

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 2019 г.



Новосибирск-2019

СОДЕРЖАНИЕ

Научно-организационная деятельность	4
Основные результаты научных исследований в 2019 г.	18
Лаборатория методов Монте-Карло	32
Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений.....	43
Лаборатория стохастических задач	51
Лаборатория вычислительной физики	64
Лаборатория математических задач химии	71
Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере	81
Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде	97
Лаборатория численного анализа и машинной графики.....	112
Лаборатория математических задач геофизики	124
Лаборатория обратных задач естествознания	136
Лаборатория математического моделирования волн цунами	146
Лаборатория геофизической информатики	152
Лаборатория обработки изображений.....	163
Лаборатория системного моделирования и оптимизации.....	170
Лаборатория синтеза параллельных программ	185
Лаборатория суперкомпьютерного моделирования	194
Справочная информация	208

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

27 декабря 2019 г. приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 18 декабря 2019 г. № 20-3/691п-о М. А. Марченко назначен на должность директора ИВМиМГ СО РАН.

Награды сотрудников Института в 2019 г.:

– медалью ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени награжден чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.;

– медалью "За заслуги" Федерации космонавтики России награжден д.т.н. Пяткин В. П.;

– Почетной грамотой СО РАН награждены советник РАН, чл.-корр. РАН Михайлов Г. А. и д.т.н. Хайретдинов М. С.;

– почетное звание "Заслуженный ветеран Сибирского отделения РАН" присвоено д.ф.-м.н., проф. РАН Марченко М. А., к.ф.-м.н. Шахову В. В., Лысковской Е. В., Драгуну Е. М.

Проведено 17 заседаний Ученого совета института, на которых были рассмотрены научные, кадровые и организационные вопросы, заслушаны научные доклады сотрудников Института:

– «Рандомизированные алгоритмы метода Монте-Карло для задач со случайными параметрами (метод "двойной рандомизации")», чл.-корр. РАН Г. А. Михайлов;

– "Вибрационные геотехнологии в изучении взаимодействия сопряженных геофизических полей и прогнозировании геоэкологических рисков", д.т.н. М. С. Хайретдинов;

– "Адаптация уравнений Максвелла – Паркера – Моффата к описанию ЭМП Земли", д.ф.-м.н. В. В. Аксенов;

– о работе по гранту РФФИ № 19-11-00048 "Вычислительные модели процессов нефтедобычи в районах Северо-Восточной Сибири и их реализация в виде высокопроизводительного программного обеспечения на суперЭВМ для задач фильтрации многофазной жидкости, задач фильтрационного горения газа и задач теплопереноса при наличии фазовых переходов", д.ф.-м.н. Ю. М. Лаевский;

– о работе по гранту РФФИ № 18-11-00044 "Разработка, реализация и исследование эффективных параллельных вычислительных методов для решения уравнений гидродинамики с использованием технологии вложенных сеток на массивно-параллельных суперЭВМ", д.ф.-м.н. И. М. Куликов;

– о работе по гранту РФФИ № 19-11-00019 "Рандомизация суперкомпьютерных вычислений и стохастическое моделирование процессов транспорта и рекомбинаций в полупроводниках, нуклеации и роста наноразмерных структур и их катодолюминесцентной визуализации", д.ф.-м.н. К. К. Сабельфельд; результаты по данному проекту РФФИ вошли в число самых ярких результатов исследований грантополучателей фонда в 2019 г.;

– о работе по гранту РФФИ № 19-71-20026 "Численное моделирование открытых плазменных ловушек для решения задач управляемого термоядерного синтеза с использованием перспективных высокопроизводительных вычислительных систем", к.ф.-м.н. И. Г. Черных;

– о выставке-конференции "The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis" (SC19), к.ф.-м.н. И. Г. Черных.

Прошел семинар на тему "Математические основы цифрового месторождения", выступили к.г.-м.н. В. Лапковский (ИНГГ СО РАН) и к.т.н. А. Конурин (ИГД СО РАН).

Постановлением Президиума СО РАН № 24 от 28.01.2019 ИВМиМГ СО РАН награжден Почетной грамотой Президиума СО РАН.

Подписаны договоры:

- о стратегическом сотрудничестве и о научно-исследовательском сотрудничестве с Сибирским государственным университетом геосистем и технологий;
- о сотрудничестве в научно-исследовательской и образовательной деятельности с Сибирским государственным университетом телекоммуникаций и информатики;
- о научно-исследовательском сотрудничестве с ИНГГ СО РАН;
- о сотрудничестве между Институтом математики им. С. Л. Соболева СО РАН, ИВМиМГ СО РАН и Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого;
- о сотрудничестве в области образовательной деятельности с лицеем № 130 им. акад. М. А. Лаврентьева для реализации модели опорной школы РАН.

Представители ИВМиМГ в составе делегации СО РАН посетили Омский НИИ приборостроения.

Сотрудники ИВМиМГ СО РАН удостоены благодарности за участие в организации и проведении 4-го Международного форума-выставки "Городские технологии 2019".

Врио директора ИВМиМГ СО РАН М. А. Марченко выступил с докладом на круглом столе «Взаимодействие науки, промышленности и предпринимательства в реализации национального проекта "Цифровая экономика"».

18 сентября 2019 г. на 7-м Международном форуме-выставке технологического развития "Технопром" намечены планы сотрудничества с белорусскими коллегами в области природоохранного прогнозирования и суперкомпьютерных технологий; проф. РАН, врио директора М. А. Марченко выступил модератором диалога "Цифровая трансформация социально-экономических систем" и панельной дискуссии "Большие данные – большие вызовы: задачи и платформы для бизнеса, науки и государства"; выступил с докладом чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

В 2019 г. проводились работы по 9 базовым проектам фундаментальных научных исследований, 45 проектам РФФИ (из них 23 инициативных, 7 молодежных, 8 региональных, 1 проект на поддержку проведения конференции, 2 международных, 2 гранта "Экспансия-2019", 1 грант "Аспиранты-2019", 1 грант на научный проект, выполняемый молодым ученым под руководством кандидатов и докторов наук), 8 проектам РНФ, 6 проектам СО РАН и 1 проекту Президиума РАН.

В институте работают два совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук: Д 003.061.01 (председатель чл.-корр. РАН Михайлов Г. А.) и Д 003.061.02 (председатель чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.). В 2019 г. состоялись три заседания по присуждению ученой степени доктора физико-математических наук, в том числе сотруднику ИВМиМГ Терехову А. В., и три заседания по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук, в том числе сотруднику ИВМиМГ Н. С. Новикову.

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 автоматики и вычислительной техники).

С Сибирским государственным университетом телекоммуникаций и информатики заключено соглашение о создании совместной кафедры высокопроизводительных вычислений и обработки больших данных.

В институте работают десять научных семинаров.

В институте проводится обучение в аспирантуре по шести образовательным программам (специальностям).

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 6 номеров в год. Главный редактор – чл.-корр. 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 Q3.

– С 1998 г. издается "Сибирский журнал вычислительной математики", периодичность 4 номера в год. Главный редактор – чл.-корр. 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 1995 г. издается журнал "Monte Carlo Methods and Applications" с периодичностью 4 номера в год. Главный редактор – д.ф.-м.н. К. К. Сабельфельд. Журнал индексируется в системах цитирования Web of Science и Scopus.

– С 2008 г. издается журнал "Проблемы информатики", периодичность 4 номера в год. Главный редактор – д.т.н. В. Э. Малышкин, заместители главного редактора: д.т.н. А. С. Родионов, к.ф.-м.н. В. В. Шахов. С 31 октября 2019 г. журнал включен в перечень ВАК.

– 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.

Международные конференции

В 2019 г. проведено семь международных конференций:

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

2. 33-я Летняя международная молодежная школа-конференция по параллельному программированию, Новосибирск, 1–12 июля 2019 г.

3. 15-я Международная конференция "Параллельные компьютерные технологии-2019", г. Алматы (Республика Казахстан), 19–23 августа 2019 г.

4. 15-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.

5. Международная конференция "Евразийская конференция по прикладной математике", Новосибирск, 26–29 августа 2019 г.

6. 11-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.

7. Международное рабочее совещание по теме "Численные методы в магнитной газовой динамике и в физике плазмы: модели, методы, результаты", Москва, 10–11 октября 2019 г.

Международные соглашения, контракты, гранты

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

1. Меморандум о взаимопонимании по проведению совместных исследований в области системного моделирования и оптимизации в информационных сетях между ИВМиМГ СО РАН и Сункьонкванским национальным университетом (Республика Корея).

Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – зав. лабораторией системного моделирования и оптимизации д.т.н. А. С. Родионов; от Сункьонкванского национального университета – руководитель исследовательского центра по распознаванию образов Донгхо Вон.

Срок меморандума: 01.01.2007 г. – 31.12.2019 г.

2. Договор о сотрудничестве по осуществлению обмена, разработки и накопления знаний, информации, практических навыков, опыта и технологий в области параллельных вычислений между ИВМиМГ СО РАН 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 – проф., заместитель директора по науке и инновациям Мохд Азрай Кассим /Mohd Azraai Kassim.

Срок договора: 05.12.2013 г. – 05.12.2019 г.

3. Договор о научно-исследовательском сотрудничестве в области развития методов математического и компьютерного моделирования для целей рационального природопользования и охраны окружающей среды между ИВМиМГ СО РАН и Восточно-Казахстанским государственным техническим университетом им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск (Республика Казахстан).

Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – 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.

4. Меморандум о взаимном сотрудничестве в области вычислительной математики, информатики и математического моделирования между Международным казахско-турецким университетом им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан (Республика Казахстан), и ИВМиМГ СО РАН.

Координаторы: от Международного казахско-турецкого университета – ректор У. С. Абдибеков; от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок меморандума: 28.10.2015 г. – 28.10.2020 г.

5. Соглашение о сотрудничестве N170-1/15 по теме "Математическое и компьютерное моделирование" между АО "Международный университет информационных технологий", г. Алматы (Республика Казахстан), и ИВМиМГ СО РАН.

Координаторы: от АО "Международный университет информационных технологий" – ректор Д. А. Шыныбеков; от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 02.11.2015 г. – 02.11.2020 г.

6. Соглашение о научном сотрудничестве по теме "Обратные задачи математической физики" между Школой математики Шанхайского университета финансов и экономики, г. Шанхай (Китай), и ИВМиМГ СО РАН.

Координаторы: от Школы математики Шанхайского университета финансов и экономики – ректор Джин Ченг; от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 06.12.2016 г. – 06.12.2021 г.

7. Договор о научно-техническом сотрудничестве в области математической и экспериментальной геофизики между ИВМиМГ СО РАН и Институтом астрономии и геофизики Монгольской академии наук, г. Улаанбаатар (Монголия).

Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – зам. директора д.т.н. В. В. Ковалевский; от Института астрономии и геофизики Монгольской академии наук – директор Д. Содномсамбуу.

Срок договора: 21.07.2017 г. – 21.07.2022 г.

8. Соглашение о сотрудничестве в сфере образования, науки, научно-технической и инновационной деятельности в области математического моделирования и параллельных вычислительных технологий между Международным университетом инновационных технологий, г. Бишкек (Кыргызстан) и ИВМиМГ СО РАН.

Координаторы: от Международного университета инновационных технологий – ректор У. Т. Бегалиев; от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 10.10.2017 г. – 10.10.2022 г.

9. Соглашение о сотрудничестве в области интернационализации высшего образования по теме системного моделирования и оптимизации в информационных сетях и математического и компьютерного моделирования между университетом города Пизы (Италия) и ИВМиМГ СО РАН.

Координаторы: от университета Пизы – ректор П. М. Манкарелла; от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 10.01.2018 г. – 10.01.2023 г.

10. Договор о сотрудничестве на проведение исследований задач, возникающих при разведке и добыче нефти и газа в Республике Узбекистан, между Каршинским государственным университетом, г. Карши (Республика Узбекистан), и ИВМиМГ СО РАН.

Координаторы: от Каршинского государственного университета – ректор Б. А. Шоимкулов; от ИВМиМГ СО РАН – директор, д.ф.-м.н., проф. РАН М. А. Марченко.

Срок договора: 16.09.2019 г. – 15.09.2023 г.

Выполнялись либо были получены гранты:

1. Грант РФФИ 17-51-540004 Вьет_а "Обоснование существующих и разработка новых численных методов решения обратных и некорректных задач для эллиптических и параболических уравнений".

Зарубежный участник – Институт математики Вьетнамской Академии наук и технологий, г. Ханой (Вьетнам).

Координаторы: руководитель проекта с российской стороны – чл.-корр. РАН, проф. С. И. Кабанихин (ИВМиМГ СО РАН); руководитель проекта с вьетнамской стороны – проф. Динх Нхо ХАО/Dinh Nho Hao (Институт математики Вьетнамской Академии наук и технологий, Ханой (Вьетнам)).

Даты начала и окончания работ по теме: 01.03.2017 г. – 01.03.2019 г.

2. Грант № BR05236340 Каз_а «Создание высокопроизводительных интеллектуальных технологий анализа и принятия решения для системы "логистика – агломерация" в рамках формирования цифровой экономики Республики Казахстан».

Зарубежный участник – НИИ математики и механики Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы (Республика Казахстан).

Координаторы: руководитель проекта с казахской стороны – д.т.н., проф. Д. Ж. Ахмед-Заки (КазНУ им. Аль-Фараби); руководитель проекта с российской стороны – д.т.н., проф. В. Э. Малышкин (ИВМиМГ СО РАН).

Даты начала и окончания работ по теме: 01.02.2018 г. – 25.10.2020 г.

3. Грант № AP05134651 Каз_а "Разработка системы управления активными знаниями для автоматизации конструирования высокопроизводительных параллельных программ обработки неструктурированных данных и численного моделирования в задачах фильтрации".

Зарубежный участник – НИИ математики и механики Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы (Республика Казахстан).

Координаторы: руководитель проекта с казахской стороны – д.т.н., проф. Д. Ж. Ахмед-Заки (КазНУ им. Аль-Фараби); руководитель проекта с российской стороны – д.т.н., проф. В. Э. Малышкин (ИВМиМГ СО РАН).

Даты начала и окончания работ по теме: 01.02.2018 г. – 25.10.2020 г.

4. Грант РФФИ АНФ_а "Моделирование образования звезд на массивно параллельных суперкомпьютерах".

Зарубежный участник – Университет г. Вена (Австрия).

Координаторы: руководители проекта с австрийской стороны – проф. М. Юдель и проф. Э. Воробьёв; руководитель проекта с российской стороны – с.н.с., д.ф.-м.н. И. М. Куликов (ИВМиМГ СО РАН).

Даты начала и окончания работ по теме: 08.11.2019 г. – 31.12.2023 г.

Командировки за рубеж

В 2019 г. за рубеж командировано 20 сотрудников вместо 29 в 2018 г., из них 19 командировок для участия в международных конференциях, 1 краткосрочная командировка, касающаяся научной кооперации. Страны, в которые было осуществлено командирование: США, Германия, Австрия, Франция, Швеция, Испания, Австралия, Республика Казахстан.

США

1.* Черных И. Г., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в международной конференции "Суперкомпьютеры" (SC19) и "Интел – высокопроизводительные вычисления" (HPC), г. Денвер, США, 13.11.2019 г. – 25.11.2019 г.

Германия

2.* Сабельфельд К. К., г.н.с. Совместная работа по исследованию методов визуализации дислокаций, Институт твердотельной электроники, г. Берлин (Германия), 25.05.2019 г. – 28.06.2019 г.

3.* Приходько А. Ю., инженер. Участие в международной конференции "Глубокое обучение и обратные задачи" ("Deep Learning and Inverse Problems"), г. Бремен (Германия) 03.11. 2019 г. – 09.11.2019 г.

Австрия

4.* Пененко А. В., с.н.с. Участие в Генеральной Ассамблее Европейского Геофизического Союза (EGU General Assembly-2019), г. Вена (Австрия), 07.04.2019 г. – 13.04.2019 г.

5.* Воронина Т. А., с.н.с. Участие в Генеральной Ассамблее Европейского Геофизического Союза (EGU General Assembly-2019), г. Вена (Австрия), 07.04.2019 г. – 13.04.2019 г.

* Здесь и далее означает командирование за счет гранта.

Франция

6.* Куликов И. М., с.н.с. Участие в международной конференции по вычислительной астрофизике ("AstroNum-2019"), г. Париж (Франция), 30.06.2019 г. – 06.07.2019 г.

7.* Черных И. Г., с.н.с. Участие в международной конференции по вычислительной астрофизике ("AstroNum-2019"), г. Париж (Франция), 01.07.2019 г. – 06.07.2019 г.

Испания

8.* Куликов И. М., с.н.с. Участие в международной конференции "Астрофизика горячей плазмы" ("XMM-NEWTON 2019"), г. Мадрид (Испания), 09.06.2019 г. – 17.06.2019 г.

9.* Куликов И. М., с.н.с. Участие в международной конференции "Физика высоких энергий в релятивистских потоках" ("HEPRO VII"), г. Барселона (Испания), 06.07.2019 г. – 16.07.2019 г.

10.* Каргаполова Н. А., н.с. Участие в 6-й Международной конференции по временным рядам и прогнозированию, г. Гранада (Испания), 22.09.2019 г. – 29.09.2019 г.

11.* Каргаполова Н. А., н.с. Участие в 33-й Международной конференции по моделированию, г. Пальма-де-Майорка (Испания), 25.10.2019 г. – 02.11.2019 г.

Швеция

12.* Черных И. Г., с.н.с. Участие в международной конференции "Астрохимия: от нанометров до мегапарсек", г. Гетеборг (Швеция), 21.06.2019 г. – 28.06.2019 г.

Австралия

13.* Черных И. Г., с.н.с. Участие в 20-й Международной конференции "Параллельные и распределенные вычисления, приложения и технологии", г. Голд Коаст (Австралия), 01.12.2019 г. – 10.12.2019 г.

Республика Казахстан

14.* Малышкин В. Э., зав. лабораторией. Организация и участие в 15-й международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 18.08.2019 г. – 25.08.2019 г.

15.* Городничев М. А., н.с. Организация и участие в 15-й Международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 04.08.2019 г. – 25.08.2019 г.

16.* Киреев С. Е., н.с. Организация и участие в 15-й Международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 17.08.2019 г. – 24.08.2019 г.

17.* Перепёлкин В. А., н.с. Организация и участие в 15-й Международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 04.08.2019 г. – 25.08.2019 г.

18.* Киреева А. Е., н.с. Участие в 15-й Международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 17.08.2019 г. – 24.08.2019 г.

19.* Сабельфельд К. К., г.н.с. Участие в 15-й Международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 17.08.2019 г. – 25.08.2019 г.

20.* Черных И. Г., с.н.с. Участие в 15-й Международной конференции "Параллельные компьютерные технологии" ("PaCT-2019"), г. Алматы (Республика Казахстан), 20.08.2019 г. – 23.08.2019 г.

Прием зарубежных ученых и представителей фирм

В 2019 г. были приняты 77 иностранных гостей из десяти стран: Германия – 1, Франция – 4; Великобритания – 1; Италия – 1; Китай – 40; США – 1; Вьетнам – 1; Республика Казахстан – 26; Республика Узбекистан – 1, Республика Кыргызстан – 1. Из них 16 научных сотрудников, 33 преподавателя; 28 студентов (среди них 9 – из Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, (Китай)).

1. Чжень ЯН / Zhen YANG, магистрант Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 03.10.2017 г. – 30.07.2019 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ по программе "Прикладная математика и информатика" на базе НГУ и ИВМиМГ СО РАН.

2. Бо ЧЖАО / Bo ZHAO, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 09.10.2017 г. – 30.07.2019 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по программе "Прикладная математика и информатика".

3. Дарья Владимировна ЕРМОЛЕНКО, гражданка Республики Казахстан, магистр НГУ. Срок визита: 03.11.2017 г. – 31.05.2021 г. Цель визита: научная работа в лаборатории математических задач геофизики по проекту "Суперкомпьютерный анализ социальных, эпидемиологических и экономических процессов. Теория, алгоритмы, комплекс программ".

4. Пэнфэй ЧЖЕН / Pengfei ZHENG, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 14.11.2017 г. – 30.07.2019 г. Цель визита: обучение по магистерской программе "Прикладная математика и информатика" ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специальности "Вычислительная математика".

5. Марина АКЕНТЬЕВА, гражданка Казахстана, студентка ММФ НГУ. Срок визита: 15.02.2018 г. – 10.09.2021 г. Цель визита: обучение по программе бакалавриата ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Методы Монте-Карло", работа над дипломной работой по теме "Алгоритмы численного статистического моделирования метеорологических процессов".

6. Василий ГОРШУНОВ, гражданин Казахстана, бакалавр НГУ. Срок визита: 16.07.2018 г. – 16.06.2023 г. Цель визита: научная работа по проекту "Высокопроизводительные методы и технологии моделирования электрофизических процессов и устройств".

7. Жадыры Саматовна МУКАТОВА, студентка НГУ, гражданка Республики Казахстан. Срок визита: 15.04.2019 г. – 14.04.2024 г. Цель визита: научная работа по проекту "Методы анализа и интерпретации изображений на основе решения обратных задач и задач усвоения данных с использованием систем основных и сопряженных уравнений моделей наблюдаемых процессов".

8. Акжан САЛИМОВА, студентка НГУ, гражданка Республики Казахстан. Срок визита: 18.09.2018 г. – 02.09.2019 г. Цель визита: научная работа по проекту "Методы анализа и интерпретации изображений на основе решения обратных задач и задач усвоения данных с использованием систем основных и сопряженных уравнений моделей наблюдаемых процессов".

9. Цюань МУ / Quan MU, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 08.10.2018 г. – 31.08.2022 г. Цель визита: прохождение обязательных и специальных курсов согласно учебной программе аспирантуры по специальности "Прикладная математика и информатика" и работа по подготовке кан-

дидатской диссертационной работы по теме "Численное статистическое моделирование в задачах теории переноса с приложениями в области оптики атмосферы и океана".

10. Шуан ЛЮ / Shuang LIU, магистр Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 10.10.2018 г. – 30.07.2020 г. Цель визита: прохождение курса магистерской программы ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по направлению "Механика и математическое моделирование" со специализацией "Обратные задачи математической физики".

11. Ли ЦЗИЮЙ/Li TSIUI, студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 22.10.2018 г. – 30.06.2019 г. Цель визита: прохождение курса магистерской программы ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по направлению "Механика и математическое моделирование" со специализацией "Обратные задачи математической физики".

12. Максим БАСУРМАНОВ, магистрант НГУ, гражданин Казахстана. Срок визита: 15.10.18 г. – 30.06.19 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Обратные задачи охраны окружающей среды и экологии".

13. Юй СУ / Yu SU, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 11.10.2018 г. – 11.07.2020 г. Цель визита: прохождение курса магистерской программы ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме "Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом тепловой энергии для параболических задач математической физики" (курс акад. А. Н. Коновалова).

14. Динара ТОКСЕИТ, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан. Срок визита: 01.04.19 г. – 01.05.19 г. Цель визита: стажировка по спецкурсам "Обратные задачи математической физики", "Численные методы решения задач естествознания", "Высокопроизводительные технологии в математическом моделировании".

15. Шуай ЧЖАН / Shuai ZHANG, зам. генерального секретаря Гуандунского союза по международному научно-техническому сотрудничеству со странами СНГ, г. Гуанчжоу, Китай. Срок визита: 06.04.19 г. – 08.04.19 г. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института, обсуждение перспектив сотрудничества.

16. Цзяньпинь ЯН / Jian Bin YANG, зам. зав. канцелярией по комплексному управлению Циндаоского международного академического парка (руководитель делегации), г. Циндао, Китай.

17. Минь ДУН / Min DONG, руководитель Центра обслуживания талантов района Лицан, г. Циндао, Китай.

18. Бэнь КУН / Ben KONG, менеджер проекта канцелярии по комплексному управлению Циндаоского международного академического парка, г. Циндао, Китай.

19. Цинцин ЯН / JingJing YANG, менеджер проекта канцелярии по комплексному управлению Циндаоского международного академического парка, г. Циндао, Китай. Срок визита: 17.04.2019 г. – 18.04.2019 г. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

20. Люка ЛЁ БАР / Lucas LE BARS, студент Лицея Сан-Жозеф-Ла-Саль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 06.06.19 г. – 07.07.19 г. Цель визита: стажировка в области параллельных вычислительных технологий в соответствии с учебными планами НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН.

21. Люка Гастон Кристиан ЛЁ ГЛЁ / Lucas Gaston Christian /ЛЁ ГЛЁ LE GLEUT, студент Лицея Сан-Жозеф-Ла-Саль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 06.06.19 г. – 07.07.19 г. Цель

визита: стажировка в области параллельных вычислительных технологий в соответствии с учебными планами НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН.

22. Казизат ИСКАКОВ, проф. Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 09.07.19 г. – 12.07.19 г. Цель визита: обсуждение научных результатов по теме АР05135992 "Разработка новой информационной системы и базы данных для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами".

23. Зарина Толеубековна ХАСЕНОВА, старший преподаватель Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева, Республика Казахстан. Срок визита: 09.07.19 г. – 12.07.19 г. Цель визита: обсуждение научных результатов по теме АР05135992 "Разработка новой информационной системы и базы данных для оптимизации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами".

24. Шухуа ЧЖАН / Shuhua ZHANG, проф. университета финансов и экономики г. Тяньцзинь, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 29.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

25. Ю ЦЗЯН / Yu JIANG, проф. университета финансов и экономики, Шанхай, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

26. Цзинь ЧЭН / Jin CHENG, проф. Фуданьского университета, г. Шанхай, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

27. Динхуа СЮЙ / Dinghua XU, проф. Чжецзянский научно-технический университет, г. Ханчжоу, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

28. Вейнянь ЧЖАН / Weinian ZHANG, проф. Сычуаньского университета г. Чэнду, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

29. Вэнь ЧЖАН / Wen ZHANG, доцент Восточно-китайского технологического университета, г. Наньчан, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

30. Цзицзюнь ЛЮ / Jijun LIU, проф. Юго-восточного университета г. Нанкин, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

31. Танвей ЛЮ / Tangwei LIU, доцент Восточно-китайского технологического университета, г. Наньчан, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

32. Шуай ЛУ / Shuai LU, проф. Фуданьского университета, г. Шанхай, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной

математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

33. ЦЗЭВЭНЬ ВАН / Zewen WANG, проф. Восточно-китайского технологического университета, г. Наньчан, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

34. Тин ВЭЙ / Ting WEI, проф. Университета г. Ланьчжоу, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

35. Виктор Михаил ИСАКОВ / Victor Mihail ISAKOV, проф. Государственного университета Вичиты, г. Вичита, США. Срок визита: 23.08.19 г. – 06.09.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

36. Вэй ЧЭНЬ / Wei CHEN, секретарь Фуданьского университета, г. Шанхай, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 31.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

37. Чжоушен ЖУАНЬ / Zhousheng RUAN, доцент Восточно-китайского технологического университета, г. Наньчан, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 31.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

38. Шуфан ЦЮ / Shufang QIU, доцент Восточно-китайского технологического университета, г. Наньчан, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 31.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

39. Бинь ХУ / Bin HU, доцент Восточно-китайского технологического университета, г. Наньчан, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 31.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

40. Хуэйлинь СЮЙ / Huilin XU, доцент Ганьнаньского педагогического университета, г. Ганьчжоу, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 31.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

41. Синцзюнь ЛО / Xingjun LUO, проф. Ганьнаньского педагогического университета г. Ганьчжоу, Китай. Срок визита: 25.08.19 г. – 31.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

42. Динх Нхо ХАО / Dinh Nho HAO, проф. Института математики Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

43. Казизат ИСКАКОВ, проф. Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 25.08.19 г. – 30.08.19 г. Цель визита: участие в Евразийской конференции по прикладной математике и молодежной научной

школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач".

44. Ержан Галымжанулы КЕНЖЕБЕК, студент 4-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

45. Нурислам Муратбекулы КАСЫМБЕК, студент 4-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

46. Данил ЛЕБЕДЕВ, зав. кафедрой бизнес информатики университета международно-го бизнеса. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

47. Дарья Юрьевна ЧИКИБАЕВА, студентка 4-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

48. Айбек Талғатұлы ЕРТҮЯК, студент 3-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

49. Куаныш Амандықұлы НУРБЕГЕН, студент 4-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

50. Батыр Берикович КАДИРБЕКОВ, студент 3-го курса механико-математического факультета Казахского национального университета им. Аль-Фараби. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

51. Аксултан Айтуарулы МУХАНБЕТ, студент 4-го курса факультета информационных технологий Казахского национального университета им. Аль-Фараби. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

52. Жалғас Абдуалиұлы СЕЙДАЛИЕВ, студент 3-го курса механико-математического факультета Казахского национального университета им. Аль-Фараби. Срок визита: 01.07.19 г. – 14.07.19 г. Цель визита: участие в Летней международной 33-й Школе-конференции по параллельному программированию.

53. Бигуль МУХАМЕТЖАНОВА, докторант 2-го курса Евразийского национального университета им. Гумилёва, г. Нур – Султан, Казахстан. Срок визита: 01.10.19 г. – 14.11.19 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Вычислительная техника и программное обеспечение".

54. Чжаоян ЛИ / Zhaoyang LI, студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 07.10.2019 г. – 31.08.2021 г. Цель визита: обучение по магистерской программе ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Вычислительная математика".

55. Динара Каменовна КОЙКЕЛОВА, докторант 2-го курса Национального университета им. Гумилёва, г. Нур-Султан, Республика Казахстан. Срок визита: 01.10.19 г. – 29.12.19 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Математическое и компьютерное моделирование".

56. Альмира Сериккановна АХМЕТКАЛИЕВА, докторант 2-го курса Национального университета им. Гумилёва, г. Нур-Султан, Республика Казахстан. Срок визита: 01.10.19 г. – 29.12.19 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Математическое и компьютерное моделирование".

57. Елдос Мухтарович МУХАМЕТОВ, докторант 2-го курса Национального университета им. Гумилёва, г. Нур-Султан, Республика Казахстан. Срок визита: 01.10.19 г. – 29.12.19 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Математическое и компьютерное моделирование".

58. Айгерим Курмангалиевна ЕРДЕНОВА, докторант 2-го курса Национального университета им. Гумилёва, г. Нур-Султан, Республика Казахстан. Срок визита: 01.10.19 г. – 29.12.19 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Математическое и компьютерное моделирование".

59. Шуан ЛЮ / Shuang LIU, магистрант Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 23.10.19 г. – 31.12.19 г. Цель визита: прохождение спецкурса по магистерской программе ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме "Параллельные вычислительные технологии математического моделирования".

60. Кира РЕХФЕЛЬД / Kira RENFELD, научный сотрудник института физики окружающей среды, г. Хейдельберг, Германия. Срок визита: 31.10.2019 г. Цель визита: выступление с докладом "Климатические изменения со времени последнего ледникового периода по модельной оценке, основанной на глобальных спелеотемах".

61. Лэйа КОМАС БРУ / Laia COMAS BRU, научный сотрудник Школы археологии, географии и науках об окружающей среде университета города Рединга, Великобритания. Срок визита: 31.10.2019 г. Цель визита: выступление с докладом "Климатические изменения со времени последнего ледникового периода по модельной оценке, основанной на глобальных спелеотемах".

62. Мухиддин Гайрат угли МАХМАСОАТОВ, студент 1-го курса ММФ НГУ, гражданин Узбекистана. Срок визита: 05.11.2019 г. – 30.07.2020 г. Цель визита: обучение по спецкурсу "Численные алгоритмы усвоения данных" на базе ИВМиМГ СО РАН.

63. Чжоу Хун / ZHOU HONG – президент Европейского и Российского исследовательского институтов ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ", г. Москва. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

64. Сяо Чуньпэн / XIAO CHUNPENG – директор новосибирского центра ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ". Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

65. Суи Хонг / SUI HONG – ведущий менеджер по техническому сотрудничеству новосибирского центра ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ". Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

66. Сун Юйин / SONG YUYING – инженер ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ", г. Москва. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

67. Янь Цинвэнь / YAN QINGWEN – инженер новосибирского центра ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ". Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

68. Ян Симин / YANG SIMING – директор департамента человеческих ресурсов Российского исследовательского института ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ", г. Москва. Цель визи-

та: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

69. Чжоу Синьжун / ZHOU XINRONG – технический эксперт ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ", г. Москва. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

70. Ли Цзин / LI JING – эксперт отдела кадров ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ", г. Москва. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

71. Вэй Сяньюй / WEI XIANGYU – инженер ООО "Техкомпания ХУАВЕЙ", г. Москва. Срок визита: 02.12.2019 г. Цель визита: ознакомление с деятельностью Института и обсуждение научно-технического сотрудничества.

72. Микеле ПАГАНО / Michele PAGANO, проф. университета г. Пизы, Италия. Срок визита: 25.11.2019 г. – 31.12.2019 г. Цель визита: знакомство с разработками сотрудников лаборатории системного моделирования и оптимизации. Обсуждение перспектив сотрудничества.

73. Нуржан МУНТАЕВ, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 03.12.2019 г. – 04.12.2019 г. Цель визита: консультации по теме "Анализ и оптимизация сложных сетей" с целью подготовки диссертации.

74. Улагат АМИРЕУЛЫ, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 03.12.2019 г. – 04.12.2019 г. Цель визита: консультации по теме "Анализ и оптимизация сложных сетей" с целью подготовки диссертации.

75. Амандин ВАЙО / Amandine VAILLANT, руководитель отдела высшего образования Лицея Сан-Жозеф-Ла-Саль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 12.12.19 г. – 14.12.19 г. Цель визита: обсуждение подготовки студентов Лицея Сан-Жозеф-Ла-Саль к стажировкам в ИВМиМГ СО РАН.

76. Магали Сесиль Маделон ГАРД / Magali Cecile Madelon GARDE, руководитель отдела международных связей Лицея Сан-Жозеф-Ла-Саль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 12.12.19 г. – 14.12.19 г. Цель визита: обсуждение подготовки студентов Лицея Сан-Жозеф-Ла-Саль к стажировкам в ИВМиМГ СО РАН.

77. Айжан Рустамовна ОСМОНОВА, гражданка Республики Кыргызстан, студентка НГУ. Срок визита: 20.12.19 г. – 30.07.21 г. Цель визита: выполнение бакалаврской дипломной работы на базе лаборатории системного моделирования и оптимизации ИВМиМГ СО РАН.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИВМиМГ СО РАН ЗА 2019 г.

Представлены результаты по четырем основным научным направлениям института: вычислительная математика, математическое моделирование и методы прикладной математики, параллельные и распределенные вычисления, информационные системы.

Новый алгоритм решения обратной задачи идентификации источников в моделях процессов адвекции – диффузии – реакции на основе операторов чувствительности целевых функционалов по данным измерений типа изображений

В. В. Пененко, д.ф.-м.н., А. В. Пененко, к.ф.-м.н. (лаборатория математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде)

Для нестационарных моделей переноса и трансформации примесей в атмосфере (моделей адвекции-диффузии-реакции) различных пространственных размерностей разработан алгоритм идентификации источников на основе операторов чувствительности целевых функционалов по данным измерений типа изображений (т. е. временных рядов значений функции состояния модели в заданных точках области, высотных профилей и изображений функции состояния в определенные моменты времени). Операторы чувствительности строятся на основе ансамблей решений сопряженных задач, соответствующих заданному набору целевых функционалов от функций состояния модели [1–3]. Благодаря ансамблевому характеру алгоритма, он естественно отображается на параллельные вычислительные архитектуры. На рис. 1 представлен результат работы алгоритма по восстановлению функции источников загрязнений по данным мониторинга [1]. Алгоритм применим и в других областях приложений, в частности к задачам идентификации источников для моделей биологии развития по данным микроскопии [2].

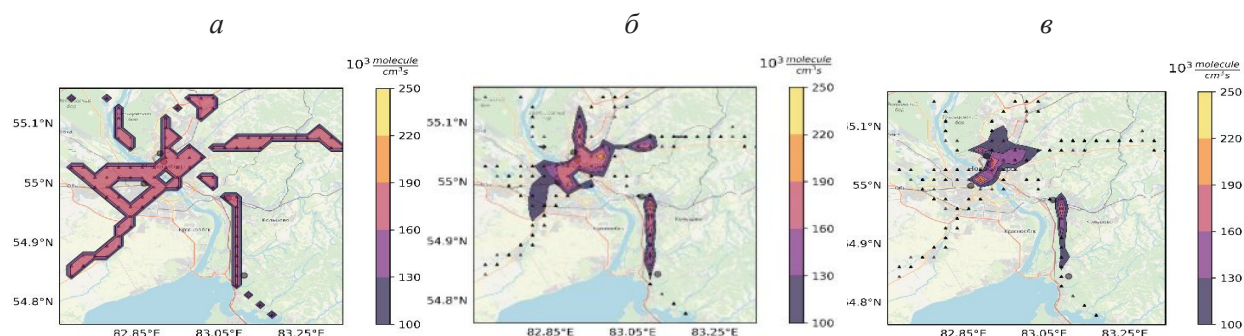


Рис. 1: Идентификация стационарных источников NO по временным рядам концентрации O_3 на 5 постах мониторинга (а); проекция "точного" решения на дополнение ядра оператора чувствительности (оценка "видимого" источника) (б) и результат решения задачи идентификации источника (в). Сценарный расчет на примере г. Новосибирска [1]

Новый эффект нерадиационной рекомбинации экситона на дислокациях: теория, моделирование и экспериментальное исследование подвижности экситонов в полупроводниковых материалах

К. К. Сабельфельд, д.ф.-м.н., А. Е. Киреева, к.ф.-м.н. (лаборатория стохастических задач)

Обнаружен новый эффект нерадиационной рекомбинации экситона на дислокациях, построены теория этого взаимодействия, проведено стохастическое моделирование и экспериментальное исследование совместно с физиками из Института твердотельной электроники им. П. Друде (PDI, Berlin) дрейфа, диффузии и рекомбинации экситонов в пьезоэлектрическом поле, порождаемом упругими напряжениями вокруг проникающих дислокаций.

Оказалось, в отличие от общепринятой теории, что контраст интенсивности катодолюминесценции (CL) слабо зависит от диффузии экситонов, но контраст энергии CL очень чувствителен к длине диффузии и, следовательно, позволяет определять ее экспериментально. Новая теория впервые позволила корректно определять подвижность экситонов и их длину диффузии в полупроводниках, что открывает новые возможности для создания наноразмерной элементной базы для нужд фотоники и оптоэлектроники [4–6].

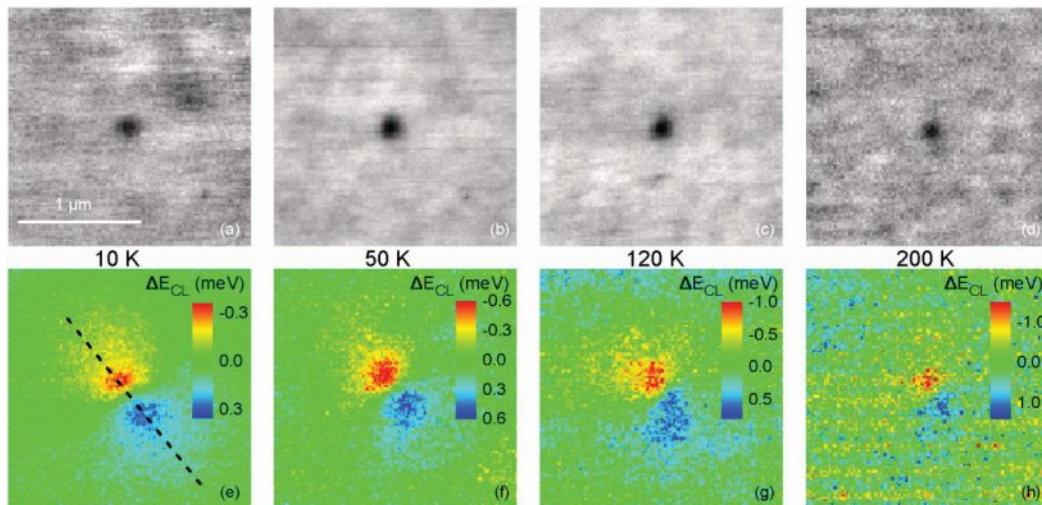


Рис. 2: Карта интенсивности катодолюминесценции и распределение энергии запрещенной зоны вокруг дислокаций в полупроводнике из нитрида галлия [5, 6]

Результаты работы опубликованы в журналах Applied Physics Letters [4] и Physical Review Applied [5], входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition.

Построение численно-статистической модели однородного случайного поля с заданным распределением интеграла по одной из фазовых координат

Г. А. Михайлов¹, чл.-корр. РАН, Е. Г. Каблукова², к.ф.-м.н., В. А. Огородников², д.ф.-м.н., С. М. Пригарин², д.ф.-м.н. (¹лаборатория методов Монте-Карло, ²лаборатория стохастических задач)

Представлен новый алгоритм построения модели трехмерного однородного случайного поля $\zeta(x, y, z)$ в горизонтальном слое $0 < z < H$ с заданными безгранично делимым одномерным распределением и корреляционной функцией $K_0(x, y)$ интеграла по "вертикальной" переменной z . Использовано гамма-распределение $\Gamma(v, \theta)$ с параметрами формы v и масштаба θ . Корреляционные функции $K_1(z)$ поля $\zeta(x, y, z)$ вдоль оси z могут представлять собой кусочно-линейное приближение требуемой корреляционной функции либо принадлежать классу Пойа, в частности это могут быть функции экспоненциального типа. Для построения базовой модели рассматривается совокупность n независимых элементарных горизонтальных слоев толщиной $h = H/n$, сдвинутых по вертикали на случайную величину, равномерно распределенную в интервале $(0, h)$. Доказано, что для сформулированной модели нормированная корреляционная функция интеграла по z совпадает с заданной "горизонтальной" нормированной корреляционной функцией, а параметры одномерного распределения стремятся к заданным асимптотически при $n \rightarrow \infty$, хотя математическое ожидание и дисперсия совпадают с заданными точно. Для воспроизведения указанных выше корреляционных функций $K_1(z)$ рассматривается дополнительная рандомизация базовой модели. Данная модель применима для имитации пространственной изменчивости облаков и определения взаимосвязей между облачными полями и распространяющейся в них радиации в теории климата и атмосферной оптики [7–10].

