамонова С. Ю., Рапута В. Ф., Девятова А. Ю. Экспериментальное исследование и численный анализ техногенного загрязнения в районе г. Северск (Томская область) // Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 4. № 1. С. 141–146.

(в базе РИНЦ)

2. Голубева Е. Н., Платов Г. А., Малахова В. В., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В. Исследование изменчивости гидрологических характеристик моря Лаптевых, обусловленной влиянием речного стока и состоянием атмосферы в летний период // Избранные труды Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2016". С. 11–14.

(в базе РИНЦ)

3. Коковкин В. В., Рапута В. Ф. Мониторинг загрязнения окрестностей автотрассы по составу снежного покрова // Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 4. № 1. С. 147–151.

(в базе РИНЦ)

4. Кравченко В. В. Расчет течений в Новосибирском водохранилище // Там же. Т. 1. С. 115–119.

(в базе РИНЦ)

5. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Оценка возможных изменений гидрологического режима Сибири в XXI в. // Там же. Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 4. № 1. С. 105–109.

(в базе РИНЦ)

6. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Оценка возможных изменений гидрологического режима Сибири в XXI веке // Труды 22-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г. [Электрон. ресурс]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. С. D15–D18.

7. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Анализ гидрологических составляющих Сибирского региона для XXI века // Труды Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2016", Томск, 11–16 июля 2016 г. С. 122–124.

(в базе РИНЦ)

8. Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Использование спутниковой информации о траекториях дымовых факелов для расчета полей ветра // Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 4. № 1. С. 63–67.

(в базе РИНЦ)

9. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Использование спутниковых наблюдений для вычисления метеорологических параметров в пограничном слое атмосферы // Материалы 3-й Междунар. науч. конф. "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сентября 2016 г. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. С. 273–276.

(в базе РИНЦ)

10. Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Восстановление профилей ветра по спутниковым снимкам дымовых шлейфов // Труды 22-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г. [Электрон. ресурс]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. С. D150–D153.

11. Малахова В. В. Моделирование субмаринных таликов на шельфе моря Лаптевых // Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 4. № 1. С. 120–124. (в базе РИНЦ)

12. Малахова В. В. Влияние термокарстовых озер на эволюцию подводной мерзлоты: результаты численного моделирования // Труды 22-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г. [Электрон. ресурс]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. С. D128–D131.

13. Михайлюта С. В., Леженин А. А. Критерии для оценки качества информации станций контроля загрязнения атмосферного воздуха // Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 1. С. 152–156. (в базе РИНЦ)

14. Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Анализ аэрозольного загрязнения снежного покрова Московской области // Там же. С. 136–140. (в базе РИНЦ)

15. Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Реконструкция следов радиоактивного загрязнения от наземных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне // Материалы 5-й Междунар. конф. "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека", Томск, 13–16 сент. 2016 г. Томск: STT, 2016. С. 541–545.

16. Симоненков Д. В., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Белан Б. Д. Экспериментальное и численное исследование процессов преобразования "газ – частица" в шлейфе выбросов горно-металлургического производства в полярной атмосфере на основе данных самолетного зондирования // Материалы Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "Enviromis-2016", Томск, 11–16 июля 2016 г. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2016. С. 279–282. (в базе РИНЦ)

[Simonenkov D. V.; Raputa V. F.; Yaroslavtseva T. V., et al. Experimental and numerical study of gas-to-particle conversion in an emission plume from mining and metallurgical industry based on airborne sounding in a polar atmosphere // Ibid. Ser.: Earth and Environmental Science. Vol. 48. Art. No UNSP 012023.] (в базах Scopus, WoS)

17. Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н. "Исследование механизмов формирования подповерхностного максимума температуры в канадском бассейне Северного Ледовитого океана" // Сб. материалов "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 4. № 1. С. 125–129. (в базе РИНЦ)

18. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Использование космоснимков и наземных наблюдений для анализа полей длительного загрязнения снежного покрова города // Там же. С. 50–54. (в базе РИНЦ)

Прочие публикации

1. Kravtchenko V. V. A 2D numerical model of Novosibirsk reservoir flows using a mixed finite element method // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geoph. [Electron. resource]. 2016. Iss. 19 (2016). P. 11–16. (в базе РИНЦ)

2. Кузин В. И., Платов Г. А., Лаптева Н. А. Оценка влияния стока сибирских рек в XXI веке на баланс пресной воды в Северном Ледовитом океане // Тез. докладов научной конференции "Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология", посвященная 90-летию академика РАН А. С. Саркисяна. 26 – 30 сентября 2016 г. Севастополь. С. 61–62.

3. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Методы анализа газоаэрозольного загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности на основе наземной и спутниковой информации // *Материалы 20-й Всерос. науч. конф. с международным участием "Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии"*, Томск, 21–23 сент. 2016 г. С. 126–128.

4. Михайлюта С. В., Леженин А. А., Иванова Ю. Д. Оценка воздействия выбросов промышленных предприятий г. Красноярск на пригородные леса // Там же. С. 146–148.

5. Рапута В. Ф., Опенко Т. Г., Ярославцева Т. В. Анализ онкозаболеваемости городского населения и данных наземного и спутникового мониторинга загрязнения снежного покрова // *Материалы Рос. науч.-практ. конф. с междунар. участием "Высокие технологии в онкологической практике"*, Барнаул, 30 июня – 1 июля 2016 г. Барнаул: АЗБУКА, 2016. С. 219–220.

6. Симоненков Д. В., Рапута В. Ф., Белан Б. Д., Ярославцева Т. В. Использование численных методов исследования процессов преобразования "газ – частица" в шлейфе выбросов металлургического производства на основе экспериментальных данных самолетного зондирования // *Материалы 20-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием "Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии"*, Томск, 21–23 сент. 2016 г. С. 152–154.

7. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Анализ макромасштабного загрязнения ^{137}Cs поймы р. Енисей // *Материалы 5-й Междунар. конф. "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека"*, Томск, 13–16 сент. 2016 г. Томск: STT, 2016. С. 758–761.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Российско-американский семинар по проблемам черного углерода "Workshop on BLACK CARBON", Кемерово, 4–7 апреля 2016 г. – 3 доклада (Рапута В. Ф., Леженин А. А.).

2. Международный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г. – 11 докладов (Леженин А. А., Рапута В. Ф., В. И. Кузин, Н. А. Лаптева, Малахова В. В., Боровко И. В., Крупчатников В. Н., Кравченко В. В., Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н., Крайнева М. В.).

3. 10-я Международная конференция "Естественные и антропогенные аэрозоли", Санкт-Петербург, 21–25 мая 2016 г. – 1 доклад (Рапута В. Ф.).

4. 22-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г. – 4 доклада (Леженин А. А., Рапута В. Ф., В. И. Кузин, Н. А. Лаптева, Малахова В. В., Боровко И. В., Крупчатников В. Н.).

5. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2016, Томск, 11–16 июля 2016 г. – 4 доклада (1 приглашенный) (Голубева Е. Н., Платов Г. А., Малахова В. В., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В., Рапута В. Ф., Кузин В. И., Лаптева Н. А., Лобанов А. С.).

6. Российская научно-практическая конференция с международным участием "Высокие технологии в онкологической практике", Барнаул, 30 июня – 1 июля 2016 г. – 1 доклад (Рапута В. Ф.).

7. 3-я Международная научная конференция "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сентября 2016 г. – 2 доклада (Рапута В. Ф., Леженин А. А.).

8. 20-я Всероссийская научная конференция с международным участием "Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии", Томск, 21–23 сентября 2016 г. – 2 доклада (Рапуга В. Ф., Леженин А. А.).

9. V Международная конференция "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека", Томск, 13–16 сентября 2016 г. – 2 доклада (Рапуга В. Ф.).

10. 23-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 29 ноября – 2 декабря 2016 г. – 11 докладов (Леженин А. А., Рапуга В. Ф., Кузин В. И., Лаптева Н. А., Малахова В. В., Боровко И. В., Крупчатников В. Н., Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н., Платов Г. А., Крайнева М. В.).

11. Международный форум технологического развития "Технопром-2016", Новосибирск, 9–10 июня 2016 г. – 1 приглашенный доклад (Крупчатников В. Н., Голубева Е. Н., Платов Г. А., Малахова В. В., Крылова А. И.).

12. 17-я Всероссийская конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 октября – 3 ноября 2016 г. – 1 доклад (Крылова А. И.).

13. 8-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. – 2 доклада (Крайнева М. В., Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н.).

14. FAMOS Meeting #5, USA, Woods Hole MA, Oceanographic Institution, November 1–4, 2016. – 3 доклада (Платов Г. А., Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н.)

15. EGU General Assembly 2016, Vienna, Austria, April 17–22, 2016 – 2 доклада (Платов Г. А., Голубева Е. Н.).

16. East Siberian Shelf: observations, data analysis, modelling efforts", Alfred Wegener Institute, Bremerhaven (Germany), 7–9 of December, 2016 – 1 доклад (Голубева Е. Н., Платов Г. А., Малахова В. В., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В.).

17. SCOR WG 140, Biogeochemical Exchange Processes at the Sea-Ice Interfaces (BEPSII). Paris, 2016 – 1 доклад (Голубева Е. Н.).

18. Международная конференция "Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология", посвященная 90-летию академика РАН А. С. Саркисяна. 26–30 сентября 2016 г., Севастополь – 1 доклад (Кузин В. И., Платов Г. А., Лаптева Н. А.).

19. Международная конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 1 приглашенный доклад (Голубева Е. Н.).

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте

1. Рапуга В. Ф., Девятова А. Ю., Ярославцева Т. В., Рыбкина Е. О. База данных по содержанию пыли и химических элементов в снежном покрове в районе Искитимского цементного завода, Новосибирская область // Патент РФ № 2016620347, 2016 г.

2. Ярославцева Т. В., Рапуга В. Ф., Турбинский В. В., Щербатов А. Ф. База данных по анионному составу и содержанию твердого осадка в снежном покрове в зоне влияния ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Новосибирска // Патент РФ № 2016618976, 2016 г.

Участие в оргкомитетах конференций

1. Кузин В. И.:

– член программного комитета Международного научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.

– член программного комитета Восьмая международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.;

2. Голубева Е. Н.:

– действительный член рабочей группы Международной комиссии по океанологическим исследованиям (SCOR)(2016)

– член программного комитета Восьмая международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.;

3. Леженин А. А.:

– секретарь секции Международного научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 8

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 10

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 23

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 10

Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 7

Публикаций в материалах международных конференций – 18

Публикаций в прочих изданиях – 14

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте - 2

Докладов на конференциях – 54, в том числе 3 приглашенных.

Участников оргкомитетов конференций – 5

Кадровый состав

1. Кузин В. И. зав. лаб. д.ф.-м.н.

2. Рапуга В. Ф. г.н.с. д.ф.-м.н.

3. Голубева Е. Н. в.н.с. д.ф.-м.н.

4. Крупчатников В. Н. в.н.с., 0.25 ст. д.ф.-м.н.

5. Платов Г. А. в.н.с. д.ф.-м.н.

6. Фоменко А. А. с.н.с. д.ф.-м.н.

7. Леженин А. А. с.н.с. к.ф.-м.н.

8. Крылова А. И. с.н.с. к.ф.-м.н.

9. Малахова В. В. с.н.с. к.ф.-м.н.

10. Боровко И. В. н.с. к.ф.-м.н.

11. Кравченко В. В. м.н.с.

12. Якшина Д. Ф. м.н.с.

13. Крайнева М. В. м.н.с.

14. Лаптева Н. А. м.н.с. 0.5 ст.

15. Лобанов А. Н. м.н.с. 0.1 ст.

16. Яковенко Г. Т. программист 0.55 ст.

17. Елепова Г. И. инженер 0.5 ст.

Лобанов А. С., Кравченко В. В., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

- Кузин В. И. – профессор НГУ
Кузин В. И. – профессор СГУГиТ
Голубева Е. Н. – доцент НГУ
Крылова А. И. – ст. преподаватель НГУ
Платов Г. А. – лектор НГУ
Леженин А. А. – доцент Сибирского института управления филиал РАНХиГС
Боровко И. В. – преподаватель СГУПС
Якшина Д. Ф. – ассистент НГУ

Руководство студентами

1. Юртина Ю. Ю. – 5-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Рапута В. Ф.
2. Антипова Е. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Крылова А. И.
3. Зайцева А. Е. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
4. Сон А. С. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
5. Патрахина Е. В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
6. Федоренко А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.

Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Важнейшие достижения

Вариационные методы направленного мониторинга на основе совместного использования моделей и методов разделения масштабов исследуемых процессов.

Представлен новый подход к исследованию природных процессов с использованием методов теории чувствительности математических моделей к вариациям различных факторов в сочетании с методами ортогональной декомпозиции многомерных функциональных полей, участвующих в технологии моделирования. Основная цель стратегии направленного мониторинга состоит в идентификации регионов в пространственно-временной области исследуемых процессов, в которых желательно получать дополнительную информацию из наблюдений и использовать ее в моделях для улучшения прогноза изменения состояний системы. Для выделения таких регионов применимы методы разделения масштабов и построенные на их основе количественные методы выделения главных факторов.

Д.ф.-м.н Пененко В. В., к.ф.-м.н. Пененко А. В., к.ф.-м.н. Цветова Е. А.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Пененко В. В. Применение методов разделения масштабов для направленного мониторинга и исследования климатоэкологических процессов // Сб. материалов Междунар. науч. конф. "ИнтерЭкспо ГЕО-Сибирь-2016" в 2 т. Т. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 91–95. ISBN 978-5-87693-90908.

2. Пененко А. В., Пененко В. В., Цветова Е. А. Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // Сиб. журн. вычисл. математики. 2016. Т. 19, № 4. С. 401–418.

3. Penenko V. V., Penenko A. V., Tsvetova E. A. Variational modeling technology with data assimilation for environmental prediction and risk assessment // Proc. of the 2nd Pan-Eurasian experiment conf. (PEEX) and the 6th PEEX Meeting. Editors: H. K. Lappalainen, M. Kulmala et al. 2016. P. 371–376.

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. Конгресс Европейского геофизического союза ("EGU- 2016"), Вена.

2. 12-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 2016.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Программа НИР 1.3.1.2 "Исследование процессов в атмосфере, гидросфере и окружающей среде методами математического моделирования".

Номер государственной регистрации НИР 01201370227.

Руководители: д.ф.-м.н. Кузин В. И., д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Раздел 2 "Развитие моделей и методов для оценок экологической перспективы".

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

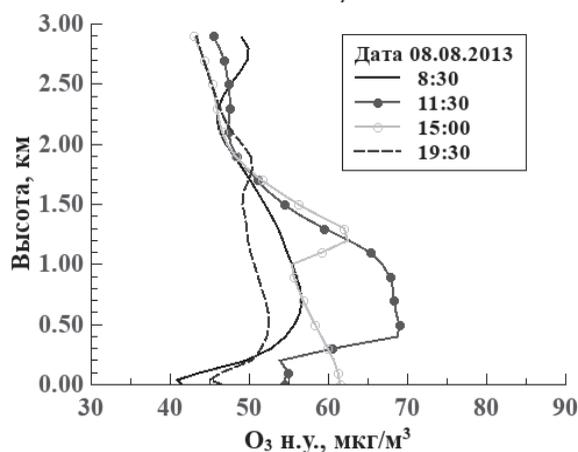


Рис. 1. Вертикальное распределение концентрации озона, полученное 8 августа 2013 г. в ходе выполнения самолетного зондирования

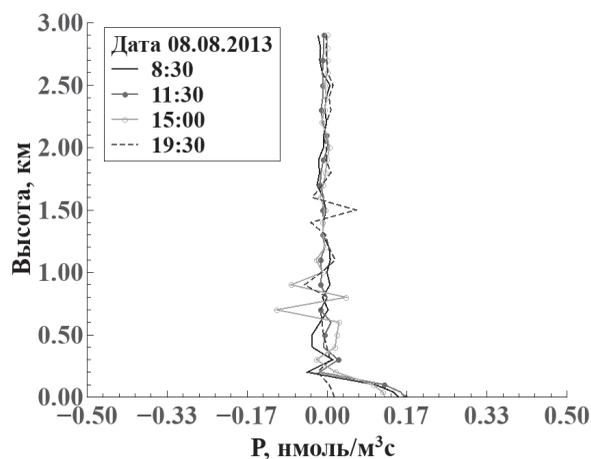


Рис.2. Восстановленное вертикальное распределение мощности источника озона для данных самолетного зондирования

Разработаны теоретические основы вариационного подхода для построения корректных методов решения условно-корректных прямых, сопряженных и обратных задач. Эффект регуляризации вносят сопряженные функции, используемые как сопряженные интегрирующие множители. В рамках вариационного принципа они получаются в результате решения корректных сопряженных уравнений. Как следствие, определяется совокупность соотношений баланса типа законов сохранения, связывающих функции состояния исходной задачи с соответствующими сопряженными функциями. При этом порядок исходной задачи понижается на единицу, и ее решение получается на основе соотношений баланса.

Разработаны и реализованы новые численные схемы усвоения данных для процессов химической трансформации примесей на основе двухстадийных дискретно-аналитических численных схем, согласованных в смысле тождества типа Лагранжа, для решения прямых и сопряженных задач.

С использованием концепции сопряженных интегрирующих множителей реализована модель трансформации биоаэрозолей на основе уравнения Смолуховского. Построенные схемы обладают свойствами аппроксимации, устойчивости и безусловной монотонности. Проведены численные эксперименты по оценке вклада различных процессов в динамику популяции биоаэрозолей.

На основе вариационного подхода к решению обратных задач предложен алгоритм восстановления источников субстанции по данным самолетного зондирования (на примере озона). В схеме регуляризации по Тихонову реализован выбор параметра регуляризации в предположении гладкости решения. Параметр регуляризации находится с помощью решения вспомогательной обратной задачи с параметрическим заданием искомого источника. Результаты расчетов с использованием алгоритма свидетельствуют о том, что данные измерений количественно согласуются со сценарием, когда фотохимическое образование озона в пограничном слое атмосферы преобладает над процессами его поступления из вышележащих слоев, на внутрисуточных масштабах времени в фоновом районе Западной Сибири (рис. 1, 2).

Выполнено численное моделирование турбулентной структуры проникающей конвекции над островом тепла относительно малого размера в устойчиво стратифицированной покоящейся среде. Воспроизведены результаты лабораторного эксперимента. Нестационарная

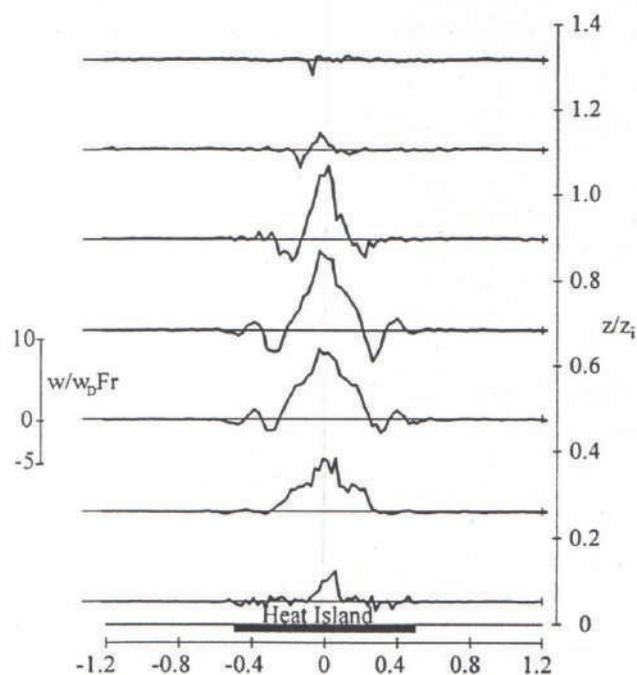


Рис. 3. Нормализованная вертикальная скорость над источником тепла. Волна максимальной амплитуды видна на равновесной высоте $z / z_i \approx 0,7$; z_i – характерная высота перемешанного слоя

задача решена численно в осесимметричной постановке. RANS–модель воспроизводит тонкие структурные особенности формирования проникающей турбулентной конвекции.

В численных экспериментах после нескольких минут с начала поступления тепла от нагревателя формировалось квазиустановившееся состояние термической циркуляции, при котором интенсивность острова тепла и поверхностный поток тепла оставались неизменными с течением времени.

Полученные результаты показывают образование в форме "шляпы" в верхней части поднимающегося термического факела, сопровождающееся возникновением стационарной волны, имеющей максимальную амплитуду на равновесной высоте 0,7 (рис. 3) при соответствующих критериях подобия. Такой эффект может возникать в реальных ночных планетарных пограничных слоях с преобладанием неустойчивых (конвективных) условий, обусловленных восходящим потоком тепла от урбанизированной поверхности при небольших скоростях движения окружающего воздуха.

Продолжены исследования в Забайкальском крае, на юго-востоке которого создается крупный горнопромышленный кластер. Цель исследований состоит в оценке последствий воздействия его объектов на окружающую среду и расположенные там особо охраняемые природные территории. Проведены сценарные расчеты для зимнего периода, моделирующие местные особенности процессов формирования температурных инверсий и вертикального переноса примесей, связанные с особенностями рельефа рассматриваемой территории. Анализ результатов сценарных расчетов показал, что в зимний период вынос "тяжелых" загрязнений от котельной горно-обогатительного комбината за его пределы будет незначительным, однако северо-западный фоновый поток будет способствовать накоплению относительно небольших концентраций загрязнений у границ Борзинского заказника (рис. 4).

Исследовано влияние температурной инверсии динамического происхождения на течение воздушных масс над изолированным препятствием в стратифицированной атмосфере. При обтекании препятствия заметно уменьшаются как наветренная, так и подветренная скорости фронта.

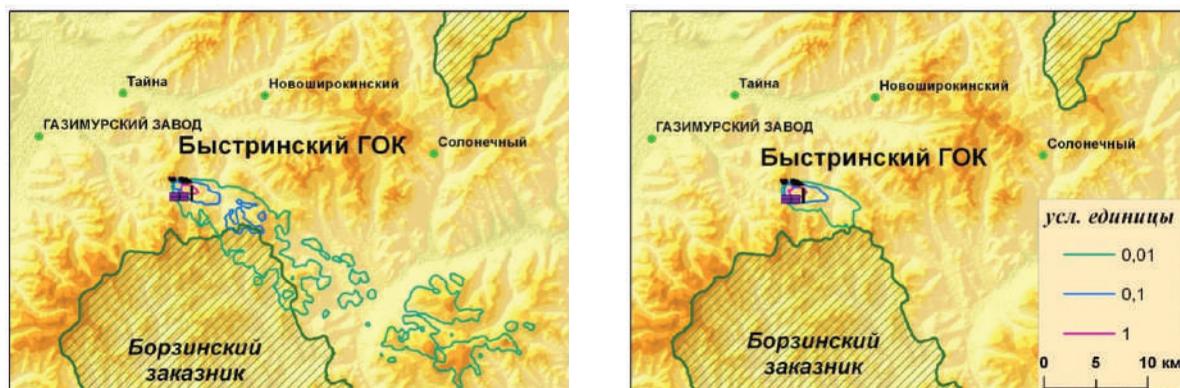


Рис.4. Изолинии концентраций пассивных примесей на высоте приземного слоя через 16 ч после начала работы источника: слева – "легкая", справа – "тяжелая" примеси

С помощью математической модели изучены особенности процессов естественной и вынужденной конвекции подо льдом в глубоком озере. Численные эксперименты показали, что естественная конвекция подо льдом интенсифицирует процесс обновления глубинных вод, запущенный случайными событиями всплытия и разложения метангидратов.

В соответствии с договором о сотрудничестве с Восточно-Казахстанским техническим университетом им. Д. Серикбаева продолжались работы над созданием информационно-аналитической системы "Эко-мониторинг" в г. Усть-Каменогорске. Развиваемая нами вариационная технология моделирования использована в алгоритмах математического обеспечения системы прогнозирования качества атмосферы. В этой системе для прогнозирования изменений качества воздуха в городе и регионе оперативно используются данные от сети автоматизированных измерительных станций, расположенных в разных районах города.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ 14-01-00125 "Новые методы решения взаимосвязанных задач динамики и химии атмосферы с использованием вариационного подхода и технологии интегрирующих множителей".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Разработаны и исследованы численные алгоритмы для создаваемой интегрированной вариационной технологии природоохранного прогнозирования. В рамках вариационной концепции сопряженных интегрирующих множителей построены совокупность новых законов сохранения и оптимальные базисы в структуре конечных элементов/объемов для получения дискретно-аналитических аппроксимаций, обладающих свойствами аппроксимации, устойчивости и безусловной монотонности.

Основное вычислительное ядро технологии – прямые безытерационные алгоритмы решения согласованных систем уравнений для функций состояния, сопряженных функций и функций неопределенностей в моделях процессов с усвоением всех доступных данных наблюдений. Эти алгоритмы имеют параллельную структуру и реализуются на каждом шаге по времени в рамках схем расщепления и декомпозиции глобальной системы для всех этапов расщепления и для всей совокупности компонентов функций состояния в комплексе моделей.

Проект РФФИ 15-29-04875 офи_м "Физико-химические и механические свойства внеклеточного матрикса как сигналы для управления пролиферацией, дифференцировкой, подвижностью и таксисом клеток"

Руководитель проекта – д.м.н. Кирилова И. А. (ФГБУ "ННИИТО им. Я. Л. Цивьяна" Минздрава России).

Исполнитель – к.ф.м.н. Пененко А. В.

Разработаны алгоритмы, позволяющие оценивать коэффициенты диффузии материалов погруженного в раствор изучаемого образца по последовательности томографических снимков распределения парамагнитных частиц в этом растворе. С помощью оператора чувствительности, построенного на основе сопряженных уравнений для модели процесса диффузии, соответствующая коэффициентная обратная задача сводится к квазилинейному операторному уравнению, которое затем решается алгоритмом ньютоновского типа с последовательным вычислением g -псевдообратных операторов увеличивающейся размерности. Эффективность построенного алгоритма показана в численных экспериментах. Для сравнения рассмотрен градиентный алгоритм решения поставленной обратной задачи.

Грант Президента России № МК-8214.2016.1 "Вариационные методы усвоения данных мониторинга химического состава атмосферы для целей диагностики и прогнозирования".

Руководитель – к.ф.м.н. Пененко А. В.

Проведено теоретическое исследование прямого (безытерационного) метода вариационного усвоения данных для моделей переноса в задачах атмосферной химии. С применением теории тихоновской регуляризации изучена связь между результатом работы алгоритма и точным решением задачи усвоения данных, рассматриваемой как динамическая последовательность связанных обратных задач. Изучены возможности алгоритмов воспроизводить различные переменные задачи усвоения данных: данные измерений, ненаблюдаемые компоненты функции состояния модели, управляющие функции ("источники"), за счет которых производится усвоение данных. С использованием прямых алгоритмов усвоения данных на отдельных шагах схемы расщепления разработана новая вычислительно-эффективная модификация алгоритма вариационного усвоения данных для модели переноса и трансформации примеси с выбором параметра регуляризации по принципу невязки. Численно исследована устойчивость алгоритма усвоения данных к погрешностям измерений. Реализованы и численно исследованы методы усвоения данных 4DVAR и 3DVAR, как в классическом варианте, когда в процессе усвоения непосредственно модифицируется функция состояния модели, так и в "неявном" варианте, когда усвоение происходит за счет подбора управляющей функции "источника". Построены сценарии, в которых 3DVAR в "неявной" модификации дает лучший результат, чем метод 4DVAR.

Проект РФФИ 14-14-00734 "Изучение молекулярных механизмов развития органов растений методами системной биологии".

Руководитель – к.б.н. Афонников Д. А. (ИЦиГ СО РАН).

Исполнитель – к.ф.м.н. Пененко А. В.

Понимание принципов и механизмов координации роста клеток в растительной ткани остается нерешенной проблемой для современной биологии развития. Моделирование клеток широко применяется для исследования геометрических и топологических особенностей морфологии растительной ткани в процессе роста. Разработана квазиодномерная модель однонаправленного роста слоя ткани в линейной листовой пластинке, с учетом автономного

режима роста клеток. Модель позволяет оценить наблюдаемую длину клетки, используя экспериментальные распределения длин клеток вдоль продольной оси эпидермиса листьев пшеницы. Кроме того, модель описывает изменения тургорного и осмотического давлений для каждой клетки в растущей ткани. Численные эксперименты показывают, что при изменении клетки в течение клеточного цикла давления различаются от клетки к клетке и сильно зависят от зоны листа, к которой принадлежат эти клетки. Сделан вывод, что при моделировании роста ткани важно учитывать механические сигналы, генерируемые давлениями, так как с их помощью можно на молекулярно-генетическом уровне регулировать рост отдельных клеток.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа Президиума РАН, проект № 0315-2015-0016 "Прогнозирование катастроф для природной среды России: математическое моделирование сейсмоопасных зон, цунами-риска, загрязнений окружающей среды и изменений климата"

Подпроект "Прямые и обратные задачи для изучения изменений качества окружающей среды в Сибирских регионах".

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Продолжена разработка методики оценки изменений качества атмосферы под воздействием газо-аэрозольных субстанций от источников природного и антропогенного происхождения с использованием моделей и данных наблюдений. Теоретические и алгоритмические основы этого подхода составляют вариационные методы теории чувствительности моделей гидротермодинамики и химии атмосферы к вариациям параметров выбросов и областей размещения в регионе действующих и потенциально возможных источников загрязнений. Выполнены сценарные расчеты оценки областей влияния источников, описывающих антропогенные воздействия типа лесных пожаров.

Программа ОМН РАН, проект № 0315-2015-0017 "Современные вычислительные технологии решения больших задач естествознания, геофизики, физики атмосферы и океана и охраны окружающей среды, в том числе, в интересах освоения Арктики и Сибири".

Подпроект "Вариационные методы решения обратных задач для исследования динамики и качества атмосферы".

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В.В.

В рамках методов декомпозиции и расщепления, обладающих свойствами суммарной аппроксимации, и вариационных методов конечных элементов/объемов построены эффективные численные схемы для совместных задач динамики и химии атмосферы. Рассматриваемые системы уравнений относятся к типу задач конвекции – диффузии – реакции, которые составляют значительную часть общей системы моделирования. Заметим, что в классических проекционно-вариационных методах конечных элементов основную проблему составляют способы построения базисных подпространств и численных схем на их основе, которые довольно сложны в реализации. Построены методы сквозного счета с использованием концепции сопряженных интегрирующих множителей, не требующие конструирования базисных подпространств. В них получается совокупность соотношений баланса, связывающих решения основной задачи с решениями соответствующих сопряженных задач на границах

интервалов конечных элементов. Построенные численные схемы использованы для расчета термодинамических характеристик, участвующих в алгоритмах решения задач охраны окружающей среды.

Программа Президиума РАН И33П, проект № 0315-2015-0012, подпроект "Разработка методов математического моделирования и вычислительных технологий для решения взаимосвязанных задач экологии и климата с использованием данных наземного и спутникового мониторинга".

Руководители: д.ф.-м.н. Пененко В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Разработаны методы организации адаптивных стратегий направленного мониторинга для оперативных оценок ситуаций в режиме прогноза атмосферных процессов и изменения качества атмосферы. Их теоретическую основу составляют методы математического моделирования исследуемых процессов с анализом данных наблюдений их реального поведения с помощью средств мониторинга. Сформулирована концепция совместного анализа решений основных и сопряженных задач на базе моделей динамики и химии атмосферы, функций чувствительности целевых функционалов и неопределенностей моделей процессов и данных наблюдений.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Пененко А. В., Пененко В. В., Цветова Е. А. Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // Сиб. журн. вычисл. математики. 2016. Т. 19, № 4. С. 401–418.

(в базе РИНЦ)

[Penenko A. V., Penenko V. V., Tsvetova E. A. Sequential data assimilation algorithm for air quality monitoring models based on a weak-constraint variational principle // Numerical analysis and applications. 2-16. V. 9, iss. 4. P. 312–325.]

(в базах WoS, Scopus)

2. Пененко А. В., Сороковой А. А., Сороковая К. Е. Численная модель трансформации биоаэрозолей в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 462–466.

(в базе РИНЦ)

[Penenko A. V., Sorokovoy A. A., Sorokovaya K. E. Numerical model of bioaerosol transformation in the atmosphere // Atmospheric and Oceanic Optics. 2016. Vol. 29, No 6. P. 570–574.]

(в базе Scopus)

3. Пененко А. В., Николаев С. В., Голушко С. К., Ромащенко А. В., Кирилова И. А. Численные алгоритмы идентификации коэффициента диффузии в задачах тканевой инженерии // Матем. биол. и биоинформ. 2016. Т. 11, № 2. С. 426–444.

(в базе РИНЦ)

[Penenko A. V., Nikolaev S.V., Golushko S. K., Romashenko A.V., Kirilova I. A. Numerical algorithms for diffusion coefficient identification in problems of tissue engineering // Math. Biol. and Bioinformatics. 2016. No 11, iss. 2. P. 426–444.]

(в базе Scopus)

4. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. О вычислении турбулентной скорости трения в численной модели городского острова тепла в устойчиво стратифицированной атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 512–515.

(в базе РИНЦ)

[Kurbatskaya L. I., Kurbatskii A. F. Calculation of the turbulent friction velocity in a mathematical model of an urban heat island in a stably stratified environment // Atmospheric and Oceanic Optics. 2016. Vol. 29, No 6. P. 561–565.]

(в базе Scopus)

5. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Турбулентная циркуляция над поверхностным источником тепла в устойчиво стратифицированной окружающей среде // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23, № 5. С. 703–719. (в базе РИНЦ)

[Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Turbulent circulation above the surface heat source in a stably stratified environment // Thermophysics and Aeromechanics. 2016]. (в базе Scopus)

6. Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М. Оценка экологических рисков реиндустриализации на юго-востоке Забайкальского края // Вестн. Забайкальского гос. ун-та. 2016. Т. 22. № 9. С. 22–32. (в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Zubairova U., Nikolaev S., Penenko A., Podkolodnyy N., Golushko S., Afonnikov D., Kolchanov N. Mechanical behavior of cells within a cell-based model of wheat leaf growth // Frontiers in Plant Sci. 2016. No 7, 1878. DOI: 10.3389/fpls.2016.01878. (в базе Wos)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Penenko A., Antokhin P. Numerical study of variational data assimilation algorithms based on decomposition methods in atmospheric chemistry models // IOP conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 48. 2016. 012021. DOI:10.1088/1755-1315/48/1/012021. (в базах Wos, Scopus)

2. Penenko V. V., Tsvetova E. A. A variational approach to environmental and climatic problems of urban agglomerations // Ibid. DOI:10.1088/1755-1315/48/1/012020. (в базах Wos, Scopus)

3. Yudin M. S. A numerical study of gravity waves in the atmosphere: smooth and steep orography effects // Ibid. 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012024. (в базах Wos, Scopus)

4. Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Turbulent circulation above the surface heat source in stably stratified atmosphere // AIR Conference Proc. 1770. 2016. 030034. [Electron. resource]. <http://dx.doi.org/10.1063/1.14963976>. Published by AIP Publishing. DOI: 10.1063/1.4963976. (в базах Wos, Scopus)

5. Tsvetova E. A. Natural and forced under-ice convection Proc. // SPIE 10035, 22nd Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 1003568, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2249022. (в базах Scopus, Wos)

6. Pyanova E. A., Penenko V. V., Faleychik L. M. Scenario studies of local atmospheric circulations in the Krasnoyarsk region // Proc. SPIE 10035, 22nd Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 100356D, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2249043. (в базах Scopus, Wos)

7. Antokhin P. N., Antokhina O. Y., Belan B. D., Penenko A. V. Estimation the height of ozone formation in the atmospheric boundary layer // Ibid. 100356L, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2249122. (в базах Scopus, Wos)

8. Penenko A., Antokhin P. Numerical study of direct variational algorithm for assimilation of atmospheric chemistry data into transport and transformation model // Ibid. 100356F, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2249060. (в базах Scopus, Wos)

9. Penenko V.V. Targeted monitoring strategy based on variational data assimilation and decomposition of processes scales // Ibid. 100355A, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2248868. (в базах Scopus, Wos)

10. Yudin M. Effects of atmospheric inversion and stratification in the simulation of gravity currents over steep terrain // Ibid. 100356K, Nov. 29, 2016. DOI:10.1117/12.2249119. (в базах Scopus, Wos)

11. Kurbatskii A., Kurbatskaya L. Understanding of counter-gradient heat flux in lower atmosphere based on the second order RANS-approach // Ibid. 100355L (November 29, 2016); DOI:10.1117/12. (в базах Scopus, Wos)

12. Penenko V. V., Penenko A. V., Tsvetova E. A. Variational modeling technology with data assimilation for environmental prediction and risk assessment // Proc. of the 2nd Pan-Eurasian experiment (PEEX) conf. and the 6th PEEX meeting. Editors: H. K. Lappalainen, M. Kulmala et al. 2016. P. 371–376.

13. Penenko A., Penenko V., Tsvetova E., Antokhin P. Variational data assimilation schemes for transport and transformation models of atmospheric chemistry // Geophys. Res. Abst. 2016. V. 18. EGU2016-603.

14. Penenko V., Tsvetova E., Penenko A. Variational approach to direct and inverse problems of atmospheric pollution studies // Ibid. EGU2016-11226.

15. Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М. Некоторые сценарные оценки загрязнения атмосферы юго-востока Забайкальского края выбросами Быстринского гока // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 4. № 1. С. 169–173. (в базе РИНЦ)

16. Пененко В. В. Применение методов разделения масштабов для направленного мониторинга и исследования климатоэкологических процессов // Там же. С. 91–95. (в базе РИНЦ)

17. Пененко А. В. Численное исследование эффективности прямых алгоритмов усвоения распределенных данных в моделях транспорта атмосферной химии // Там же. С. 157–162. (в базе РИНЦ)

18. Цветова Е. А. Особенности конвекции подо льдом в глубоком озере // Там же. С. 110–114. (в базе РИНЦ)

19. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. Уравнение баланса дисперсии температуры и противогradientный перенос тепла в конвективном атмосферном пограничном слое // Там же. С. 100–104. (в базе РИНЦ)

20. Юдин М. С. Влияние инверсии на течение над изолированным препятствием в стратифицированной атмосфере // Там же. С. 48–51. (в базе РИНЦ)

21. Пененко В. В., Цветова Е. А. Вариационный подход к задачам окружающей среды и климата в системах городских агломераций // В сборнике Междунар. конференции и школы молодых ученых по измерению, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды Enviromis 2016. 2016. С. 267–270. (в базе РИНЦ)

22. Пененко А. В., Антохин П. Н. Численное исследование эффективности алгоритмов вариационного усвоения данных на основе методов декомпозиции в моделях атмосферной химии // Там же. С. 270–273. (в базе РИНЦ)

23. Юдин М. С. Влияние инверсионного слоя на прохождение атмосферного фронта над крутым препятствием // Там же. С. 289–290. (в базе РИНЦ)

24. Пененко В. В. Организация стратегий направленного мониторинга на основе совместного использования моделей и методов разделения масштабов исследуемых процессов // Материалы 22-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2016. [Электрон. ресурс]. D1–D6. ISBN 978-5-94458-159-4.

25. Цветова Е. А. Радиационный приток тепла и конвекция подо льдом // Там же. D132–D135.

26. Юдин М. С. Эффекты атмосферной инверсии и стратификации при моделировании гравитационных течений над крутой орографией // Там же. D364–D367.

27. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Понимание контргradientного потока тепла в нижней атмосфере на основе RANS приближения второго порядка замыкания // Там же. D7–D10.

28. Пьянова Э. А. Сценарные исследования особенностей формирования атмосферных циркуляций в районе Красноярска // *Материалы 22-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы"*. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2016. [Электрон. ресурс]. D348–D351. ISBN 978-5-94458-159-4.

29. Антохин П. Н., Антохина О. Ю., Белан Б. Д., Пененко А. В. Восстановление высоты образования озона в пограничном слое атмосферы // Там же. D391–D394.

30. Пененко А. В., Антохин П. Н. Исследование эффективности алгоритмов усвоения данных в моделях транспорта и трансформации атмосферной химии // Там же. D400–D403.

31. Пененко В. В. Задачи природоохранного прогнозирования для городских агломераций и математические методы для их решения // В сб. конф. "Экология. Экономика. Информатика", Ростов-на-Дону, 2016. С. 165–173. (в базе РИНЦ)

32. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. Эйлера модель турбулентной диффузии примеси над городским островом тепла // Там же. С. 100–111. (в базе РИНЦ)

33. Цветова Е. А. Моделирование всплытия гидрата метана в глубоком озере // Там же. С. 212–217. (в базе РИНЦ)

34. Пененко В. В., Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М. Численное исследование влияния температурных инверсий на процессы переноса примесей // Там же. С. 173–183. (в базе РИНЦ)

35. Фалейчик Л. М., Фалейчик А. А., Пьянова Э. А. Математическое моделирование и геоинформационные технологии в оценке экологических рисков в процессах реиндустриализации // Сб. трудов 16-й Междунар. науч.-практ. конф. "Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов": в 3 ч. 2016. С. 106–111. (в базе РИНЦ)

36. Фалейчик Л. М., Фалейчик А. А., Пьянова Э. А. Реиндустриализация в Забайкальском крае: экономические перспективы и экологические риски // *Материалы Всерос. конф. с международным участием "Эволюция биосферы и техногенез"; 6-го Всерос. симп. с международным участием "Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий"; 13-х Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана "Рациональное природопользование", "Современное минералообразование"*, 2016. С. 169–172. (в базе РИНЦ)

37. Пененко В. В. Развитие вариационной концепции сопряженных интегрирующих множителей для построения численных моделей математической физики // Тез. докладов 21-й Всерос. конф. и молодежной школы-конференции, посвященной памяти К. И. Бабенко. 2016. С. 51–52. (в базе РИНЦ)

38. Цветова Е. А. Численные алгоритмы для моделирования естественной и вынужденной конвекции в озере Байкал // Там же. С. 122–123. (в базе РИНЦ)

39. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. Математическая модель вертикальных коэффициентов вихревой диффузии импульса и тепла в нижней атмосфере // Тезисы докладов 8-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики". 2016. С. 60–61. (в базе РИНЦ)

40. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. Математическая модель городского острова тепла на основе RANS-приближения второго порядка замыкания // Там же. С. 61–62. (в базе РИНЦ)

Участие в конференциях и совещаниях

1. 8-й Сибирский форум "Индустрия информационных систем" (СИИС–2016), Новосибирск, 6–7 апр. 2016 г. – 1 доклад (Пененко А. В.).

2. 12-й Международный научный конгресс и выставка "Интерэкспо Гео-Сибирь", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. – 6 докладов (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И., Юдин М. С.).

3. European Geosciences Union General Assembly, Vienna (Austria), Apr. 17–22, 2016 – 2 доклада (Пененко А. В., Пененко В. В., Цветова Е. А.).
4. Workshop on uncertainty quantification in inverse modelling, Новосибирск, 25–27 апр. 2016 г., – 1 доклад (Пененко А. В.).
5. The 2nd Pan-Eurasian experiment (PEEX) conference and the 6th PEEX meeting, Beijing (China), May 18–20, 2016 – 1 доклад (Пененко А. В., Пененко В. В., Цветова Е. А.).
6. 22-я Международная конференция "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г. – 7 докладов, из их 1 приглашенный (Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И., Юдин М. С.).
7. 28th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR–16), Perm, Jun. 27 – 3 Jul., 2016 – 1 доклад (Курбацкая Л. И.).
8. Круглый стол ИТАР-ТАСС "Экологические проблемы Новосибирска: инновационные пути решения", Новосибирск, 29 июня 2016 г. – 1 доклад (Пененко А. В.).
9. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (ENVIROMIS–2016), Томск, 11–16 июля 2016 г. – 3 доклада, из них один приглашенный (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Юдин М. С.).
10. The 10th anniversary international multiconference "Bioinformatics of Genome Regulation and Structure\ Systems Biology", Novosibirsk, Aug. 29 – Sept. 2, 2016 – 1 пленарный доклад (Пененко А. В. и др.).
11. 8-я Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова, и Всероссийская молодежная школа-конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. – 5 докладов, из них 1 пленарный (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И.).
12. 21-я Всероссийская научная конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", посвященная К. И. Бабенко, Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. – 2 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А.).
13. Всероссийская конференция "Экология, экономика, информатика. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем" (САМЭС), Абрау-Дюрсо, 11–16 сент. 2016 г. – 4 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И.).
14. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г. – 3 доклада, из них 2 пленарных (Пененко В. В., Пененко А. В.).
15. Международная научная конференция "Математические методы и современные космические технологии", посвященная 80-летию акад. У. М. Султангазина, Алматы (Казахстан), 4–5 окт. 2016 г. – 1 пленарный доклад (Пененко В. В., Пененко А. В.).
16. 17-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 окт. – 3 нояб. 2016 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Пененко А. В., Гришина А. А.).
17. Международная научная конференция "Современные проблемы математической физики и вычислительной математики", посвященная 110-летию со дня рождения А. Н. Тихонова, Москва, 31 окт. – 3 нояб. 2016 г. – 3 доклада (Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А.).
18. 23-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 29 ноября – 2 декабря 2016 г. – 7 докладов, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И., Гришина А. А., Юдин М. С.).

Участие в оргкомитетах российских и международных конференций

1. Пененко В. В.:

– член Оргкомитета конференции молодых ученых ИВМиМГ, Новосибирск, 11–13 апреля 2016 г.;

– член Программного комитета Международной конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "Enviromis 2016", Томск, 11–16 июля 2016 г.;

– член Программного комитета 22-го Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 30 июня – 3 июля 2016 г.;

– член Программного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г.;

– член Программного комитета Международной научной конференции "Математические методы и современные космические технологии", посвященной 80-летию акад. У. М. Султангазина, Алматы (Казахстан), 4–5 окт. 2016 г.

2. Пененко А. В.:

– член Программного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г.;

– член Организационного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г.

3. Пьянова Э. А. – член Организационного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г.

4. Гришина А. А. – член Организационного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г.

Международные научные связи

Сотрудничество с Восточно-Казахстанским государственным техническим университетом (ВКГТУ) им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогск).

Сотрудничество с Датским Метеорологическим институтом (DMI, Copenhagen Denmark).

Участие в Международной программе PAN-EURASIAN EXPERIMENT (PEEX) (некоммерческое партнерство).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 14

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 16

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 25

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 6

Публикаций в зарубежных изданиях – 15

Публикаций в материалах международных конференций – 22

Докладов на конференциях – 49, в том числе 9 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 9

Кадровый состав

1. Пененко В. В. зав. лаб. д.ф.-м.н.
 2. Цветова Е. А. в.н.с. к.ф.-м.н.
 3. Юдин М. С. с.н.с.
 4. Курбацкая Л. И. с.н.с.
 5. Пененко А. В. с.н.с. к.ф.-м.н.
 6. Пьянова Э. А. н.с. к.ф.-м.н.
 7. Сороковая К. Е. инженер (0,1)
 8. Гришина А. А. инженер (0,15)
 9. Иванова Г. И. техник (0,75)
- Пененко А. В. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

- Пененко В. В. – профессор НГУ
Пененко А. В. – почасовик НГУ

Руководство аспирантами

- Сороковая К. Е. – НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.
Сороковой А. А. – НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.

Защита дипломов

- Гришина А. А. – бакалавр ММФ НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.

Студенты НГУ

- Гришина А. А. – НГУ, 1-й курс магистратуры
Цзянпэн Чжен – НГУ, 1-й курс магистратуры
Фань Ли – НГУ, 1-й курс магистратуры
Ермишина В. Е. – 3-й курс НГУ
Блем А. А. – 3-й курс НГУ
Мукатова Ж. С. – 3-й курс НГУ

Лаборатория численного анализа и машинной графики

И.о. зав. лабораторией д.т.н. Дебелов В. А.