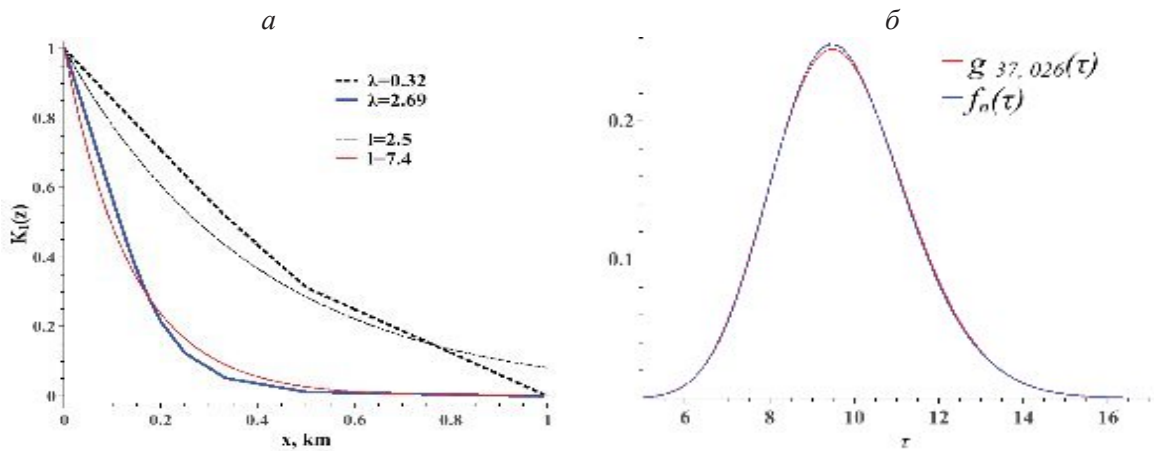


Рис. 3: Графики корреляционных функций $K_l(z)$ поля $\zeta_h(x, y, z)$, построенные для пуассоновского распределения числа слоев n с параметром λ и соответствующих экспоненциальных корреляционных функций из класса Пойя (а); плотность $f_h(u)$ одномерного распределения интеграла по "вертикальной" переменной z от поля $\zeta_h(x, y, z)$, смоделированного для непрерывного распределения величины h , и плотность заданного гамма-распределения $g_{37,0.26}(u)$ (б)

Новые вычислительные модели процессов нефтедобычи

М. И. Иванов, И. А. Кремер, к.ф.-м.н., Ю. М. Лаевский, д.ф.-м.н. (лаборатория математических задач химии)

Разработаны новые алгоритмы численного решения 3D задач фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости при наличии нагнетательных и добывающих скважин. В основе предложенных алгоритмов лежит комбинация смешанного метода конечных элементов для вычисления давления и вектора суммарной скорости и противопотоковая схема метода конечных объемов для вычисления водонасыщенности. Рассмотрен как изотропный, так и анизотропный пласт. Предложенная методика распространена на модели двойной пористости описания трещиновато-пористых сред. Учет скважин осуществляется как непосредственным заданием потоков на границах скважин, так и интегральными дебитами при некотором неизвестном давлении. Предложена эффективная регуляризация вырожденной задачи для давления и суммарной скорости [11–15].

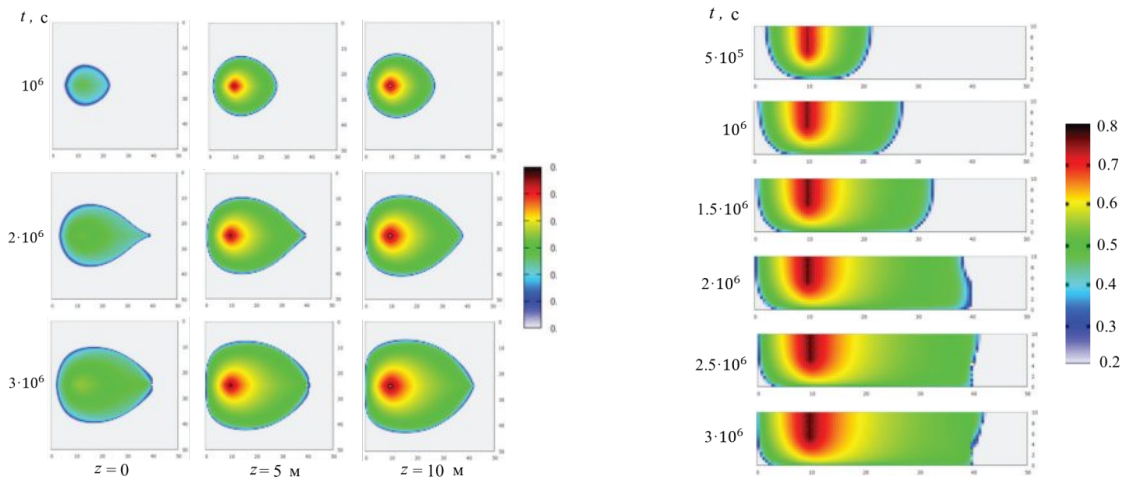
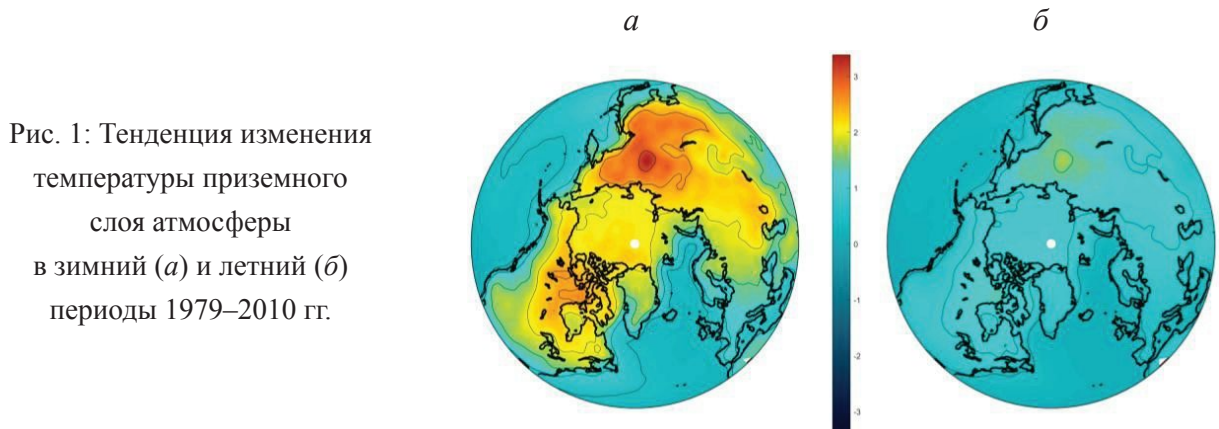


Рис. 4: Водонасыщенность в плоскостях $z = 0, z = 5 \text{ м}$ и $z = 10 \text{ м}$, $x = 25 \text{ м}$

Тенденции климатической системы Арктики в условиях глобального потепления

Г. А. Платов, д.ф.-м.н., Е. Н. Голубева, д.ф.-м.н., М. В. Крайнева, В. В. Малахова, к.ф.-м.н. (лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере)

Разработан комплекс моделей компонент климатической системы Арктики. Данный комплекс использовался для исследования роли климатических тенденций в приземном слое атмосферы в формировании и сокращении объема льда Северного Ледовитого океана в 1979–2010 гг. По результатам численных экспериментов установлено, что наибольшее влияние на процесс сокращения площади и объема морского льда оказывают процессы масштаба атмосферного блокинга. В ходе исследований анализировались временные ряды, полученные в результате ЕОФ декомпозиции вектора состояния приземной атмосферы по данным атмосферного реанализа CORE-2. На основе анализа было установлено, что климатические тенденции в состоянии атмосферы связаны, в первую очередь, с изменениями характеристик сезонного хода (1-я мода, рис. 5), параметров Арктической осцилляции (2-я мода), изменениями, связанными с уменьшением площади океана, покрытой льдом (3-я мода), и с тенденциями структуры арктического диполя в поле приземного давления (4-я мода). Количество распресненных вод, концентрирующихся в море Бофорта, в значительной степени определяет отклик океана на атмосферное воздействие. Анализ результатов климатических моделей, полученных по различным сценариям IPCC антропогенного воздействия на климатическую систему в XXI в., показал высокую вероятность продолжения выявленных тенденций в будущем. Полученные результаты позволяют лучше разобраться в сути климатических тенденций в арктических районах и прилегающих умеренных широтах и определить возможные сценарии будущего развития климатической системы и ее роли в связи с освоением северных территорий и разработкой шельфовых месторождений [16–18].

**Модификация численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений с первым интегралом**

Т. А. Аверина¹, к.ф.-м.н., совместно с К. А. Рыбаковым², к.ф.-м.н. (¹лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений, ²Московский авиационный институт)

Системы стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) с первым интегралом, решение которых находится на гладком многообразии, т. е. на гладкой поверхности, определяют математические модели инвариантных стохастических динамических систем, для состояний которых выполняется некоторый закон сохранения, например энергии, массы, импульса, момента импульса. Однако из-за погрешности численного метода моделируемые траектории решения СДУ не принадлежат многообразию, а лежат в некоторой его окрест-

ности, которая определяется шагом численного интегрирования и порядком сходимости численного метода.

Предложена модификация численных методов решения СДУ, применение которой обеспечивает принадлежность моделируемых траекторий заданному многообразию. Ранее такой подход использовался для построения проекционных (геометрических) численных методов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Доказано, что предложенная методика коррекции численного решения сохраняет порядок потраекторной аппроксимации решения.

На рисунках приведены результаты тестирования обобщенного метода Эйлера (рис. 6) и метода Авериной (рис. 7) с учетом дополнительной коррекции численного решения и без нее на системе СДУ с первым интегралом (траектории точного решения лежат на цилиндрической поверхности). Красным цветом показано численное решение без коррекции, синим – с коррекцией, черным цветом показана траектория, соответствующая точному решению

На графиках видно, что 1) без коррекции решения метод Авериной дает более точные результаты и показывает лучшие свойства устойчивости, чем метод Эйлера, 2) коррекция решения приводит к сохранению первого интеграла обоими методами [19].

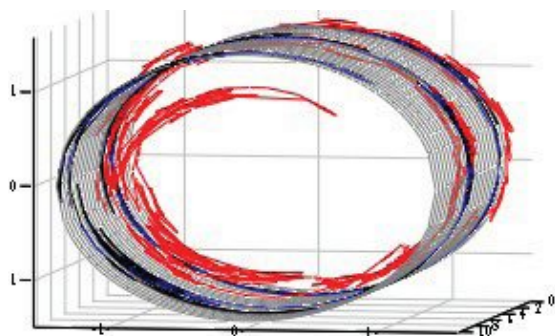


Рис. 6

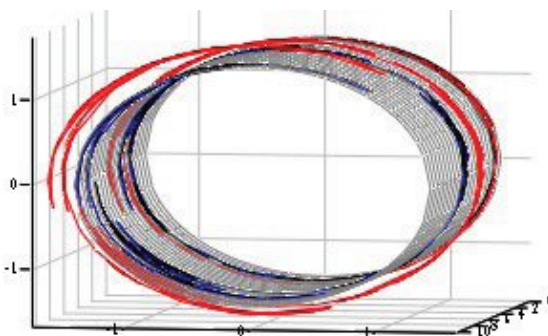


Рис. 7

Два варианта проекционного метода для численного решения нелинейного уравнения Больцмана

С. В. Рогазинский, д.ф.-м.н. (лаборатория методов Монте-Карло)

Работа посвящена обоснованию алгоритма статистического моделирования для решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана на основе проекционного метода. В качестве ортонормированного базиса использовались функции Эрмита. Оценена норма L_2 погрешности аппроксимации функции ее частичной суммой по функциям Эрмита. Рассматривалось два варианта проекционного метода: основанный на разложении в ряд по функциям Эрмита и на разложении в ряд Грама – Шарлье. Проведено сравнение указанных оценок погрешностей двух вариантов проекционного метода на решении задачи однородной релаксации газа с известным решением. Указанная погрешность в L_2 в обоих вариантах оказалась обратно пропорциональной корню четвертой степени из n – длины взятого отрезка ряда. Данные результаты могут быть использованы в области вычислительной математики при анализе применения проекционного метода и выбора оптимальных параметров проекционного метода. В качестве примера на рис. 8 приведены расчеты при $t = 5$ плотности распределения по модулю скорости: сплошная линия – точное решение, точки – значение отрезка ряда по функциям Эрмита ($n = 10$). На рис. 9 коричневые точки – L_2 погрешность аппроксимации отрезком ряда длиной n , красные точки – значения функции $0.43 \sqrt[4]{n}$ [20].

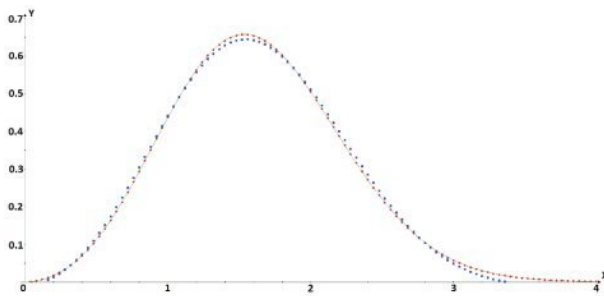


Рис. 8: Плотности распределения по модулю скорости при $t = 5$: сплошная линия – точное решение, точки – значение отрезка ряда по функциям Эрмита ($n = 10$)

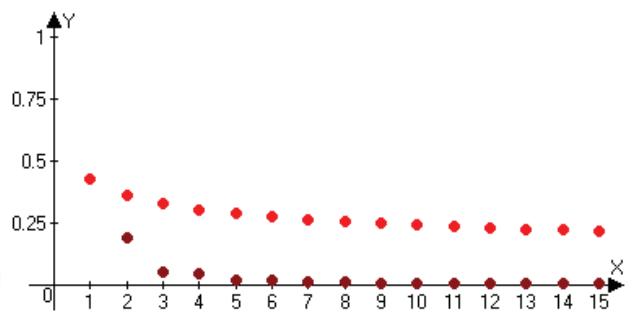


Рис. 9: Коричневые точки – L_2 погрешность аппроксимации отрезком ряда длины n , красные точки – значения функции $0.43/\sqrt[4]{n}$

Экономичный алгоритм решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами

С. Б. Сорокин, д.ф.-м.н. (лаборатория численного анализа и машинной графики)

Предложен и обоснован экономичный прямой численный метод решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами, допускающими разделение переменных. Метод позволяет получить решение дискретной задачи за число арифметических операций порядка N , где N – число точек сетки.

Метод применим для различных типов краевых условий, для неравномерных сеток по одной из координат и в цилиндрических координатах с переменными коэффициентами, зависящими от r .

Известные прямые алгоритмы решения задачи Коши разработаны только для уравнения Лапласа. Все они основаны на существовании аналитического решения задачи продолжения в стандартной области.

Новизна результата состоит в том, что разработанный экономичный алгоритм применим к эллиптическим уравнениям с переменными коэффициентами, для которых получить аналитическое решение задачи продолжения не представляется возможным.

Значимость результата состоит в том, что предложенный экономичный алгоритм существенно расширяет круг решаемых задач и может применяться при создании приборов, способных в реальном масштабе времени определять температуру на недоступных для измерения частях конструкций [21–24].

Практическое применение (теплопроводность). Дано тело, термоизолированное по всем участкам границы, кроме правой, имеется возможность измерить температуру на левой части границы: $u(x_1, x_2) = g(x_2)$. Необходимо определить температуру на правой, недоступной границе.

$$\begin{array}{ccc}
 & \frac{\partial u}{\partial n} = 0 & \\
 \frac{\partial u}{\partial n} = 0 & \boxed{} & u(x_1, x_2) = ? \\
 & \frac{\partial u}{\partial n} = 0 &
 \end{array}$$

Рис. 10

Численное моделирование широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера

В. М. Свешников, д.ф.-м.н., А. Н. Козырев (лаборатория вычислительной физики)

Проведено численное моделирование физических процессов широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера. Исследуемая область характеризуется сильной разномасштабностью и протяженностью. Расчеты проводились на адаптивных квазиструктурированных локально модифицированных сетках. Предложена математическая модель нахождения свободной поверхности эмиссионной плазмы, согласно которой задача рассматривается в двумерном осесимметричном приближении и поверхность входа электронов в расчетную область представляется в виде совокупности дуг окружностей, соединяемых перешейками. Для повышения точности расчетов предложено разбить разномасштабную протяженную область на две подобласти и находить решение альтернирующим методом Шварца, поочередно проводя решение самосогласованных задач в подобластях. Пучки моделируются методом трубок тока, потенциал электрического поля рассчитывается методом конечных объемов.

Проведено сравнение полученных характеристик пучка с данными эксперимента. Показано, что при рабочих параметрах пучка его потери на элементах источника минимальны [25–27].

Новый метод определения эффективного тензора жесткости методом "виртуального эксперимента" с цифровыми двойниками керна

Г. В. Решетова, д.ф.-м.н. (лаборатория вычислительных задач геофизики)

В настоящее время широко используемый подход для определения упругих характеристик образцов керна состоит в проведении дорогостоящих трудо/время затратных физических лабораторных экспериментов. Разработан альтернативный подход, основанный на математическом моделировании "виртуального эксперимента" по цифровым 3D изображениям компьютерной томографии. Метод основан на принципе эквивалентности энергии деформаций, в котором в качестве однородных граничных условий выбираются статические граничные условия, имитирующие физический эксперимент, и определяются компоненты тензора жесткости. Особенностью алгоритма является новая схема решения задач статического нагружения образца методом установления задачи динамической теории упругости и схема параллельной реализации на основе MPI+OpenMP. Точность метода определения эффективных параметров проверялась на однородных образцах с известными свойствами и слоистых, для которых эффективные параметры рассчитывались по методу Шенберга [28–30].

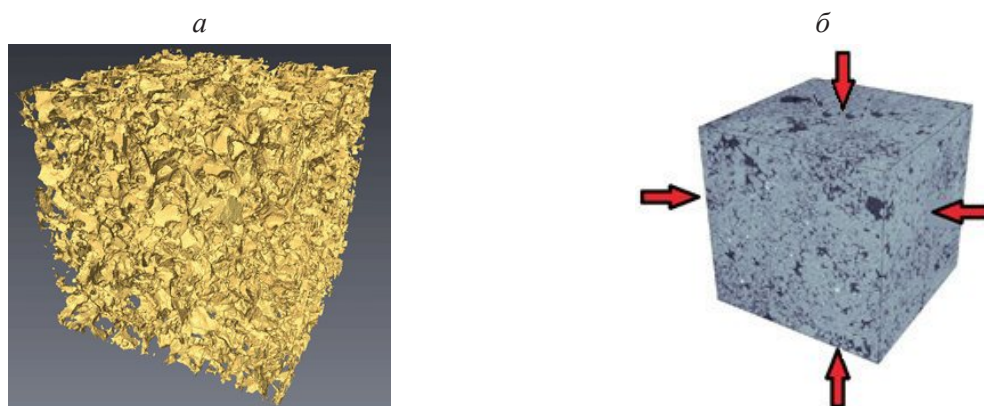


Рис. 11: Цифровой образец керна (а) и математическое моделирование физического эксперимента (б)

Реализация нового быстрого метода расчета распространения цунами на ПК с использованием FPGA плат

Ан. Г. Марчук, д.ф.-м.н. (лаборатория математического моделирования волн цунами)

Реализован численный метод расчета распространения волн цунами в рамках нелинейной модели мелкой воды с применением вентильной матрицы, программируемой пользователем (FPGA). Суть подхода заключается в использовании специализированной платы с учетом интенсивности потоков данных при расчете динамики волны по разностной схеме МакКормака. Адаптация алгоритма к FPGA осуществлена в сотрудничестве с ИАЭ СО РАН. Использование такой вычислительной архитектуры позволило достичь ускорения расчетов более чем в 200 раз по сравнению с моделированием на том же ПК без FPGA платы [31]. При использовании такого подхода численное моделирование распространения цунами на участке океана с реальным рельефом дна (пример расчета для Камчатского побережья приведен на рис. 12) занимает несколько десятков секунд, что дает возможность оценивать ожидаемую высоту цунами у берега до ее прихода туда.

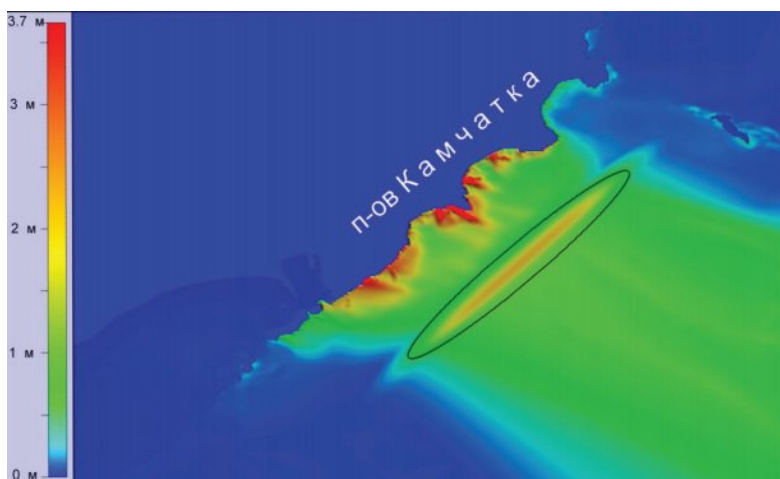


Рис. 12: Распределение максимумов высоты цунами от вытянутого модельного источника длиной 500 км в сегменте расчетной области у берегов Камчатки, рассчитанное по схеме МакКормака с применением FPGA платы. Максимальная высота начального смещения водной поверхности в эллипсовидном очаге составляла +2 м

Численное моделирование распространения сейсмоакустических волн в системе "атмосфера – лесной покров – грунт" в интересах экологоохранных задач

Г. М. Шиманская, к.т.н., Д. А. Караваев, к.ф.-м.н., М. С. Хайретдинов, д.т.н. (лаборатории геофизической информатики)

В интересах проблемы экологоохранной защиты социальной инфраструктуры города в зонах повышенных транспортных и производственных акустических и сейсмических шумов решена задача понижения "шумоопасности" на инфранизких частотах, представляющих наибольшую угрозу для человека. Оценены численные характеристики шумоопасности на основе решения задачи взаимодействия акустических колебаний с окружающей средой, представленной трехслойной моделью "атмосфера – лес – грунт" (рис. 13). Разработаны и реализованы алгоритм и программа расчета уровней акустических колебаний с учетом их углов падения на лесную среду, частотного содержания и высотного положения волнового фронта. Получены и представлены теоретические результаты модельных расчетов в виде двухмерных снимков поля акустических волн (рис. 14) [32].

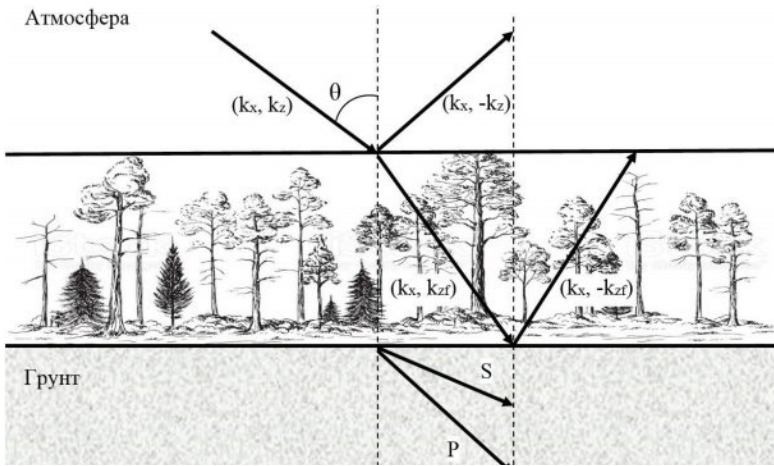


Рис. 13: Трехслойная модель "атмосфера – лесной массив – грунт" со схемой падающих и отраженных волн в слоях

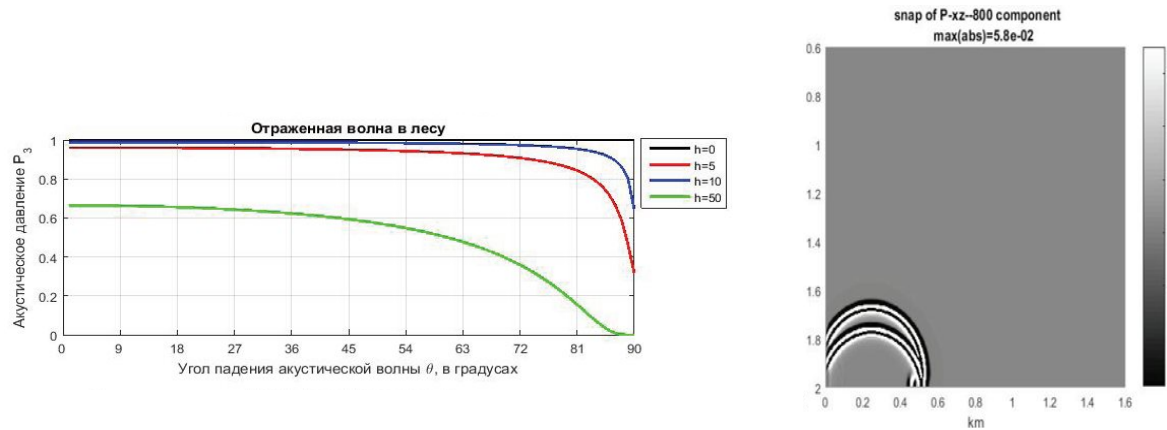


Рис. 14: Графики зависимости акустического давления для отраженных волн от угла падения θ при прохождении акустической волны через лес при различных высотах $H = 0, 5, 10, 50$ м, частота $f = 10$ Гц (слева). Снимок волнового поля для акустического давления в лесном массиве (справа)

Новый управляемый непараметрический статистический критерий, альтернативный критерию Вилкоксона – Манна – Уитни

Г. И. Салов, к.т.н. (лаборатория обработки изображений)

Разработан новый управляемый непараметрический статистический критерий для задачи проверки гипотезы об однородности двух выборок против односторонней альтернативной гипотезы о том, что величины элементов одной выборки имеют тенденцию быть стохастически больше величин элементов другой. Показано преимущество разработанного критерия с точки зрения мощности и управляемости перед критерием Вилкоксона – Манна – Уитни, стандартно применяемом в подобных задачах. Результат имеет общий характер и может быть использован, например, при решении задач обнаружения [33].

Обоснование нестандартности взрыва сверхновых типа Ia с помощью вычислительного эксперимента на суперЭВМ

И. М. Куликов, д.ф.-м.н., И. Г. Черных, к.ф.-м.н. (лаборатория суперкомпьютерного моделирования)

Сверхновые звезды типа Ia (белые карлики) используются в виде "стандартных свечей" для измерения расстояний во Вселенной. Однако экспериментально были обнаружены

вариации кривых блеска, на что обратил внимание профессор А. В. Тутуков (Институт астрономии РАН). Необходимо было теоретически обосновать этот эффект. В работе теоретически обоснована нестандартность взрыва сверхновых типа Ia с помощью вычислительного эксперимента на суперкомпьютере НКС-1П (ССКЦ ИВМиМГ СО РАН), оснащенного процессорами Intel Xeon Phi KNL. Для описания эволюции белых карликов и их взрыва в виде сверхновой типа Ia разработана гидродинамическая модель вырожденного газа с использованием звездного уравнения состояния. Для описания гидродинамической модели используется система уравнений гравитационной газовой динамики, переопределенная уравнением для энтропии. Такая запись уравнений позволяет разработать эффективную программную реализацию с использованием векторных инструкций AVX-512. Вычислительные эксперименты показали, что в зависимости от ядерного горения углерода варьируется энергия взрыва, что приводит к различию в кривых блеска. Что, в свою очередь, говорит о ненадежности использования этого эталона [34, 35].

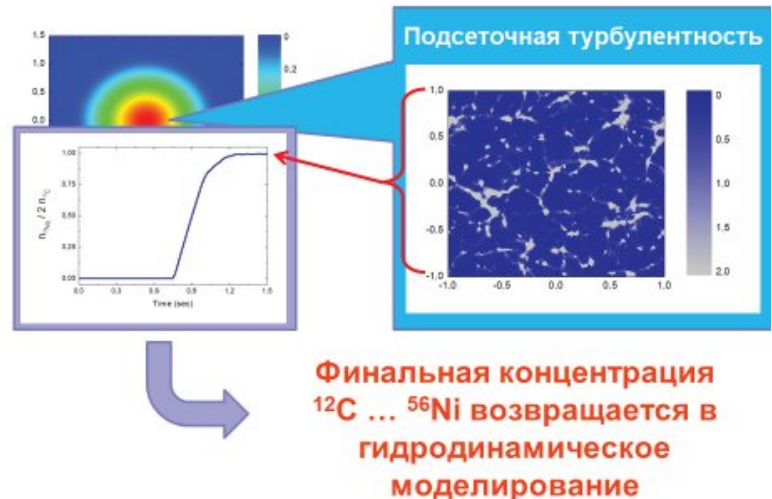


Рис. 15: Ядерное горение углерода

Разработаны и реализованы алгоритмы системы LuNA, существенно повышающие ее производительность

В. Э. Малышкин, к.ф.-м.н., В. А. Перепёлкин, Н. А. Беляев, С. Е. Киреев (лаборатория синтеза параллельных программ)

В лаборатории разрабатывается язык и система LuNA автоматизации конструирования параллельных программ численного моделирования. Система освобождает пользователя от решения таких сложных задач параллельного программирования, как программирование коммуникаций, синхронизация процессов и потоков, планирование вычислений, распределение и динамическое перераспределение ресурсов и т. п. Основным результатом исследований в 2019 г. стало существенное (до 1–1,5 порядков) повышение производительности работы системы LuNA по сравнению с предыдущей версией системы, что позволило: 1) повысить производительность исполнения LuNA-программ и 2) расширить класс прикладных задач, на которых система LuNA обеспечивает приемлемую производительность. Это определяет значимость работы. Отставание в производительности от ручной реализации составляет 2–3 раза и более (для сложных программ). Повышения производительности удалось достичь за счет трансляции исходной LuNA-программы в новую императивную модель вычислений мультиагентного типа, а также путем применения узкоспециализированных алгоритмов компиляции и исполнения к LuNA-программам частного вида. Разработка модели и алгоритмов составляет новизну работы [36, 37].

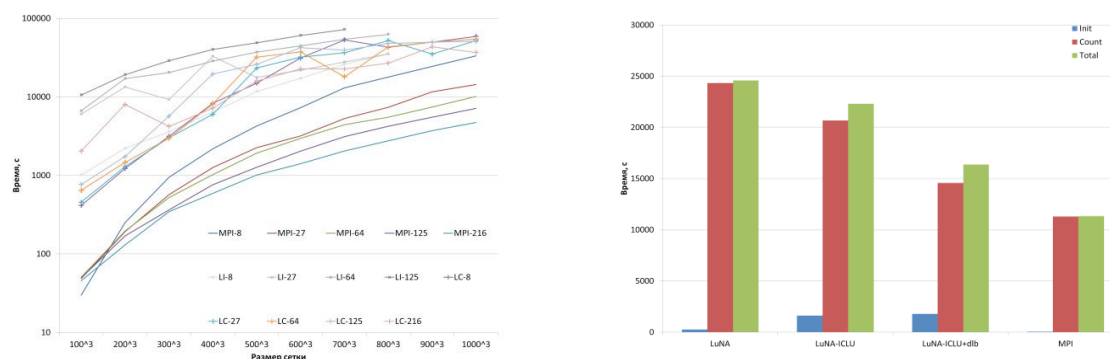
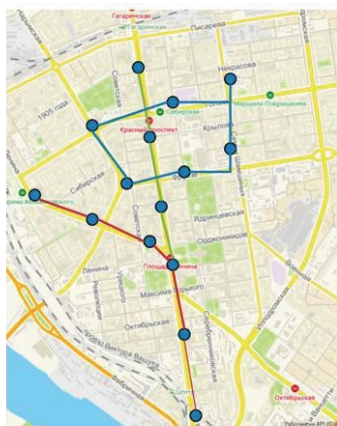


Рис. 16: Производительность на модельной задаче (3D) (а);
производительность приложения на основе метода PIC (3В) (б)

Развитие теории ненадежных структур применительно к решению прикладных задач

К. А. Волжанкина, О. А. Ляхов, к.э.н., Д. А. Мигов, к.ф.-м.н., А. С. Родионов, д.т.н., К. В. Ткачёв, Г. Ы. Токтошов, к.т.н. (лаборатория системного моделирования и оптимизации)



Получены модельные описания систем, разработаны алгоритмы анализа и оптимизации для решения ряда прикладных задач. Предложен эвристический подход к решению задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций по критерию минимума суммарных строительных затрат при обеспечении заданного уровня надежности на основе метода k -кратчайших путей. Разработана постановка задачи и методы решения для построения маршрутов транспортных средств с учетом планов ремонтных работ в узлах обслуживаемой сети. Предложен подход к проектированию оптимальных сетей электропитания для оборудования multifunctional систем безопасности в шахтах. Для оценки качества транспортной инфраструктуры мегаполиса построены эффективные алгоритмы расчета и кумулятивного оценивания математических ожиданий максимальных потоков и их арифметического среднего в сетях с ненадежными связями; разработаны специальные бионические алгоритмы решения NP-трудной задачи покрытия мультиграфа применительно к задаче мониторинга дорожного движения [38–43].

Публикации

1. Penenko, V. V.; Penenko, A. V.; Tsvetova, E. A.; Gochakov, A.V. Methods for studying the sensitivity of air quality models and inverse problems of geophysical hydrothermodynamics // J. of Applied Mechanics and Technical Physics. 2019. V. 60. P. 392–399. DOI: 10.1134/S0021894419020202.
2. Penenko, A.; Zubairova, U.; Mukatova, Z.; Nikolaev, S. Numerical algorithm for morphogen synthesis region identification with indirect image-type measurement data // J. of Bioinformatics and Computational Biology, World Scientific Pub Co Pte Ltd, 2019. Vol. 17. 1940002. DOI: 10.1142/s021972001940002x.
3. Penenko, A. A Newton-Kantorovich method in inverse source problems for production-destruction models with time series-type measurement data // Numerical Analysis and Applications. 2019. Vol. 12. P. 51–69. DOI: 10.1134/S1995423919010051.
4. Kaganer, V. M.; Sabelfeld, K. K.; Brandt, O. Piezoelectric field, exciton life time, and cathodoluminescence intensity at threading dislocations in GaN{0001} // Appl. Phys. Lett. 112 (2018), iss. 12. 122101. <https://doi.org/10.1063/1.5022170> (импакт-фактор 3.495).

5. Kaganer, V. M.; Laehnemann J.; Pfueller C.; Sabelfeld K. K.; Kireeva A. E.; Brandt, O. Determination of the carrier diffusion length in GaN from cathodoluminescence maps around threading dislocations: fallacies and opportunities // *Phys. Rev. Appl.* 2019. Vol. 12. N 5. 054023. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.12.054038 (импакт фактор 4.532).

6. Kaganer, V.; Laehnemann, J.; Pfueller, C.; Brandt, O.; Sabelfeld, K.; Kireeva, A. Can we determine the carrier diffusion length in GaN from cathodoluminescence maps around threading dislocations? // *Proc. of the International conference on defects-recognition, imaging and physics in semiconductors (DRIP XVIII)*, Berlin, Sept. 8–12, 2019. <https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.12.054038>.

7. Михайлов, Г. А.; Каблукова, Е. Г.; Огородников, В. А.; Пригарин, С. М. Построение численно-статистической модели однородного случайного поля с заданным распределением интеграла по одной из фазовых координат // *ДАН.* 2019. Т. 489, № 2. С. 19–23.

[Mikhailov, G. A.; Kablukova, E. G.; Ogorodnikov, V. A.; Prigarin, S. M. Constructing a numerically statistical model of a homogeneous random field with a given distribution of the integral over one of the phase coordinates // *Dokl. Mathematics.* 2019. Vol. 100, N 3. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524892131-135>.]

8. Kablukova, E. G.; Mikhailov, G. A.; Ogorodnikov, V. A.; Prigarin, S. M. Simulation of a random field with given distribution of one-dimensional integral // *RJNAMM.* 2019. 34(6). P. 327–338.

9. Каблукова, Е. Г.; Михайлов, Г. А.; Огородников, В. А.; Пригарин, С. М. Построение численно-статистической модели однородного случайного поля с заданным распределением интеграла по одной из фазовых координат (приглашенный доклад на Международной конференции "АПВПМ-2019").

10. Mikhailov, G.; Kablukova, E.; Ogorodnikov, V.; Prigarin, S. Construting a numerially statistical model of a homogeneous random field with the given distribution of the integral over one of the phase coordinates (плeнарный доклад на 11-й Междунар. молодежной науч. школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач").

11. Ivanov, M. I.; Kremer, I. A.; Laevsky, Yu. M. On the upwind scheme for solving to filtration problem // *Sib. Electronic Math. Reports.* 2019. V. 16. P. 757–776 (WoS, Scopus, SJR: Q2). DOI: 10.33048/semi.2019.16.051.

12. Ivanov, M. I.; Kremer, I. A.; Laevsky, Yu. M. On wells modeling in filtration problems // *Sib. Electronic Math. Reports.* 2019. V. 16. P. 1868–1884 (WoS, Scopus, SJR: Q2). DOI: 10.33048/semi.2019.16.133.

13. Лаевский, Ю. М.; Иванов, М. И.; Кремер, И. А. Об одной противопотоковой схеме решения уравнения Баклея – Леверетта // Международная конференция "АПВПМ", 1–5 июля 2019 г., Новосибирск (плeнарный доклад).

14. Иванов, М. И.; Кремер, И. А.; Лаевский, Ю. М. Смешанный метод конечных элементов решения вырожденной задачи Неймана // Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", 1–5 июля 2019 г., Новосибирск (устный доклад).

15. Laevsky, Yu. Some approaches to oil reservoir simulation // *The Week of Applied Mathematics and Mathematical Modelling : The 3rd International conference multiscale methods and largescale scientific computing*, Vladivostok, Oct. 7–11, 2019 (плeнарный доклад).

16. Platov, G. A.; Golubeva, E. N.; Kraineva, M. V.; Malakhova V. V. Modeling of climate tendencies in Arctic seas based on atmospheric forcing EOF decomposition // *Ocean Dynamics* 2019. Vol. 69(6). P. 747–767. <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01259-1>.

17. Proshutinsky, A.; Krishfield, R.; Toole, J.; Timmermans, M.-L.; Williams, W.; Zimmerman, S.; Yamamoto-Kawai, M.; Armitage, T. W. K.; Dukhovskoy, D.; Golubeva, E.; Manucharyan, G. E.; Platov, G.; Watanabe, E. Analysis of the Beaufort Gyre freshwater content in 2003–2018 // *J. of*

Geophysical Research: Oceans. 2019. Vol. 124, iss. 12. P. 9658–9689. <https://doi.org/10.1029/2019JC015281>.

18. Platov, G.; Krupchatnikov, V.; Borovko, I. The study of feedbacks of the Arctic climate system in the formation of climate trends // *OP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 386(1), [012004]. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/386/1/012004>.

19. Аверина, Т. А.; Рыбаков, К. А. Модификация численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений с первым интегралом // *СибЖВМ* 2019. Т. 22. № 3. С. 243–259.

[Averina T. A., Rybakov K. A. A modification of numerical methods for stochastic differential equations with the first integral // *Num. Analysis and Appl.* 2019. Vol. 12. № 3. P. 203–218. <https://doi.org/10.1134/S1995423919030017>.]

20. Rogasinsky, S. V. Two variants of Monte Carlo projection method for numerical solution of nonlinear Boltzmann equation // *RJNAMM*. 2019. Vol. 34, iss. 3. P. 143–150. DOI: <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0012>.

21. Sorokin S. B. An efficient direct method for numerically solving the Cauchy problem for Laplace's equation // *Num. Analysis and Appl.* 2019. Vol. 12, iss. 1. P. 87–103. <https://doi.org/10.1134/S1995423919010075> (Quartiles Q3, Web of Science).

22. Сорокин С.Б. Неявный итерационный метод численного решения задачи Коши для эллиптических уравнений // *СибЖИМ*. 2019. Т. 22, № 4(80). С. 95–106 (Quartiles Q3, Scopus).

23. Sorokin S. B. An economical algorithm for numerical solution of the problem of identifying the right-hand side of the Poisson equation // *J. of Appl. and Indust. Math.* 2018. Vol. 12, No 2. P. 362–368. <https://doi.org/10.1134/S1990478918020163> (Quartiles Q2, Scopus).

24. Sorokin S. B. Fourier method for solving the Cauchy problem for an elliptic equation // *Numerical algebra with Applications : Proceedings of the 8th China-Russia Conference, Rostov-on-Don, June 24–27, 2019 / Ed. Zhong-Zhi Bai, Galina V. Muratova. Taganrog: SFU Press, 2019. 144 p. P. 65–69. DOI: 10.1080/17415970701228246. ISBN 978-5-9275-3155-4.*

25. Астрелин, В. Т.; Воробьев, М. С.; Козырев, А. Н.; Свешников, В. М. Численное моделирование работы широкоапертурного ускорителя электронов с сетчатым плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу // *ПМТФ*. Т. 60, № 5. С. 3–12.

[Astrelin, V. T.; Vorobyov, M. S.; Kozyrev, A. N., Sveshnikov V. M. Numerical simulation of the operation of a wide-aperture electron gun with a grid plasma emitter and beam output into the atmosphere // *J. of Appl. Mech. and Techn. Phys.* 2019. Vol. 60, No 5. P. 785–792. <https://doi.org/10.1134/S0021894419050018>]

26. Свешников, В. М.; Астрелин, В. Т.; Воробьев, М. С.; Козырев, А. Н. Численное моделирование широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера // *Международная конференция "АПВПМ-2019"*, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. (приглашенный доклад).

27. Астрелин, В. Т.; Воробьев, М. С.; Козырев, А. Н.; Свешников В. М. Особенности численного моделирования многолучевого источника электронов с плазменным эмиттером // 18-я Всерос. конф.-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования". Абрау – Дюрсо, 2019 (пленарный доклад).

28. Reshetova, G.; Cheverda, V.; Khachkova, T. A Comparison of MPI/OpenMP and Coarray Fortran for Digital Rock Physics Application // *Lect. Notes in Comput. Sci.* 2019. Vol. 11657. P. 232–244. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25636-4_19 (WoS).

29. Reshetova, G.; Khachkova, T. Parallel numerical method to estimate the effective elastic moduli of rock core samples from 3D tomographic images // *Lect. Notes in Comput. Sci.* 2019. Vol. 11386. P. 452–460. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11539-5_52 (WoS).