Важнейшие достижения

Построены оптимальные термодинамически согласованные экономичные дискретные модели для динамических задач линейной теории упругости

Для линейных гиперболических уравнений построены и обоснованы оптимальные, явно разрешимые дискретные (сеточные) модели. В основу моделей будут положены законы сохранения вида $\operatorname{div} F = 0$. Для задач теории упругости построены модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии. Под оптимальностью модели понимается, в том числе, такая характеристика, как возможность максимального распараллеливания. Полученные теоретические результаты могут быть использованы при решении конкретных тепловых задач и задач теории упругости, например, задачи сейсмоустойчивости наземных сооружений при проведении подземных горных работ.

Акад. РАН Коновалов А. Н.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Коновалов А. Н., Попов Ю. П. Оптимальные явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии для динамических задач линейной теории упругости // Сиб. матем. журн. 2015. Т. 56, вып. 5. С. 1092–1099.

2. Коновалов А. Н. Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом энергии в линейных задачах математической физики // Тез. 8-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики" и молодежной школы-конференции, Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. Екатеринбург: ИММ УРО РАН, 2016. С. 52.

Визуализация явления интерференции при расчете фотореалистических изображений пространственных сцен

Разработаны: математическая модель взаимодействия когерентных лучей света в среде с изотропными прозрачными объектами и алгоритм решения задачи визуализации явления интерференции при расчете фотореалистических изображений пространственных сцен. Результат расширяет возможности систем виртуальной реальности при моделировании природных оптических явлений. Расчетный алгоритм базируется на трассировке лучей света, характеризующихся состоянием поляризации, фазой и индикатором когерентности. В отличие от других исследовательских работ в области реалистической визуализации, данный алгоритм точнее учитывает взаимодействие луча с поверхностью объекта: угол Брюстера, разложение Френеля в плоскости падения луча на луч с параллельной и луч с перпендикулярной поляризациями.

К.ф.-м.н. Васильева Л. Ф., д.т.н. Дебелов В. А.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Васильева Л. Ф., Дебелов В. А. Эволюция модели луча света для рендеринга // Труды 5-й Междунар. конф. "Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности" (SC-IoT-VRTerro2016". Пущино, Царьград, 21–24 нояб. 2016 г. С. 178–184.

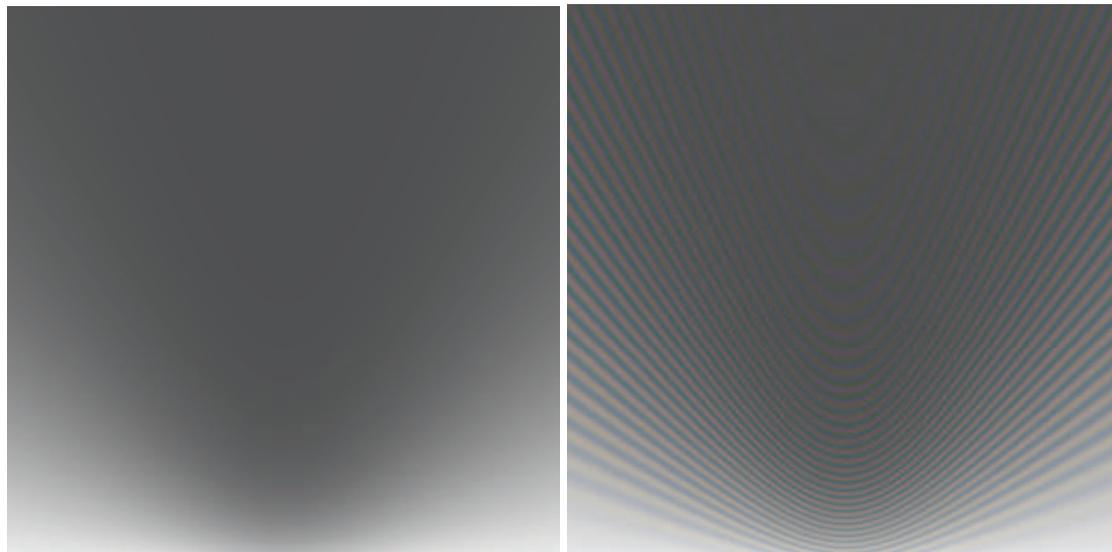


Рис. 1. Эксперимент "Двулучевая интерференция. Деление амплитуды" (Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973); слева – изображение, рассчитанное существующими программами; справа – предлагаемым алгоритмом

2. Дебелов В. А. Интерференция света, изотропные прозрачные объекты, трассировка лучей // Труды 25-й Международной научной конференции "ГРАФИКОН'2015", Протвино, 22–25 сент. 2015 г. С. 168–173.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.2.1.1 "Сеточные методы для высокопроизводительных ЭВМ и их применение в задачах естествознания".

Номер государственной регистрации НИР 01201370224.

Руководитель – д.т.н. Дебелов В. А.

Раздел 1 "Сопряженно-согласованные модели задач теории упругости и вязкой упругости применительно к задачам геофизики в сложно построенных средах (построение теоретических сейсмограмм)".

Проведена модификация методов построения теоретических сейсмограмм для трехмерных задач динамики в сложно построенных средах (упругость, вязкоупругость). Рассматриваемая непрерывная модель является полностью консервативной, поскольку обладает дополнительным законом сохранения. Дискретная (сеточная) модель построена таким образом, чтобы "наследовать" свойство полной консервативности. После введения в рассмотрение "регуляризованной" задачи, содержащей кососимметричный оператор, получена явно разрешимая модель с максимально возможной степенью параллелизма.

При численной реализации математических моделей нередко возникает необходимость получения более подробной информации о решении в некоторой подобласти расчетной области. При использовании согласованных сеток сгущение сетки в этой подобласти приводит к необоснованному росту числа узлов сетки в соседних с ней подобластях.

Одним из способов избежать появления "ненужных" узлов является использование несогласованных сеток. В этом случае более густая сетка строится только в той подобласти, в которой требуется подробная информация о решении.

За отчетный период построен новый дискретный аналог сопряженно-операторной модели задачи теплопроводности на неравномерных нестыкующихся сетках для переменных (в том числе разрывных) параметров среды.

Дискретный аналог сопряженно-операторной модели задачи теплопроводности, сохраняющий структуру исходной модели, строится на основе метода опорных операторов. Разностная схема строится на регулярной прямоугольной сетке. Это, несомненно, сужает круг расчетных областей. Однако для областей, составленных из прямоугольников, предложенная схема существенно проще в реализации, записывается в терминах приближенных величин для исходных параметров модели и позволяет применять технологию декомпозиции области для диагонального кусочно-постоянного тензора теплопроводности.

Раздел 3 "Методы декомпозиции решения эллиптических и параболических сеточных задач, методы теории аппроксимации и расчета фотореалистических изображений кристаллов для высокопроизводительных многопроцессорных ЭВМ".

Проведено сравнение радиальных базисов, обобщенных регуляризованных сплайнов с традиционными радиальными базисными функциями сплайнов Дюшона на трех тестовых задачах аппроксимации КПД радиально-осевой турбины по значениям частоты вращения и расхода. При сравнении выявлено, что поведение функции в окрестности узлов аппроксимации для обобщенных регуляризованных сплайнов очень близко к поведению сплайнов Дюшона соответствующей степени. Этим подтверждаются полученные ранее теоретические оценки. На рис. 2 слева показано приближение псевдоквадратичным сплайном Дюшона, справа – обобщенным сплайном, построенным с помощью экспоненциальной интегральной функции соответствующего порядка.

Выполнена реализация алгоритма уточняющей сплайн-аппроксимации методом сплайн-регрессии. Основной модуль выбора узлов регрессии, используемый в алгоритме уточняющей сплайн-аппроксимации, добавлен в библиотеку Sdm.net и проверен на трех тестовых задачах. В этом модуле для фильтрации близких узлов вычисляется вероятность того, что значение функции является выбросом в данных с помощью Grubbs теста, адаптированного к многомерным данным. Полученное значение вероятности используется в качестве критерия отбора узлов регрессии при фильтрации исходной сетки. Проведенные расчеты показали высокую эффективность данного алгоритма в сравнении с другими методами приближения сплайном – сглаживанием и сплайн-аппроксимацией с двухсторонними ограничениями. На рис. 3 слева показано сглаживание на всей сетке с выбором параметра сглаживания, справа – регрессия на сетке, автоматически прореженной с использованием Grubbs теста.

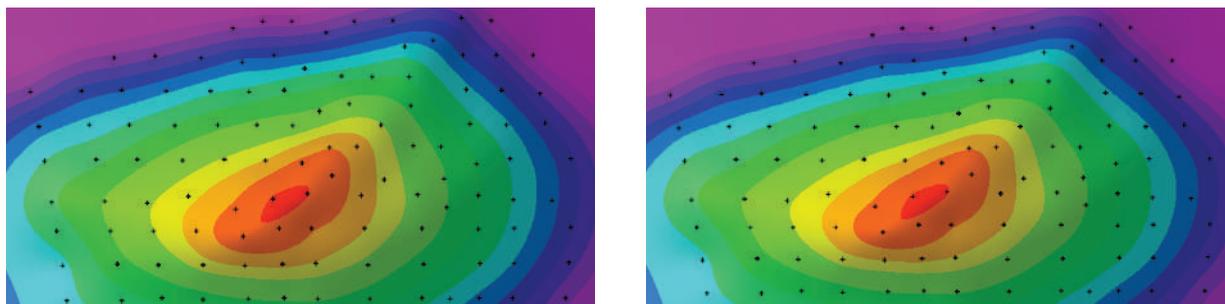


Рис. 2. Слева – приближение псевдоквадратичным сплайном Дюшона; справа – обобщенным сплайном

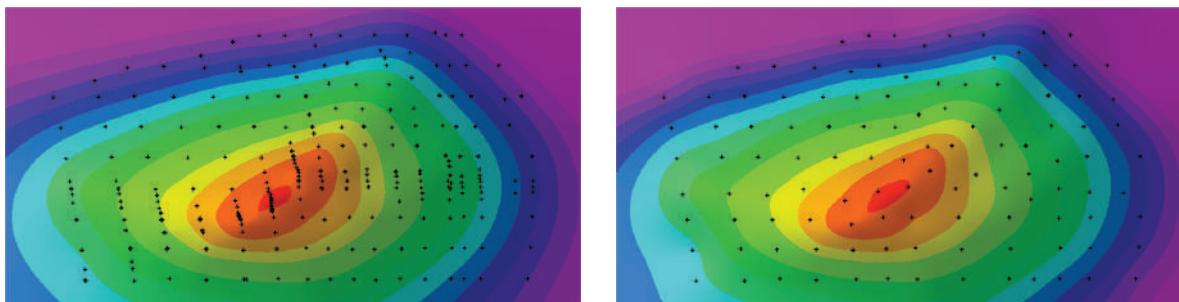


Рис. 3. Слева – сглаживание на всей сетке с выбором параметра сглаживания; справа – регрессия на сетке, автоматически прореженной с использованием Grubbs теста

По эффективности алгоритм регрессии работает существенно быстрее. В сглаживании используется итерационный процесс выбора параметра (делаются 3–4 итерации). На каждом шаге решается задача сглаживания на всей сетке. В регрессии решается только одна задача с матрицей, число неизвестных в которой существенно меньше, чем в случае сглаживания.

Разработан алгоритм учета интерференции на основе разработанной модели луча поляризованного света для применения при расчете фотореалистических изображений тонких срезов прозрачных оптически анизотропных одноосных кристаллов. Обобщена модель луча поляризованного света для случая расчета ортоскопических изображений интерференционных картин. В структуру данных луча добавлены данные о текущей фазе электромагнитной волны и признак источника, позволяющий определить когерентность различных лучей света.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Математическое моделирование многомерных задач сейсмологии и сейсморазведки на многопроцессорных ЭВМ".

Руководитель – акад. РАН Коновалов А. Н.

Построены и обоснованы оптимальные, явно разрешимые дискретные (сеточные) модели для систем линейных гиперболических уравнений. Одним из критериев оптимальности является в том числе такая характеристика модели, как возможность реализовать максимальную степень распараллеливания. В основу моделей положены законы сохранения в дивергентной форме. Для задач линейной теории упругости построены модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии. Проведена отладка и тестирование созданного в 2016 г. прикладного матобеспечения для проведения вычислительного эксперимента.

Программа ОМН РАН П.2П/Л.3-3 "Экономичные методы в стационарных сеточных задачах для многопроцессорных ЭВМ".

Руководитель – акад. РАН Коновалов А. Н.

Обоснована сходимость нового дискретного аналога сопряженно-операторной модели стационарной задачи теплопроводности на нестыкующихся сетках с применением аппроксимации повышенного порядка точности для опорного оператора. Показано, что разностная схема сходится со вторым порядком точности для случаев разрывных параметров в законе Фурье и неравномерных сеток. Со вторым порядком сходятся не только скалярные сеточные функции (приближения к температуре), но и сеточные вектор-функции (приближения к потоку тепла). Проведена серия вычислительных экспериментов, результаты которых показали второй порядок точности построенной разностной схемы.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-07-00762 "Исследование и разработка моделей, методов и алгоритмов взаимодействия света с кристаллами для расчета реалистических интерференционных картин".

Руководитель – д.т.н. Дебелов В. А.

В проекте используются результаты, полученные по плану НИР Института. Построена трехмерная сцена, являющаяся компьютерным аналогом простейшего петрографического микроскопа (полярископа, широко применяемого, например, в сахарной промышленности, в ювелирном деле) и состоящая из источника, поляризатора, образца минерала (шлиф или клин), анализатора (второй поляризатор) и регистрирующего экрана. Рендеринг (расчет изображения) проводился с использованием алгоритма обратной трассировки поляризованным лучом. Выполнен ряд численных экспериментов, в которых получены ортоскопические картины для минералов кальцит и кварц. Проведены компьютерные и натурные эксперименты (рис. 4, 5).



Рис. 4. Фото пластинки-шлифа кальцита (на бумаге около спички) и ортоскопические интерференционные картины для разных толщин шлифа. Полярископ позволяет видеть цветную интерференционную картину для прозрачного в обычной обстановке образца

Поляризатор и анализатор Цейс,
скрещенные николи,
яркость 100, контраст 50

Поляризатор и анализатор Цейс,
скрещенные николи,
яркость 100, контраст 0

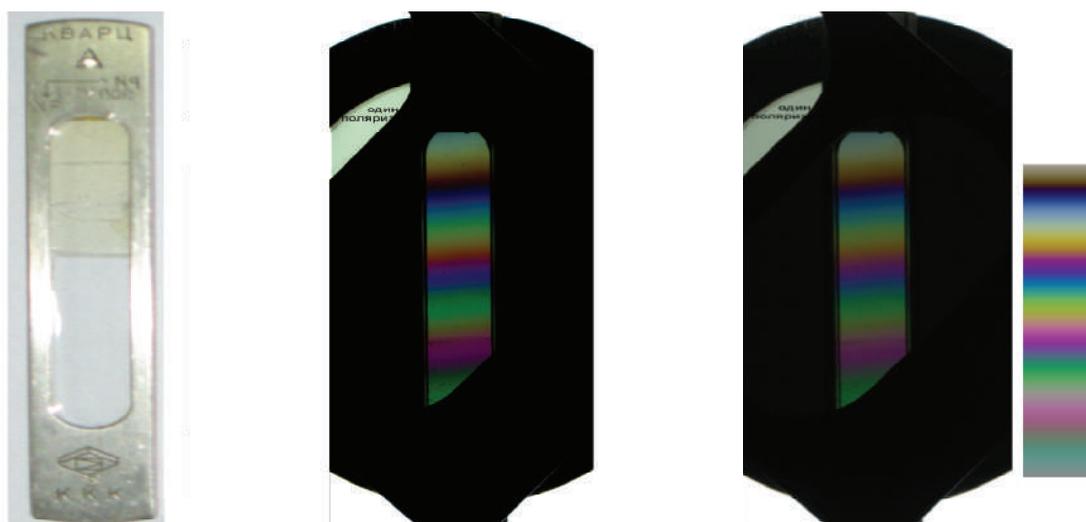


Рис. 5. Фото кварцевого клина (слева); два фото этого клина, расположенного между поляризатором и анализатором и освещенного лампой сканера (в центре); рассчитанная ортоскопическая интерференционная картина кварцевого клина для аналогичной виртуальной сцены (справа)

Публикации

Монографии

1. 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. Новосибирск. Издательство СО РАН, 2016. 294 с.

Центральные российские издания (из списка ВАК)

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. // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2016. Т. 17, № 1. С. 65–71. (в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Sorokin S. B. A difference scheme for a conjugate-operator model of a heat conduction problem on non-matching grids // Num. Analysis and Appl. 2016. Vol. 9, No. 4. P. 335–345.

(в базе Wos)

2. Rozhenko A. I., Fedorov E. A. On the algorithm of smoothing by a spline with bilateral constraints // Ibid. No. 3, 2016. P. 257–266. (в базе Wos).

3. Korneev V. D., Sveshnikov V. M. Parallel Algorithms and Domain Decomposition Techniques for Solving Three-Dimensional Boundary Value Problems on Quasi-Structured Grids // Ibid. P. 141–149. (в базе Wos)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Klimonov I. A., Korneev V. D., Sveshnikov V. M. Studying the effectiveness of graphics accelerators paralleling solutions of three-dimensional boundary value problems on quasi-structured grids. // CEUR Workshop Proceedings. 2016. P. 181–190. ISSN 1995-4239.

(в базе Scopus)

2. Васильева Л. Ф., Дебелов В. А. Эволюция модели луча света для рендеринга // Труды 5-й Междунар. конф. "Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности" (SC-IoT-VRTerго-2016), Пушкино, ЦарьГрад, 21–24 нояб. 2016 г. С. 178–184. (в базе РИНЦ)

3. Дебелов В. А. Инструментальная верификация алгоритмов реалистического рендеринга // Труды 26-й Международной конференции "ГРАФИКОН'2016", Нижний Новгород, 19–23 сент. 2016 г. С. 22–28. (в базе РИНЦ)

4. Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Исследование эффективности применения графических ускорителей при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // Труды 10-й Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПАВТ-2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. С. 181–190.

Прочие публикации

1. Коновалов А. Н. Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом энергии в линейных задачах математической физики // Тезисы докладов 8-й Всероссийской конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященной памяти акад. А. Ф. Сидорова, и молодежной школы-конференции, Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. Екатеринбург: ИММ УРО РАН, 2016. С. 52.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Свидетельство № 2016616439 РФ. AMKS – программа для численного анализа стохастических осцилляторов на массивно-параллельных вычислительных системах : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Артемьев С. С., Марченко М. А., Иванов А. А., Корнеев В. Д., Смирнов Д. Д.

2. Свидетельство № 2016615399 РФ. Программа для распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Свешников В. М., Корнеев В. Д..

Участие в конференциях и совещаниях

1.5-я Китайско-Российская конференция по численной алгебре с приложениями, Чжанъе (Китай), 26 июля – 6 августа 2016 г. – 1 доклад (Сорокин С. Б.).

2.8-я Международная молодежная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 2 доклада (Коновалов А. Н., Дебелов В. А.).

3.26-я Международная конференция "ГРАФИКОН'2016", Нижний Новгород, 19–23 сентября 2016 г. – 1 доклад (Дебелов В. А.).

4. Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", Абрау-Дюрсо, 5–10 сентября 2016 г. – 1 доклад (Коновалов А. Н.).

5.11-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 октября 2016 г. – 1 доклад (Коновалов А. Н.).

6.5-я международная конференция "Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности" (SC-IoT-VRTerro2016), Пущино, Царьград, 21–24 ноября 2016 г. – 1 доклад (Васильева Л. Ф., Дебелов В. А.).

7.10-я Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПАВТ–2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. – 1 доклад (Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Коновалов А. Н.:

– член организационного комитета 11-й Международной конференции "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 октября 2016 г.;

– член программного комитета 8-й Международной молодежной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

2. Дебелов В. А.:

– член программного комитета 5-й Международной конференции "Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности" "SC-IoT-VRTerro2016", Пущино, Царьград, 21–24 ноября 2016 г.;

– член программного комитета 26-й Международной конференции "ГРАФИКОН'2016", Нижний Новгород, 19–23 сентября 2016 г.;

– член программного комитета 10th International conference on computer graphics, visualization, computer vision and image processing, Funchal, Madeira (Portugal), July 2–4, 2016.

Итоговые данные по лаборатории

Монографий – 1

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 3

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 1

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 3

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 1

Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 3

Публикаций в материалах международных конференций – 4

Публикаций в прочих изданиях – 1

Свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ – 2

Докладов на конференциях – 7, в том числе 4 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 5.

Кадровый состав

1. Дебелов В. А.	и.о. зав. лаб.	д.т.н.
2. Коновалов А. Н.	советник РАН	акад. РАН
3. Сорокин С. Б.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
4. Васильева Л. Ф.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
5. Корнеев В. Д.	с.н.с.	к.т.н.
6. Роженко А. И.	с.н.с. 0,25 ст.	д.ф.-м.н.
7. Непомнящих Г. И.	инженер 1-й категории	
8. Хорсова Г. Е.	ведущ. программист	
9. Козорезова Н. Е.	ведущ. программист	
10. Минакова Л.А.	ведущ. программист	
11. Шелестова Н. И.	ведущ. редактор	

Педагогическая деятельность

Коновалов А. Н. – профессор НГУ

Сорокин С. Б. – профессор НГУ, ВКИ

Дебелов В. А. – профессор НГУ

Руководство студентами

1. Кушнер К. Г. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Дебелов В. А.

Лаборатория математических задач геофизики

И.о. зав. лабораторией д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

Важнейшие достижения

Вариационный подход к численному решению обратных задач для математической модели внутриклеточной динамики ВИЧ с лечением.

К.ф.-м.н. Криворотько О. И., Ермоленко Д. В., чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

В работе исследована математическая модель, описывающая динамику ВИЧ-инфекции, которая может быть записана в векторном виде:

$$\begin{cases} \frac{dU(t)}{dt} = P(U(t), q), & t \in (0, T), \\ U(0) = U_0. \end{cases} \quad (1)$$

где $U(t)$ – параметры модели (концентрации инфицированных и неинфицированных Т-лимфоцитов и макрофагов, свободного вируса в организме и иммунных эффекторов); q – вектор параметров, характеризующий особенности заболевания и иммунитета пациента; U_0 – начальные условия модели.

Пусть в фиксированные моменты времени t_k из анализов получена дополнительная информация о концентрациях Т-лимфоцитов, свободного вируса и иммунных эффекторов:

$$U(t_k) = \Phi_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (2)$$

Обратная задача 1 заключается в определении вектора параметров g по известным начальным данным U_0 и дополнительной информации вида (2).

Задача уточнения параметров математической модели без лечения (обратная задача 1) сводится к задаче минимизации целевого функционала, описывающего отклонение данных моделирования от экспериментальных данных:

$$J_1(q) = \sum_{k=1}^K |U(t_k; q) - \Phi_k|^2. \quad (3)$$

Реализован и исследован генетический алгоритм решения задачи минимизации функционала (3) в смысле наименьших квадратов. Проведен анализ частоты измерений концентраций Т-лимфоцитов, свободного вируса и иммунных эффекторов. Показано, что при увеличении числа измерений средняя (средняя арифметическая) относительная ошибка $|q - q_{ex}|/|q_{ex}|$ определения параметров уменьшается. При числе измерений $K = 14$ за 100 дней с помощью генетического алгоритма получены индивидуальные параметры пациента. Два из четырех параметров модели (1) определены достаточно точно, а два других имеют относительную ошибку 10 %. Численно показано, что полученная величина относительной ошибки определения параметров модели достаточно мала, чтобы получить модель, хорошо согласующуюся с измерениями (рис. 1).

После определения параметров модели динамики ВИЧ-инфекции (1) для выбора оптимального лечения в нее вводится контроль лечения в виде кусочно-постоянной функции

$$\begin{cases} \frac{dU(t)}{dt} = P(U(t), q, \varepsilon), & t \in (0, T), \\ U(0) = U_0. \end{cases}$$

где $\varepsilon(t)$ – кусочно-постоянная функция контроля лечения.

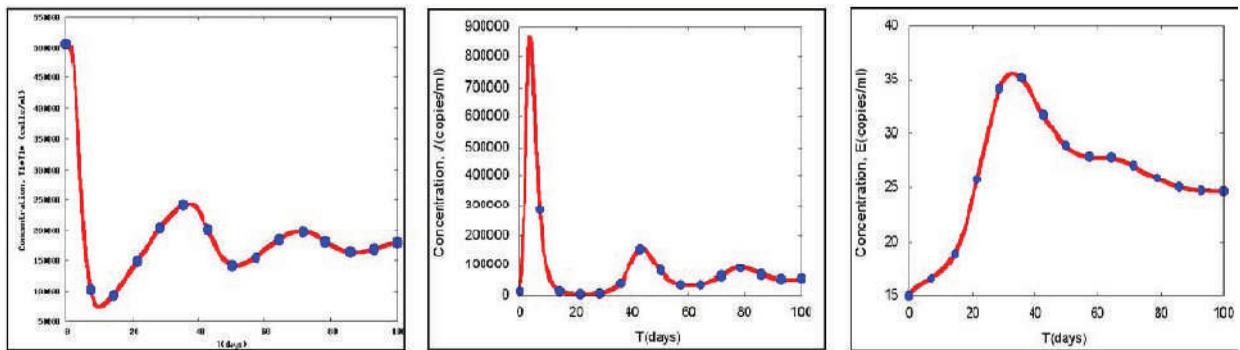


Рис. 1. Графики распространения концентраций Т-лимфоцитов, свободного вируса, иммунных эффекторов для полученных параметров (красная линия); синие точки – измерения концентраций в фиксированные моменты времени

Тогда обратная задача определения контроля лечения – это задача определения кусочно-постоянной функции лечения $\varepsilon(t)$ по известным параметрам модели q и начальным данным U_0 .

Как и в предыдущем случае, данная задача была сведена к задаче минимизации функционала, что означает минимизацию вирусной нагрузки в организме и затрат на лечение:

$$J_2(\varepsilon) = \int_0^T RV(t) + Q\varepsilon^2(t) dt,$$

где R, Q – весовые параметры, $V(t)$ – вирусная нагрузка в организме.

В работе предполагалось, что лечение меняется каждый месяц в течение 90 дней, т. е. необходимо определить вектор, состоящий из трех компонент $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$.

Для численного решения задачи оптимального контроля лечения применен стохастический метод (генетический алгоритм). С помощью данного метода получена кусочно-постоянная функция лечения (рис. 2). Показано, что полученное лечение является оптимальным.

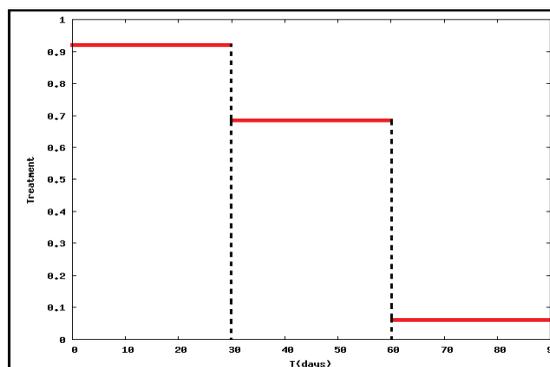


Рис. 2. График кусочно-постоянной функции лечения

Численный метод решения обратной задачи определения параметров математической модели распространения туберкулеза

К.ф.-м.н. Криворотько О. И., Каштанова В. Н., чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Численно исследована обратная задача определения коэффициентов математической модели распространения туберкулеза, учитывающей лечение и возникновение случаев МЛУ-ТБ (рис. 3), для заданной популяции:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= F(X(t), \Theta), & X(0) &= X_0, \\ X(t_k) &= \Phi^{(k)}, & k &= 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $X(t)$ – вектор неизвестных функций модели (например, число чувствительных индивидов, латентно инфицированных индивидов, индивидов с открытой формой заболевания и т. д.); Θ – вектор неизвестных параметров модели (например, параметр трансмиссивности, скорость развития болезни и т. д.); $F(X(t), \Theta)$ – заданная вектор-функция, описывающая модель; $\Phi^{(k)}$ – статистические данные о популяции. Обратная задача (4) сводится к задаче минимизации целевого функционала:

$$\min_{\Theta} J(\Theta), \quad J(\Theta) = \sum_{k=1}^K |X(t_k; \Theta) - \Phi^{(k)}|^2.$$

Разработан численный метод решения задачи минимизации, который позволяет найти глобальный минимум целевого функционала при любом начальном приближении из m -мерной области определения параметров. Метод базируется на комбинации метода имитации отжига (рис. 4) и градиентного метода (минимальных ошибок) (рис. 5). Суть метода имитации отжига заключается в поиске области глобального минимума с помощью упорядоченного случайного поиска, построенного по аналогии с процессом образования кристаллической структуры с минимальной энергией при охлаждении. Когда область глобального минимума найдена, применяется итерационный метод градиентного спуска (начальное приближение берется из этой области):

$$\Theta_{j+1} = \Theta_j - \alpha_j J'(\Theta_j),$$

где для $J'(\Theta)$ получена явная формула:

$$J'(\Theta) = - \int_0^T \Psi(t)^T F_{\Theta}(X(t), \Theta) dt.$$

Графики изменения функционала, относительной ошибки, параметров в зависимости от числа итераций показаны на рис. 6–8. В табл. 1 приведены результаты численных расчетов. Графики решения прямой задачи для точных и вычисленных параметров приведены на рис. 9–10.

Таблица 1

Численное решение обратной задачи при известных измерениях числа неинфицированных людей и людей, находящихся на лечении

Параметры		Комбинированный метод		
Обозначение	Точное значение	Начальное приближение	Полученное решение	Относительная ошибка
ε	0.129	0.186554	0.127367	
k	0.821	0.375305	0.8351	
ν	0.075	0.52066	0.0743568	
δ	0.72	0.943359	0.729983	0.3142
δ_m	0.035	0.617828	0.0352531	
$\tilde{\chi}$	0.343	0.709595	0.243029	
ω	0.6	0.760315	0.996112	

Результаты численных расчетов показывают, что подход определяет набор более чувствительных параметров для конкретного региона (в работе рассматривались синтетические данные на примере СФО), что существенно отличается от широко используемых стандартных значений. Полученные результаты представлены на нескольких международных конференциях.

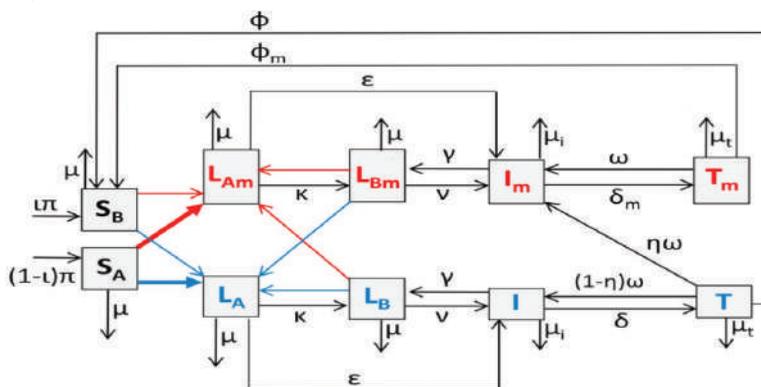


Рис. 3. Блок-схема модели распространения туберкулеза для особо эндемичных регионов

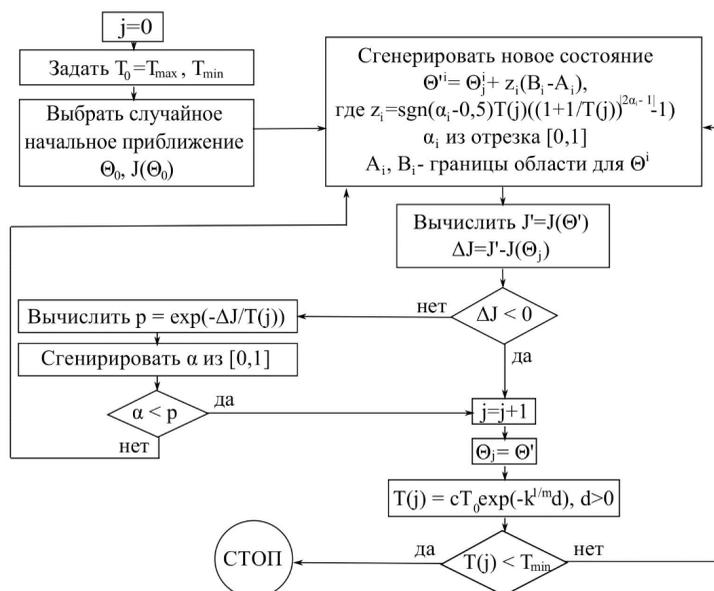


Рис. 4. Блок-схема метода имитации сверхбыстрого отжига

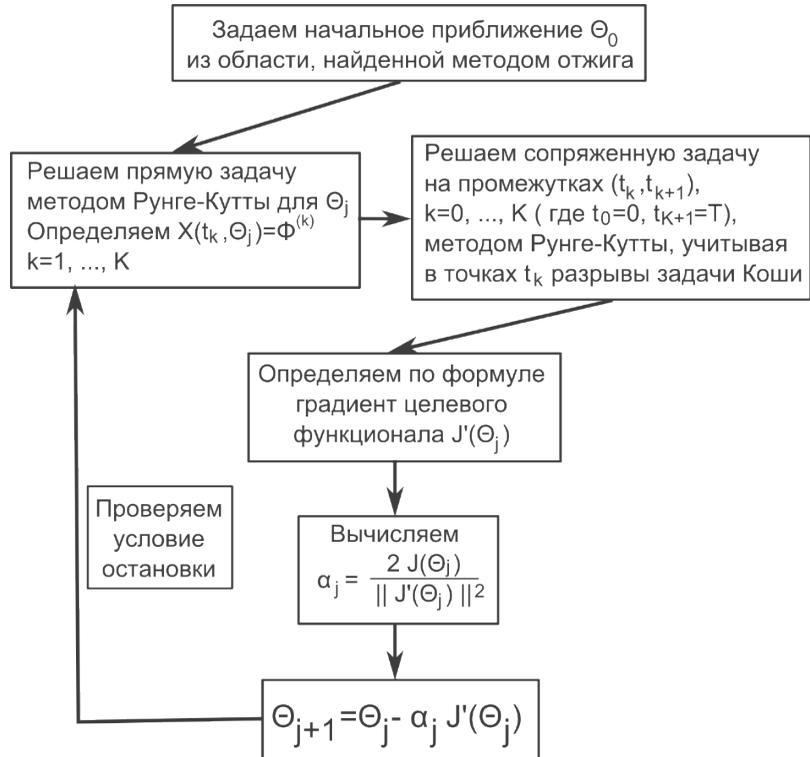


Рис. 5. Блок-схема метода градиентного спуска

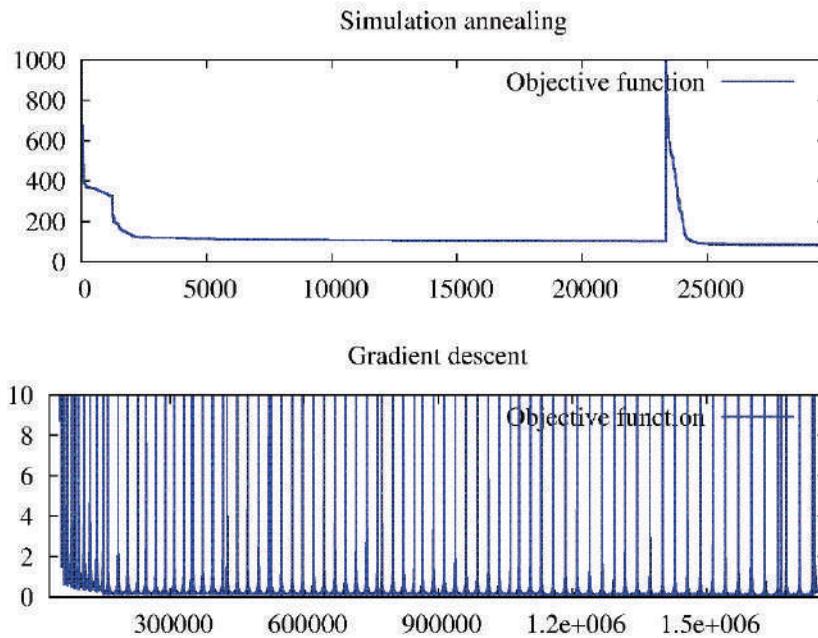


Рис. 6. График изменения целевой функции $J(\Theta_j)$ в зависимости от числа итераций j

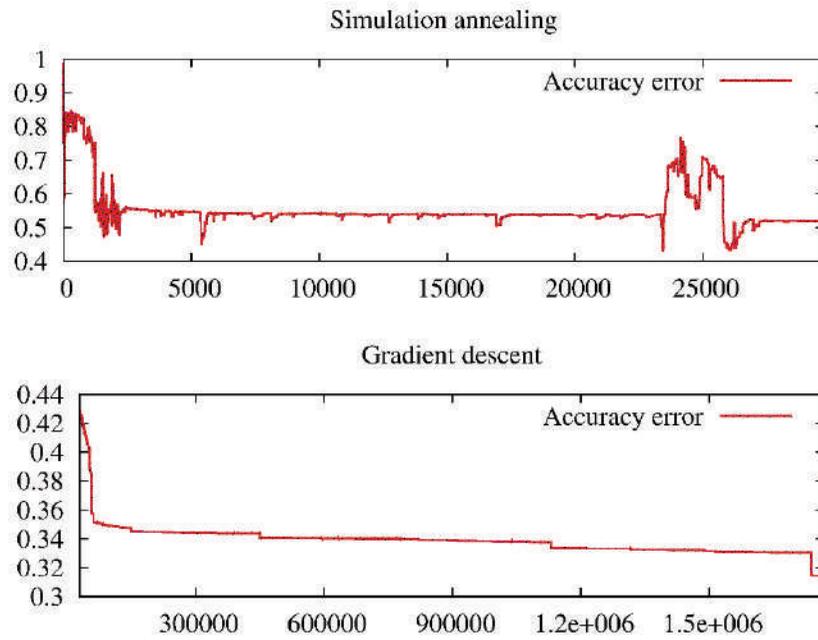


Рис. 7. График изменения относительной ошибки $\frac{|\Theta_j - \Theta_{exact}|}{|\Theta_{exact}|}$ в зависимости от числа итераций j

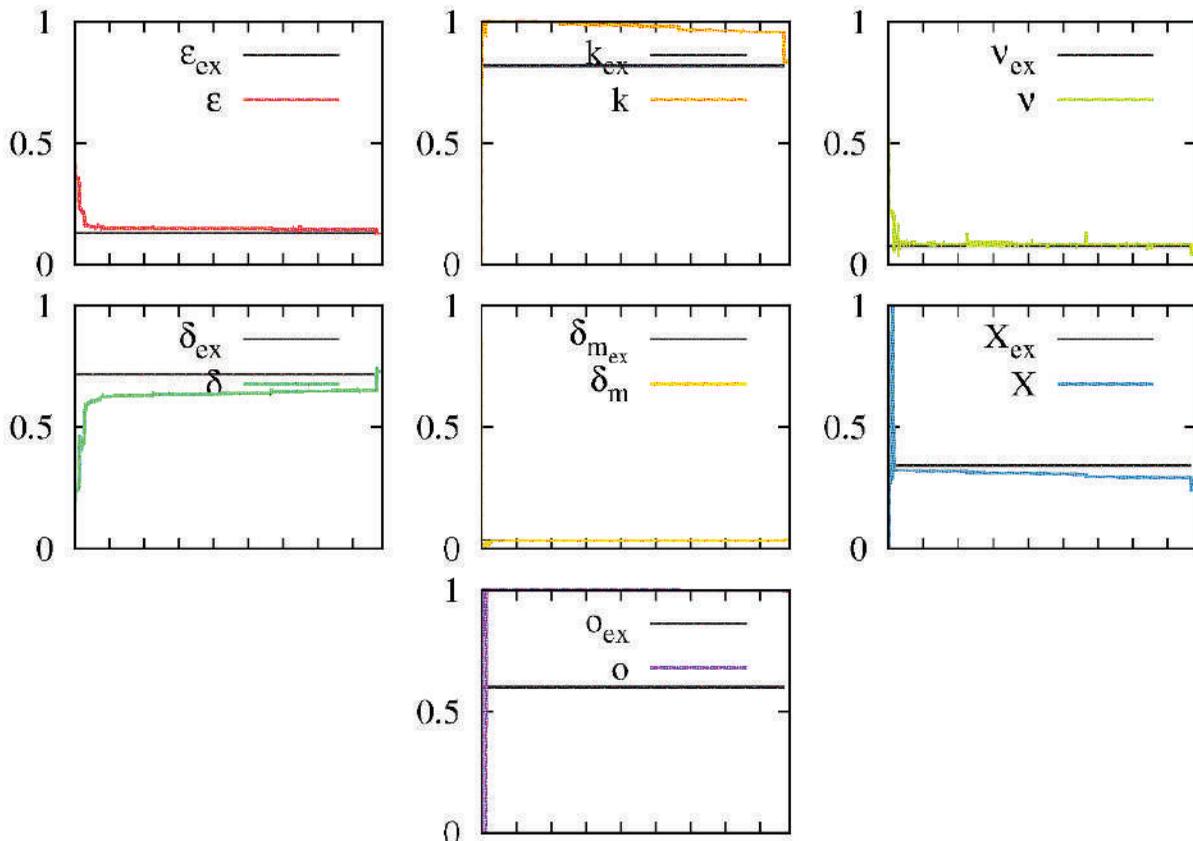


Рис. 8. График изменения значений параметров в зависимости от числа итераций (1767187 итераций комбинированного метода), полная область изменения параметров

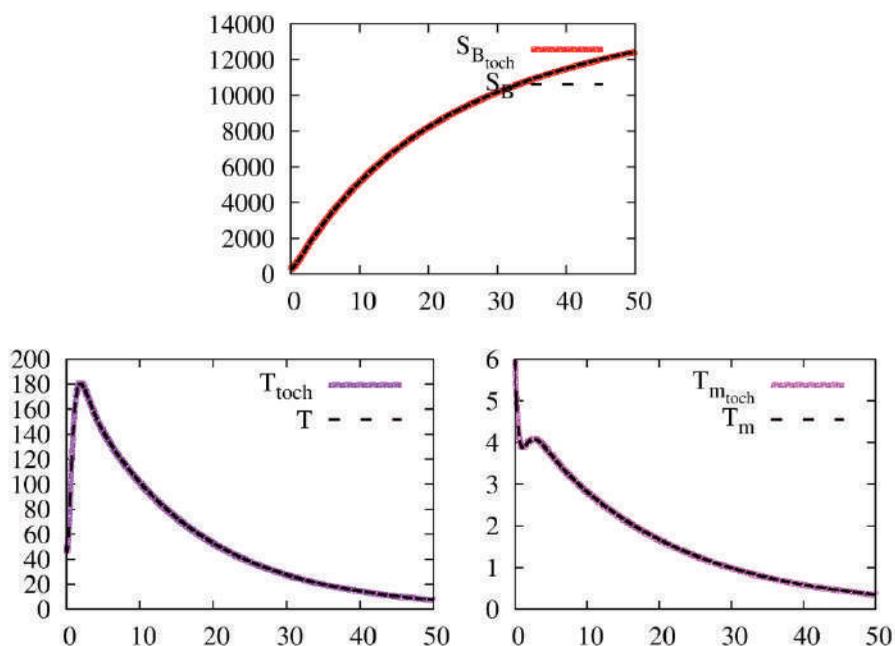


Рис. 9. Графики изменения числа неинфицированных людей $S_B(t)$ и людей на лечении от ТБ $T(t)$ и МЛУ-ТБ $T_m(t)$ для точного и восстановленного решений за 50 лет (измеряемые функции)

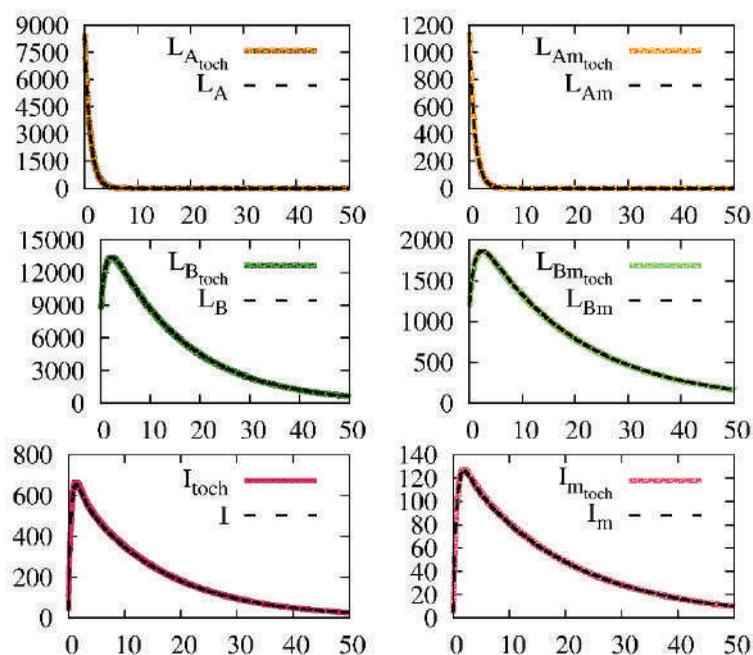


Рис. 10. Графики изменения числа латентно инфицированных людей $L_A(t)$, $L_{Am}(t)$, $L_B(t)$, $L_{Bm}(t)$ и людей, болеющих ТБ $I(t)$ и МЛУ-ТБ $I_m(t)$, для точного и восстановленного решений за 50 лет (неизмеряемые функции)

Численное решение обратной задачи для простейшей математической модели инфекционного заболевания, разработанной Г. И. Марчуком, с запаздыванием

К.ф.-м.н. Криворотько О. И., Латышенко В. А., чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Разработан и исследован алгоритм численного решения задачи определения коэффициентов системы (обратная задача), основанной на соотношении баланса масс для каждой переменной и состоящей из четырех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с запаздывающим аргументом, которые описывают изменение числа антигенов $V(t)$, рост плазматических клеток $C(t)$, баланс числа антител $F(t)$ и характеристику пораженного органа $m(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = (\beta - \gamma F(t))V(t); & t \in (0, T) \\ \frac{dF}{dt} = \rho C(t) - (\mu_f + \eta \gamma V(t)) F(t); \\ \frac{dC}{dt} = \xi(m) \alpha F(t - \tau) V(t - \tau) - \mu_c(C(t) - C^*); \\ \frac{dm}{dt} = \sigma V(t) - \mu_m m(t), \end{cases} \quad (5)$$

с начальными данными:

$$V(0) = V^0, \quad C(0) = C^*, \quad F(0) = \frac{\rho C^*}{\mu_f}, \quad m(0) = 0 \quad (6)$$

по дополнительным измерениям в фиксированный момент времени:

$$u(t_k; q) = \Phi^{(k)}, \quad k = 1, \dots, K, \quad u = (V, F, C, m)^T. \quad (7)$$

Обратная задача (5)–(7) может быть записана в операторном виде:

$$A(q) = \Phi. \quad (8)$$

Здесь $\Phi = (V_1, \dots, V_K, F_1, \dots, F_K, C_1, \dots, C_K, m_1, \dots, m_K)^T \in \mathbb{R}^{4K}$ – вектор измерений, $q = (\tau, \alpha, \beta, \gamma, \eta, \rho, \sigma, \mu_c, \mu_f, \mu_m) \in \mathbb{R}^{10}$ – вектор параметров, A – оператор обратной задачи (5)–(7). Решение задачи (8) сводится к определению минимума целевого функционала:

$$J(q) = \sum_{i=1}^4 \sum_{k=1}^K |u_i(t_k; q) - \Phi_i^k|^2. \quad (9)$$

Решение оптимизационной задачи (9) осуществляется путем комбинации двух методов: генетического алгоритма и градиентного метода.

Генетический алгоритм (ГА) состоит в поиске минимума целевого функционала (9) на основе использования механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Решение, полученное с помощью ГА, берется за начальное приближение при реализации метода минимальных ошибок:

$$q_{j+1} = q_j - \alpha_j J'(q_j), \quad \alpha_j > 0.$$

Здесь $\alpha_j = \frac{2J(q_j)}{\|J'(q_j)\|^2}$, $J'(q_j)$ – градиент целевого функционала (9), который удовлетворяет соотношению

$$J'(q_j) = - \int_0^T \Psi(t)^T P_q(X(t), q) dt.$$

Здесь $\Psi(t)$ – решение сопряженной задачи:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi(t)}{dt} = -P_X^T(X(t), q)\Psi(t), & t \in \bigcup_{k=0}^K (t_k, t_{k+1}), t_0 = 0, t_{K+1} = T; \\ \Psi(T) = 0; \\ [\Psi]_{t=t_k} = 2(X(t_k; q) - \Phi^{(k)}), & k = 1, \dots, K, \end{cases}$$

(P_q, P_X – соответствующие матрицы Якоби).

Результаты численных расчетов показывают, что комбинация двух методов позволяет более точно определить параметры модели, что дает ключ к пониманию процесса заболевания и методам его эффективного лечения.

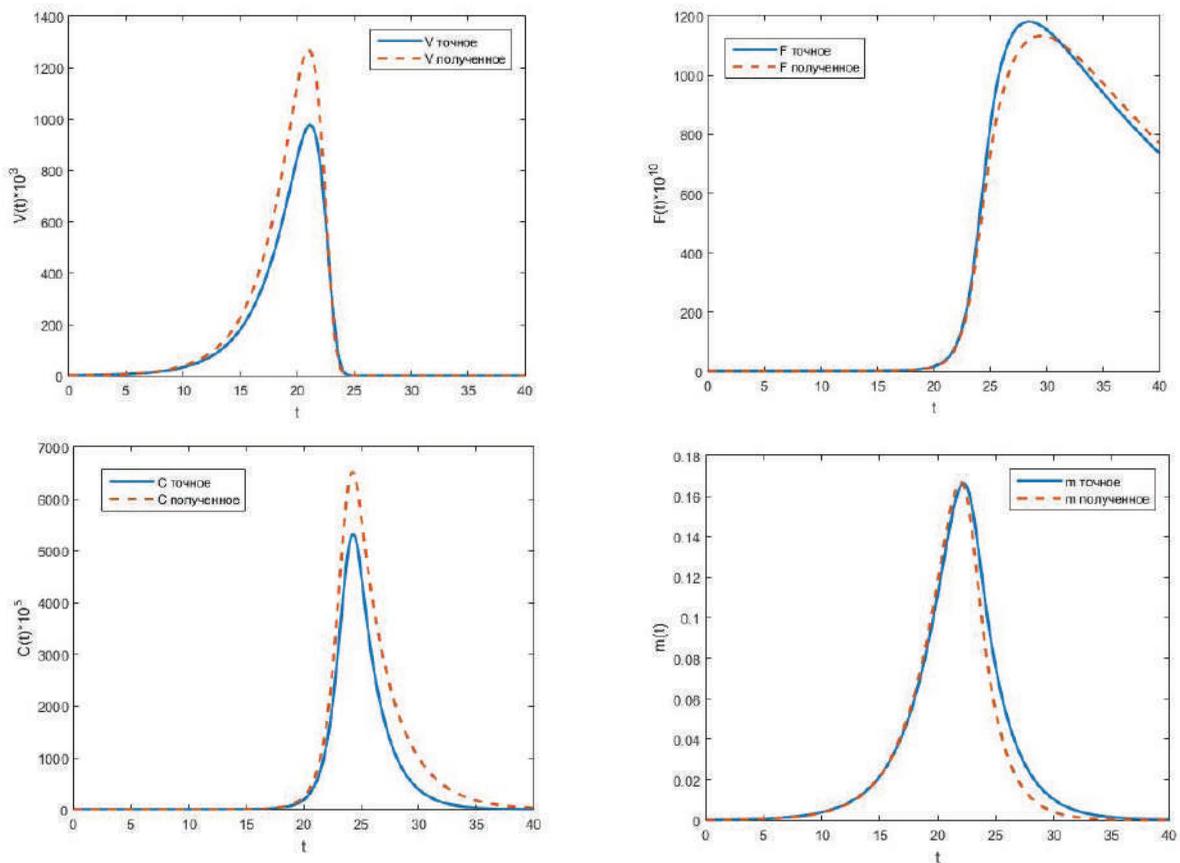


Рис. 11. Графики изменения числа антигенов, антител, плазматических клеток и характеристики пораженного органа; синяя сплошная линия – при точном решении обратной задачи; красная пунктирная линия – при полученном решении обратной задачи (5)–(7)

На рис. 11 показаны графики изменения концентраций u при точных параметрах $q = (1, 5 \cdot 10^{-11}, 0.35, 8.5 \cdot 10^{-14}, 9 \cdot 10^{-9}, 7 \cdot 10^3, 20, 0.5, 0.05, 0.4)^T$ (сплошная линия) и при полученном решении обратной задачи (5)–(7) комбинированным методом $q = (0.9984, 5.014 \cdot 10^{-11}, 0.36, 8.44 \cdot 10^{-14}, 8.19 \cdot 10^{-9}, 5.9 \cdot 10^{-3}, 16, 0.501, 0.049, 0.4)$.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2016 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 1.3.1.3 "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей в науках о Земле".

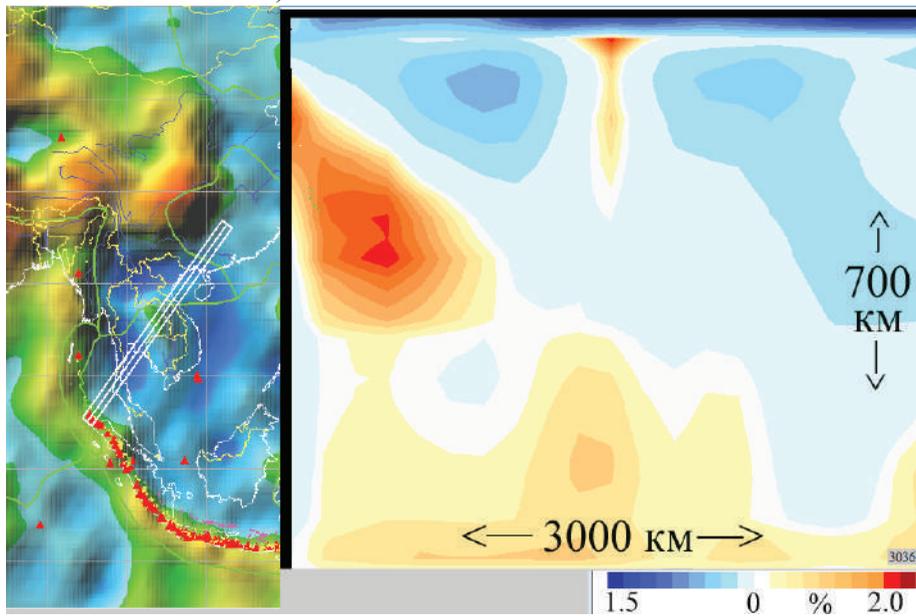
Номер государственной регистрации НИР 012010002449.

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Исследовано проявление несиловых электромагнитных полей в данных наблюдений естественного электромагнитного поля. В несиловых полях не сказывается влияние скин-эффекта, поэтому они проникают в Землю почти в три раза глубже привычных силовых, что позволяет существенно увеличить глубину исследования земных недр переменными, в том числе высокочастотными электромагнитными полями.

В астрофизике несиловые электромагнитные поля всегда участвуют в самогенерации магнитных полей. Исследование самогенерации магнитных полей в астрофизике непосредственно связано с проблемой неустойчивости плазмы в термоядерных реакциях в "бублике" токамака, где самогенерация тороидальных и полоидальных магнитных полей способствует хаотизации частиц плазмы и устремлению их к стенкам токамака.

Реализован новый вычислительный метод линеаментных построений с учетом физики процесса (привязки к дуге большого круга Земли и взаимодействия полей напряжений) для выявления геотектонических структур глобального масштаба. Метод позволил получить важные, актуальные для прогноза сейсмоопасных зон, результаты по геодинамике Центрально-Азиатского и Дальневосточного регионов (Результаты по проекту Президиума РАН: программа ФНИ ГАН. 1.3. П.2П/3-2). Разработана новая экспертно-информационная методика восстановления по особенностям рельефа и аномалиям различных геофизических полей (силы тяжести, теплового потока, скоростей Sv-волн) эродированных и погребенных ударных структур крупного размера: по фрагментам кратерного вала и центрального поднятия, резким изменениям русла рек и др. (Результаты по проекту Президиума РАН: программа ФНИ ГАН. 1.3. П.2П/3-1).



Типичный томографический разрез проникающей ударной структуры
в области полуострова Индокитай

Рассмотрена краевая задача для стационарной переопределенной системы двухскоростной гидродинамики с одним давлением. Решение данной системы сводится к последовательному решению двух краевых задач: задачи Стокса для одной скорости и давления и переопределенной системы для другой скорости. Показана корректность обобщенной постановки этих задач на основе метода регуляризации

Результаты по дифференциальной геометрии. Найдены дифференциальные законы сохранения (дивергентные тождества вида $\operatorname{div} \mathbf{F} = 0$) для семейства произвольных пространственных гладких кривых и законы сохранения для семейства произвольных гладких поверхностей. Соленоидальное векторное поле \mathbf{F} выражается, соответственно, через классические характеристики кривых – базис Френе (касательный орт, главную нормаль и бинормаль), кривизну и кручение и через классические характеристики поверхностей – нормаль, главные направления, главные кривизны, гауссову и среднюю кривизны.

Результаты по геометрии векторных полей. Найдено явное выражение векторного поля \mathbf{P} , входящего в первую форму Ю. А. Аминова для гауссовой кривизны поверхностей (полной кривизны второго рода), в виде ротора вектора, выраженного в терминах характеристик ортогональных к ним кривых. Это позволяет сформулировать некоторые новые выражения для гауссовой кривизны. Найден новый геометрический смысл векторного поля, входящего во вторую форму Ю. А. Аминова, как суммы трех векторов кривизны трех кривых, определяемых векторными линиями поля нормалей к поверхностям.

Результаты по уравнениям математической физики и групповому анализу. С помощью этих общих формул дифференциальной геометрии и векторного анализа получены новые дифференциальные законы сохранения в трехмерном случае для решений уравнения эйконала (для поля времен в трехмерной кинематической сейсмике (геометрической оптике)) и для решений гидродинамических уравнений Эйлера. Продолжено систематическое исследование группы Ли, являющейся расширением группы конформных преобразований трехмерного пространства на пространство шести переменных и одновременно – группой эквивалентности трехмерного уравнения эйконала и других уравнений математической физики. Найдены и исследованы новые групповые преобразования для гидродинамических уравнений Эйлера – группа преобразований эквивалентности для стационарных движений идеальной жидкости, определяемых потенциальной функцией.

Полученные результаты имеют ярко выраженный междисциплинарный характер, поскольку в данном направлении взаимодействуют различные направления математики (дифференциальная геометрия, векторный анализ и групповой анализ в рамках теории групп Ли), математической физики и геофизики (сейсмика, геометрическая оптика, гидродинамика).

Создано научно-исследовательское параллельное программное обеспечение для реалистичного моделирования карбонатных резервуаров с коридорами трещиноватости на основе сеток с локальным измельчением по пространству и времени. Изучение проявлений коридоров трещиноватости в сейсмических волновых полях проведено на тестовой цифровой трехмерной модели Юрубчено-Тахомского нефтяного месторождения в Восточной Сибири. В эту модель была внедрена система трещин – коридоров трещиноватости, построенная на основе статистического анализа. Изучены особенности формирования рассеянных волновых полей для флюидонаполненных и минерализованных трещин.

Создан комплекс программ для решения коэффициентных двумерных обратных задач для гиперболических уравнений.

Создан метод восстановления сейсмических параметров среды на основе метода Гельфанда – Левитана.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-31-00382 мол-а "Разработка численных алгоритмов решения прямых и обратных задач в биологии и медицине".

Руководитель – Воронов Д. А.

Разработан численный алгоритм решения обратных задач для линейных систем дифференциальных уравнений в фармакокинетике. Получен явный вид градиента для такого класса задач. Данный подход реализован в качестве удобного программного приложения. В программе предусмотрены следующие функции: задание точности решения и временного интервала, возможность фиксации фармакокинетических параметров, возможность ограничения определяемых параметров интервалом допустимых значений, задание правых частей системы в виде экспонент, что соответствует фармакокинетическим задачам. Приведен обзор принципов построения физиологически обоснованных фармакокинетических моделей, более точно отвечающих физиологической и анатомической структуре организма. Разработан итерационный алгоритм решения обратных задач для физиологически обоснованных фармакокинетических моделей без использования явного вида градиента функционала, основанный на линеаризации, дискретизации и решении СЛАУ. Применено сингулярное разложение, показывающее степень некорректности конкретной задачи. Проведен сравнительный анализ разработанных алгоритмов, показавший, что в случае наличия априорной информации о процессе метод, основанный на линеаризации, сходится за небольшое число итераций (10–50 итераций в зависимости от постановки задачи), в то время как градиентный метод сходится значительно медленнее (2000–10000 итераций). Решена обратная задача для фармакокинетической модели секреции и кинетики С-пептида, а также одного радиофармацевтического соединения для печеночной функции. Показано, что использование достоверной информации о характере ошибки прибора улучшает качество оценки фармакокинетических параметров. Для каждой из более чем десяти постановок рассмотренной задачи проведено свыше 100 экспериментов для определения оптимального алгоритма определения фармакокинетических параметров.

Проект РФФИ № 15-01-09230 "Построение и исследование аналогов уравнений Гельфанда – Левитана – Крейна и численных методов их решения в применении к многомерным обратным задачам акустики, электродинамики и теории упругости".

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Изложены результаты работы за 2016 г.:

- построена и исследована система уравнений акустики для определения скорости распространения волн; плотности и разработан численный метод решения обратной задачи;
- на основе проекционного метода решена обратная задача определения скорости распространения волн и плотности в уравнении акустики;
- на основе проекционного метода решена задача определения диэлектрической проницаемости в системе уравнений Максвелла;
- разработанные алгоритмы и программы оптимизированы для гибридных суперЭВМ; проведен сравнительный анализ затрат машинного времени в зависимости от архитектуры.
- доказана теорема существования и единственности решения обратной задачи об определении потенциала для гиперболического уравнения и получена оценка устойчивости.

Проект РФФИ № 16-01-00729 "Математическое моделирование фильтрации минерализованных растворов в вязкоупругих средах".

Руководитель – д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

В рамках проекта за отчетный период получены следующие результаты. Сформулированы уравнения, описывающие нелинейную динамику смеси сжимаемых вязких жидкостей с учетом их минерализации в предположении равенства давлений в фазах. Предложено соответствующее уравнение состояния в квадратичном приближении. С использованием скалярных функций получено аналитическое решение уравнений течений смеси несжимаемых вязких жидкостей с примесью в случае равновесия фаз по давлению. Также получены уравнения нелинейной динамики насыщенной минерализованной жидкостью пористой среды как без касательных напряжений (гранулированные среды), так и с их учетом. Установлен ряд дифференциальных тождеств (стационарные законы сохранения), связывающих скорости фаз, давление и массовую силу, для уравнений механики насыщенной минерализованной жидкостью пористой среды без касательных напряжений. В рамках выполнения проекта также предложена одна из возможных постановок прямых и обратных динамических задач, возникающих при распространении сдвиговых сейсмических волн в пористых средах, насыщенных минерализованным раствором.

Проект РФФИ № 16-51-77011 16-31-10314 мол_г. Проект организации 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Семинар прошел на высоком научном уровне. По итогам его работы запланирована подготовка российско-британского гранта для будущего представления на целевые конкурсы РФФИ. Запланировано также несколько совместных научных работ. Все участники семинара согласились с предложением продолжить совместные конференции и научные связи. Многие из участников семинара с английской стороны планируют принять участие в ежегодной международной молодежной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", которая пройдет в Новосибирске с 1 по 7 сентября 2017 г.

Проект РФФИ № 16-51-77011 КО_г "Проект организации российско-британского семинара по теме "Количественная неопределенность в обратном моделировании".

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Школа-конференция позволила выявить и систематизировать актуальные проблемы в области численного решения обратных и некорректных задач и их приложений. Более того, накопленная за предыдущие годы информация о докладах позволяет контролировать не только текущее состояние, но и динамику развития данного научного направления.

Научная программа школы-конференции включала пленарные 30-минутные лекции и устные 15-минутные доклады. О новых обратных задачах и методах их регуляризации рассказали академики С. К. Годунов (нелинейные волновые процессы), А. Н. Коновалов (теория упругости), Н. А. Колчанов (биоинформатика), М. И. Эпов (геофизика), члены-корреспонденты РАН В. Г. Романов (обратные задачи), А. М. Федотов (системы хранения и обработки данных), профессора М. П. Федорук (прямые и обратные задачи фотоники), В. М. Головизнин (высокопроизводительные вычисления), В. С. Белоносов (спектральные методы решения обратных задач), А. Г. Ягола (априорные и апостериорные оценки ошибок решения обратных задач), В. В. Пененко (обратные задачи охраны окружающей среды), В. В. Пикалов (алгоритмы деконволюции), А. И. Кожанов (теоремы существования для некоторых обратных задач), Ю. М. Волчков (теория упругости), А. В. Кельманов (распознавание образов), К. К. Сабельфельд (методы Монте-Карло в обратных задачах), В. П. Голубятников

и В. А. Лихошвай (генные сети), Ю. С. Волков (сплайны) и другие. Основные направления научной программы: методы регуляризации неустойчивых задач, обратные задачи математической физики, биологии, медицины, наук о Земле. Большой интерес вызвала новая для нашей школы тема – высокопроизводительные вычисления в обратных задачах.

Проект РФФИ № 16-01-20522 Г "Проект организации 2-й Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии" ("ММ-ВВ-БББ–2016") (International conference on the mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and Biotechnology "ММ&НПС-ВВВ–2016")".

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

В конференции приняли участие ученые из различных городов России (Москва, Новосибирск, Владивосток, Иркутск, Томск, Пермь, Кемерово, Уфа, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Красноярск, Петрозаводск, Биробиджан, Барнаул), а также из ближнего и дальнего зарубежья (Казахстан, Китай, Германия, США, Украина). Итоговое число организаций – 53, включая 25 университетов, 24 исследовательских института, а также 4 частные компании.

На секции "Высокопроизводительное вычисление в естественных науках" докладывалось о современных разработках для решения биологических задач с использованием суперкомпьютеров. В данной секции стоит выделить доклад А. Пальянова и С. Хайрулина о 3D симуляции свободноживущей нематоды. Исследователи выкладывают исходные коды на ресурс github.com. Результаты моделирования можно увидеть по адресу: https://www.youtube.com/watch?v=J_wG5PfdIoU. Также крайне познавательным был доклад И. Черных, Б. Глинского, Н. Кучина о возможностях Сибирского суперкомпьютерного центра для решения задач биоинформатики.

На секции "Анализ динамических систем. Идентифицируемость" было сделано наибольшее число докладов. В подготовке к работе секции оказывал помощь профессор университета штата Северная Каролина Х. Т. Бэнкс. В секции рассмотрены вопросы биологии и медицины, в которых возникает необходимость решать обратные задачи. Основы теории обратных и некорректных задач были заложены в Советском Союзе А. Н. Тихоновым, М. М. Лаврентьевым, В. К. Ивановым. В настоящее время в России (в частности, в Новосибирске) работают их ученики и последователи, которые регулярно выступают с докладами на ведущих международных конференциях по теории и численным решениям обратных и некорректных задач и являются членами редколлегий крупных международных журналов. В частности, участники программного комитета представлены в редколлегиях следующих международных журналов:

- "Inverse Problems" (С. И. Кабанихин – член Advisory Pannel);
- "Journal of Inverse and Ill-Posed Problems" (С. И. Кабанихин – Editor-in-Chief, М. А. Шишленин – Manager Editor, А. Г. Ягола – член редколлегии);
- "Inverse Problems in Science and Engineering" (А. Г. Ягола – член редколлегии).

Проект РФФИ № 16-31-00189 мол-а "Развитие параллельных алгоритмов численного решения прямых и обратных задач распространения волн в системе гидросфера – литосфера".

Руководитель – к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

Сформулирован и разработан алгоритм и численно исследована задача распространения длинных волн для нелинейных уравнений мелкой воды в глубокой воде и на побережье (задача наката волн на берег). Численно исследована устойчивость решения линеаризованной

совмещенной обратной задачи, показано, что оператор совмещенной обратной задачи является компактным, и совмещение данных увеличивает устойчивость решения обратной задачи. Разработан численный оптимизационный алгоритм решения совмещенной обратной задачи для уравнений мелкой воды по измерениям отклонения водной поверхности от состояния покоя в конечном числе точек и в фиксированный момент времени. Основу алгоритма составляет метод сопряженных градиентов. К некорректной обратной задаче применена итерационная регуляризация, сглаживающие фильтры волнового решения, оптимизация и регуляризация оператора посредством ограничения спектра. Разработан эффективный численный алгоритм определения амплитуды переднего фронта волны как альтернативный вариант мгновенного определения амплитуды источника возмущений. Алгоритмы численного решения прямой и сопряженных задач перенесены на параллельные архитектуры, что значительно ускорило их работу.

Проект РФФИ № 16-01-00755 "Разработка численных методов продолжения решений с части границы уравнений математической физики".

Руководитель – к.ф.-м.н. Шишленин М. А.

Результаты работы за 2016 г.:

– получена оценка сильной сходимости итерационного процесса для решения задачи продолжения для общего эллиптического уравнения с данными на части границы и оценка условной устойчивости;

– разработаны численные методы решения задачи продолжения теплового поля с части границы и проведен сравнительный анализ разработанных численных методов;

– разработан проекционный метод решения задачи продолжения для уравнения упругости в предположении линейной зависимости скоростей;

– разработанные алгоритмы апробированы на гибридных суперЭВМ.

Публикации

Монографии

1. Михеева А. В. Геоструктурные элементы, выявляемые математическими алгоритмами и цифровыми моделями геоинформационно-вычислительной системы GIS-ENDDDB. Новосибирск: Омега Принт, 2016. 300 с. ISBN 978-5-91907-031-3.

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Aksenov V. V. Non-force and force electromagnetic fields // *Rus. Phys. J.* 2016. Vol. 59. No. 3. P. 319–327. (в базе *Wos*)

2. Аксёнов В. В. Электродинамика наблюдаемого на Земле естественного электромагнитного поля // *Изв. вузов. Сер.: Геология и разведка.* 2016. № 2. С. 50–60.

3. Аксёнов В. В. Математическое моделирование предвестников землетрясений, возникающих в физических полях // *Там же.* № 3. С. 36–44.

4. Аксёнов В. В. О методологии и методах прикладного геомагнетизма // *Там же.* № 6. С. 50–56.

5. Кабанихин С. И., Криворотько О. И. Алгоритм вычисления амплитуды волновых фронтов и обратные задачи (цунами, электродинамика, акустика, вязкоупругость) // *Доклады РАН. Сер.: Математика.* 2016. Т. 466, № 6. С. 645–649. (в базах *РИНЦ, Scopus, Wos*)

6. Кабанихин С. И., Криворотько О. И. Численный алгоритм расчета амплитуды волны цунами // *СибЖВМ.* 2016. Т. 19, № 2. С. 153–165. (в базах *РИНЦ, Wos, Scopus*)

7. Михеева А. В., Дядьков П. Г., Марчук Ан. Г., Егоров А. А. Геоинформационные технологии экспертной системы GIS-ENDDB ("Базы данных природных катастроф Земли") // Вестн. НГУ. Сер.: Информационные технологии. 2016. Т. 14. Вып. 3. С. 49–60.

8. Колюхин Д. Р., Лисица В. В., Решетова Г. В. Влияние изменчивости свободной поверхности на повторяемость данных сейсмического мониторинга // Технологии сейсморазведки. 2016. № 1. С. 69–76.

9. Базайкин Я. В., Колюхин Д. Р., Лисица В. В., Новиков М. А., Решетова Г. В., Хачкова Т. С. Влияние масштаба микротомографических изображений на оценку макромасштабных свойств породы // Там же. № 2. С. 38–47.

10. Ланда Е., Неклюдов Д. А., Протасов М. И., Решетова Г. В., Хайдуков В. Г., Чеверда В. А. Особенности распространения сейсмических волн в транзитных зонах при наличии ледового покрова и подавление шумов // Там же. С. 57–68.

11. Мейрманов А. М., Решетова Г. В., Чеверда В. А. Анализ моделей вытеснения нефти водой через микроструктуру // Докл. Акад. наук. 2016. Т. 470, № 3. С. 340–343.

Зарубежные издания

1. Жураев Д. А., Жиан-Ган Тан, Имомназаров Х. Х., Урев М. В. Краевая задача для одной переопределенной системы, возникающей в двухжидкостной среде // УзбМЖ. 2016. № 3. С. 58–69.

2. Vasiliev G. S., Imomnazarov Kh. Kh., Mamasoliyev B. J On one system of the Burgers equations arising in the two-velocity hydrodynamics // J. of Phys.: Conference Series (JPCS) 2016. V. 697, 012024. [Electron. resource]. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/697/1/012024>
(в базах Scopus, Wos)

3. Berdyshev A., Imomnazarov Kh., Jian-Gang Tang, Tuychieva S. The symmetric form of poroelasticity dynamic equations in terms of velocities, stresses and pressure // Open Eng. 2016. V. 6. P. 322–325. DOI: 10.1515/eng-2016-0043.
(в базах Scopus, Wos)

4. Baishemirov Zh., Jian-Gang Tang, Imomnazarov Kh., Mamatqulov M. Solving the problem of two viscous incompressible fluid media in the case of constant phase saturations // Ibid. 2016. V. 6. P. 42–745.
(в базах Scopus и Wos)

5. Grebenev V. N., Oberlack M., Megrabov A. G., Grishkov A. N. Symmetry transformations of an ideal steady fluid flow determined by a potential function // J. of Math. Phys. 2016. Vol. 57, № 10 (October 2016). P. 103506–1÷103506–15.
(в базах Scopus, Wos).

6. Perepechko Y., Sorokin K., Imomnazarov Kh. Numerical simulation of the free convection in a viscous compressible fluid // Open Eng. 2016. V. 6. P. 590–594
(в базах Scopus, Wos).

7. Имомназаров Х. Х., Мамасолиев Б. Ж. Об одном частном решении системы типа Навье – Стокса // Uzbek. Math. J. 2016. № 4. P. 68–72.

8. Berdyshev A., Imomnazarov Kh., Jian-Gang Tang, Mikhailov A. The Laguerre spectral method as applied to numerical solution of a two-dimensional linear dynamic seismic problem for porous media // Open Comput. Sci. 2016. V. 6. P. 208–212. DOI: 10.1515/comp-2016-0018.
(в базах Scopus, Wos)

9. Васильев Г. С., Имомназаров Х. Х., Мамасолиев Б. Ж., Султанов М. А. Об одной системе уравнений типа Бюргерса, возникающей в двухскоростной гидродинамике // Док. АН РУз, 2016. № 5. С. 3–7.

10. Protasov M. I., Reshetova G. V., Tcheverda V. A. Fracture detection by Gaussian beam imaging of seismic data and image spectrum analysis // Geophys. Prospecting. 2016. Vol. 64, No 1. P. 68–82. DOI: 10.1111/1365-2478.12259
(в базе Scopus)

11. Zhumali A. S., Reshetova G. V. Numerical modelling of microscopic dynamics of in-situ leaching // *Sib. Electronic Math. Rep.* 2016. Vol. 13. P. 726–733. [Electron. resource]. <http://semr.math.nsc.ru/v13/p726-733.pdf>. DOI 10.17377/semi.2016.13.057. (в базе *Scopus*)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Аксёнов В. В. Несиловые переменные электромагнитные поля токов смещения в конденсаторах // *Сборник научных трудов НГТУ.* 2016. № 1 (83). С. 69–75. (в базе *РИНЦ*)

2. Аксёнов В. В. Векторный потенциал, эффект Ааронова – Бома и электродинамика в токамаке // *Proc. of the Intern. geometry center.* 2016. Vol. 8. No 3–4. P. 31–39. (в базе *РИНЦ*)

3. Аксёнов В. В. О пределах применимости теоремы о некоторых соленоидальных векторных полях // *Сб. науч. трудов НГТУ.* 2016. № 3 (85). С. 107–114. (в базе *РИНЦ*)

4. Voskoboynikova G., Imomnazarov Kh., Mikhailov A., Jian-Gang Tang. Influence of snow cover on the seismic waves propagation // *Proc. of The 6th conference on numerical analysis and applications (NAA'16)*, Lozenetz (Bulgaria), June 13–25, 2016. (принята в печать). (в базах *Scopus*).

5. Khaidukov V., Protasov M., Neklyudov D., Silvestrov I., Tcheverda V., Landa E., Reshetova G. Enhancement of seismic data gathered by floating ice acquisition: Application of local kinematic attributes // *Proc. of the SEG Intern. exposition and 86th Annual meeting, Dallas (USA), Oct. 16–21, 2016.* P. 4654–4658. (в базе *РИНЦ*)

6. Lisitsa V., Khachkova T., Kolyukhin D., Gurevich B., Lebedev M., Reshetova G., Tcheverda V. Scale dependency of pore-space topology and transport properties of sandstone CT scans // *Ibid.* P. 3148–3153. (в базе *РИНЦ*)

7. Voronin K. V., Lisitsa V. V., Neklyudov D., Reshetova G. V., Shin C. Solving Helmholtz equation by means of domain decomposition using discontinuous Galerkin and pseudospectral methods // *Proc. of the 7th EAGE Saint Petersburg Intern. conf. and exhibition "Understanding the harmony of the Earth's resources through integration of geosciences"*, Saint Petersburg, Apr. 11–14, 2016. Th C 11, P. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.201600248. (в базе *Scopus*)

8. Reshetova G., Lisitsa V., Tcheverda V. Numerical simulation of sonic log for anisotropic media // *Ibid.* Th C 7, P. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.201600119. (в базе *Scopus*)

9. Merzlikina A. S., Bibik A. N., Volkova A. A., Tuzovskiy A. A., Shilikov V. V., Reshetova G. V., Tcheverda V. A. The study of anisotropy in orientation of fractures by azimuth distribution of seismic scattering energy // *Ibid.* Th C 08. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.201600245. (в базе *Scopus*)

10. Imomnazarov Kh. Kh., Jian-Gang Tang, Baishemorov Zh. Shale swelling around a cylindrical wellbore // *Материалы науч. конф. "Актуальные вопросы анализа"*, Карши, 22–23 апр. 2016 г. С. 111–113.

11. Имомназаров Х. Х., Бердышев А. С., Жиан-Ган Тан Симметрическая форма записи динамических уравнений пороупругости в терминах скоростей, напряжений и давления // Там же.

12. Имомназаров Х. Х., Бердышев А. С., Жиан-Ган Тан, Черных Е. Г. Функция Грина для стационарного уравнения двухскоростной уравнений гидродинамики с равновесием фаз по давлению // Там же. С. 116–118.

13. Имомназаров Х. Х., Имомназаров Ш. Х., Маматкулов М. М., Жиан-Ган Тан. О разрушении решений уравнений двухжидкостной среде с одним давлением // Там же. С. 118–122.

14. Васильев Г. С., Имомназаров Х. Х., Жиан-Ган Тан, Мамасолиев Б. Ж. Групповая классификация уравнений двухскоростной гидродинамики с равновесием фаз по давлению // Там же. С. 86–87.

15. Жураев Д. А., Жиан-Ган Тан, Имомназаров Х. Х., Урев М. В. Краевая задача для одной переопределенной системы, возникающей в двухжидкостной среде // *Материалы науч. конф. "Актуальные вопросы анализа"*, Карши, 22–23 апр. 2016 г. С. 98–100.
16. Коробов П. В., Имомназаров Х. Х., Няго В. А., Холмуродов А. Э. Моделирование волнового поля в пористой среде (случай поперечной волне) // *Там же*. С. 132–133.
17. Tuychieva S. T., Voskoboynikova G., Imomnazarov Kh. Kh., Jian-Gang Tang, Mikhailov A. On applying poroelasticity theory described by three elastic parameters to seismic waves propagation in the snow // *Там же*. С. 181–183.
18. Жабборов Н. М., Имомназаров Х. Х., Рахмонов Т. Т. Система уравнений Монжа – Ампера, возникающая в насыщенном раствором в пористой среде // *Труды Международной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хоразми-2016"*, 9–10 нояб. 2016 г. Т. 2. С. 61–63.
19. Имомназаров Ш. Х., Янгибоев З. Ш., Жиан-Ган Тан, Рахмонов Т. Т. Задача Дирихле для одномерного гиперболического типа // *Там же*. С. 353–355.
20. Титаренко С. С., Куликов И. М., Черных И. Г., Шишленин М. А., Криворотько О. И., Воронов Д. А., Хилдьярд М. Многоуровневый дизайн параллельной реализации сеточных методов решения прямых и обратных задач // *Труды Междунар. конф. "Суперкомпьютерные дни в России"*, Москва, 26–27 сент. 2016 г. С. 255–268. (в базе РИНЦ)
21. Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Ермоленко Д. В. Идентификация математической модели внутриклеточной динамики ВИЧ-инфекции // *Труды 12-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем"*, Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 234–240. (в базе РИНЦ)
22. Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Каштанова В. Н. Идентификация математической модели распространения туберкулеза для особо эндемичных районов // *Там же*. С. 241–246. (в базе РИНЦ)
23. Латышенко В. А., Криворотько О. И., Кабанихин С. И. Обратная задача для математической модели инфекционного заболевания // *Там же*. С. 348–351. (в базе РИНЦ)
24. Novikov N. S., Shishlenin M. A. Inverse and ill-posed problems in tomography, based on the propagation of the acoustic waves // *Abst. of the Intern. conf. on the mathematical modeling and high performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology (Mm-Hpc-Bbb-2016)*, Новосибирск, 29 авг. – 2 сент. 2016 г. С. 78.
25. Кабанихин С. И., Шишленин М. А. Продолжение физических полей с части границы в сторону залегания неоднородностей // *Тез. 16-й Междунар. конф. "Супервычисления и математическое моделирование"*, Саров, 3–7 окт. 2016 г. С. 60.
26. Кабанихин С. И., Шишленин М. А. Теория и численные методы решения обратных задач для гиперболических уравнений // *Тез. докладов конференции "Динамические системы: обратные задачи, устойчивость и процессы управления"*, Москва, 22–23 сент. 2016 г. С. 55–58.
27. Кабанихин С. И., Шишленин М. А., Новиков Н. С. Алгоритмы определения упругих параметров по площадным системам наблюдений (прямая линейная обработка данных сейсмических наблюдений) // *Вестн. кибернетики*. 2016. № 2 (22). С. 82–90.
28. Kabanikhin S. I., Shishlenin M. A. A continuation of physical fields with the data on the part of the boundary // *Abst. of the 4th Intern. workshop on computational inverse problems and applications*, Zibo (China), Jul. 8–12, 2016. P. 10–11.
29. Михеева А. В., Соколова Л. С. О возможной взаимосвязи сейсмичности и теплового поля по данным GIS-ENDDDB // *В сб. "Современные методы обработки и интерпре-*

тации сейсмологических данных" / отв. ред. А. А. Маловичко. Обнинск: ГС РАН, 2016. С. 204–208. (в базе РИИЦ)

30. Меграбов А. Г. Законы сохранения и дивергентные формулы для семейства кривых и поверхностей и их приложения // Материалы Междунар. конф. по алгебре, анализу и геометрии и молодежной школы-конференции по алгебре, анализу, геометрии, Казань, 24 июня – 6 июля 2016 г. Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2016. С. 237–238.

31. Меграбов А. Г. О некоторых формулах для семейств кривых и поверхностей и дивергентных представлениях Ю. А. Аминова // Тезисы Междунар. конф. "Дни геометрии в Новосибирске", Новосибирск, 21–24 сент. 2016 г. С. 59–60.

32. Михеева А. В., Калинин И. И. Глобальные структуры сейсмичности Центральной Азии // В сб. "Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы. Результаты исследований на количественной основе" / отв. ред. Леви К. Г., Саньков В. А. Иркутск, 2016. С. 30–32. (в базе РИИЦ).

33. Михеева А. В., Калинин И. И. Возможности инструментария GIS-ENDDB для изучения сложных геотектонических структур // Тез. 4-й Междунар. конф. "Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле" (ITES-2016), Южно-Сахалинск, 7–11 авг. 2016 г. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 150.

34. Shishlenin M. A. Inverse problems for nonlinear PDE: Applications to biology and medicine // Abst. of the Intern. conf. on the mathematical modeling and high performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology (Mm-Hpc-Bbb-2016), Новосибирск, 29 авг. – 2 сент. 2016 г. С. 93.

35. Shishlenin M. A. Regularization methods of the continuation problem for parabolic equation with the data on the part of the boundary // Abst. of the 6th conf. on numerical analysis and applications (NAA'16), Lozenetz (Bulgaria), June 15–22, 2016. P. 26.

36. Abdenbayeva A., Reshetova G. V., Dmitriyeva A. P., Khachkova T. S., Lisitsa V. V. Synthetic model based on different resolution three-dimensional images of core samples // Proc. of the 2nd Intern. conf. "Information technologies in science and industry", Almaty (Kazakhstan), 19–20 May, 2016. С. 20.

Прочие публикации

1. Михеева А. В. Изучение геоструктурных элементов Памиро-Гиндукушской зоны средствами GIS-ENDDB // Путь науки. 2016. № 5 (27), т. 2. С. 86–87. (в базе РИИЦ)

2. Megrabov A. G. Some formulas for families of curves and surfaces and their applications. // Bull. NCC. Ser.: Mathematical Modeling in Geophysics. 2016. Iss. 19. P. 29–41. (в базе РИИЦ)

3. Megrabov A. G. Relationships between the characteristics of mutually orthogonal families of curves and surfaces. // Bull. NCC. Ser.: Mathematical Modeling in Geophysics. 2016. Iss. 19. P. 43–50. (в базе РИИЦ)

4. Megrabov A. G. On the conservation laws for a family of surfaces // Ibid. P. 51–58. (в базе РИИЦ)

5. Mikheeva A. V., Marchuk An. G. Geographical information system "The Earth's natural disasters Database" (ENDDB) as a tool for studying complex geotectonic structures // Ibid. Ser.: Computer Science. 2016. Vol. 39. P. 25–36. (в базе РИИЦ)

6. Mikheeva A. V., Kalinnikov I. I. Algorithms of building lineaments in the program GIS-ENDDB // Bull. NCC. Ser.: Mathematical Modeling in Geophysics. 2016. Iss. 19. P. 1–9. (в базе РИИЦ)

7. Mikheeva A. V., Hazivaliev F. R., Chetverova O. P. Geomorphologic features of the Earth's large cosmogenic structures // Ibid. P. 59–66. (в базе РИИЦ)

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Свидетельство № 2015619859 РФ. GIS-ENDDB : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Михеева А. В.; зарег. 15.09.2015.
2. Свидетельство № 2016719537 РФ. Программа анализа этапов тектономагнитных наблюдений в GIS-EEDB : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Дядьков П. Г., Михеева А. В., Кулешов Д.; зарег. 7.09.2016.
3. Свидетельство № 2016612862 РФ. Модуль магнитных свойств горных пород GIS-EEDB : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Дядьков П. Г., Михеева А. В., Гнибиденко З. Н., Левичева А. В.; зарег. 10.03.2016.

Свидетельства о регистрации в ФАП СО РАН

1. Михеева А. В. и др. Геоинформационная система "Банк данных природных катастроф Земли" (GIS-ENDDB) / Свидетельство о регистрации в ФАН СО РАН № PR16002 от 2016.03.29.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Суперкомпьютерные дни в России, Москва, 26–27 сентября 2016–г. – 1 доклад (Криворотько О. И.).
2. The 8th International Conference on inverse problems and related topics, Seoul (Korea), Ewha Womans University, June 27 – July 1, 2016. – 1 доклад (Криворотько О. И., Кабанихин С. И.).
3. Workshop on uncertainty quantification in inverse modelling, Novosibirsk, April 25–27, 2016 – пленарный доклад (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.), приглашенный доклад (Криворотько О. И.).
4. The St. Petersburg International simposium "Systems biology and bioinformatics" (SBBI'2016), St. Petersburg, June 30 – July 2, 2016 – 5 докладов (Криворотько О. И., Кабанихин С. И.).
5. The 2nd International conference "Mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology", Novosibirsk, August 29 – September 2, 2016 – 5 докладов, из них 1 пленарный (Криворотько О. И., Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).
6. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Кабанихин С. И., Шишленин М. А., Криворотько О. И.).
7. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 3 доклада (Криворотько О. И., Кабанихин С. И.).
8. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", Новосибирск, 18–22 декабря 2016 г. – 4 доклада (Криворотько О. И., Кабанихин С. И.).
9. Международная конференция "Динамические системы: обратные задачи, устойчивость и процессы управления", 22–23 сентября 2016 г. – 1 пленарный доклад (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).
10. Международная конференция "Современные проблемы математической физики и вычислительной математики", Москва, 31 октября – 3 ноября 2016 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).
11. 16-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 3–7 октября 2016 г. – 1 пленарный доклад (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

12. 6-я Международная конференция "Numerical Analysis and Applications" (NAA'16), Лозенец (Болгария), 15–22 июня 2016 г. – 1 доклад (Шишленин М. А.).

13. The 4th International workshop on computational inverse problems and applications, Zibo (Китай), 8–12 июля 2016 г. – 1 приглашенный доклад (Шишленин М. А.).

14. 3-е Всероссийское совещание по современной геодинамике, Иркутск, 19–23 сентября 2016 г. – 1 доклад (Михеева А. В.).

15. SEG International exposition and 86th annual meeting, Dallas (USA), October 16–21, 2016 – 2 доклада (Khaidukov V., Protasov M., Neklyudov D., Silvestrov I., Tcheverda V., Landa E., Reshetova G., Lisitsa V., Khachkova T., Kolyukhin D., Gurevich B., Lebedev M.).

16. The 2nd International conference "Information technologies in science and industry", 19–20 May, 2016 – Almaty (Kazakhstan) – 1 доклад (Abdenbayeva A., Reshetova G. V., Dmitriyeva A. P., Khachkova T. S., Lisitsa V. V.).

17. 7th EAGE Saint Petersburg International conference and exhibition: Understanding the harmony of the earth's resources through integration of geosciences, Saint Petersburg, 11–14 April, 2016 – 3 доклада (Reshetova G., Lisitsa V., Tcheverda V.)

18. Научная конференция "Актуальные вопросы анализа", 22–23 апреля 2016 г., Карши – 8 докладов (Имомназаров Х. Х., Бердышев А. С., Жиан-Ган Тан, Черных Е. Г., Vaishetogov Zh., Имомназаров Ш. Х., Маматкулов М. М., Васильев Г. С., Мамасолиев Б. Ж., Жураев Д. А., Урев М. В.; Коробов П. В., Няго В. А., Холмуродов А. Э.; Tuychieva S. T., Воскобойникова Г., Михайлов А.).

19. Международная конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хоразми – 2016", 9–10 ноября 2016 г. – 2 доклада (Жабборов Н. М., Имомназаров Х. Х., Рахмонов Т. Т., Янгибоев З. Ш., Жиан-Ган Тан).

20. Международной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хоразми-2016", 9-10 ноября 2016 – 2 доклада

Участие в оргкомитетах конференций

1. Имомназаров Х. Х.:

– член программного комитета Республиканской научной конференции с участием зарубежных ученых "Актуальные вопросы анализа", Карши, 22–23 апреля 2016 г.;

– член программного комитета Международной научной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хорезми – 2016", Бухара, 9–10 ноября 2016 г.;

– член оргкомитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.;

– член программного комитета Международной научно-методической конференции "Математика в Казахстане – прошлое и перспективы", 23–25 ноября 2016 г.

2. Кабанихин С. И.

– сопредседатель программного комитета международного российско-британского семинара "Uncertainty quantification in inverse modelling", Novosibirsk, April 25–27, 2016;

– председатель программного комитета 2-й Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии";

– председатель программного комитета 8-й Молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

3. Криворотько О. И.:

– член организационного комитета международного семинара "Uncertainty quantification in inverse modelling", Novosibirsk, April 25–27, 2016;

– член организационного комитета 2nd International conference "Mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology", Novosibirsk, August 29 – September 2, 2016;

– член оргкомитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.;

– член организационного комитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

4. Шишленин М. А.

– сопредседатель программного комитета международного российско-британского семинара "Uncertainty quantification in inverse modelling", Novosibirsk, April 25–27, 2016;

– председатель оргкомитета 2-й Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 29 августа – 2 сентября 2016 г.;

– сопредседатель оргкомитета 8-й Молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 9

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 13

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 20

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 11

Публикаций в зарубежных изданиях – 11

Публикаций в материалах международных конференций – 36

Публикаций в прочих изданиях – 7

Докладов на конференциях – 49 в том числе 6 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 14.

Кадровый состав

- | | | |
|-----------------------|-------------------|---------------|
| 1. Имомназаров Х. Х. | и.о. зав. лаб., | д.ф.-м.н. |
| 2. Аксенов В. В. | г.н.с., | д.ф.-м.н. |
| 3. Кабанихин С. И. | г.н.с. 0,1 ст., | чл.-корр. РАН |
| 4. Меграбов А. Г. | в.н.с., | д.ф.-м.н. |
| 5. Решетова Г. В. | в.н.с., | д.ф.-м.н. |
| 6. Белоносов А. С. | с.н.с., | к.ф.-м.н. |
| 7. Белоносова А. В. | с.н.с. 0,75 ст., | к.ф.-м.н. |
| 8. Шишленин М. А. | с.н.с. 0,1 ст., | к.ф.-м.н. |
| 9. Михеева А. В. | н.с., | к.ф.-м.н. |
| 10. Криворотько О. И. | м.н.с., 0,25 ст., | к.ф.-м.н. |
| 11. Подколотный Н. Л. | с.н.с. | |
| 12. Виноградов С. П. | н.с. 0,5 ст. | |
| 13. Воронов Д. А. | м.н.с. 0,5 ст. | |

14. Новиков Н. С. м.н.с. 0,5 ст.
 15. Маринин И. В. ведущ. программист 0,1 ст.
 16. Чесноков В. В. ведущ. программист 0,1 ст.
 17. Юдина О. А. ведущ. инж
 18. Шерстюгина Л. П. техник 1-й катег.
 Воронов Д. А., Криворотько О. И., Новиков Н. С. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

- Аксенов В. В. – проф. СибУПК
 Белоносов А. С. – доц. ММФ НГУ
 Кабанихин С. И. – зав. кафедрой ММФ НГУ
 Меграбов А. Г. – проф. НГТУ
 Михеева А. В. – доцент ВКИ НГУ
 Подколотный Н. Л. – старший преподаватель НГУ
 Шишленин М. А. – старший преподаватель НГУ
 Криворотько О. И. – старший преподаватель НГУ
 Воронов Д. А. – старший преподаватель НГУ
 Новиков Н. С. – старший преподаватель НГУ

Руководство студентами

1. Ермоленко Д. В. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
2. Wang Xiaotong (Ван Сяотун) – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Шишленин М. А., Криворотько О. И.
3. Каштанова В. Н. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
4. Латышенко В. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
5. Бериков А. В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
6. Горовик М. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
7. Кондакова Е. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
8. Котомина М. Б. – 4-й курс ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.
9. Дробах А. В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель А. Г. Меграбов
10. Нестеров В. С. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель А. Г. Меграбов
11. Прядченко Д. В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель А. Г. Меграбов
12. Свиридов В. С. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель А. Г. Меграбов
13. Гаранина Ю. С. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Шишленин М. А.
14. Галактионова А. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.
15. Леваева А. В. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.