30. Reshetova, G.; Cheverda, V.; Lisitsa, V.; Khachkova, T. Multiscale digital rock modelling for reservoir simulation // OnePetro, Conference Paper, PE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. [Electron. resource]. <https://doi.org/10.2118/196561-MS> (WoS).
31. Lavrentiev, M.; Lysakov, K.; Marchuk, An.; Oblaukhov, K.; Shadrin, M. Fast evaluation of tsunami waves heights around Kamchatka and Kuril Islands // Science of Tsunami HAZARDS, 2019. Vol. 38, No 1. P. 1–13.
32. Voskoboinikova, G. M., Karavaev, D. A., Khairtdinov, M. S. Numerical simulation of acoustic waves propagation in an "Atmosphere – Forestland – Ground" system // J. of Appl. and Indust. Math. 2019. Vol. 13(1). P. 75–183. DOI: 10.1134/S1990478919010186. (Scopus).
33. Салов, Г. И. Об управляемости одного нового непараметрического статистического критерия, альтернативного критерию Вилкоксона – Манна – Уитни // СибЖБМ. 2019. Т. 22, № 3. С 315–323 (WoS, Scopus).
34. Kulikov, I.; Chernykh, I.; Tutukov, A. A new hydrodynamic code with explicit vectorization instructions optimizations, dedicated to the numerical simulation of astrophysical gas flow. I. Numerical method, tests and model problems // The Astrophysical J. Supplement Series. 2019. V. 243. Art. Num. 4. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab2237> (WoS, Q1).
35. Kulikov, I.; Chernykh, I.; Karavaev, D.; Berendeev, E.; Protasov, V. HydroBox3D: Parallel & distributed hydrodynamical code for numerical simulation of Supernova Ia // Lect. Notes in Comp. Sci. 2019. Vol. 11657. P. 187–198. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25636-4_15 (WoS, Q2).
36. Akhmed-Zaki, D.; Lebedev, D.; Malyshkin, V.; Perepelkin, V. Automated construction of high performance distributed programs in LuNA system // Parallel Computing Technologies. PaCT 2019. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 11657. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_1.
37. Belyaev, N.; Kireev, S. LuNA-ICLU compiler for automated generation of iterative fragmented programs // Parallel Computing Technologies. PaCT 2019. Lecture Notes in Computer Science. V. 11657. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_2.
38. Токтошов, Г. Ы.; Юргенсон, А. Н.; Мигов, Д. А. Оптимизация маршрутов прокладки магистрального трубопровода для транспортировки георесурсов // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 6. С. 41–49. DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2124.
39. Rodionov, A. S. On Evaluating a Network Throughput // Proc. of the 13th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication IMCOM 2019, Phuket (Thailand), Jan. 4–6, 2019. P. 34–41. DOI: 10.1007/978-3-030-19063-7_3.
40. Lyakhov, O. A.; Toktoshov, G. Y. The repair works planning problems in the utility networks nodes // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th IEEE Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 92–95. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880256.
41. Tkachev, K. V. The interaction interface between the model and the observer agent in the simulation system // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th IEEE Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880245.
42. Tkachev, K. V.; Volzhankina, K. A.; Migov, D. A. Comparison of the work of algorithms for arranging message distribution devices in transport networks // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th IEEE Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 200–203. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880212.
43. Kalney, A.; Nasibullina, T.; Migov, D.; Rodionov, A.; Tkachev, K.; Toktoshov, G. Designing of optimal power supply networks for the equipment of multifunctional safety systems (MFSS) // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th IEEE Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 187–191. <https://doi.org/10.1109/OPCS.2019.8880253>.

Лаборатория методов Монте-Карло

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

Важнейшие достижения

Построение численно-статистической модели однородного случайного поля с заданным распределением интеграла по одной из фазовых координат

Чл.-корр. РАН, Михайлов Г. А., к.ф.-м.н. Каблукова Е. Г., д.ф.-м.н. Огородников В. А., д.ф.-м.н. Пригарин С. М.

Предложен новый алгоритм построения модели трехмерного однородного случайного поля в горизонтальном слое $0 < z < H$ с заданными безгранично делимым одномерным распределением и корреляционной функцией $K_0(x, y)$ интеграла по "вертикальной" переменной z . Использовано гамма-распределение с параметрами формы ν и масштаба θ . Корреляционные функции $K_1(z)$ поля вдоль оси z могут представлять собой кусочно-линейное приближение требуемой корреляционной функции либо принадлежать классу Пойа, в частности это могут быть функции экспоненциального типа. Для построения базовой модели рассматривается совокупность n независимых элементарных горизонтальных слоев толщиной $h = H / n$, сдвинутых по вертикали на случайную величину, равномерно распределенную в интервале $(0, h)$. Доказано, что для сформулированной модели нормированная корреляционная функция интеграла по z совпадает с заданной "горизонтальной" нормированной корреляционной функцией, а параметры одномерного распределения стремятся к заданным асимптотически при $n \rightarrow \infty$, хотя математическое ожидание и дисперсия совпадают с заданными точно. Для воспроизведения указанных выше корреляционных функций $K_1(z)$ рассматривается дополнительная рандомизация базовой модели. Данная модель применима для имитации пространственной изменчивости облаков и определения взаимосвязей облачных полей и распространяющейся в них радиации в теории климата и атмосферной оптики.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Михайлов, Г. А., Каблукова, Е. Г., Огородников, В. А., Пригарин, С. М. Построение численно-статистической модели однородного случайного поля с заданным распределением интеграла по одной из фазовых координат // Доклады Академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2019. Т. 489, № 2. С. 131–135. DOI: 10.31857/S0869-56524892131-135.

2. Kablukova, E. G., Mikhailov, G. A., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M. Simulation of a random field with given distribution of one-dimensional integral // RJNAMM. 2019. Vol. 34, iss. 6. P. 327–338. DOI: <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0028>.

Результаты исследований представлены на конференции

"Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

Два варианта проекционного метода для численного решения нелинейного уравнения Больцмана

Д.ф.-м.н. Рогазинский С. В.

Построено обоснование алгоритма статистического моделирования для решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана на основе проекционного метода. В качестве ортонормированного базиса использовались функции Эрмита. Оценена норма L_2

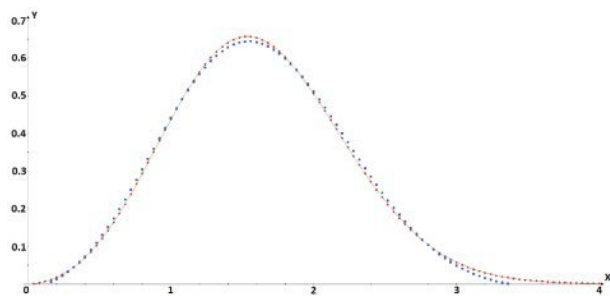


Рис. 1: Плотности распределения по модулю скорости при $t = 5$: сплошная линия – точное решение, точки – значение отрезка ряда по функциям Эрмита ($n = 10$)

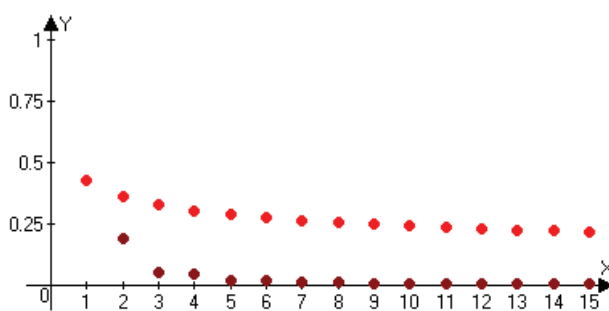


Рис. 2: Коричневые точки – L_2 погрешность аппроксимации отрезком ряда длины n , красные точки – значения функции $0.43/\sqrt[4]{n}$

погрешности аппроксимации функции ее частичной суммой по функциям Эрмита. Рассматривалось два варианта проекционного метода: основанный на разложении в ряд по функциям Эрмита и на разложении в ряд Грама – Шарлье. Проведено сравнение указанных оценок погрешностей двух вариантов проекционного метода на решении задачи однородной релаксации газа с известным решением. Указанная погрешность в пространстве L_2 в обоих вариантах оказалась обратно пропорциональной корню четвертой степени из n – длины взятого отрезка ряда. Данные результаты могут быть использованы в области вычислительной математики при анализе применения проекционного метода и выбора оптимальных параметров проекционного метода. В качестве примера на рис. 1 приведены расчеты при плотности распределения по модулю скорости $t = 5$: сплошная линия – точное решение, точки – значения отрезка ряда по функциям Эрмита ($n = 10$). На рис. 2 коричневые точки – L_2 погрешность аппроксимации отрезком ряда длиной n , красные точки – значения функции $0.43/\sqrt[4]{n}$.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Rogasinsky, S. V. Two variants of Monte Carlo projection method for numerical solution of nonlinear Boltzmann equation // RJNAMM. 2019. V. 34, iss. 3. P. 143–150. DOI: 10.1515/rnam-2019-0012.

2. Рогазинский, С. В. Два варианта проекционного метода для численного решения нелинейного уравнения Больцмана методом Монте-Карло // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : тез. Междунар. конф., Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

Результаты исследований представлены на конференции

"Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Разработка весовых параметрических алгоритмов метода Монте-Карло для суперкомпьютерного решения многомерных задач в естественных и технических науках".

Номер госрегистрации НИР 0315-2019-0002.

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

Этап 2019 г.

Предложен метод двойной рандомизации для оценки вероятностных моментов линейных функционалов и его оптимизация на основе стохастического "расщепления". Двойная

рандомизация построена также для оценки моментов нелинейных функционалов на основе соответствующего разложения в ряд Тейлора.

Описан ряд численных статистических методов, построенных для решения некоторых прямых и обратных задач теории переноса излучения в атмосфере с учетом поляризации. Для решения задачи восстановления матрицы аэрозольного рассеяния атмосферы по наземным наблюдениям поляризационных характеристик излучения в альмукантарате Солнца предложены алгоритмы, основанные на адаптивном и комбинированном способах моделирования рассеяния в атмосфере при больших оптических толщах аэрозоля. С помощью численного статистического моделирования была исследована эффективность этих способов при восстановлении первых двух компонент матрицы рассеяния методом предиктор-корректор. Изучение временных характеристик поляризованного излучения также является важной задачей для атмосферной оптики (например, для развития приложений дистанционного зондирования). Для оценки параметров временных характеристик потока поляризованного излучения предлагается использовать весовой алгоритм метода Монте-Карло на основе ортонормированного полиномиального разложения временной плотности распределения потока излучения по базису функций, полученных из полиномов Лагерра. Для оценки двунаправленных поляризационных характеристик проходящего и отраженного плотными слоями вещества рассеянного излучения авторами были разработаны алгоритмы метода Монте-Карло, основанные на двумерном проекционном разложении соответствующего поверхностного углового распределения по базису полусферических гармоник специального вида, а также разработаны векторные алгоритмы метода Монте-Карло на основе двумерных статистических ядерных оценок с прямоугольным ядром. С помощью численного статистического моделирования проведено исследование влияния оптических параметров среды и поляризации на двумерные угловые распределения интенсивности и степени поляризации в неосесимметричном случае.

Рассматривались задачи, в которых неоднородность среды оказывает существенное влияние на процессы диффузии. Истинная структура среды с высокой гетерогенностью недоступна непосредственному изучению с необходимой детальностью, поэтому при математическом моделировании не удастся точно учесть влияние неоднородностей всех масштабов. Указанная трудность преодолевается следующим образом. Грубые детали структуры среды, доступные непосредственному наблюдению, такие как крупные однородные зоны, отражаются в математической модели непосредственно. Мелкомасштабные детали в распределении проводимости, электропроводности, плотности и пористости границы, которые, как правило, неизвестны, можно учитывать в рамках статистического подхода. На этой основе вводятся эффективные параметры (дающие статистически осредненное решение), такие как эффективная проводимость и пористость, плотность и т. д.

В отчетном периоде получены эффективные коэффициенты для уравнений конвективной диффузии. Коррелированные случайные поля проводимости и пористости аппроксимировались мультипликативными каскадами с логарифмически нормальными распределениями вероятностей. Теоретический результат численно проверен для случая плоского течения несжимаемой жидкости в трехмерном пространстве.

Метод прямого статистического моделирования (ПСМ) в настоящее время наиболее востребованный численный метод для моделирования течений разреженного газа. Первоначально разрабатываемый для решения задач, связанных с высотной аэродинамикой, он нашел применение в широкой области задач, в которых важен учет изменения состояния газа на нескольких длинах свободного пробега. Одной из перспективных областей его

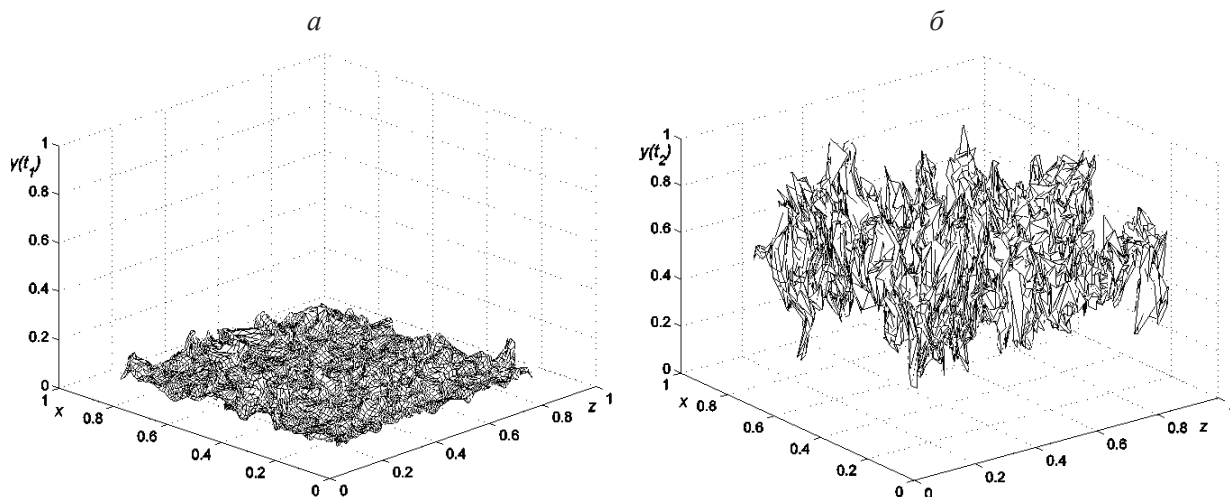
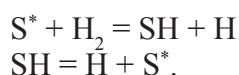


Рис. 3: Поверхность раздела двух жидкостей в момент времени t_1 (а);
поверхность раздела двух жидкостей в момент времени $t_2 > t_1$ (б)

применения в настоящее время является моделирование взаимодействия газа с поверхностями как в целях их модификации, так и в целях использования каталитических свойств поверхностей для "активации" газа. При этом встает необходимость развития подходов к моделированию гетерогенных реакций в рамках метода ПСМ.

В отчетном периоде разработан алгоритм метода ПСМ, включающий моделирование реакций диссоциации-рекомбинации водорода на основе двухступенчатой модели. Атомарный водород широко применяется во многих технологических приложениях, в частности при осаждении алмазных структур из газовой фазы. Одним из способов его получения является диссоциация молекулярного водорода на горячих металлических поверхностях. Особенностью двухступенчатой модели является уменьшение вероятности диссоциации водорода с увеличением давления вследствие увеличения заселенности активационных центров поверхности проволоки. Такое уменьшение диссоциации водорода соответствует экспериментальным данным.

В модели рассматривались две обратимые газофазно-поверхностные реакции:



Здесь S^* – свободный активационный центр на поверхности металла; H_2 и H – молекула и атом водорода в газовой фазе; SH – атом водорода, присоединенный к поверхностному центру. Для моделирования реакций диссоциации-рекомбинации водорода на основе двухступенчатой модели разработан алгоритм метода ПСМ. При этом был использован разработанный ранее подход к моделированию каталитических реакций методом ПСМ. Предложена новая методика моделирования в рамках метода ПСМ гетерогенных реакций, в которых предэкспоненциальный множитель в коэффициенте скорости реакции зависит от температуры газа. Проведена верификация алгоритма на примере бесконечной нагретой проволоки, помещенной в атмосферу водорода. Предполагалось, что цилиндр диаметром D бесконечной длины с температурой поверхности T_w помещен в газовую атмосферу водорода. На расстоянии H от поверхности цилиндра располагалась цилиндрическая поверхность, на которой моделировалось невозмущенное состояние газа (давление P_0 , температура T_0). В ходе численного исследования изучено влияние расстояния H , состава газа на внешней границе и коэффициентов аккомодации на процессы, происходящие вблизи цилиндра, в частности

на скорость получения атомарного водорода. Проведено сравнение полученных результатов с численными и экспериментальными.

В теории переноса часто возникают задачи оценки методом Монте-Карло линейных функционалов, зависящих от параметров из заданного диапазона. Этими параметрами могут быть: сечения рассеяния и поглощения, средняя длина пробега, индикатриса рассеяния, энергия частицы, а функционалы определяются решением заданной системы линейных интегральных уравнений. Стандартный способ решения таких задач заключается в проведении серии отдельных независимых расчетов для каждого значения параметра. Для уменьшения времени вычислений можно использовать весовой метод зависимых испытаний или весовой метод подобных траекторий (МПТ), который позволяет строить оценки функционалов на одной марковской цепи одновременно для заданного диапазона параметров задачи. С помощью этого метода можно эффективно изучать зависимость результатов от параметров системы, в частности при малом изменении последних. При выборе подходящей цепи Маркова необходимо учитывать дополнительные условия, обеспечивающие конечность трудоемкости весового МПТ. В случае, когда исследуемый функционал определяется решением системы интегральных уравнений, целесообразно строить векторную весовую оценку; дисперсия такой оценки конечна, если спектральный радиус специального матрично-интегрального оператора меньше единицы. Для векторной весовой модификации типа алгоритма метода подобных траекторий необходимо исследовать оценку соответствующего параметрического максимума такого спектрального радиуса. При этом возникают ограничения на классы решаемых таким образом задач.

За отчетный период построена универсальная модификация векторного весового МПТ с ветвлением траектории цепи соответственно элементам матричных весов. Доказано, что дисперсия такой модифицированной оценки и трудоемкость построенного алгоритма ограничены, если ограничены базовые функционалы. Выполнены численные расчеты с использованием модифицированной весовой оценки для некоторых задач теории переноса излучения с учетом поляризации.

Проект НИР "Моделирование предпробойных явлений в разряде низкого давления методом Монте-Карло. Получение данных по физике формирования разряда в условиях работы тиратрона".

Блок проекта "Исследование сильноточных импульсных разрядов низкого давления и создание прототипа разрядника для параллельной коммутации в ускорителе ЛИУ-20".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2018-0010.

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

Проведенные в 2019 г. исследования являются логическим продолжением исследований, направленных на адаптацию модели развития ионизации в электронных лавинах методом Монте-Карло применительно к разрядам низкого давления.

Проведение методом Монте-Карло расчетов ионизации газа при низких давлениях, величин предпробойных токов и сопоставление расчетов с экспериментальными данными опирается на рандомизированный проекционный метод с использованием ортонормированных функций Эрмита. Использование проекционного метода объясняется тем обстоятельством, что при выборе ортонормированного базиса проекционное разложение сходится в L_2 . Однако при оценке погрешности данного метода в конкретном случае необходимо знать скорость сходимости проекционного разложения в L_2 .

Важнейшим результатом, полученным в ходе выполнения работы, является оценка скорости сходимости в L_2 проекционного разложения по функциям Эрмита.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ 17-01-00823 "Численное статистическое моделирование переноса поляризованного излучения в рассеивающих средах и решение обратных задач".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Ухинов С. А.

Разработаны и реализованы на многопроцессорной суперЭВМ новые численные алгоритмы метода Монте-Карло для исследования пространственно-углового распределения характеристик рассеянного средой поляризованного излучения. Алгоритмы позволяют достаточно точно оценить даже малое влияние поляризации излучения, а также отклонение изучаемых распределений от теоретически асимптотических. Для оценки пространственно-углового распределения поляризационных характеристик проходящего и отраженного плотными слоями вещества рассеянного излучения разработан и реализован подход, основанный на проекционном методе разложения плотности соответствующего двумерного углового распределения по полиномам, ортонормированным со специальным весом. В качестве базисных функций рассмотрены полусферические гармоники, построенные на основе ассоциированных сдвинутых многочленов Якоби, и гармоники, разработанные в виде факторизации на модифицированные многочлены Якоби и Лежандра. Представлены результаты численного статистического моделирования двумерных угловых распределений интенсивности и степени поляризации излучения, в том числе с помощью двумерных ядерных оценок плотностей распределений. Исследована эффективность (трудоемкость) стандартного, адаптивного и комбинированного способов моделирования рассеяния поляризованного излучения в плотной рассеивающей среде. Построена новая универсальная модификация весовой векторной оценки для решения семейства задач теории переноса с заданным набором матриц рассеяния в одном расчете. Проведено исследование эффективности построенной универсальной модификации. Разработаны алгоритмы численного статистического моделирования переноса излучения через случайные среды различных типов с одинаковыми одномерными распределениями и корреляционными радиусами для расчета осредненных потоков и их угловых распределений в осесимметричной геометрии. На основе специального ортонормированного полиномиального разложения временной зависимости потока излучения в полубесконечной среде построен весовой алгоритм метода Монте-Карло для оценки соответствующих коэффициентов разложения и получения зависимости от времени поляризационных характеристик излучения. В задаче восстановления матрицы аэрозольного рассеяния атмосферы разработан и исследован алгоритм последовательного циклического определения неизвестных индикатрисы рассеяния и второго основного элемента матрицы рассеяния, аналогичный методам предиктор-корректор. На тестовых аэрозольных составляющих атмосферы изучена устойчивость данного алгоритма к ошибкам в экспериментальных данных.

Проект РФФИ 18-01-00356 "Разработка рандомизированных весовых алгоритмов численного статистического моделирования с ветвлением траекторий для построения параметрических оценок функционалов от решений многомерных линейных и нелинейных кинетических уравнений".

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

Разработаны новые модификации весового "метода экспоненциального преобразования" с дополнительным рандомизированным ветвлением траекторий цепи столкновений частицы для "плоского" и "сферического" случаев.

Разработаны весовые векторные алгоритмы метода Монте-Карло для оценки решения системы интегральных уравнений переноса поляризованного излучения с использованием

многомерных статистических "ядерных" оценок. При этом оптимальные расчетные параметры определяются с помощью рандомизированного проекционного метода. Проведен сравнительный численный анализ векторных алгоритмов: адаптивного алгоритма, обеспечивающего конечность дисперсий оценок, стандартного алгоритма, эффективного для параметрического анализа результатов, а также комбинаций этих алгоритмов.

Разработан рандомизированный проекционный метод решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана, причем в качестве ортонормированного базиса использованы функции Эрмита. Рассматривался также вариант проекционного метода, основанный на разложении в ряд Грама – Шарлье. Продолжено исследование кинетической модели автотранспортного потока, в которой каждый автомобиль соответствует молекуле некоторого специального газа.

Построены и численно апробированы рандомизированные алгоритмы метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов параметра L экспоненциальной асимптотики плотности потока частиц с размножением в случайной среде в зависимости от времени. Они основаны на представлениях плотности потока частиц $J(t)$ и производной $J'(t)$, разработанных авторами проекта с использованием функции Грина по времени. Доказано утверждение о том, что выполняется предельное соотношение: $J'(t)/J(t)$ сходится к L при увеличении t . Для осреднения соответствующей оценки параметра асимптотики в случайной среде функция $1/J$ аппроксимировалась конечным отрезком ряда Тейлора.

В связи с тем, что проект предполагает разработку алгоритмов метода Монте-Карло для решения стохастических задач теории переноса частиц, в 2019 г. разработано улучшение "метода двойной рандомизации" с помощью "стохастического расщепления".

Проект РФФИ 18-31-00213 мол_а "Численное исследование свойств поляризованного излучения методом статистического моделирования".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Корда А. С.

В задачах определения параметров временной асимптотики поляризованного излучения в рассеивающих и поглощающих средах, а также для решения задачи о помехе обратного рассеяния при лазерном зондировании с учетом поляризации, исследованы "локальные" и "двойные локальные" оценки метода Монте-Карло для узконаправленных приемников и источников излучения. Построен новый весовой алгоритм метода Монте-Карло на основе ортонормированного полиномиального разложения временной плотности распределения потока излучения по базису функций, полученных из полиномов Лагерра. Данный алгоритм позволяет получить информацию об изменении характеристик векторного потока излучения на всей временной прямой, включая доасимптотический период. Разработанные алгоритмы метода Монте-Карло реализованы на многопроцессорной суперЭВМ для временных характеристик на всем временном интервале, включая асимптотическое и доасимптотическое поведение. Проведены прецизионные расчеты параметров временной асимптотики обратного рассеяния, а также исследование влияния поляризации излучения на эти параметры в различных рассеивающих и поглощающих средах.

В задаче определения матрицы рассеяния по наземным наблюдениям поляризованного излучения построена модификация разработанных ранее алгоритмов. При восстановлении матрицы рассеяния сначала восстанавливается первая компонента матрицы, затем с использованием полученного приближения первой компоненты восстанавливается вторая. Модификация типа предиктор-корректор состоит в том, что добавляется третий шаг, на котором получается более точное приближение первой компоненты матрицы рассеяния

(индикатрисы рассеяния) с использованием полученного приближения второй компоненты. Такая модификация позволяет снизить погрешность восстановления индикатрисы на 20–40 % в зависимости от параметров среды и направлений наблюдения. Путем параметрического дифференцирования векторных оценок метода Монте-Карло получены формулы для расчетов матриц Якоби для алгоритмов восстановления второй компоненты матрицы рассеяния по наземным наблюдениям поляризованного излучения. Проведены расчеты и оценены дисперсии параметрических производных векторных оценок метода Монте-Карло, рассчитаны матрицы Якоби и вычислены собственные числа. Результаты расчетов позволяют численно обосновать сходимость или расходимость методов восстановления для определенных параметров среды. Реализованы алгоритмы восстановления аэрозольной матрицы рассеяния по наземным наблюдениям поляризованного излучения с использованием адаптивного моделирования переноса излучения. Проведены тестовые расчеты и оценена эффективность этих алгоритмов в сравнении со "стандартным" алгоритмом переноса излучения.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Rogasinsky, S. V. Two variants of Monte Carlo projection method for numerical solution of nonlinear Boltzmann equation // RJNAMM. Vol. 34, iss. 3. 2019. P. 143–150. DOI: 10.1515/rnam-2019-0012.
2. Tracheva, N., Ukhinov, S. A new Monte Carlo method for estimation of time asymptotic parameters of polarized radiation // Math. and Comput. in Simulation. 2019. Vol. 161. P. 84–92. DOI: 10.1016/j.matcom.2018.10.001.
3. Soboleva, O. N., Kurochkina, E. P. Subgrid modeling of convective diffusion in a multiscale random medium // RJNAMM. 2019. Vol. 34, No 3. P. 151–162. DOI: 10.1515/rnam-2019-0013.
4. Mikhailov, G. A. Improvement of multidimensional randomized Monte Carlo algorithms with "splitting" // Comput. Math. and Math. Phys. 2019. V. 59, No 5. P. 775–781. DOI: 10.1134/S0965542519050117.
5. Medvedev, I. N. Universal modification of vector weighted method of correlated sampling with finite computational cost // RJNAMM. 2019. Vol. 34, No 1. P. 43–55. DOI: 10.1515/rnam-2019-0004.
6. Medvedev, I. N. Universal modification of vector weighted method of dependent trials // Commun. in Statistics – Simulation and Comput. P. 1–9. 2019. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/03610918.2019.1656248.
7. Mikhailov, G. A. Randomized Monte Carlo algorithms for problems with random parameters ("double randomization" method) // Num. Analysis and Appl. 2019. Vol. 12, No 2. P. 155–165. DOI: 10.1134/S1995423919020058.
8. Kablukova, E. G., Mikhailov, G. A., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M. Simulation of a random field with given distribution of one-dimensional integral // RJNAMM. 2019. Vol. 34, iss. 6. P. 327–338. DOI: <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0028>.
9. Mikhailov, G. A., Kablukova, E. G., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M. Constructing a numerically statistical model of a homogeneous random field with a given distribution of the integral over one of the phase coordinates // Doklady Math. 2019. Vol. 100, No. 3. P. 529–532. DOI: 10.1134/S1064562419060073.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Epov, M., Soboleva, O., Kurochkina, E. Macroscopic electrical conductivity for microstructures of sandstones // Proc. of the 19-th Intern. multidiscipl. sci. geoconf. SGEM, June 30 – July 6, 2019, Albena (Bulgaria). Vol. 19 (Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining), iss. 1–2. P. 969–975. DOI: 10.5593/sgem2019/1.2/S06.123.

2. Plotnikov, M. Yu., Shkarupa, E. V. DSMC simulation of hydrogen dissociation on wire surface in resting gas // J. of Phys.: Conf. Ser. 2019. V. 1382, 012166, 6 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1382/1/012166.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Михайлов Г. А., Лотова Г. З. Алгоритмы метода Монте-Карло для исследования временной асимптотики потока частиц с размножением в случайной среде // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : труды Междунар. конф., Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 346–350.

2. Коротченко М. А., Бурмистров А. В. Алгоритмы метода Монте-Карло для решения уравнения Смолуховского со случайными коэффициентами // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем : сб. трудов 13-й Междунар. науч.-техн. конф., Пенза, 3–6 июня / под ред. И. В. Бойкова. 2019. С. 35–40.

3. Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования автотранспортного потока со случайными параметрами // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : труды Междунар. конф., Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 72–79.

4. Burmistrov, A. V., Korotchenko, M. A. Application of kinetic models and simulation of multiparticle systems in some fields of science // Матем. моделирование, компьютер. и натурный эксперимент в естеств. науках. 2019. № 1. С. 3–12.

Участие в конференциях и совещаниях

1. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г – 10 докладов, из них 1 пленарный (Антюфеев В. С., Корда А. С., Лотова Г. З., Коротченко М. А., Медведев И. Н., Михайлов Г. А., Рогазинский С. В., Соболева О. Н., Трачева Н. В., Ухинов С. А., Шкарупа Е. В.).

2. Международная конференция "Математика в приложениях", Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 1 доклад (Трачева Н. В., Корда А. С., Ухинов С. А.).

3. 2-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 28 октября – 1 ноября 2019 г. – 2 доклада (Роженко С. А., Трачева Н. В.).

4. 19-th International multidisciplinary scientific geoconference "SGEM", Albena (Bulgaria), 30 June – 6 July, 2019 – 1 доклад (Соболева О. Н.).

5. 12th International conference on Monte Carlo methods and applications, Sydney (Australia), July 8–12, 2019 – 1 доклад (Трачева Н. В., Ухинов С. А.).

6. International congress on industrial and applied mathematics, Valencia (Spain), July 15–19, 2019 – 1 доклад (Трачева Н. В., Ухинов С. А.).

7. Всероссийская конференция "35-й Сибирский теплофизический семинар", Новосибирск, 27–29 августа 2019 г. – 1 доклад (Шкарупа Е. В.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Медведев И. Н. – член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

2. Усов А. Г. – член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

3. Михайлов Г. А.:

– сопредседатель программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

– член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 9

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 24

Докладов на конференциях – 17, в том числе 1 пленарный

Участников организации конференций – 4

Кадровый состав

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

Педагогическая деятельность

Михайлов Г. А. – профессор НГУ

Рогазинский С. В. – профессор НГУ

Ухинов С. А. – профессор НГУ

Антюфеев В. С. – профессор НГУ, ВКИ НГУ и СУНЦ НГУ

Соболева О. Н. – профессор НГТУ

Медведев И. Н. – доцент НГУ

Лотова Г. З. – ст. преподаватель НГУ
Усов А. Г. – ст. преподаватель НГУ, зам. декана ММФ
Трачева Н. В. – ст. преподаватель НГУ.

Руководство студентами

1. Беспалов А. В. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Медведев И. Н.
2. Николаев А. К. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Рогазинский С. В.
3. Володин А. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Рогазинский С. В.

Руководство аспирантами

Зайцева А. А. – 4-й год, ММФ НГУ, руководитель Лотова Г. З.

Награды

Советник РАН, чл.-корр. РАН Михайлов Г. А. награжден Почетной грамотой СО РАН.

Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений

Зав. лабораторией к.ф.-м.н. Лукинов В. Л.

Важнейшие достижения

Модификация численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений с первым интегралом

К.ф.-м.н. Аверина Т. А., к.ф.-м.н. Рыбаков К. А. (МАИ)

Системы стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) с первым интегралом, решение которых находится на гладком многообразии, определяют математические модели инвариантных стохастических динамических систем, для состояний которых выполняется некоторый закон сохранения, например энергии, массы, импульса, момента импульса. Однако из-за погрешности численного метода моделируемые траектории решения СДУ не принадлежат многообразию, а лежат в его окрестности, которая определяется шагом численного интегрирования и порядком сходимости численного метода.

Предложена модификация численных методов решения СДУ, применение которой обеспечивает принадлежность моделируемых траекторий заданному многообразию. Доказано, что предложенная методика коррекции численного решения сохраняет порядок потраекторной аппроксимации решения.

На рисунках приведены результаты тестирования обобщенного метода Эйлера (рис. 1) и метода Авериной (рис. 2) с учетом дополнительной коррекции численного решения и без нее на системе СДУ с первым интегралом. Красным цветом показано численное решение без коррекции, синим – с коррекцией, черным цветом показана траектория, соответствующая точному решению. На графиках видно, что: 1) без коррекции решения метод Авериной обеспечивает более точные результаты и показывает лучшую устойчивость, чем метод Эйлера, 2) коррекция решения приводит к сохранению первого интеграла обоими методами.

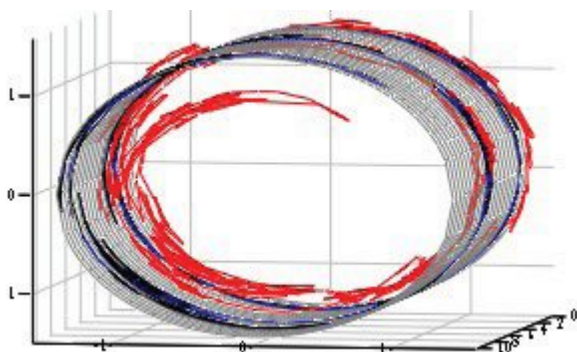


Рис. 1: Результаты тестирования обобщенного метода Эйлера

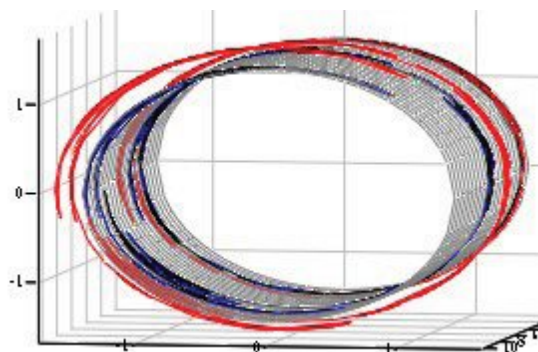


Рис. 2: Результаты тестирования метода Авериной

Результаты исследований опубликованы в работе

1. Аверина, Т. А., Рыбаков, К. А. Модификация численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений с первым интегралом // СибЖВМ. 2019. Т. 22, № 3. С. 243–259.

[Averina, T. A., Rybakov, K. A. A modification of numerical methods for stochastic differential equations with the first integral // Num. Analysis and Appl. 2019. V. 2, No 3. P. 179–190. <https://doi.org/10.1134/S1995423919030017>.]

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Разработка весовых параметрических алгоритмов метода Монте-Карло для суперкомпьютерного решения многомерных задач в естественных и технических науках".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0002.

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

Этап 2019 г.

Предложена модификация численных методов решения стохастического дифференциального уравнения (СДУ), применение которой обеспечивает принадлежность моделируемых траекторий заданному многообразию. Доказано, что предложенная методика коррекции численного решения сохраняет порядок потраекторной аппроксимации решения.

Построена модель системы со случайной структурой, описывающей математическую модель системы телеуправления ЗУР ЗРК малой дальности (МД) с комплексированной (радиолокационно-лазерной) информационной системой. С помощью разработанного статистического алгоритма проведена тестовая проверка модели.

Для аperiodического звена записано стохастическое дифференциальное уравнение в смысле Стратоновича. Получено точное решение уравнения и система обыкновенных дифференциальных уравнений на начальные и центральные моменты. Проведено сравнительное статистическое и аналитическое моделирование вероятностных характеристик случайного процесса на выходе аperiodического звена.

С использованием метода статистического моделирования исследовались линейный осциллятор и осциллятор Ван-дер-Поля. Для линейного осциллятора получено аналитическое выражение автоковариационной функции решения СДУ, позволяющее совместно с формулами для первых двух моментов решения проводить параметрический анализ и исследовать точность оценок функционалов от численного решения СДУ. Для осциллятора Ван-дер-Поля численно исследовано влияние пуассоновской составляющей и параметров вычислительной схемы на характер колебаний первого и второго моментов решения СДУ при большой величине скачков.

С помощью статистического моделирования исследовалась динамика вихревых нитей сверхтекучего гелия в Ланжевеновской постановке задачи, т. е. при влиянии белого шума. Для этого были разработаны эффективные параллельные стохастические численные алгоритмы решения многомерной системы СДУ, каждое уравнение которой определяет положение сверхтекучей частицы гелия в пространстве в определенный момент времени. Получены оценки функционалов от решения этой многомерной системы СДУ с высокой точностью.

Проведено исследование влияния белого шума на солитонные решения уравнения $\sin$ -Гордона. Исходное уравнение сводилось к СДУ с частными производными (СДУЧП). Изучение динамики случайного поля, являющегося решением СДУЧП $\sin$ -Гордона, проводилось с помощью разработанного ранее авторами проекта частотного временного сечения (ЧВС). С помощью новых алгоритмов оценки ЧВС на суперкомпьютере показано, что аддитивный шум качественно не меняет динамику решения и сказывается только на разбросе реализаций относительно точного решения, а влияние мультипликативного шума почти исчезает при стремлении решения к нулю (рис. 3).

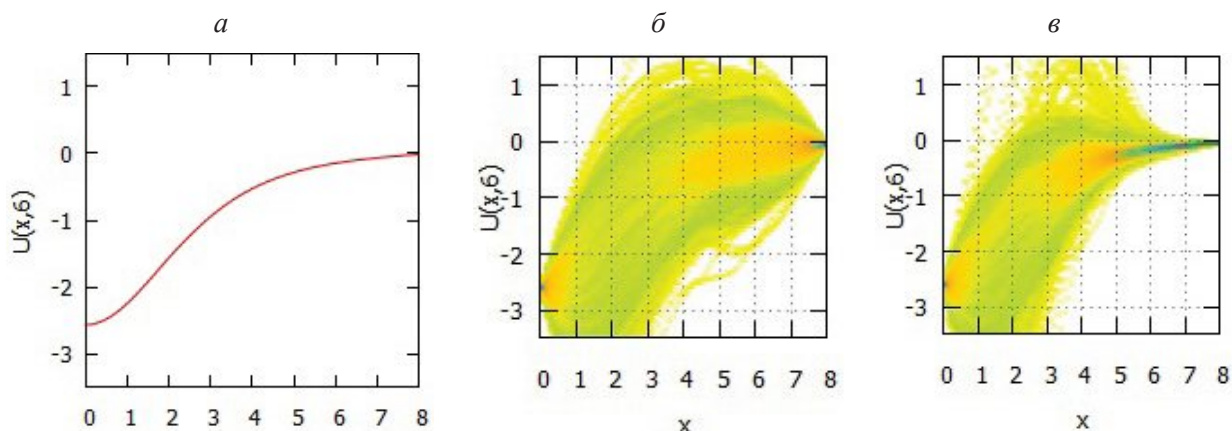


Рис. 3: Временное сечение (а) и ЧВС для уравнения sin-Гордона при аддитивном (б) и мультипликативном (в) шумах

С помощью метода статистического моделирования изучено влияние случайных шумов на синхронизацию в системе СДУ двух связанных осцилляторов Дуффинга. Проведен расчет различных частотных характеристик для численного решения нелинейной системы СДУ.

Разработаны новые модификации статистических алгоритмов решения нелинейного уравнения Шредингера, описывающего распространение световых импульсов в волоконно-оптических линиях связи. Исследована динамика мощности при взаимодействии встречных импульсов с помощью комбинации разработанного ранее авторами проекта статистического алгоритма для моделирования распространения устойчивых импульсов на больших расстояниях и безусловно устойчивой схемы Кранка – Николсона для моделирования ближнего взаимодействия.

Разработан новый параллельный численно устойчивый итерационный алгоритм решения задачи минимизации на основе случайного поиска для нахождения коэффициентов бинарной логистической регрессии. Проведен обширный анализ причин неустойчивости и сравнение с базовым алгоритмом `glm` из языка статистической обработки данных R.

Совместно с В. Н. Николаевым (СибНИА) разработана математическая модель теплового состояния бортового радиоэлектронного оборудования летательного аппарата, описывающая процессы теплообмена корпуса бортового оборудования с сотовой конструкцией из углепластикового композита и теплопередачи элементов бортового оборудования и воздушной среды. Рассматриваемый процесс переноса тепла в неоднородной среде описывается краевой задачей для уравнения теплопроводности с граничными условиями третьего рода. Для решения задачи теплового состояния сотовой конструкции корпуса бортового оборудования использовался метод Монте-Карло на основе вероятностного представления решения в виде математического ожидания функционала от диффузионного процесса. Моделирование ледяных наростов и их движения проводилось с помощью триангуляции. Предложенный метод может быть использован в процессе создания системы диагностики обледенения самолетов на основе установки датчиков температуры на внутренней поверхности крыла.

С целью оценки функционалов от решения кинетического уравнения коагуляции и уравнения Больцмановского типа были разработаны новые и усовершенствованы предложенные ранее алгоритмы статистического моделирования. Уравнения Больцмановского типа рассматривались в контексте задач, возникающих в рамках кинетической модели автотранспортного потока.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 17-01-00698 "Разработка высокопроизводительных параллельных алгоритмов для численного анализа стохастических дифференциальных уравнений в частных производных в физике методом Монте-Карло".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Лукинов В. Л.

Проведено исследование имеющихся определений стохастических дифференциальных уравнений в частных производных и построенных численных методов их решения. Разработаны новые специальные частотные и статистические характеристики для анализа СДУЧП: ЧВС – частотное временное сечение, ЧПР – частотный портрет решения, СПР – статистический портрет решения, ЧПС – частотное пространственное сечение и ЧПВС – частотное пространственно-временное сечение. С помощью ЧИК и ЧВС исследована модель движения заряженной частицы в магнитном поле космических объектов под воздействием внешних возмущений. Выполнено численное статистическое моделирование для исследования решения СДУЧП Бюргерса с аддитивным источником в правой части, описывающего динамику физической системы с "подкачкой" энергии, находящейся во внешнем поле со случайными возмущениями. Построена новая двухфазная стохастическая модель динамики ударных волн, задаваемая системой СДУЧП, в которой исследовано взаимодействие ударных волн большой интенсивности и длительности с пузырьками газа. Разработаны новые параллельные алгоритмы численного решения СДУЧП: двумерного стохастического параболического уравнения теплопроводности и стохастического уравнения упругости Ламе. Разработаны новые статистические алгоритмы численного анализа взаимодействия и распространения солитонов оптических волноводов, описываемых нелинейным уравнением Шредингера со случайным шумом в источнике и случайно-неоднородной средой. В базовых моделях теории колебаний исследованы эффекты синхронизации стохастических осцилляторов Ван-Дер-Поля и Дуффинга. Проведен параметрический анализ СДУЧП уравнений $\sin$ -Гордона и Кортвега-де-Фриза для выявления начальных данных и специальных параметров уравнений, при которых решение представляется как солитон (волна, осциллятор). Разработан новый параллельный статистический алгоритм решения обратной задачи гравиметрии. С помощью методов стохастической оптимизации разработан новый параллельный алгоритм решения обратной задачи Мертонна. Разработан метод, использующий численное решение СДУ для решения задач теплообмена в теплозащитных панелях сотового типа, которые применяются для установления требуемых температурных режимов в высокоскоростных летательных аппаратах, в том числе в условиях обледенения панелей. Для оценки функционалов от решений кинетических уравнений больцмановского типа разработаны новые и усовершенствованы предложенные ранее алгоритмы методов Монте-Карло, исследована трудоемкость построенных алгоритмов. Уравнения больцмановского типа рассматривались в рамках кинетической модели ценообразования, кроме того рассматривалось уравнение Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими, в том числе, от случайных параметров.