Лаборатория численного моделирования сейсмических полей

Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Фатьянов А. Г.

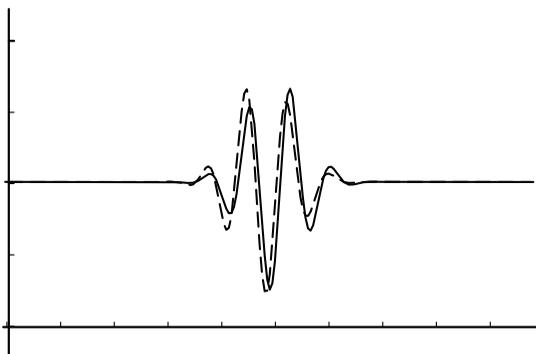
Важнейшие достижения

Оптимальные разностные схемы для волнового уравнения

Волновое уравнение решается в спектральной области с использованием разложения Лагерра. В разностную схему вводятся дополнительные параметры a, b, c, d . Значения этих параметров определяется минимизацией погрешности аппроксимации уравнения на точном аналитическом решении:

$$I(r) = \iint (1 - V(q, k, a, b, c, d))^2 dq dk$$

Интегрирование здесь проводится по всем возможным значениям величины волнового вектора.



На рисунке показано распространение импульса в однородной среде. Пунктирная линия – расчет с помощью 5-точечной схемы второго порядка точности; сплошная линия – с помощью оптимальной схемы второго порядка точности.

К.ф.м.н. Матрюков А. Ф.

Отчет по этапам работ, завершённым в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.3.1.3 "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей в науках о Земле".

Подпроект "Математическое моделирование и разработка новых численных методов в задачах геофизики, физики океана и атмосферы, и охраны окружающей среды".

Номер государственной регистрации НИР 01201370229.

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

В трехмерных областях получено численное решение квазистационарной системы уравнений Максвелла в частотной области методом векторных конечных элементов. Построен алгоритм точного расчета отдельных (однократных) типов волн на основе разработанного аналитического метода для расчета полного сейсмического поля. Создан параллельный алгоритм, использующий пошаговый метод Лагерра при решении двумерных и трехмерных динамических задач теории упругости для неоднородных моделей сред. По этому алгоритму создана программа и проведены расчеты на гибридных параллельных вычислительных

системах. Разработан двумерный алгоритм и создана программа для высокоразрешающего электромагнитного зонда с индукционно-гальваническим возбуждением для географических исследований нефтегазовых скважин.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 14-01-31000-а "Разработка спектрально-разностного параллельного алгоритма для моделирования динамики распространения сейсмических волн в верхней части разреза".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Терехов А. В.

В проекте предложен спектрально-разностный параллельный алгоритм моделирования акустических и упругих волновых полей для 2.5D геометрии в присутствии переменного рельефа местности.

Проект РФФИ № 14-05-00867-а "Численное моделирование взаимодействия сейсмических и акустических волн в неоднородной модели земля – атмосфера с учетом стратификации ветра".

Руководитель проекта – Мартынов В. В

Разработан эффективный численный алгоритм решения динамической задачи моделирования распространения сейсмических и акусто-гравитационных волн для совмещенной модели земля – атмосфера при наличии ветра в атмосфере. На основе данного алгоритма созданы программы для проведения расчетов на многопроцессорных вычислительных комплексах с использованием различных алгоритмов распараллеливания.

Исследованы особенности распространения акусто-гравитационных волн в атмосфере в случае, когда скорость ветра является функцией высоты.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ "Высокопроизводительные технологии моделирования электрофизических процессов и устройств".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Ильин В. П.; исполнитель – д.ф.-м.н. Урев М. В.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Фатьянов А. Г. Устойчивое аналитическое решение для волновых полей в шаре // Матем. заметки СВФУ. 2016. Т. 23, № 3. С. 91–103 (в базе РИНЦ)

2. Суродина И. В., Эпов М. И. Синтетические диаграммы бокового каротажного зондирования в скважинах со сложной траекторией, заполненных биополимерным раствором // НТВ Каротажник. 2016. № 266. С. 59–69. (в базе РИНЦ)

3. Суродина И. В. Параллельные алгоритмы для решения прямых задач электрического каротажа на графических процессорах // Матем. заметки СВФУ. 2015. Т. 22, № 2 (86). С. 51–61. (в базе РИНЦ)

4. Михайлов А. А., Мартынов В. Н. Математическое моделирование распространения акустико-гравитационных и сейсмических волн в неоднородной модели "Земля-Атмосфера" при наличии стратификации ветра в Атмосфере // Матем. заметки СВФУ. 2015. Т. 22, № 2. С. 92–105. (в базе РИНЦ)

5.Мастрюков А. Ф. Оптимальные разностные схемы для волнового уравнения // СибЖВМ. 2016. Т. 19, № 4. С. 385–399. (в базах Scopus, Wos)

Зарубежные издания

1.Burmin V. Yu., Miroshnikov V. V., Fatyanov A. G. On the nature of the seismic ringing of the Moon. Analytical modeling // Planetary and Space Sci. 2016. V. 126. P. 72–77. (в базах Scopus, Wos)

2.Terekhov A. V. A highly scalable parallel algorithm for solving Toeplitz tridiagonal systems of linear equations // J. of Parallel and Distributed Comput. 2016. V. 87. P. 102–108. DOI: org/10.1016/j.jpdc.2015.10.00. (в базах Scopus, Wos)

3. [Mastryukov A. F. Optimal finite difference schemes for a wave equation // Num. Analysis and Appl. 2016. V. 9, No 4. P. 299–311.] (в базах Scopus, Wos)

4.Soboleva O. Modeling of propagation of antiplane acoustic waves in multiscale media with lognormal distribution of parameters // J. of Comput. Acoustics. 2016. V. 25. DOI: 10.1142/S0218396X17500072. (в базах Scopus, Wos)

Материалы международных конференций и совещаний

1.Ковалевский В. В., Тубанов Ц. А., Фатьянов А. Г., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Базаров А. Д. Вибросейсмические исследования в южном Прибайкалье // Материалы 3-го Всерос. совещания "Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе" и 2-й Всерос. молодежной школы по современной геодинамике 2016. С. 155–156. (в базе РИНЦ)

2.Соболева О. Н. Моделирование распространения волн в многомасштабной неоднородной среде в крупномасштабном пределе // Материалы докладов 4-й Всероссийской конференции "Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле", Москва, 3–8 окт. 2016 г. Т. 2. М.: ИФЗ, 2016. С. 563–571.

3.Imomnazarov Kh. Kh., Mikhailov A. A., Tang J. G., Tuychieva S. T., Voskoboynikova G. M. Mathematical modeling of seismic wave propagation with allowance for the snow cover // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 4. № 2. С. 33–37. (в базе РИНЦ)

4.Ковалевский В. В., Фатьянов А. Г., Караваев Д. А. Верификация скоростных моделей земной коры байкальского региона, построенных по данным экспериментов BEST и PASSCAL // "Интерэкспо Гео-Сибирь". 2016. Т. 4. № 2. С. 3–7. (в базе РИНЦ)

5.Mikhaylov I. V., Glinskikh V. N., Nikitenko M. N., Surodina I. V. Joint 2D inversion of induction and galvanic borehole sounding data when logging hydrocarbon reservoirs // Ext. abst. of the 7th Intern. conf. "Understanding the harmony of the Earth's resources through integration of geosciences", Saint Petersburg, Apr. 11–14, 2016. P. We P 05. DOI: 10.3997/2214-4609.201600220. (в базе Scopus)

Патенты на изобретения

1. Устройство для регистрации характеристик электромагнитного поля с использованием тороидальных катушек : пат. 2578774 Рос. Федерация / Эпов М. И., Еремин В. Н., Петров А. Н., Глинских В. Н., Суродина И. В., Киселев В. В., Никитенко М. Н.; заявка на изобретение № 2015100397 ; заявл. 14.01.2015 г. ; опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

2. Устройство для генерации электромагнитного поля тороидальной катушкой в геологической среде : пат. 2579177 Рос. Федерация / Эпов М. И., Еремин В. Н., Петров А. Н., Глинских В. Н., Суродина И. В., Киселев В. В.; заявка на изобретение № 2015100396 ; заявл. 14.01.2015 г. ; опубл. 10.04.2016. Бюл. № 10.

Прочие публикации

1. Soboleva O. N. The effective coefficients for 2D elastic equations with multiscale isotropic random mass density and elastic parameters // Bull. NCC. Ser.: Mathematical modeling in Geophysics. 2016. No 19. P. 67–82. (в базе РИНЦ)

2. Жураев Д. А., Жиан-Ган Тан, Имомназаров Х. Х., Урев М. В. Краевая задача для одной переопределенной системы, возникающей в двухжидкостной среде // УзбМЖ. 2016. No 3. С. 58–69.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г. – 2 доклада (Фатьянов А. Г., Урев М. В.).

2. Научно-практическая конференция "Сейсмические технологии", Москва, 18–20 апр. 2016 г. – 1 доклад (Фатьянов А. Г.).

3. 4-я тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН, Москва, 18–20 апр. 2016 г. – 1 доклад (Соболева О. Н.)

4. Международная конференция "Интерэкспо Гео-Сибирь-2016", Новосибирск, 20–22 апр. 2016 г. – 4 доклада (Михайлов А. А., Фатьянов А. Г., Суродина И. В.).

5. 3-е Всероссийское совещание "Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе" и 2-я Всероссийская молодежной школы по современной геодинамике, Иркутск, 19–23 сент. 2016 г. – 1 доклад (Фатьянов А. Г.).

6. 9-я Международная конференция. "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Алматы (Казахстан), 8–11 авг. 2016 г. – 1 доклад (Михайлов А. А., Мартынов В. Н.).

Участие в оргкомитетах конференций

Чимаева Е. В. – член организационного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

- Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 5
- Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 6
- Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 8
- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5
- Публикаций в зарубежных изданиях – 4
- Публикаций в материалах международных конференций – 5
- Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 2
- Публикаций в прочих изданиях – 2
- Докладов на конференциях – 10.
- Участников оргкомитетов конференций – 1

Кадровый состав

- 1. Фатьянов А. Г. зав. лаб. д.ф.-м.н.
- 2. Урев М. В. внс, д.ф.-м.н

3. Мартынов В. Н. с.н.с.
 4. Мастрюков А. Ф. с.н.с. к.ф.-м.н
 5. Соболева О. Н. с.н.с. д.ф.-м.н.
 6. Суродина И. В. с.н.с. к.ф.-м.н.
 7. Михайлов А. А. н.с. к.ф.-м.н.
 8. Терехов А. В. н.с. к.ф.-м.н
 9. Куликов А. И. ведущ. программист
 10. Чимаева Е. В. ведущ. программист
 11. Трибис Д. Ю. ведущ. программист к.ф.-м.н
 12. Кабанихина Е. С. инженер
- Терехов А. В. – молодой научный сотрудник:

Педагогическая деятельность

- Урев М. В. – доцент НГУ, профессор СибАГС,
Соболева О. Н. – профессор НГТУ.

Руководство аспирантами

- Сапетина А. Ф. – аспирант ИВМиМГ, руководители: Глинский Б. М., Мартынов В. Н.
Имомназаров Ш. Х. – аспирант ИВМиМГ, руководитель Михайлов А. А.

Лаборатория математического моделирования волн цунами

Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. В. К. Гусяков

Важнейшие достижения**Оценки цунамиопасности морских побережий при учете риска возникновения сильнейших цунами сейсмического происхождения**

Д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Рассмотрены проблемы оценки цунамиопасности морских побережий при учете риска возникновения сильнейших цунами сейсмического происхождения. Выделен класс особо опасных трансокеанских событий, характеризующихся предельно высокими заплесками (до 40–50 м) на протяженных участках побережья (до 500–1000 км). Критерием выделения таких событий в каталогах являются наличие высот более 5 м на расстоянии более 5000 км от очага. Основным источником таких трансокеанских цунами являются подводные мегаземлетрясения магнитудой 9.0 и выше, возникающие с повторяемостью от 200–300 до 1000–1200 лет на некоторых участках зон субдукции. Такие события вносят основной вклад в оценки цунамиопасности океанского побережья. Корректный учет возможности и вероятности возникновения таких землетрясений в субдукционных зонах, непосредственно угрожающих данному побережью, является ключевым моментом при получении долгосрочных оценок цунами-риска (цунамирайонировании побережья).

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Гусяков В. К., Бейзель С. А., Чубаров Л. Б. Оценка цунамиопасности Охотского моря от региональных и удаленных источников // Вулканология и сейсмология. 2015. № 4. С. 59–72.
2. Гусяков В. К. Цунами на Дальневосточном побережье России: историческая перспектива и современная проблематика // Геология и геофизика, 2016, № 9. С. 1601–1615.

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. "Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология", Севастополь, 26–30 сент. 2016 г. Севастополь: ФГБУН МГИ, 2016.
2. Научная сессия. Секции океанологии, физики атмосферы и географии ОНЗ РАН, Севастополь, 29 сентября 2016 г.

**Отчет по этапам НИР, завершнным в 2016 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект 1.3.1.1 "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей в науках о Земле".

Раздел 3 "Моделирование и оценка цунамигенных геофизических явлений и других катастрофических природных процессов".

Руководитель – д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Созданы численные модели мегацунами 1960 г. (Чили) и 2011 г. (Тохоку, Япония). Показано, что цунами, возникающие при мегаземлетрясениях магнитудой 9 баллов и более, способны распространяться на трансокеанские расстояния и несут основную угрозу для побережья Мирового океана. Найдены точные аналитические решения для траекторий волновых лучей и положения волновых фронтов в случае квадратичного роста глубины

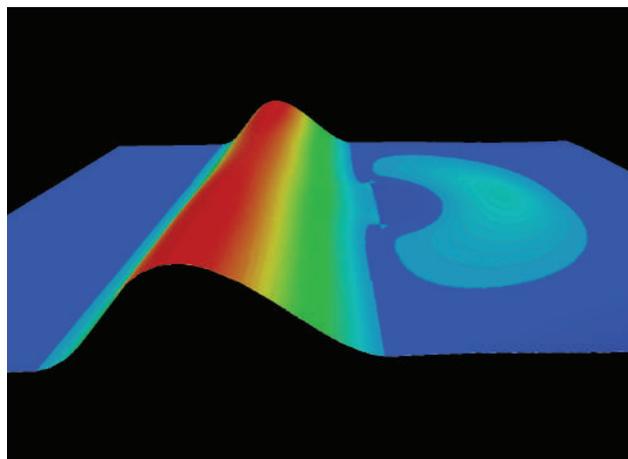


Рис. 1. Результаты численного моделирования частичного отражения длинной волны от затопленного вертикального барьера, высота которого равна половине глубины; высота движущейся справа налево плоской волны составляла 2 м, подводного барьера – 10 м

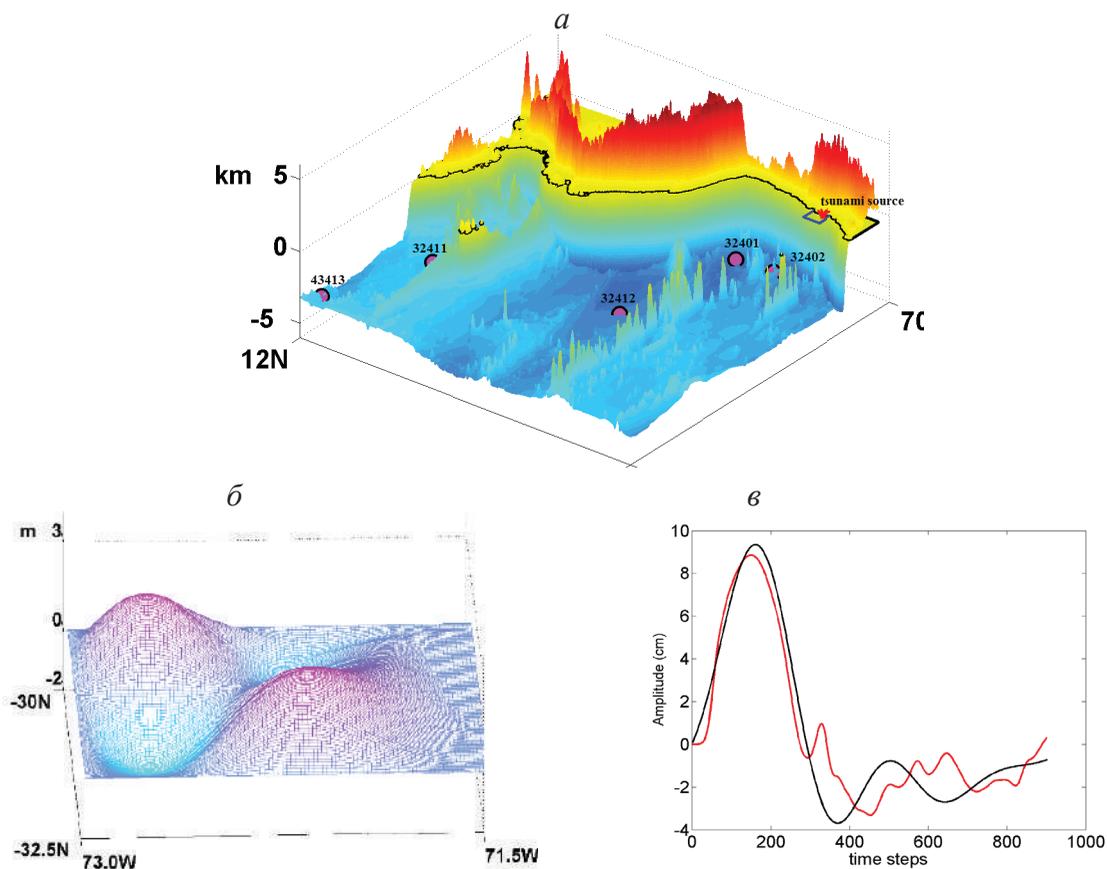


Рис. 2. Восстановление очага Чилийского цунами 16 сентября 2015 г.: *a* – батиметрия области моделирования: черная линия – нулевая глубина; синяя линия – область поиска источника; красная звездочка – источник цунами; сиреневые окружности – глубоководные датчики ДАРТ с соответствующими номерами; *б* – восстановленный источник (форма возвышения поверхности океана); *в* – мареограммы часовой длины для ДАРТ 32402: черная – данные наблюдений, красная – решение обратной задачи

вдоль одной из осей координат. Для такого рельефа дна в рамках лучевого приближения найдено распределение максимумов высоты цунами от модельного источника. Найденные решения могут использоваться для тестирования численных методов. Путем численного моделирования решения обратной некорректной задачи в линеаризованной постановке теории мелкой воды методом г-решений в условиях реальной батиметрии определена первоначальная форма волны цунами, произошедшего 16.09.2015 у берегов Чили. В качестве исходных использовались данные наблюдений колебаний уровня свободной поверхности, обусловленные пришедшей волной в серии удаленных приемников. Сравнение рассчитанных от восстановленного источника мареограмм с данными наблюдений в этих же точках свидетельствует об удовлетворительном качестве восстановления. Построена аналитическая модель распространения волны цунами, параметром которой является изменение глубины на заданную величину, позволяющая обнаруживать значения глубины, при которых происходит качественная перестройка волновой картины. В рамках графической оболочки PDM/IMP, используемой в качестве пользовательского интерфейса базы данных по импактным структурам Земли EDEIS, создан блок обработки для отображения структур в координатах диаметр – возраст и кумулятивной кривой для числа кратеров от времени. Создан алгоритм расчета времени существования рельефа импактных структур (время релаксации) на поверхности Земли и частоты падений космических тел в зависимости от диаметра образуемого кратера.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-05-00450 "Связь интенсивности цунами с параметрами очагов дальневосточных землетрясений".

Руководитель – д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Основной целью проекта является определение интенсивности всех дальневосточных цунами по шкале Соловьева – Иمامуры и исследование на основе полученного массива данных зависимости интенсивности цунами от параметров очага подводного землетрясения. В течение первого года выполнения проекта был построен максимально полный на сегодняшний день цифровой каталог высот дальневосточных цунами, проведена верификация содержащихся в нем данных по первоисточникам и ранее опубликованным каталогам. Все включенные в него высоты снабжены географическими координатами места наблюдения (измерения), приведенными в соответствие с современной картографией и библиографическими ссылками, указывающими на источник данных. Каталог высот на настоящий момент содержит 650 записей, 450 из которых являются результатами измерений высот заплеска (наката на берег) и около 200 – максимальными колебаниями уровня, снятыми с инструментальных записей (мареограмм). Разработана интерактивная процедура вычисления интенсивности цунами по шкале Соловьева – Иمامуры, которая реализована в виде программного блока, встроенного в графическую оболочку PDM/TSU. Процедура позволяет вычислять интенсивность цунами по выборке высот из базы данных, попадающих в определенную географическую область (участок побережья), либо по сделанной экспертом выборке высот из списка высот, относящихся к данному событию. Проведена оценка степени обеспеченности данными о высотах цунами цунамигенных событий из различных исторических периодов: доинструментального (XVIII–XIX вв.), инструментального (1900–1990 гг.), современного (после 1990 г.). Среднее число наблюдений высот для событий доинструментального периода составляет 1.7, для инструментального – 7.8, для современного – 18.7. Для

событий с малым числом (менее 5) данных о высотах непосредственное применение формулы Соловьева – Имамуры является невозможным, для них оценки интенсивности получаются экспертным путем на основе привлечения дополнительных данных, например, о протяженности побережья, подвергшегося воздействию цунами, числе жертв, величине ущерба.

Результаты работ по проектам Российского научного фонда

Проект РНФ 14-17-00219 "Оценка цунамиопасности побережья Курило-Камчатского региона, Японского, Охотского и Черного морей".

Руководитель – д.ф.-м.н. Чубаров Л. Б. (ИВТ СО РАН)

В 2016 г. завершилось выполнение данного проекта, основным и главным результатом которого являются вероятностные карты цунамиопасности Дальневосточного и Черноморского побережий РФ. Они были построены с использованием методики прямых сценарных расчетов, когда каждая расчетная высота от конкретного модельного очага входит в оценку цунамиопасности со своей повторяемостью, соответствующей повторяемости цунамигенных землетрясений конкретной магнитуды в конкретной условно однородной очаговой зоне. В свою очередь, эта величина получается по результатам анализа инструментального сейсмического каталога для рассматриваемой зоны, который, в случае недостатка инструментальных данных, аппроксимировался в область больших магнитуд путем интерполяции и учета данных исторической (доинструментальной) сейсмичности, а также сейсмотектонических особенностей региона. Для Дальневосточного и Черноморского побережий РФ впервые с использованием однородной методики в рамках единого подхода построены карты цунамиопасности для повторяемостей в 975, 475, 174 и 72 года. Такие карты позволяют количественно сравнивать различные побережья по степени цунамиопасности и определять участки, нуждающиеся в детальном цунамирайонировании.

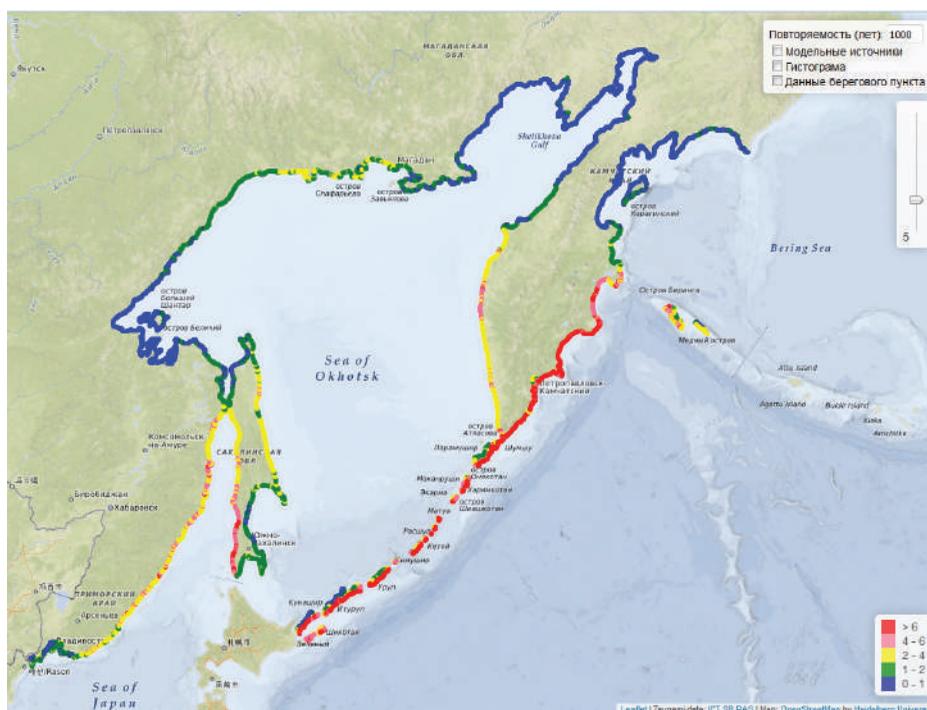


Рис. 3. Карта цунамиопасности Дальневосточного побережья РФ, показывающая высоты волн (в м, в соответствии с цветовой легендой в правом нижнем углу) с ожидаемой вероятностью превышения 5 % в течение интервала 50 лет (средний интервал повторяемости 975 лет)

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа Президиума РАН № 16, подпроект "Прогнозирование катастроф для природной среды России: математическое моделирование сейсмоопасных зон, цунамириска, загрязнений окружающей среды и изменений климата".

Руководители: акад. Лаверов Н. П., д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Выполнено численное моделирование исторических цунами Дальневосточного региона, выбранных с точки зрения их значимости для оценки цунамиопасности побережья РФ и обеспеченности данными наблюдений. Результаты моделирования показывают, что используемые численные модели адекватно описывают процесс возбуждения и распространения цунами на конкретных участках акватории Дальневосточного региона. Следовательно, расчетные высоты могут быть использованы для заполнения пробелов в данных наблюдений и создания синтетического каталога высот волн. Создан и введен в состав графической оболочки WinITDB блок вероятностного анализа высот цунами. Для выбранной окрестности берегового пункта он позволяет получить функцию повторяемости высот и на ее основе оценить ожидаемую высоту для заданной обеспеченности (интервала повторяемости).

Экспедиция в Ано-Майский район Хабаровского края

С 5 июля по 11 августа 2016 г. лаборатория цунами ИВМиМГ СО РАН провела экспедицию в Аяно-Майский район Хабаровского кр. для изучения района падения предполагаемого

а

б



в

г

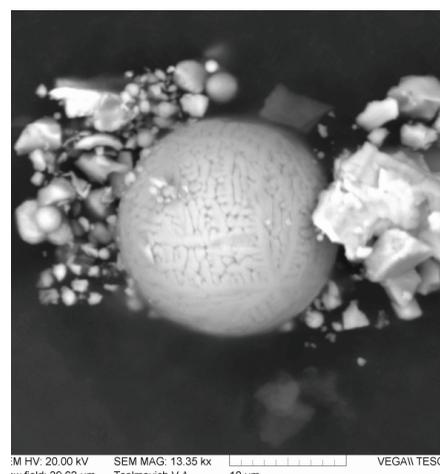
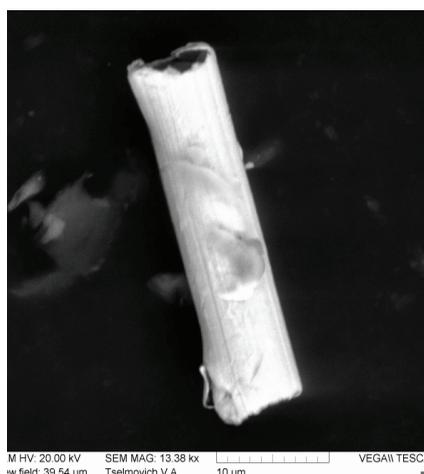


Рис. 4. Участники экспедиции на подходе к району исследования (*а*); направленный вывал леса на склоне долины р. Нижняя Конкули (*б*); никелевая микротрубка с биогенным углеродистым остатком внутри (*в*); магнетитовая микросфера диаметром 18 мкм (*г*)

Учурского болида, взорвавшегося над тайгой 3 августа 1993 г. Первичная информация о геофизических явлениях, сопровождавших это импактное событие, получена от к.г.-м.н. В. Е. Кириллова, находившегося в тот момент в 15–20 км к юго-востоку от эпицентра события. Сопоставление наблюдаемых явлений с их аналогами, сопровождавшими падения крупных метеоритов (Челябинского, Тунгусского, Сихоте-Алиньского и др.) свидетельствует о том, что в данном районе произошло редкое событие – столкновение с Землей космического тела поперечником 5–10 м. Ввиду труднодоступности района поиск следов воздействия метеорного взрыва в районе р. Ниж. Конкули учеными РАН и специалистами по импактным воздействиям до сих пор не проводился. Главной целью проведения полевых работ в районе воздействия болидного взрыва был сбор образцов торфа и поиск следов воздействия воздушной ударной волны на растительный покров. При наземном исследовании северной части области воздействия обнаружены области поваленного леса с выраженным генеральным направлением упавших стволов. Микрозондовый анализ с микроминералогическим исследованием образца поверхностного слоя торфа из района воздействия болида, выполненный в Геофизической обсерватории "Борок" ИФЗ РАН, показал наличие в нем большого числа микрочастиц космического происхождения (магнетитовые микросферы, частицы муассанита, никелевые микротрубки). Таким образом, гипотеза масштабного метеорного взрыва, происшедшего в августе 1993 г. в бассейне р. Учур, вызванного вторжением космического тела в атмосферу Земли, получила материальное подтверждение.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Гусяков В. К. Цунами на Дальневосточном побережье России: историческая перспектива и современная проблематика // Геология и геофизика. 2016. № 9. С. 1601–1615. (в базе РИНЦ)
[Gusiakov V. K. Tsunamis on the Russian Pacific coast: history and current situation // Russ. Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57, iss. 9. P. 1259–1268. DOI: 10.1016/j.rgg.2016.08.011]
(в базах *Wos*, *Scopus*)
2. Куликов Е. А., Гусяков В. К., Иванова А. А., Баранов Б. В. Численное моделирование цунами и батиметрия // Вестн. МГУ. Сер.: 3. Физика. Астрономия. 2016. № 6. С. 3–14.
(в базе РИНЦ)
[Kulikov E. A., Gusiakov V. K., Ivanova A. A., Baranov B. V. Numerical tsunami modeling and the bottom relief // Moscow University Physics Bulletin. 2016. Vol. 71, No. 6. P. 527–536. DOI: 10.3103/S002713491605012X]
(в базах *Wos*, *Scopus*)
3. Маккавеев А. Н., Бронгулеев В. Вад., Амелин И. И., Караваев В. А. Геоморфология района озера Смердячье и строение окружающего вала // Геоморфология. 2016. № 2. С. 85–95. DOI:10.15356/0435-4281-2016-2-85-95
(в базах *Scopus*, РИНЦ)
4. Лаврентьев М. М., Лысаков К. Ф., Марчук Ан. Г., Романенко А. А. Быстрое численное моделирование цунами // Вестн. кибернетики. Международный журнал. 2016. № 2(22). С. 91–101.
(в базе *Scopus*)
5. Voronina T. A. Recovering a tsunami source and designing an observational system based on an r-solution method // Num. Analysis and Appl. 2016. Vol. 9, No. 4. P. 267–276.
(в базах *Wos*)
6. Амелин И. И. Бляхарчук Т. А. Распространение липы сибирской (*Tilia sibirica* Bayer) в Кемеровской области // Вестн. ТГУ. Сер.: Биология. 2016. № 2(34). С. 30–52. DOI: 10.17223/19988591/34/3.
(в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Abbott D., Gusiakov V., Rambolamanana G, Breger D., Mazumder R., Galinskaya K. What are the origins of V-shaped (Chevron) dunes in Madagascar? The case for their deposition by a Holocene megatsunami. Sedimentary Provenance. Influences on Compositional change from source to sink. Ch. 8. Ed. by R. Mazumder. Elsevier Inc., 2016. P. 155–182.

2. Voronina T. A., Romanenko A. Application of the r-solution method to 2013 Solomon Islands tsunami initial waveform inversion // Pure & Applied Geophysics. 2016. V. 173, iss. 12. P. 4089-4099. DOI: 10.1007/s00024-016-1286-z. (в базах Scopus, Wos)

3. Voronina T. A., Romanenko A. A. The new method of tsunami source reconstruction with r-solution inversion method // Pure Appl. Geophys. 2016. Vol. 173, iss. 12. P. 4089-4099. (в базах Wos, Scopus)

4. Marchuk An. G. Benchmark solutions for tsunami wave fronts and rays. Part 1. Sloping bottom topography // Science of Tsunami Hazards. 2016. Vol. 35, No 2. P. 34–48. (в базе Scopus)

5. Hayashi K., Vazhenin A., Marchuk An. G. Source data and bathymetry editor in tsunami modeling environment // Proc. of the 15th Intern conf. on new trends in software methodologies, tools and techniques / Eds. H. Fujita, G. A. Papadopoulos. IOS Press, 2016. P. 235–245. DOI: 10.3233/978-1-61499-674-3-235 (в базах Wos, Scopus)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Амелин И. И., Гусяков В. К., Ляпидевская З. А., Имомназаров Х. Х. Малые глубоководные озера Новосибирской области – вероятные импактные структуры плейстоцен-голоценового возраста // Материалы 12-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо-Геосибирь", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. Новосибирск: СГГА, 2016. Т. 1. С. 73–77. (в базе РИНЦ)

2. Гусяков В. К., Чубаров Л. Б. Картирование цунамиопасности на морских побережьях: современные подходы и проблемы применения к побережью России // Труды 13-й Всерос. конф. "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики" (ГА–2016), Санкт-Петербург, 24–26 мая 2016 г. С. 153–156.

3. Бейзель С. А., Гусяков В. К., Чубаров Л. Б. Цунами в Черном море: результаты численного моделирования // Там же. С. 156–158.

4. Voronina T. A. Modeling an initial tsunami sea surface deformation by the inversion with the R-solution method // Proc. of the Int. conf. math. and inform. technologies "MIT–2016". Ser.: CEUR Workshop Proc. (в базе Scopus)

5. Марчук Ан. Г. Фокусировка волн и прогноз затопления от цунами // Труды 17-й Всерос. науч.-техн. конф. "Наука. Промышленность. Оборона", Новосибирск, 20–22 апр. 2016 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. Т. 1. С. 20–25. (в базе РИНЦ)

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте

1. Свидетельство № 2016621269 РФ. Глобальная база данных по цунами : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Гусяков В. К., Калашникова Т. В. : зарег. 16.09.2016 г.

2. Свидетельство № 2016660574 РФ. Графическая оболочка PDM/TSU (Parametric Data Manager for Tsunami Database) для работы с базой данных по цунами / Лысковская Е. В., Гусяков В. К. : зарег. 16.09.2016 г.

3. Свидетельство № 2016660786 РФ. Вэб-энциклопедия о природных катастрофах / Зиновьев П. С., Гусяков В. К. : зарег. 21.09.2016 г.

Прочие публикации

1. Сергеев В. А. К формальному и математическому представлению знаний и онтологий // Вестн. науч. конф. Ч. 1. Тамбов: Б. и., 2016. С. 90–99. (в базе РИНЦ)
2. Voronina T. Evaluating the efficiency of the observation system to recover the tsunami source by the r-resolution method // Bull. NCC. Ser. Math. Model. in Geoph. 2016. Iss. 19. P. 83–94. (в базе РИНЦ)
3. Marchuk An. G. Studying tsunami waves propagation above the parabolic bottom topography within the wave-ray approximation // Ibid. P. 17–27. (в базе РИНЦ)
4. Mikheeva A. V., Marchuk An.G. Geographical information system "The Earth's natural disasters Database" (ENDDDB) as a tool for studying complex geotectonic structures // Bull. NCC. Ser.: Comput. Sci. 2016. Iss. 39. P. 25–36. (в базе РИНЦ)
5. Лаврентьев М. М., Лысаков К. Ф., Марчук Ан. Г., Романенко А. А. Быстрое численное моделирование цунами // Вестн. кибернетики. Международный журнал. 2016. № 2(22). С. 91–101. (в базе РИНЦ)

Научно-популярные статьи

1. Пустолякова Е. Болота как индикаторы катастроф // Наука в Сибири. 2016. № 7 (25 февр.). С. 7. [Электрон. ресурс]. <http://www.sbras.info/articles/sciencestruct/bolota-kak-indikatoru-katastrof>. Материалы и фото Амелина И. И.

Учебные пособия

1. Воронин В. В., Воронина Т. А. Задачи по математике для практических занятий в физико-математической школе / Учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2016. ISBN 978 -5-4437-0457-9. 424 с.

Сдано в печать

1. Никонов А. А., Гусяков В. К., Флейфель Л. Д. Новый каталог цунами в Черном и Азовском морях в приложении к оценке цунамиопасности российского побережья // Геология и геофизика.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 12-й Международный научный конгресс и выставка "Интерэкспо-Гео-Сибирь-2016"; Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. – 1 доклад (Амелин И. И.).
2. 13-я Всероссийская конференция "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики" (ГА-2016), СПб, 24–26 мая 2016 г. – 2 доклада (Гусяков В. К.).
3. International Conference "Data intensive system analysis for geohazard studies", Sochi, July 18–21, 2016 – 2 доклада (Гусяков В. К.).
4. Научная конференция "Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология", Севастополь, 26–30 сентября 2016 г. – 2 доклада (Гусяков В. К.).
5. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).
6. The International conference "Mathematical and information technologies" (MIT-2016), Vrnjacka Banja – Budva, Montenegro (Serbia), August 28 – September 5, 2016 – 1 доклад (Воронина Т. А.).
7. 17-я Всероссийская научно-техническая конференция "Наука Промышленность Оборона", Новосибирск, 20–22 апреля 2016 г. – 1 пленарный доклад (Марчук Ан. Г.).

8. The 15th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques "SOMET-2016", Larnaca (Cyprus), September 12–14, 2016 – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).

9. Tsunami Society International, 7-th International tsunami symposium, Ispra (Italy), September 12–15, 2016 – 2 устных доклада (Марчук Ан. Г.).

10. 6-я Сахалинская молодежная научная школа "Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз", Южно-Сахалинск, 3–8 октября 2016 г. – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).

Участие в оргкомитетах конференций

Марчук Ан. Г. – член оргкомитета The International workshop uncertainty quantification in inverse modeling, Новосибирск, 25–27 апреля 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 6
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 9
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 11
Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 6
Публикаций в зарубежных изданиях – 5
Публикаций в материалах международных конференций – 5
Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 3
Публикаций в прочих изданиях – 5
Докладов на конференциях – 14, в том числе 1 пленарный
Участников оргкомитетов конференций – 1

Кадровый состав лаборатории

Гусяков В. К.	зав.лаб.	д.ф.-м.н.
Марчук А. Г.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
Воронина Т. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
Амелин И. И.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
Сергеев В. А.	н.с.	
Москаленский Е. Д.	м.н.с. 0.5 ст.	
Лысковская Е. В.	ведущ. инженер.	
Калашникова Т. В.	ведущ. инженер	
Ляпидевская З. А.	ведущ. программист	
Зиновьев П. С.	инженер	
Амелин И. И. – молодой научный сотрудник		

Педагогическая деятельность

Воронина Т. А. – преподаватель СУНЦ НГУ

Лаборатория геофизической информатики

Зав. лабораторией д.т.н. Ковалевский В. В.

Важнейшие достижения

Разработка и исследование лазерно-информационной технологии дальней регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с применением прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий.

Совместно с Институтом лазерной физики СО РАН создан макет и проведены испытания лазерно-информационной системы регистрации низкочастотных акустических колебаний сейсмических вибраторов с использованием лазерной измерительной линии. Разработана методика проведения экспериментальных работ и программы анализа данных. Проведены оригинальные натурные эксперименты совместно с ИЛФ СО РАН с помощью акустических датчиков и измерительной лазерной линии по одновременной регистрации акустических колебаний от вибратора ЦВ-40 (вибросейсмический полигон "Быстровка"), а также мощных динамиков (лазерный полигон "Кайтанак", республика Горный Алтай). Оценены параметры процессов акустооптического волнового преобразования, помехоустойчивость алгоритмов и программ лучевого приема акустических колебаний.

Д.т.н. Хайретдинов М. С., д.т.н. Поллер Б. В., к.т.н. Бритвин А. В., Седухина Г. Ф.

Компоненты акустооптической системы



Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Хайретдинов М. С., Поллер Б. В., А. В. Бритвин, Г. Ф. Седухина. Акустооптическая информационная система инфранизких частот // Материалы 12-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г. Т. 2. С. 8–13.

2. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф. Оценка метеозависимых геоэкологических рисков от взрывов с помощью сейсмических вибраторов // Технологии сейсморазведки. № 3. 2016. С. 132–138.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаенным в 2016 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 0315-2014-0003 "Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ для задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования".

Номер государственной регистрации НИР 0120.0712227.

Научные руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Раздел 1. Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ в задачах активной сейсмологии, экспериментальные исследования по вибросейсмическому зондированию и вибромониторингу среды. Моделирование и исследование взаимодействия сейсмических и акустических волновых полей вибрационных и взрывных источников с целью оценивания экологических рисков. Разработка новых алгоритмов и программ обработки данных вибромониторинга на основе регистрации малыми сейсмическими группами. Исследования волновых вибросейсмических полей и их связи с геодинамическими процессами в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне, сопредельных районах Монголии и в зонах вулканических структур. Развитие научной информационно-аналитической системы на базе Интернет-технологий для задач активной сейсмологии.

Руководитель – д.т.н. Ковалевский В. В.

В ходе выполнения работы по проекту развита вычислительная технология для задач численного моделирования сейсмических полей в неоднородных упругих средах. Технология включает адаптированный численный метод для трехмерного моделирования, разработанный параллельный алгоритм и его программную реализацию. Для проведения вычислений используется конечно-разностный метод второго порядка аппроксимации. Разработанное программное обеспечение ориентировано на проведение вычислительных экспериментов с использованием многоядерных вычислительных систем с гибридной архитектурой с GPU. Математическое моделирование полных волновых полей выполнено на базе разработанных математических моделей для скоростных разрезов экспериментов BEST и PASSCAL на трассе Байкал – Улан-Батор (Монголия). Для математического моделирования использовались программы моделирования полных волновых полей на основе аналитического метода для математической модели эксперимента BEST, спектрально-разностного метода и метода конечных разностей для модели эксперимента PASSCAL. Проведены тестовые расчеты для разработанных моделей.

В части подготовки экспериментальных данных для сравнительного анализа с теоретическими сейсмограммами создана база вибрационных сейсмограмм, полученных в ходе экспериментов по полевой регистрации вибросейсмического поля вибратора ЦВ-100 на профиле Бабушкин, Байкал – Кяхта – Улан-Батор (Монголия) на расстояниях от 67 км до 500 км от источника. Эти работы проводились ИВМиМГ СО РАН совместно с ГИН СО РАН, БурФ ГС СО РАН и ЦАГФ АНМ.

Данные, полученные в ходе эксперимента по полевой регистрации вибросейсмического поля вибратора ЦВ-100 на профиле Бабушкин – Кяхта – Улан-Батор внесены в базу

метаданных и файловый архив сейсмограмм информационно-вычислительной системы (ИВС), входящей в состав научной информационной системы (НИС) "Активная сейсмология". Всего в файловый архив было внесено около 1000 файлов сейсмотрасс, а соответствующие метаданные внесены в базу данных экспериментов. Для повышения качества зашумленных сейсмотрасс они были предварительно обработаны с помощью специально адаптированного программного обеспечения на основе пространственной фильтрации. Проведен анализ и сравнение результатов математического моделирования и вибросейсмического зондирования земной коры в Байкало-Монгольском регионе для верификации существующих скоростных моделей.

Выполнено сравнение результатов расчетов теоретических сейсмограмм для модели эксперимента BEST с экспериментальными результатами, полученными при вибросейсмическом зондировании на профиле Байкал – Улан-Батор. Лучшее согласование теоретических сейсмограмм и экспериментальных данных для волн наибольшей амплитуды получено для значения скорости продольных волн $V_p = 6.65$ км/с в нижнем слое земной коры, которое характерно для континентальной коры Азиатской плиты.

Выполнена разработка методов измерения и обработки вибросейсмических колебаний нанометрового уровня на расстояниях до 500 км от виброисточников с целью увеличения разрешающей способности активного вибрационного мониторинга. Разработан эффективный алгоритм кинематической фильтрации широкополосных вибросейсмических сигналов, зарегистрированных малыми сейсмическими группами. Повышение отношения сигнал/шум достигается за счет селекции полезных волн в заданном интервале пространственных частот и подавления волн-помех вне этого интервала. Программное обеспечение, разработанное на основе этого алгоритма, позволило повысить точность выделения сейсмических фаз на вибрационных сейсмограммах, зарегистрированных на профиле Бабушкин – Сухэ-Батор – Дархан – Улан-Батор протяженностью 500 км. Для повышения точности измерения фазы при вибросейсмическом зондировании на монохроматических сигналах разработан оригинальный алгоритм адаптивной пороговой фильтрации. Тестирование алгоритма на синтетических сигналах показало его высокую эффективность в условиях сильных помех.

Рассмотрена многофакторная задача оценивания влияния геоэкологических рисков мощных природно-техногенных взрывов на природную среду. Решение ее во многом связано с необходимостью изучения метеозависимых процессов распространения инфразвука в атмосфере, которые могут приводить к многократному возрастанию рисков. В целях достижения наиболее полного решения задачи распространения с учетом множества метеофакторов выбран метод натурального моделирования возбуждения и распространения волн с использованием сейсмических вибраторов, способных излучать наряду с сейсмическими волнами акустические в виде строго повторяющихся сеансов зондирования атмосферы. На трассе протяженностью 50 км набрана представительная статистика результатов измерений уровней акустических давлений от вибратора ЦВ-40 в различных метеоусловиях.

Выделены характерные особенности метеозависимых результатов измерений, которые потенциально могут вносить наибольший вклад в увеличение экологических рисков от мощных взрывов. Рассмотрена аналитическая зависимость акустического давления от таких метеопараметров, как температура и влажность воздуха, направление и сила ветра. Впервые в экспериментах с вибратором ЦВ-40 с учетом закономерности дальнего распространения инфразвука в атмосфере расширен предел высокоуровневой регистрации акустических колебаний до 100 км. Полученные на базе наблюдений оценки позволяют охарактеризовать затухание акустических волн, влияющих на уровни экологических рисков. По отношению

к полигонным взрывам утилизируемых боеприпасов в экспериментах получены метеозависимые оценки удельной плотности энергии и проведено их сопоставление с критически допустимыми по строительным и санитарным нормам.

Актуализирована база экспериментальных данных ИВС "Вибросейсмическое зондирование Земли", входящая в состав НИС "Активная сейсмология". База данных пополнена экспериментами 2011–2013 гг. по вибросейсмическому просвечиванию Байкало-Монгольского региона. Общее количество вновь введенных трасс – около 1000, объем – 385 МБ. Построена онтология предметной области "Активная сейсмология" путем развития и доработки двух базовых онтологий – "Научная деятельность" и "Научное знание". Онтология содержит понятия моделируемой области, связывающие их отношения, атрибуты понятий и отношений и ограничения на значения атрибутов. Для построения онтологии "Активная сейсмология" была использована технология, разработанная в лаборатории искусственного интеллекта ИСИ СО РАН, которая включает язык описания онтологий, методику построения и развития онтологий, а также редактор онтологий. Основой для построения иерархии предметов и методов исследования послужила предложенная академиком Н. Н. Пузыревым типизация, существенно расширенная специфическими для предметной области активной сейсмологии понятиями. Наиболее важными ассоциативными отношениями между понятиями "онтология научной деятельности" и "онтология научного знания" являются следующие отношения: "исследует" – сопоставляет научную деятельность или раздел науки с объектом исследования; "использует" – связывает метод исследования с видом деятельности, исследователем или разделом науки; "применяется к" – связывает метод исследования с объектом исследования; "описывает" – задает связь Публикации с научным результатом, объектом или методом исследования.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 15-07-06821-а "Создание геоинформационной технологии исследования и верификации скоростных моделей земной коры с применением математического моделирования и методов активной сейсмологии".

Руководитель – д.т.н. Ковалевский В. В.

Выполнено математическое моделирование полных волновых полей для разработанных 2D математических моделей земной коры экспериментов BEST и PASSCAL с использованием разработанных алгоритмов и программ на основе аналитического метода, метода конечных разностей и спектрально-разностного метода. Данные вибропросвечивания на общем профиле Тырган – Бабушкин – Кяхта – Улан-Батор занесены в базу метаданных и файловый архив. Создан раздел "Анализ и верификация скоростных моделей земной коры" в НИС "Активная сейсмология". Создан файловый архив теоретических (синтетических) сейсмограмм и база метаданных для задач проекта. Выполнена разработка и отладка основных сервисов геоинформационной системы, включая web-приложение. Система доступна по адресу <http://opg.sscg.ru>.

Проект РФФИ №16-37-00240-а "Разработка и проведение исследований информационно-вычислительной технологии анализа генетических данных на гибридной супер-ЭВМ".

Руководитель – к.т.н. Якименко А. А.

Спроектирована параллельная архитектура программного обеспечения для высокопроизводительного генетического анализа на гибридной суперЭВМ. Используются подходы

проектирования параллельного программного обеспечения, методы адаптации программного кода, алгоритмов к архитектурам вычислительных систем на графических ускорителях. Разработан высокопроизводительный параллельный программный комплекс для ускоренного выполнения перестановочного теста на гибридном суперкомпьютере НКС-30T+GPU. Используются подходы проектирования программного обеспечения для создания двухуровневого распараллеливания MPI+CUDA. Результаты численных экспериментов в задачах детерминации генетических признаков, полученные на эмпирическом материале, представлены как в виде данных по достигнутому ускорению, эффективности, масштабированию, так и в виде данных, обладающих научной значимостью и новизной. Используются методы статистического анализа для определения статистически значимых величин, технологии моделирования статистических процессов. Реализован инновационный модуль программного комплекса для проведения множественного эксперимента внутри одного перестановочного теста, позволяющий выполнять пакетную обработку данных однотипных экспериментов для сокращения накладных расходов времени запуска. Применен подход, позволяющий агрегировать результаты эксперимента в формат представления данных для проведения расчетов на гибридных высокопроизводительных архитектурах.

Проект РФФИ №14-07-00518-а "Создание и проведение исследований лазерно-информационной технологии дальней регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с применением прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий".

Руководитель – д.т.н. Хайретдинов М. С.

Исполнители: д.т.н. Поллер Б. В., к.т.н. Бритвин А. В., Седухина Г. Ф., к.т.н. Воскобойникова Г. М., к.т.н. Агафонов В. М., д.т.н. Гужов В. И., Матвеев И. Н., Грищенко М. В.

В ходе выполнения проекта сформулированы цели проекта, проанализированы критические условия осуществимости акустооптического преобразования на инфранизких частотах, основанные на соотношениях параметров внешнего акустического поля и измерительных колебаний. Разработан и создан макет акусто-оптической информационной системы для проведения экспериментальных исследований. Разработаны методика и программы проведения экспериментов, методы и устройства удаленного сетевого сбора данных с датчиков с использованием каналов Интернет и сотовой связи. Для обработки акустических и оптических колебаний создан программный комплекс, выполняющий функции преобразования, обнаружения и измерения параметров полезных акустических и оптических колебаний и шумов.

С помощью созданных программно-технических средств на базе вибросейсмического полигона "Быстровка" (Новосибирская обл.) и лазерного полигона Института лазерной физики СО РАН" (с. Кайтанак, респ. Горный Алтай) выполнены эксперименты по акустическому зондированию лазерных лучей колебаниями от вибратора ЦВ-40 и мощных динамиков с одновременной регистрацией входных акустических и выходных оптических колебаний. Оценены их уровни, помехоустойчивость и соотношение между ними. Разработан и создан двухлучевой оптический стенд, проведены его предварительные испытания с целью выявления ограничительных возможностей двухлучевого оптического приема. Разработаны предложения по дальнейшему развитию работ.

Проект РФФИ №16-07-01052-а "Разработка программно-алгоритмических средств поиска и анализа комплекса информативных факторов взаимодействия геофизических полей разной природы для прогнозирования разрушительных экологических рисков от природно-техногенных взрывов".

Руководитель – к.т.н. Воскобойникова Г. М.

Решение проблемы прогнозирования разрушительных экологических рисков от природно-техногенных взрывов связано с решением многофакторной задачи. Существуют факторы, приводящие к обратному эффекту ослабления экологических рисков, обусловленных особенностями распространения инфразвука в приземной атмосфере при наличии снежного покрова, лесного массива, геологической неоднородности рельефа местности и др. В соответствии с планом на 2016 г. выполнено математическое моделирование процессов совместного распространения волновых полей от инфранизкочастотного источника с учетом влияния снежного покрова на излучение и распространение волн: сейсмических – в земле и акустических – в атмосфере. Снежный покров описывается моделью пористой флюидонасыщенной среды, твердый каркас которой составляют частички льда, а поры заполнены воздухом или водой. Рассмотрена задача излучения волн источником, расположенным внутри слоя пористой флюидонасыщенной среды на упругом полупространстве. Реализованы программы моделирования для расчета частотно-временных характеристик, уровней акустического давления колебаний волн с помощью математической модели, основанной на законах сохранения, и дифференциальных уравнений для пористой снежной среды (модифицированная модель Био). Получены характеристики излучаемого сейсмоакустического поля. Сделана постановка задачи падения акустической волны на упругое полупространство с пористым флюидонасыщенным слоем на поверхности. Выполнен подбор начальных данных, граничных условий и значений параметров модели. Проведены тестовые расчеты для отладки разработанных программ. Выполнены обработка и анализ накопленных экспериментальных данных за период 2013–2015 гг. с помощью программ, реализованных в среде Matlab. Получены одновременно оценки акустического давления на акустограммах и уровней колебательной скорости сейсмических волн на сейсмограммах в экспериментах с сейсмическим вибратором ЦВ-40. Эксперименты носили всепогодный характер, проводились в условиях наличия различных метеоусловий, состояний дневной поверхности земли (наличие – отсутствие снежного покрова), расстояний и азимутальных направлений "источник – приемник".

Проект РФФИ № 14-07-00832-а "Научная информационная система для теоретических и экспериментальных исследований волновых полей в активной сейсмологии".

Руководитель – Григорюк А. П.

Создана научная информационная система, обеспечивающая предоставление и анализ данных, систематизацию и интеграцию знаний и информационных ресурсов для исследования волновых полей методами активной сейсмологии. Разработана онтология предметной области (ПО) "Активная сейсмология", описывающая основные понятия, составляющие содержание НИС и семантические связи между ними. В НИС "Активная сейсмология" интегрирован портал знаний, обеспечивающий целостное представление знаний о предметной области и устанавливающий взаимосвязи между относящимися к этой науке событиями, объектами, результатами и методами исследования (доступен по адресу <http://org.sssc.ru/portal/>). Ядром информационной модели портала является онтология ПО "Активная сейсмология".

Актуализирована база экспериментальных данных информационно-вычислительной системы (ИВС) "Вибросейсмическое зондирование Земли", входящая в состав НИС "Активная сейсмология". Разработан аналитический метод расчета сейсмических волновых полей в средах 2D геометрии, основанный на спектральных разложениях решения по пространственным и временным частотам. Рассчитанные синтетические сейсмограммы и снимки

волнового поля на профиле Байкал – Улан-Батор включены в базу данных по математическому моделированию НИС "Активная сейсмология". Обеспечено полноценное функционирование интернет-ресурса "Активная сейсмология", доступного по адресу <http://opg.sssc.ru>

Российско-казахстанский проект НТП 04.03.02 "Создание методических основ геолого-геофизических исследований очаговых зон ПЯВ в магматических породах".

Руководители: чл.-корр. РАН Кабанихин С. И., д.т.н. Хайретдинов М. С., к.г.-м.н. Беляшев А. В.

Исполнители: к.ф.-м.н. Караваев Д. А., к.т.н. Якименко А. А., к.ф.-м.н. Шишленин М. А., к.т.н. Воскобойникова Г. М.

В рамках постановки задачи численного моделирования полного 3D волнового поля в неоднородных средах с поствзрывными кавернозными включениями и структурами разработаны параллельные схемы реализации численного алгоритма на кластерах с различными типами архитектур. Численное моделирование базируется на решении прямой и обратной задач методом продолжения волнового поля. Технология моделирования подразумевает использование интерфейса MPI для проведения крупноблочного распараллеливания, а OpenMP или CUDA – для реализации возможности проведения параллельных вычислений на графических процессорах (GPU). Реализованы программные коды для проведения численных экспериментов на многоядерных вычислительных системах с MPP, SMP и гибридной архитектурами. Разработанный пользовательский интерфейс предусматривает возможности задания геофизических параметров среды, диапазона частот для ее зондирования, координат расстановки источника и системы сейсмоприемников. По результатам численного моделирования выявлены фундаментальные особенности поствзрывного изменения строения среды над кавернозными зонами.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН

Программа Президиума РАН № 18, проект 0315-2015-0016 "Прогнозирование катастроф для природной среды России: математическое моделирование сейсмоопасных зон, цунами-риска, загрязнений окружающей среды и изменений климата".

Руководители: чл.-корр. РАН Кабанихин С. И., д.т.н. Ковалевский В. В., д.ф.-м.н. Гусьяков В. К.

Выполнена обработка данных профильной регистрации вибросейсмоакустических сигналов от вибратора ЦВ-100 в южной части Байкальской рифтовой зоны. Вибросейсмический источник ЦВО-100 расположен на Южнобайкальском геодинамическом полигоне СО РАН в пос. Бабушкин. Для регистрации использовались мобильные малые сейсмические группы и локальная сеть наблюдений, состоящая из восьми стационаров, удаленных на 58–256 км от источника. Создан структурированный архив данных в PC-формате, содержащий файлы волновых форм сигнала, файлы сейсмограмм – результатов корреляционной свертки с синтетическим опорным сигналом, файлы сейсмограмм – результатов корреляционной свертки с сигналом ближней зоны вибратора. Общий объем структурированного архива данных (PC) составляет 5,8 ГБ и содержит более 16000 файлов.

Экспедиционный грант "Экспериментальные работы по изучению неоднородности строения земной коры, геодинамических процессов и проведение вибросейсмического мониторинга Байкальской сейсмоопасной зоны и Алтае-Саянского региона с использованием

низкочастотных вибраторов, регистрация сейсмических и акустических полей от взрывов и вибраторов".

Руководитель – д.т.н. Хайретдинов М. С.

Выполнены работы по одновременной регистрации сейсмических и акустических колебаний от вибратора ЦВ-40 на профиле протяженностью 100 км в направлении Быстровский полигон – с. Верх-Ики для изучения закономерностей затухания сейсмических и акустических колебаний по расстоянию. Продолжены регулярные всесезонные мониторинговые сеансы наблюдений сейсмоакустических колебаний от вибратора ЦВ-40 на удалении 50 км в пос. Ключи в интересах решения многофакторной задачи распространения сейсмоакустических колебаний на протяженных профилях.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Ковалевский В. В., Хайретдинов М. С., Якименко А. А., Грищенко М. В. Информационно-вычислительная система для анализа генетических данных на основе перестановочного теста // Сиб. науч. мед. журн. 2016. Т. 36, № 1. С. 42–47.

(в базах Scopus, РИНЦ)

2. Романов Е. Л., Трошина Г. В., Якименко А. А. Преподавание программной инженерии. Взгляд от кода // Науковедение: интернет-журнал, электрон. журн. 2016. Т. 8, № 5.

(в базе РИНЦ)

3. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф. Оценка метеозависимых геоэкологических рисков от взрывов с помощью сейсмических вибраторов // Технол. сейсморазведки. 2016. № 3. С. 132–138.

(в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М. Апостериорные алгоритмы анализа данных геофизического мониторинга // Вестн. Нац. ядерного центра Респ. Казахстан. 2016. № 2. С. 67–74.

Материалы международных конференций и совещаний

1. Yakimenko A. A., Khairetdinov M. S., Grishchenko M. V. Permutation test implementation for testing set of genetic hypotheses using GPU // Proc. of the 11th Intern. forum on strategic technology (IFOST 2016), Novosibirsk, June 1–3, 2016. Novosibirsk: NSTU, 2016. Part 1. P. 474–477. ISBN 978-1-5090-0853-7.

(в базах Scopus, РИНЦ)

2. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В. Нелинейная динамика сейсмических вибраторов // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 1. Т. 1. С. 121–126.

(в базе РИНЦ)

3. Матвеев И. Н., Хайретдинов М. С. Программное управление сетевым комплексом сбора и обработки геофизических данных // Материалы 12-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г.; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология". Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 2. С. 28–33. ISBN 978-5-87693-910-4.

(в базе РИНЦ)

4. Хайретдинов М. С., Поллер Б. В., Бритвин А. В., Седухина Г. Ф. Акустооптическая информационная система инфранизких частот // Там же. С. 8–13. ISBN 978-5-87693-910-4.

(в базе РИНЦ)

5. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М. Интерференция сейсмоакустических колебаний, порождаемых гармоническими источниками // Материалы 12-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18–22 апр. 2016 г.; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология". Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 2. С. 13–18. ISBN 978-5-87693-910-4. (в базе РИНЦ)
6. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Загоруйко Г. Б. Организация портала знаний "Активная сейсмология" // Там же. Т. 2. С. 18–22. (в базе РИНЦ)
7. Ковалевский В. В., Григорюк А. П. пространственно-временная фильтрация сигналов при вибросейсмическом мониторинге // Там же. С. 23–27. (в базе РИНЦ)
8. Tuychieva S. T., Voskoboynikova G. M., Imomnazarov Kh. Kh., Tang J. G., Mikhailov A. A. athenatical modeling of seismic wave propagation with allowance for the snow cover // Там же. С. 33–37. (в базе РИНЦ)
9. Ковалевский В. В., Фатьянов А. Г., Караваев Д. А. Верификация скоростных моделей земной коры Байкальского региона, построенных по данным экспериментов BEST и PASSCAL // Там же. Т. 2. С. 3–7. (в базе РИНЦ)
10. Yakimenko A. A., Khairtdinov M. S., Grishchenko M. V., Matveev A. S. Morgunov I. N. Access technology to high performance resources by means of information systems // Proc. of the 13th Intern. conf. "Actual problems of electronic instrument engineering" (APEIE–2016), Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. V. 1, p. 2. P. 434–438. ISBN 978-5-7782-2991-4. (в базах Scopus, Wos, РИНЦ)
11. Khairtdinov M. S., Voskoboynikova G. M. Detection of signals and identification of sources in the monitoring networks // Ibid. P. 424–427. (в базах Scopus, Wos, РИНЦ)
12. Khairtdinov M. S., Poller B. V., Britvin A. V., Sedukhina G. F. An acoustooptic information system of infralow frequencies // Ibid. P. 30–36. (в базах Scopus, Wos, РИНЦ)
13. Khairtdinov M., Voskoboynikova G. Interference of elastic oscillations of different physical nature // Ibid. P. 26–29. (в базах Scopus, Wos, РИНЦ)
14. Булавина Н. А., Караваев Д. А., Якименко А. А. A technology of full seismic field simulation on high-performance computing systems // Ibid. P. 439–442. (в базах Scopus, Wos, РИНЦ)
15. Kovalevsky V. V., Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P. An information technology of verification of earth's crust velocity models // Ibid. P. 443–446. (в базах Scopus, Wos, РИНЦ)
16. Grishenko M., Yakimenko A. A., Khairtdinov M. S., Gunbin K. A computation system for randomization-based enrichment analysis using // Abst. of the 10th Intern. conf. on bioinformatics of genome regulation and structure/systems biology, Novosibirsk, Aug. 29 – Sept. 2, 2016. Novosibirsk: Publ. SB RAS, 2016. P. 94. ISBN 978-5-91291-026-5.
17. Khairtdinov M. S., Voskoboynikova G. M. Analysis of the geophysical data using a posteriori algorithms // General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna (Austria), Apr. 17–22, 2016. [Electron. resource]. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-12209.pdf>.
18. Воскобойникова Г. М., Хайретдинов М. С., Седухина Г. Ф. Vibroseismic method for estimation of the geocological risk of powerful technogenic and natural explosions // Ibid. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-12052.pdf>.
19. Grishchenko M. Implementation of permutation test for genetic hypothesis testing using graphic processing unit. // Тез. науч.-практ. конф. аспирантов и магистрантов "Progress through innovations", Новосибирск, 31 марта 2016 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. С. 6–7. ISBN 978-5-7782-2869-6.

20. Voskoboynikova G., Imomnazarov Kh., Mikhailov Al., Jian-Gang Tang. Influence of snow cover on the seismic waves propagation // Proc. of the 6th conference on numerical analysis and applications (NAA'16), Lozenetz (Bulgaria), June 13–25, 2016. (в базе Scopus)

21. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В. Вибросейсмический метод для прогнозирования для геоэкологического риска от мощных техногенных и природных взрывов // Тез. 9-й Междунар. конф. "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Алма-Ата (Казахстан), 8–12 авг. 2016 г. С. 136–137.

22. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В. Инновационные геотехнологии в мониторинге окружающей среды // Труды 13-й науч.-практ. конф. "Инновационные, информационные и коммуникационные технологии" (ИНФО-2016), Сочи, 1–10 окт. 2016 г. Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА, 2016. С. 18–22. ISBN 2500-1248.

23. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В., Загорюлько Г. Б. Разработка научной среды для комплексных исследований в активной сейсмологии // Материалы 44-й Междунар. конф. и 14-й Междунар. конф. молодых ученых "IT + S&E '16" Информационные технологии в науке, образовании и управлении / под ред. Е. Л. Глориозова. 2016. С. 3–10. (в базе РИНЦ)

24. Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П. Разработка технологии верификации скоростных моделей земной коры. // Там же. 188-195. (в базе РИНЦ)

25. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В. Интеллектуальный интернет-ресурс для исследований волновых полей в активной сейсмологии. // Материалы 3-го Всерос. совещания и 2-й Всероссийской молодежной школы по современной геодинамике "Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе". 2016. С. 134–136. (в базе РИНЦ)

26. Ковалевский В. В., Тубанов Ц. А., Фатьянов А. Г., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Базаров А. Д. Вибросейсмические исследования в Южном Прибайкалье // Там же. С. 155–156. (в базе РИНЦ)

27. Знак В. И. Порядковые фильтры: "Некоторые аспекты обработки периодических сигналов" // Труды 11-й Междунар. конф. "Интеллектуализация обработки информации", Барселона (Испания), 2–8 окт. 2016 г. С. 124-125. (в базе РИНЦ)

28. Знак В. On some peculiarities of studying characteristics of periodic signals based on cluster analysis // Proc. of the 3th Intern. conference and expo on computer graphics & animation, Las Vegas (USA), Nov. 7–9, 2016. [Electron. resource]. <http://computergraphics-animation.conferenceseries.com/abstract/2016/on-some-possibilities-of-studing-characteristics-of-periodic-signals-based-on-cluster-analysis>

29. Брованов С. В., Токарев В. Г., Сидоренко А. В., Соловьев Д. А., Якименко А. А. Improving the active power filter performance with a prediction-based control method // Proc. of the 17th Intern. conf. of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices "EDM 2016" Erlagol, 30 June – 4 July 2016. Novosibirsk: NSTU, 2016. P. 577–582.

(в базах Scopus, Wos, РИНЦ)

30. Шеремет О. С., Якименко А. А. Автоматизация разработки технологических процессов изготовления деталей оптического производства // Труды 11-й Междунар. науч.-практ. конф. "Современные тенденции развития науки и технологий", Белгород, 29 февр. 2016 г. Т. 2, № 3. С. 130–133. (в базе РИНЦ)

Прочие издания

1. Булавина Н. А., Якименко А. А., Караваев Д. А. Разработка информационной технологии построения 2D моделей неоднородных сред // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. 2016. № 6. С. 119–123.

(в базе РИНЦ)

2. Вихман В. В., Якименко А. А. Биометрические системы контроля и управления доступом в задачах защиты информации / Учеб.-методич. пособ. Изд-во НГТУ, 2016.
3. Вихман В. В., Якименко А. А. Внедрение биометрической идентификации в системы контроля и управления доступом / Учеб.-методич. пособ. НГТУ, 2016.
4. Ефимов С. А. Способ визуализации сейсмических волновых полей для локации сейсмических событий // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11, ч. 5. С. 73–76. (в базе РИНЦ)

Участие в конференциях и совещаниях

1. 12-й Международный научный конгресс и выставка "Интерэкспо Гео-Сибирь–2016", Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г. – 7 докладов (Матвеев И. Н., Хайретдинов М. С., Седухина Г. Ф., Воскобойникова Г. М., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В., Караваев Д. А.).
2. The 11th International forum on strategic technology (IFOST 2016), Novosibirsk, 1–3 June, 2016 – 1 доклад (Якименко А. А., Хайретдинов М. С., Грищенко М. В.).
3. The 13th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE 2016), Novosibirsk, 3–6 Oct., 2016 – 7 докладов (Якименко А. А., Хайретдинов М. С., Грищенко М. В., Матвеев А. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Караваев Д. А., Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).
4. The 3rd International conference and expo on computer graphics & animation, Las Vegas (USA), November 7–9, 2016 – 1 приглашенный доклад (Знак В. И.).
5. 11-я Международная конференция "Интеллектуализация обработки информации", Барселона (Испания), 2–8 октября 2016 г. – 1 доклад (Знак В. И.).
6. The 10th International conference on bioinformatics of genome regulation and structure/systems biology, Novosibirsk, Aug. 29 – Sept. 2, 2016 – 1 доклад (Грищенко М. В., Якименко А. А., Хайретдинов М. С.).
7. General Assembly 2016 of the European Geosciences Union, Vienna (Austria), April 17–22, 2016 – 2 доклада (Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф.).
8. The 6th conference on numerical analysis and applications (NAA'16), Lozenetz (Bulgaria), June 13–25, 2016 – 1 доклад (Воскобойникова Г. М.).
9. 9-я Международная конференция "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Алма-Ата (Республика Казахстан), 8–12 августа 2016 г. – 2 доклада, из них 1 приглашенный (Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В.).
10. 10-я Международная IEEE научно-техническая конференция "Динамика систем, механизмов и машин", Омск, 15–17 ноября 2016 г. – 1 приглашенный доклад (Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В.).
11. 13-я Научно-практическая конференция "Инновационные, информационные и коммуникационные технологии (ИНФО-2016)", Сочи, 1–10 октября 2016 г. – 1 доклад (Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В.).
12. Научно-практическая конференция аспирантов и магистрантов "Progress through innovations", Новосибирск, 31 марта 2016 г. – 1 доклад (Грищенко М. В.).
13. 44-я Международная конференция и 14-я Международная конференция молодых ученых IT + S&E'16, Гурзуф, 22 мая – 1 июня 2016 г. – 2 доклада (Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В.).
14. 3-е Всероссийское совещание "Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе" и 2-я

Всероссийская молодежная школа по современной геодинамике, Иркутск, 19–23 сентября 2016 г. – 2 доклада (Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В.).

15. 6-я Международная научно-практическая конференция "Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов", Барнаул, 11–12 марта 2016 г. – 1 доклад (Якименко А. А., Караваев Д. А.).

16. The 17th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2016, Erlagol, June 30 – July 4, 2016 – 1 доклад (Якименко А. А.).

17. 16-й Международная заочная научно-практическая конференция "Современные тенденции развития науки и технологий", Белгород, 31 октября 2016 г. – 1 доклад (Якименко А. А.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Хайретдинов М. С.:

– член программного комитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–17 декабря 2016 г.

2. Ковалевский В. В.:

– член программного комитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–17 декабря 2016 г.;

– член программного комитета 8-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 7

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 10

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 27

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 3

Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 1

Публикаций в материалах международных конференций – 30

Публикаций в прочих изданиях – 3

Докладов на конференциях – 33, в том числе 3 приглашенных.

Участников оргкомитетов конференций – 3.

Кадровый состав

1. Ковалевский В. В.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Хайретдинов М. С.	г.н.с.	д.т.н.
3. Знак В. И.	с.н.с., 0.5 ст.	к.т.н.
4. Григорюк А. П.	н.с.	
5. Ефимов С. А.	н.с., 0.5 ст.	
6. Седухина Г. Ф.	н.с.	
7. Воскобойникова Г. М.	н.с.	к.т.н.
8. Караваев Д. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
9. Якименко А. А.	м.н.с., 0.25 ст.	к.т.н.
10. Борисов В. В.	ведущ. инженер	
11. Брагинская Л. П.	ведущ. программист	

12. Кайсина Н. В. ведущ. инженер, 0.5 ст.
 13. Иванова И. Н. ведущ. инженер
 14. Макаров В. А. ведущ. инженер-электроник
- Караваев Д. А., Якименко А. А. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

- Хайретдинов М. С. – профессор НГТУ
Якименко А. А. – зав. кафедрой НГТУ.

Руководство аспирантами

1. Козин Д. С. – аспирант ИВМиМГ, 2-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Мищенко П. В. – аспирант НГТУ, 3-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Матвеев И. Н. – аспирант ИВМиМГ, 1-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
4. Грищенко М. В. – аспирант ИВМиМГ, 1-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
5. Доброродный В. И. – аспирант ИВМиМГ, 1-й год, руководитель Хайретдинов М. С.

Руководство студентами

1. Матвеев И. Н. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Грищенко М. В. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Кокинос А. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
4. Хасанайн али Аль-Маяали – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
5. Машников Д. Я. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
6. Чулунов А. И. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
7. Станкевич А. И. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
8. Букреев А. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
9. Дементьев А. А. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
10. Булавина Н. А. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
11. Моргунов А. С. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.

Лаборатория обработки изображений

Зав. лабораторией д.т.н. Пяткин В. П.

Важнейшее достижение

Новые методы нечеткой кластеризации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) расширенными алгоритмами С-средних и Густафсона – Кесселя.

К.т.н. Бучнев А. А.

Предложены новые методы нечеткой кластеризации данных ДЗЗ расширенными алгоритмами С-средних и Густафсона – Кесселя. В алгоритме Густафсона – Кесселя с каждым кластером связана индивидуальная метрика, определяемая нечеткой ковариационной матрицей векторов, входящих в кластер (метрика Махаланобиса). В алгоритме С-средних метрика является евклидовой. Расширения алгоритмов состоят в следующем:

1. Вводятся объемные прототипы кластеров – гипершары для алгоритма С-средних и гиперэллипсоиды для алгоритма Густафсона – Кесселя. Все векторы признаков, попадающие внутрь такого прототипа, полностью принадлежат кластеру. Размеры прототипов динамически меняются на каждой итерации алгоритмов. Объемные прототипы позволяют не делить векторы признаков, близкие к центру кластера, с другими кластерами.

2. Вводится понятие нечеткой меры сходства кластеров. Кластеры, мера сходства которых на какой-либо итерации превышает заданный порог, объединяются. Такой подход позволяет, отправляясь от заведомо большого числа кластеров, объединять кластеры в течение итерационного процесса, получая плотные множества в исходном наборе векторов признаков. Для начальной инициализации матрицы членства используются выходные данные нечеткой кластеризации методом С-средних.

а



б

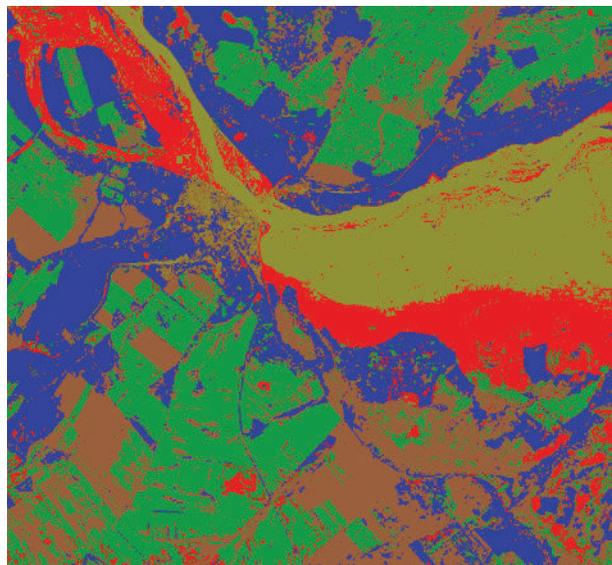


Рис. 1. Паводковая ситуация на р. Обь в районе г. Камень-на-Оби (май 2011 г, изображение ИСЗ SPOT-4, разрешение 20 м) (*а*); результат нечеткой классификации расширенным алгоритмом Густафсона – Кесселя: получено 5 кластеров (во входных данных задавалось 8 кластеров) (*б*)

Результаты исследований опубликованы в работе

Бучнев А. А., Пяткин В. П. Нечеткие кластеры с объемными прототипами в тематической обработке данных дистанционного зондирования Земли // Материалы 3-й Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сентября 2016 г. С. 7–10.

Результаты исследований докладывались на

3-й Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сентября 2016 г.

Отчет по этапам НИР, завершенным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР № 0315-2016-0003 "Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ для задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования".

Номер государственной регистрации НИР 01201370226.

Руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Блок 2. Математическое моделирование, исследование и разработка новых численных методов, алгоритмов и программ обработки данных ДЗЗ на основе современных аппаратно-программных платформ с использованием распределенных и параллельных вычислений. Разработка распределенных высокопроизводительных технологий решения задач моделирования, обработки и интерпретации данных ДЗЗ с использованием удаленных многопроцессорных ЭВМ с различными архитектурами. Исследование, обоснование и реализация параллельных версий алгоритмов обработки данных ДЗЗ. Алгоритмы решения конкретных прикладных задач дистанционного зондирования. Представление результатов проекта для экспертной проверки на лабораторном Web-сервере.

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Этап 2016 г. Разработка технологий решения задач обработки данных ДЗЗ на гибридных высокопроизводительных кластерах, оснащенных GPU. Адаптация разработанной системы контролируемой классификации данных ДЗЗ к данным гиперспектральных сканеров. Исследование общих математических свойств матриц линейных алгебраических систем, возникающих в томографии. Исследование применимости новых итерационных методов (итерации Брегмана, рандомизация обработки строк) в томографии. Разработка программ с новыми критериями для скорейшего обнаружения на единичном зашумленном изображении следов (треков) объектов, движущихся к заданной точке (важному объекту), а также скорейшего обнаружения в последовательности наблюдаемых зашумленных изображений движущихся малоразмерных объектов. Алгоритм сокращения размерности векторного пространства признаков с учетом делимости его подобластей. Разработка быстрого иерархического гистограммного алгоритма кластеризации на основе задания отделимости кластеров с автоматическим выбором детальности и сокращением размерности векторного пространства признаков в кластерах. Визуализация "естественной кластеризации" для трехспектрального анализа гистограммы на основе ее представления в виде четырехмерного рельефа.

Разработаны и апробированы на ЭВМ НКС 30T+GPU ССКЦ технологии выделения кольцевых структур и текстурных признаков по модели SAR на космических снимках на

гибридном высокопроизводительном кластере с GPU. Технологии реализованы на базе развиваемого в лаборатории программного комплекса SSCCIP интегрирования удаленной суперЭВМ в процессы анализа и обработки данных ДЗЗ и высокопроизводительных реализаций на ЭВМ НКС 30T+GPU алгоритмов выделения кольцевых структур и текстурных признаков по модели SAR, полученных на предыдущих этапах проекта. В систему SSCCIP добавлена поддержка вычислений на гибридном кластере с GPU; полученный обобщенный код фреймворка обработки данных на удаленном гибридном кластере был расширен реализациями конкретных технологий обработки. Актуальность исследований определяется потребностью в обработке интенсивного потока спутниковых данных в реальном времени, отсутствием соответствующих средств в программном обеспечении суперкомпьютерных центров, а также технологической сложностью выполнения обработки на удаленной суперЭВМ. Полученные результаты позволяют расширить состав программного обеспечения суперкомпьютерных центров и облегчить использование трудоемких вычислительных алгоритмов в прикладных дистанционных исследованиях. Разработанные технологии могут быть использованы для тематической обработки данных ДЗЗ в центрах приема и обработки спутниковых данных.

Выполнена адаптация разработанной ранее в рамках создания программного комплекса по обработке данных ДЗЗ PlanetaMonitoring системы контролируемой классификации к данным гиперспектральных сканеров. Упомянутый классификатор реализует стратегию максимального правдоподобия Байеса для нормально распределенных векторов признаков в классах. Оценки параметров классификатора (векторов средних и ковариационных матриц в классах) получаются на основе обучающих выборок. Классификатор, разработанный для обработки данных ДЗЗ с относительно небольшим числом спектральных диапазонов (мультиспектральные данные), принципиально может быть использован для обработки гиперспектральных образов, полученных сканерами с высоким спектральным разрешением. Однако такое прямое использование классификатора затруднительно по следующим причинам:

– Высокие вычислительные затраты, обусловленные большой размерностью векторов признаков N (например, сканер ГСА спутника Ресурс-П № 3 имеет $N = 255$ спектральных диапазонов). Расстояние Махалонобиса, используемое для оценки близости векторов признаков к центрам классов, является значением квадратичной формы с весовой матрицей размерности $N \times N$.

– Требуется большие объемы обучающих данных. Для того чтобы избежать сингулярности при вычислении обратных к ковариационным матриц, минимальный объем обучающих выборок в классах должен равняться $N + 1$ вектору. Известно, что для получения хороших оценок ковариационных матриц в мультиспектральных данных ($N = 10$) объем обучающей выборки V в классе должен быть таким, чтобы выполнялось следующее условие соотношения размерности: $V / N \geq 100$. Ясно, что для выполнения подобного условия в гиперспектральных данных ($N = 100$) объем обучающей выборки должен быть увеличен не менее чем на порядок.

Для преодоления этих затруднений необходимо иметь возможность извлекать из гиперспектральных данных признаков, позволяющих построить набор векторов, размерность которых соответствует размерности мультиспектрального образа. С этой целью полный набор спектральных диапазонов разбивается на блоки (соседние блоки могут пересекаться), каждый из которых представлен в результирующем векторе одним значением. Это значение может быть: а) средним по блоку, б) максимальным значением в блоке, в) главной компонентой в

блоке, г) центральным значением в блоке. Кроме того, предоставляется возможность выбора главных компонент исходного набора гиперспектральных векторов данных в соответствии с упорядоченной по убыванию последовательностью собственных чисел ковариационной матрицы. Число выбираемых главных компонент определяется суммарной дисперсией. К полученному таким образом мультиспектральному образу в полной мере применимы функции системы контролируемой классификации программного комплекса PlanetMonitoring (включая функцию постклассификации Vote, известную сейчас как мажоритарный фильтр). Включение механизма снижения размерности гиперспектральных данных ДЗЗ в состав программного комплекса PlanetMonitoring позволяет расширить возможности системы контролируемой классификации комплекса по построению карты тематических классов.

Проведено сравнительное исследование различных схем выбора порядка обработки томографических проекций, в том числе последовательных, а также рандомизированных схем случайного выбора и ряда детерминистских схем, управляемых матрицами перестановок. Актуальность исследований обусловливается необходимостью ускорения обработки данных, основанной на решении линейных алгебраических систем, в связи с растущими аппаратными возможностями регистрации больших объемов данных с высоким пространственным и спектральным разрешением. Алгоритмы построчной обработки строк матрицы системы, такие как метод Качмажа, удобны для распараллеливания, однако медленно сходятся при традиционной последовательной обработке строк. Выявлены квазиоптимальные детерминистские схемы, дающие лучшие результаты в сравнении со случайным порядком выбора направлений проекций. Разработан критерий выбора порядка обработки проекций на основе углов между подпространствами, в которых базисами выбраны плоские волны, образованные проекциями в результате применения оператора, сопряженного к оператору Радона. Оптимальный порядок итераций при обработке проекций дает эффект ускорения сходимости алгоритма, особенно на первых итерациях.

Получен новый последовательный непараметрический статистический тест (критерий) для задачи обнаружения на зашумленном изображении объектов-целей, движущихся прямолинейно к заданной точке (к важному охраняемому объекту с центром в заданной точке), имеющий большую вероятность обнаружения с минимальной средней задержкой, чем другие известные в доступной литературе последовательные непараметрические статистические критерии. Часто данные (изображения) получают на пределе физической возможности, ограниченной естественными флуктуациями. Кроме того, изображения могут быть переданы по физическому каналу связи, который накладывает на изображения свой шум и помехи. Искомое оптимальное (или близкое к нему) решение этих задач существенно зависит от схемы наблюдений, типа поступающих данных (изображений) и шумов, а также от полноты имеющейся априорной информации о них. В подавляющем числе публикаций, предлагающих то или иное решение, предполагается наличие полной априорной статистической информации о типе данных и помехах (шумах). Зачастую априорная информация недостаточно точна или совсем отсутствует (типичная ситуация на практике), в таком случае принимаемое решение о появлении объекта-цели должно быть основано на результатах применения так называемого непараметрического теста (критерия), который не зависит от того, по какому именно вероятностному закону и его параметрам распределены наблюдаемые значения в точках области фона на изображениях. Разработанный критерий допускает обобщение на задачу обнаружения объектов-целей, движущихся прямолинейно к заданной точке, по последовательности зашумленных изображений с короткими треками-следами (даже одноточечными) объектов-целей. Результат может быть использован в информационных

системах, связанных с контролем воздушной и космической обстановки, с работой и охраной важных объектов – аэропортов, военных баз и кораблей, наконец, с охраной городов.

Выполнена адаптация разработанного ранее в коллективе иерархического гистограммного алгоритма к многоспектральным данным ДЗЗ. Предложенный критерий и алгоритм выбора числа главных компонент собственного пространства ковариационной матрицы признаков данных ДЗЗ позволяет сократить размерность пространства признаков в зависимости от детальности представления данных. Так как данные ДЗЗ весьма разнообразны, то в каждом кластере возможна своя размерность собственного пространства. Анализ имеющихся гиперспектральных изображений показал, что собственное пространство признаков имеет довольно низкую размерность и, следовательно, к преобразованным данным могут быть применены разработанные алгоритмы кластеризации, в том числе и иерархической гистограммной. Новизна подхода состоит в том, что данные кластеризуются по заданной делимости кластеров, а не по числу кластеров, что дает возможность иерархическому гистограммному алгоритму автоматически и быстро сгруппировать данные в небольшое число хорошо разделенных кластеров с учетом их иерархичности. Полученные результаты кластеризации текстурных черно-белых аэроснимков лесных ландшафтов близки к результатам наземной таксации леса по типам и возрасту, о чем свидетельствуют результаты сравнения полученных кластерных карт с картами наземной таксации, предоставленных лесоводами, по поведению коэффициента Каппа Коэна. Результат может быть использован для кластеризации и сегментации текстурных изображений, в частности, текстурных изображений лесных ландшафтов.

Подготовлены заявки на изобретения, обеспечивающие алгоритмическую базу визуализации четырехмерного рельефа для поддержки решения задачи "естественной кластеризации". Использование "естественной кластеризации" находит отражение в решениях задач дорожного строительства, планировании создания гидросооружений, в гидромелиорационных работах – везде, где форма земного рельефа формируется под влиянием водных потоков, включая дождевые осадки, динамически образующие водные бассейны, формируемые линиями водоразделов. Множество существующих подходов к визуализации рельефа ориентировано на трехмерный вариант, зависящий от двух переменных; переход к большему числу параметров приводит к многомерным пространствам. Практическое применение полученных результатов возможно уже на уровне создания наглядных учебных пособий, в курсах геометрии средней и высшей школ.

Поддерживался сервер лаборатории, адрес в сети Интернет: <http://loi.sssc.ru>

Результаты работ по грантам РФФИ

Проект РФФИ № 16-07-00066 "Исследование и разработка эффективных методов, алгоритмов и программных технологий обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли, получаемых сканерами различного спектрального и пространственного разрешения".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Реализованы параллельные (на основе модели параллельного программирования OpenMP) версии алгоритмов нечеткой кластеризации данных ДЗЗ расширенными методами С-средних и Густафсона – Кесселя.

Разработана высокопроизводительная технология моделирования измерений микроволнового прибора МТВЗА-ГЯ КА Метеор-М №2. Предложена прямая модель в виде системы

интегральных уравнений компьютерной томографии в различных спектрах с генерированием проекционных данных от объектов, представленных набором линейных коэффициентов ослабления, плотности заданных материалов, а также уровнем активности внутренних источников; выведены формулы обращения. Разработан новый, более эффективный последовательный непараметрический статистический критерий для алгоритмов обнаружения объектов на зашумленных изображениях с однородным фоном, форма которого не зависит от того, по какому вероятностному закону (законам) и с какими параметрами зашумлено наблюдаемое изображение. Построена основа математической модели четырехмерной поверхности. Для спектральных и текстурных данных построен алгоритм и разработана программа: оригинальный делимый иерархический гистограммный алгоритм с заданием делимости кластеров, который определяет детальность и размерность данных внутри кластеров; разработана программа, осуществляющая сравнение полученных кластерных карт с картами, построенными лесоведами на основе лесной таксации. Результаты работ частично представлены на Web-сайте проекта <http://loi.sccc.ru/labweb/Lab/RFFI2016-2018/RU/main16.html>.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отведения РАН

Программа Президиума РАН I.33П, проект № 0315-2015-0012 "Разработка методов математического моделирования и вычислительных технологий для решения взаимосвязанных задач экологии и климата с использованием данных наземного и спутникового мониторинга".

Руководители: д.ф.-м.н. Пененко В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Предложена новая непараметрическая статистика и тест, которые могут быть использованы для космического мониторинга ледяных полей Арктики. Разработаны высокопроизводительные технологии для неконтролируемой (автоматической) и контролируемой (жесткой и нечеткой) классификации данных ДЗЗ. Реализован алгоритм выделения текстурных признаков по модели SAR на высокопроизводительном гибридном кластере НКС 30T+GPU. Разработаны новые параметрические методы обнаружения разломов ледяных структур на спутниковых изображениях с помощью оценки угла ориентации протяженных разломов методом преобразования Радона.

ФЦП "Федеральная космическая программа России на 2016–2025 гг."

Проект в рамках хоздоговорных работ с Научно-исследовательский центром "Планета" (Москва) "Разработка предложений в аванпроект по модернизации универсального программно-математического обеспечения для построения быстрых радиационных моделей измерений существующей и перспективной спутниковой целевой аппаратуры метеорологического назначения".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Выполнялись работы по развитию созданного ранее программного обеспечения быстрого моделирования спутниковых измерений: выполнено обновление библиотеки RTTOV подсистемы быстрого моделирования до версии 11.3 (сентябрь 2015 г.); выполнено обновление библиотеки LBLRTM подсистемы точного моделирования до версии 12.4 (февраль 2016 г, HITRAN 2012); добавлена поддержка баз данных (атласов) излучательной способности

земной поверхности в инфракрасном и микроволновом диапазонах; добавлена возможность быстрого вычисления относительных вкладов в интенсивность уходящего излучения отдельных слоев системы атмосфера – подстилающая поверхность.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Асмус В. В., Бучнев А. А., Пяткин В. П. Жесткая и нечеткая кластеризация данных дистанционного зондирования Земли // Журнал Сиб. фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2016. Т. 9, № 7. С. 972–978. (в базах RSCI, РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Getling A. V., Ishikawa R., Buchnev A. A. Development of active regions: Flows, magnetic-field patterns and bordering effect // Solar Physics. 2016. Vol. 291, No 2. P. 371–382. <http://dx.doi.org/10.1007/s11207-015-0844-3>. (в базах WoS, Scopus)

2. Salov G. I. New nonparametric statistical test for problems with three samples, which is more effective than the Whitney test // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2015. Vol. 52, iss. 2. P. 110–119. (Не вошла в отчет 2015 г.) (в базах Scopus, РИНЦ)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Казанцев И. Г. Прямая задача формирования многоспектральных изображений в эмиссионной томографии и один частный случай ее обращения // Труды 12-го Междунар. науч. конгр. и выставки "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь–2016", Т. 1 "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г. С. 27–31. (в базе РИНЦ)

2. Русин Е. В. Технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли на гибридном кластере НКС-30Т+GPU // Там же. С. 46–49. (в базе РИНЦ)

3. Бучнев А. А., Ким П. А., Пяткин В. П. Облачные вычисления в обработке данных дистанционного зондирования Земли // Там же. С. 68–72. (в базе РИНЦ)

4. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Кластеры с объемными прототипами в распознавании спутниковых данных // Там же. С. 43–45. (в базе РИНЦ)

5. Сидорова В. С. Сокращение размерности пространства спектральных признаков, данных ДЗЗ внутри кластеров // Там же. С. 85–90. (в базе РИНЦ)

6. Kazantsev I. G., Olsen U. L., Poulsen H. F., Hansen P. C. A spectral geometrical model for Compton scatter tomography based on the SSS approximation // Proc. of the 4th Internl. meeting. on image formation in X-ray CT, Bamberg (Germany), July 18–22, 2016. P. 577–580.

7. Бучнев А. А., Ким П. А., Пяткин В. П., Салов Г. И. Макет облачного WEB-сервиса по выделению линейных и кольцевых структур на космических изображениях // Материалы 3-й Междунар. науч. конф. "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сент. 2016 г. С. 7–10. (в базе РИНЦ)

8. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Нечеткие кластеры с объемными прототипами в тематической обработке данных дистанционного зондирования Земли // Там же. С. 11–13 (в базе РИНЦ)

9. Сидорова В. С. Выбор размерности пространства спектральных признаков для кластерного алгоритма // Там же. С. 109–112. (в базе РИНЦ)

10. Сидорова В. С. Выбор размерности и детальности данных дистанционного зондирования Земли при кластеризации гистограммным иерархическим алгоритмом // Труды

Международ. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 2016. С. 664–669. (в базе РИНЦ)

11. Казанцев И. Г. Матрицы перестановок проекций в итерационных алгоритмах томографии // Труды 12-й Международ. Азиат. школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 247–252. (в базе РИНЦ)

Прочие публикации

1. Сидорова В. С. Иерархический гистограммный кластерный алгоритм с выбором размерности пространства спектральных признаков для данных дистанционного зондирования Земли. Сокращение размерности данных кластерным алгоритмом // Перспективные направления развития современной науки. Евразийское Научное Объединение. 2016. Т. 1, № 3 (15). С. 58–61. (в базе РИНЦ)

Сдано в печать

1. Асмус В. В., Тимофеев Ю. М., Поляков А. В., Успенский А. Б., Головин Ю. М., Завелевич Ф. С., Козлов Д. А., Рублев А. Н., Кухарский А. В., Пяткин В. П., Русин Е. В. Температурное зондирование атмосферы по данным спутникового ИК фурье-спектрометра ИКФС-2 // Изв. РАН. Сер.: Физика атмосферы и океана.