Созданы комплексы программ для моделирования реализаций, оценки функционалов и вероятностных характеристик решения СДУЧП и многомерных систем СДУ с высокой точностью на суперкомпьютерах.

Публикации

Монографии, главы в монографиях

1. Аверина, Т. А. Статистическое моделирование решений стохастических дифференциальных уравнений и систем со случайной структурой. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019. ISBN 978-5-7692-1638-1.

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Averina, T. A., Rybakov, K. A. A modification of numerical methods for stochastic differential equations with the first integral // Num. Analysis and Appl. 2019. V. 12. № 3. P. 203–218. DOI: 10.1134/S1995423919030017.

2. Kareva, Y. E., Efendiev, V. U., Rakhmonov, S. S., Chernyavsky, A. M., Lukinov, V. L. Long-term survival of patients with ischemic heart disease after surgical correction of moderate ischemic mitral regurgitation // Kardiologiya. 2019. Vol. 59(9). P. 13–19. DOI: 10.18087/cardio.2019.9.2635.

3. Kulygina, Y., Osipenko, M., Skalinskaya, M., Alikina, T., Kabilkov, M., Lukinov, V., Sitkin, S. Small intestinal bacterial overgrowth is not only associated in patients with crohn's disease is not only associated with a more severe disease, but is also marked by dramatic changes in the gut microbiome // J. of Crohn's and Colitis. 2019. Vol. 13, iss. S1. P. 544. DOI: 10.1093/ecco-jcc/jjy222.965.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Averina, T. A., Rybakov, K. A. Maximum cross section method in optimal filtering of jump-diffusion random processes // Optimization problems of complex systems (OPCS) : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. IEEE, 2019. P. 8–11. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880234.

2. Gusev, S. A., Nikolaev, V. N. Solving heat transfer problems of bodies with moving boundaries using the statistical modeling method // AIP Conf. Proc. 2125, 030078 (2019). DOI: 10.1063/1.5117460.

3. Gusev, S. A., Nikolaev, V. N. Statistical simulation of the hypersonic aircraft pressurized compartment and surface cooling system thermal state // AIP Conf. Proc. 2125, 030087 (2019). DOI: 10.1063/1.5117469.

4. Иванов, А. А. Анализ влияния случайных шумов на синхронизацию в системе двух связанных осцилляторов Дуффинга // СибЖИМ. 2019. Т. 22, № 1 (77). С. 41–52.

[Ivanov, A. A. Analysis of the effect of random noise on synchronization in a system of two coupled Duffing oscillators // J. Appl. Industr. Math. 2019. Vol. 13, iss. 1. P. 65–75 DOI: 10.33048/sibjim.2019.22.105.]

5. Kareva, Y. E., Efendiev, V. U., Rakhmonov, S. S., Chernyavskiy, A. M., Lukinov, V. L. Risk factors for the return of mitral insufficiency after coronary artery bypass graft and reconstruction of the mitral valve in patients with ischemic cardiomyopathy // Circulation Pathology and Cardiac Surgery. 2019. Vol. 23, iss. 2. P. 31–42. DOI: 10.21688/1681-3472-2019-2-31-42.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Аверина, Т. А., Косачев, И. М., Чугай, К. Н. Моделирование вероятностных характеристик случайного процесса на выходе апериодического звена // Мат. моделирование и краевые задачи : труды 11-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Самара, 27–30 мая 2019 г. С. 118–122.

2. Аверина, Т. А., Косачев, И. М., Чугай, К. Н. Статистическое моделирование системы телеуправления ЗУР ЗРК малой дальности // Марчуковские научные чтения-2019 : труды

Междунар. конф., Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 3–8. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10001.

3. Аверина, Т. А., Рыбаков, К. А. Применение метода максимального сечения в задачах оценивания случайных процессов // Марчуковские научные чтения-2019 : труды Междунар. конф., Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 9–13. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10002.

4. Burmistrov, A. V., Korotchenko, M. A. Application of kinetic models and simulation of multiparticle systems in some fields of science // Матем. моделирование, компьют. и натурный эксперимент в естеств. науках. 2019. № 1. С. 4–13.

5. Коротченко, М. А., Бурмистров, А. В. Алгоритмы метода Монте-Карло для решения уравнения Смолуховского со случайными коэффициентами // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем : Материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов, Пенза, 3–6 июня 2019 г. / под ред. д.ф.-м.н., проф. И. В. Бойкова. 2019. С. 35–40.

6. Бурмистров, А. В., Коротченко, М. А. Алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования автотранспортного потока со случайными параметрами // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019 : сб. трудов Международной научной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 72–78. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10012.

7. Gusev, S. A., Nikolaev, V. N. Parametric identification of the heat condition of radio electronic equipment in airplane compartment // Сиб. журн. науки и технологий. 2019. Т. 20, № 1. С. 62–67.

8. Гусев, С. А., Николаев, В. Н. Решение задачи теплообмена крыла самолета в условиях обледенения методом Монте-Карло // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019 : сб. трудов Международной научной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 127–132. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10021.

9. Иванов, А. А., Смирнов, Д. Д. Анализ влияния случайных шумов на солитонное решение уравнения $\sin$ -Гордона // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019 : сб. трудов Международной научной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 156–161. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10026.

10. Лукинов, В. Л. Решение методом Монте-Карло нелинейного уравнения Шредингера // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019 : сб. трудов Международной научной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 291–298. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10046.

11. Лукинов, В. Л. Численно-устойчивый вероятностный классификатор логистической регрессии // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019 : сб. трудов Международной научной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 299–304. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10047.

12. Якунин, М. А. Численный анализ стохастического осциллятора Ван-дер-Поля // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019 : сб. трудов Международной научной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 564–569. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10089.

13. Statsenko, I. A., Lebedeva, M. N., Palmash, A. V., Pervukhin, S. A., Rerikh, V. V., Lukinov, V. L. Influence of decompression and stabilization operations on the duration of hemodynamic support in patients with acute complicated injury of the cervical spine // Alexander Saltanov Intensive Care Herald. 2019. No 1. P. 85–93. DOI: 10.21320/1818-474X-2019-1-85-93.

14. Марченко, М. А., Серовайский, С. Я., Смирнов, Д. Д., Кенжебаева, М. О. Решение обратной задачи гравиметрии методом Монте-Карло на суперкомпьютере с использованием

распределенных вычислений // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2019) : короткие статьи и описания плакатов 13-й Международной научной конференции, Калининград, 2–4 апр. 2019 г. С. 327–338.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

1. Свидетельство № 2019663617. Программа для ЭВМ "Программа прогнозирования риска возможных осложнений у больных с фибрилляцией предсердий и артериальной гипертонией в сочетании с экстракардиальными заболеваниями" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Л. Д. Хидирова, В. Л. Лукинов ; дата гос. регистрации 21 октября 2019 г.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ) 2019", Калининград, 2–4 апреля 2019 г. – 1 доклад (Смирнов Д. Д.).

2. 8-я Международная научно-практическая конференция "Чаплыгинские чтения"; 26-я Всероссийская конференция с международным участием "Высокоэнергетические процессы в механике сплошной среды", посвящ. 150-летию со дня рождения С. А. Чаплыгина, 3–5 апреля 2019 г., Новосибирск – 1 доклад (Гусев С. А.).

3. 11-я Всероссийская научная конференция с международным участием "Математическое моделирование и краевые задачи", Самара, 27–30 мая 2019 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

4. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 9 докладов (Аверина Т. А., Бурмистров А. В., Гусев С. А., Иванов А. А., Лукинов В. Л., Смирнов Д. Д., Якунин М. А.).

5. Международная конференция в честь 90-летия С. К. Годунова "Математика в приложениях", Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 1 доклад (Смирнов Д. Д.).

6. 15th International Asian school-seminar "Optimization problems of complex systems" (OPCS), Novosibirsk, August 26–30, 2019 – 1 доклад (Аверина Т. А.).

7. Международная молодежная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г. – 1 доклад (Смирнов Д. Д.).

8. International workshop "Applied methods of statistical analysis. Statistical computation and simulation", Novosibirsk, 18–20 September, 2019 – 2 доклада (Аверина Т. А.).

9. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России-2019", Москва, 23–24 сентября 2019 г. – 1 доклад (Смирнов Д. Д.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Бурмистров А. В.:

– член организационного комитета Международной научной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

– член программного комитета Международной научной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

2. Лукинов В. Л. – член организационного комитета Международной научной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 3
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 8
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 22
 Свидетельств о регистрации программ в Роспатенте – 1
 Докладов на конференциях – 18
 Участников оргкомитетов конференций – 3

Кадровый состав

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

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

Педагогическая деятельность

1. Аверина Т. А.	– доцент НГУ
2. Бурмистров А. В.	– ст. преподаватель НГУ
3. Гусев С. А.	– доцент НГТУ
4. Лукинов В. Л.	– доцент СибГУТИ, ассистент НГУ
5. Махоткин О. А.	– доцент НГУ

Руководство студентами

1. Жумадилова Д. Б.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
2. Иманбаева А. Ж.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
3. Крылов М. А.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
4. Толоконникова Н. А.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
5. Магда А. П.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
6. Юзов Д. А.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
7. Васильев А. А.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
8. Степаненко П.	– 4-й курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.
9. Баргадаев А.	– 4-й курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.
10. Гептинг Я.	– 4-й курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.
11. Гусейнов Р.	– 4-й курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.
12. Родичев В.	– 4-й курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.

Защита дипломов

Тошалаковский Н. С.	– бакалавр СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
Кузьминых В. С.	– бакалавр СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
Метельский М. Л.	– бакалавр СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.
Дворников А. Н.	– бакалавр СибГУТИ, руководитель Лукинов В. Л.

Лаборатория стохастических задач

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

Важнейшие достижения**Новый эффект нерадиационной рекомбинации экситона на дислокациях: теория, моделирование и экспериментальное исследование подвижности экситонов в полупроводниковых материалах**

Д.ф.-м.н. Сабельфельд К. К., к.ф.-м.н. Киреева А. Е.

Обнаружен новый эффект нерадиационной рекомбинации экситона на дислокациях, построена теория этого взаимодействия, проведено стохастическое моделирование и совместное с физиками из Института твердотельной электроники им. П. Друде (PDI, Berlin) экспериментальное исследование дрейфа, диффузии и рекомбинации экситонов в пьезоэлектрическом поле, порождаемом упругими напряжениями вокруг проникающих дислокаций. Оказалось, в отличие от общепринятой теории, что контраст интенсивности катодоллюминесценции (CL) слабо зависит от длины диффузии экситонов, но контраст энергии CL очень чувствителен к длине диффузии и, следовательно, позволяет определять ее экспериментально. Новая теория впервые позволила корректно определять подвижность экситонов и их длину диффузии в полупроводниках, что открывает новые возможности для создания наноразмерной элементной базы для нужд фотоники и оптоэлектроники.

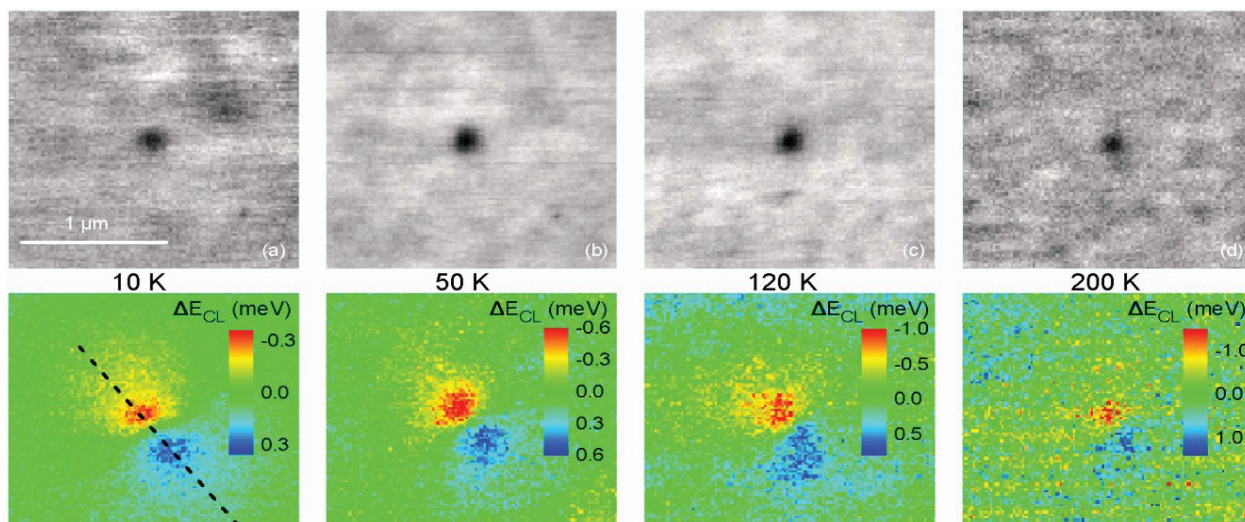


Рис. 1: Карта интенсивности катодоллюминесценции и распределение энергии запрещенной зоны вокруг дислокаций в полупроводнике из нитрида галлия

Результаты работы опубликованы в журналах "Applied Physics Letters" и "Physical Review Applied", входящих в квартиль Q1 по импакт-фактору JCR Science Edition:

1. Kaganer, V. M., Sabelfeld, K. K., Brandt, O. Piezoelectric field, exciton life time, and cathodoluminescence intensity at threading dislocations in GaN{0001} // Appl. Phys. Lett. 2018. Vol. 112, iss. 12. 122101.

2. Kaganer, V., Laehnemann, M. J., Pfueller, C., Sabelfeld, K. K., Kireeva, A. E., Brandt, O. Determination of the carrier diffusion length in GaN from cathodoluminescence maps around threading dislocations: fallacies and opportunities // Phys. Rev. Appl. 2019. V. 12, N 5. 054023.

Результаты исследований представлены на конференции

Kaganer, V., Laehnemann, J., Pfueller, C., Brandt, O., Sabelfeld, K., Kireeva, A. Can we determine the carrier diffusion length in GaN from cathodoluminescence maps around threading

dislocations? Intern. conf. on defects-recognition, imaging and physics in semiconductors "DRIP XVIII", Berlin, Sept. 8–12, 2019.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Разработка весовых параметрических алгоритмов метода Монте-Карло для суперкомпьютерного решения многомерных задач в естественных и технических науках".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0002.

Руководитель – д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Михайлов Г. А.

Представлен новый алгоритм построения модели трехмерного однородного случайного поля в горизонтальном слое $0 < z < H$ с заданными безгранично делимым одномерным распределением и корреляционной функцией $K_0(x, y)$ интеграла по "вертикальной" переменной z . В работе используется гамма-распределение $\Gamma(\nu, \theta)$ с параметрами формы ν и масштаба θ . Корреляционные функции $K_1(z)$ поля $\zeta(x, y, z)$ вдоль оси z могут представлять собой кусочно-линейное приближение требуемой корреляционной функции либо принадлежать классу Пойа, в частности это могут быть функции экспоненциального типа. Для построения базовой модели рассматривается совокупность n независимых элементарных горизонтальных слоев толщиной $h = H/n$, сдвинутых по вертикали на случайную величину, равномерно распределенную в интервале $(0, h)$. Доказано, что для сформулированной модели нормированная корреляционная функция интеграла по z совпадает с заданной "горизонтальной" нормированной корреляционной функцией, а параметры одномерного распределения стремятся к заданным асимптотически при $n \rightarrow \infty$, хотя математическое ожидание и дисперсия совпадают с заданными точно. Для воспроизведения указанных выше корреляционных функций $K_1(z)$ рассматривается дополнительная рандомизация базовой модели. Данная модель применима для имитации пространственной изменчивости облаков и определения взаимосвязей между облачными полями и распространяющейся в них радиации в теории климата и атмосферной оптики.

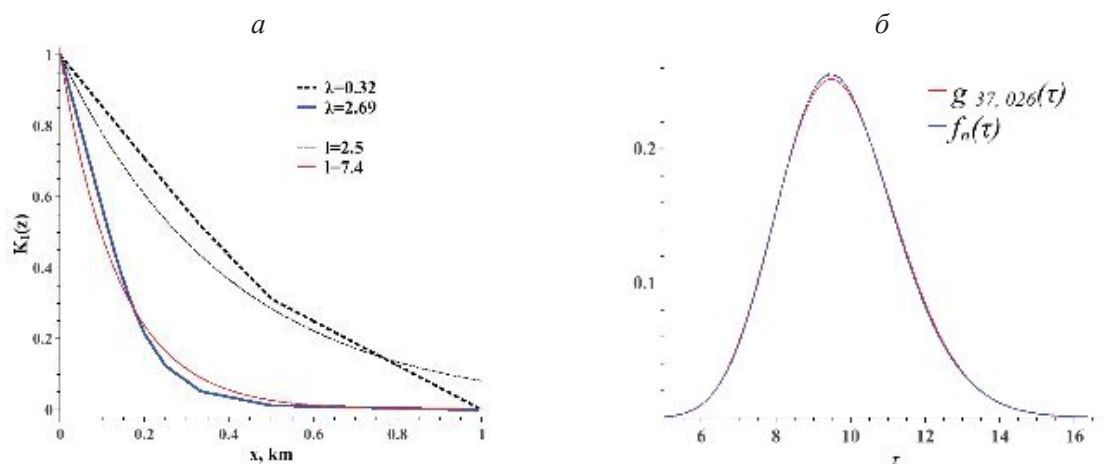


Рис. 2: Графики корреляционных функций $K_1(z)$ поля $\zeta_h(x, y, z)$, построенные для пуассоновского распределения числа слоев n с параметром λ и соответствующих экспоненциальных корреляционных функций из класса Пойа (а); плотность $f_h(u)$ одномерного распределения интеграла по "вертикальной" переменной z от поля $\zeta_h(x, y, z)$, смоделированного для непрерывного распределения величины h , и плотность заданного гамма-распределения $g_{37,0.26}(u)$ (б)

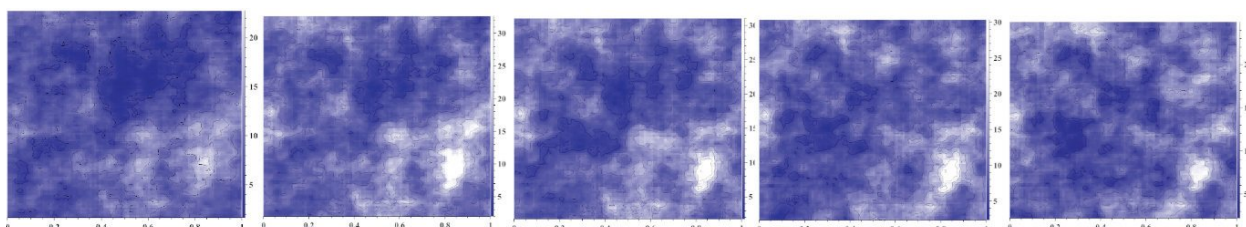


Рис. 3: Реализация модели случайного поля коэффициента ослабления излучения в последовательных горизонтальных слоях Δ_n с суммированием независимых реализаций

Исследованы численные стохастические модели атмосферной облачности с заданными одномерными распределениями и корреляционными функциями в горизонтальной плоскости. Для моделирования 2- и 3-мерных случайных полей некоторых характеристик слоистого облака (например, оптической толщины или коэффициента ослабления) были проанализированы экспериментальные данные наблюдений и сделаны некоторые предположения о вертикальных корреляциях моделируемого случайного поля. Для моделирования случайных полей использован метод обратной функции для гауссовских случайных полей. 2-мерные модели гауссовского случайного поля были построены на основе схемы векторной авторегрессии. 3-мерное случайное поле моделируется из совокупности двумерных полей с использованием одномерной схемы авторегрессии. Также построены 3-мерные случайные поля на основе спектрального разложения при условии, что корреляционная функция поля является произведением экспоненциальных функций по каждой координате и одномерное распределение является гамма-распределением с целым или кратным 0.5 показателем формы, с помощью суммирования квадратов гауссовских полей. Одна из целей работы – продемонстрировать несколько новых примеров моделирования случайных полей атмосферной облачности.

Предложен новый метод моделирования случайного пробега фотона при решении уравнения переноса со случайным коэффициентом ослабления, представленным однородным гауссовским процессом. Проведено сравнение предложенного алгоритма с методом максимального сечения для различных случайных сред. Показано, что для параметров случайных сред с большими значениями дисперсии предложенный алгоритм предпочтительнее.

Разработаны новые численные стохастические модели атмосферной облачности на основе моделирования поля оптических толщин слоистого облака методом обратной функции распределения и нелинейного преобразования гауссовских функций. Для моделирования гауссовских полей использованы метод условных математических ожиданий, векторная схема авторегрессии и спектральное разложение. Одномерные распределения и корреляционные функции стохастических моделей облачности оценивались по экспериментальным данным.

Методом Монте-Карло исследованы пространственно-временные распределения фотонов лазерного импульса при многократном рассеянии в дисперсных средах. Результаты статистического моделирования позволили изучить особенности рассеяния лазерного импульса и условия возникновения световых колец в облачных и водных слоях.

Разработано программное обеспечение, позволяющее исследовать особенности и строить компьютерную визуализацию для таких оптических явлений, как радуги, глории и венцы с учетом многократного рассеяния солнечного излучения в жидко-капельной атмосферной облачности.

Разработаны численные методы восстановления распределения радиуса капель в атмосферном облаке по зашумленной индикатрисе рассеяния. Для решения этой некорректно

поставленной задачи используется вариационный метод регуляризации Тихонова с дискретным аналогом второй производной от искомого решения в качестве стабилизатора. Вычислительные эксперименты показали, что при выборе параметра регуляризации по правилу L-curve метод Тихонова дает хорошие результаты.

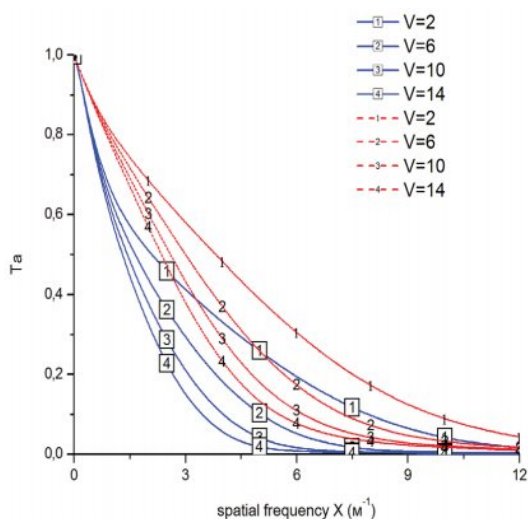


Рис. 4: Зависимость ОПФ от скорости и направления ветра: V — скорость ветра 2–14 м/сек.; синяя линия — вдоль направления ветра; красная линия — поперек направления ветра

Разработаны алгоритмы для нахождения оптической передаточной функции (ОПФ) системы "океан — атмосфера" с учетом волнения морской поверхности с использованием метода Монте-Карло. Для оценки интенсивности излучения использовались весовые методы и метод коррелированных оценок. Для моделирования взволнованной морской поверхности использовалась фацетная модель. Для оценки ОПФ использовалось также дискретное преобразование Фурье. Проведены численные исследования зависимости ОПФ от скорости и направления ветра, а также глубины океана. Расчеты показали, что ОПФ существенно зависит от скорости ветра (уменьшается при увеличении скорости ветра), а также от направления ветра (вдоль направления ветра оптическая передаточная функция меньше). Уменьшение ОПФ на практике означает ухудшение качества восстановления изображения, если восстановление осуществляется с использованием ОПФ. Результаты вычислений представлены на рис. 4.

Разработан новый эффективный алгоритм случайного блуждания для вычисления решения параболических уравнений и его производных одновременно в произвольном множестве точек.

Построены алгоритмы численного моделирования неоднородных пространственно-временных негауссовских полей на нерегулярной и регулярных сетках с учетом периодичности временных корреляционных связей. Алгоритмы использованы для построения численных стохастических моделей пространственно-временных полей комплексов метеорологических параметров: осадки — температура, осадки — модуль скорости ветра по данным многолетних наблюдений суточного и полусуточного разрешения на ряде метеорологических станций России.

Проведены исследования использования спектральных представлений для построения численных стохастических моделей метеорологических процессов. На примере периодически коррелированных временных рядов температуры воздуха в гауссовском приближении получены зависимости точности воспроизведения в модели реальных корреляционных связей в зависимости от числа используемых гармоник.

Построены алгоритмы численного моделирования неоднородных пространственно-временных негауссовских полей на нерегулярных и регулярных сетках с учетом их периодической коррелированности по времени. Алгоритмы использованы для построения численных стохастических моделей пространственно-временных полей комплексов метеопараметров и исследования статистических характеристик экстремальных метеорологических событий.

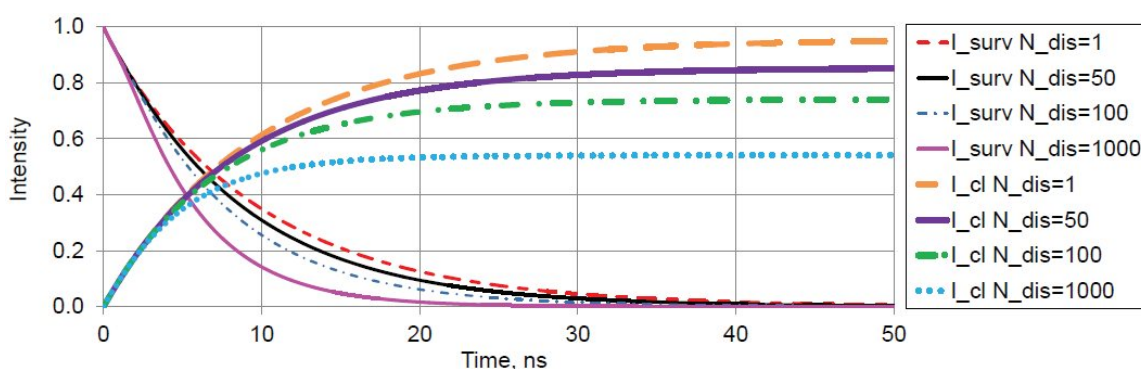


Рис. 5: Влияние количества дислокаций (N_{dis}) на временную зависимость интенсивности катодолуминесценции (I_{cl}) и концентрации выживших частиц (I_{surv})

На основе сеточной аппроксимации функций построен новый проекционно-сеточный численный алгоритм приближения вероятностной плотности. Показано, что этот алгоритм конструктивно совпадает с рандомизированным ядерным функциональным численным алгоритмом приближения решения уравнения Фредгольма второго рода.

Реализована параллельная версия алгоритма моделирования процессов анизотропной диффузии с рекомбинацией в GaN-полупроводниках при наличии дислокаций. Анизотропная диффузия с поглощением моделируется с помощью алгоритма случайного блуждания по произвольным параллелепипедам. Время вычислений для больших длин диффузии и большого количества дислокаций составляет несколько часов, поэтому параллельная версия алгоритма реализована путем распределения траекторий частиц между процессами MPI и потоками OpenMP. В результате моделирования получены временные зависимости интенсивности катодолуминесценции, концентрации выживших частиц и потока частиц на поверхность дислокаций. Для проверки реализации алгоритма выполнено сравнение результатов моделирования с результатами, полученными в изотропном случае с помощью алгоритма случайного блуждания по сферам, а также с точным решением изотропного уравнения диффузии-реакции. С помощью параллельной версии алгоритма исследовано влияние анизотропии диффузии и плотности дислокаций на интенсивность катодолуминесценции (рис. 5).

Результаты работ по проектам РНФ

Проект РНФ № 19-11-00019 "Рандомизация суперкомпьютерных вычислений и стохастическое моделирование процессов транспорта и рекомбинаций в полупроводниках, нуклеации и роста наноразмерных структур и их катодолуминесцентной визуализации".

Руководитель проекта — д.ф.-м.н. Сабельфельд К. К.

1. Разработаны теоретические основы построения и обоснования алгоритма стохастического моделирования для решения нелинейной системы уравнений транспорта дрефта-диффузии электронов и дырок в полупроводниках. Для системы нелинейных уравнений дрефта-диффузии типа Пуассона впервые построен стохастический алгоритм моделирования, позволяющий решать такие системы с произвольными граничными условиями и в областях со сложной границей.

2. Обнаружен новый эффект взаимодействия экситона с дислокациями, построена теория этого взаимодействия, проведено стохастическое моделирование и совместное с немецкими

физиками из Института твердотельной электроники им. П. Друде (PDI, Berlin) экспериментальное исследование дрейфа, диффузии и рекомбинации экситонов в пьезоэлектрическом поле, порождаемом упругими напряжениями вокруг проникающих дислокаций. Компьютерное моделирование показало, что в отличие от общепринятой теории, контраст интенсивности катодolumинесценции (CL) слабо зависит от диффузии экситонов, но контраст энергии CL очень чувствителен к длине диффузии и, следовательно, позволяет определять ее экспериментально. Эксперимент подтвердил данный вывод. Новая теория впервые позволила корректно определять подвижность экситонов и их длину диффузии в полупроводниках, что открывает новые возможности для создания наноразмерной элементной базы для нужд фотоники и оптоэлектроники. В целом для задач катодolumинесцентной визуализации дислокаций и дефектов разработаны новые алгоритмы моделирования движения экситонов с учетом их радиационной и нерадиационной рекомбинаций в области влияния пьезоэлектрического поля вокруг дислокаций, вызванных упругими напряжениями. Создан общий метод генерации экситонов электронным пучком для переменных температур, обобщающий метод, реализованный в известном кембриджском коде "Casino". С помощью развитого подхода рассчитана и проанализирована квантовая эффективность в зависимости от плотности дислокаций в полупроводнике. Эта работа проводилась в сотрудничестве с группой немецких физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (PDI, Berlin).

Результаты по данному проекту РНФ вошли в число самых ярких результатов исследований грантополучателей фонда в 2019 г. (<https://icmmg.nsc.ru/ru/content/news/rezultaty-proektu-rnf-kk-sabelfelda-voshli-v-chislo-samyh-yarkih-rezultatov>).

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 18-01-00149 "Численное стохастическое моделирование комплексов нестационарных негауссовских метеорологических процессов для исследования экстремальных метеорологических явлений".

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

На основе стохастических моделей временных рядов комплексов метеопараметров построены полупараметрические стохастические модели временных рядов высокого разрешения энтальпии влажного воздуха, а также биоклиматического индекса суровости метеорежима, индекса жары и индекса холодового стресса. Проведена верификация моделей. На основе моделей вычислен ряд характеристик длительных аномальных значений биоклиматических индексов. Продолжено изучение свойств рядов биоклиматических индексов при климатических изменениях. По модельным выборкам получена зависимость индекса холодового стресса от средней температуры воздуха.

Построена приближенная гауссовская спектральная модель периодически коррелированного процесса, в основе которой лежит разложение реального периодически коррелированного процесса в ряд Фурье на интервале времени, равном периоду коррелированности процесса. В рамках проекта предложен приближенный метод моделирования условных случайных процессов с условиями в виде неравенств. Он существенно экономичнее метода перебора и основан на моделировании условных гауссовских процессов при фиксированных значениях в заданные моменты времени.

Проект РФФИ № 19-41-543001 "Стохастическое моделирование временных рядов показателей теплосодержания атмосферного воздуха и его теплового воздействия на человека в условиях изменяющегося климата".

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

В первый год выполнения проекта разработаны, численно реализованы и верифицированы параметрические и полупараметрические стохастические модели нестационарных временных рядов различного временного разрешения метеорологических параметров и их комплексов. На основе построенных стохастических моделей было проведено исследование вероятностных свойств широкого класса обобщенных специализированных показателей метеорологических процессов, характеризующих теплосодержание атмосферного воздуха и его тепловое воздействие на человека. Проведено сравнение результатов моделирования с результатами, полученными при использовании также построенных в рамках проекта моделей биоклиматических показателей. Исследованы возможности использования построенных моделей биоклиматического индекса суровости метеорежима для построения вероятностного прогноза.

Предложены алгоритмы приближенного численного моделирования условных гауссовских процессов с условиями, заданными в виде неравенств. Исследована область применения данных алгоритмов. Выполнено сравнение (по точности и трудоемкости) разработанных алгоритмов с методом перебора реализаций безусловных процессов.

Публикации

Монографии, главы в монографиях

1. Пригарин, С. М. Моделирование переноса оптического излучения методом Монте-Карло. Lambert Academic Publishing, 2019. 87 с. ISBN 978-613-9-44828-9.

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Turner, M., Adli, E. et al. (AWAKE Collaboration). Experimental observation of plasma wakefield growth driven by the seeded self-modulation of a proton bunch // Phys. Rev. Lett. 2019. Vol. 122, iss. 5. 054801. DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.054801.

2. Adli, E. et al. (AWAKE Collaboration). Experimental observation of proton bunch modulation in a plasma at varying plasma densities // Phys. Rev. Lett. 2019. Vol. 122, iss. 5. 054802. DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.054802.

3. Shalimova, I., Sabelfeld, K. K. A random walk on small spheres method for solving transient anisotropic diffusion problems // Monte Carlo Methods and Appl. 2019. Vol. 25, iss. 3. P. 271–282. DOI: 10.1515/mcma-2019-2047.

4. Kargin, B., A., Ukhinova O. S. Monte-Carlo calculation of the optical transfer function of the ocean-atmosphere system [Electron. resource] // Proc. SPIE. Vol. 11208, 25th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 1120827, December 18, 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2540757>.

5. Sabelfeld, K. First passage Monte Carlo algorithms for solving coupled systems of diffusion – reaction equations // Appl. Math. Lett. 2019. Vol. 88. P. 141–148. DOI: 10.1016/j.aml.2018.08.018.

6. Sabelfeld, K. K. Stochastic algorithm for solving transient diffusion equations with a precise accounting of reflection boundary conditions on a substrate surface // Appl. Math. Lett. 2019. Vol. 88. P. 141–148. Vol. 96. P. 187–194. DOI: 10.1016/j.aml.2019.05.003.

7. Kaganer, V. M., Laehnemann, J., Pfueller, C., Sabelfeld, K. K., Kireeva, A. E., Brandt, O. Determination of the carrier diffusion length in GaN from cathodoluminescence maps around threading dislocations: fallacies and opportunities // Phys. Rev. Appl. 2019. V. 12, iss. 5. 054023. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.12.054038.

8. Sabelfeld, K. K. A global random walk on spheres algorithm for transient heat equation and some extensions // Monte Carlo Methods and Appl. 2019. Vol. 25, iss. 1. P. 85–96. DOI: 10.1515/mcma-2019-2032.
9. Sabelfeld, K. K. Random walk on rectangles and parallelepipeds algorithm for solving transient anisotropic drift-diffusion-reaction problems // Monte Carlo Methods and Appl. 2019. Vol. 25, iss. 2. P. 131–146. DOI:10.1515/mcma-2019-2039.
10. Киреева, А. Е., Сабельфельд, К. К., Мальцева, Н. В., Грибов, Е. Н. Трехмерная клеточно-автоматная модель электрохимического окисления углерода "Ketjen Black EC-600JD" // Вестн. ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 46. С. 31–39. DOI: 10.17223/19988605/46/4.
11. Kireeva, A. E., Sabelfeld, K. K. Supercomputer stochastic simulation of transient anisotropic diffusion-reaction processes with application in cathodoluminescence imaging // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 1063. P. 269–284. DOI: 10.1007/978-3-030-28163-2_19.
12. Kireeva, A. E., Sabelfeld, K. K., Kireev, S. E. Synchronous multi-particle cellular automaton model of diffusion with self-annihilation // Lect. Notes in Comp. Sci. (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2019. 11657. P. 345–359. DOI:10.1007/978-3-030-25636-4_27.
13. Kargapolova, N., Khlebnikova, E., Ogorodnikov, V. Numerical study of properties of air heat content indicators based on stochastic models of the joint meteorological series // RJNAMM. 2019. Vol. 34, iss 2. P. 95–104. DOI:10.1515/rnam-2019-0008.
14. Kargapolova, N. A., Khlebnikova, E. I., Ogorodnikov, V. A. Stochastic models of joint non-stationary time-series of air temperature, relative humidity and atmospheric pressure // Commun. in Statistics – Simul. and Comput. 2019. <https://doi.org/10.1080/03610918.2019.1635157>.
15. Medvyatskaya, A. M., Ogorodnikov, V. A. Approximate spectral models of random processes with periodic properties // RJNAMM. 2019. Vol. 34, N 6. P. 353–360. <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0>.
16. Kablukova, E. G., Mikhailov, G. A., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M. Simulation of a random field with given distribution of one-dimensional integral // RJNAMM. 2019. Vol. 34, N 6. P. 327–338. <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0>.
17. Mikhailov, G. A., Kablukova, E. G., Ogorodnikov, V. A., Prigarin S. M. Constructing a numerically statistical model of a homogeneous random field with a given distribution of the integral over one of the phase coordinates // Doklady Mathematics. 2019. Vol. 100, N 3. P. 131–135. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524892131-135>.
18. Kablukova, E. G., Kargin B. A., Prigarin, S. M. Monte Carlo algorithms for simulating optical radiation transfer in stochastic clouds // Proc. SPIE 11208, 25th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 1120828, Dec. 18, 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2540758>.
19. Bulgakova, T. E., Voytishchik, A. V. On numerical stability of randomized projection functional algorithms // Commun. in Statistics – Simul. and Comput. Okt. 2019. <https://doi.org/10.1080/03610918.2019.1677914>.
20. Shefer, O. V., Kargin, B. A. Radiant energy extinction in the radiative transfer equation for crystal clouds // Rus. Phys. J. 2019. Vol. 61, N 9. DOI: 10.1007/s11182-018-1573-5.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Akenteva, M. S., Kargapolova, N. A., Ogorodnikov, V. A. Numerical study of the bioclimatic index of severity of climatic regime based on a stochastic model of the joint meteorological time series // Proc. of the 5th Intern. workshop "Applied methods of statistical analysis. Statistical

Computation and simulation", Novosibirsk, Sept. 18–20, 2019. Novosibirsk: NSTU publisher, 2019. P. 311–319.

2. Medvyatskaya, A., Ogorodnikov, V. Approximate numerical stochastic spectral model of periodically correlated process // Proc. of the 5th Intern. workshop "Applied methods of statistical analysis. Statistical computation and simulation", Novosibirsk, Sept. 18–20, 2019. P. 311–319. Novosibirsk: NSTU publisher, 2019. P. 320–326.

3. Voytishek, A. V., Bulgakova, T. E. On conditional optimization of "kernel" estimators of densities // Proc. of the 5th Intern. workshop "Applied methods of statistical analysis. Statistical computation and simulation", Novosibirsk, Sept. 18–20, 2019. P. 311–319. Novosibirsk: NSTU publisher, 2019. P. 152–159.

4. Kargapolova, N. Stochastic simulation of meteorological non-Gaussian joint time-series // Proc. of the 9th Intern. conf. "Simulation and modeling methodologies, technologies and applications. Advances in intelligent systems and computing", Prague (Czech Republic), July 29–31, 2019. Vol. 873. P. 117–127. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01470-4_7.

5. Kargapolova, N. Stochastic models of non-stationary time series of the average daily heat index // Proc. of the 5th Intern. workshop "Applied methods of statistical analysis. Statistical computation and simulation", Novosibirsk, Sept. 18–20, 2019. P. 311–319. Novosibirsk: NSTU publisher, 2019. Vol. 1: SIMULTECH. P. 209–215. DOI: 10.5220/0007788502090215.

6. Kargin, B. A., Kablukova, E. G., Zhen, P. Monte Carlo simulation of the optical radiation transfer process in stochastic scattering media // Commun. in Statistics: Simul. and Comput. 2019. DOI: 10.1080/03610918.2019.1635158.

7. Kablukova, E. G., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M., Yudin, M. S. Stochastic quasi-Gaussian models of atmospheric clouds // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 386. 012043. 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012043.

8. Kargapolova, N. A. Stochastic model of the time series of the average daily bioclimatic index of severity of climatic regime // Proc. of the 33rd European Simulation and Modelling Conference, Palma de Mallorca, Oct 28–30, 2019. P. 185–189.

9. Levykin, A. I., Novikov, A. E., Novikov, E. A. (m, k)-methods for control theory problems // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th International Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 120–124. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880174.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Сушкевич, Т. А., Стрелков, С. А., Максакова, С. В., Белов, В. В., Зимовая, А. В., Козодеров, В. В., Пригарин, С. М., Фалалеева, В. А., Краснокутская, Л. Д., Фомин, Б. А., Колокутин, Г. Э., Кузьмичев, А. С., Николенко, А. А., Страхов, П. В., Шурыгин, Б. М. Всемирная глобальная научная программа "Будущее Земли": радиационное поле Земли, аэрокосмическое ДЗЗ, компьютеринг, big data (посвящ. 85-летию акад. В. В. Воеводина) // Суперкомпьютерные дни в России : Труды Междунар. конф., Москва, 23–24 сент. 2019 г. С. 40–49.

2. Ухинова, О. С., Каргин, Б. А. Статистическое моделирование переноса оптических сигналов через взволнованную поверхность // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : труды Междунар. конф., Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 537–542. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10085.

3. Kablukova, E. G., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M. Stochastic quasi-Gaussian models of the atmospheric clouds // Труды Междунар. молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES '2019", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 269–272.

4. Булгакова, Т. Е., Войтишек, А. В. Об использовании бета- и гамма-распределений в численных рандомизированных моделях // Вероятностные методы в дискретной математике : расширенные тезисы 10-й Международной Петрозаводской конференции, Петрозаводск, 22–26 мая 2019 г. Петрозаводск: КарНЦ, 2019. С. 66–68.

5. Булгакова, Т. Е., Войтишек, А. В. Об использовании "ядерных" оценок плотностей при рандомизации математических численных моделей // Информационные технологии и математическое моделирование : материалы 18-й Междунар. конф. им. А. Ф. Терпугова, Саратов, 26–30 июня 2019 г. Ч. 2. Томск: Изд-во НТЛ, 2019. С. 322–328.

6. Булгакова, Т. Е., Войтишек, А. В. Применение рандомизированных функциональных алгоритмов для решения одной задачи с "вычислимым" ядром интегрального уравнения // "Информационные технологии и математическое моделирование" : материалы 18-й Международной конференции им. А. Ф. Терпугова, Саратов, 26–30 июня 2019 г. Ч. 2. Томск: Изд-во НТЛ, 2019. С. 329–334.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

Свидетельство № 2019614256 РФ. Программа для ЭВМ "Программа для интегрирования систем алгебро-дифференциальных уравнений индекса 1" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / А. Е. Новиков, Е. А. Новиков, А. И. Левыкин. Дата регистрации 01.04.2019.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международный симпозиум "Атмосферная радиация и динамика" (МСАРД-2019), Санкт-Петербург, 25–27 июня 2019 г. – 5 докладов (Пригарин С. М., Заковряшин А. В., Ухинова О. С., Каргин Б. А.).

2. The 11th International conference on extreme value analysis, Загреб (Хорватия), 1–5 июля 2019 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

3. The 9th International conference on simulation and modeling methodologies, technologies and applications, Прага (Чехия), 29–31 июля 2019 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

4. The 6th International conference on time series and forecasting, Гранада (Испания), 25–27 сентября 2019 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

5. The 33rd annual european simulation and modelling conference, Пальма-де-Майорка (Испания), 28–30 октября 2019 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

6. Международная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотogramметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" в рамках "Интерэкспо Гео-Сибирь-2019", Новосибирск, 17–18 апреля 2019 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А., Огородников В. А.).