2. Бучнев А. А., Ким П. А., Пяткин В. П., Салов Г. И. Макет облачного WEB-сервиса по выделению линейных и кольцевых структур на космических изображениях // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии.

3. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Нечеткие кластеры с объемными прототипами в тематической обработке данных дистанционного зондирования Земли // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии.

4. Сидорова В. С. Выбор размерности пространства спектральных признаков для кластерного алгоритма // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

1. Программа построения векторных полей пространственных перемещений природных объектов по серии спутниковых снимков на основе координат опознаваемых элементов DRIFTP: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016612541 РФ от 01 марта 2016 г. / Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. ; правообладатели ИВМиМГ СО РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета".

2. Программа разбиения данных дистанционного зондирования Земли на нечеткие кластеры с объемными прототипами VFuzzy : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617142 РФ от 28 июня 2016 г. / Бучнев А. А., Пяткин В. П. ; правообладатель ИВМиМГ СО РАН).

3. Программа нечеткой кластеризации с регуляризацией данных дистанционного зондирования Земли RFuzzy : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617109 РФ от 27 июня 2016 г. / Бучнев А. А., Пяткин В. П. ; правообладатель ИВМиМГ СО РАН.

4. Программа яркостных и контрастных преобразований спутниковых изображений CONTRAST : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617736 РФ от 14 июля 2016 г. / Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. ; правообладатели ИВМиМГ СО РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета".

5. Программа нечеткой кластеризации данных дистанционного зондирования Земли методом С-средних SMEAN : свидетельство об официальной регистрации программы для

ЭВМ № 2016617737 РФ от 14 июля 2016 г. / Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. ; правообладатели ИВМиМГ СО РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета".

6. Программа обработки данных дистанционного зондирования Земли PlanetMonitoring : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617917 РФ от 15 июля 2016 г. / Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. ; правообладатели ИВМиМГ СО РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета".

7. Программа отображения космических снимков на цифровую карту местности IMG2MAP : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617916 РФ от 15 июля 2016 г. / Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. ; правообладатели ИВМиМГ СО РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета".

8. Программа построения мозаики по серии космических изображений MOSAIC : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617914 РФ от 15 июля 2016 г. / Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. ; правообладатели ИВМиМГ СО РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета".

Участие в конференциях и совещаниях

1. 12-й Международный научный конгресс и выставка "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2016", Новосибирск, 18-22 апреля 2016 г. – 5 секционных докладов (Бучнев А. А., Казанцев И. Г., Ким П. А., Сидорова В. С., Русин Е. В.).

2. 3-я Международная научная конференция "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 13–16 сентября 2016 г. – 2 пленарных доклада (Бучнев А. А., Пяткин В. П.) – 1 секционный доклад (Сидорова В. С.).

3. The 4th International conference on image formation in X-ray computed tomography, July 18–22, 2016, Bamberg, Germany. – 1 секционный доклад (Казанцев И. Г.).

4. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 1 пленарный доклад (Казанцев И. Г.).

5. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 1 секционный доклад (Казанцев И. Г.).

Участие в оргкомитетах российских и международных конференций

1. Пяткин В. П.:

– руководитель секции Международного конгресса "ГЕО-Сибирь-2016";
– член программного комитета Международной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли РПДЗЗ-2016".

2. Русин Е. В. – секретарь секции Международного конгресса "ГЕО-Сибирь-2016".

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных WoS – 1

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 2

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 12

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 1

Публикаций в зарубежных изданиях – 2

Публикаций в материалах международных конференций – 10

Свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ – 8

Публикаций в прочих изданиях – 2

Докладов на конференциях – 11, в том числе 3 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 3

Международные научные связи

Казанцев И. Г. – командировка для участия в The 4th International conference on image formation in X-Ray computed tomography, Bamberg, Germany, July 18–22 2016 г. (Международная конференция по проблеме формирования изображений в рентгеновской вычислительной томографии).

Кадровый состав лаборатории

1. Пяткин В. П. зав. лаб., д.т.н.
2. Бучнев А. А. с.н.с., к.т.н.
3. Казанцев И. Г. с.н.с., д.ф.-м.н.
4. Ким П. А. с.н.с., к.ф.-м.н.
5. Русин Е. В. с.н.с., к.т.н.
6. Салов Г. И. с.н.с., к.т.н.
7. Сидорова В. С. н.с.
8. Калашникова Е. Г. ведущ. инженер
9. Карогодина Т. И. ведущ. инженер
10. Соколов А. М. инженер-программист

Педагогическая деятельность

Пяткин В. П. – профессор СГУГиТ.

Ким П. А. – доцент НГПУ.

Руководство аспирантами и студентами

Соколов А. М. – аспирант ИВМиМГ СО РАН, 3-й год, руководитель Ким П. А.

Премии и награды

Бучневу А. А. Федерацией космонавтики России присвоено почетное звание "Заслуженный испытатель космической техники".

Лаборатория системного моделирования

Зав. лабораторией к.т.н. Забиняко Г. И.

Важнейшие достижения

Разработка алгоритмов дифференциальной эволюции для оптимизационных задач в финансовой математике.

Разработаны и исследованы новые и модифицированные алгоритмы дифференциальной эволюции (ДЭ) на основе новой стратегии для операции мутации. Преимуществом предложенной стратегии является то, что она использует дополнительный второй вектор для операции мутации. при этом пространство поиска увеличивается. Результаты экспериментов показывают, что предложенная стратегия имеет преимущество на тестовых примерах по сравнению с другими стратегиями мутации ДЭ. Применение предложенного алгоритма ДЭ на реальных финансовых данных показывает целесообразность и эффективность его использования при оптимизации торговых стратегий. Рассмотрена оптимизация портфеля инвестиций по данным, взятым из Национальной фондовой биржи (Индия) за десять лет по десяти банкам. Поиск оптимального решения происходит с помощью предложенного алгоритма дифференциальной эволюции. Экспериментально показана целесообразность данного подхода к оптимизации портфеля инвестиций и получены оценки его эффективности.

К.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Монахова Э. А.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект 1.3.1.4 "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации систем сетевой структуры".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Руководители проекта: к.т.н. Бредихин С. В., к.т.н. Забиняко Г. И., д.т.н. Родионов А. С.

Разработан подход для оптимизации торговых стратегий (алгоритмов), основанный на анализе финансовых временных рядов, индикаторах финансовых рынков и эволюционных вычислениях. Предложено использование нового алгоритма дифференциальной эволюции для поиска оптимальных параметров торговых стратегий при максимизации их доходности, исследованы свойства и характеристики предложенного эволюционного алгоритма. Экспериментальные результаты на финансовых данных, полученных для российского и индийского фондовых рынков, показали, что этот подход может улучшить в несколько раз доходность торговых стратегий.

К.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Монахова Э. А.

Исследованы задачи анализа и оптимизации инженерных и транспортных сетей различного назначения. Предложен новый гиперсетевой подход к разработке геоинформационных систем для анализа и оптимизации инженерных и транспортных сетей современного города. Кроме того, исследованы проблемы выбора оптимального маршрута прокладки сетей инженерных коммуникаций на заданной территории с различными ограничительными условиями. Разработан модифицированный алгоритм муравьиной колонии, позволяющий вложить вторичную сеть в первичную сеть некоторой гиперсети S с учетом вида и назначения проектируемой сети (инженерной или транспортной), технико-экономического

ограничения, а также других ограничений (правовые и бюджетные), влияющих на выбор участка размещения.

К.т.н. Токтошов Г. Ы.

Проводилась формализация различных календарных задач управления проектами. Разрабатывались модели и алгоритмы построения расписаний сложных комплексов работ.

К.э.н. Ляхов О. А.

Предложена эффективная модификация разработанного ранее алгоритма решения задачи минимизации невыпуклой квадратичной функции на шаре. Представление целевой функции в виде разности двух выпуклых, которое базируется на модифицированной процедуре факторизации Холесского, позволяет, рассматривая эти функции как частные критерии, привлечь к решению данной проблемы аппарат двухкритериальной минимизации. Используя наглядность изображения в двухмерном пространстве моделируется стратегия поиска глобального решения исходной задачи.

Библиотека программ безусловной минимизации дополнена реализацией квазиньютоновского алгоритма с ограниченной памятью. В данном L-BFGS алгоритме на каждой итерации неявным образом строится квазиньютоновское направление, основанное на приближениях к обратному гессиану H_k . Проведено сопоставление этого алгоритма с имеющимся в библиотеке алгоритмом BFGS, в котором на итерациях строятся приближения к гессиану. Для поддержания на итерациях матриц B_k , являющихся оценками гессиана, в факторизованной LDLT форме используется процедура, основанная на методе отражения. При выполнении итераций можно "подправлять" диагональные элементы матрицы D так, чтобы обусловленность матриц B_k оставалась приемлемой. Для тестирования алгоритмов выбирались задачи средней размерности ($n=3000$). В плохо обусловленных задачах алгоритм BFGS обеспечивал более качественные приближения по переменным, но многократно увеличивает затраты машинного времени. Алгоритмы L-BFGS применимы для решения задач больших размерностей, легко распараллеливаются.

К.т.н. Забиняко Г. И., Котельников Е. А.

Проект РФФИ № 14-01-00031 "Разработка и исследование методов эволюционного синтеза нелинейных математических моделей на основе темплейтов с реализацией на суперЭВМ"

Руководитель – к.т.н., Монахов О. Г.; исполнители: Монахова Э. А., Токтошов Г. Ы.

Разработан и реализован алгоритм многовариантного эволюционного синтеза нелинейных моделей и аналитических выражений, основанный на последовательной операторной структуре решения, шаблонах (темплейтах) функций и заданном множестве пар входных – выходных данных. Исследовано влияние множества вариантов оценок решения и степени специализации шаблона на характеристики алгоритма поиска при эволюционном синтезе. Получены оценки трудоемкости данного алгоритма, проведено сравнение со стандартным алгоритмом генетического программирования и алгоритмом декартового генетического программирования и показано 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). Реализована параллельная версия алгоритма многовариантного эволюционного синтеза на суперЭВМ и показана ее эффективность.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Монахов О. Г., Монахова Э. А., Пант М. Применение алгоритма дифференциальной эволюции для оптимизации стратегий на основе финансовых временных рядов // СибЖВМ. 2016. № 2. С. 193–202. (в базах *Wos*, *Scopus*, *РИНЦ*)
2. Токтошов Г. Ы. О создании геоинформационных систем на основе гиперсетей для организации инженерной инфраструктуры современных городов // Изв. Томского политехнического ун-та. 2016. № 1. Т. 327. С. 46–52.

Зарубежные издания

1. Zaheer H., Pant M., Kumar S., Monakhov O. Book chapter "A novel mutation strategy for differential evolution" // Problem solving and uncertainty modeling through optimization and soft computing applications". Ser. of IGI Global, Information Science Pub, 2016. P. 20–31.
2. Zaheer H., Pant M., Monakhov O., Monakhova E. Portfolio analysis of ten national banks through differential evolution // Proc. of the 15th Intern. conf. on soft computing for problem solving "SocProS–2015". Springer-Verlag, Berlin-Singapore. 2016. P. 851–861. (в базах *Wos*, *Scopus*, *РИНЦ*)
3. Zaheer H., Pant M., Monakhov O., Monakhova E. A simple and efficient co-operative approach for solving multimodal problems // Proc. of Intern. conf. on electrical, electronics and optimization techniques, Chennai (India), March 3–5, 2016. P. 731–737. (*Scopus*, *РИНЦ*)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Монахов О. Г., Монахова Э. А. О параллельном алгоритме многовариантного эволюционного синтеза нелинейных моделей // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 390–395. (в базе *РИНЦ*)
2. Токтошов Г. Ы., Монахов О. Г. Об одной модификации алгоритма муравьиной колонии для построения гиперсетей // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 536–541. (в базе *РИНЦ*)
3. Забиняко Г. И. Реализация квазиньютоновского алгоритма с использованием технологии OpenMP // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 208–215. (в базе *РИНЦ*)
4. Ляхов О. А. Задачи маршрутизации в минимизации облучения персонала при техническом обслуживании АЭС // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 358–363. (в базе *РИНЦ*)
5. Токтошов Г. Ы. О выборе трасс для прокладки сетей инженерных коммуникаций // Материалы Российской научно-технической конференции "Обработка информации и математическое моделирование", Новосибирск, 21–22 апр. 2016 г. С. 291–297.

Прочие публикации

1. Котельников Е. А. Об одном подходе к условной минимизации $D.C.$ функций // Проблемы информатики. 2016. Т. 1. № 30. С. 3–18. (в базе *РИНЦ*)
2. Ляхов О. А. Ресурсы в сетевом планировании сложных комплексов работ. // Проблемы информатики. 2016. № 1. С. 19–25. (в базе *РИНЦ*)

3. Prigarin S. M., Kablukova E. G., Zabinyako G. I. On derivation of the size distribution of cloud droplets from the phase function // Bulletin NNC. Ser.: Num. Analysis. 2016. Iss. 18. P. 9.
(в базе РИНЦ)

Итоговые данные по лаборатории

- Публикаций, индексируемых в базе данных *Wos* – 2
 Публикаций, индексируемых в базе данных *Scopus* – 3
 Публикаций, индексируемых в базе данных *РИНЦ* – 10
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 4
 Публикаций в материалах международных конференций – 5
 Докладов на конференциях – 6
 Участников оргкомитетов конференций – 2

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 5 докладов (Монахов О. Г., Монахова Э. А., Токтошов Г. Ы., Забиняко Г. И., Ляхов О. А.).
2. International conference on electrical, electronics and optimization techniques, Chennai (India), March 3–5, 2016 – 1 доклад (Монахов О. Г., Монахова Э. А.).

Участие в оргкомитетах российских и международных конференций

Токтошов Г. Ы. – сопредседатель оргкомитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016–г.

Кадровый состав

- | | | |
|----------------------|----------|--------|
| 1. Забиняко Г. И. | зав.лаб. | к.т.н. |
| 2. Монахов О. Г. | в.н.с. | к.т.н. |
| 3. Монахова Э. А. | с.н.с. | к.т.н. |
| 4. Ляхов О. А. | н.с. | к.э.н. |
| 5. Котельников Е. А. | с.н.с. | |
| 6. Токтошов Г. Ы. | м.н.с. | к.т.н. |
| 7. Марусина О. А. | техник | |

Лаборатория прикладных систем

Зав. лабораторией к.т.н. Бредихин С. В.

Важнейшие достижения**Математические модели и методы анализа эффективности беспроводных сенсорных сетей**

Разработан ряд методов для анализа производительности беспроводных сенсорных сетей и оценки их отказоустойчивости в условиях конкретных разрушающих воздействий. В основе методов лежит аппарат случайных графов. Исследовались модели для анализа случайного графа, отображающего топологию сети, для оценки его элементов – вероятности существования вершин и ребер, случайных значений (весов), поставленных в соответствие ребрам и вершинам графа. Модели основаны на Марковских процессах с непрерывным временем и учитывают следующие характеристики: параметры рабочего цикла сенсоров, характеристики MAC протоколов и окружающей среды, интенсивность трафика, расход энергии на мониторинг, скорость восстановления заряда батарей сенсоров от внешних источников. Проведен анализ качества указанных оценок.

К.ф.-м.н. Шахов В. В., к.т.н. Соколова О. Д., к.ф.-м.н. Юргенсон А. Н.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Shakhov V., Yurgenson A., Sokolova O. Analysis of fault tolerance of wireless sensor networks // Proc. of the 13th Intern. conf. on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2016), IEEE, Novosibirsk, Oct. 3–6, 2016. Vol. 1 (Part 2). P. 390–393.

2. Шахов В. В., Юргенсон А. Н., Соколова О. Д. Моделирование воздействия атаки Black Hole на беспроводные сети // Программные продукты и системы. (в печати)

3. Shakhov V. Performance evaluation of MAC protocols in energy harvesting wireless sensor networks // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9787. Springer. P. 344–352.

4. Shakhov V. A graph-based method for performance analysis of energy harvesting wireless sensor networks reliability // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 391. Springer. P. 127–132.

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. Shakhov V., Yurgenson A., Sokolova O. Analysis of fault tolerance of wireless sensor networks // 13th Intern. conf. on actual problems of electronic instrument engineering "APEIE-2016", IEEE, Novosibirsk, October 3–6, 2016.

2. Shakhov V. On a new type of attack in wireless sensor networks: depletion of battery // 11th Intern. forum on strategic technology "IFOST–2016", IEEE, Novosibirsk, June 2016.

3. Shakhov V. On efficiency improvement of energy harvesting wireless sensor networks // 39th Intern. conf. on telecommunications and signal processing "TSP–2016", IEEE, Vienna (Austria), June 2016.

**Отчет по этапам НИР, завершённым в 2016 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 1.3.1.4 "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации систем сетевой структуры".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Раздел 1 "Исследование и разработка математического аппарата и программной среды для решения задач анализа и синтеза систем информатики".

Руководитель – к.т.н. Бредихин С. В.

В лаборатории продолжают работы по исследованию параметров информационных систем, имеющих распределенную сетевую структуру. Разработаны методы измерения параметров, определяющих структуру сети цитирования научных статей. На основе данных о цитировании библиографической базы данных RePEc вычислены их значения. Проведен эксперимент, демонстрирующий приемы вычисления значений параметров пар и их нормирования. Для главной сетевой компоненты построены графы коцитирования, библиографического сочетания и выполнен их кластерный анализ.

Исследовались проблемы функционирования современных сетей в условиях несанкционированных вторжений, рассматривалась конкретная задача – отказоустойчивость беспроводных сенсорных сетей (БСС). Рассматривалось моделирование воздействия на узлы БСС атаки Black Hole (атака является одним из наиболее опасных разрушающих информационных воздействий, в результате ее действия может теряться более 90 % информации, передаваемой в сток). В качестве модели беспроводной сети использовались графы единичных кругов (UDG-графы), наиболее адекватно описывающие связи в беспроводных сетях, где передача информации между узлами возможна, если они находятся в пределах взаимной достижимости радиосигнала. Для моделирования процесса сбора информации в беспроводной сети рассматривались различные виды остовных деревьев, по которым осуществляется передача данных (в зависимости от выбранного алгоритма маршрутизации). Получены формулы для вычисления аналитических оценок для некоторых случаев вида остовного дерева. Для оценки уязвимости дерева передачи данных к атакам, использовалась величина "нормированное число вершин, от которых потеряна информация" – среднее число вершин, от которых потеряна информация, деленное на общее число вершин в дереве. Полученные аналитические результаты согласуются с результатами имитационного моделирования. Предложен метод противодействия разрушающим воздействиям такого типа, проведена оценка эффективности предложенного метода.

Продолжались работы по моделированию транспортных потоков с применением клеточных автоматов. Решалась задача моделирования организации движения на дороге, представленной в виде графа, содержащего T-образный, крестообразный и неперпендикулярный перекрестки, согласно заданному набору условий проезда перекрестка (знаки приоритета, разрешенные направления движения). В ходе работы проведено подробное исследование клеточных автоматов для моделирования транспортных потоков. Разработан клеточный автомат, позволяющий моделировать движение транспорта для группы перекрестков; написана программа, реализующая генерацию автомата для группы перекрестков и использующая этот автомат при моделировании движения на перекрестке. Клеточный автомат определен как структура $CA = \langle A, C, \tau, X, T \rangle$, где $A = \{0,1\}$ – множество состояний клетки; C – множество клеток; τ – функция перехода, меняющая состояние автомата; X – отношение соседства; T – множество тактов времени. Для определения состояния автомата в такт времени t применяется функция τ к предыдущему такту $t-1$. Для задания функции τ вводятся правила для каждой клетки, после чего применение τ на какой-то конфигурации автомата определяется как применение правил клеток в определенном порядке. Для визуализации текущего состояния используются средства библиотеки .NET Framework 4, а именно классы Windows Forms. Для визуализации модели на разных шагах итерации используется графический интерфейс, созданный с использованием библиотеки WinAPI.

Продолжалась поддержка работы сетевой информационной системы Фонда алгоритмов и программ СО РАН. Проводился анализ требований и оптимизация модульной архитектуры информационной системы, реализация прикладных программных интерфейсов (API) с возможностью распределенного сетевого доступа. Осуществлялась оптимизация сервисов системы с целью повышения их интерактивности, максимального использования механизмов обратной связи. Проводился сбор массива статистической информации для последующей обработки и проведения аналитической работы.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Shakhov V. V., Yurgenson A. N., Sokolova O. D. Fast method for generating random geometric graphs for wireless networks modelling // Прикладная дискретная математика. 2016. N 4(34). (в базах РИНЦ, Scopus)

Зарубежные издания

1. Shakhov V., Sokolova O., Mashnikov D., In-Soo Koo. On Survivability of Wireless Sensor and Robotics networks // The Proc. of 8th Intern. conf. on Internet "ICONI-2016", Tsuen Wan (Hong Kong). P. 1–6.

Материалы международных конференций и совещаний

1. Shakhov V. V., Yurgenson A. N., Sokolova O. D. Analysis of fault tolerance of wireless sensor networks // Proc. of the 13th Intern. conf. on actual problems of electronic instrument engineering "APEIE-2016". Vol. 1–2. P. 390–393. (в базах Scopus, WoS)

2. Sokolova O. D., Kratov S. V. Information systems for popularization of scientific and knowledge-based software // Proc. of the 13th Intern. conf. on actual problems of electronic instrument engineering "APEIE-2016". Vol. 1–2. P. 519–522. (в базах Scopus, WoS)

Прочие публикации

1. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г., Юргенсон А. Н. Параметры "центральности" узлов сети цитирования научных статей // Проблемы информатики. 2016. № 1. С. 39–57. (в базе РИНЦ)

2. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Параметры пар узлов сети цитирования научных статей // Проблемы информатики. 2016. № 2. С. 30–49. (в базе РИНЦ)

3. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Структура сети цитирования научных статей // Проблемы информатики. 2016. № 3. С. 26–43. (в базе РИНЦ)

4. Казанцев Г. Ю., Омарова Г. А. Моделирование транспортных потоков с применением клеточных автоматов // Проблемы информатики. 2016. № 3. С. 59–69. (в базе РИНЦ)

Участие в конференциях и совещаниях

1. 8th International conference on Internet "ICONI-2016", Tsuen Wan (Hong Kong), December 16–19, 2016 – 1 доклад (Шахов В. В., Соколова О. Д., Машников Д.).

2. 13th International conference on actual problems of electronic instrument engineering "APEIE", Новосибирск, 3–6 октября 2016 г. – 2 доклада (Шахов В. В., Соколова О. Д., Юргенсон А. Н., Кратов С. В.).

3. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 1 доклад (Бредихин С. В., Щербакова Н. Г.).

4. 8-й Сибирский форум "Сибирская индустрия информационных систем" (СИИС-2016), Новосибирск, 6–7 апреля 2016 г. – 1 доклад (Соколова О. Д., Кратов С. В.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Соколова О. Д. – ученый секретарь Программного комитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.
2. Юргенсон А. Н. – член Оргкомитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.
3. Трофимова Л. В. – член Оргкомитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

Проведение международных конференций

12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.; 180 участников из России, Германии, Казахстана, Кыргызстана, Узбекистана, США, Италии и Турции.

Итоговые данные по лаборатории

- Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 2
- Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 3
- Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 5
- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 1
- Публикаций в зарубежных изданиях – 1
- Публикаций в материалах международных конференций – 2
- Докладов на конференциях – 5
- Участников оргкомитетов конференций – 3

Кадровый состав

- | | | |
|-----------------------|------------------|-----------|
| 1. Бредихин С.В. | зав. лаб. | к.т.н. |
| 2. Соколова О. Д. | с.н.с | к.т.н. |
| 3. Щербакова Н. Г. | с.н.с | |
| 4. Омарова Г. А. | н.с. | к.ф.-м.н. |
| 5. Юргенсон А. Н. | н.с. | к.ф.-м.н. |
| 6. Кратов С. В. | м.н.с. | |
| 7. Ляпунов В.М. . | ведущ. инженер | |
| 8. Трофимова Л. В. | ведущ. инженер | |
| 9. Решетинская М. С. | инженер, 0,5 ст. | |
| 10. Куликовская Н. К. | инженер, 0,5 ст. | |
| 11. Лазуткин Д. В. | инженер, 0,5 ст. | |

Педагогическая деятельность

Омарова Г. А. – доцент НГУ

Руководство студентами

Казанцев Г. Ю. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Омарова Г. А.

Лаборатория моделирования динамических процессов в информационных сетях

Зав. лабораторией д.т.н. Родионов А. С.

Важнейшие достижения

Улучшение и применение в биоинспирированных алгоритмах структурной оптимизации методов построения кумулятивных оценок показателей надежности сетей с ненадежными каналами.

Разработаны методы ускорения кумулятивного уточнения границ различных показателей надежности сети для скорейшего принятия решения о ее достаточной надежности/ненадежности по отношению к наперед заданному порогу. Данный подход был предложен в 2010 г. (J.-M. Won, F. Kaigau) и в настоящее время является одним из наиболее значимых результатов в области анализа сетевой надежности. Суть метода состоит в обновлении значений границ надежности исходной сети в процессе факторизации при получении значений надежности для очередных окончательных графов. Оценивание может продолжаться вплоть до получения точного значения в момент схождения границ. Ранее были получены ускоренные по сравнению с результатами J.-M. Won, F. Kaigau алгоритмы получения кумулятивных границ для вероятности связности случайного графа и собственные алгоритмы получения таких границ для средней вероятности связности пары вершин случайного графа и математического ожидания размера связного подграфа, содержащего выделенную вершину. Для последних показателей получены ускоренные алгоритмы. Ускорение достигнуто за счет получения конечных выражений, позволяющих за один шаг рассчитывать частичные суммы вероятностей связности пар вершин, в которых хотя бы одна вершина принадлежит цепи.

На основе линейной аппроксимации границ получены приближенные значения показателей более точные, чем простое среднее границ. Применение кумулятивных границ и указанных приближений позволяет существенно ускорить исполнение биоинспирированных алгоритмов структурной оптимизации, в частности генетического алгоритма и алгоритма клонирования.

Границы и приближение размера связного подграфа



Границы и приближение размера связного подграфа

Д.т.н. Родионов А. С., к.ф.-м.н. Мигов Д. А., Волжанкина К. А.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Migov D. A., Nechunaeva K. A., Nesterov S. N., Rodionov A. S. Cumulative updating of network reliability with diameter constraint and network topology optimization // ICCSA 2016, LNCS, V. 9786. P. 141–152.

2. Rodionov A. S., Migov D. A. New advantages of using chains in computing multiple s-t probabilistic connectivity // ICCSA. 2016, LNCS. V. 9785. P. 117–128.

3. Rodionov A. S. Cumulative estimated values of structural network's reliability indices and their usage // Proc. of the 10th Intern. IEEE scientific and techn. conf. "Dynamics of systems, mechanisms and machines" (Dynamics), Omsk, Nov. 15–17, 2016.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.3.1.4 "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации систем сетевой структуры".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Руководители: к.т.н. Бредихин С. В., к.т.н. Забияко Г. И., д.т.н. Родионов А. С.

Предложены модель единой системы инженерных сетей мегаполиса на основе теории гиперсетей и методы ее анализа и синтеза. Разработаны новые алгоритмы решения задач оптимизации структур беспроводных сенсорных сетей и анализа качества их функционирования. Разработаны и программно реализованы параллельные алгоритмы кумулятивно-го оценивания средней вероятности связности пары вершин в подмножестве вершин сети с ненадежными элементами. Разработаны новые аналитические модели для исследования надежности и живучести сетей, надежность элементов которых описывается различными мерами неопределенности. Разработаны имитационные модели для случая вероятностного задания этой неопределенности. Разработаны новые методы решения ряда задач теории телетрафика, связанных с минимизацией задержки пакетов в сетях.

Совместно с сотрудниками лаборатории прикладных систем разработан метод генерации псевдослучайных UDG-графов (Unit Disk Graphs) с некоторыми наперед заданными свойствами.

Предложена методика проектирования первичных сетей связи с использованием S-гиперсетей, описание взаимодействия различных классов сетей связи и сторонних инженерных сооружений. Предложены принципы построения Единой транспортной сети связи (ЕТСС) и разработана математическая модель ЕТСС, а также алгоритмы решения частных задач.

Проведена актуализация базы данных "Публикации научных сотрудников института". Разработан комплекс программ (СУБД ACCESS) подсистемы научного процесса академического института "Научные проекты в академическом институте". Выполнено наполнение данными базы этой подсистемы.

Проект 1.4.1.3 "Развитие суперкомпьютерных технологий и методов моделирования архитектур и алгоритмов для пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 01201370232.

Руководители: д.т.н. Глинский Б.М., д.т.н. Родионов А.С.

Предложена модель групповых отказов в сложных системах сетевой структуры. Модель может быть использована при моделировании отказов в ВС, вызванных перегревом процессоров, плат и стоек, а также сбоями в коммуникационной среде.

Предложены концепции расширения системы моделирования AGNES средствами имитационной оптимизации и средствами динамической адаптации имитационных моделей к ограниченным ресурсам среды исполнения. Разработана архитектура соответствующих программных средств и реализован ряд процедур.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 14-07-00769-а "Математические методы и программные средства анализа отказоустойчивости беспроводных сенсорных сетей".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Шахов В. В.

В результате работы над проектом исследованы задачи обеспечения отказоустойчивости беспроводных сенсорных сетей (БСС), спецификой которых является требование невысокой стоимости сетевых узлов, что влечет существенный дефицит ресурсов, которыми располагает система. Разработаны теоретические и программные средства анализа отказоустойчивости БСС, позволившие предложить ряд механизмов для улучшения надежности и живучести БСС. Программа работ, сформулированная в заявке на проект, выполнена. В проекте основное внимание уделялось относительно новым видам атак, характерным, в первую очередь, именно для БСС: Depletion of Battery, Black Holes, атаки, целью которых является деградация качества обрабатываемой сетью информации (Byzantine attack и др.), хотя разработанный инструментарий может быть применен для анализа широкого класса разрушающих воздействий. Предложена улучшенная таксономия разрушающих воздействий в беспроводных сенсорных сетях, в которой присутствует принципиально новый вид атак на батарею сенсора (Depletion of Battery). Разработаны новые математические модели функционирования узлов БСС, учитывающие особенности атакующих воздействий, специфику функционирования средств противодействия атакам, параметры рабочего цикла сенсоров, характеристики MAC протоколов. С использованием полученных моделей и аппарата случайных графов разработаны новые методы анализа отказоустойчивости БСС. Получены новые постановки задач оптимизации отказоустойчивости БСС, в которых, в отличие от традиционного подхода, учтена возможность отказа группы сенсоров без значимой потери функциональности сети; предложено их решение за счет использования мобильного стока или дублирующих стационарных стоков; предложен метод оптимизации их размещения. Разработаны методы анализа отказоустойчивости и рекомендации по ее улучшению для системы, полученной в результате конвергенции БСС и робототехнических систем, в условиях ряда атак, включая Black Holes и Byzantine. Разработаны средства имитационного моделирования воздействия атак в БСС, кроме того, для ускорения имитационных прогонов реализован и усовершенствован быстрый генератор псевдослучайных UDG графов, используемых для моделирования топологии БСС. В ходе реализации проекта достигнуто понимание неизбежности пересмотра традиционной концепции БСС для обеспечения надлежащего уровня безопасности основанных на БСС приложений. Перспективными направлениями развития БСС являются конвергенция БСС с сетями исполнительных устройств, использование новейших технологий получения энергии из окружающей среды, когнитивное радио, расширение функционала базовых станций. Поскольку многие решения в области архитектуры "Интернета вещей" опираются на результаты исследований БСС (проекты SENSEI, COBIS и IoT-A 7-й рамочной программы ЕС по развитию научных исследований и технологий) можно констатировать, что получен задел в перспективном направлении.

Проект РФФИ № 16-37-00345 мол-а "Разработка методов структурной оптимизации сетей по критерию надежности".

Руководитель – Волжанкина К. А.

В ходе выполнения проекта получен ряд важных результатов в области структурной оптимизации сетей по критерию надежности. Разработаны модифицированные операторы мутации и скрещивания для бионических алгоритмов (генетического и алгоритма клонирования), позволяющие ускорить оптимизацию показателей надежности для задач структурной оптимизации сетей. Разработаны параллельные алгоритмы для расчета надежности сети с ограничением на диаметр, предназначенные для исполнения на суперЭВМ с общей памятью и с использованием графических ускорителей. Предложено осуществлять расчет надежности сети с ограничением на диаметр для различных значений диаметра в рамках одного запуска процедуры факторизации, что повышает эффективность использования предварительной декомпозиции сети на двусвязные компоненты. Предложен метод повышения надежности беспроводной сенсорной сети, основанный на эвристическом алгоритме оптимального расположения стоков для получения максимально надежной топологии сети с точки зрения возможности сбора стоками информации с заданной доли сенсоров и установления соединения друг с другом. Рассмотрена задача Штейнера и разработан алгоритм, основанный на бионических техниках, позволяющий решать задачу Штейнера с ограничениями на прокладку и количество новых путей за приемлемое время. Проведены численные эксперименты, показавшие возможность использования полученных результатов для решения задач структурной оптимизации на различных сетях, в том числе и на транспортных графах.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа Президиума РАН 1.31, проект "Фундаментальные основы функционирования беспроводных сенсорных сетей, оснащенных средствами получения энергии из окружающей среды".

Руководитель – д.т.н. Родионов А. С.

Развитие "Интернета вещей" (IoT) объявлено приоритетным направлением во многих странах, включая РФ. Многие предложения по архитектуре IoT опираются на решения для беспроводных сенсорных сетей (WSNs), в частности, это касается предложений, разработанных в рамках проекта Internet of Things-Architecture (IoT-A) 7-й рамочной программы ЕС по развитию научных исследований и технологий, с участием таких компаний как IBM, Siemens, SAP, NEC, Hitachi и др. Наиболее важным направлением развития WSNs являются сети, оснащенные механизмом получения энергии из окружающей среды (EH-WSNs), которые позволяют решить ряд принципиальных проблем, существенно сдерживающих внедрение основанных на WSNs приложений. Таким образом, перспективность исследований в данной области не вызывает сомнений.

В рамках работы над проектом разработаны алгоритмы расчета характеристик EH-WSNs и новые математические модели поведения их узлов, позволяющие учитывать детали функционирования системы: параметры MAC протоколов, интенсивность трафика, расход энергии на мониторинг, скорость восстановления заряда батарей сенсоров и др. Предложены методы оптимизации управления мобильными устройствами подзарядки. С использованием указанных результатов разработаны методы повышения эффективности

EH-WSNs, позволяющие одновременно оптимизировать топологию сети, конфигурацию ее узлов и параметры протоколов.

Полученные результаты являются новыми, выполнены на мировом уровне. Существующие аналогичные методы, разработанные исследователями международных научных центров и транснациональных корпораций, решают проблему оптимизации EH-WSNs в упрощенной постановке, рассматриваются лишь отдельные параметры системы. Например, в работе, опубликованной в 2016 г. (Abdelhakim M., Liang Y., Li T. Mobile coordinated wireless sensor network: An energy efficient scheme for real-time transmissions // J-SAC. 2016. May. P. 1663–1675), авторы, обобщая предыдущие результаты, предлагают метод проектирования сети, при этом полагая характеристики узлов известными детерминированными величинами. В патенте Texas Instruments от 2014 г. (Scheduling Energy Harvesting Nodes in a Wireless Sensor Networks, US 20140036877) предложен метод оптимизации энергопотребления узлов EH-WSNs, при этом игнорируются особенности топологии сети, сетевых протоколов, интенсивность трафика.

Публикации

Российские журналы (из списка ВАК)

1. Куликов И. М., Черных И. Г., Воробьев Э. И., Снытников А. В., Винс Д. В., Московский А. А., Шмелев А. Б., Протасов В. А., Серенко А. А., Ненашев В. Е., Вшивков В. А., Родионов А. С., Глинский Б. М., Тутуков А. В. Численное гидродинамическое моделирование астрофизических течений на гибридных суперэвм, оснащенных ускорителями INTEL XEON PHI // Вестн. Юж.-Ур. гос. ун-та. Сер.: Выч. матем. и информ. 2016. Т. 5. № 4. С. 77–97.

(в базе РИИЦ)

2. Шахов В. В., Юргенсон А. Н., Соколова О. Д. Эффективный метод генерации случайных геометрических графов для моделирования беспроводных сетей // Прикладная дискретная математика. 2016. № 4 (34). С. 99–109.

(в базе РИИЦ)

[Shakhov V. V., Yurgenson A. N., Sokolova O. D. Fast method for generating random geometric graphs for wireless networks modelling // Prikladnaya Diskretnaya Matematika. 2016. N 4 (34). P. 99–109.]

(в базе Scopus)

Зарубежные издания

1. Migov D. A., Nechunaeva K. A., Nesterov S. N., Rodionov A. S. Cumulative updating of network reliability with diameter constraint and network topology optimization // Lect. Notes in Comput. Sci. 2016. Vol: 9786. P. 141–152.

(в базах Wos, Scopus, РИИЦ)

2. Rodionov A. S., Migov D. A new advantages of using chains in computing multiple s-t probabilistic connectivity // Ibid. Vol. 9787. P. 117–128.

(в базах Wos, Scopus, РИИЦ)

3. Shakhov V. Performance evaluation of MAC protocols in energy harvesting wireless sensor networks // Ibid. P. 344–352.

(в базе Wos, Scopus, РИИЦ)

4. Garbuzov K. Some problems of fuzzy networks modeling // Ibid. Vol. 9786. P. 529–535.

(в базах Wos, Scopus, РИИЦ)

5. Kulikov I. M., Chernykh I. G., Vorobyov E. I., Snytnikov A. V., Weins D. V., Moskovsky A. A., Shmelev A. B., Protasov V. A., Serenko A. A., Nenashev V. E., Vshivkov V. A., Rodionov A. S., Glinsky B. M., Tutukov A. V Numerical hydrodynamics simulation of astrophysical flows at Intel Xeon Phi supercomputers // CEUR Workshop Proc., 2016.

(в базе Scopus)

6. Shakhov V. A graph-based method for performance analysis of energy harvesting wireless sensor networks reliability // Lect. Notes in Electrical Engin. 2016.

(в базах Scopus, РИИЦ)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Куликов И. М., Черных И. Г., Воробьев Э. И., Снытников А. В., Винс Д. В., Московский А. А., Шмелев А. Б., Протасов В. А., Серенко А. А., Ненашев В. Е., Вшивков В. А., Родионов А. С., Глинский Б. М., Тутуков А. В. Численное гидродинамическое моделирование астрофизических течений на гибридных суперэвм, оснащенных ускорителями INTEL XEON PHI // Труды международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" ("ПаВТ'2016"). 2016. С. 205–220. (в базе РИНЦ)

2. Rodionov A. Cumulative estimated values of structural network's reliability indices and their usage // Proc. of the 10th Intern. sci. and techn. conf. "Dynamics of systems, mechanisms and machines" ("Dynamics"), Omsk, Nov. 15 –17, 2016. P. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819071. (в базе Scopus)

3. Shakhov V. On efficiency improvement of energy harvesting wireless sensor networks // Proc. of the IEEE 39th Intern. conf. on telecommunications and signal processing, 2016. P. 56–59. (в базе Scopus)

Прочие издания

1. Саменко И. А., Волжанкина К. А. Решение задачи Штейнера в условиях ограничений методами генетических алгоритмов // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г. С. 501–507. (в базе РИНЦ)

2. Мигов Д. А., Родионов А. С., Нестеров С. Н., Каневский В. И. Методы расчета надежности сети с ограничением на диаметр на различных вычислителях: с распределенной памятью, с общей памятью, и с использованием графических ускорителей // Там же. С. 420–425. (в базе РИНЦ)

3. Бакулина М. П. Эффективное сжатие двухуровневых изображений // Там же. (в базе РИНЦ)

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 3rd International conference on mobile and wireless technology, Jeju (Korea), May 23–26, 2016 – 1 доклад (Шахов В. В.).

2. The 11th International forum on strategic technology, Novosibirsk, June 1–3, 2016 – 1 доклад (Шахов В. В.).

3. The 39th International conference on telecommunications and signal processing (TSP 2016), IEEE, Vienna (Austria), June 27–29, 2016 – 1 доклад (Шахов В. В.).

4. The 16th International conference on computational science and its applications, Beijing (China), July 4–7, 2016 – 3 доклада (Родионов А. С., Мигов Д. А., Шахов В. В., Волжанкина К. А., Нестеров С. Н.).

5. The 13th International conference on actual problems of electronic instrument engineering, IEEE, Novosibirsk, October 3–6, 2016 – 1 доклад (Шахов В. В., Юргенсон А. Н., Соколова О. Д.).

6. The 8th International conference on Internet (ICONI 2016), Hong Kong, December 16–19, 2016 – 1 доклад (Шахов В. В., Соколова О. Д.).

7. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 1 доклад (Родионов А. С.).

8. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 4 доклада (Родионов А. С., Мигов Д. А., Бакулина М. П., Нестеров С. Н., Каневский В. И., Волжанкина К. А., Саменко И. А.).

9. 15th International conference on applications of computer engineering (ACE'16), Mallorca (Spain), August 19–21, 2016 – 1 доклад (Мигов Д. А.).

10. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России 2016", Москва, 26–27 сентября 2016 г. – 1 доклад (Мигов Д. А., Винс Д. В., Нестеров С. Н.).

11. Всероссийская научная конференции "Фундаментальные и прикладные исследования: технические науки", Новосибирск, 30 ноября 2016 г. – 2 доклада (Мигов Д. А., Нестеров С. Н., Каневский В. И.).

12. 10-я Международная IEEE научно-техническая конференция "Динамика систем, механизмов и машин" Омск, 15–17 ноября 2016 г. – 1 доклад (Родионов А. С.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Шахов В. В.:

– член программного комитета International conference on ubiquitous information management and communication", Danang (Vietnam), Jan. 4–6, 2016;

– член программного комитета Workshop on Mobile Communications, Beijing (China), July 4–7, 2016 г.;

– член программного комитета Международной конференции Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г.

2. Мигов Д. А. – член организационного комитета Международной конференции Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

3. Волжанкина К. А. – член организационного комитета Международной конференции Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

4. Ткачев К. В. – член организационного комитета Международной конференции Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

5. Родионов А. С.:

– член программного комитета The 17th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2016)", Новосибирск, 30 июня – 4 июля, 2016 г.;

– член технического программного комитета "The 10th International conference on advanced engineering computing and applications in sciences ADVCOMP 2016", Венеция (Италия), 9–13 окт. 2016 г.;

– член программного комитета "The 16th International conference on computational science and applications (ICCSA 2016)", Пекин (КНР), 4–7 июля 2016 г.;

– член программного комитета "The 10th International Conference On Ubiquitous Information Management And Communication ACM IMCOM (ICUIMC) 2016", Дананг (Вьетнам), 4–6 января 2016 г.;

– сопредседатель технического и научного программного комитета International Conference on information science and communications technologies (ICISCT 2016)", Ташкент (Узбекистан), 2–4 ноября 2016 г.;

– заместитель председателя организационного комитета 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 дек. 2016 г.;

– председатель оргкомитета Конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 11–13 апр. 2016 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 4
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 6
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 11
 Публикаций в прочих изданиях – 3
 Докладов на конференциях – 12, в том числе 2 пленарных.
 Участников оргкомитетов конференций – 5

Кадровый состав

1. Родионов А. С.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Шахов В. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
3. Мигов Д. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
4. Бакулина М. П.	н.с.	к.ф.-м.н.
5. Моисеенко В. В.	н.с.	
6. Капустина Г. А.	ведущ. инженер	0,5 ст.
7. Нечунаева К. А.	м.н.с.	0,2 ст.
8. Рудометов С. В.	н.с.	0,5 ст. к.т.н.

Мигов Д. А., Нечунаева К. А. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Родионов А. С. – профессор НГУ, СибГУТИ и НГТУ.
 Шахов В. В. – доцент НТГУ, СибГУТИ; приглашенный профессор University of Ulsan
 Волжанкина К. А. – ст. преподаватель ВКИ НГУ
 Бакулина М. П. – ст. преподаватель НГУ

Руководство аспирантами

1. Нестеров С. Н. – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Мигов Д. А.
2. Ядыкина О. А. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Мигов Д. А.,
3. Забрудских А. Е. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
4. Каневский В. И. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
5. Скиба А. И. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
6. Ткачев К. В. – 2-й год, НГУ, руководитель Родионов А. С.
7. Конин М. В. – 4-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
8. Гарбузов К. Е. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.

Руководство студентами

1. Машников Д. Я. – 2-й курс магистратуры НТГУ, руководитель Шахов В. В.
2. Зыбарева О. Ю. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Шахов В. В.
3. Кучеров А. В. – 1-й курс магистратуры ФИТ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
4. Коротков А. Н. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Мигов Д. А.

5. Саменко И. А. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Волжанкина К. А.
6. Алхимова Л. О. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Волжанкина К. А.
7. Фадеев М. В. – 4-й курс ф-та ИВТ СибГУТИ, руководитель Родионов А. С.
8. Ваккер А. В. – 4-й курс ф-та ИВТ СибГУТИ, руководитель Родионов А. С.
9. Кальней А. М. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Родионов А. С.

Премии и награды

Ткачев К. В. – лауреат Конференции молодых ученых Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 2016 г.

Нестеров С. Н. – лауреат Конференции молодых ученых Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 2016 г.

Лаборатория синтеза параллельных программ

Зав. лабораторией д.т.н. Малышкин В. Э.

Важнейшие достижения

Системные алгоритмы с локальными связями для параллельной реализации больших численных моделей на пета- и эксафлопсных мультикомпьютерах

Разработан технологический распределенный системный алгоритм с локальными взаимодействиями для динамического распределения ресурсов мультикомпьютера в ходе крупномасштабного численного моделирования на эксафлопсных мультикомпьютерах (алгоритм "веревочка", Rope-of-Beads (RoB)). Выполнена и протестирована реализация алгоритма. Назначение алгоритма в его текущем варианте – использование в системах программирования мультикомпьютеров для решения проблемы статического и динамического распределения распределенной памяти. Системные алгоритмы не обладают достаточным интеллектом для решения многих сложных задач конструирования программ с приемлемым качеством.

Основная идея построения алгоритма – моделирование распределенных во времени и пространстве природных процессов типа диффузии, гравитации и/или растекания жидкости в системе сообщающихся сосудов, в которые вносятся технологические модификации для получения приемлемого по качеству конечного результата. Если моделировать непосредственно в алгоритме распределения любое из перечисленных явлений, то результат будет неприемлемым, в первую очередь, по продолжительности поиска нужного распределения. Поэтому используется идея кривой, проходящей через каждую точку пространства, в данном случае – через каждый узел мультикомпьютера, с нанизанными на нее процессами. Миграции процессов соответствует их передвижение по "веревочке" с соответствующим изменением назначения ресурсов процессу.

Алгоритм работает в каждом узле мультикомпьютера асинхронно с использованием только собственных данных и данных из узлов 1-окрестности текущего узла. Выравнивание нагрузки с обязательным сохранением отношения соседства на множестве процессов происходит параллельно и распределенно.

Сравнение качества распределения (времени работы решателя уравнения Пуассона) алгоритмов на основе Hash-функции и "веревочки" (используется кривая Гильберта) приведены в таблице.

Видно, что "веревочка" превосходит алгоритм на базе Hash-функции многократно, что говорит о хорошем сохранении отношения соседства (входные переменные операций прикладного алгоритма находятся близко от узла, где процессы исполняются) и о равномерной загрузке узлов мультикомпьютера.

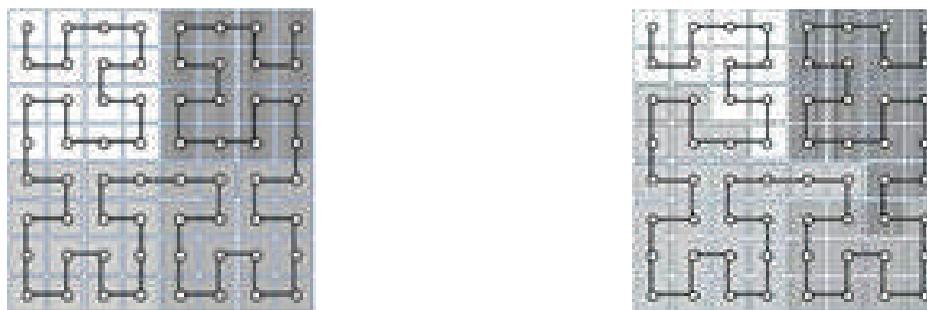


Рис. 1

Алгоритм "веревочка" имеет недостатки, связанные с необходимостью отображать одномерную "веревочку" на двумерный вычислитель. Для улучшения распределения данных с минимизацией коммуникационных расходов разработан еще один алгоритм распределения ("платочек"), отображающий двумерный прикладной алгоритм на двумерный вычислитель.

Number of Pes	1	2	4	8	16
HaT (hash)	214.5	1297.2	2360.4	2400.7	2568.7
HaT (Hilbert)	187.9	101.9	54.5	32.7	17.2
RoB (Hilbert)	175.6	95.6	44.8	26.4	15.2

Д.т.н., проф. Малышкин В. Э., Перепелкин В. А., Городничев М. А., Ткачева А. А., Щукин Г. А.

Результаты исследований опубликованы в работе

Malyshkin V., Perepelkin V, Schukin G. Distributed algorithm of data allocation in the fragmented programming system LuNA // Lect. Notes in Comput. Sci. 2015. Vol. 9251. P. 80–85. DOI: 10.1007/978-3-319-21909-7_8.

Результаты исследований докладывались на конференции

The 13th Intern. conf. on parallel computing technologies (PaCT-2015). Petrozavodsk, August 31 – September 4, 2015.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Программа НИР I.4.1 "Математическое моделирование с использованием параллельных и распределенных вычислений".

I.4.1.1. "Технологии, языки высокого уровня и средства параллельной реализации задач численного моделирования на пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 01201370230.

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

Раздел 1 "Разработка методов, алгоритмов и средств конструирования параллельных программ численного моделирования для пета- и эксафлопсных суперкомпьютеров".

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

Этап 2016 г. Разработать системные алгоритмы для управления динамическим распределением ресурсов 2- и 3-мерных вычислителей. Реализовать, протестировать и включить в состав системы LuNA блок динамического распределения памяти мультимпьютера.

Разработан и включен в систему параллельного программирования LuNA алгоритм балансировки нагрузки для определения блоков вычислителя и их конфигурации, которые подлежат миграции для выравнивания вычислительной нагрузки. Для каждого фрагмента данных и вычислений рассчитывается (оценивается) его нагрузка. Оценка нагрузки определяется суммарным объемом памяти, занимаемой фрагментами данных, суммарным временем исполнения фрагментов вычислений и т. д. Алгоритм балансировки выполняется на каждом вычислительном узле. Через заданные интервалы времени (интервал балансировки) каждый узел вычисляет среднее значение нагрузки в своей группе узлов, куда входит сам узел и его непосредственные соседи в решетке. Среднее значение вычисляется как сумма

значений нагрузки выбранного узла и соседей, поделенное на число узлов в группе. Если текущее значение нагрузки узла больше среднего значения нагрузки (с учетом заданного порога дисбаланса), он считается перегруженным, если меньше – недогруженным. Далее происходит передача нагрузки с перегруженных узлов на недогруженные. Так производится балансировка между соседними узлами, что приводит к выравниванию нагрузки всей сети вычислительных узлов.

Алгоритм расширяется на 3 и больше измерений путем введения дополнительных размерностей, при этом сам основной алгоритм не изменяется.

Раздел 2 "Разработка и исследование клеточно-автоматных моделей нелинейной пространственной динамики с использованием технологии параллельного программирования".

Руководитель – д.т.н. Бандман О. Л.

Этап 2016 г. Создать комплекс параллельных программ для моделирования газовых потоков и струй. Исследовать эффективность параллельных реализаций. Разработать трехмерные клеточно-автоматные модели потоков через пористую среду и их параллельные реализации.

Модернизирован комплекс программ, моделирующий газовый поток с частицами порошка. Параллельная реализация способна выполняться на кластере, включающем тысячи ядер, с эффективностью более 50 % даже в нестационарных условиях. Это возможно благодаря новому алгоритму балансировки нагрузки кластера. Проведены исследования зависимости эффективности параллельных реализаций асинхронных клеточно-автоматных моделей от параметров, определяющих стохастичность процесса.

Выполнена серия вычислительных экспериментов по моделированию процесса увлажнения почвы (трехмерный вариант), подтвердивших полученные выводы.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект № 14-07-00381-а "Локальные системные алгоритмы для параллельной реализации больших численных моделей на пета- и экзафлопсных мультикомпьютерах".

Руководитель проекта – д.т.н. Малышкин В. Э.

Основной результат выполнения проекта – два распределенных системных алгоритма (1D-веревочка и 2D-веревочка) с локальными взаимодействиями для автоматического распределения ресурсов суперкомпьютеров с большим числом вычислительных узлов (вычислители экзафлопсного диапазона) и высокой динамикой поведения моделируемого явления. Базовые идеи алгоритмов основаны на диффузии, в них внесены необходимые технологические модификации, среди которых – обеспечение сохранения отношения соседства на множествах фрагментов вычислений и фрагментов данных. Алгоритмы работают параллельно и асинхронно, в каждом узле используется информация только из текущего и соседних (из 1-окрестности) вычислительных узлов. Алгоритмы учитывают поведение моделируемого явления и изменения множества доступных ресурсов, распределяют ресурсы гетерогенных суперкомпьютеров и сетей суперкомпьютеров. В целом алгоритмы удовлетворительно справляются с асинхронным решением задачи распределения ресурсов на совокупности доступных вычислителей, что позволяет создавать на их основе системы параллельного программирования совокупностей вычислителей.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Программа Президиума РАН П.2П/Л.4-1, проект "Интеграция приложений и системы разработки параллельных программ, в частности, системы фрагментированного программирования LuNA, в платформе HPC Community Cloud".

Координаторы: акад. Велихов Е. П., акад. Савин Г. И., акад. Жижченко А. Б.

Руководители: д.т.н. Глинский Б. М., д.т.н. Малышкин В. Э.

Решена задача интеграции программных систем HPC Community Cloud (HPC2C), NumGrid, LuNA в единый программный комплекс для построения суперкомпьютерных грид-систем для реализации крупномасштабных численных моделей. HPC2C реализует унифицированную систему управления вычислениями на объединении суперкомпьютеров. NumGrid обеспечивает техническую возможность обмена сообщениями по стандарту MPI между процессами параллельной программы, распределенными между суперкомпьютерами. LuNA обеспечивает автоматизацию разработки программ численного моделирования, способных настраиваться на неоднородную объединенную вычислительную систему.

Для интеграции системы программирования LuNA в HPC2C создана модель работы пользователя с программной системой. Пользователь разрабатывает код программ на LuNA, или отправляет файлы с исходным кодом в хранилище HPC2C. Далее осуществляется сборка программ на выбранном пользователем вычислителе посредством системы сборки программ. Отправка программ на выполнение осуществляется штатными средствами HPC2C. По окончании расчетов специфические для LuNA отчеты с характеристиками выполнения программ могут быть визуализированы для пользователя. Разработаны соответствующие алгоритмы и программные модули для автоматизации сборки и запуска программ LuNA на кластере ССКЦ.

Для реализации указанных моделей интеграции NumGrid в HPC2C разработаны форматы хранения сведений о распределенных задачах в базе данных управляющей системы HPC2C, разработаны алгоритмы и программные модули для обеспечения управления распределенными задачами.

Разработанные программные компоненты протестированы в работе. Пользователи посредством инструментов HPC2C осуществляют разработку программ в онлайн-IDE, сборку и выполнение MPI-, CUDA-, LuNA-программ на кластере ССКЦ, кластере КазНУ им. аль-Фараби (Алма-Ата). Таким образом, отработана технология решения задач численного моделирования с использованием интерфейсной подсистемы HPC2C.

Программа Президиума РАН П.2П/Л.3-1, проект "Методы и технологии распараллеливания алгоритмов и параллельная реализация численного моделирования на многопроцессорных системах".

Координаторы: акад. Емельянов С. В. акад. Журавлев Ю. И.

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

На распределенной памяти проведено распараллеливание задачи моделирования пылевого облака с использованием PIC метода, а также задачи реализации численной модели трехмерного трехфазного потока жидкости (нефть – вода – газ) в системе фрагментированного программирования LuNA. Задачи были распараллелены и описаны в декларативном стиле на языке LuNA, программы моделирования генерировались автоматически в системе LuNA со всеми необходимыми нечисловыми свойствами.

Алгоритм исполнения автоматически сгенерированной программы потребовал оптимизации, которая выполнялась следующими способами. Частично декларативное управление ходом вычислений заменялось прямым управлением. Для более простых частей программы формировалось прямое управление с использованием процедурных конструкций типа циклов. Для сложно устроенных частей прикладной программы прямое управление генерировалось в виде сетей Петри.

Для реализации такого управления не требуется интерпретация, за счет этого достигнуто существенное (15–20 %) ускорение прикладной программы при малом числе вычислительных узлов. На большем числе узлов ожидается рост ускорения.

Программа Президиума РАН П.2П/И.3-1, проект "Клеточно-автоматные модели нелинейных естественных процессов и их реализация на суперкомпьютерах".

Координаторы: акад. Емельянов С. В. акад. Журавлев Ю. И.

Руководитель – д.т.н. Бандман О. Л.

Проведено обобщение результатов параллельной реализации клеточно-автоматных моделей на суперкомпьютерах. Особое внимание уделено двум аспектам: 1) особенностям синтеза параллельных алгоритмов при реализации стохастических клеточно-автоматных моделей, 2) методам распределения нагрузки при реализации целочисленных клеточно-автоматных моделей жидкости и газа.

Для формального представления поставленных проблем введено понятие стохастичности клеточно-автоматной модели и проведена классификация режимов сложных моделей с точки зрения их стохастичности.

Выведены зависимости эффективности параллельной реализации асинхронных клеточно-автоматных моделей от параметров блочно-синхронного преобразования, коэффициента диффузии и числа параллельно работающих ядер. Проведены серии вычислительных экспериментов на суперкомпьютерах mvs100k (РАН) и nks30 (СО РАН), по моделированию реальных процессов, позволившие определить области параметров распараллеливания.

Разработанный ранее комплекс программ для клеточно-автоматного моделирования потоков жидкости и газа дополнен программой динамической балансировки нагрузки.

Разработан метод синтеза вероятностных правил перехода клеточного автомата с частями покоя, моделирующего процесс распространения акустической волны.

Программа Президиума РАН П.2П/И.3-1, проект "Методы и технологии распараллеливания алгоритмов и параллельная реализация численного моделирования на многопроцессорных системах".

Координаторы: акад. Емельянов С. В. акад. Журавлев Ю. И.

Руководители: чл.-корр. РАН Михайлов Г. А., д.т.н. Малышкин В. Э.

Разработаны системные алгоритмы для повышения качества исполнения распределенных программ численного моделирования путем задания прямого управления. Алгоритмы встроены в систему параллельного программирования LuNA. Проведено тестирование разработанных средств на приложениях.

Публикации**Монографии, главы в монографиях**

1. Bandman O. Asynchronous cellular automata simulating complex phenomena // In *Designing Beauty: The Art of Cellular Automata* / Ed.: Adamatzky A., Martínez G. J. Springer, 2016. P. 111–116. DOI: 10.1007/978-3-319-27270-2016.
2. Medvedev Yu. A multiparticle lattice-gas cellular automaton simulating a piston motion // In *Designing Beauty: The Art of Cellular Automata* / Ed.: Adamatzky A., Martínez G. J. Springer, 2016. P. 117–118. DOI: 10.1007/978-3-319-27270-2016.

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Ачасова С. М. Клеточно-автоматная самовоспроизводящаяся матрица из искусственных биологических клеток // Пробл. информ. 2016. № 3 (32). С. 13–25. (в базе РИНЦ)
2. Снытникова Т. В., Непомнящая А. Ш. Решение задач на графах с помощью STAR-машины, реализуемой на графических ускорителях // Прикладная дискретная математика. 2016. № 3 (33). С. 98–115. (в базе РИНЦ)
3. Городничев М. А., Дучков А. А., Сарычев В. Г. Эффективная реализация метода когерентного суммирования на ускорителях GPU Nvidia // Вестн. Уфимского гос. авиац. техн. ун-та. 2016. Т. 20. № 1 (71). С. 151–160. (в базе РИНЦ)
4. Ткачева А. А. Эффективное исполнение фрагментированных программ с помощью средств прямого управления в системе LuNA на примере задачи редуцирования данных // Пробл. информ. 2016. № 2(31). С. 21–29. (в базе РИНЦ)
5. Арыков С. Б. Использование модельно-ориентированного проектирования при построении учебного процесса на базе стандартов CDIO // Прикл. матем. и фундам. информ. 2016. № 3. С. 146–150. (в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Malyshkin V. E. Parallel computing technologies 2016 // *J. of Supercomputing*. 2016. June 23. Springer. DOI 10.1007/s11227-016-1843-3 (в базах *Wos*, *Scopus*, РИНЦ)
2. Akhmed-Zaki D., Lebedev D., Perepelkin V. Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow ("Oil – Water – Gas") numerical model in LuNA Fragmented Programming System // *Ibid*. P. 1–7. DOI: 10.1007/s11227-016-1780-1. (в базах *Wos*, *Scopus*, РИНЦ)
3. Malyshkin V., Perepelkin V., Schukin G. Scalable distributed data allocation in LuNA Fragmented Programming System // *Ibid*. P. 7–15. DOI: 10.1007/s11227-016-1781-0. (в базах *Wos*, *Scopus*, РИНЦ)
4. Gorodnichev M. A., Sarychev V. G., Duchkov A. A. Efficient GPU-implementation of coherent stacking with CUDA // *Proc. of the 10th Annual international scientific conference on parallel computing technologies, Arkhangelsk, March 28 – April 1, 2016*. P. 118–130. (в базах *Scopus*, РИНЦ)
5. Arykov S. B. Asynchronous model of computation controlled by strict partial order // *Ibid*. P. 54–65. (в базах *Scopus*, РИНЦ)
6. Bandman O. Parallelization efficiency versus stochasticity in simulation reaction-diffusion by cellular automata // *J. Supercomputing*. June 22. 2016. Springer. [Electron. resource]. DOI 10.1007/s11227-016-1775-y. (в базах *Wos*, *Scopus*, РИНЦ)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Городничев М. А., Дучков А. А., Сарычев В. Г. Эффективная реализация алгоритма когерентного суммирования для исполнения на GPU с использованием программной мо-

дели CUDA // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ-2016). Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2016. С. 118–128. (в базе РИНЦ)

2. Арыков С. Б. Асинхронная модель вычислений с управлением на основе строгого частичного порядка // Там же. С. 54–67. (в базах Scopus, РИНЦ)

Прочие публикации

1. Мачульскис С. В. Применение алгоритмов статического анализа информационных зависимостей для системы фрагментированного программирования LuNA // Труды конф. молодых ученых. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2016. С. 64–74. (в базе РИНЦ)

2. Сафин А. Р. Тестирование эффективности исполнительных систем LuNA // Там же. С. 119–127. (в базе РИНЦ)

9. Bandman O. Simulation performance versus stochasticity in large-scale cellular automata models // Bull. NCC. Ser.: Comput. Sci. 2016. Iss. 39. P. 1–17. (в базе РИНЦ)

10. Nepomniaschaya A. S. Associative version of the Ramalingam decremental algorithm for the dynamic all-pairs shortest –path problem // Ibid. P. 37–50. (в базе РИНЦ)

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. – 4 доклада (Арыков С. Б., Городничев М. А., Дучков А. А., Сарычев В. Г., Киреев С. Е., Перепелкин В. А.).

2. 12-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 1 доклад (Медведев Ю. Г.).

3. Междунар. конф. "Современные технологии и развитие политехнического образования", Владивосток, 19–23 сентября 2016 г. – 1 доклад (Арыков С. Б.).

4. 7-я Всеросс. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 октября – 3 ноября 2016 г. – 3 доклада (Бедарев Н. А., Перепелкин В. А., Прокопьева А. В., Беляев Н. А., Софронов И. В., Ткачева А. А.).

5. 6-й Национальный суперкомпьютерный форум (НСКФ-2016), Переславль-Залесский, 28 ноября – 2 декабря 2016 г. – 1 доклад (Ткачева А. А.):

6. 54-я Междунар. научная студенческая конференция (МНСК-201), Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г. – 5 докладов (Беляев Н. А., Софронов И. В., Кислицын И. О., Можина А. В., Прочкин П. В.).

7. Конф. молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск 11–13 апреля 2016 г. – 3 доклада (Ткачева А. А., Сарычев В. Г., Беляев Н. А.).

Участие в программных и организационных комитетах конференций

1. Малышкин В. Э.:

– член программного комитета Национального суперкомпьютерного форума (НСКФ-2016), Переславль-Залесский, 29 ноября – 2 декабря 2016 г.;

– member of the Program committee of the 10th International conference on mobile ubiquitous computing, systems, services and technologies "UBICOMM 2016", Venice (Italy), October 9–13, 2016;

– член программного комитета Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г.;

– член программного комитета 12-й Междунар. Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г.

2. Бандман О. Л.:

- член программного комитета Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016), Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г.;
- member of the Program committee of the 12th International conference on cellular automata in research and industry "ACRI-2016", Morocco, Sept. 5–8, 2016.

Международные научные связи

Мальшкин В. Э.:

- член редколлегии "The International Journal of Computational Science and Engineering";
- член редколлегии "The International Journal of Big Data Intelligence" (IJDBI);
- приглашенный редактор "The Journal of Supercomputing",
- founding member of the IEEE "Technical SubCommittee on Big Data" (TSCBD);
- guest co-editor of the special issue of the IEEE "System Journal on Hybrid Intelligence for Internet of Vehicles".

Фет Я. И.

- член редколлегии журнала "Parallel and Distributed Computing Practice";
- член редколлегии журнала "Scalable Computing: Practice and Experience".

Итоговые данные по лаборатории

- Публикаций, индексируемых в базе Wos – 4
- Публикаций, индексируемых в базе Scopus – 7
- Публикаций, индексируемых в базе РИНЦ – 19
- Глав в монографиях – 2
- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5
- Публикаций в зарубежных изданиях – 8
- Публикаций в материалах международных конференций – 4
- Публикаций в прочих изданиях – 8
- Участников оргкомитетов конференций – 6

Кадровый состав

- | | | |
|----------------------|-----------|-----------|
| 1. Мальшкин В. Э. | зав. лаб. | д.т.н. |
| 2. Бандман О. Л. | г.н.с., | д.т.н. |
| 3. Фет Я.И. | г.н.с., | д.т.н. |
| 4. Ачасова С. М. | с.н.с., | к.т.н. |
| 5. Маркова В. П. | с.н.с., | к.т.н. |
| 6. Медведев Ю. Г. | с.н.с., | к.т.н. |
| 7. Непомнящая А. Ш. | с.н.с., | к.ф.-м.н. |
| 8. Арыков С. Б. | м.н.с., | к.ф.-м.н. |
| 9. Калгин К. В. | м.н.с., | к.ф.-м.н. |
| 10. Киреев С. Е. | н.с. | |
| 11. Городничев М. А. | м.н.с. | |
| 12. Остапкевич М. Б. | м.н.с. | |
| 13. Ткачева А. А. | м.н.с. | |
| 14. Перепелкин В. А. | м.н.с. | |
| 15. Щукин Г. А. | м.н.с. | |

16. Савукова В. А. – техник 1 кат.

Арыков С. Б., Городничев М. А., Калгин К. В., Перепелкин В. А., Ткачева А. А., Щукин Г. А. – молодые научные сотрудники.

Проведение лабораторией Зимней и Летней школ по параллельному программированию

1–5 февраля и 4–15 июля были проведены Зимняя и Летняя школы по параллельному программированию. Организаторы: ИВМиМГ СО РАН, НГУ, НГТУ.

Педагогическая деятельность

Малышкин В. Э. – проф., зав. каф. НГУ и НГТУ
Фет Я. И. – проф. НГУ
Маркова В. П. – доц. НГУ и НГТУ
Арыков С. Б. – доц. НГУ
Киреев С. Е. – ст. преподаватель НГУ
Медведев Ю. Г. – доц. ВКИ НГУ
Городничев М. А. – ассист. НГУ и НГТУ
Калгин К. В. – ассист. НГУ
Остапкевич М. Б. – ассист. НГУ и НГТУ
Перепелкин В. А. – ассист. НГУ
Щукин Г. А. – ассист. НГУ
Ткачева А. А. – ассист. НГУ

Руководство аспирантами

Ткачева А. А. – ИВМиМГ, руководитель Малышкин В. Э.

Защита дипломов

Вайцель С. А. – магистрант, НГТУ, руководитель Малышкин В. Э.
Сарычев В. Г. – магистрант, НГТУ, руководитель Маркова В. П.
Иптышев Д. А. – бакалавр, НГТУ, руководитель Малышкин В. Э.
Можина А. В. – бакалавр, НГУ, руководитель Городничев М. А.
Прочкин П. В. – бакалавр, НГУ, руководитель Городничев М. А.

Руководство студентами

1. Беляев Н. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Малышкин В. Э.
2. Литвинов В. С. – 4-й курс НГУ, руководитель Киреев С. Е.
3. Шелехин А. В. – 3-й курс НГУ, руководитель Городничев М. А.
4. Провоторов Н. В. – 3-й курс НГУ, руководитель Городничев М. А.
5. Кислицын И. О. – 3-й курс НГТУ, руководитель Маркова В. П.
6. Софронов И. В. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
7. Ажбаков А. А. – 4-й курс НГУ, руководитель Перепелкин В. А.
8. Лысенко Е. О. – 4-й курс НГУ, руководитель Перепелкин В. А.
9. Липаткин А. Е. – 3-й курс НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
10. Прокопьева А. В. – 3-й курс НГУ, руководитель Перепелкин В. А.
11. Бедарев Н. А. – 3-й курс НГУ, руководитель Перепелкин В. А.

Защита кандидатской диссертации

Витвицкий А. А. "Разработка и исследование методов клеточно-автоматного моделирования роста и деления клеток живых организмов" – диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Защита – март 2016 г., утверждение – сентябрь 2016 г.

Руководитель – д.т.н. Бандман О. Л.

Награды

Сарычев В. Г. (2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Маркова В. П.), Беляев Н. А. (2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Малышкин В. Э) – лауреаты молодежного конкурса научных работ ИВМ и МГ СО РАН.

Сарычев В. Г. (2-й курс магистратуры НГТУ) – лауреат конкурса докладов молодых ученых на Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ 2016).

Беляев Н. А. (2-й курс магистратуры НГТУ) – лауреат конкурса докладов на 54-й Международной научной студенческой конференции (МНСК-2016).

Лаборатория параллельных алгоритмов решения больших задач

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Вшивков В. А.

Важнейшие результаты

В рамках работы с Институтом математики им С.Л. Соболева СО РАН в лице академика С. К. Годунова проводятся исследования математической модели упруго-пластической среды. В 2016 году был построен общий вид уравнения состояния, описывающий фазовые переходы (твердое тело – жидкость – газ – частицы) и учитывающий описание кристаллической структуры материала, проведено исследование корректности уравнения состояния. С помощью такой математической модели было смоделировано образование кумулятивной струи, возникающей при косом соударении двух металлических пластин при малом угле между ними.

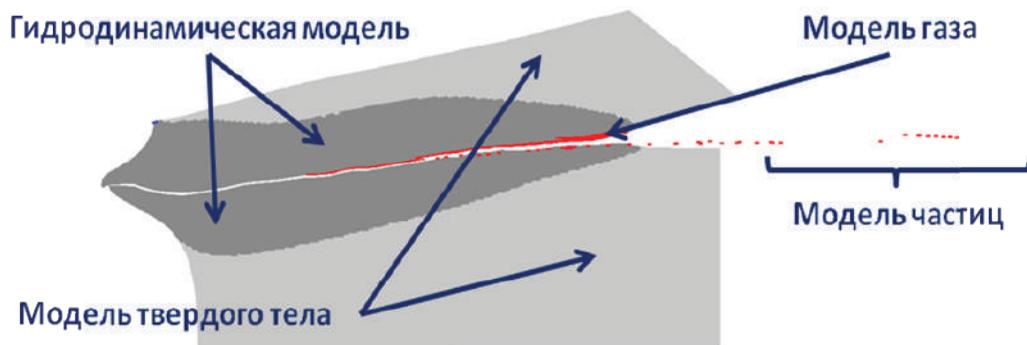


Рис. 1. Схематичное описание областей фазовых состояний упруго-пластического материала. Красным цветом обозначена газовая фаза, формирующая поток частиц в виде кумулятивной струи

В рамках работы с Институтом астрономии РАН в лице д.ф.-м.н. проф. А. В. Тутукова и с Институтом астрономии университета г. Вена (Австрия) в лице к.ф.-м.н. Воробьева Э. И. проводятся исследования в области математического моделирования эволюции и столкновения галактик. В 2016 г. построен новый численный метод решения уравнений гравитационной газовой динамики высокого порядка точности, основанный на комбинации метода разделения операторов, метода Годунова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне. Метод был верифицирован на классических газодинамических задачах. С помощью разработанного численного метода был объяснен механизм образования различного числа рукавов в дисковых галактиках [1] и объяснена повышенная скорость процесса звездообразования за фронтом ударных волн при столкновении галактик [2].

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Kulikov I., Vorobyov E. Using the PPML approach for constructing a low-dissipation, operator-splitting scheme for numerical simulations of hydrodynamic flows // *J. of Comput. Phys.* 2016. V. 317. P. 318–346.
2. Kulikov I., Chernykh I., Tutukov A. A new hydrodynamic model for numerical simulation of interacting galaxies on Intel Xeon Phi supercomputers // *J. of Phys.: Conference Series.* 2016. V. 719. Article No 012006.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаенным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.4.1.2 "Математическое моделирование сложных природных процессов с использованием параллельных и распределенных вычислений".

Номер государственной регистрации НИР 01201370231.

Руководители: д.ф.-м.н. Вшивков В. А., д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Существует необходимость моделирования излучения турбулентной плазмы в трехмерной постановке. В связи с этим разрабатывается код, позволяющий проводить трехмерное моделирование и ориентированный на использование гибридных суперЭВМ на основе GPU и ускорителей Intel Xeon Phi. С точки зрения программирования актуальность работы связана с разработкой параллельного высокопроизводительного комплекса программ, использующего несколько уровней параллелизма (распараллеливание по узлам суперЭВМ, по отдельным процессорным элементам внутри узла и по отдельным ядрам процессора или ускорителя вычислений). При этой достижении высокой вычислительной производительности является принципиально важным для получения физически значимых результатов.

Уравнение Власова решается методом частиц в ячейках. В рамках этого метода решаются уравнения движения модельных частиц, которые представляют собой уравнения характеристик для уравнения Власова. Распараллеливание выполнено методом декомпозиции расчетной области по координате Y , т.е. по направлению, перпендикулярному направлению движения электронного пучка (пучок летит вдоль X). Используется смешанная эйлерово-лагранжева декомпозиция. Сетка, на которой решаются уравнения Максвелла, разделена на одинаковые подобласти по одной из координат. Далее, модельные частицы каждой из подобластей разделяются между процессорами связанной с этой подобластью группы равномерно, вне зависимости от координаты. Каждый из процессоров группы решает уравнения Максвелла во всей подобласти.

Программа была реализована на GPU (Graphical Processing Unit, графический процессор) с использованием технологии CUDA (Compute Uniform Device Architecture, программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений на графических процессорах Nvidia). При этом сетка потоковых блоков CUDA соответствует вычислительной сетке, и на каждую ячейку сетки назначается один потоковый блок. Частицы обрабатываются параллельно, каждая своим отдельным потоком, если общее число частиц в ячейке не превышает число потоков в блоке, в противном случае каждый поток обрабатывает несколько частиц. Получено ускорение счета в 40 раз на графических ускорителях Nvidia Kepler K40 по сравнению с 4 ядрами процессора Intel Xeon. Для суперЭВМ "Ломоносов" масштабируемость в слабом смысле 92 % до 500 GPU Nvidia Tesla.

Некоторые из наиболее мощных суперЭВМ (в частности, № 2 в списке Top500 за ноябрь 2016 г.) в настоящее время оснащаются ускорителями Intel Xeon Phi. Было проведено тестирование масштабируемости программы на кластере RSC Petastream в МЦЦ РАН, результат – масштабируемость в слабом смысле 86 % до 50 ускорителей Intel Xeon Phi.

Проведено моделирование ионно-акустических бесстолкновительных ударных волн в одномерной постановке для задачи формирования ударной волны в результате распада разрыва плотности. Электростатические ударные волны формируются в космической плазме, а также в лабораторных экспериментах, в том числе в последних экспериментах по ускорению частиц при взаимодействии лазерного импульса с плазмой. Наиболее полное описание возможно с помощью кинетической модели, т.е. на основе кинетического уравнения

Власова для электронов и ионов и уравнения Пуассона. Проведено сравнение результатов, полученных с помощью кинетической модели и двух гибридных моделей. В рассматриваемых гибридных моделях движение ионов описывается кинетическим уравнением, а движение электронов в первом случае описывается уравнением Больцмана, а во втором – адиабатической функцией. Адиабатическая постановка является новой и для рассматриваемых задач используется впервые. Для решения поставленных задач используется метод частиц-ячейках. Эффективность отражения, распределение скоростей отраженных частиц и структура ударной электростатической волны рассмотрена при различных параметрах ударной волны. Решение расширяет классическое солитонное решение за пределами критического числа Маха $M^* = 1.6$, где солитон прекращает свое существование из-за потока отраженных ионов. Исследовано влияние числа частиц в ячейке на решение, найдены оптимальные расчетные параметры.

Разработана математическая модель плазменной ловушки-мишени с мультипольными магнитными стенками и инверсными магнитными пробками. Модель построена на основе комбинации метода частиц в ячейках и метода Монте-Карло и описывает удержание плазмы магнитным полем сложной геометрии в цилиндрической вакуумной камере. Для произвольной формы ядра частицы в цилиндрической геометрии разработан алгоритм расчёта плотности тока, удовлетворяющего разностному аналогу уравнения неразрывности. Это позволяет согласовать вычисление плотности тока и плотности заряда и отказаться от решения ресурсоёмкого уравнения Пуассона для корректировки значения электрического поля. Кроме того, предложенный алгоритм позволяет использовать в расчётах ядра высоких порядков.

На основе разработанных алгоритмов создан комплекс программ для моделирования динамики плазмы в магнитной ловушке-мишени. С помощью численных экспериментов показано, что магнитная система со слабым продольным полем и инверсными пробками в торцевых отверстиях в магнитном поле позволяет добиться достаточно малого потока плазмы из ловушки. При этом было рассчитано распределение потока плазмы вдоль стенки ловушки (рис. 2), что позволяет оценить распределение энергии падающих на поверхность

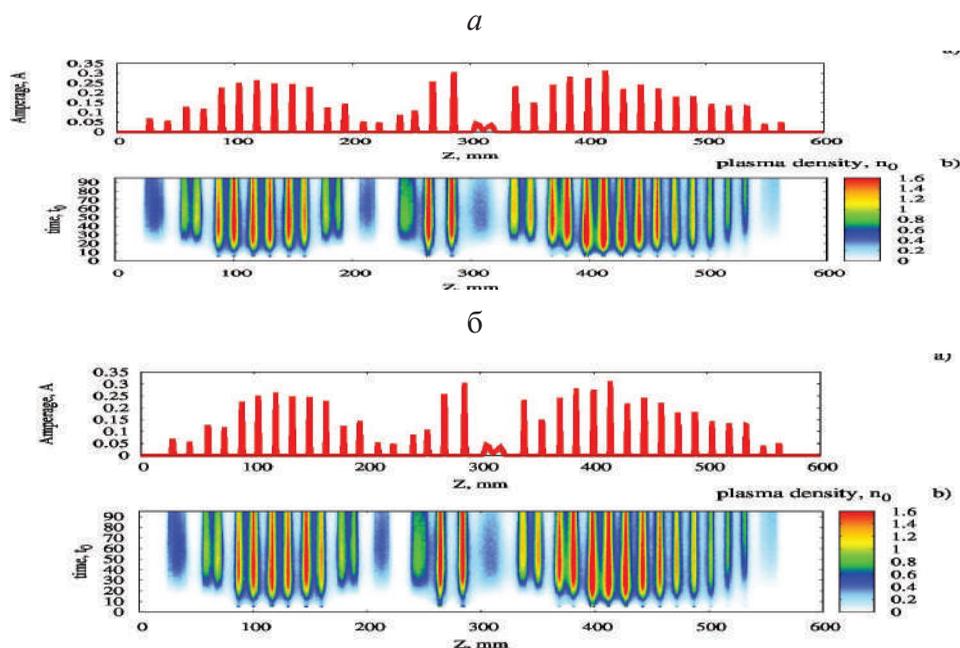


Рис. 2. Линейная плотность тока плазмы на стенку ловушки за всё время расчёта (а); динамика плотности плазмы у стенки ловушки, $t_0 = 10^{-6}$ с, $n_0 = 10^{12}$ см⁻³ (б)

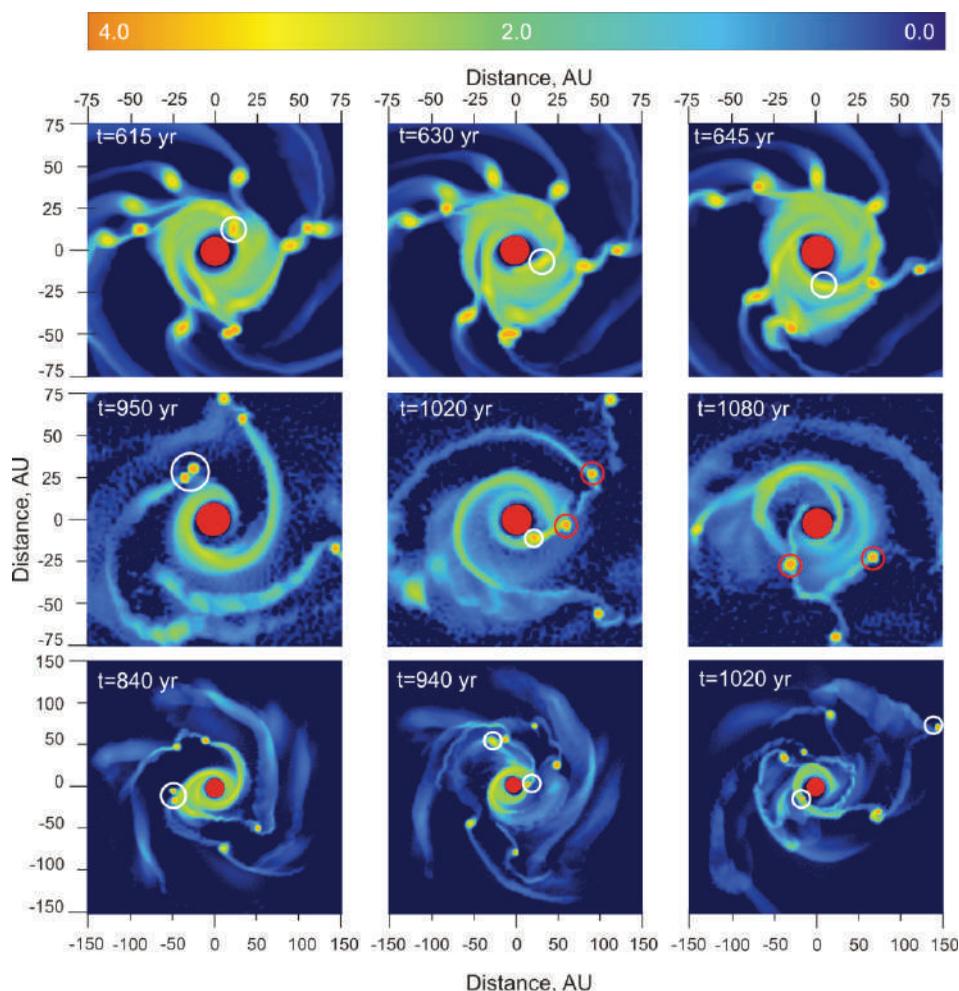


Рис. 3. Динамика локальных пиков плотности в гравитирующем газовом диске и их миграция к центральному телу

частиц. Расчёты показали, что величина потока плазмы во всех точках стенки выходит на уровень насыщения, соответствующий линейной плотности тока не более чем 0,35 А. Охлаждаемые медные стенки камеры вполне способны справиться с этой нагрузкой (не будет ни локальных перегревов, ни сильного нагрева камеры в целом).

Для тестирования динамики релятивистских частиц в самосогласованном поле, были реализованы аналитические решения для взаимодействия частиц с цилиндрическим пучком. Продемонстрировано уменьшение погрешностей в зависимости от числа частиц в сгустке и от пространственного шага.

Реализована и численно исследована новая схема для расчета уравнений Максвелла. Для тестирования схемы рассмотрены плоские волны, распространяющиеся вдоль какой-либо из осей. Проведено исследование всех компонент электромагнитных полей, в частности, исследование каждой компоненты полей и скоростей распространения волны, вычисленных по этой компоненте поля. Были проведены сравнения результатов численных экспериментов для новой схемы с результатами для исходной схемы, для периодических и явно-заданных граничных условий. Было показано, что периодические граничные условия дают погрешности, соответствующие ранее вычисленным аналитическим значениям. Явно-заданные граничные условия приводят к меньшим погрешностям. Первые результаты

внедрения схемы в код для расчета динамики релятивистских пучков показали перспективность новой схемы за счет значительного ускорения расчетов. Было показано, что новая схема дает меньшие погрешности, но при этом размазывает их по следу пучка.

Разработана численная модель и параллельный алгоритм для моделирования вращающегося гравитирующего газодинамического диска, в котором возможна фрагментация (образование сгустков плотности). Разработан алгоритм, комбинирующий бессеточный метод SPH и сеточный метод для вычисления гравитационного потенциала. Работоспособность созданной численной модели и достоверность получаемых результатов проверялась на примере численного моделирования аккреции вещества диска на протозвезду и, в частности, эпизодической аккреции – явления, когда протозвезда набирает существенную часть своей массы за счет короткоживущих аккреционных процессов с очень высоким темпом.

Создан программный комплекс для суперкомпьютерного моделирования вращающихся бесстолкновительных гравитирующих систем методом частиц в ячейках. Был разработан параллельный алгоритм, который может быть применен как для модели тонкого диска (когда отсутствует движение вещества в вертикальном направлении), так и для полностью трехмерной модели. Новым в этом подходе является метод динамической балансировки загрузки процессоров при вычислении траектории модельных частиц, которые в случае вращающихся систем могут многократно переходить между подобластями (и соответствующим им процессорам).

В рамках совместной работы лаборатории ПАРБЗ и академика С.К. Годунова проводились исследования математической модели упруго-пластических деформаций, возникающих при косом соударении пластин. Было сформулировано и исследовано уравнение состояния материала, допускающего учет кристаллической структуры и фазовые переходы между твердым состоянием, жидкостью, газом и потоком частиц. Математическая модель была верифицирована на задаче о косом соударении пластин при малом угле между ними. В результате такого соударения образуется кумулятивная струя, которая наблюдается в лабораторных экспериментах, проводимых в ИГиЛ СО РАН. Также был исследован порядок точности различных модификаций метода Годунова в случае разрывных решений и решений с особенностями.

Результаты работа по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 14-01-00392 "Создание эффективных параллельных алгоритмов для моделирования процессов в релятивистской физике плазмы".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Вшивков В. А.

В результате работы разработаны алгоритмы и реализующие их программы для моделирования трехмерной динамики встречных ультрарелятивистских пучков заряженных частиц в самосогласованных электромагнитных полях. Создана модификация метода для моделирования динамики встречных пучков с применением трехмерного адаптивного алгоритма для динамического изменения количества частиц. Выполнено моделирование динамики мощных атомарных пучков для термоядерных установок на примере создаваемой в ИЯФ СО РАН плазменной ловушки. Для этого была разработана математическая модель ловушки-мишени для высокоэффективной нейтрализации мощных пучков отрицательных ионов. С целью уменьшения вычислительных затрат при моделировании физических процессов в плазме исследовались гибридные модели. В рамках проекта была создана двумерная численная модель ввода пучка в плазму и проведены тестовые расчеты.

Проект РФФИ № 14-07-00241 "Параметризованная реализация метода частиц в ячейках для решения задач физики плазмы на суперЭВМ гибридной архитектуры".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Снытников А. В.

Для упрощения создания высокоскоростных численных кодов для решения задач физики плазмы на гибридных суперЭВМ создана параметризованная реализация метода частиц в ячейках. Реализация выполнена для суперЭВМ, оснащенных графическими ускорителями (Graphical Processing Unit, GPU). В качестве параметров рассматриваются специфичные для каждой конкретной плазменной задачи программные реализации объектов "частица" и "ячейки" (в виде классов языка C++). В зависимости от конкретной задачи замена алгоритма расчета электромагнитного поля и граничных условий осуществляется через механизм наследования и виртуальных функций. Возможное число используемых узлов с GPU практически не ограничено. Проведенные на суперЭВМ "Ломоносов" расчеты показали эффективность распараллеливания 92 % при использовании 500 GPU Nvidia Tesla.

Проект РФФИ № 15-01-00508 "Разработка эффективных параллельных вычислительных методов высокого порядка точности для моделирования динамики астрофизических объектов на гибридных высокопроизводительных вычислительных системах"

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Куликов И. М.

В рамках работы по гранту разработан новый численный метод высокого порядка точности для решения уравнений для первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана с учетом внедиагональных членов тензора дисперсии скоростей. В полной двухфазной модели с учетом подсеточных процессов (звездообразование, эффект от взрыва сверхновых, охлаждение и нагревание) смоделирован сценарий образования двухрукавной галактики в результате столкновения эллиптической и спиральной галактик.

Проект РФФИ № 15-31-20150 "Разработка эффективных параллельных вычислительных методов высокого порядка точности для разномасштабного моделирования астрофизических течений на гибридных суперЭВМ".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Куликов И. М.

На основе комбинации метода Годунова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне был построен новый численный метод высокого порядка точности для решения уравнений релятивистской газовой динамики. Численный метод был верифицирован на задаче о распаде разрыва, допускающей аналитическое решение, на задаче о развитии неустойчивости Кельвина – Гельмгольца и на задаче Седова в постановках релятивистской газовой динамики. С помощью разработанного численного метода было смоделировано центральное столкновение черных дыр. Такую постановку задачу также можно интерпретировать как столкновение двух релятивистских пучков в ускорителе (East & Pretorius, PhysRevLett, 2013).

Проект РФФИ № 16-01-00209 "Численное моделирование неустойчивых режимов взаимодействия релятивистских электронных пучков с плазмой в установках УТС".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Дудникова Г. И.

Создана двумерная численная модель неустойчивых режимов взаимодействия релятивистских электронных пучков с плазмой в установках УТС, основанная на кинетическом приближении для ионной и электронной компонент плазмы и учитывающая основные закономерности рассматриваемых процессов. Исследовано влияние формы ядра и алгоритма

расчета токов на точность решения уравнений Власова методом частиц в ячейках. Проведено сравнение различного типа открытых граничных условий и показано, что для обеспечения естественного противотока плазмы в процессе инъекции пучка необходимо поддерживать на границе самосогласованные электромагнитные поля. Выполнена параллельная реализация разработанных алгоритмов, в том числе для графических ускорителей Nvidia Kepler и ускорителей Intel Xeon Phi. Проведено исследование масштабируемости созданных параллельных алгоритмов.

Проект РФФИ № 16-07-00916 "Разработка алгоритмов и программного обеспечения для суперкомпьютерного моделирования двухфазных гравитирующих систем в задачах астрофизики"

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Снытников Н. В.

Разработана численная модель и прототипная версия параллельного алгоритма для суперкомпьютерного моделирования гравитирующих газодинамических дисков с помощью метода SPH. С помощью проведенных тестовых экспериментов по моделированию аккреции вещества из околос звездного диска на протозвезду показано, что численная модель является работоспособной и может быть использована в дальнейших исследованиях для моделирования задач, для которых характерны процессы гравитационной фрагментации.

Разработан параллельный алгоритм для решения системы уравнений Власова – Пуассона методом частиц. Показано, что данный алгоритм обладает хорошей производительностью и может применяться для суперкомпьютерного моделирования нестационарных задач астрофизики (динамики вращающихся галактик и газопылевых протопланетных дисков), для которых необходимо проведение серийных расчетов с десятками тысяч временных шагов.

Проект РФФИ № 16-31-00301 "Разработка эффективных параллельных алгоритмов для численного моделирования ультрарелятивистских пучков заряженных частиц"

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Боронина М. А.

Работа направлена на создание схем и алгоритмов, их реализации и исследованию возможности их применения для проведения численного моделирования динамики встречных пучков заряженных частиц с учетом ультрарелятивизма. Необходимым этапом в реализации новых параллельных алгоритмов с учетом специфики данной трехмерной задачи явилась их апробация в однопроцессорном режиме, на следующем этапе будет произведено их распараллеливание. Применение новой схемы для математического моделирования движения плоских пучков позволило сократить время расчетов за счет использования более крупного временного шага и, как следствие, более редкого вызова трудоемкой процедуры расчета граничных условий. Проведены работы по модификации имеющегося алгоритма решения уравнения Власова с целью проведения численного моделирования для набора частиц с различными релятивистскими факторами.

Проект РФФИ № 16-31-00304 "Численное моделирование неустойчивых режимов взаимодействия релятивистских электронных пучков с плазмой"

Руководитель проекта – Ефимова А. А.

В ходе выполнения проекта была построена кинетическая 2D3V модель, описывающая взаимодействие электронного пучка с плазмой. На тестовых задачах исследована зависимость решения от численных параметров, таких как размер шага сетки и число модельных частиц. Была разработана методика ввода пучка через границу. В граничном буфере рассчитывается полный ток пучка, из которого определяются значения электромагнитных полей, влияющие на движение частиц плазмы в буфере. Таким образом, в области моделирования

не происходит накопления заряда, и вся система остается квазинейтральной. Были рассмотрены различные поглощающие граничные условия. С помощью численных экспериментов было показано, условия Мура лучше поглощают волны, подходящие к границе под небольшим углом.

Проект РФФИ № 16-29-15120 "Разработка алгоритмического и программного обеспечения многомасштабного моделирования месторождений углеводородов с использованием суперкомпьютеров"

Руководитель проекта – чл.-корр. Кабанихин С. И.

В рамках работы по гранту сформулирована термодинамически согласованная математическая модель двухфазного течения (упругое тело – жидкость) в геологической среде. Модель основана на формулировке законов сохранения в виде переопределенной гиперболической по Фридрихсу системы для обеих фаз. Такая формулировка обеспечивает выполнение законов сохранения и гарантирует неубывание энтропии. В рамках такой модели исследована деформация геологической среды при наличии подземного источника тепла.