7. The 5th International workshop "Applied methods of statistical analysis. statistical computation and simulation", Новосибирск, 18–20 сентября 2019 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А., Огородников В. А., Войтишек А. В.).

8. 26-я Конференция "Аэрозоли Сибири", Томск, 26–29 ноября 2019 г. – 2 доклада (Каргаполова Н. А., Огородников В. А., Каргин Б. А., Каблукова Е. Г.).

9. 25-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 30 июня – 5 июля 2019 г. – 2 доклада (Ухинова О. С., Каргин Б. А., Каблукова Е. Г., Пригарин С. М.).

10. International conference "Mechanisms and non-linear problems of nucleation and growth of crystals and thin films", Saint-Petersburg, July 1–5, 2019 – 1 доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).

11. International conference on defects-recognition, imaging and physics in semiconductors (DRIP XVIII), Berlin (Germany), September 8–12, 2019 – 1 доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).
12. "Mathematics and its Applications", Novosibirsk, August 4–10, 2019 – 3 доклада (Войтишек А. В., Сабельфельд К. К.).
13. The 11th International scientific conference and young scientist school "Theory and computational methods for inverse and ill-posed problems", Novosibirsk, August 26 – September 4, 2019 – 3 доклада, из них 2 пленарных (Каргин Б. А., Сабельфельд К. К., Каблукова Е. Г., Огородников В. А., Пригарин С. М.).
14. 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019 – 1 доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).
15. International scientific conference "Parallel computing technologies", Kalinigrad, April 2–4, 2019 – 1 доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).
16. Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES '2019", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. – 1 доклад (Каблукова Е. Г., Огородников В. А., Пригарин С. М.).
17. Конференция благотворительного фонда В. Потанина "Магистратура++: программируя образование будущего", Санкт-Петербург, 25–27 апреля 2019 г. (Войтишек А. В., без доклада).
18. 10-я Международная Петрозаводская конференция "Вероятностные методы в дискретной математике", Петрозаводск, 22–26 мая 2019 г. – 1 доклад (Войтишек А. В.).
19. 18-я Международная конференция им. А. Ф. Терпугова "Информационные технологии и математическое моделирование", Саратов, 26–30 июня 2019 г. – 2 доклада (Войтишек А. В.).
20. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2019"; Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 16 докладов, из них 2 пленарных, 2 приглашенных (Каргаполова Н. А., Войтишек А. В., Заковряшин А. В., Пригарин С. М., Огородников В. А., Каргин Б. А., Каблукова Е. Г., Сабельфельд К. К., Киреева А. Е., Ухинова О. С., Шалимова И. А.).
21. 15-я Международная школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г. – 1 доклад (Войтишек А. В.).
22. Международная конференция "Аналитические и численные методы решения задач гидродинамики, математической физики и биологии", посвященная 100-летию К. И. Бабенко; Пущино (Московская обл.), 26–29 августа 2019 г. – 1 доклад (Войтишек А. В.).
23. 10-я Международная конференция "Optimization and applications"; Петровац (Черногория), 30 сентября – 4 октября 2019 г. – 1 доклад (Войтишек А. В.).
24. 18-й Международный междисциплинарный семинар "Математические модели и моделирование в лазерно-плазменных процессах и передовых научных технологиях", Петровац (Черногория) 30 сентября – 4 октября 2019 г. (Войтишек А. В., без доклада).

Участие в организации научных мероприятий

1. Каргин Б. А. – член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;
2. Сабельфельд К. К.:
– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

– член программного комитета 7th International scientific conference and young scientist school "Theory and computational methods for inverse and ill-posed problems", Novosibirsk, August 26 – September 4, 2019;

3. Огородников В. А. – член программного комитета 5th International workshop "Applied methods of statistical analysis. Statistical computation and simulation", Novosibirsk, September 18–20, 2019;

4. Киреева А. Е. – член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

5. Каблукова Е. Г. – член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

6. Войтишек А. В. – член организационного комитета 18-й Международной конференции им. А. Ф. Терпугова "Информационные технологии и математическое моделирование"; Саратов, 26–30 июня 2019 г.;

7. Каргаполова Н. А. – член программного комитета 9th International conference on simulation and modeling methodologies, technologies and applications, Прага (Чехия), 29–31 июля 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Монографии, главы в монографиях – 1

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 20

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 28

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 34

Свидетельств о регистрации программ в Роспатенте – 1

Докладов на конференциях – 47, в том числе 4 пленарных

Участников организации конференций – 8

Кадровый состав

1. Каргин Б. А.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Войтишек А. В.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Заковряшин А. В.	инженер	
4. Каблукова Е. Г.	н.с.	к.ф.-м.н.
5. Каргаполова Н. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
6. Каргин А. Б.	ведущ. инженер	
7. Киреева А. Е.	н.с.	к.ф.-м.н.
8. Левыкин А. И.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
9. Огородников В. А.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
10. Пригарин С. М.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
11. Сабельфельд К. К.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
12. Сересева О. В.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
13. Ухинова О. С.	н.с.	к.ф.-м.н.
14. Шалимова И. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.

Киреева А. Е., Каргаполова Н. А., Сересева О. В. – 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
Ухинова О. С.	– ст. преподаватель ВКИ НГУ

Руководство студентами

1. Попов Н. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Шалимова И. А.
2. Акентьева М. С. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Огородников В. А.
3. Чжен Пэнфэй – 6-й курс ММФ НГУ, руководитель Каргин Б. А., Каблукова Е. Г.
4. Ли Ч – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.

Руководство аспирантами

1. Му Цюань – 1-й год, НГУ, руководители Каргин Б. А., Каблукова Е. Г.
2. Дульзон О. В. – 4-й год, НГУ, руководитель Шалимова И. А.
3. Заковряшин А. В. – 2-й год, НГУ, руководитель Пригарин С. М.
4. Миронова Д. Э. – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Пригарин С. М.
5. Скворцов С. С. – 4-й год, ИВМиМГ, руководитель Огородников В. А.
6. Медвяцкая А. М. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Огородников В. А.

Защита дипломов

1. Попов Н. А. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Шалимова И. А.
2. Джао Бо – магистр ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.
3. Хохлова Ю. В. – магистр ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.
4. Ян Чжень – магистр ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.
5. Сазонов М. А. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.
6. Скворцов С. С. – аспирант ИВМиМГ СО РАН (диплом преподавателя-исследователя), руководитель Огородников В. А.
7. Медвяцкая А. М. – аспирант ИВМиМГ СО РАН (диплом преподавателя-исследователя), руководитель Огородников В. А.
8. Акентьева М. С. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Огородников В. А.
9. Чжен Пэнфэй. – магистр ММФ НГУ, руководители Каргин Б. А., Каблукова Е. Г.

Награды

Войтишек А. В. – победитель Грантового конкурса Благотворительного фонда В. Потанина 2019 г.

Войтишек А. В. награжден медалью "За заслуги" в честь 60-летия Новосибирского государственного университета.

Лаборатория вычислительной физики

И.о. зав. лабораторией к.ф.-м.н. Горбенко Н. И.

Важейшие достижения

Численное моделирование широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера

Д.ф.-м.н. Свешников В. М., Козырев А. Н.

Выполнено численное моделирование физических процессов широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера. Исследуемая область характеризуется сильной разномасштабностью и протяженностью. Расчеты проводились на адаптивных квазиструктурированных локально модифицированных сетках. Предложена математическая модель нахождения свободной поверхности эмиссионной плазмы, согласно которой задача рассматривается в двумерном осесимметричном приближении и поверхность входа электронов в расчетную область представляется в виде совокупности дуг окружностей, соединяемых перешейками. Для повышения точности расчетов

предложено разбить разномасштабную протяженную область на две подобласти и находить решение альтернирующим методом Шварца, поочередно проводя решение самосогласованных задач в подобластях. Пучки моделируются методом трубок тока, потенциал электрического поля рассчитывается методом конечных объемов.

Проведено сравнение полученных характеристик пучка с данными эксперимента. Показано, что при рабочих параметрах пучка его потери на элементах источника минимальны.

На рис. 1 показаны траектории электронов и эквипотенциальные линии в приэмиттерной подобласти

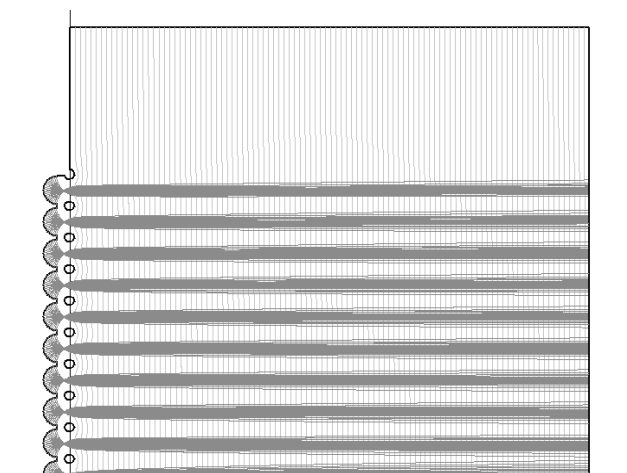


Рис. 1: Электронные пучки и эквипотенциальные линии в приэмиттерной подобласти

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Астрелин, В. Т., Воробьев, М. С., Козырев, А. Н., Свешников, В. М. Численное моделирование работы широкоапертурного ускорителя электронов с сетчатым плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу // ПМТФ. 2019. Т. 60, № 5. С. 3–12.

2. Astrelin, V. T., Vorobyov, M. S., Kozyrev, A. N., Sveshnikov, V. M. Numerical simulation of the operation of a wide-aperture electron gun with a grid plasma emitter and beam output into the atmosphere // J. of Appl. Mechanics and Techn. Phys. 2019. Vol. 60, No 5. P. 785–792.

Результаты исследований представлены на конференциях:

1. Свешников, В. М., Астрелин, В. Т., Воробьев, М. С., Козырев, А. Н. Численное моделирование широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера // Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. (приглашенный доклад).

2. Астрелин, В. Т., Воробьев, М. С., Козырев, А. Н., Свешников, В. М. Особенности численного моделирования многолучевого источника электронов с плазменным эмиттером // 18-я Всероссийская конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", Абрау-Дюрсо, 16–21 сентября 2019 г. (пленарный доклад).

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Математическое моделирование комплексных многомерных процессов естествознания на суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0008.

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

Этап 2019 г.

1. Разработаны технологии, структуры данных и алгоритмы построения трехмерных адаптивных сеток для численного моделирования нелинейных задач о прохождении интенсивных пучков заряженных частиц в современных электронно-оптических приборах в трехмерной постановке.

2. Разработаны сеточные структуры данных для расчета потенциала электрического поля при распараллеливании решения многомерных краевых задач.

3. Проведено экспериментальное исследование решателей трехмерных краевых задач на подсетках квазиструктурированных сеток.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 19-11-50073 "Итерационные предобусловленные методы в подпространствах Крылова".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

В рамках выполнения проекта проведены аналитические обзоры развития направлений вычислительной алгебры в XXI в. по высокопроизводительному решению плохо обусловленных СЛАУ с разреженными матрицами сверхвысоких порядков, включая алгебраические и комбинаторные многосеточные методы, алгоритмы вложенных факторизаций, предобусловленные итерационные процессы в подпространствах Крылова для седловых задач, а также проекционные подходы к декомпозиции областей. Описаны перспективы параллельных масштабируемых технологий на базе оптимизации операций с большими данными средствами искусственного интеллекта и создания интегрированного программного обеспечения вычислительной алгебры.

Проект РФФИ № 16-29-15122 офи_м "Вычислительные методы и параллельные технологии предсказательного моделирования процессов в нефтегазовой отрасли".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработаны общая концепция, архитектура, основные функциональные компоненты и структуры данных интегрированного вычислительного окружения (ИВО) нового поколения для высокопроизводительного решения актуальных задач нефтегазовой отрасли на многопроцессорных вычислительных системах с гетерогенными кластерами на распределенной и иерархической общей памяти. Созданы прототипы программных методо-ориентированных подсистем, поддерживающих соответствующие стадии крупномасштабного вычислитель-

ного эксперимента: геометрического и функционального моделирования, генерации адаптивных квазиструктурированных сеток, аппроксимации исходных систем дифференциальных и/или интегральных уравнений, решения возникающих алгебраических задач и т. д. Данное математическое и программное обеспечение включает современные методы конечных объемов, конечных элементов и разрывных алгоритмов Галеркина с базисными функциями различных порядков для решения многомерных задач теплопроводности с фазовыми переходами, многофазной фильтрации в трещиновато-пористых средах и внутрислоевого фильтрационного горения. Реализуемые постановки включают начально-краевые задачи с реальными данными, содержащими расчетные области с многосвязными кусочно-гладкими границами и контрастными материальными свойствами различных сред. Масштабируемое распараллеливание алгоритмов обеспечивается аддитивными итерационными методами декомпозиции областей с параметризованными пересечениями подобластей, а также средствами гибридного программирования с использованием системы MPI для пересылки межузловых сообщений, многопоточковых технологий на общей памяти и векторизации операций. Особое внимание при работе с большими данными уделяется минимизации коммуникационных операций, которые не только значительно замедляют вычислительный процесс, но и являются наиболее энергозатратными. Создаваемое ИВО представляет собой устойчивую экосистему, включающую интеллектуальные инструменты для автоматизации построения алгоритмов и их отображения на архитектуру суперЭВМ, а также формирования дружественных интерфейсов для конечных пользователей с различными профессиональными интересами. Лейтмотивом предлагаемой масштабной разработки является длительный жизненный цикл с широкой востребованностью в решении актуальных наукоемких задач нефтегазовой отрасли.

Проект РФФИ № 18-01-00295 "Высокопроизводительные параллельные алгоритмы и технологии для решения больших разреженных СЛАУ".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработаны, исследованы и экспериментально апробированы новые вычислительные методы и параллельные технологии решения симметричных и несимметричных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) высоких порядков с разреженными матрицами, возникающими при аппроксимациях многомерных начально-краевых задач на неструктурированных сетках и хранящихся в сжато-разреженных форматах в распределенной и иерархической общей памяти многопроцессорной вычислительной системы (МВС). Общий подход заключается в построении предобусловленных итерационных алгоритмов в подпространствах Крылова с обеспечением масштабируемого параллелизма и высокой производительности средствами гибридного программирования на МВС гетерогенной архитектуры. Рассмотрены комбинированные методы аддитивного Чебышевского ускорения и алгоритмов сопряженных или полусопряженных направлений в подпространствах Крылова, позволяющие предотвращать стагнацию процессов при неизбежном использовании рестартовых процедур для сокращения длины итерационных рекурсий. Предложен двухуровневый метод градиентной регуляризации для решения СЛАУ с седловой точкой, возникающих из смешанной постановки для трехмерной задачи фильтрации. Исследован ряд вариантов алгебраического многосеточного метода. Разработаны параллельные алгоритмы ILU – разложения и аддитивной декомпозиции областей в подпространствах Крылова в рамках технологий многопоточковых вычислений. Рассмотрены особенности итерационных процессов с оптимизированным выбором начальных приближений на каждом временном шаге

при решении начально-краевых задач по неявным схемам различного порядка точности. Разработаны концепция, общая структура и структуры данных интегрированного вычислительного окружения для решения алгебраических задач на базе библиотеки параллельных решателей KRYLOV, ориентированного на гибкое расширение состава математических моделей и применяемых алгоритмов, адаптацию к эволюции компьютерных архитектур, эффективное переиспользование внешних программных продуктов и согласованное участие различных групп разработчиков, что в совокупности должно обеспечить успешный длительный жизненный цикл проекта и его активную инновационную востребованность широким кругом конечных пользователей. Общим лейтмотивом проекта по созданию математического и программного обеспечения нового поколения является суперкомпьютерное моделирование в эпоху больших данных и искусственного интеллекта.

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

Комплексная программа фундаментальных научных исследований СО РАН № 10 "Развитие методов генерации мощных электронных пучков в системах с плазменными электродами для приложений в области физического материаловедения и технологий".

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

Разработаны модели плазменного эмиттера, проведен расчет источника электронов ДУЭТ с сетчатым плазменным катодом, генерирующим пучок большого сечения с выводом его в атмосферу через тонкую металлическую фольгу, и распараллеливание расчета потенциала электрического поля в трехмерных электронно-оптических системах.

Научная значимость полученных результатов состоит в создании новых алгоритмов, технологий и программ, а практическая значимость – в возможности численного моделирования процессов в развиваемых в рамках проекта установках.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Gorbenko, N. I., Il'in, V. P., Frumin, L. L. Calculation of light scattering on a Bragg grating by recursion of transfer matrices on a nonuniform grid // Optoelectron. Instrum. And Data Proc. 2019. Vol. 55, iss. 1. P. 32–40. DOI: 10.3103/S8756699019010060.

2. Il'in, V. P. How to reorganize computational science and technologies? // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89, iss. 3. P. 250–258. DOI: 10.1134/S1019331619030031.

3. Astrelin, V. T., Vorobyov, M. S., Kozyrev, A. N., Sveshnikov, V. M. Numerical simulation of the operation of a wide-aperture electron gun with a grid plasma emitter and beam output into the atmosphere // J. of Appl. Mechan. and Techn. Phys. 2019. Vol. 60, No 5. P. 785–792. <https://doi.org/10.1134/S0021894419050018>.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Il'in, V. P. The conception, requirements and structure of the integrated computational environment // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 965. P. 653–665. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_56.

2. Il'in, V. P. Projection methods in Krylov subspaces // J. of Math. Sci. 2019. Vol. 240, iss. 6. P. 772–782. DOI: 10.1007/s10958-019-04395-7.

3. Il'in, V. P. On an integrated computational environment for numerical algebra // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 1063. P. 91–106. DOI: 10.1007/978-3-030-28163-2_7.
4. Il'in, V. P., Zadorin, A. I. Adaptive formulas of numerical differentiation of functions with large gradients // J. of Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1260, iss. 4. 42003. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/4/042003.
5. Sveshnikov, V. M., Tretyakov, A. S. Numerical-analytical algorithms for integrating the equations of motion of charged particles in electric fields // Appl. Phys. 2019. Vol. 1. P. 5–10.
6. Savchenko, A. O., Petukhov, A. V. A method for solving an exterior boundary value problem for the Laplace equation by overlapping domain decomposition // J. of Appl. and Indust. Math. 2019. Vol. 13, iss. 3. P. 519–527. DOI: 10.1134/S1990478919030128.
7. Il'in, V. P. Artificial intelligence problems in mathematical modeling // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 1129. P. 505–516. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9_41.
8. Il'in, V. P. Projection methods in Krylov subspaces // J. of Math. Sci. 2019. Vol. 240, No 6. P. 772–782. DOI: 10.1007/s10958-019-04395-7.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Свешников, В. М., Третьяков, А. С. Численно-аналитические алгоритмы интегрирования уравнений движения заряженных частиц в электрических полях // Прикл. физ. 2019. № 1. С. 5–10.
2. Klimonov, I., Sveshnikov, V. Technologies of parallelizing the three-dimensional Peaceman – Rachford method on GPU // Параллельные вычислительные технологии : труды 13-й Междунар. науч. конф., Калининград, 2–4 апр. 2019 г. С. 34–39.
3. Астрелин, В. Т., Воробьев, М. С., Козырев, А. Н., Свешников, В. М. Численное моделирование работы широкоапертурного ускорителя электронов с сетчатым плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу // ПМТФ. 2019. Т. 60. № 5 (357). С. 3–12. DOI: 10.15372/PMTF20190501.
4. Ильин, В. П. Об интегрированном вычислительном окружении для высокопроизводительного решения СЛАУ // Супервычисления и математическое моделирование : труды 17-й Междунар. конф., Саров, 15–19 окт. 2019 г. Саров: ВНИИЭФ. С. 286–299.
5. Гурьева, Я. Л., Ильин, В. П., Петухов, А. В. О многосеточных методах решения двумерных краевых задач // Записки научных семинаров ПОМИ. 2019. Т. 482. С. 13–27.
6. Ильин, В. П., Казанцев, Г. Ю. Итерационное решение СЛАУ с седловой точкой // Записки научных семинаров ПОМИ. 2019. Т. 482. С. 135–150.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках Марчуковских научных чтений-2019, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 9 докладов, из них 1 пленарный (Ильин В. П., Свешников В. М., Гурьева Я. Л., Савченко О. А., Омарова Г. А., Петухов А. В., Гладких В. С., Перевозкин Д. В., Козырев А. Н., Горшунов В. С.).
2. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии", Калининград, 2–4 апреля 2019 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Ильин В. П., Свешников В. М.).
3. 12-я Международная Ершовская конференция по информатике, Новосибирск, 2–3 июля 2019 г. – 2 доклада (Ильин В. П., Горшунов В. С.).
4. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 23–24 сентября 2019 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).

5. 11-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г. – 1 пленарный доклад (Ильин В. П.).
6. Международная конференция "Математика в приложениях" в честь 90-летия акад. С. К. Годунова, Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
7. 15-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
8. 9-th International congress on industrial and applied mathematics, Валенсия (Испания), 15–19 июля 2019 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
9. 5-th International conference on matrix methods in mathematic and applications, Москва, 19–23 августа 2019 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
10. Международная конференция "Математика и цифровые технологии в нефтегазовом комплексе", Сургут; Новосибирск, 23 мая 2019 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
11. 18-я Всероссийская конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", Новороссийск, 16–21 сентября 2019 г. – 3 доклада (Свешников В. М., Горбенко Н. И., Гладких В. С., Козырев А. Н.).
12. 20-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 28 октября – 1 ноября 2019 г. – 1 доклад (Свешников В. М.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Ильин В. П.:
 - член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,
 - член программного комитета Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии", Калининград, 2–4 апреля 2019 г.,
 - член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,
 - член программного комитета Международной конференции "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 23–24 сентября 2019 г.,
 - член программного комитета 14-й Международной научно-технической конференции "Аналитические и численные методы моделирования естественно-научных и социальных проблем", Пенза, 4–7 декабря 2019 г.;
2. Свешников В. М. – член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;
3. Петухов А. В. – член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;
4. Перевозкин Д. В. – член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;
5. Чимаева Е. В. – член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 3
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 17
 Докладов на конференциях – 24, в том числе 3 пленарных .
 Участников организации конференций – 9

Кадровый состав

1. Горбенко Н. И.	и. о. зав. лабораторией	к.ф.-м.н.
2. Гладких В. С.	инж. 1-й кат.	
3. Горшунов В. С.	инж.	
4. Гурьева Я. Л.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
5. Ильин В. П.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
6. Ицкович Е. А.	ведущ. программист	
7. Козырев А. Н.	н.с.	
8. Крылов А. М.	инженер	
9. Омарова Г. А.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
10. Перевозкин Д. В.	м.н.с.	
11. Петухов А. В.	м.н.с.	
12. Свешников В. М.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
13. Савченко А. О.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
14. Чимаева Е. В.	ведущ. программист.	

Горшунов В. С., Крылов А. М. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Свешников В. М. – профессор НГУ
 Ильин В. П. – профессор НГУ
 Горбенко Н. И. – доцент НГУ, доцент ВКИ НГУ
 Омарова Г. А. – ст. преподаватель НГУ

Руководство студентами

1. Крылов А. М. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.
 2. Овсянкин А. Э. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.
 3. Козлов Д. И. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.
 4. Плугочная В. С. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Ильин В. П.

Руководство аспирантами

1. Климонов И. А. – 3-й год, ММФ НГУ, руководитель Свешников В. М.
 2. Казанцев Г. Ю. – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Ильин В. П.

Лаборатория математических задач химии

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

Важнейшие достижения**Новые вычислительные модели процессов нефтедобычи**

Иванов М. И., к.ф.-м.н. Кремер И. А., д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Разработаны новые алгоритмы численного решения 3D задач фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости при наличии нагнетательных и добывающих скважин. В основе предложенных алгоритмов лежит комбинация смешанного метода конечных элементов для вычисления давления и вектора суммарной скорости и противопотоковая схема метода конечных объемов для вычисления водонасыщенности. Рассмотрены как изотропный, так и анизотропный пласты. Предложенная методика распространена на модели двойной пористости описания трещиновато-пористых сред. Учет скважин осуществляется как путем непосредственного задания потоков на границах скважин, так и интегральными дебитами при некотором неизвестном давлении. Предложена эффективная регуляризация вырожденной задачи для давления и суммарной скорости.

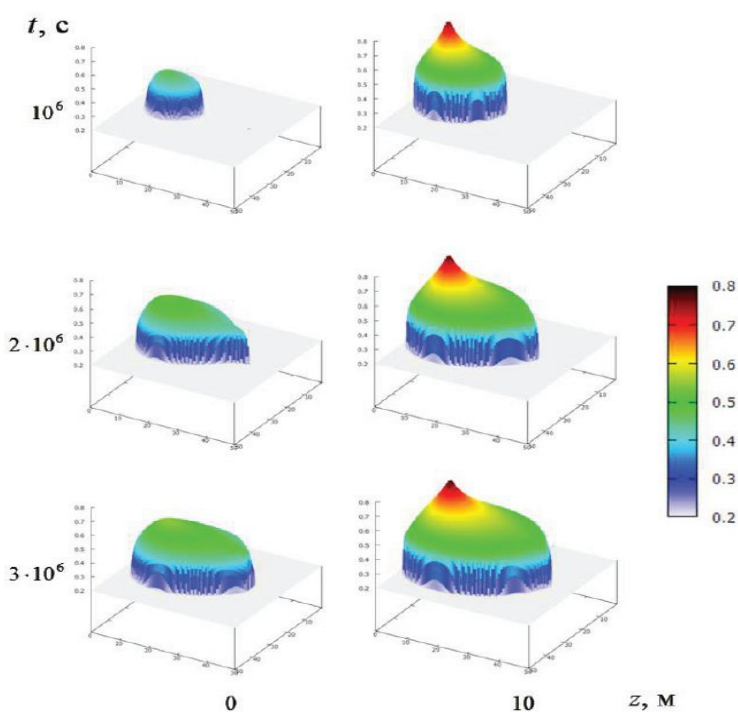


Рис. 1: Иллюстрация отсутствия осцилляций при противопотоковой аппроксимации в МКО

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Ivanov, M. I., Kremer, I. A., Laevsky, Yu. M. On the upwind scheme for solving to filtration problem // Sib. Electron. Math. Rep. 2019. V. 16. P. 757–776. DOI: 10.33048/semi.2019.16.051.

2. Ivanov, M. I., Kremer, I. A., Laevsky, Yu. M. On wells modeling in filtration problems // Sib. Electron. Math. Rep. 2019. V. 16. P. 1868–1884. DOI: 10.33048/semi.2019.16.133.

О результатах исследований сделаны доклады на конференциях:

1. Лаевский, Ю. М., Иванов, М. И., Кремер, И. А. Об одной противопотоковой схеме решения уравнения Баклея – Леверетта // Международная конференция "Актуальные

проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. (пленарный доклад).

2. Laevsky, Yu. Some approaches to oil reservoir simulation // The week of applied mathematics and mathematical modelling; The 3rd International conference "Multiscale methods and largescale scientific computing", Vladivostok, October 7–11, 2019 (пленарный доклад).

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Математическое моделирование комплексных многомерных процессов естествознания на суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0008.

Руководители проекта: д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М., д.ф.-м.н. Свешников В. М.

В соответствии с п. 4 плана проекта на 2019 г. проведены запланированные исследования и получены следующие результаты.

Построен простой численный алгоритм решения задачи фильтрации двухфазной жидкости в области со скважинами с неосциллирующими разрывными решениями. В основе предложенного алгоритма лежит комбинация смешанного метода конечных элементов для вычисления давления и вектора суммарной скорости и противопотоковая схема метода конечных объемов для вычисления водонасыщенности. По построенному алгоритму проведены серии расчетов для различных моделей нефтяного месторождения. В частности промоделированы различные геометрии расположения нагнетательных и добывающих скважин: 1 нагнетательная и 4 добывающих, 2 нагнетательных и 1 добывающая, 2 нагнетательных и 2 добывающих, 4 нагнетательных и 1 добывающая. Рассмотрен анизотропный пласт со сферическим тензором проницаемости. Проведены расчеты для трещиновато-пористого пласта, включая анизотропный случай. Фактически, важнейший результат проиллюстрирован простейшим случаем: пористый изотропный пласт с одной нагнетательной и одной добывающей скважиной. Предложена эффективная регуляризация вырожденной задачи для давления и суммарной скорости. По части указанных результатов в 2019 г. опубликованы три статьи, одна из которых посвящена исследованию упомянутой выше регуляризации решения задачи Неймана, позволяющей искать решение без каких-либо ограничений на пространство функций, в котором исходная задача без регуляризации является вырожденной. С помощью стандартного метода конечных элементов сформирована расширенная система линейных уравнений и исследованы ее свойства. Предложен двухуровневый итерационный метод решения данной системы уравнений. Рассмотрена возможность оптимизации параметров с целью увеличения скорости сходимости предложенного алгоритма. Изучен вопрос о свойствах численного решения при нарушении условия совместности на дискретном уровне. В таблице приведены значения количества внешних (в скобках) и внутренних итераций для различных значений параметра регуляризации и шага сетки.

Построена вычислительная модель многолетнемерзлых грунтов в окрестности скважины. В основе модели лежит энтальпийная постановка задачи о фазовом переходе. Особенностью построенной модели является включение в модель теплопроводящей жидкости в скважинах, температура которой периодически меняется. Соответствующие численные эксперименты проводились в рамках исследований по проекту РНФ 19-11-00048.

Чувствительность алгоритма к параметру регуляризации

$\beta \backslash h$	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64
10^{-2}	486 (54)	627 (57)	880 (55)	1344 (48)	2397 (47)	4608 (48)
10^{-1}	180 (15)	336 (16)	608 (16)	1072 (16)	1904 (16)	3330 (15)
10^0	126 (7)	231 (7)	399 (7)	707 (7)	1281 (7)	2345 (7)
10^1	105 (5)	180 (5)	330 (5)	570 (5)	1025 (5)	1905 (5)
10^2	66 (3)	156 (4)	276 (4)	484 (4)	876 (4)	1200 (3)
10^3	72 (3)	126 (3)	219 (3)	384 (3)	690 (3)	1287 (3)
10^4	50 (2)	88 (2)	152 (2)	268 (2)	480 (2)	898 (2)
10^5	55 (2)	90 (2)	158 (2)	280 (2)	502 (2)	936 (2)
10^6	56 (2)	94 (2)	166 (2)	290 (2)	522 (2)	968 (2)

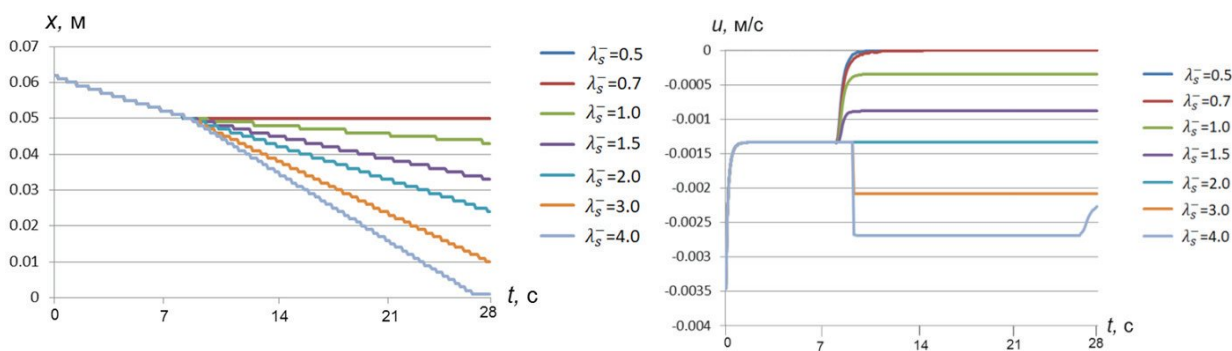


Рис. 2: Критическое значение эффективного коэффициента теплопроводности пористой среды ($v=3$ м/с, $\lambda_s^+ = 2$ Вт/м·К, $\lambda_{s, \text{крит}}^- = 0,74$ Вт/м·К)

Разработаны новые вычислительные алгоритмы моделирования процесса фильтрационного горения газа. Под фильтрационным горением газа понимается процесс распространения зоны газофазной экзотермической реакции в инертной пористой среде при фильтрационном подводе газообразных реагентов к зоне химического превращения. Для моделирования этого процесса предложена неявная схема расщепления, основанная на аналоге локально-одномерной схемы для смешанной постановки, когда одновременно с температурой и концентрацией активного вещества в горючей смеси ищутся потоки тепла и массы. Проведенные по разработанной вычислительной модели расчеты показали наличие критического значения теплопроводности каркаса (химически инертной пористой среды), при переходе через который в сторону уменьшения волна горения перестает двигаться. Описание разработанной модели содержится в подготовленной статье, которая принята к печати и будет опубликована в 2020 г. в первом номере "Сибирского журнала индустриальной математики". На рис. 2 проиллюстрировано наличие критического значения эффективного коэффициента теплопроводности пористой среды.

Вычислительные эксперименты проводились с использованием модели, разработанной в рамках исследований по проекту РНФ 19-11-00048.

Разработан алгоритм поиска наилучших кубатурных формул на сфере, инвариантных относительно группы вращений диэдра с инверсией D3d. Эта группа является подгруппой ранее изученной группы D6h, а также подгруппой группы вращений октаэдра с инверсией и группы вращений икосаэдра с инверсией. Группа D3d, подобно группе D5d, устроена

несколько сложнее ранее изученных групп D2h, D4h и D6h. С помощью предложенного алгоритма были проведены численные расчеты с использованием вычислительной техники Сибирского суперкомпьютерного центра. В результате получены все наилучшие кубатурные формулы данного вида симметрии до 35-го алгебраического порядка точности n . При этом для $n = 1, 3, 5, 7, 9, 11$ найдены точные значения параметров наилучших кубатур, а для остальных n – приближенные, полученные путем численного решения систем нелинейных алгебраических уравнений методом ньютоновского типа.

Проведены исследования по разработке и реализации программного комплекса для решения 3-мерных задач математической физики на основе концепции базовой системы моделирования, охватывающей три этапа моделирования: построение геометрической модели, построение сеточной модели, решение уравнений. По этой тематике опубликованы две работы.

Разработана первая версия библиотеки программ для решения систем ОДУ. Проанализированы возможности использования библиотечных процедур при решении задач большой размерности. Тестирование проводилось на достаточно сложных системах, включая уравнения с частными производными, приведенных Э. Хайрером на веб-странице <http://www.unige.ch/~hairer/testset/testset.html>. Тестирование дает положительный ответ на вопрос о решении задач большой размерности.

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

Интеграционный проект СО РАН ИП-28 "Тектонотермальное, геодинамическое и численное моделирование формирования осадочных бассейнов Центральной и Восточной Арктики с использованием суперЭВМ".

Руководитель проекта – акад. РАН Верниковский В. А. (ИНГГ СО РАН).

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

В 2019 г. на основе предложенных ранее экономичных вычислительных алгоритмов была реализована на многопроцессорном кластере 3D вычислительная модель формирования осадочных бассейнов Центральной и Восточной Арктики. В частности, реализована модель тектонотермальной истории формирования Карского орогена в позднем палеозое.

Особенностью рассматриваемого класса задач является необходимость вычислений на большом промежутке времени, что соответствует длительности моделируемых геологических процессов. Это, в свою очередь, накладывает на вычислительные алгоритмы такие требования, как гарантия выполнения законов сохранения для дискретных моделей и экономичность их реализации. Кроме того, алгоритмы должны быть хорошо распараллеливаемы, что является основой высокопроизводительных вычислений. Именно такие алгоритмы разрабатывались исполнителями проекта в последние годы. Основа подхода состоит в математическом описании процессов теплопереноса не с помощью традиционно используемых параболических уравнений, а в виде исходных законов сохранения энергии и уравнений, задающих связь потоков тепла с температурой (закон Фурье). Таким образом, математическая модель записывается в виде начально-краевой задачи для системы уравнений первого порядка в терминах "температура – тепловой поток". Следование указанному представлению на уровне дискретных приближений обеспечивает упомянутое выше требование выполнения сеточных законов сохранения. Аппроксимация по пространственным переменным для таких представлений может осуществляться, например, смешанным методом конечных

элементов. Далее для уже дискретной по пространственным переменным системы строится экономичный распараллеливаемый алгоритм интегрирования по времени. Основной идеей разработанного подхода является восстановление схемы для векторного потока по заданной схеме расщепления (схеме-прообразу) вычисления сеточной дивергенции потока. В качестве схем-прообразов могут рассматриваться такие хорошо известные схемы, как классическая схема переменных направлений для двумерных задач и различные ее модификации, в том числе и обобщения на трехмерный случай, локально-одномерные схемы, схемы типа предиктор-корректор и пр.

Кратко остановимся на характеристиках оборудования, на котором осуществлялись работы по проекту. В 2018 г. работы велись на оборудовании Сибирского суперкомпьютерного центра СО РАН, на кластере НКС-30Т: 576 (2688 ядер) процессоров Intel Xeon E5450/E5540/X5670 с базовым программным обеспечением C/C++ Intel 64 Compiler XE для Linux, Intel MPI Version 4.1. Для реализации построенной вычислительной модели использовалось порядка 80 ядер. В силу ряда организационных причин в 2019 г. работы продолжились на кластере Информационно-вычислительного центра Новосибирского государственного университета.

Результаты работы по проектам РНФ

Проект РНФ № 19-11-00048 "Вычислительные модели процессов нефтедобычи в районах Северо-Восточной Сибири и их реализация в виде высокопроизводительного программного обеспечения на суперЭВМ для задач фильтрации многофазной жидкости, задач фильтрационного горения газа и задач теплопереноса при наличии фазовых переходов".

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

Разработана двухпористая модель фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости в трещиновато-пористой среде с гибридной функцией перетока, в которой наряду с разностью давлений в трещинах и поровых блоках массообмен определяется и разностью скоростей флюида, что обеспечивает эффективный учет анизотропии коллектора. При этом характер анизотропии в трещинах и поровых блоках может существенно различаться. Разработан экспериментальный программный код и проведены вычислительные эксперименты. В основе разработанного кода лежит модификация алгоритма вычисления водонасыщенности в модели Баклея – Леверетта с целью устранения нефизичных осцилляций, которые возникали в этой модели при использовании IMPES метода. Суть модификации состоит в построении неосциллирующих схем на основе метода конечных объемов для аппроксимации водонасыщенности с противопотоковым вычислением коэффициента мобильности. При этом для вычисления суммарной скорости и давления использован смешанный метод конечных элементов, приводящий для рассмотренных нами условий непротекания на внешней границе расчетной области и заданных потоках на поверхности скважин к вырожденной задаче при условии отсутствия дополнительных условий на давление. Осуществлена простая экономичная регуляризация задачи с использованием малоранговой матрицы. Результаты устранения нефизичных осцилляций и регуляризации сеточной задачи для суммарной скорости и давления опубликованы. На рис. 3–7 приведены значения водонасыщенности в трех горизонтальных и одной вертикальной плоскостях в различные моменты времени при наличии одной нагнетательной и одной добывающей скважин. Также проиллюстрированы значения водонасыщенности для анизотропного пласта, для различных геометрий расположения скважин, для трещиновато-пористой среды.