Проект РФФИ № 16-07-00434 "Разработка алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ на основе интегрального подхода"

Руководитель проекта – д.т.н. Глинский Б. М.

Исследована производительность векторизованного варианта реализации метода решения уравнений гравитационной газовой динамики на ускорителях Intel Xeon Phi на архитектуре KNL, получена производительность 200 гигафлопс в рамках одного ускорителя. Создана модель взаимодействия параллельных процессов для решения астрофизических задач. Подготовлены данные для имитационного моделирования.

Результаты работа по проектам Российского научного фонда

Проект РФФИ № 16-11-10028 "Высокопроизводительное моделирование турбулентных режимов генерации высокочастотного электромагнитного излучения в системе плазма – релятивистский электронный пучок"

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Вшивков В. А.

В ходе выполнения проекта создана двумерная численная модель и проведены расчеты для параметров плазмы и пучка, максимально приближенных к условиям экспериментов, в том числе воспроизведена непрерывная инжекция электронного пучка в плазму, которая обеспечивает развитие модуляционных плазменных колебаний и генерацию электромагнитного излучения субтерагерцового диапазона частот. На основании полученного спектра электромагнитных полей в области пучково-плазменного взаимодействия и в вакууме были найдены доминирующие гармоники генерируемого излучения. Создана параметризованная форма реализации метода частиц, ориентированная на решение широкого круга задач вычислительной физики плазмы и позволяющая встраивать новые эффективные численные алгоритмы в отлаженную параллельную программу.

Прочие гранты

Грант МК-6648.2015.9

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Куликов И. М.

С помощью разработанного ранее метода высокого порядка точности для решения уравнений магнитной газовой динамики были смоделированы астрофизические МГД течения

на различных пространственных масштабах. Смоделирован процесс перестройки силовых линий при столкновении скопления галактик "Bullet Cluster"; смоделировано развитие рукавов галактик в МГД модели, было показано более контрастное образование галактических спиралей по сравнению с газодинамической моделью; смоделировано развитие МГД турбулентности межзвездной среды, показано, что сжатие газа происходит вдоль силовых линий магнитного поля; смоделирован МГД коллапс вращающегося молекулярного облака, объяснен механизм образования полярных течений; смоделировано взаимодействие солнечного ветра с кометой Галлея, показано развитие неустойчивости хвоста за фронтом кометы и перезамыкание линий магнитного поля.

Публикации

Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Петренко Е. В., Черных И. Г., Куликов И. М. Разработка системы анализа производительности приложений для мобильных платформ // Программные системы: теория и приложения. 2016. Т. 7, № 29. С. 127–135. (в базе РИНЦ)

2. Романенко А. А., Снытников А. В., Тимофеев И. В. Трехмерный гибридный код для моделирования генерации высокочастотного электромагнитного излучения турбулентной плазмы // Вестн. НГУ. Сер.: Информационные технологии, 2016. Т. 14, № 3. С. 81–90. ISSN 1818-7900. (в базе РИНЦ)

3. Снытников Н. В. Масштабируемый параллельный алгоритм для моделирования трехмерной динамики гравитирующих систем методом частиц // Вестн. УГАТУ 2016. Т. 20. С. 137–142. (в базе РИНЦ)

Зарубежные издания

1. Boronina M., Vshivkov V. Implicit scheme for Maxwell equations solution in case of flat 3D domains // J. of Physics: Conference Series. 2016. V. 681. 012032. (в базах Scopus, WoS)

2. Boronina M. A., Vshivkov V. A. Development and analysis of computational algorithm of the Maxwell's equations in flat domains // Ibid. V. 722, 012006. (в базах Scopus, WoS)

3. Berendeev E. A., Dudnikova G. I., Efimova A. A., Ivanov A. V., Vshivkov V. A. Computer simulation of cylindrical plasma target trap with inverse magnetic mirrors // AIP Conference Proc. 2016. 1771, 030009. P. 1–4. (в базах РИНЦ, Scopus, WoS)

4. Kulikov I., Vorobyov E. Using the PPML approach for constructing a low-dissipation, operator-splitting scheme for numerical simulations of hydrodynamic flows // J. of Comput. Physics. 2016. Vol. 317. P. 318–346. (в базах Scopus, WoS)

5. Protasov V., Serenko A., Nenashev V., Kulikov I., Chernykh I. High-performance computing in astrophysical simulations // J. of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 681. 012022. (в базах Scopus, WoS)

6. Kulikov I., Chernykh I., Tutukov A. a new hydrodynamic model for numerical simulation of interacting galaxies on Intel Xeon Phi supercomputers // Ibid. Vol. 719. 012006. (в базах Scopus, WoS)

7. Kulikov I., Chernykh I., Protasov V. Mathematical modeling of formation, evolution and interaction of galaxies in cosmological context // Ibid. Vol. 722. 012023. (в базах Scopus, WoS)

8. Kulikov I., Chernykh I., Glinsky B. Numerical simulations of astrophysical problems on massively parallel supercomputers // AIP Conf. Proc. 2016. Vol. 1776. 090006.

(в базах РИНЦ, Scopus, WoS)

9. Dudnikova G. I., Efimova A. A. Numerical models of the ion-acoustic collisionless shock // AIP Conf. Proc. 2016. Vol. 1773, 090001. (в базах РИНЦ, Scopus, Wos)
10. Berendeev E., Dudnikova G., Efimova A., Vshivkov V. Computer simulation of plasma dynamics in open plasma trap // Lecture Notes in Comput. Sci. Ser.: LNCS. 2017. Vol. 1196. P. 227–234. DOI: 10.1007/978-3-319-57099-0 23. (в базах Scopus, Wos)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Berendeev E., Boronina M., Vshivkov V., Efimova A. The features of using the cylindrical geometry for solution of the plasma physics problems with the particle-in-cell method // CEUR Workshop Proc. 2016. V. 1576. P. 442–453. (в базах РИНЦ, Scopus)
2. Snytnikov N. Scalable parallel algorithm for simulation of 3D dynamics of gravitating systems using particle-in-cell method // CEUR Workshop Proc. 2016. V. 1576. P. 298–307. (в базах РИНЦ, Scopus)
3. Kulikov I., Chernykh I., Vorobyov E., Snytnikov A., Weins D., Moskovsky A., Shmelev A., Protasov V., Serenko A., Nenashev V., Vshivkov V., Rodionov A., Glinsky B., Tutukov A. Numerical hydrodynamics simulation of astrophysical flows at Intel Xeon Phi supercomputers // Ibid. P. 205–220. (в базах РИНЦ, Scopus)
4. Efimova A. A., Dudnikova G. I., Liseykin T. V., Vshivkov V. A. Numerical models of ion-acoustic collisionless shock // Proc. of the 8th conf. "Application of mathematics in technical and natural sciences", Albena (Bulgaria), June 22–27, 2016.
5. Berendeev E. A., Dudnikova G. I., Ivanov A. V., Efimova A. A., Vshivkov V. A. Computer simulation of cylindrical plasma target trap with inverse magnetic mirrors. Open System // Abst. of the 11th Intern. conf. on open magnetic systems for plasma confinement, Novosibirsk, Aug. 8–12, 2016.

Прочие издания

1. Боронина М. А., Вшивков В. А. Схемы расчета динамики ультрарелятивистских пучков заряженных частиц // Сб. тезисов. 8-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики"; Всерос. школа-конференция молодых исследователей, Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. С. 22–23.
2. Боронина М. А., Вшивков В. А. Реализация и исследование алгоритма расчета уравнений Максвелла в плоских областях // Тез. Всерос. конф. "Нелинейные волны: теория и новые приложения", Новосибирск, 29 февраля – 2 марта 2016 г. Стр. 32–33.
3. Боронина М. А., Вшивков В. А. Численные алгоритмы решения уравнений Максвелла // Тез. 21-й Всерос. молодежной школы-конф. "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", Новороссийск, Абрау-Дюрсо, 5–11 сентября 2016 г. Стр. 70–71.
4. Берендеев Е. А., Дудникова Г. И., Ефимова А. А. Моделирование на суперЭВМ генерации электромагнитного излучения при взаимодействии электронного пучка с плазмой // Материалы 17-й Всерос. конф. молодых учёных по матем. моделированию и информ. техн. С. 28–29.
5. Лазарева Г. Г., Куликов И. М. Моделирование пространственных течений газа в ряде задач астрофизики // Тез. 8-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики"; Всерос. школа-конференция молодых исследователей, Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. С. 63–64.
6. Коновалов А. Н., Лазарева Г. Г. Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом полной механической энергии для динамических задач ли-

нейной теории упругости // Тез. 8-й Междунар. молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сент. 2016 г.

7. Lazareva G. G., Fedorov E. A., Idiyatullin R. A., Khlestov I. V., Zavolzhskiy V.B. Radial inflow model in the near-wellbore zone of exploitation wells // Bull. NCC. Ser.: Num. Anal. 2016. N 18. P. 29–35. (в базе РИНЦ)

8. Снытников А. В. Технология решения задач физики плазмы на суперЭВМ // Сб. докладов конференции "Супервычисления и математическое моделирование", г. Саров, 2016.

9. Глинский Б. М., Черных И. Г., Куликов И. М., Винс Д. В., Снытников А. В. Содизайн параллельных алгоритмов для решения задач астрофизики и физики плазмы на гибридных суперЭВМ // Там же.

10. Снытников А. В., Генрих Е. А. Методика создания переносимых программ математического моделирования для различных типов гибридных суперЭВМ // Труды Междунар. конф. "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 26–27 сент. 2016 г. М.: Изд-во МГУ, 2016. С. 245–254. (в базе РИНЦ)

11. Стояновская О. П., Снытников Н. В., Пустоваров А. А. Суперкомпьютерное моделирование эпизодической аккреции методом SPH // Там же. С. 712–724. (в базе РИНЦ)

12. Генрих Е. А. О выборе формы ядра частиц в методе частиц в ячейках для моделирования взаимодействия пучка с плазмой // Тез. 8-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики"; Всероссийская школа-конференция молодых исследователей, Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. Стр. 29–30.

13. Куликов И. М., Черных И. Г., Катышева Е. В. Математическое моделирование образования молекулярного водорода в галактиках // Труды конф. молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 6–8 апр. 2015 г. Новосибирск: ИВМиМГ, 2016. С. 55–63. (в базе РИНЦ)

14. А.А. Ефимова, Е.А. Берендеев, Г.И. Дудникова. Численное моделирование динамики плазмы в открытых магнитных ловушках // Тез. 21-й Всерос. конф. и Молодежной школы-конференции "Теоретические основы конструирования численных алгоритмов и решение задач математической физики", Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. М: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2016. С. 84-85.

15. Ефимова А. А., Дудникова Г. И., Вшивков В. А. Численное моделирование структуры ионно-звуковой ударной волны в бесстолкновительной плазме // Сб. тезисов. 8-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики"; Всерос. школа-конференция молодых исследователей, Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. С. 38-39.

16. Genrikh E. A., Snytnikov A. V. Portable and scalable kinetic plasma simulation code for hybrid supercomputers // Bull. of NCC. Ser.: Numerical Analysis. 2016. Iss. 18. (в базе РИНЦ)

17. M.A. Boronina. Numerical experiments for solving Maxwell's equations in thin domains with a new implicit scheme // Ibid. (в базе РИНЦ)

18. O.P. Stoyanovskaya, N.V. Snytnikov. Supercomputer simulations of gravitating gaseous circumstellar disk using SPH // Ibid. (в базе РИНЦ)

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте

1. Свидетельство № 2016617832 РФ. Программа для численного решения уравнений магнитной газовой динамики в трехмерной постановке на суперЭВМ / Куликов И.М. Зарег. 14.07.2016.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Всероссийская конференция "Нелинейные волны: теория и новые приложения", Новосибирск, 29 февраля – 2 марта 2016 г. – 4 доклада (Боронина М. А., Ефимова А. А., Куликов И. М.).
2. Параллельные вычислительные технологии 2016, 28 марта – 1 апреля 2016 г., Архангельск – 3 доклада (Ефимова А. А., Куликов И. М., Снытников Н. В.).
3. Восьмой сибирский форум индустрии информационных систем, 6–7 апреля 2016 г., Новосибирск – 1 доклад (Куликов И. М.).
4. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН 2016, 11–13 апреля 2016 г., Новосибирск – 2 доклада (Боронина М. А., Куликов И. М.).
5. British Council and Russian Foundation for Basic Research Russian-British Workshop on "Uncertainty Quantification in Inverse Modelling", 25–27 апреля 2016 г., Новосибирск – 2 доклада (Боронина М. А., Куликов И. М.).
6. NAA'16: Sixth Conference on Numerical analysis and applications, 15–22 июня 2016 г., Лозенец, Болгария – 1 доклад (Ефимова А. А.).
7. Eight Conference "Application of mathematics in technical and natural sciences". 22–27 июня 2016 г., Албена, Болгария – 1 доклад (Ефимова А. А.).
8. The 2nd International Conference and Summer School Numerical Computations: Theory and Algorithms (NUMTA-2016), 19–25 июня 2016 г., Калабрия, Италия – 1 доклад (Куликов И. М.).
9. 11th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement. 8–12 августа 2016 г., Новосибирск – 1 доклад (Ефимова А. А.).
10. Восьмая международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", 1–7 сентября 2016 г., Новосибирск – 4 доклада (Куликов И. М., Снытников Н. В.).
11. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России 2016", 26–27 сентября 2016 г., Москва – 4 доклада (Куликов И. М., Снытников А. В., Снытников Н. В.).
12. 8-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященная памяти академика А.Ф. Сидорова и Всероссийская молодежная школа-конференция. Абрау-Дюрсо, 5–10 сент. 2016 г. – 4 доклада (Боронина М. А., Генрих Е. А., Ефимова Е. А., Лазарева Г. Г.).
13. 21-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", посвященная памяти К. И. Бабенко, Абрау-Дюрсо, 2016–3 доклада (Боронина М. А., Ефимова А. А., Лазарева Г. Г.).
14. 17-я Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 30 окт. – 3 нояб. 2016 г. – 2 доклада (Берендеев Е. А., Ефимова А. А.).
15. 16-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", 3–7 октября 2016 г., Саров – 3 доклада (Куликов И. М., Снытников А. В.).
16. 5-й Национальный суперкомпьютерный форум (НСКФ 2016), 29 ноября – 2 декабря 2016 г., Переславль-Залесский – 2 доклада (Куликов И. М.).

Участие в программных и организационных комитетах конференций

1. Куликов И. М.:
 - 8-й Сибирский форум индустрии информационных систем, 6–7 апреля 2016 г., Новосибирск

- конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН 2016, 11–13 апреля 2016 г., Новосибирск
- 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", 1–7 сентября 2016 г., Новосибирск
- 2. Боронина М.А.:
 - British Council and Russian Foundation for Basic Research Russian-British Workshop on "Uncertainty Quantification in Inverse Modelling", 25–27 апреля 2016 г., Новосибирск

Итоговые данные по лаборатории

- Публикаций, индексируемых в базе данных Wos – 10
- Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 13
- Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 15
- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 3
- Публикаций в зарубежных изданиях – 10
- Публикаций в материалах международных конференций – 5
- Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 1
- Публикаций в прочих изданиях – 23
- Докладов на конференциях – 39
- Участников оргкомитетов конференций – 2

Кадровый состав

1. Вшивков В. А. зав. лаб., д.ф.-м.н.
2. Лазарева Г. Г. с.н.с., д.ф.-м.н., чл.-корр.
3. Снытников А. В. н.с., к.ф.-м.н.
4. Снытников Н. В. н.с., к.ф.-м.н.
5. Куликов И. М. н.с., к.ф.-м.н.
6. Боронина М. А. н.с., к.ф.-м.н.
7. Месяц Е. А. н.с., к.ф.-м.н.
8. Ефимова А. А. м.н.с.
9. Берендеев Е. А. м.н.с., аспирант

Педагогическая деятельность

- Вшивков В. А. – профессор НГУ
- Куликов И. М. – доцент НГТУ
- Лазарева Г. Г. – профессор НГУ, НГТУ
- Снытников А. В. – ассистент, НГУ

Руководство аспирантами

- Берендеев Е.А. – 3-й курс аспирантуры ИВМиМГ, руководитель Вшивков В. А.
- Протасов В. А. – 2-й курс аспирантуры НГТУ, руководитель Куликов И. М.
- Ненашев Е. В. – 2-й курс аспирантуры НГТУ, руководитель Куликов И. М.
- Серенко А. А. – 2-й курс аспирантуры ИВМиМГ СО РАН, руководитель Куликов И. М.

Руководство студентами

- Пугачев В. В. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Куликов И. М.
- Лаговская К. В. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Боронина М. А.
- Максимова А. Г. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
- Пехтерев М. С. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Вшивков В. А.

Пригарин В. Г.	– 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Куликов И. М.
Тарасов В. С.	– 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Вшивков В. А.
Афонин Г. Д.	– 4-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.
Вотьяков Г. Г.	– 4-й курс НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
Кагапольцева Е. С.	– 4-й курс НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
Кохонов Р. Е.	– 4-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.
Назарченко Е. А.	– 4-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.
Петрова М. Е.	– 4-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.
Рольбанд И. Д.	– 4-й курс НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
Росол М. В.	– 4-й курс НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
Чуркин Е. А.	– 4-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.

Лаборатория Сибирский суперкомпьютерный центр

Зав. лабораторией д.т.н. Глинский Б. М.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2016 г.
в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.4.1.3 "Развитие суперкомпьютерных технологий и методов моделирования архитектур и алгоритмов для пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

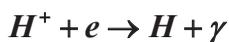
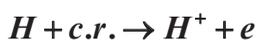
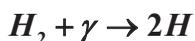
Номер государственной регистрации НИР 01201370232

Руководители: д.т.н. Глинский Б. М., д.т.н. Родионов А. С.

Предложена методология разработки алгоритмического и программного обеспечения для суперкомпьютеров эксафлопсного уровня, содержащая три связанных этапа: первый этап определяется со-дизайном, под которым понимается адаптация вычислительного алгоритма и математического метода к архитектуре суперкомпьютера на всех этапах разработки программы; на втором предполагается создание упреждающего алгоритмического и программного обеспечения для наиболее перспективных эксафлопсных суперкомпьютеров на основе имитационного моделирования с целью адаптации алгоритмов к заданной архитектуре суперкомпьютера; на третьем этапе оценивается энергоэффективность алгоритма при различных реализациях на данной архитектуре либо на различных архитектурах.

Предложены новые реализации решателя систем ОДУ для численного решения задач фармакокинетики. Разработан новый алгоритм транслирования кинетических схем для задач астрофизики. Протестирована схема взаимодействия блока моделирования физико-химических процессов с уравнениями газовой динамики для численного моделирования столкновения галактик.

Модернизирован пакет ChemPak для решения задач химической кинетики совместно с гидродинамическим решателем CosmoPhi. Проведено тестирование модернизированного пакета на трех системах, описывающих динамику водорода и гелия в рамках космологической задачи.



Модернизирован пакет ChemPak для решения задач химической кинетики совместно с гидродинамическим решателем CosmoPhi. Проведено тестирование модернизированного пакета на системе, описывающей динамику водорода и гелия в рамках космологической задачи.

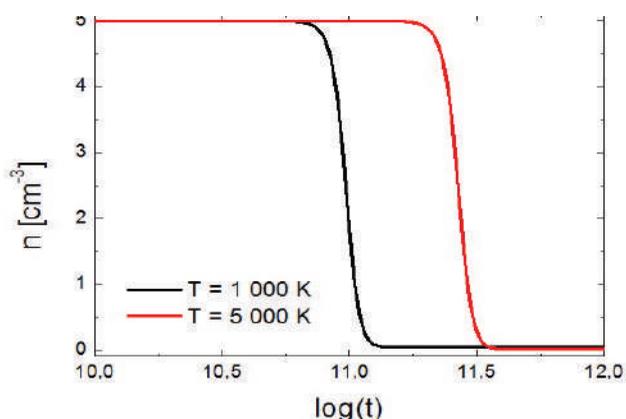


Рис. 1

Отличительной особенностью построенной сетки является локальная ортогональность вблизи свободной поверхности (все попарно пересекающиеся ребра всех ячеек возле свободной поверхности образуют между собой прямые углы). Проведена прогонка тестовых задач для исследования масштабируемости и ускорения данного алгоритма. Из реальных расчетов получены временные задержки для имитационного моделирования.

Результаты работ по ЦП "Суперкомпьютер" Президиума СО РАН и Минобрнауки РФ

Инфраструктура ЦКП ССКЦ ИВиМГ СО РАН

Центр обработки данных (ЦОД) ССКЦ занимает четыре помещения общей площадью 205 м²: машинный зал № 1 площадью 66,7 м²; машинный зал № 2 площадью 59,9 м²; узел электропитания площадью 58,5 м²; помещение гидромодуля площадью 20 м².

В 2016 г. машинный зал № 1 освобожден от работающей вычислительной техники; в нем будет установлен новый кластер.

ЦКП оборудован автоматической системой газового пожаротушения, пожарной и охранной сигнализациями, источниками бесперебойного питания и прецизионными кондиционерами, системой мониторинга температуры и влажности. Дополнительная информация доступна по ссылке <http://www2.sccc.ru/Information/Infrastr/2012/Infrastr-2012.htm>.

Общая мощность двух источников бесперебойного электропитания составляет 240 кВт, общая мощность прецизионных кондиционеров по холоду составляет 276 кВт. Общее энергопотребление ЦКП ССКЦ составило: в 2012 г. – 1250,248 тыс. кВт ч., в 2013 г. – 1253,346 тыс. кВт ч., в 2014 г. – 1010,395 тыс. кВт ч., в 2015 г. – 1148,548 тыс. кВт ч., в 2016 г. – 992,132 тыс. кВт ч. Вычислительная техника работает в круглосуточном режиме.

ЦКП ССКЦ подключен по выделенному каналу (1 Гбит/с) к сети Новосибирского научного центра и дополнительно по скоростному каналу (10 Гбит/с) к Суперкомпьютерной сети ННЦ.

Вычислительные ресурсы

1) Кластерный суперкомпьютер НКС-30Т, изготовитель Hewlett – Packard (США). Введен в эксплуатацию в апреле 2009 г., модернизирован в 2010 и 2011 гг. Гибридное расширение на GPU NVIDIA Tesla M2090 введено в эксплуатацию в феврале 2012 г. Пиковая производительность 115 Тфлопс, в том числе 79 Тфлопс на GPU NVIDIA Tesla M2090. ТОП-50 СНГ: 32-е место для расширения кластера на GPU (архитектура GPGPU) в 23-й

редакции рейтинга от 28.09.2015 г.; 37-е место в 25-й редакции от 26.09.2016 г. Базовый кластер на процессорах Intel Xeon (архитектура MPP) в рейтинг не вошел. Коммуникационная сеть – QDR Infiniband. Транспортная и сервисная сети – Gigabit Ethernet. Кластерная файловая система Ibrx, 32 Тбайт полезной емкости. Полная информация доступна по адресу <http://www2.sccc.ru/НКС-30Т/НКС-30Т.htm>.

2) На части кластера НКС-30Т развернута виртуализованная вычислительная среда (основанная на KVM), используемая для обработки данных физических экспериментов в физике высоких энергий, осуществляемых в ИЯФ СО РАН. Обмен данными между ИЯФ СО РАН, НГУ и ССКЦ осуществляется через суперкомпьютерную сеть ННЦ (10 Гбит/с).

3) Сервер с общей памятью HP ProLiant DL980 G7 (архитектура SMP). После расширения в сентябре 2013 г. включает восемь 10-ядерных процессоров Intel E7-4870 с тактовой частотой 2,4 ГГц, оперативной памятью 1024 Гбайт и 8 SAS дисками по 300 Гбайт. Пиковая производительность сервера составляет 768 Гфлопс. Сервер включен в кластер НКС-30Т как нестандартный вычислительный узел.

4) Закупленный в 2014 г. сервер HP ProLiant DL380 G8 используется для работы с NVIDIA Kepler K40.

5) В 2014 г. были установлены три дисковые полки HP D2700 с дисками HP 1.2 TB 6G 10K SAS. Две полки HP D2700 подключены к IBRIX (BIOIFS) и одна – к серверу HP DL980. Версия IBRIX 5.6 обновлена до 6.1. На основе работ, проведенных в 2014 г., а также закупки (ИЦиГ) и установки в 2015 г. еще двух дисковых полок HP D2700 с дисками HP 1.2 TB 6G 10K удалось отказаться от работы неподдерживаемых гарантийным обслуживанием дисков SATA. При этом объем внешней памяти теперь составляет 2×47 Тбайт, размер сегментов IBRIX на новых дисках – 5.9 Тбайт.

Программное обеспечение/инструментальные средства разработки

1) В 2013 г. закуплены лицензии на Intel Cluster Studio XE и Intel Parallel Studio XE for OS Linux. На кластере НКС-30Т установлен Intel MPI 4.1, Intel TraceAnalyzer/Collector, компиляторы Intel C++ и Intel Fortran из состава Composer XE 2013 SP1, включающие библиотеки Intel MKL, Intel IPP и Intel TBB. Коммерческая поддержка программного обеспечения Intel заканчивается в сентябре 2016 г.

2) На кластере также установлены параллельные версии Gromacs, Quantum Espresso и Bioscope. Установленный в октябре 2013 г. Gromacs 4.6.3 поддерживает параллельную работу как на ядрах CPU, так и на GPU NVIDIA M2090.

3) Установлен и эксплуатируется ANSYS CFD версии 14.5.7 с лицензиями HPC, обеспечивающими параллельное выполнение программ Fluent. В 2014 г. закуплена академическая лицензия на ANSYS CFD (без лицензий HPC); коммерческая поддержка по этой лицензии закончилась 14.12.2015.

4) В январе 2014 г. установлен коммерческий пакет Gaussian g09 Rev D.01 w/LINDA. Для программирования на GPU Nvidia установлен CUDA Toolkit 6.5 и PGI Accelerator версии 14.9.

5) Сервер с общей памятью HP ProLiant DL980 G7 включен в НКС-30Т, поэтому на нем доступно программное обеспечение кластера.

3) Регулярно проводится семинар "Высокопроизводительные вычисления" на базе ССКЦ, кафедры Вычислительных систем НГУ. Презентации семинаров размещаются на странице <http://www2.sccc.ru/Seminars/NEW/Seminars.htm>.

4) В ИВМиМГ СО РАН в 2016 г. проведены городская Зимняя и Международная летняя школы по параллельному программированию совместно с Новосибирским государственным университетом и Новосибирским государственным техническим университетом. В работе зимней школ участвовали студенты НГУ, НГТУ. В летней школе участвовали студенты НГУ, НГТУ, лицея Lycée Saint Joseph – La Salle de Lorient (г. Лорьян, Франция), студенты, аспиранты и научные сотрудники Казахского национального университета им. Аль-Фараби (Алма-Ата).

Объем финансирования 2016 г.

Собственные средства – 3,3 млн руб.

Основные итоги 2016 г.

- 1) Получена субсидия ФАНО в размере 60 млн руб. на модернизацию ЦКП ССКЦ;
- 2) Разработано техническое задание и проводится аукцион на новый кластер с ориентацией на современные компоненты вычислительной техники
- 3) Поддерживаются практические занятия в пакете Gaussian 09 на ресурсах ССКЦ курса лекций "Теоретическая и вычислительная спектроскопия" (2016 г.), проводимого приглашенным профессором Энрико Бенасси из университета г. Пизы (Италия);
- 4) Оказываются вычислительные и консалтинговые услуги пользователям для осуществления работ в рамках грантов, программ, проектов, подготовки диссертаций и дипломов.

Основные проблемы

1. Моральное устаревание кластера, выход из строя вычислительных узлов. Самые новые вычислительные модули введены в эксплуатацию в феврале 2012 г.
2. Устаревание программного обеспечения. Red Hat 5.4 (2010 г.) не поддерживает установку Intel MPI 5.0 и новее.
3. Решение с одним управляющим модулем подходит для относительно небольшого вычислительного кластера. При увеличении числа вычислительных модулей необходимо распределить функции управляющего модуля на несколько модулей: на одном (Head node) – управляющее ПО (очередь заданий, СМУ сервера лицензий); другой (или другие) (Login node) будут служить для захода пользователей на кластер, компиляции программ, постановки их в очередь на выполнение, обмена данными.
4. Из-за выхода кондиционера DeLonghi ACCURATE AL 60 из строя в жаркие дни приходится переходить на ручное управление кластером и уменьшать его загрузку, чтобы избежать перегрева вычислительных узлов.
5. Резкое сокращение финансирования ЦКП ССКЦ ИВМиМГ СО РАН в последние годы: 2014 – 6 млн руб.; 2015 – 4,5 млн руб.; 2016 – 3,3 млн руб.; 2017 – 1,8 млн руб.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-07-00434 "Разработка алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ на основе интегрального подхода".

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

Работа по проекту в 2016 г. проводилась по нескольким направлениям. Расширено понятие со-дизайна в рамках предлагаемого интегрального подхода. В рамках методики со-

дизайна рассмотрены две постановки динамической теории упругости: первая – в терминах смещений, вторая – в терминах скоростей смещения и напряжения. Исследовано время работы и размер используемой памяти созданных параллельных программ, их масштабируемость и энергоэффективность. Показано, что подход в терминах смещения позволяет решать большие 3D задачи динамической теории упругости на существенно меньшем числе графических ускорителей. Предложен параллельный алгоритм моделирования упругих волн в 3D-средах со сложной геометрией свободной поверхности. На одной и той же версии параллельного кода для этой задачи показана энергоэффективность 4.5ГФЛОП/Ватт для ускорителя вычислений NVIDIA Tesla 2090M и 12 ГФЛОП/Ватт для ускорителя вычислений NVIDIA Kepler K40M. Исследована производительность векторизованного варианта реализации метода решения уравнений гравитационной магнитной газовой динамики на ускорителях Intel Xeon Phi на архитектуре KNL, получена производительность 457 гигафлопс в рамках одного ускорителя. Создана модель взаимодействия параллельных процессов для решения задач астрофизики. С использованием интегрального подхода разрабатывается программа MANAS (Multiprocessor Application for Numerical Analysis and Simulation) для решения задачи физики плазмы. Программа является параметризованной (на основе механизма шаблонов C++) и может использоваться как в двумерном, так и в трехмерном вариантах. Программа, реализующая численную модель плазмы, может быть эффективной на суперЭВМ эксафлопсного класса, если в программе используется эйлерово-лагранжева декомпозиция расчетной области.

Предложена методика исследования эффективности применения параллельных вычислительных алгоритмов, основанных на сеточных методах. Критерием эффективности таких алгоритмов является сохранение постоянным времени расчета при увеличении расчетной области пропорционально увеличению числа вычислительных узлов. Методика основана на мультиагентном подходе к имитационному моделированию. Каждой вычислительной нити соответствует программный агент, имитирующий ее исполнение на вычислительном узле.

Получены результаты исследования эффективности алгоритма численного моделирования 3D сейсмических полей в изотропной неоднородной упругой среде. Исследованы два вида декомпозиции области: 2D и 3D. Как видно на графике, эффективность алгоритмов при увеличении числа ядер постепенно снижается, это объясняется увеличением числа обменов каждого узла с соседями на каждой итерации, для 3-мерного варианта это число растет более стремительно. Эффективное использование данного алгоритма на суперкомпьютерах требует модификации его в сторону снижения числа производимых обменов.

Получены результаты исследования эффективности алгоритма численного моделирования взаимодействия электронного пучка с плазмой. Исследовано решение данной задачи на различных типах вычислительных узлов. На этапе формирования полной матрицы текущей плотности тока и заряда необходим обмен значениями "все-со-всеми". Заметно, что эти обмены существенно снижают эффективность алгоритма. Как видно хорошую масштабируемость показывают вычисления на узлах с ускорителями Nvidia Kepler K40.

Получены результаты исследования эффективности алгоритма численного моделирования задачи столкновения галактик. Исследовано решение данной задачи на различных типах вычислительных узлов. Каждая нить обменивается граничными значениями только с двумя соседями. Как видно на рис. 3–5, алгоритм имеет хорошую масштабируемость. Лучшую масштабируемость показывают вычисления на узлах с ускорителями Nvidia Kepler K40 и Intel Xeon Phi.

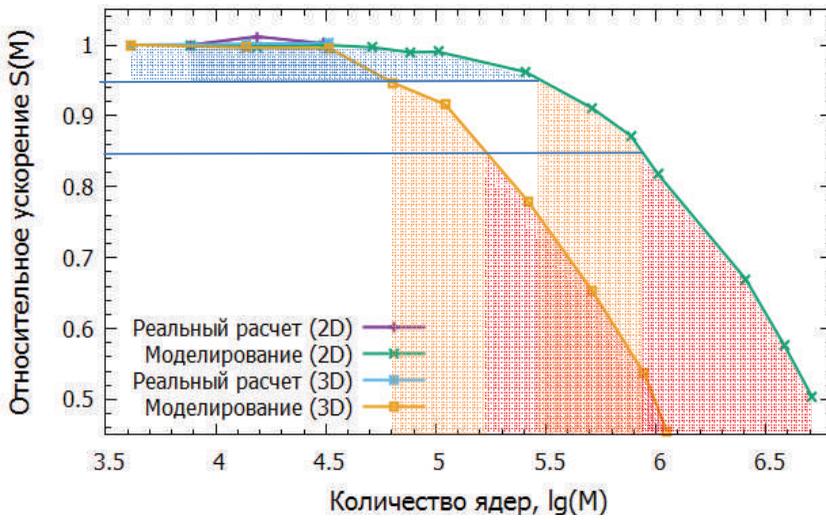


Рис. 3

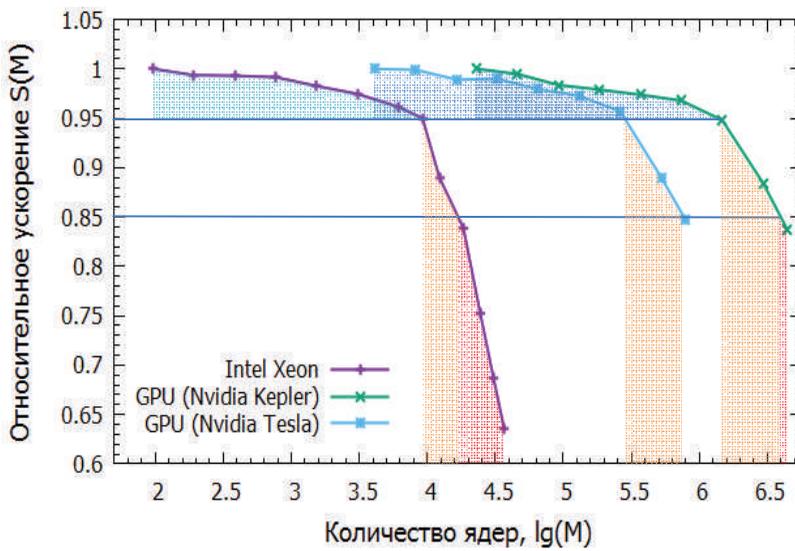


Рис. 4

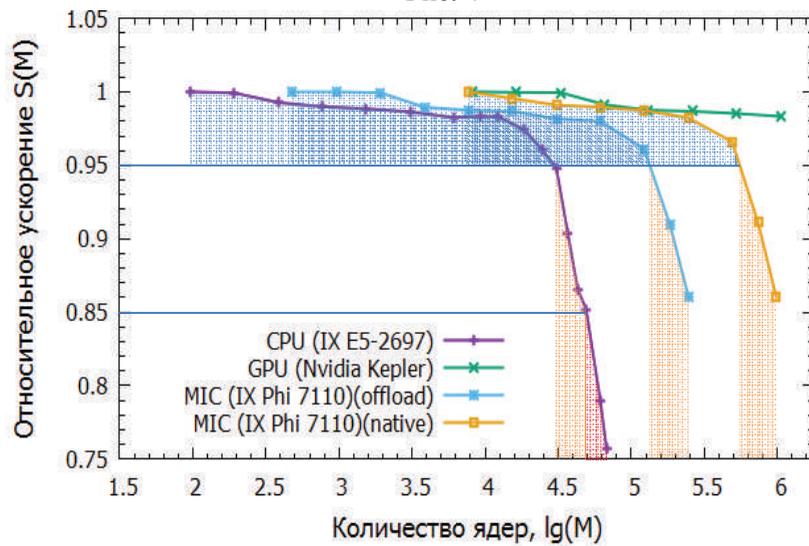


Рис. 5

Результаты работ по проектам Президиума РАН

Проект 4.6 "Моделирование и экспериментальные исследования вулканических структур методами активной и пассивной сейсмологии".

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

Моделирование распространения сейсмических волн в средах, характерных для вулканических структур, требует разработки суперкомпьютерных технологий для сокращения времени расчетов и получения возможности моделирования "больших" 3D упругих сред в целях создания систем вибросейсмического мониторинга сейсмоопасных объектов.

За отчетный период проведено сравнение разработанных эффективных параллельных реализаций решения задачи динамической теории упругости, записанной в терминах напряжений и скоростей смещения и в терминах смещений для гибридного суперкомпьютера, оснащенного графическими ускорителями. Исследовано время работы созданных параллельных программ и их масштабируемость. Рассматривался случай прямолинейной свободной поверхности. На основе полученных результатов можно дать рекомендации по использованию подхода, основанного на расчете смещений в случае ограниченного количества графических ускорителей и, соответственно, нехватки оперативной памяти для проведения крупномасштабных расчетов. При расчете напряжений и скоростей смещения памяти потребуется в два раза больше, однако это позволит достичь ускорения. Наиболее эффективным вариантом для исследования реальных геофизических объектов будет комбинирование обоих подходов. При этом проведение серий исследований локальных особенностей следует проводить с помощью подсчета напряжений и скоростей смещения, а разовое моделирование крупномасштабных областей – с помощью расчета смещений. Проведены тестовые расчеты. На основе решения уравнений теории упругости построены теоретические сейсмограммы для W компоненты волнового поля в предельных случаях: закупоренный верхний канал; заполненный магмой для физико-математической модели Эльбруса.

Проект 14.6 "Создание информационно-вычислительной среды (GRID) на базе ССКЦ СО РАН".

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

В течение 2016 г. продолжались работы по поддержанию и эксплуатации виртуализированной вычислительной ГРИД-среды ННЦ, основанной на суперкомпьютерной 10 Гбит сети ННЦ и включающей вычислительные ресурсы ССКЦ, ИЯФ и НГУ. На начало 2016 г. в состав ГРИД-среды от ССКЦ входила подсистема из состава кластера НКС-30Т, основанная на двойных блейд-серверах HP BL2x220 G5 (32 штуки, суммарно 512 процессорных ядер и 1024 Гбайт памяти). В мае 2016 г., в связи с выводом из эксплуатации серверов G5, часть виртуального кластера переведена на двойные блейд-серверы HP BL2x220 G6 (64 штуки, суммарно 1024 процессорных ядра и 2048 Гбайт памяти). ГРИД-среда продолжает активно использоваться для обработки данных экспериментов по физике высоких энергий, осуществляемых в ИЯФ СО РАН как на собственных ускорителях, так и на Большом адронном коллайдере.

Второй виртуальный кластер – кластер Академпарк-ССКЦ, был создан совместно с департаментом системной интеграции компании "ТехноСити" и запущен в эксплуатацию в конце 2015 г. Кластер использует MPP-G6 часть кластера НКС-30Т из состава ССКЦ и серверы IBM Server 8737 из состава дата-центра Академпарка, имеет собственную систему управления заданиями и предназначен для решения задач обработки BigData. После

тестовой эксплуатации кластер не получил дальнейшего развития в связи с изменением ситуации у заказчиков. Выведен из эксплуатации в апреле 2016 г. Предусмотрена возможность быстрого повторного развертывания.

На основе опыта эксплуатации различных виртуальных сред проведен обзор кроссплатформенных программных решений для сетевой интеграции разнородных вычислительных ресурсов, географически удаленных друг от друга.

В 2016 г. начата работа над изучением возможности использования ускорителей GPU Nvidia Tesla M2090 для расчетов, проводимых в виртуализованных вычислительных средах.

Публикации

Зарубежные издания

1. Glinskiy B., Kulikov I., Chernykh I., Weins D., Snytnikov A., Nenashev V., Andreev A., Egunov V., Kharkov E. Numerical hydrodynamics simulation of astrophysical flows at Intel Xeon Phi supercomputers // Num. Hydrodynamics Simulation of Astrophys. Flows at Intel Xeon Phi supercomputers. Springer Verlag. 2016. No 10049. P. 342–354. (в базах Scopus, Wos)

2. Kulikov I., Chernykh I., Tutukov A. A new hydrodynamic model for numerical simulation of interacting galaxies on Intel Xeon Phi supercomputers // J. of Phys.: Conference Series. 2016. No 719. Article num. 012006. (в базах Scopus, Wos)

3. Glinskiy B., Kulikov I., Chernykh I., Weins D., Snytnikov A., Nenashev V., Andreev A., Egunov V., Kharkov E. The co-design of astrophysical code for massively parallel supercomputers // LNCS 10049. 2016. P. 342–354. (в базе Wos)

4. Kulikov I., Chernykh I., Protasov V. Mathematical modeling of formation, evolution and interaction of galaxies in cosmological context // J. of Physics: Conference Series. 2016. V. 722. Article num. 012023. (в базе Wos)

Материалы международных конференций и совещаний

1. Kulikov I., Chernykh I., Glinsky B. Numerical simulations of astrophysical problems on massively parallel supercomputers // AIP Conference proc. 2016. No 1776. Article num. 090006 (в базах Scopus, Wos)

2. Сапетина А. Ф. Сравнение эффективности применения различных математических постановок для суперкомпьютерного 3D моделирования сейсмических волновых полей // Труды Междунар. конф. "Суперкомпьютерные дни в России". 2016. С. 985–995. (в базе Scopus)

3. Титов П. А. Технология моделирования распространения упругих волн в средах со сложной 3D геометрией поверхности на высокопроизводительных кластерах // Там же. С. 1020–1033. (в базе Scopus)

4. Глинский Б. М., Черных И. Г., Куликов И. М., Винс Д. В., Снытников А. В. Со-дизайн параллельных алгоритмов для решения задач астрофизики и физики плазмы на гибридных суперЭВМ // Тез. 16-й Междунар. конф. "Супервычисления и математическое моделирование". 2016. (в базе РИНЦ)

5. Kulikov I., Chernykh I., Vorobyov E., Snytnikov A., Weins D., Moskovsky A., Shmelev A., Protasov V., Serenko A., Nenashev V., Vshivkov V., Rodionov A., Glinsky B., Tutukov A. Numerical hydrodynamics simulation of astrophysical flows at Intel Xeon Phi supercomputers // CEUR Workshop Proc. 2016. V. 1576. P. 205–220. (в базе Scopus)

6. Куликов И. М., Черных И. Г., Воробьев Э. И., Снытников А. В., Винс Д. В., Московский А. А., Шмелев А. Б., Протасов В. А., Серенко А. А., Ненашев В. Е., Вшивков В. А., Родионов А. С., Глинский Б. М., Тутуков А. В. Численное гидродинамическое моделирование астрофизических течений на гибридных суперэвм, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2016). 2016. С. 205–220. (в базе РИНЦ)

7. Петренко Е. В., Черных И. Г., Куликов И. М. Разработка системы анализа производительности приложений для мобильных платформ // Труды Междунар. конф. "Программные системы: теория и приложения". 2016. Т. 7. № 2–1 (29). С. 127–135. (в базе РИНЦ)

8. Винс Д. В., Глинский Б. М. Применение мультиагентной модели системы оперативного управления высокопроизводительными вычислительными системами для исследования эффективности различных управляющих алгоритмов // Труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 2016. С. 105–113. (в базе РИНЦ)

Прочие публикации

1. Глинский Б. М., Мартынов В. Н., Сапетина А. Ф. 3D-моделирование сейсмических волновых полей в средах, характерных для вулканических структур // Математические заметки СВФУ. 2015. Т. 22. № 3. С. 84–98. (в базе РИНЦ)

2. Сапетина А. Ф. Supercomputer-aided comparison of the efficiency of using different mathematical statements of the 3D geophysical problem // Bull. NCC. Ser.: Numerical Analysis. 2016. Iss. 18. (в базе РИНЦ)

Участие в конференциях и совещаниях

1. Цифровая индустрия промышленной России, Казань, Иннополис, 7–10 июня 2016 г. – 1 приглашенный доклад (Глинский Б. М., Черных И. Г.).

2. The 2nd International conference and summer school "Numerical computations: Theory and algorithms", Пиццо Калабро (Италия), 19–25 июня 2016 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).

3. 8-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 1–7 сентября 2016 г. – 2 доклада (Титов П. А., Сапетина А. Ф.).

4. Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 12–16 декабря 2016 г. – 1 доклад (Винс Д. В., Глинский Б. М.).

5. The 10th Anniversary International multiconference "Bioinformatics of genome regulation and structure\ systems biology" Novosibirsk, August 29 – September 2, 2016 – 1 доклад (Chernykh I., Glinskiy B., Kuchin N.).

6. The 16th International conference on algorithms and architectures for parallel processing "ICA3PP 2016", Granada, December 14–16, 2016 – 1 доклад (Glinskiy B., Chernykh I., Weins D.).

7. "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 3–7 октября 2016 г. – 3 доклада (Глинский Б. М., Черных И. Г.).

8. Параллельные вычислительные технологии 2016, Архангельск, 28 марта – 1 апреля 2016 г. – 2 доклада (Черных И. Г., Глинский Б. М.).

9. 8-й Сибирский форум индустрии информационных систем, Новосибирск, 6–7 апреля 2016 г. – 2 доклада (Черных И. Г., Глинский Б. М.).

10. Всероссийская конференция "Нелинейные волны: теория и новые приложения", Новосибирск, 29 февраля – 2 марта 2016 г. – 1 доклад (Черных И. Г.)

11. British council and Russian foundation for basic research Russian-British workshop "Uncertainty quantification in inverse modelling", Новосибирск, 25–27 апреля 2016 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).

12. Международная конференция IXPUG/Ru, Санкт-Петербург, 9–10 июня 2016 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).

13. Национальный Суперкомпьютерный форум 2016, Переславль-Залесский, 29 ноября – 2 декабря 2016 г. – 2 доклада (Глинский Б. М., Черных И. Г.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных *Wos* – 5
 Публикаций, индексируемых в базе данных *Scopus* – 6
 Публикаций, индексируемых в базе данных *РИНЦ* – 6
 Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 4
 Публикаций в материалах международных конференций – 8
 Публикаций в прочих изданиях – 2
 Докладов на конференциях – 18, в том числе 2 пленарных.
 Участников оргкомитетов конференций – 4

Кадровый состав

Глинский Б. М.	зав. лаб.,	д.т.н.
Черных И. Г.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
Ломакин С. В.	м.н.с.	
Винс Д. В.	м.н.с.	0.5
Титов П. А.	м.н.с.	0.25
Кучин Н. В.	гл. спец. по СПО	
Макаров И. Н.	вед. програм.	
Зернова Л. В.	вед. програм.	0.75
Кононов А. А.	инженер-электр.	0.5
Сапетина А. Ф.	инженер	0.1, аспирант
Титов П. А., Ломакин С. В. – молодые научные сотрудники.		

Педагогическая деятельность

Глинский Б. М. – профессор, зав. кафедрой ММФ НГУ

Руководство аспирантами

1. Титов П. А. – 3-й курс аспирантуры.
2. Сапетина А. Ф. – 2-й курс аспирантуры.