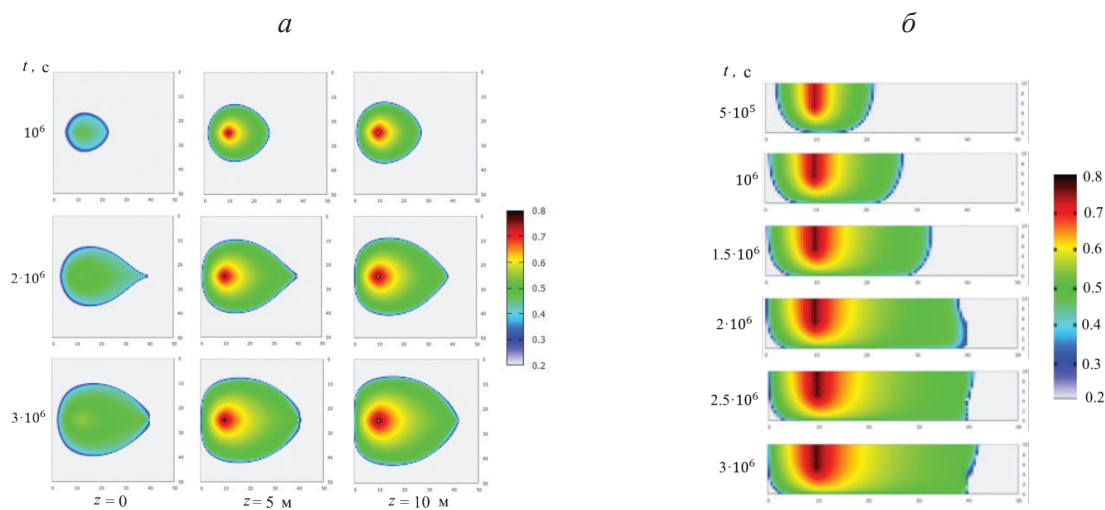


Рис. 3: Водонасыщенность в плоскостях:
 $z=0$ (а); 5; 10 м; $x=25$ м (б)

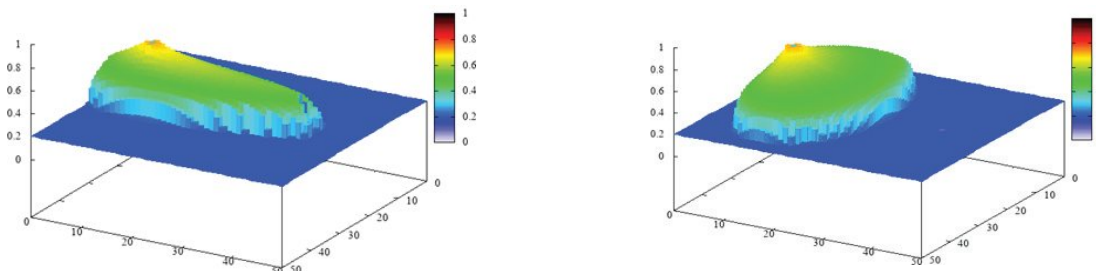


Рис. 4: Анизотропная пористая среда ($t=100 \times 10^4$)

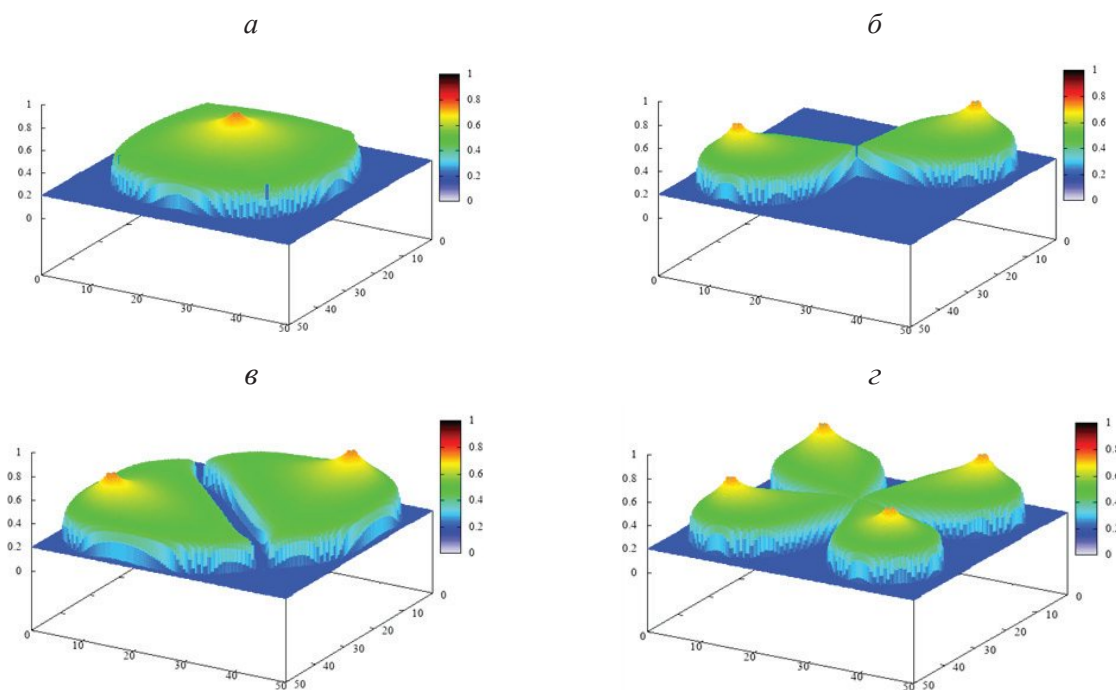
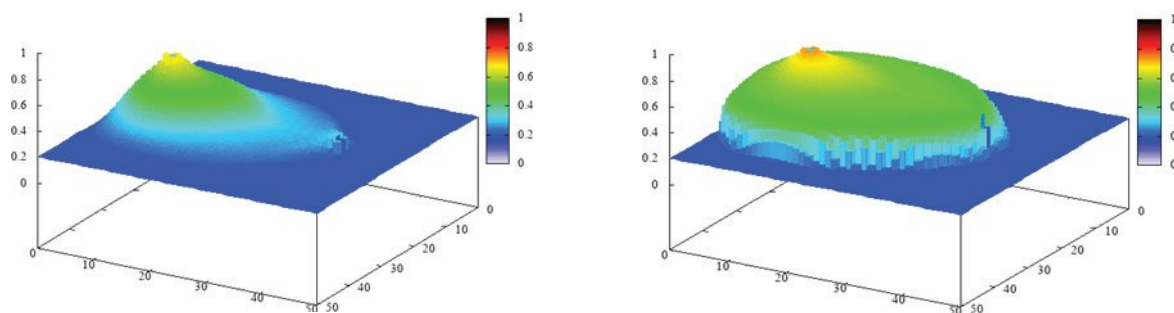
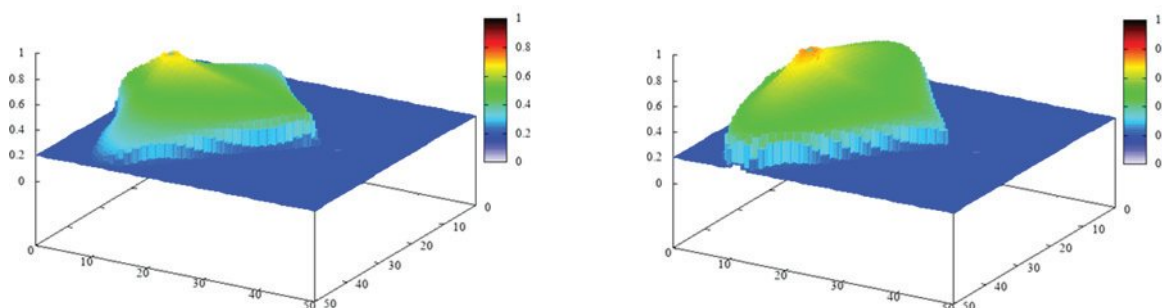


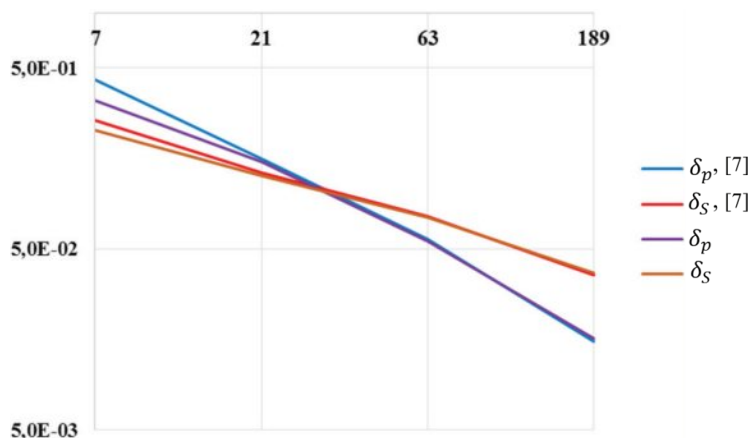
Рис. 5: Несколько скважин ($t=100 \times 10^4$):
а – 1 нагнетательная, 4 добывающих; б – 2 нагнетательных, 1 добывающая;
в – 2 нагнетательных, 2 добывающих; г – 4 нагнетательных, 1 добывающая

Рис. 6: Изотропная трещиновато-пористая среда ($t = 100 \times 10^4$)Рис. 7: Анизотропная трещиновато-пористая среда ($t = 100 \times 10^4$)

Предложенный в 2010 г. и численно исследованный в 2017 г. метод учета скважин с интегральными краевыми условиями в стационарной задаче диффузии распространен нами на задачу фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости. В отличие от упомянутых выше работ в данном исследовании рассматривается нестационарная задача фильтрации двухфазной жидкости. По предложенному алгоритму проведена серия расчетов, позволившая экспериментально изучить поведение погрешности давления и водонасыщенности. Результаты расчетов практически совпали с результатами, полученными при задании на скважинах потоков жидкости (условия Неймана). По полученным результатам опубликована статья.

Разработана вычислительная 3D модель таяния многолетнемерзлого грунта в окрестности скважин при наличии нестационарного теплового поля в скважинах, взаимодействующего с тепловым полем в грунте. На первом этапе рассмотрена модель с заданным нестационарным тепловым полем внутри скважин. Были модифицированы программные коды, разработанные в 2017 г. в рамках проекта РНФ 15-11-10024. Проведены вычислительные эксперименты, продемонстрировавшие влияние нестационарного теплового поля внутри

Рис. 8: Сравнение относительных погрешностей давления на момент времени приблизительно 20 суток при задании потоков на границах скважин и при задании интегральных дебитов



скважин на темпы таяния многолетнемерзлых грунтов. Отметим, что работы по обсуждаемой тематике несколько замедлились из-за кардинального изменения состава отвечающих за данное направление исследований исполнителей, включая ответственного исполнителя.

Разработан двухуровневый итерационный метод реализации неявных схем для решения нестационарных задач многофазной фильтрации. Речь идет о СЛАУ с седловой точкой, к которой приводит, например, аппроксимация сеточных уравнений для скорости и давления, полученная в результате применения смешанного метода конечных элементов к системе "закон Дарси – закон сохранения массы". Для решения указанного класса задач рассматриваются предобусловленные итерационные методы в пространствах Крылова. Проведен сравнительный анализ современных подходов к блочному предобуславливанию изучаемых СЛАУ, включая вопросы масштабируемого распараллеливания алгоритмов на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной и иерархической памятью, путем использования средств гибридного программирования. Предложен регуляризованный алгоритм Узавы с использованием двухуровневого итерационного процесса. Для модельных краевых задач Дирихле и Неймана, а также для задач фильтрации, проведены вычислительные эксперименты, демонстрирующие априорные свойства рассмотренного алгоритма. По результатам этих исследований опубликована статья в журнале "Записки научных семинаров ПОМИ РАН", ожидается публикация соответствующей англоязычной версии издания.

Разработана многомерная вычислительная модель фильтрационного горения газа в неоднородной пористой среде, когда рассматриваемая область протекания процесса разделена на две части с разными теплофизическими характеристиками. Для этой цели система многомерных уравнений была переписана в виде интегральных законов сохранения с возможностью скачков коэффициентов, для численного решения которой была применена комбинация смешанного метода конечных элементов аппроксимации по пространству с неявной схемой расщепления аппроксимации по времени. В процессе разработки алгоритма и программного кода был сконструирован специфический метод прогонки для серии матричных задач с седловой точкой. Что касается собственно исследований влияния разрыва параметров каркаса, получены ожидаемые результаты при варьировании коэффициента теплопроводности для различных расходов горючей смеси. Таким образом, получены первые данные о стабилизации фронта горения, подтвердившие исходную гипотезу о такой стабилизации.

Разработана первая версия библиотеки программ `ode_solver` для решения систем ОДУ, включая системы, полученные в результате пространственной аппроксимации начально-краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными. Разработаны пользовательские интерфейсы. Библиотека совместима с языками Си и Фортран. Хотя она написана на Си, для совместимости с Фортраном сделаны некоторые изменения в интерфейсе, которые не являются стандартными для программ, написанных на Си. Проведено тестирование на примерах различной жесткости и размерности. Частично проанализированы возможности использования библиотечных процедур при решении задач большой размерности и их реализации на многопроцессорном кластере. Тестирование проводилось на 11 достаточно сложных системах, включая уравнения с частными производными, приведенных Э. Хайпером на веб-странице <http://www.unige.ch/~hairer/testset/testset.html>. В этих тестах дается предварительный положительный ответ на вопрос о возможности решения задач большой размерности, поставленный в планах проекта на 2019 г. При этом использование многопроцессорного кластера связано с использованием параллельных библиотек для реализации LU-разложения при работе неявных схем. Результаты тестирования демонстрируют высокую конкурентоспособность разрабатываемой в рамках проекта библиотеки, особенно учитывая, что библиотека `ode_solver` работала как "черный ящик", в то время как

программы Э. Хайрера с целью повышения точности и производительности специальным образом настроены на каждую тестовую задачу.

Публикации

Издания, включенные в базу данных Web of Science

1. Ivanov, M. I., Kremer, I. A., Laevsky, Yu. M. On the upwind scheme for solving to filtration problem // Sib. Electron. Math. Rep. 2019. Vol. 16. P. 757–776. DOI: 10.33048/semi.2019.16.051.
2. Ivanov, M. I., Kremer, I. A., Laevsky, Yu. M. On wells modeling in filtration problems // Sib. Electron. Math. Rep. 2019. Vol. 16. P. 1868–1884. DOI: 10.33048/semi.2019.16.133.
3. Popov, A. S. Cubature formulas on a sphere that are invariant under the transformations of the dihedral group of rotations with inversion $D3d$ // Sib. Electron. Math. Rep. 2019. Vol. 16. P. 1196–1204. DOI: 10.33048/semi.2019.16.081.

Издания, включенные в базу данных РИНЦ

1. Иванов, М. И., Кремер, И. А., Урев, М. В. Решение вырожденной задачи Неймана методом конечных элементов // СибЖВМ. 2019. Т. 22, № 4. С. 437–451.
2. Голубева, Л. А., Горшунов, В. С., Ильин, В. П. Управление посредством семантической сети прикладным программным комплексом для задач математической физики // Вестн. СибГУТИ. 2019. № 3. С. 55–62.
3. Голубева, Л. А., Горшунов, В. С., Ильин, В. П. Модель управления вычислительным комплексом, реализованным на основе концепции БСМ // Научное программное обеспечение : труды 12-й Ершовской международной конференции (ПСИ'19), Новосибирск, 2–5 июля 2019 г. С. 76–82.

Участие в организации научных мероприятий

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВМ-19), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 5 докладов, из них 1 пленарный (Иванов М. И., Кремер И. А., Литвиненко С. А., Попов А. С., Голубева Л. А.).
2. Рабочий семинар "Научное программное обеспечение" ("НПО"), Новосибирск, 2–3 июля 2019 г. – 1 доклад (Голубева Л. А.).
3. 11-th International scientific conference "Theory and computational methods for inverse and ill-posed problems", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г. – 1 пленарный доклад (Лаевский Ю. М., Носова Т.).
4. 18-я Всероссийская конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", Абрау-Дюрсо, 17–20 сентября 2019 г. – 1 приглашенный доклад (Лаевский Ю. М., Носова Т.).
5. The week of applied mathematics and mathematical modelling, 3d multiscale workshop, Владивосток, 7–11 октября 2019 г. – 2 доклада (Лаевский Ю. М.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 3
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 3
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 6
Докладов на конференциях – 10

Кадровый состав

1. Лаевский Ю. М. зав. лаб. (внутр. совм.) д.ф.-м.н.
 2. Кремер И. А. с.н.с. к.ф.-м.н.
 3. Попов А. С. с.н.с. к.ф.-м.н.
 4. Голубева Л. А. н.с. к.ф.-м.н.
 5. Литвиненко С. А. н.с. к ф.-м.н.
 6. Иванов М. И. м.н.с.
 7. Носова Т. А. м.н.с. к ф.-м.н.
 8. Гололобов С. В. старш. инж. к.ф.-м.н.
 9. Сандер И. А. ведущий прогр.
- Носова Т. А. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

- Лаевский Ю. М. – профессор, зав. кафедрой вычислительной математики НГУ
Гололобов С. В. – доцент НГУ
Голубева Л. А. – доцент НГУ
Литвиненко С. А. – ассистент НГУ.

Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Платов Г. А.

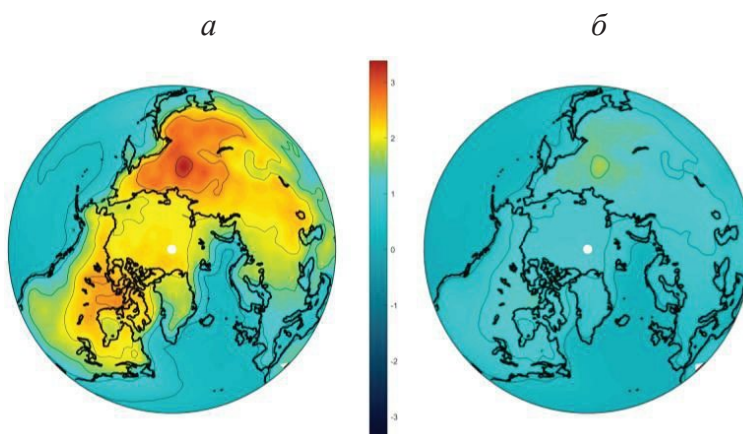
Важнейшие достижения

Тенденции климатической системы Арктики в условиях глобального потепления

Д.ф.-м. н. Платов Г. А., д.ф.-м.н. Голубева Е. Н., Крайнева М. В., к.ф.-м.н. Малахова В. В.

Разработан комплекс моделей компонент климатической системы Арктики, использовавшийся для исследования роли климатических тенденций в приземном слое атмосферы в формировании и сокращении объема льда Северного Ледовитого океана в 1979–2010 гг. По результатам численных экспериментов установлено, что наибольшее влияние на процесс сокращения площади и объема морского льда оказывают процессы масштаба атмосферного блокинга. В ходе исследований анализировались временные ряды, полученные в результате ЕОФ декомпозиции вектора состояния приземной атмосферы по данным атмосферного реанализа CORE-2. На основе анализа было установлено, что климатические тенденции в состоянии атмосферы связаны, в первую очередь, с изменениями характеристик сезонного хода (1-я мода, рис. 1), параметров Арктической осцилляции (2-я мода), уменьшением площади океана, покрытой льдом (3-я мода) и тенденциями структуры арктического диполя в поле приземного давления (4-я мода). Количество распресненных вод, концентрирующихся в море Бофорта, в значительной степени определяет отклик океана на атмосферное воздействие. Анализ результатов климатических моделей, полученных по различным сценариям ИРСС антропогенного воздействия на климатическую систему в XXI в., показал высокую вероятность продолжения выявленных тенденций в будущем. Полученные результаты позволяют лучше разобраться в сути климатических тенденций в арктических районах и прилегающих умеренных широтах и определить возможные сценарии будущего развития климатической системы.

Рис. 1: Тенденция изменения температуры приземного слоя атмосферы в зимний (а) и летний (б) периоды 1979–2010 гг.



Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Platov, G.A., Golubeva, E.N., Kraineva, M.V., Malakhova, V. V., Modeling of climate tendencies in Arctic seas based on atmospheric forcing EOF decomposition. [Electron. resource] // Ocean Dynam. 2019. Vol. 69, iss. 6. P. 747–767. DOI: 10.1007/s10236-019-01259-1.
2. Proshutinsky, A., Krishfield, R., Toole, J., Timmermans, M.-L., Williams, W., Zimmerman, S., Yamamoto-Kawai, M., Armitage, T. W. K., Dukhovskoy, D., Golubeva, E., Manucharyan, G. E., Platov, G., Watanabe, E. Analysis of the Beaufort Gyre freshwater content in 2003–2018. [Electron. resource] // J. Geophys. Res. 2019. DOI: 10.1029/2019JC015281.

3. Platov, G., Krupchatnikov, V., Borovko, I. The study of feedbacks of the Arctic climate system in the formation of climate trends [Electron. resource] // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 386. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012004.

Результаты исследований представлены на конференциях:

1. Liège Colloquium on Ocean Dynamics, Liège (Belgium), May 6–9, 2019. University of Liège.
2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВММ-19), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Развитие методов математического моделирования для задач физики атмосферы, гидросферы и окружающей среды с учетом природных и техногенных воздействий".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0004.

Руководители: д.ф.-м.н. Пененко В.В., д.ф.-м.н. Платов Г.А.

Раздел 1. Руководитель – д.ф.-м.н. Платов Г.А.

Этап 2019 г.

Разработана усовершенствованная версия численной модели океана на основе учета меняющейся по времени высоты уровня поверхности океана в нелинейной постановке.

Проведено тестирование параметризаций выброса солевого рассола при формировании морского льда в численной модели Северного Ледовитого океана. Включение параметризации выброса соли на границу перемешанного слоя океана, разработанной на основе анализа данных наблюдений, способствует формированию устойчивой стратификации вод и сокращению глубины перемешанного слоя в зимний период до 10–15 м, а также прекращению конвективного перемешивания начиная с марта. Результаты, полученные с помощью крупномасштабной модели океана и морского льда, более точно отражают реальное распределение гидрологических характеристик Арктического бассейна.

Результаты численных экспериментов, проведенных на основе разработанной численной модели океана и морского льда SibCIOM, подтвердили гипотезу о важной роли изменчивости атмосферной циркуляции в переносе пресных вод арктических рек в Северном Ледовитом океане. Увеличение расхода сибирских рек – известное по данным наблюдений явление последних десятилетий. Чувствительность состояния гидрологических характеристик Северного Ледовитого океана к увеличению стока арктических рек проанализирована на основе численного эксперимента, в котором был увеличен расход сибирских рек Лены, Енисея и Оби в полтора раза. Расчеты проводились в модельный период с 2000 по 2014 г. Результаты эксперимента показали, что термохалинные характеристики сибирских морей по-разному реагируют на поступление дополнительной пресной воды. Их аномалии в Карском море значительно отличаются от аномалий в море Лаптевых и Восточно-Сибирском.

За пределами арктического шельфа регионы Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана наиболее чувствительны к увеличению стока сибирских рек. Установившаяся в этот период преимущественно антициклоническая циркуляция океана, обусловленная соответствующим состоянием атмосферной динамики, способствовала переносу избытка пресной воды в направлении пролива Фрама. Температурные аномалии различной интенсивности были обнаружены не только в поверхностном слое, но и в слое атлантических вод,

Рис. 2: Регионы осреднения в Евразийском бассейне для анализа аномалий температуры и солёности в эксперименте с увеличением стока сибирских рек (а); аномалии солёности (psu), осредненные по соответствующей области и в 25-метровом слое (б); аномалии температуры (°C), осредненные по соответствующему региону на глубине 200 м (в); цвет линии соответствует области осреднения

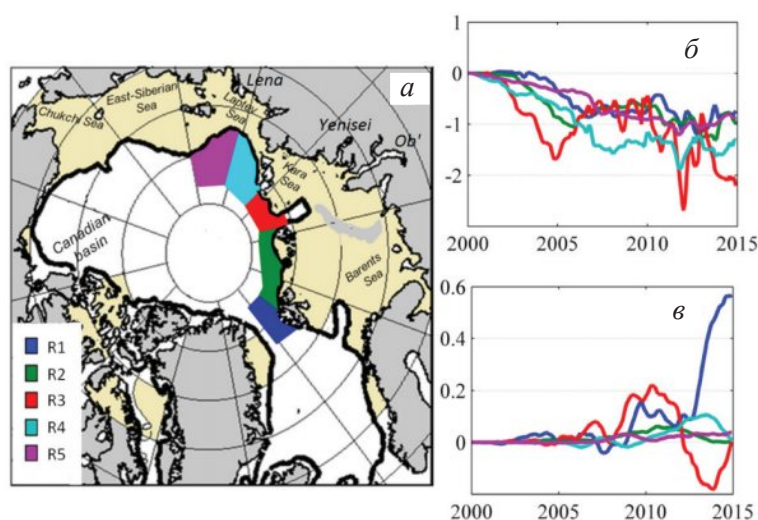
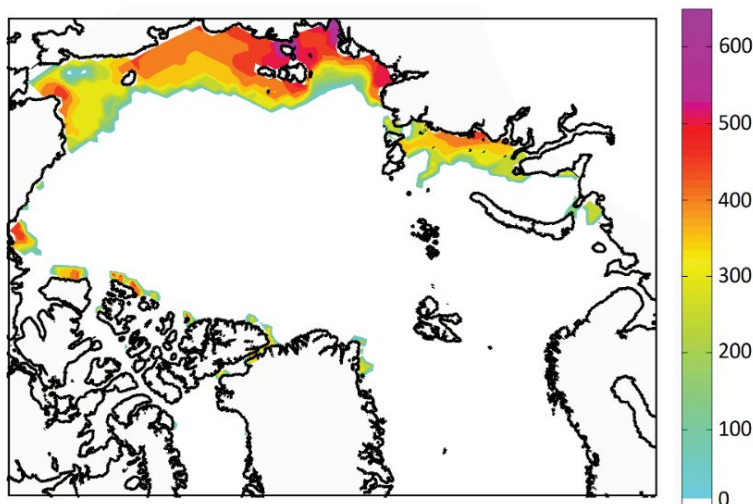


Рис. 3: Результаты моделирования эволюции субаквальной мерзлоты на шельфе арктических морей. Мощность мерзлых пород в донных отложениях (м)



поступающих в Северный Ледовитый океан через пролив Фрама (рис. 2). Небольшие положительные аномалии температуры также обнаружены в Тихоокеанском водном слое в канадском бассейне. Предположительно, воды р. Лены, распространившиеся через Восточно-Сибирское море, а затем на шельф Чукотского моря, повлияли на процессы перемешивания шельфовых вод Чукотского моря, в дальнейшем распространяющихся в Канадский бассейн.

Для исследования процессов формирования субаквальной мерзлоты на шельфе арктических морей разработана модель динамики многолетнемерзлых пород в геологическом разрезе 1500 м за последние 400 тыс. лет в области шельфа с водными глубинами менее 120 м. Получены оценки мощности многолетнемерзлых пород шельфа с учетом данных интенсивности теплового потока. Согласно проведенным расчетам, толщина мерзлого слоя в донных отложениях шельфа составляет от 0 до 700 м и зависит от глубины моря, геотермического потока, засоления донных отложений. Сильная зависимость продолжительности периодов затопления или осушения шельфа от его современной глубины определяет формирование мерзлого слоя различной мощности: с ростом глубины шельфа увеличивается продолжительность периодов трансгрессии и соответствующих периодов деградации субаквальной мерзлоты (рис. 3).

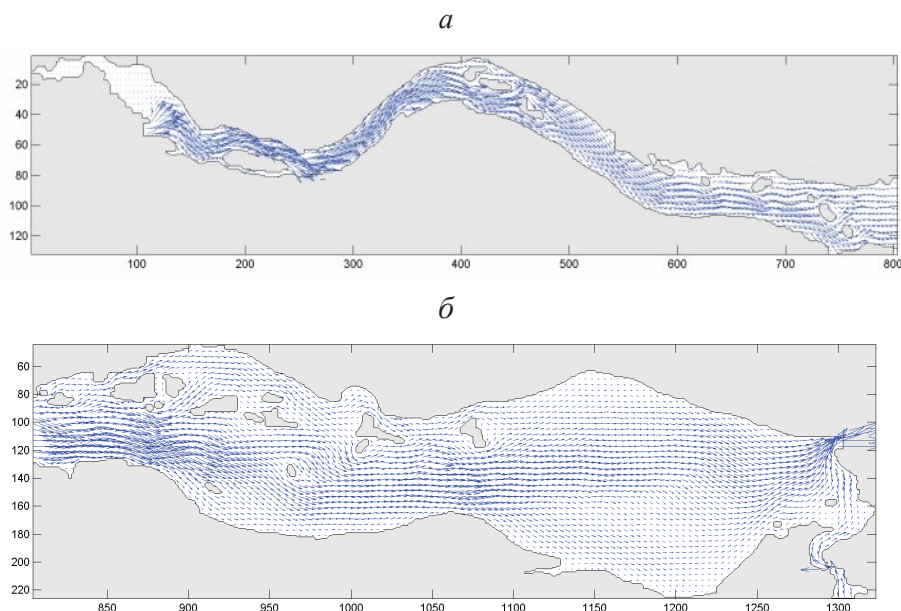


Рис. 4: Поле течений в поверхностном слое (2 м) в зимний период:

a – речная часть; *б* – озерная часть

Разработана трехмерная численная модель мелкого водоема на основе гидродинамической модели SibCIOM. Для взаимодействия термодинамического блока с атмосферой использована ледотермическая модель, основанная на балансе тепловых потоков атмосфера – лед – вода. Поток из атмосферы рассчитывается как сумма потоков явного и скрытого тепла и коротковолновой и длинноволновой радиации.

С целью учета сезонных колебаний уровня воды построена модель свободной поверхности, для полноценной работы которой проведена необходимая на данный момент коррекция батиметрии объекта, заключающаяся в заглаблении мелководий и занижении географических высот в начале водохранилища.

Для термического блока дополнительно использовались среднесуточные значения облачности, удельной влажности, упругости водяного пара, температуры атмосферы и температуры воды, поступающей из рек Обь и Бердь.

Полученные результаты сравнивались с описанием многолетних наблюдений характеристик Новосибирского водохранилища. Сравнение показало, что даже упрощенный вариант модели дает возможность отследить ряд характеристик Новосибирского водохранилища, таких как основные направления течений и средние значения температуры (рис. 4). Следует отметить сильную взаимосвязь между гидродинамическим режимом и распределением температуры.

Предложена модель оценивания подъема газозвушной смеси от источника под воздействием динамических и тепловых факторов с использованием решений уравнений гидротермодинамики атмосферы. Применение аналитического представления решений системы уравнений движения и притока тепла для нейтрально стратифицированной атмосферы позволило получить оценки параметров модели в явном виде. Проведен численный анализ активной фазы подъема дымовых шлейфов ТЭЦ г. Новосибирска на основе зимнего спутникового снимка. Получены соотношения для расчета вертикальной скорости подъема и изменения температуры дымовой струи в нижней атмосфере.

Применение предлагаемого подхода наиболее эффективно в зимний период. Благодаря снежному покрову на спутниковых снимках обеспечивается цветовая однородность

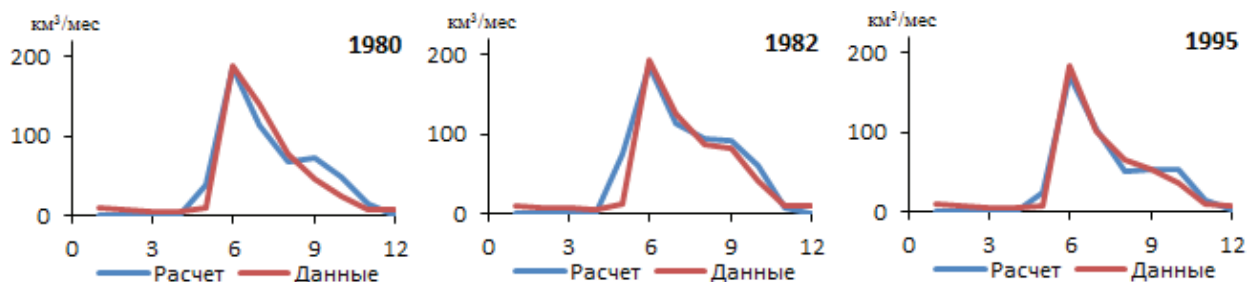


Рис. 5: Сравнение расчетного гидрографа и данных измерений (голубая линия – расчетные гидрографы, красная – климатические наблюдения; ось x – месяц; ось y – км³/мес.)

земной поверхности. При таких условиях наблюдается наиболее высокая контрастность тени шлейфов на поверхности. Использование спутниковых наблюдений позволяет получить объективную оценку высоты подъема дымового факела. Для развития методов оценивания характеристик подъема дымовых шлейфов при устойчивой и неустойчивой стратификациях атмосферы требуется численное решение уравнений гидротермодинамики атмосферы.

Для исследования возможности воспроизводить гидрографы стока с бассейна р. Лены построена гидрологически корректная цифровая модель рельефа бассейна разрешением $(1.3) \times (1/3)^\circ$. Для трансформации поверхностного стока с учетом времени добегания воды по ячейки сетки в речную сеть используется линейная двухпараметрическая резервуарная модель. Моделирование стока в речной сети проводится на основе линейной модели формирования водного баланса.

В ходе исследования использована глобальная база данных реанализа MERRA. Для оценки модельного воспроизведения речного стока были проведены расчеты за период 1980–2011 гг., для которого имелись данные наблюдений за речным стоком в замыкающем створе Кюсюр р. Лены. За весь период наблюдений модельные гидрографы неплохо согласуются с данными, повторяя годовой режим речного стока с высоким весенним половодьем, наблюдаемым ежегодно в бассейне р. Лены в июне. На рис. 5 приведены результаты моделирования за несколько лет из указанного периода.

Результаты работ по проекту РНФ

Проект РНФ № 19-17-00154 «Исследование взаимодействия компонент системы "атмосфера – океан – морской лед" арктического региона в условиях изменений глобального климата».

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

В соответствии с планами в первый год выполнения проекта предполагалось: 1) подготовить обзорный анализ публикаций по исследованию механизмов формирования крупномасштабных опасных погодных явлений в Арктическом регионе и средних широтах северного полушария с учетом роли океана; 2) усовершенствовать климатическую модель промежуточной сложности PlaSim-ICMIG-1.0 путем учета углеродного цикла и параметризации обмена CO_2 между атмосферой и океаном; 3) исследовать равновесную реакцию атмосферы и океана на увеличение CO_2 в атмосфере; 4) подготовить и протестировать модели окраинных морей Арктики.

Кроме того, одной из задач проекта является 5) исследование причин сокращения площади и объема морского льда Арктики, выяснение роли изменений адвективных и конвективных потоков тепла в атмосфере и океане, потоков пресной воды, а также внутренних

обратных связей, обусловленных чувствительностью арктической системы "атмосфера – океан – лед" к фазовым изменениям льда и снежного покрова.

1. Обзорный анализ работ по исследованию механизмов формирования крупномасштабных опасных погодных явлений в Арктическом регионе и средних широтах северного полушария с учетом роли океана преследовал несколько целей, наиболее важными из которых для проекта являются: а) формирование понимания круга проблем, возникающих в ходе решения задачи прогноза, предупреждения, оценки рисков экстремальных погодных явлений, связанных с климатическими изменениями; б) выработка плана оценочных и сценарных численных экспериментов с климатической моделью промежуточной сложности, способствующих решению части этих проблем; в) формирование фрагментов обзорной части планируемых к публикации статей. Сформированный таким образом обзор содержит следующие разделы:

- Арктическое усиление,
- Динамические механизмы, связывающие арктическое усиление с динамикой погоды,
- Взаимодействие между тропосферой и стратосферой,
- Долгоживущие погодные режимы в средних широтах и экстремальные климатические явления. Атмосферный блокинг,
- Морские волны тепла,
- Влияние потоков тепла, поступающих с океаническими водами на арктический морской лед.

2. Современные исследования глобального бюджета CO_2 указывают на недооценку изменчивости CO_2 океаническими моделями во внетропических зонах. Также выявлена сезонная изменчивость концентрации CO_2 в поверхностных водах океанов на различных широтах. Это необходимо учитывать при проведении расчетов по оценке роли реакции океанов на изменение CO_2 . Известно, что с увеличением температуры растворимость CO_2 в воде уменьшается. Поэтому при повышении средней глобальной температуры поверхности Земли снижается способность океана поглощать углекислый газ. Это может привести к дальнейшему повышению температуры (положительная обратная связь). Исходя из этого очевидно, что точность воспроизведения концентрации CO_2 в климатических моделях играет большую роль в точности предсказания изменений климата. Для вычисления потока углекислого газа из океана в атмосферу применяется параметризация, использующая концентрацию CO_2 в узлах пространственной сетки модели в воде и атмосфере, и коэффициент обмена.

Для достоверного описания содержания CO_2 в климатической модели проводится подключение модели GOTM/FABM (ранее FABM, ныне включена в пакет турбулентных моделей GOTM). Модель FABM представляет собой открытый исходный код на Fortran и предоставляет согласованный набор интерфейсов программирования. Она была представлена в 2014 г. (Bruggeman and Bolding, 2014) в качестве промежуточного слоя между биогеохимическими моделями и трехмерными моделями геофизической среды. Общая структура биогеохимической модели с переменными состояния, выраженными в виде усредненных по ансамблю концентраций, определяется системой уравнений диффузии-адвекции.

На данном этапе выполнено подключение данной модели в виде библиотеки к тестовой версии модели SibCIOM и создаются интерфейсные процедуры обмена данными между гидрофизической составляющей и биогеохимическим блоком. После настройки параметров планируется проведение численных экспериментов по воспроизведению трехмерных полей концентрации CO_2 .

3. Механизмы обратных связей, формирующихся в результате изменения климата, так или иначе связаны с Арктикой и до сих пор плохо изучены. Наиболее существенные последствия связаны с изменениями в криосфере, в частности с уменьшением площади и объема плавающего льда. В ходе проведенных исследований оценивалась роль океана в формировании климатических тенденций, связанных с увеличением концентрации парниковых газов, на примере CO_2 независимо от того, является ли океан сдерживающим фактором или, наоборот, усиливает атмосферные тренды.

Суммируя результаты проведенных численных экспериментов, можно констатировать, что роль океана в реакции климатической системы на увеличение концентрации CO_2 в атмосфере в первом приближении такова:

- океан в некоторой степени (до 20 %) способствует увеличению среднегодового состояния сезонного цикла и уменьшению амплитуды сезонных колебаний (на 2–3 %), что приводит к незначительным изменениям в летний период и значительному смягчению зим;

- океан способствует стабилизации среднегодового уровня индекса арктических колебаний при увеличении концентрации CO_2 , в то же время благодаря ему значительно увеличивается амплитуда сезонного цикла этого колебания;

- океан усиливает как температурную (тепловую) составляющую сезонных колебаний, связанных с появлением дополнительных площадей, освобожденных от ледяного покрова, вызывая дополнительный рост температуры атмосферы у кромки льда, так и сезонные колебания этого компонента, так что летние проявления становятся более сильными;

- роль арктического диполя во время глобального потепления по результатам исследований оказалась незначительной, хотя существуют свидетельства того, что этот режим нельзя игнорировать, так как благодаря ему экспорт арктического льда в сторону северной Атлантики может усиливаться или ослабевать.

4. Для проведения дальнейших численных сценарных экспериментов подготовлена серия моделей окраинных морей Арктики, включающая Баренцево и Карское моря, море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря. Выполнена серия тестовых расчетов. Основой проведения экспериментов является ранее разработанная система взаимодействия крупномасштабной модели океана и морского льда SibCIOM и модели шельфового моря SibPOM.

5. В исследованиях последних лет все чаще подчеркивается важность влияния океанического тепла на состояние арктического ледового покрова. Теплые воды Атлантического океана, поступающие через пролив Фрама и Баренцево море, и Тихого океана, поступающие через Берингов пролив, рассматриваются как основные источники тепла для Арктического бассейна. Аномалии температуры, продолжительное время существующие на обширных акваториях этих океанов (океанические тепловые волны), являясь источником тепла, способствуют таянию морского льда.

В целях исследования вклада океана в процесс сокращения арктического льда проанализированы результаты численного эксперимента совместной модели океана и льда SibCIOM для Северной Атлантики и Арктики, моделирующие пространственно-временную изменчивость гидрофизических и ледовых полей в период с 1997 по 2015 гг.

В целях исследования вклада океана в процесс сокращения арктического льда оценены потоки тепла на границах океан – лед и атмосфера – лед и рассчитан вклад тех и других в изменчивость ледового покрова с помощью коэффициентов линейной корреляции.

Полученные значения показывают, что корреляция между объемом льда и потоком океан – лед наиболее высока в регионах начальной траектории распространения Атлантических вод. Тем не менее, корреляция объема льда с потоком атмосфера – лед в регионах пролива

Фрама и Баренцевом море также высока. Не исключено, что это обусловлено взаимным влиянием потоков из атмосферы и океана в регионах с низкой концентрацией льда. В регионах Баренцева моря и территориями пролива Фрама велика взаимосвязь между океаном и атмосферой (0,783 и 0,645 соответственно), что закономерно при большой площади круглогодно открытой воды, поэтому прямое влияние океана здесь оценить сложнее.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 17-05-00382-а "Анализ прошлых и прогноз возможных изменений циркуляции Арктических морей России в условиях глобального потепления".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

Целью проведенных исследований является определение особенностей термодинамического состояния и циркуляции окраинных арктических морей России, выявление основных тенденций в условиях последних климатических изменений и прогноз возможного развития в течение ближайшего столетия. В ходе исполнения проекта

1. Проведен анализ тенденций атмосферного воздействия на систему "океан – лед" Арктики и арктических морей, выявлены возможные механизмы сокращения льда в Арктике;
2. Определены основные режимы циркуляции Северного Ледовитого океана и прогнозируемые тенденции ее развития;
3. Детализирован ряд климатических изменений в окраинных арктических морях России;
4. Выявлена связь климатических тенденций с темпами деградации вечной мерзлоты.

Проект РФФИ № 17-05-00396-а "Отклик газогидратов донных отложений океана на естественные и антропогенные изменения климата".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Малахова В. В.

Основная цель проекта – проведение комплексного анализа вклада различных процессов, влияющих на термодинамическую устойчивость газогидратов донных отложений и усиление потоков метана в придонный слой воды и атмосферу в условиях настоящих и будущих климатических изменений. Выделены два вида газовых гидратов: 1) глубоководные метангидраты СЛО, которые формируются при благоприятных термобарических условиях начиная с морских глубин 250 м; 2) метангидраты, которые могут существовать в условиях многолетнемерзлых пород (ММП) арктических шельфов при глубине воды менее 120 м.

Изучены основные факторы и механизмы, определяющие формирование, динамику и термическое состояние субаквальной мерзлоты и толщины зоны стабильности метангидратов (ЗСМГ) арктического шельфа с учетом данных интенсивности теплового потока и солености поровых вод. Выполнена оценка ЗСМГ и ее чувствительности к климатическим изменениям за прошедшие несколько десятилетий. Для оценки пространственно-временной изменчивости температуры дна океана используется региональная модель "океан – лед" SibCIOM. По результатам проведенных расчетов метангидраты, присутствующие на морских глубинах 250–500 м, наиболее подвержены тепловому воздействию. Газогидраты мелководных шельфов (до 120 м), существующие в условиях субаквальных многолетнемерзлых толщ, реагируют на изменения температуры придонной воды более медленно. Смещение верхней границы ЗСМГ за период с 1948 до 2015 г. составило не более шести метров за счет изменения температуры в толще донных пород и их засоления. Газогидратный слой остается изолированным от поверхности морского дна слоем мерзлого грунта.

Получены оценки чувствительности результатов моделирования термического состояния донных отложений к неопределенности палеоклиматических реконструкций температуры воздуха и уровня океана. Модель дополнена сценариями изменения климата на арктическом шельфе за последние 400 тыс. лет с использованием различных комбинаций реконструкций температуры воздуха и уровня моря. Несмотря на заметные различия между используемыми наборами данных, коэффициент неопределенности отклика мощности многолетнемерзлого слоя и ЗСМГ составил менее 0.3 за исключением изолированных интервалов времени и наиболее глубоких областей шельфа.

Проведено исследование возможного увеличения выброса метана из донных отложений морского дна в СЛО. Получены количественные оценки и пространственное распределение потоков метана из морей арктического шельфа в атмосферу. Суммарный поток метана из морей Арктики по модельным оценкам составил 0.5–1.6 Тг в год. Показано, что моря восточного сектора Арктики вносят наибольший вклад в общую эмиссию CH_4 . При этом эмиссия метана в атмосферу увеличивается как результат сокращения площади льда в шельфовых морях, а также обусловлена особенностями их циркуляции.

Проект РФФИ № 19-47-540008 "Численное и геоинформационное моделирование в задачах мониторинга загрязнения окружающей среды Новосибирской области".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Рапута В. Ф.

Разработаны модели и алгоритмы численного восстановления полей длительного атмосферного загрязнения городских территорий по данным сетевых наблюдений. На их основе выполнены оценки минимально и максимально допустимых концентраций легких примесей по городской территории. Разработана двухпараметрическая модель оценивания эмиссии примеси на значительных удалениях от источника. Апробация модели проведена на данных самолетного зондирования загрязнения диоксидом серы летней атмосферы Норильского промышленного района.

Проведен численный анализ высот подъема дымовых шлейфов от крупных ТЭЦ г. Новосибирска. Для этой цели привлекались данные метеорологической и аэрологической станций и информация со спутников. В качестве базовых соотношений использовались уравнения гидротермодинамики атмосферы. Приведены оценки высоты подъема дымовых струй от труб ТЭЦ для зимних условий.

На данных мониторинга загрязнения снежного покрова в окрестностях Новосибирской ТЭЦ-5 и Чернореченского цементного завода выполнена численная реконструкция полей концентраций пыли, химических элементов, компонентов ионного состава. Созданы базы данных по результатам полевых и химико-аналитических исследований многокомпонентного загрязнения снежного покрова в окрестностях этих предприятий.

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

Программа Президиума РАН № 20 "Новые вызовы климатической системы Земли".

Подпрограмма 20.3 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования".

Подпроект № 0315-2018-0016 "Анализ возможных последствий климатозоологических изменений на территории Сибири и на шельфе восточной Арктики по результатам численного моделирования климатической системы".

Руководитель – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

Цель проекта – оценка последствий климатозоологических изменений применительно к региону Сибири и Арктического побережья восточной России.

Задачи, решенные в отчетный период:

- Создание, верификация и развитие модели климатической системы Земли промежуточной сложности для исследования вопросов формирования климата Арктики и средних широт, межгодовой и долгопериодной изменчивости характеристик в системе взаимодействия Мирового океана с атмосферой и льдом, особенностей формирования растительного покрова и гидрологического режима суши, оценки влияния антропогенного фактора на формирование климатозоологических изменений;

- Проведение ряда предварительных сценарных экспериментов для оценки рисков и численного анализа последствий существующего и возможного промышленного освоения северных территорий Сибири и Арктического шельфа;

- Создание на основе постановок обратных задач малопараметрических моделей реконструкции полей регионального загрязнения и оценивания параметров источников выбросов примесей.

В ходе реализации проекта проведен тестовый расчет параметров климатической системы на интервале 100 лет. Начальное состояние атмосферы было получено в предыдущих экспериментах с использованием полной версии автономной модели PlaSim. Распределения температуры поверхности океана в марте и сентябре, полученные в результате усреднения за последние десять лет эксперимента, в целом хорошо согласуются с известными климатическими распределениями. Течения в верхнем 100-метровом слое соответствуют состоянию сильного циклонического режима циркуляции. В результате недостаточной конвергенции экмановского потока в этом регионе ледяное поле оказалось более рассеянным, чем реальное распределение. Перенос тепла от экватора к полюсам несколько завышен в Северном полушарии и недооценен в южном.

В ходе исследования с помощью модели SibCIOM, совместной региональной модели океана и льда Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана, численно оценен вклад со стороны океана в сокращение ледового покрова и выполнено сравнение его с вкладом со стороны атмосферы. Результаты исследования показали, что океан оказывает сильное влияние на состояние ледового покрова в регионах Баренцева моря, пролива Фрама и склона Евразийского шельфа. Эти регионы соответствуют начальной траектории распространения атлантических вод в Арктике.

При сравнении результатов с применением активного и пассивного блоков океана и льда выяснилось, что в краткосрочной перспективе (10–15 лет) океан и лед будут способствовать усилению основных атмосферных тенденций, связанных с увеличением концентрации парниковых газов. Однако для получения более полной картины необходимо учитывать поглощение углекислого газа океаном и его усвоение в результате биогеохимических трансформаций.

Разработаны модели для оценки средних и максимальных концентраций химически активных примесей в поперечных сечениях шлейфов и их выноса от удаленного стационарного источника. Апробация моделей проведена на данных самолетного зондирования многокомпонентного загрязнения зимней атмосферы Норильского промышленного района. Численно исследован процесс активного перехода газ – частица, наблюдаемый на удалении 50–100 км от источника выбросов.

Выполнена адаптация разработанных ранее моделей (региональных атмосферных и океанских моделей, моделей распространения примеси и реконструкции полей загрязнения,

модели термофизических процессов в донных отложениях океана) для обеспечения их взаимодействия с климатической моделью. Построена модель речного водосбора.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Arzhanov, M. M., Malakhova, V. V., Mokhov, I. I. The effect of ice sheets on the thermal state of the permafrost and the methane hydrates // Proc. SPIE, 25th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, Novosibirsk, December 18, 2019. Vol. 11208. P. 112087E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2540599>.
2. Borovko, I. V., Zuev, V. V., Krupchatnikov, V. N. Reaction of the stratospheric polar vortex on the eruption of tropical volcanoes // Proc. SPIE, 25th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, Novosibirsk, December 18, 2019. Vol. 11208. 112089L. DOI: [10.1117/12.2540956](https://doi.org/10.1117/12.2540956).
3. Lezhenin, A. A., Raputa, V. F., Yaroslavtseva, T. V. Use of satellite information for definitions of characteristics of the atmosphere and parameters of sources of emissions // Proc. SPIE, 25th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, Novosibirsk, December 18, 2019. Vol. 11208. 1120876. DOI: [10.1117/12.2540411](https://doi.org/10.1117/12.2540411).
4. Raputa, V. F., Kokovkin, V. V., Shuvaeva, O. V. Aerosol impurities sedimentation monitoring in the vicinity of Novosibirsk electrode making plant // Proc. SPIE, 25th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, Novosibirsk, December 18, 2019. Vol. 11208. 1120842. <https://doi.org/10.1117/12.2540393>.
5. Malakhova, V. V., Eliseev, A. V. Influence of the uncertainty of the sea level data for the Pleistocene glacial cycles on the analysis of the subsea sediments thermal state // Proc. SPIE, 25th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, Novosibirsk, December 18, 2019. Vol. 11208. 112086Q. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2539017>.
6. Platov, G. A., Golubeva, E. N., Kraineva, M. V., Malakhova, V. V. Modeling of climate tendencies in Arctic seas based on atmospheric forcing EOF decomposition // Ocean Dynamics. 2019. V. 69(6). P. 747–767. DOI: [10.1007/s10236-019-01259-1](https://doi.org/10.1007/s10236-019-01259-1).
7. Proshutinsky, A., Krishfield, R., Toole, J. M., Timmermans, M. L., Williams, W., Zimmermann, S., Yamamoto Kawai, M., Armitage, T. W. K., Dukhovskoy, D., Golubeva, E., Manucharyan, G. E., Platov, G., Watanabe, E., Kikuchi, T., Nishino, S., Itoh, M., Kang, S. H., Cho, K. H., Tateyama K., Zhao, J. Analysis of the Beaufort Gyre freshwater content in 2003–2018 // J. Geophys. Res. Oceans. 2019. <https://doi.org/10.1029/2019JC015281>.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Arzhanov, M. M., Malakhova, V. V., Mokhov, I. I., Parfenova, M. R. Stability of relic methane hydrates at climatic changes in the Holocene // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. V. 386. 012019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/386/1/012019>.
2. Golubeva, E., Platov, G., Iakshina, D., Kraineva, M. The simulated distribution of the Siberian river runoff in the Arctic Ocean // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. V. 386. 012022. doi:10.1088/1755-1315/386/1/012022.
3. Platov, G., Krupchatnikov, V., Borovko, I. The study of feedbacks of the Arctic climate system in the formation of climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. V. 386. 012004. DOI: [10.1088/1755-1315/386/1/012004](https://doi.org/10.1088/1755-1315/386/1/012004).
4. Платов, Г. А., Голубева, Е. Н. Взаимодействие плотных шельфовых вод Баренцева и Карского морей с вихревыми структурами // Морской гидрофиз. журн. 2019. Т. 35, № 6. С. 549–571. DOI: [10.22449/0233-7584-2019-6-549-571](https://doi.org/10.22449/0233-7584-2019-6-549-571).

5. Raputa, V. F., Simonenkov, D. V., Belan, B. D., Yaroslavlseva, T. V. Estimation of SO₂ emission into the air of the Norilsk industrial region // *Atmosph. and Ocean. Opt.* 2019. V. 32. No. 06. P. 650–654. DOI: 10.1134/S1024856019060125.

6. Lezhenin, A.A., Raputa, V.F., Yaroslavlseva, T.V. Use of satellite information in the study of processes of pollution transport in the boundary layer of the atmosphere // (2019) CEUR Workshop proc., 2534. P. 389–394.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Алексеева, М. Н., Рапута, В. Ф., Ярославцева, Т. В., Яценко, И. Г. Оценка атмосферного загрязнения при сжигании попутного газа по данным дистанционных наблюдений теплового излучения // *Оптика атмосферы и океана*. 2019. Т. 32, № 11 (370). С. 915–919. DOI: 10.15372/AOO20191106.

2. Аржанов, М. М., Малахова, В. В., Мохов, И. И., Парфенова, М. Р. Устойчивость реликтовых метангидратов при климатических изменениях в голоцене // *Сб. трудов Междунар. молодежной школы и конф. по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019"*, Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 128–131.

3. Платов, Г. А., Голубева, Е. Н. Исследование роли атмосферного форсинга при формировании ледового поля Арктики // *Сб. трудов Междунар. молодежной школы и конф. по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019"*, Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 35–39.

4. Платов, Г. А., Голубева, Е. Н., Карачакова, А. Р. Исследование процессов каскадинга на шельфе Карского моря // *Сб. трудов Междунар. молодежной школы и конф. по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019"*, Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 145–149.

5. Голубева, Е. Н., Якшина, Д. Ф. Исследование вклада атлантических и тихоокеанских вод в процесс сокращения арктического морского льда // *Сб. трудов Междунар. молодежной школы и конф. по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019"*, Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 138–141.

6. Малахова, В. В., Голубева, Е. Н. Отклик метангидратов донных отложений Северного Кедовитого океана на изменения климата // *Сб. трудов Междунар. молодежной школы и конф. по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019"*, Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 141–145.

7. Krupchatnikov, V., Martynova, Yu., Borovko, I., Platov, G. On the relationship between the variability of the mean flow and eddies with systematic errors in the models // *Сб. трудов Междунар. молодежной школы и конф. по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019"*, Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. С. 14–16.

8. Borovko, I. V., Krupchatnikov, V. N. On the polar vortex streamer dynamics [Electron. resource] // *Bull. NCC. Ser.: Num. Modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment Studies*. 2019. Iss. 17. P. 1–8. <https://nccbulletin.ru/article/1730>.

9. Kraineva, M., Golubeva, E., Platov G. Simulation of the near-bottom water warming in the Laptev Sea in 2007–2008. [Electron. resource] // *Bull. NCC. Ser.: Num. Modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment Studies*. 2019. Iss. 17. P. 21–30. <https://nccbulletin.ru/article/1732>.

10. Krylova A.I., Lapteva N.A. Reproduction of runoff hydrograph in the Lena River basin using a hydrologically correct digital elevation model. [Electron. resource] // *Bull. NCC. Ser.: Num. modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment Studies*. 2019. Iss. 17. P. 51–58. <https://nccbulletin.ru/article/1737>.

11. Леженин, А. А., Рапута, В. Ф., Амикишеева, Р. В. Экспериментальные и численные исследования процессов распространения примесей от высотных источников // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : труды Междунар. конф. в рамках "Марчуковских научных чтений-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 271–276. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10043.

12. Леженин, А. А., Рапута, В. Ф., Ярославцева, Т. В. Использование спутниковых данных в анализе распространения дымовых шлейфов ТЭЦ // 13-е Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу : тез. докл. / Под ред. М. В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2019. С. 273–274.

13. Малахова, В. В. Субаквальная мерзлота арктического шельфа: оценка мощности и площади распространения // 13-е Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу : тез. докл. / Под ред. М. В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2019. С. 78–79.

14. Леженин, А. А., Ярославцева, Т. В., Рапута, В. Ф. Модель оценивания параметров нижней атмосферы по данным спутниковых и наземных наблюдений // Интерэкспо Гео-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 44–51. DOI: 2618-981X-2019-4-1-44-51.

15. Малахова, В. В. Исследование динамики многолетнемерзлых пород шельфа арктических морей на основе численного моделирования // Моря России: фундаментальные и прикладные исследования : тез. докл. Всероссийской научной конференции, Севастополь, 23–28 сент. 2019 г. С. 236–237.

16. Малахова, В. В., Елисеев, А. В. Влияние неопределенности палеоклиматических сценариев на динамику субаквальной мерзлоты арктического шельфа // Интерэкспо Гео-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 99–105. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-99-105.

17. Михайлюта, С. В., Леженин, А. А., Гудовский П. Г. Ацетальдегид в атмосферном воздухе г. Красноярска // Интерэкспо Гео-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 106–112. DOI: 2618-981X-2019-4-1-106–112.

18. Морозов, С. В., Рапута, В. Ф., Коковкин, В. В. Оценка выпадений органических и неорганических примесей в окрестностях цементного завода // Интерэкспо Гео-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 113–120. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-113-120.

19. Платов, Г. А., Рапута, В. Ф., Крупчатников, В. Н., Голубева, Е. Н., Малахова, В. В., Леженин, А. А., Боровко, И. В., Крылова, А. И., Якшина, Д. Ф., Крайнева, М. В., Кравченко, В. В., Коробов, О. А. Создание и развитие многокомпонентного комплекса моделей гидродинамических процессов Земли // Пробл. информ. 2019. № 2 (43). С. 4–35. DOI: 10.24411/2073-0667-2019-00005.

20. Raputa, V. F., Lezhenin, A. A. The use of satellite information to estimate the parameters of smoke emissions of CHP. [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser.: Numerical Modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment Studies. 2019. Iss. 17. P. 67–76. <https://nccbulletin.ru/article/1741>.

21. Рапута, В. Ф., Зиновьев, А. Т., Ловцкая, О. В. Анализ процессов загрязнения малой реки на городской территории // Интерэкспо Гео-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 134–140. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-134-140.

22. Рапута, В. Ф., Алексеева, М. Н., Ярославцева, Т. В. Восстановление полей относительных концентраций примесей в атмосфере по измерениям теплового излучения источников // Интерэкспо Гео-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 52–58. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-52-58.

23. Iakshina, D. The influence of the Atlantic water on the ice cover state in the Eurasian basin of the Arctic Ocean based on numerical simulation. [Electron. resource] // Bull. NCC. Series: Numerical modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment studies. 2019. Iss. 17. P. 9–19. <https://nccbulletin.ru/article/1731>.

24. Kravtchenko, V., Golubeva, E., Tskhai, A., Tarhanova, M., Kraineva, M., Platov, G. The Novosibirsk reservoir hydrothermal regime model. [Electron. resource] // Bull. NCC. Series: Numerical modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment studies. 2019. Iss. 17. P. 31–49. <https://nccbulletin.ru/author/golubeva>.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г., – 10 докладов, из них 3 пленарных (Голубева Е. Н., Малахова В. В., Платов Г. А., Якшина Д. Ф., Крылова А. И.).

2. Всероссийская конференция "Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования", Москва, ноябрь 2019 г. – 2 доклада (Малахова В. В., Платов Г. А., Голубева Е. Н.).

3. Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-2019", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. – 8 докладов, из них 4 пленарных (Платов Г. А., Малахова В. В., Голубева Е. Н., Крупчатников В. Н., Мартынова Ю. В., Боровко И. В., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В.).

4. 13-е Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатологическому мониторингу, Томск, 15–19 октября 2019 г. – 5 докладов, из них 1 пленарный (Малахова В. В., Амикишиева Р. А., Леженин А. А., Рапута В. Ф.).

5. Международный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 17–26 апреля 2019 г. – 12 докладов (Платов Г. А., Малахова В. В., Леженин А. А., Рапута В. Ф., Кравченко В. В., Голубева Е. Н., Крайнева М. В., Крылова А. И.).

6. 24-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 30 июня – 5 июля 2019 г. – 7 докладов (Леженин А. А., Рапута В. Ф., Малахова В. В., Боровко И. В., Крупчатников В. Н.).

7. Всероссийская научная конференция "Моря России: фундаментальные и прикладные исследования", Севастополь, 23–28 сентября 2019 г. – 1 доклад (Малахова В. В.).

8. Всероссийская конференция с международным участием "Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов", Бердск (Новосибирская обл.), 26–30 августа 2019 г. – 1 доклад (Леженин А. А., Рапута В. Ф.).

9. 24-я конференция "Аэрозоли Сибири", Томск, 26–29 ноября 2019 г. – 6 докладов (Леженин А. А., Рапута В. Ф., Крылова А. И.).

10. 2-я Международная научно-практическая конференция "Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-гигиенического благополучия населения в Арктике", Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2019 г. – 1 доклад (Рапута В. Ф.).

11. Научно-практическая конференция "Актуальные вопросы гигиены и эпидемиологии", Новосибирск, 5 декабря 2019 г. – 2 доклада (Рапута В. Ф.).

12. Выставка "Городские технологии", Новосибирск, 4–5 апреля 2019 г. – 1 доклад (Рапута В. Ф., Амикишиева Р. А.).

13. Liège Colloquium on Ocean Dynamics, Liège (Belgium), May 6–9, 2019 – 2 доклада (Платов Г. А., Голубева Е. Н., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В.).

14. International scientific conference "Eurasian conference on applied mathematics", Novosibirsk, August 26–29, 2019 – 2 доклада, из них 1 пленарный (Платов Г. А., Голубева Е. Н., Крупчатников В. Н., Якшина Д. Ф., Боровко И. В.).

15. 20-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Новосибирск, 2019 г. – 2 доклада (Крайнева М. В., Голубева Е. Н., Платов Г. А., Якшина Д. Ф.).

16. EGU General Assembly 2019, Vienna (Austria), April 7–12, 2019 – 1 доклад (Голубева Е. Н., Платов Г. А.).

17. Совещание в Мэрии г. Новосибирска, 17 апреля 2019 г. – 1 пленарный доклад (Рапута В. Ф. "Экспериментальное исследование и численный анализ распространения ртути в окрестностях Новосибирского завода химконцентратов").

Участие в организации научных мероприятий

1. Леженин А. А. – член организационного комитета Международной конференции "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 17–26 апреля 2019 г.;

2. Платов Г. А. – член программного комитета Международной конференции "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 17–26 апреля 2019 г.;

3. Крайнева М. В.:

– член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

– член организационного комитета молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.

Участие в экспертной оценке экологической ситуации в Новосибирске

В депутатскую комиссию переданы материалы исследований по ртутному загрязнению территорий г. Новосибирска, проведены консультации. Направлены обращения и материалы этих исследований губернатору Новосибирской обл., мэру города, председателям Заксобраний.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 7

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 13

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 24

Докладов на конференциях – 66, в том числе 10 пленарных.

Участников организации конференций – 4

Кадровый состав

1. Платов Г. А. ав. лаб. д.ф.-м.н.

2. Амикишиева Р. А. инженер

3. Боровко И. В. н.с. к.ф.-м.н.

4. Голубева Е. Н.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
5. Кравченко В. В.	м.н.с.	
6. Крайнева М. В.	м.н.с.	
7. Крупчатников В. Н.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
8. Крылова А. И.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
9. Леженин А. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
10. Малахова В. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
11. Рапута В. Ф.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
12. Яковенко Г. Т.	программист	
13. Якшина Д. Ф.	м.н.с.	

Амикишиева Р. А., Крайнева М. В. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Боровко И. В. – доцент СГУПС.
Голубева Е. Н. – доцент НГУ.
Леженин А. А. – доцент СИУ – филиал РАНХиГС
Крылова А. И. – ст. преподаватель НГУ

Руководство студентами

1. Амикишиева Р. А. – 2-й курс магистратуры ФИТ НГУ, руководитель Рапута В. Ф.
2. Романовская Н. А. – 1-й курс магистратуры ФЭН НЭТИ, руководитель Рапута В. Ф.
3. Усова А. В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
4. Тарханова М. А. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
5. Юрова Ю. Д. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Платов Г. А.
6. Макаренко М. Е. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Крупчатников В. Н.

Руководство аспирантами

Коробов О. А. – 4-й год, ИВМиМГ, руководитель Платов Г. А.

Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Важнейшие достижения

Новый алгоритм решения обратной задачи идентификации источников на основе операторов чувствительности целевых функционалов по данным измерений типа изображений

Д.ф.-м.н. Пененко В. В., к.ф.-м.н. Пененко А. В.

Для нестационарных моделей переноса и трансформации примесей в атмосфере (моделей адвекции-диффузии-реакции) различной пространственной размерности разработан алгоритм идентификации источников на основе операторов чувствительности целевых функционалов по данным измерений типа изображений (т. е. временных рядов значений функции состояния модели в заданных точках области, высотных профилей и изображений функции состояния в определенные моменты времени). Операторы чувствительности строятся на основе ансамблей решений сопряженных задач, соответствующих заданному набору целевых функционалов от функций состояния модели. Благодаря ансамблевому характеру алгоритма он естественно отображается на параллельные вычислительные архитектуры. На рис. 1 представлен результат работы алгоритма по восстановлению функции источников загрязнений по данным мониторинга. Алгоритм применим и в других областях приложений, в частности к задачам идентификации источников для моделей биологии развития по данным микроскопии.

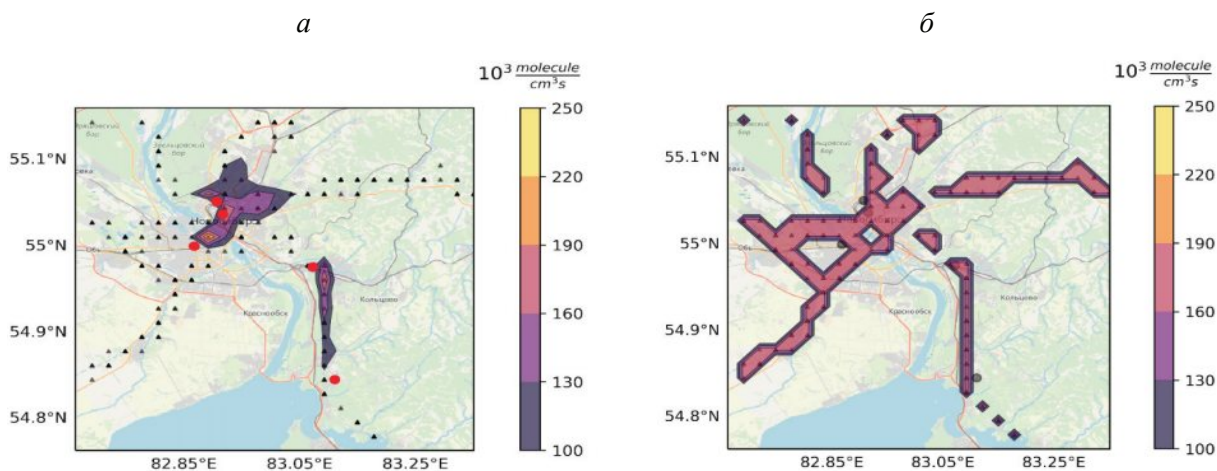


Рис. 1: Сравнение в условиях Новосибирска результатов (а) идентификации стационарных источников оксида азота из выхлопных газов по модельным данным измерений вторичного загрязнителя (озона) на пяти официальных постах мониторинга (красные точки) с их заданным распределением (б)

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Penenko, V. V., Penenko, A. V., Tsvetova, E. A., Gochakov A.V. Methods for studying the sensitivity of air quality models and inverse problems of geophysical hydrothermodynamics // J. of Appl. Mechanics and Techn. Phys. 2019. V. 60. P. 392–399. DOI: 10.1134/S0021894419020202.

2. Penenko, A.; Zubairova, U.; Mukatova, Z., Nikolaev, S. Numerical algorithm for morphogen synthesis region identification with indirect image-type measurement data // J. of Bioinform. and Comput. Biol., World Scientific Pub Co Pte Ltd. 2019. V. 17, 1940002. DOI: 10.1142/s021972001940002x.

3. Penenko, A. A Newton – Kantorovich method in inverse source problems for production-destruction models with time series-type measurement data // Num. Analysis and Appl. 2019. V. 12. P. 51–69. DOI: 10.1134/S1995423919010051.

Отчет по этапам работ, завершенным в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Развитие методов математического моделирования для задач физики атмосферы, гидросферы и окружающей среды с учетом природных и техногенных воздействий".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0004.

Руководители: д.ф.-м.н. Пененко В. В., д.ф.-м.н. Платов Г. А.

Раздел 2

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В.В.

Достигнутые в 2019 г. результаты:

1. Разработаны новые версии моделей, входящих в комплекс моделей гидротермодинамики, химии атмосферы и водных объектов для оценок последствий интенсивных воздействий природного и техногенного характера. В них учтены новые версии разрабатываемых алгоритмов, параметризаций и постановок задач.

1.1. Принимая во внимание наличие неопределенностей при задании входной информации и неопределенностей, обусловленных неполнотой знаний о природе исследуемых процессов, необходимо иметь представление о качестве модели, т. е. о степени ее соответствия реальной физической системе, устойчивости и чувствительности решений к вариациям входных параметров. Особенно важна подобная информация в тех случаях, когда речь идет о моделировании ситуаций в атмосфере, связанных с катастрофическими событиями природного и антропогенного характера.

Следовательно, при математическом моделировании необходимо иметь алгоритмы, позволяющие описать подобные возмущения и оценить их воздействие на результат моделирования. Влияние возмущений в модели можно учитывать через возмущения параметров, под которыми понимаются не только коэффициенты моделей процессов, но и начальные данные и граничные условия задачи.

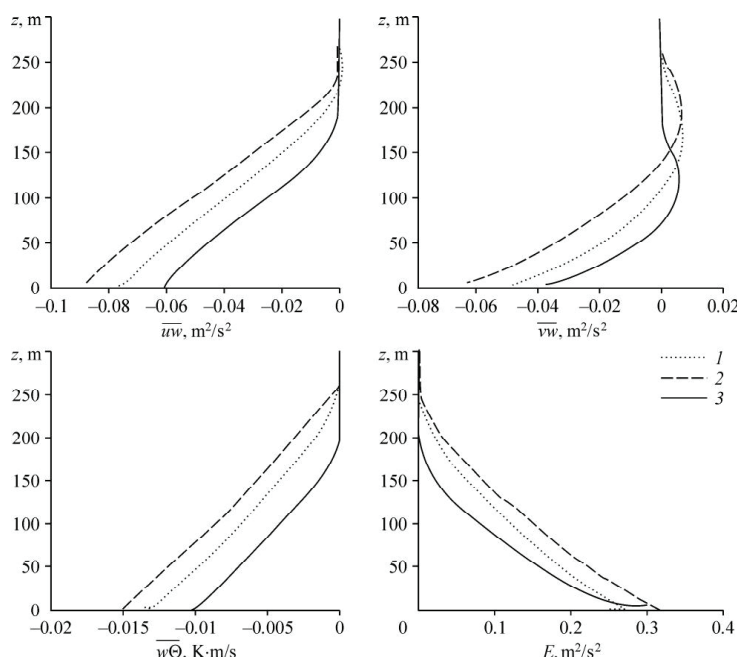
Мы используем специальные методы теории возмущений, непосредственно связывающие вариации исследуемых характеристик с вариациями параметров.

В тех случаях, когда по информации о функциях, описывающих состояние моделируемой системы, находящейся в экстремальных ситуациях, необходимо оценивать параметры модели, приводящие к такой ситуации, требуется решать обратные задачи. При этом численная модель обеспечивает описание дополнительных связей между параметрами, а искомые оценки ее параметров получаются с помощью методов оптимизации или других алгоритмов решения обратных задач.

1.2. Для описания устойчиво стратифицированного пограничного слоя с охлаждением поверхности применена разработанная явная анизотропная алгебраическая модель напряжений Рейнольдса и вектора потока скаляра. С помощью модели проведены вычисления для исследования динамики устойчивого пограничного слоя по схеме известного тестового

Рис. 2. Вертикальные профили компонент тензора турбулентных потоков импульса, вектора турбулентных потоков тепла и ТКЭ для случая GABLS1:

1 – настоящие вычисления;
2 – модель METEO–France ARPEGE;
3 – данные LES, включающие сумму вкладов разрешаемых и подсеточных пульсационных характеристик



случая проекта GABLS1, но с более широкой областью устойчивости, где градиентное число Ричардсона больше единицы ($Ri_g > 1$). Модель включает воздействие гравитационных волн, позволяющее учесть поддержание импульса в условиях сильной устойчивости. Турбулентная кинетическая энергия (ТКЭ), скорость ее диссипации и дисперсия турбулентных пульсаций температуры и загрязняющих веществ находятся из трехпараметрической модели турбулентности, что минимизирует трудности моделирования турбулентного переноса в устойчиво стратифицированной среде и уменьшает усилия, необходимые для численной реализации модели.

Результаты расчетов атмосферного пограничного слоя с устойчивой стратификацией и охлаждением поверхности показывают (рис. 2), что распределения турбулентных потоков импульса и тепла, а также турбулентной кинетической энергии (ТКЭ), вычисленные по развитой трехпараметрической RANS-модели, ближе к данным вихреразрешающего метода LES, чем стандартная ТКЭ-схема.

Рассмотрена эффективность вихревого перемешивания импульса и тепла в устойчиво стратифицированном АПС. Путем численного моделирования прослеживается эволюция потокового числа Ричардсона, анализируется энергетика турбулентности, режимы сильного и слабого перемешиваний. Потоковое число Ричардсона определяет отношение потока плавучести к порождению энергии турбулентности сдвигом скорости. В устойчивой стратификации поток плавучести отрицателен, и кинетическая энергия турбулентных вихрей затрачивается на работу против архимедовых сил, конвертируясь в турбулентную потенциальную энергию. На рис. 3 показаны зависимости величины турбулентной потенциальной энергии E_p , нормализованной на полную энергию $E = E_p + E_k$ от градиентного числа Ричардсона, полученные при численном моделировании эволюции пограничного слоя атмосферы в сравнении с данными измерений в атмосфере, аэродинамической трубе и LES данными. Как и данные LES, результаты численного моделирования для устойчивого пограничного слоя (сплошная линия на рис. 3) показывают монотонную зависимость: отношение потенциальной энергии к полной энергии возрастает с ростом градиентного числа Ричардсона Ri_g , стремясь к предельному значению $E_p/E \approx 0,21$.

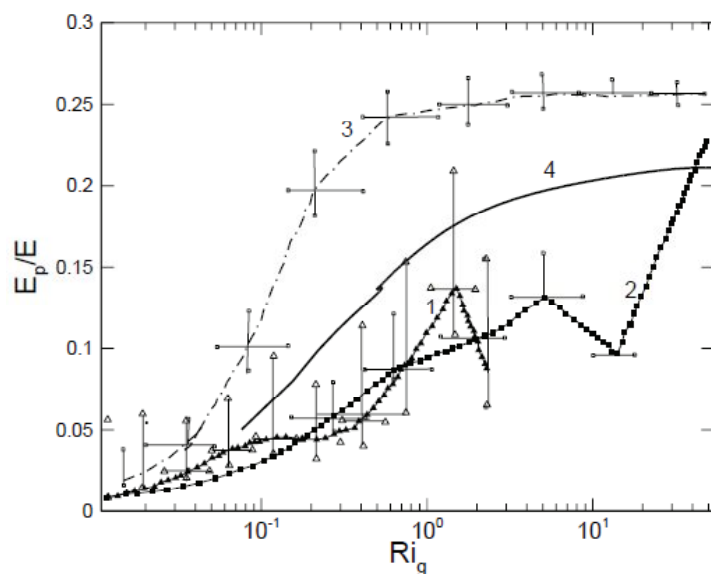


Рис. 3: Величина E_p/E в зависимости от Ri_g : 1, 2, 3 – данные измерений в атмосфере, аэродинамической трубе и LES; 4 – настоящие расчеты

1.3. Изменение стратификации, а также введение слоя инверсии при прохождении холодного атмосферного фронта, приводят к характерному изменению скорости фронта, которое хорошо согласуется с данными наблюдений и теоретическими представлениями о распространении гравитационных течений в атмосфере. Скорость фронта моделировалась с помощью негидростатической конечно-элементной модели динамики атмосферы. При моделировании использовались прямоугольные конечные элементы. Расчеты показали, что введение слоя инверсии приводит к интенсификации вертикальных скоростей и увеличению теплового потока, т. е. к специфическим эффектам, существенно замедляющим скорость распространения фронта как над препятствием, так и над плоской орографией. В результате усиливается вовлечение теплого воздуха. Все это приводит со временем к существенному замедлению скорости распространения фронта. В этой связи были проведены вычислительные эксперименты по изучению влияния стратификации на скорость фронта при обтекании здания специфической формы в условиях городской агломерации. Для нейтральной стратификации расчет показал правдоподобную форму изменения скорости в сравнении с имеющимися данными измерений в аэродинамической трубе.

1.4. Для разрабатываемой в лаборатории мезомасштабной модели гидротермодинамики атмосферы проводится адаптация модели фазовых переходов влажности. Модификация заключается в переходе от четырех компонентов влажности, учитывавшихся ранее в этой модели, к шести (водяной пар, облачная вода, облачный лед, дождевая вода, снег, ледяная крупа/град). В рамках вариационного подхода для новых уравнений построены соответствующие разностные схемы. Продолжена работа над модификацией программного кода модели динамики атмосферы и переноса примесей, позволяющего интерполировать входные и расчетные данные для вариантов модели с грубым разрешением сеточной области на сетки с более детальным разрешением. Для проведения сценариев моделирования для Байкальского региона отлажены процедуры перехода от сетки с горизонтальным шагом 10 км к сетке с шагом 5 км и к сетке с шагом 1 км для одного из вариантов вложенной подобласти исследуемого региона. Совместно с Л. М. Фалейчик (ИПРЭК СО РАН) разработаны ГИС-проекты для визуализации данных расчетов процессов распространения примеси. Данные сценарных расчетов отображаются на подложках в виде цифровых моделей рельефа и на космоснимках исследуемой территории (Байкальский регион). Все расчеты на

мезометеорологической модели выполнялись с использованием параллельных алгоритмов реализации на вычислительных кластерах ССКЦ ИВМиМГ СО РАН.

2. Построены сценарии прямого и обратного моделирования для оценок экологических рисков, соответствующих условиям Западной Сибири и оз. Байкал.

2.1. Оценка экологических рисков для оз. Байкал как объекта Всемирного наследия включает оценку вреда, который наносит акватории озера атмосферное загрязнение, распространяющееся от предприятий, большей частью расположенных в городах, и от пожаров, возникающих на Байкальской природной территории (БПТ). С этой целью нами решаются обратные задачи, позволяющие оценить зоны влияния окружающих территорий на озеро. Не менее актуально, в частности в нынешнем году, когда пожары существенно ухудшили экологическое состояние городов, ставить и решать обратные задачи для городов и населенных пунктов БПТ с оценкой функций чувствительности целевых функционалов, определяющих качество атмосферы в них и приносимый в результате экологический вред биоте и населению с учетом специфики региона.

Для этих целей разработаны специальные версии сопряженной модели переноса примесей и специальные алгоритмы решения обратных задач. В качестве входных данных в моделях с сопряженными уравнениями участвуют результаты расчетов по гидродинамической модели.

На рис. 4 представлен результат решения задачи обратного моделирования, в которой оценивается изменение функции чувствительности целевого функционала, представляющего собой совокупный вред, наносимый населению города Иркутска в атмосферных условиях, определяемых гидродинамическим сценарием с преобладанием ветров юго-западного направления. Белыми кругами на рисунке обозначены населенные пункты, расположенные на БПТ. Диаметр кругов соотносится с количеством населения, проживающего в данном пункте.

2.2. Для оценки рисков загрязнения воды в оз. Байкал рассмотрены гипотетические сценарии развития туризма на озере. С этой целью использовались 3D модели гидротермодинамики и распространения примесей в озере. В условиях неопределенности с заданием условий эксперимента, близких к реальности, были выполнены сценарии моделирования, в которых рассматривались варианты с максимально возможным воздействием на озеро, когда источники примеси – объекты туристической отрасли плотно располагались на всем побережье озера, включая острова. Все источники считались постоянно действующими, имели одинаковые мощности.

Рассматривался сценарий развития ситуаций в течение одного летнего туристического сезона. Система течений для задания гидродинамического сценария рассчитывалась в

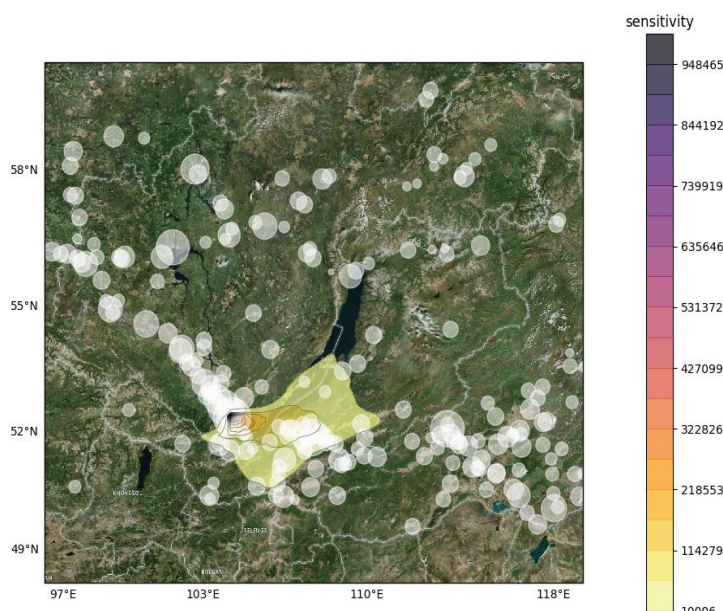


Рис. 4: Решение обратной задачи. Функция чувствительности для населения Иркутска

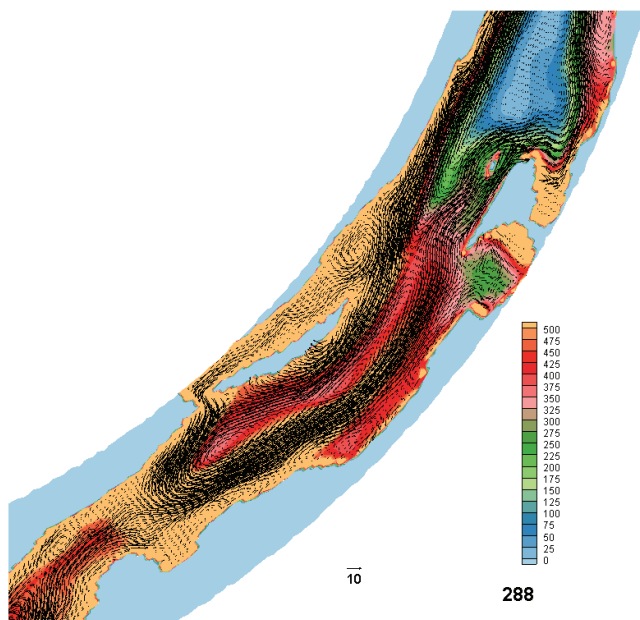


Рис. 5: Фрагмент сценария, относящийся к середине "климатического" сентября. Поле течений (см/сек) и концентрации примеси (усл. ед.)

"климатическом" варианте, когда в качестве граничных условий на поверхности задавался "климатический" ветер, рассчитанный по типизированным полям, а продолжительность действия и переходы от одного типа ветра к другому моделировались в соответствии с таблицами режимных характеристик методами Монте-Карло. Баланс тепла на поверхности рассчитывался по текущим данным и климатическим параметрам. По этим данным рассчитывались поля течений и температуры, а также концентрации примесей.

На рис. 5 представлен фрагмент сценария, относящийся к концу летнего туристического сезона. В результате получилось, что в этом сценарии наиболее чистыми остались участки в середине северной котловины (синий цвет на рис. 5). Основной вывод: при расположении туристических объектов следует учитывать специфику

системы течений в озере.

3. Проведение сценарных расчетов для оценок эффективности алгоритмов. Рассмотрена задача усвоения данных для модели адвекции-диффузии. Усвоение данных осуществляется посредством выбора функции неопределенности, которая имеет смысл источника эмиссии. Ранее был разработан прямой алгоритм усвоения данных со стабилизатором в целевом функционале, управляющем нормой функции неопределенности и ее пространственной производной. В новой версии алгоритма параметры модели усвоения находятся из сценария с известным источником (обучающей выборки). Оптимизация осуществляется с помощью генетического алгоритма. Найденные значения использовались в сценариях с неизвестными источниками выбросов (контрольный эксперимент). В рассмотренных примерах полученные параметры позволили улучшить результат усвоения данных.

Результаты работ по проекту РНФ

Проект РНФ № 17-71-10184 "Методы анализа и интерпретации изображений на основе решения обратных задач и задач усвоения данных с использованием систем основных и сопряженных уравнений моделей наблюдаемых процессов".

Руководитель – к.ф.-м.н. Пененко А. В.

Разработаны алгоритмы решения обратных задач и задач усвоения данных для нелинейных многомерных моделей адвекции-диффузии-реакции по данным измерений типа изображений. Такие обратные задачи возникают, например, при исследовании химического состава атмосферы, когда измерению доступны только некоторые из взаимодействующих компонентов химической системы, информация о которых поступает в виде временных рядов, вертикальных профилей концентрации или спутниковых изображений полей концентрации. По этим данным требуется восстановить распределение концентраций

ненаблюдаемых компонентов системы (элементов функции состояния ее математической модели) и определить характеристики неизвестных источников выбросов. Немаловажным в задачах оценки загрязнения атмосферы является обеспечение работы алгоритма в реальном времени. Другим рассматриваемым в проекте приложением является задача интерпретации данных микроскопии при исследовании процессов, протекающих в живых системах, когда на основе снимков полей концентраций определенных химических веществ (морфогенов) требуется определить области синтеза некоторых связанных с ними веществ или параметры математической модели изучаемых процессов. В подобных постановках в систему моделирования поступает относительно большое количество элементов информации (пикселей изображений), ценность каждого из которых для решения поставленных задач неизвестна.

В свете основного направления современного развития вычислительных систем особый интерес представляют алгоритмы, которые легко отображаются на параллельные вычислительные архитектуры. Примерами могут служить методы расщепления для решения прямых задач и ансамблевые методы усвоения данных. Поэтому в проекте к выбранным задачам применяется идея построения алгоритмов решения обратных задач, предложенная Г. И. Марчуком в 1964 г. Она состоит в сведении обратной задачи к системе квазилинейных уравнений с матрицей, определяемой набором решений сопряженных уравнений модели, соответствующих конечному числу различных линейных функционалов от функции состояния, с последующим решением полученной системы. Сопряженные задачи позволяют связать вариацию значения линейных функционалов от функции состояния с вариацией параметров модели и могут решаться параллельно. Для работы с изображениями высокого разрешения, в которых значение каждого пикселя является результатом измерения, для непосредственного применения подобного подхода к каждому пикселю изображения может быть недостаточно вычислительных мощностей, да и неизвестная априори ценность каждого элемента изображения говорит в пользу того, что вычислительные ресурсы необходимо расходовать более целенаправленно. С этой целью в проекте использована идея рассмотреть небольшой набор "ключевых особенностей" изображения вместо самого исходного изображения. Выбор "ключевых особенностей" соответствует выбору системы функций в пространстве результатов измерений, на которые будут предварительно проецироваться исходные изображения для последующей обработки полученных проекций.

В соответствии с этими идеями, на основе ансамбля решений сопряженных уравнений моделей адвекции-диффузии-реакции различных пространственных размерностей построены операторы чувствительности, позволяющие на основе обратной задачи, сформулированной в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, получить семейство квазилинейных операторных уравнений, зависящих от выбора функций предварительного проектирования данных измерений. Такая формулировка обратной задачи открывает доступ к широкому кругу известных методов решения нелинейных операторных уравнений. Кроме того, представление обратной задачи в виде операторного уравнения позволяет использовать методы анализа операторов, например спектральные. В результате такого анализа возможно, например, оценить, какая часть неизвестного решения может быть определена на основе имеющихся данных измерений.

Для решения операторных уравнений в проекте применен метод типа Ньютона – Канторовича. Вследствие некорректности и нелинейности обратной задачи получающаяся матрица оператора чувствительности, во-первых, плохо обусловлена, во-вторых, известна неточно. Поэтому для ее обращения в методе Ньютона – Канторовича использован подход на основе g -псевдообратных матриц с постепенным увеличением количества используемых

компонентов сингулярного разложения по мере убывания невязки уравнения. В алгоритме осуществляется сингулярное разложение матриц с размерностью, равной квадрату минимума из количества функций проектирования и неизвестных. Разработанный алгоритм является итерационным, однако значительная часть вычислений в нем проводится параллельно, что позволяет получить выигрыш по времени счета. Проведено численное сравнение разработанного алгоритма с вариационным (градиентным). Результаты численных экспериментов показали, что при использовании определенных наборов функций проектирования разработанный алгоритм превосходит градиентный по точности и скорости расчетов.

Способ построения ансамбля решений сопряженных уравнений, особенно в многомерном случае, является ключевым фактором успеха применения разработанного алгоритма. С одной стороны, использование слишком малого количества функций проектирования приводит к потере алгоритмом большей части содержащейся в данных информации, а с другой – увеличение количества используемых функций проектирования может приводить к увеличению количества локальных стационарных точек алгоритма (не являющихся решением исходной задачи). В проекте рассматривались различные подходы к оптимизации вычисляемого ансамбля при сохранении его информативности для данной обратной задачи. Первый подход основывался на выборе из данных измерений "гладких" компонент; второй состоял в решении задачи на базисе из первых левых сингулярных векторов оператора чувствительности задачи, вычисленном на начальном приближении; третий, показавший в проведенных численных экспериментах с многомерными моделями высокую эффективность, состоял в выборе системы проектирования из некоторого базиса на основе максимальной проекции начальной невязки обратной задачи.

Основной сложностью при решении обратных и некорректных задач является работа с зашумленными данными, так как малые возмущения во входных данных в силу некорректности могут привести к большим возмущениям в получаемом решении. Для преодоления этого эффекта применяются методы регуляризации. При использовании итерационных алгоритмов наиболее перспективной представляется итеративная регуляризация, когда алгоритм решения задачи останавливается на определенной итерации. Для поиска момента остановки использован принцип невязки, состоящий в том, что алгоритм останавливается при достижении невязкой заданного уровня шума. В проведенных численных экспериментах было установлено, что при наличии оценки нормы проекции шума на базис проектирования разрабатываемый алгоритм может работать с зашумленными данными, и по мере уменьшения шума точность восстановления увеличивается. Этот результат, естественный для корректных задач, является нетривиальным для некорректных. Кроме того, устойчивость алгоритма может быть увеличена за счет использования априорной информации о решении, например о его положительности.

В ходе выполнения проекта алгоритм был реализован и протестирован для шкалы моделей адвекции-диффузии-реакции различной пространственной размерности и с различными моделями реакции, в частности на реальных данных в задаче об определении области синтеза гипотетического (ненаблюдаемого) морфогена в модели регуляции обновляемой зоны в биологической ткани по снимкам с микроскопа полей концентраций других морфогенов. Кроме того, алгоритм протестирован на реалистичном сценарии идентификации источников загрязнения по данным мониторинга химического состава атмосферы в городе.

Разработанный алгоритм интерпретации изображений в терминах источников модели адвекции-диффузии-реакции показал свою работоспособность и в потоковом режиме на примере задачи оценки химического состава атмосферы и идентификации источников загрязнения в модели переноса и трансформации загрязнений в атмосфере, т. е. в режиме

усвоения данных. В этой постановке новые данные измерений поступают в определенные моменты модельного времени.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 17-01-00137 "Вариационный подход для решения задач охраны окружающей среды городских агломераций".

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Для исследования климато-экологических процессов, природоохранного прогнозирования и проектирования в городских агломерациях разработана согласованная в вариационном смысле технология, позволяющая решать разнообразные прямые и обратные задачи. Основа – совместная работа моделей и данных наблюдений. Существенным пунктом является принятие концепции "гибкости", т. е. отказ от "жестких" формулировок путем включения в модели процессов и в модели наблюдений дополнительных искомых функций – функций неопределенности. На основе этой парадигмы разработаны последовательные методы усвоения данных с применением сопряженных задач и оценок чувствительности моделей и моделируемых процессов к изменениям параметров и входных данных, построены смешанные (прямые и итерационные) вариационные алгоритмы усвоения данных атмосферной химии с различной гладкостью функций неопределенности в моделях процессов и др. Исследования проводились с помощью комплекса оригинальных моделей гидродинамики и распространения примесей различных степеней сложности. Сценарные расчеты выполнены на Сибирском суперкомпьютерном центре СО РАН.

На примере Красноярска с помощью методов математического моделирования исследована изменчивость качества атмосферы в городских агломерациях в зависимости от сочетания климатических, погодных и антропогенных факторов. С этой целью разработаны специальные версии комплекса базовых моделей, учитывающие специфические условия региона. При организации сценариев моделирования были рассмотрены характерные для рассматриваемой территории Красноярского края варианты развития метеорологических ситуаций и распространения примесей, включающие случаи с инверсиями в летних и зимних условиях. В сценариях учитывалось круглогодичное наличие открытой водной поверхности в нижнем бьефе Красноярского водохранилища. Основные выводы: существенного улучшения качества атмосферы в городе можно добиться только снижением и регулированием выбросов, поскольку причинами инверсий являются неустраняемые геофизические факторы.

Проект РФФИ № 17-29-05044 "Мониторинг и оценка влияния опасных природных явлений (лесные и торфяные пожары) и антропогенных источников на качество атмосферы Байкальского региона на основе комплексных дистанционных и наземных локальных измерений и математического моделирования".

Руководитель – д.г.н. Ходжер Т. В. (ЛИН СО РАН)

Выполнено моделирование процессов гидротермодинамики региона с помощью трехмерной нестационарной негидростатической модели и моделирование процессов распространения примесей на фоне гидродинамических сценариев для летнего периода с постоянно действующими источниками, представляющими ТЭЦ и котельные, расположенные в БПТ, и другие варианты сценариев распространения дымовых шлейфов от пожаров.

Рассмотрены постановки и решения задач обратного моделирования с использованием сценариев рассчитанного гидродинамического фона.

Проект РФФИ № 19-07-01135 "Разработка алгоритмов на основе ансамблей сопряженных функций для нахождения коэффициентов в моделях продукции-деструкции по данным точечных измерений".

Руководитель – к.ф.-м.н. Пененко А. В.

За отчетный период реализованы алгоритмические конструкции, необходимые для решения обратных коэффициентных задач для моделей типа продукции-деструкции с данными точечных измерений. В частности, построены согласованные в смысле тождества Лагранжа дискретно-аналитические численные схемы для операторов чувствительности обратных задач в дискретной форме. На основе операторов чувствительности реализован алгоритм решения обратной коэффициентной задачи, который состоит в получении семейства квазилинейных матричных уравнений с последующим их решением методами типа Ньютона – Канторовича. Проведены отладка и тестирование алгоритмов на моделях различной сложности.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Penenko, A. V., Khassenova, Z. T., Penenko, V. V., Pyanova, E. A. Numerical study of a direct variational data assimilation algorithm in Almaty city conditions // Eurasian J. Of Math. And Comput. Appl. 2019. V. 7, iss. 1. P. 53–64. DOI: 10.1007/978-3-030-11539-5_43.
2. Penenko, A., Penenko, V. Tsvetova, E., Mukatova, Zh. Consistent discrete-analytical schemes for the solution of the inverse source problems for atmospheric chemistry models with image-type measurement data // Finite difference methods. Theory and applications : revised selected papers of the 7th Intern. conf. "FDM 2018". P. 378–386. DOI: 10.1007/978-3-030-11539-5_43.
3. Penenko, V. V., Penenko, A. V., Tsvetova, E. A., Gochakov, A. V. Methods for studying the sensitivity of air quality models and inverse problems of geophysical hydrothermodynamics // J. Appl. Mech Tech Phys. 2019. Vol. 60, iss. 2. P. 392–399. DOI: 10.1134/S0021894419020202.
4. Penenko, A. V. A Newton – Kantorovich method in inverse source problems for production-destruction models with time series-type measurement data // Num. Analysis and Appl. 2019. Vol. 12, iss. 1. P. 51–69. DOI: 10.1134/S1995423919010051.
5. Kurbatskii, A. F., Kurbatskaya, L. I. Investigation of a stable boundary layer using an explicit algebraic model of turbulence // Thermophys. Aeromech. 2019. Vol. 26, iss. 3. P. 335–350. DOI: 10.1134/S086986431903003X.
6. Pyanova, E. A., Penenko, V. V., Faleychik, L. M. Numerical study of pollutants dispersion in urban atmosphere in warm and cold seasons (Krasnoyarsk city as an example) // Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics : Proc. of the SPIE 25th Intern symp., Novosibirsk, July 1–5, 2019, 11208C. DOI: 10.1117/12.2541010.
7. Penenko, A. V., Gochakov, A. V., Antokhin, P. N. Numerical study of an algorithm for air pollution sources identification with in situ and remote sensing measurement data // Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics : Proc. of the SPIE 25th Intern symp., Novosibirsk, December, 18, 2019. 112085B. DOI: 10.1117/12.2540901.
8. Penenko, V. V., Tsvetova, E. A. Assessment of possible transboundary transport: direct and inverse problems // Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics : Proc. of the SPIE 25th Intern symp., Novosibirsk, December, 18, 2019. 112086D. DOI: 10.1117/12.2541738.
9. Yudin, M. S. Verification of a FEM model of front evolution with varying thermal stratification // Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics : Proc. of the SPIE 25th Intern symp., Novosibirsk, December, 18, 2019. 112087J. DOI: 10.1117/12.2540624.

10. Kurbatskaya, L. I., Kurbatskii, A. F. Structure of stable stratified boundary layers: study with of nonlocal turbulence model // Atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics : Proc. of the SPIE 25th Intern symp., Novosibirsk, Dec. 18, 2019. 12088D. DOI: 10.1117/12.2541288.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Penenko, A., Zubairova, U., Mukatova, Zh., Nikolaev, S. Numerical algorithm for morphogen synthesis region identification with indirect image-type measurement data // J. of Bioinform. and Comput. Biology. 2019. Vol. 17, No 1. 1940002. DOI: <https://doi.org/10.1142/S021972001940002X>.

2. Penenko, A., Mukatova, Zh. S., Salimova, A. B. Numerical analysis of an inverse coefficient problem for a chemical transformation model // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 386. 2019. 012041. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012041.

3. Penenko, V. V., Tsvetova, E. A. Inverse problems for the study of climatic and ecological processes under anthropogenic influences // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 386. 2019. 012036. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012036.

4. Kablukova, E. G., Ogorodnikov, V. A., Prigarin, S. M., Yudin, M. S. Stochastic quasi-Gaussian models of atmospheric clouds // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 386. 2019. 012043. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012043.

5. Penenko, A., Mukatova, Zh., Salimova, A. Numerical solution of the coefficient inverse problem for a production-destruction model with various adjoint ensemble designs // Optimization problems of complex systems : Proc. of the Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. IEEE. DOI: 10.1109/opcs.2019.8880222.

6. Penenko, A., Mukatova, Z. Scenario approach for the optimization of regularization parameters in the direct variational data assimilation algorithm // Optimization problems of complex systems : Proc. of the Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. IEEE. DOI: 10.1109/opcs.2019.8880181.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Пененко, А. В. Алгоритмы на основе ансамблей сопряженных функций для обратного моделирования процессов переноса и трансформации примесей в атмосфере [Электрон. ресурс] // Сб. трудов Международной молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-19", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. Томск: Томский ЦНТИ, 2019. С. 259–262.

2. Пененко, А. В., Мукатова, Ж. С., Салимова, А. Б. Численное решение обратных задач для моделей трансформации примесей // Сб. трудов Международной молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-19", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. Томск: Томский ЦНТИ, 2019. С. 266–268.

3. Курбацкая, Л. И. Математическое моделирование турбулентных течений в устойчиво стратифицированной среде: циркуляция над городским островом тепла // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : труды Международной конференции, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. С. 253–260. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10041.

4. Пененко, А. В. Метод Ньютона – Канторовича для решения обратных задач идентификации источников в моделях продукции-деструкции с данными типа временных рядов // СибЖВМ. 2019. Т. 22. № 1. С. 57–79. DOI: 10.15372/SJNM20190105.

5. Penenko, A., Mukatova, Z., Zubairova, U., Nikolaev, S. Numerical algorithm for morphogen synthesis region identification with indirect image-type measurement data // J. of Bioinform. and Comput. Biol. 2019. Vol. 17. No 1. P. 1940002. DOI: 10.1142/S021972001940002X.

6. Курбацкая, Л. И., Курбацкий А. Ф. О вихревом перемешивании и энергетике турбулентности в устойчивом атмосферном пограничном слое // 12-й Всерос. съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики : сб. трудов в 4-х т. Уфа, 19–24 авг. 2019 г. С. 589–591. DOI: 10.22226/2410-3535-2019-congress-v2.
7. Пененко, А. В. Реализация алгоритмов на основе ансамблей сопряженных функций для обработки данных мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конгр., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Т. 4, № 1. С. 121–125. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-121-125.
8. Курбацкая, Л. И. Моделирование проникающей турбулентной конвекции и рассеяние загрязнений в термически устойчиво стратифицированной среде // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конгр., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Т. 4, № 1. С. 90–98. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-90-98.
9. Пьянова, Э. А., Пененко, В. В., Фалейчик, Л. М. Летний сценарий моделирования рассеивания примесей от источников выбросов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019 : сб. материалов Междунар. науч. конгр., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Т. 4, № 1. С. 126–133. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-126-133.
10. Пененко, В. В., Цветова, Е. А. Обратные задачи для исследования климато-экологических процессов в условиях антропогенных воздействий // Сб. трудов Международной молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-19", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. Томск: Томский центр научно-технической информации, 2019. С. 235–239.
11. Юдин, М. С. Расчет параметров гравитационных течений в атмосфере с помощью модели конечных элементов // Сб. трудов Международной молодежной школы и конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "CITES-19", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г. Томск: Томский ЦНТИ, 2019. С. 49–52.
12. Пененко, В. В. Прямые и обратные задачи для оценок возможных трансграничных переносов // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2019. Т. 1, № 4. С. 281–285. DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-281-285.
13. Цветова, Е. А. Математическое моделирование гидротермодинамики вод озера Байкал: результаты, проблемы и перспективы // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2019. Т. 1, № 4. С. 286–290. DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-286-290.
14. Пьянова, Э. А., Пененко, В. В., Фалейчик, Л. М. Использование математического моделирования для оценки рисков атмосферного переноса загрязнений на акваторию Байкала // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2019. Т. 1, № 4. С. 261–266. DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-261-266.
15. Курбацкая, Л. И. Математическое моделирование проникающей турбулентной и термической конвекции и рассеяние загрязнений над городом и его окрестностями // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2019. Т. 1, № 4. С. 234–240. DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-234-240.
16. Гочаков, А. В., Пененко, А. В., Колкер, А. Б., Антохин, П. Н. Описание урбанизированной поверхности с использованием геопространственных данных для задач моделирования и оценки качества воздуха // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга

природных и антропогенных процессов (SDM-2019) : сб. трудов Всерос. конф. с международным участием, Бердск (Новосибирская обл.), 28–30 авг. 2019 г. С. 344–348.

17. Курбацкая, Л. И., Яковенко, С. Н. Исследование конвективных движений, неустойчивости и турбулентности в устойчиво стратифицированной среде с орографией и поверхностным источником тепла // 12-й Всерос. съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики : сб. трудов в 4-х т. Уфа, 19–24 авг. 2019 г. С. 592–594.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 4-й Международный форум "Городские технологии", Новосибирск, 4–5 апреля 2019 г. – 1 доклад (Пененко В. В., Пененко А. В.).

2. EGU General Assembly–2019, Vienna (Austria), April 7–12, 2019 – 1 доклад (Пененко А. В.).

3. Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" в рамках 15-го Международного научного конгресса "Интерэкспо Гео-Сибирь", Новосибирск, 17–26 апреля 2019 г. – 6 докладов (Пененко В. В., Пененко А. В., Курбацкая Л. И., Пьянова Э. А., Цветова Е. А., Юдин М. С.).

4. Всероссийская конференция и школа для молодых ученых, посвященные 100-летию акад. Л. В. Овсянникова "Математические проблемы механики сплошных сред", Новосибирск, 13–17 мая 2019 г. – 4 доклада (Пененко В. В., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Цветова Е. А.).

5. International event on computational information technologies for environmental sciences "CITES-2019", Moscow, May 27 – June 6, 2019 – 2 доклада, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Цветова Е. А.; Пененко А. В.).

6. 25-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 30 июня – 5 июля 2019 г. – 4 доклада, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Пененко В. В., Пьянова Э. А.).

7. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 9 докладов, из них 2 пленарных (Пененко В. В., Пененко А. В., Курбацкая Л. И., Пьянова Э. А., Цветова Е. А., Юдин М. С.).

8. Международная конференция "Математика в приложениях" в честь 90-летия С. К. Годунова, Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 2 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В.).

9. Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Уфа, 19–24 августа 2019 г. – 2 доклада (Курбацкая Л. И.).

10. 15-th International Asian school-seminar "Optimization problems of complex systems", Novosibirsk, August 26–30, 2019 – 1 доклад (Пененко А. В.).

11. 11-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г. – 2 пленарных доклада (Пененко В. В., Пененко А. В.).

12. 7-я Всероссийская конференция "Экология. Экономика. Информатика. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем (САМЭС)" под эгидой объединенной конференции "Экология. Экономика. Информатика", Абрау-Дюрсо, 9–14 сентября 2019 г. – 4 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И.).

13. 18-я Всероссийская конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", Абрау-Дюрсо, 16–21 сентября 2019 г. – 2 доклада, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Цветова Е. А.).

14. Всероссийская конференция "35-й Сибирский теплофизический семинар, посвященный 75-летию д.т.н., проф. В. И. Терехова", Новосибирск, 27–29 августа 2019 г. – 1 доклад (Курбацкая Л. И.).

15. 16-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 26–29 ноября 2019 г. – 5 докладов, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Цветова Е. А., Юдин М. С.).

16. The 5th International conference "Quasilinear equations, inverse problems and their applications", Dolgoprudny, December 2–4, 2019 – 1 доклад Пененко А. В.

Участие в организации научных мероприятий

1. Пененко В. В.:

- член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа–4 сентября 2019 г.,

- член программного комитета "Eurasian conference on applied mathematics", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.,

- член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

- член программного комитета 25-го Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 30 июня – 5 июля 2019 г.,

- член программного комитета 26-й конференции "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–29 ноября 2019 г.,

- член программного комитета 18-й Всероссийской конференции-школы молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", пос. Дюрсо, 16–21 сентября 2019 г.,

- член программного комитета International event on computational information technologies for environmental sciences "CITES-2019", Москва, 27 мая – 6 июня 2019 г.;

2. Пененко А. В.:

- член программного и организационного комитетов 11-й Международной молодежной научной школы "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,

- член программного комитета "Eurasian Conference on Applied Mathematics", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.;

3. Пьянова Э. А.:

- член организационного комитета 11-й Международной молодежной научной школы "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,

- член организационного комитета "Eurasian conference on applied mathematics", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.,

- член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

4. Юдин М. С.:

- член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.

Международные научные связи

В рамках некоммерческого партнерства лаборатория ММГППС участвует в междисциплинарном проекте "Pan Eurasium Experiment" (ПЕЕХ, Пан-евразийский эксперимент) институтов Европы, России, Китая.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 10

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 16

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 33

Докладов на конференциях 47, из них 8 пленарных и приглашенных

Участников оргкомитетов конференций – 13

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. Иванова Г. И. | техник | (0,25) |

Педагогическая деятельность

Пененко В. В. – профессор НГУ

Пененко А. В. – почасовик НГУ

Защита дипломов

1. Салимова А. Б. – бакалавр НГУ, руководитель Пененко А. В.

Студенты

1. Мукатова Ж. С. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Пененко А. В.
2. Коноплева В. С. – 4-й курс НГУ, руководитель Пененко А. В.
3. Латышенко У. – 4-й курс НГУ, руководитель Пененко А. В.
4. Голенко П. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Пененко А. В.

Лаборатория численного анализа и машинной графики

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Дебелов В. А.

Важнейшие достижения

Экономичный алгоритм решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами.

Д.ф.-м.н. Сорокин С. Б.

Предложен и обоснован экономичный прямой численный метод решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами, допускающими разделение переменных. Метод позволяет получить решение дискретной задачи за число арифметических операций порядка N , где N – число точек сетки.

Метод применим для различных типов краевых условий, неравномерных сеток по одной из координат и в цилиндрических координатах с переменными коэффициентами, зависящими от r .

Известные прямые алгоритмы решения задачи Коши разработаны только для уравнения Лапласа. Все они основаны на существовании аналитического решения задачи продолжения в стандартной области.

Новизна результата состоит в том, что разработанный экономичный алгоритм применим к эллиптическим уравнениям с переменными коэффициентами, для которых получить аналитическое решение задачи продолжения не представляется возможным.

Значимость результата состоит в том, что предложенный экономичный алгоритм существенно расширяет круг решаемых задач и может применяться при создании приборов, способных в реальном масштабе времени определять температуру на недоступных для измерения частях конструкций.

Практическое применение (теплопроводность). Дано тело, термоизолированное по всем участкам границы, кроме правой, имеется возможность измерить температуру на левой части границы: $u(x_1, x_2) = g(x_2)$. Необходимо определить температуру на правой, недоступной границе (рис. 1).

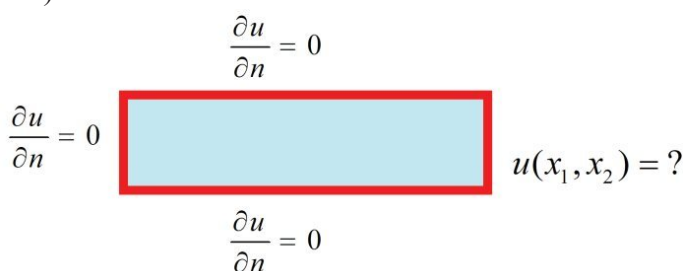


Рис. 1: Геометрия задачи

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Sorokin, S. B. An efficient direct method for numerically solving the Cauchy problem for Laplace's equation // Num. Analysis and Appl. Jan. 2019. Vol. 12, iss. 1. P. 87–103.
2. Сорокин, С. Б. Неявный итерационный метод численного решения задачи Коши для эллиптических уравнений // СибЖИМ. 2019. Т. 22, № 4(80). С. 95–106.
3. Sorokin, S. B. An economical algorithm for numerical solution of the problem of identifying the right-hand side of the Poisson equation // J. of Appl. and Indust. Math. 2018. Vol. 12, No 2. P. 362–368.

Результаты исследований представлены на конференции

8th China – Russia conference on numerical algebra with applications (CRC-NAA'19), Rostov-on-Don, June 24–27, 2019.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Математическое моделирование, численные методы и высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии для решения задач переноса лучистой энергии и тепломассопереноса в сложнопостроенных многофазных средах".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0001.

Руководитель – д.т.н. Дебелов В. А.

Раздел 1 "Моделирование влияния сил Лоренца на динамику расплава при импульсной тепловой нагрузке".

Руководитель – чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Лазарева Г. Г.

Этап 2019 г. "Разработка модели эрозии тугоплавких металлов при импульсной тепловой нагрузке для численной реализации теоретической модели кипения сверхкритического слоя в расплаве. Разработка прототипа программы на основе термодинамически согласованных численных методов".

Разработана математическая модель нагрева и остывания тугоплавких металлов при импульсной тепловой нагрузке с учетом процессов плавления и испарения. Разработана оптимальная явно разрешимая дискретная модель и программа. Численная реализация теоретической модели кипения сверхкритического слоя в расплаве основана на решении уравнений сохранения массы, импульса и энергии в предположении, что энтальпия пара находится на линии насыщения. Движение расплава, обусловленное влиянием силы Лоренца, оценивается через расчетные значения радиальной компоненты тока. Предполагается, что характерное время изменения велико по сравнению с временем установления равновесия уравнений электродинамики на масштабе задачи. Учитывается, что в металлах заряд не накапливается в объеме и выполнено условие квазинейтральности. Уравнения Максвелла переписаны в форме уравнения для потенциала при условии незначительного изменения сопротивления. Для определения стационарного распределения тока в среде использованы результаты расчета процесса остывания с учетом экспериментальных данных мощности высокоскоростного пучка электронов (рис. 2). Проведены численные эксперименты для серии выстрелов с высокой плотностью мощности, показывающие высокие температуры нагрева поверхности (рис. 3). На

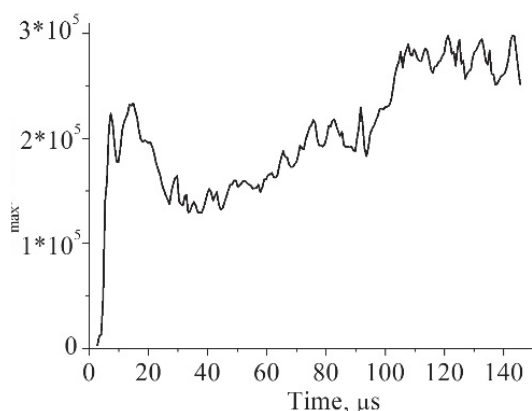


Рис. 2: Зависимость от времени мощности излучения

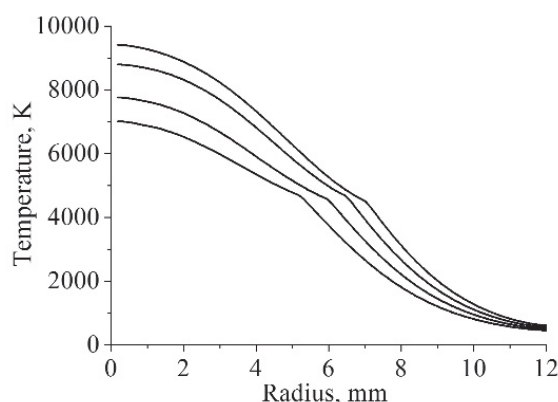


Рис. 3: Распределение температуры в процессе остывания после выстрела 674

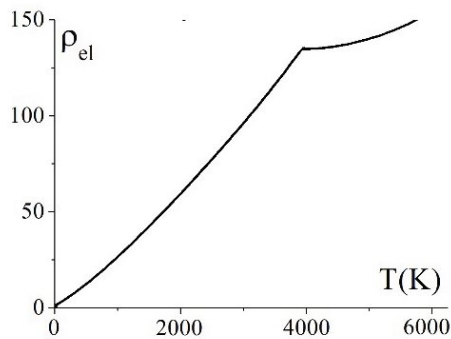


Рис. 4: Зависимость электрического сопротивления от температуры среды

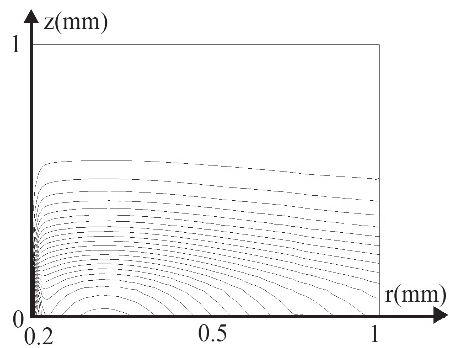


Рис. 5: Изолинии радиальной компоненты тока

основе полученных данных определены значения электрического сопротивления (рис. 4) и компоненты тока (рис. 5) в среде. Результаты численных экспериментов коррелируют с теоретическими оценками и экспериментальными данными, полученными на экспериментальном стенде ВЕТА в ИЯФ СО РАН.

В процессе выполнения работ по плану этапа получены также следующие самостоятельные результаты.

Исследование производительности суперЭВМ. Создан программный комплекс для исследования производительности суперЭВМ, основанный на моделировании динамики плазмы методом частиц-в-ячейках. Данный метод хорошо подходит для тестирования суперЭВМ вследствие того, что сочетает несколько различных этапов, каждый из которых предъявляет высокие требования к определенной подсистеме тестируемой суперЭВМ. Кроме того, данный метод является многовариантным, что обеспечивает дополнительные возможности для оценки производительности тестируемой суперЭВМ.

Таблица 1: Сведения о некоторых отечественных суперЭВМ

Название	Организация, город	Процессор	Число ядер
СКИФ-Cyberia	ТГУ, Томск	Intel Xeon 5150	2
МВС-100К	МСЦ РАН, Москва	Intel Xeon E5450	4
СКИФ-МГУ	МГУ, Москва	Intel Xeon E5472	4
Кластер НГУ	НГУ, Новосибирск	Intel Xeon 5355	4
Кластер НКС-30Т	ССКЦ СО РАН	Intel Xeon E5-2697	28
Политехник	СПбПУ, Санкт-Петербург	Intel Xeon E5-2697Av4	16
НКС-1П	ССКЦ СО РАН		

На рис. 6 показана производительность процессора как сумма производительностей всех его ядер, измеренная для некоторых российских суперЭВМ с помощью предложенного теста: измерялось время счета методом частиц-в-ячейках при известном количестве операций с плавающей точкой на одну модельную частицу. Производительность, вычисленная таким образом, представляет собой оценку снизу для всей совокупности вычислительных методов, т. е. для методов конечных разностей, конечных объемов и различных методов решения СЛАУ производительность будет выше.

Несмотря на большее количество ядер производительность отдельного процессора на кластере "Политехник" получилась несколько меньше, чем для НКС-1П, что может быть объяснено более эффективным интерфейсом доступа к памяти. Необходимо подчеркнуть,

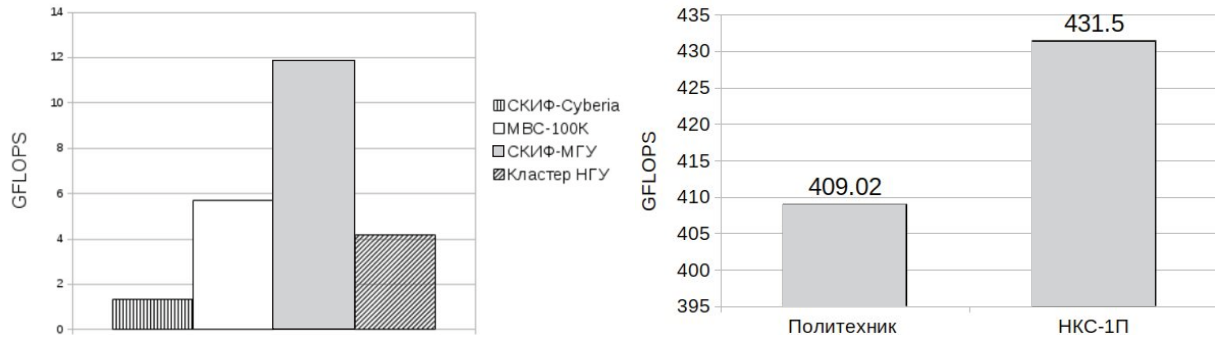


Рис. 6: Усредненная производительность отдельного процессора суперЭВМ

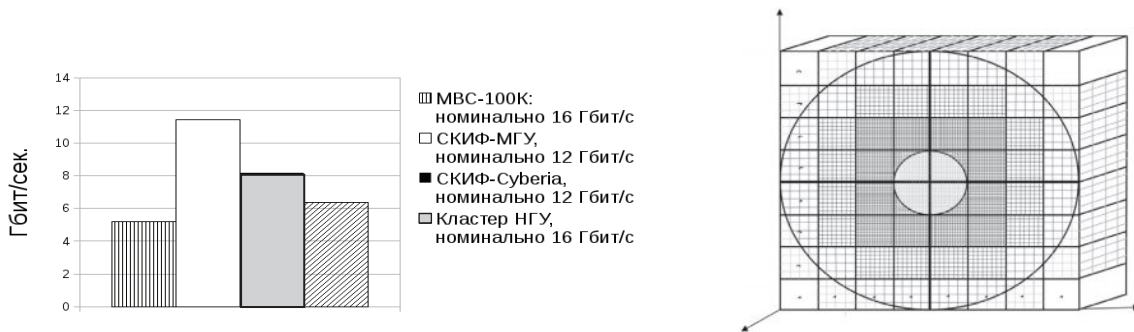


Рис. 7: Показатели производительности коммуникационной сети различных суперЭВМ

Рис. 8: Пример расчетной области с криволинейной границей и описанным вокруг нее параллелепипедом

что в приведенных тестах на производительность использовалась только та часть кластера НКС-1П, которая построена на базе многоядерных процессоров с классической архитектурой, ускорители вычислений Intel Xeon Phi в данном случае не использовались.

Кроме того, предложен метод измерения пропускной способности (производительности) коммуникационной сети суперЭВМ. Измерения проводятся на основе коллективных операций библиотеки MPI. На рис. 7 показаны значения производительности для нескольких российских суперЭВМ, выраженные в гигабитах в секунду. Совпадение с заявленным значением для SKIF-MGU "Чебышев" объясняются проведенной силами НИВЦ МГУ оптимизацией этой суперЭВМ. Для прочих суперЭВМ номинальная производительность коммуникационной сети, как правило, не реализуется.

Параллельные сеточные структуры данных, ориентированные на работу со структурированными массивами данных. Разработаны параллельные сеточные структуры данных, ориентированные на работу со структурированными массивами данных (рис. 8). Это компромиссный вариант между решением трехмерных краевых задач в областях со сложной геометрией на неструктурированных адаптивных сетках, например со сложным доступом к данным и плохой распараллеливаемостью на вычислительных кластерах, и структурированными равномерными параллелепипедальными сетками, требующими введения очень большого количества узлов, что приводит к увеличению длительности решения и ухудшению сходимости численных алгоритмов. В предлагаемом варианте расчетная область разбивается структурированной макросеткой на подобласти, в каждой из которых строится своя структурированная подсетка. Подход основан на прямой (непосредственной) аппроксимации уравнения Пуанкаре – Стеклова на границе сопряжения подобластей (интерфейсе) системой линейных алгебраических уравнений. Он допускает несогласованные подсетки, не требует построения матрицы сеточных уравнений во всей области, а лишь в подобластях.

Раздел 2. "Сопряженно-операторные модели задач теплопроводности и теории упругости".

Руководитель – д.ф.-м.н. Сорокин С. Б.

Этап 2019 г. "Построение дискретных аналогов сопряженно-операторных моделей на нестыкующихся сетках".

Построен новый дискретный аналог сопряженно-операторной модели задачи теплопроводности в криволинейных координатах на нестыкующихся сетках. Дискретный аналог сохраняет сопряженно-операторную структуру исходной модели и записывается в терминах приближенных величин для исходных параметров модели: вектор потока тепла и температура. Дискретизация выполняется на прямоугольной сетке. Для областей, составленных из прямоугольников, предложенная разностная схема существенно проще в реализации, чем проекционные методы.

Построена дискретная модель третьей основной граничной задачи теории упругости, когда на одной части поверхности заданы смещения, а на другой – внешние усилия. Дискретная модель, как и исходная, имеет сопряженно-операторную структуру.

Основную трудность при дискретизации этой задачи представляет построение аппроксимации краевых условий, заданных в терминах напряжений. Необходимость сохранения основных свойств оператора дифференциальной задачи на дискретном уровне обычно требует громоздких и далеко не очевидных рассуждений. Предложенная схема построения дискретного аналога достаточно проста в реализации и заведомо приводит к самосопряженным положительно определенным аппроксимациям статической задачи теории упругости в постановке "перемещения". При этом краевые условия, заданные в терминах напряжений, аппроксимируются автоматически.

Построенная разностная схема аппроксимирует на гладких решениях исходную задачу со вторым порядком.

Раздел 3 "Алгоритмы физически корректного расчета фотореалистических изображений 3D сцен, состоящих из прозрачных оптически анизотропных кристаллов".

Руководитель – д.т.н. Дебелов В. А.

Этап 2019 г. "Разработка параллельных алгоритмов физически корректного расчета фотореалистических изображений для многоядерных GPU методом обратной трассировки лучей сцен, состоящих из прозрачных оптически анизотропных кристаллов".

Разработан параллельный алгоритм физически корректного расчета фотореалистических изображений для многоядерных GPU методом обратной трассировки лучей сцен, состоящих из прозрачных оптически анизотропных кристаллов. В качестве целевой платформы реализации алгоритма взята система NVidia OptiX для GPU типа NVidia GeForce. Особенность системы OptiX в том, что она изначально спроектирована для реализации алгоритмов, строящих решение на основе использования трассировки лучей в 1D, 2D или 3D геометрии. Судя по форуму, организованному фирмой NVidia для пользователей OptiX, система широко применяется для различных задач математического моделирования: физически корректной фотореалистической визуализации 3D сцен, задачи тепломассопереноса и др. Также на наш выбор повлияло то, что: а) GPU типа GeForce являются наиболее распространенными на десктопах, ноутбуках, а также включены в состав ряда суперцентров в виде мульти-GPU; б) управление лучами в сцене эффективно оптимизировано; в) с лучом можно связать требуемое количество физических параметров, необходимых при решении задачи.

Результаты численных экспериментов физически корректных расчетов изображений оптически анизотропных прозрачных кристаллов по экспериментальной программе,

реализованной на GPU типа NVidia GeForce, совпали с аналогичными изображениями, рассчитанными с помощью последовательного алгоритма.

Сравнение продолжительности счета выполнялось для сцены, состоящей из оптически одноосного кристалла кальцита в виде шестигранника, лежащего на цветном источнике света типа витража (рис. 9). Чтобы показать зависимость внешнего вида кристаллического объекта от оптических характеристик минерала, на рис. 10 приводятся рассчитанные физически корректные изображения виртуальных сцен с глубиной рекурсивной трассировки 7, если шестиграннику приписать индексы рефракции, соответствующие изотропному (Iso), одноосному(Uni) и двuosному минералам (Bi). В табл. 2, 3 приведены продолжительности счета в секундах при глубинах трассировки от 3 до 9 для двух разных платформ. Обозначения: Iso, Uni, Bi – для расчетов на центральном процессоре (ЦП), окончание "O" – для расчетов на видео-плате GPU.

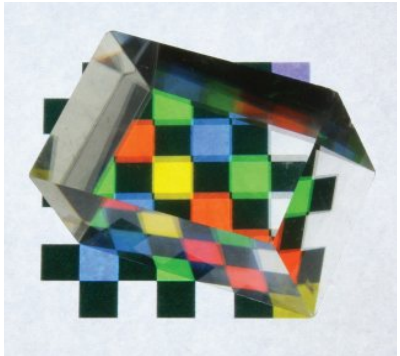


Рис. 9: Фотография реальной сцены с кальцитом



Рис. 10: Шестигранники с оптическими характеристиками (слева направо): изотропного, одноосного и двuosного кристаллов

Таблица 2: Продолжительность счета на платформе 1: ноутбук +GeForce GT 650M (384 CUDA cores), сек

Глуб.	Iso	IsoO	Uni	UniO	Bi	BiO
3	16	2	44	5	66	7
5	33	4	215	25	342	40
7	50	6	851	145	1293	216
9	66	9	3134	1097	4675	1516

Таблица 3: продолжительность счета на платформе 2: десктоп + GeForce GTX 560 (448 CUDA cores), сек

Глуб.	Iso	IsoO	Uni	UniO	Bi	BiO
3	38	0.485	99	1.16	154	2
5	79	0.953	497	6.5	817	5
7	120	1.625	1908	44	2862	63
9	172	2.391	7545	451	1033	620

Отметим, что рассматриваемый алгоритм ориентирован только на энергетические расчеты без учета когерентности лучей и подсчета их фаз.

Была сделана попытка модернизировать алгоритм обратной трассировки лучей, добавив к лучу данные о когерентности и фазе, что позволило бы рассчитывать физически корректные ортоскопические и коноскопические интерференционные картины для кристаллов, которые имеют большое значение в научной визуализации в оптической кристаллографии. После ряда предположений и экспериментальной проверки было сделано заключение, что в рамках обратной рекурсивной трассировки лучей построение интерференционных картин невозможно. Вывод: для расчета интерференционных картин требуется применять прямую стохастическую трассировку. Такая задача поставлена на этап 2020 г.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 19-01-00422 а "Разработка трехфазной динамической математической модели импульсного нагрева и эрозии вольфрама в термоядерном реакторе для реализации на высокопроизводительных вычислительных системах".

Руководитель – чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Лазарева Г. Г.

Основная задача исследований по проекту состоит в детальном изучении модели генерации и вылета капель вольфрама при кипении сверхкритического слоя в расплаве. В 2019 г. реализованы модели плавления и остывания вольфрама с микронеоднородностями трех типов. Реализована модель вылета испаренного вольфрама с поверхности образца на основе решения системы газодинамических уравнений. Использована модификация метода Белоцерковского, позволяющая эффективно вести расчет распространения газа в вакуум, в том числе в электромагнитных полях. Проведены численные эксперименты для определения граничных условий на поверхности вольфрама, давшие численные результаты, близкие к существующим аналитическим оценкам (рис. 11). Расчеты проведены с использованием результатов новейших натурных экспериментов, полученных на установке ВЕТА (ИЯФ СО РАН).

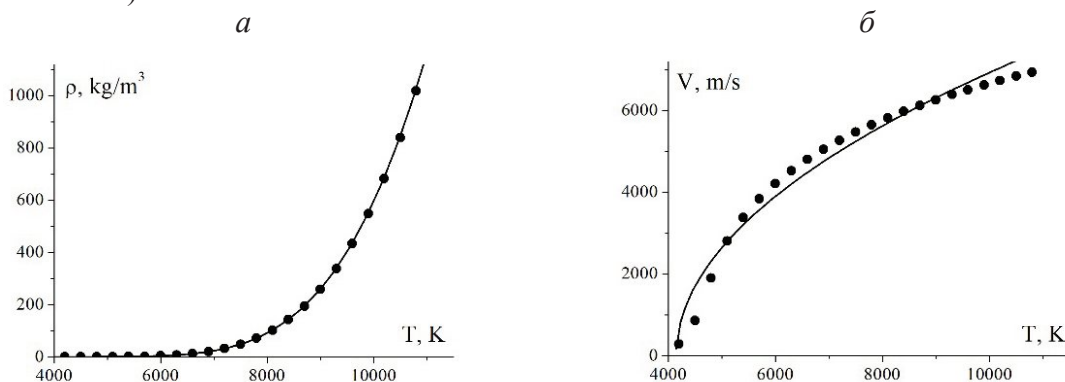


Рис. 11: Графики зависимости плотности (а) и скорости (б) газа на поверхности от температуры. Расчет (точки) и оценка (линия)

Проект РФФИ № 18-31-00303 мол-а "Математическое моделирование теплоотвода при импульсной тепловой нагрузке на основе кинетических схем и методов типа Годунова".

Руководитель – Максимова А. Г.

Продолжается экспериментальное (ИЯФ СО РАН) и компьютерное (ИВМиМГ СО РАН) моделирование условий, вызывающих интенсивную эрозию и образующихся при энерго-

вкладах и длительностях воздействия на поверхность вольфрама, характерных для импульсных процессов в установке ИТЭР. При помощи мощного электронного пучка моделируется соответствующая импульсная тепловая нагрузка в режимах с механическим разрушением, плавлением и разбрызгиванием материала.

Модель расчета распространения тепла в цилиндрической системе координат и в планарной постановке была дополнена различными геометриями трещин, такими как наклонные и несимметричные. Проведены серии численных экспериментов на аналитических тестах и последовательности сгущающихся сеток. Получена динамика области расплава на основе экспериментальных профилей температуры.

Результаты вычислений сопоставлены с полученными в ИЯФ СО РАН экспериментальными данными и существующими аналитическими оценками.

Создан комплекс программ расчета смещений в однородном материале около трещин, образовавшихся при импульсной тепловой нагрузке, на основе уравнения Ламе.

Разработана новая линейризованная редакция метода Годунова первого порядка точности. В отличие от остальных линейризованных методов типа Годунова, предложенный выполняет условие неубывания энтропии на разрывных решениях уравнений газовой динамики, что численно проверено на модельных тестовых задачах о распаде разрыва.

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

Проект НИР № 0315-2018-0014 "Численное моделирование процессов в магматическом очаге".

Блок проекта "Изучение зон субдукции и связанного с ними вулканизма методами геофизики, петрологии и математического моделирования".

Руководитель — чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Лазарева Г. Г.

Процессы, приводящие к масштабным извержениям, длятся десятки лет. Условия и динамика подготовки и реализации извержений в зонах субдукции очень разнообразны. При этом возможно повторение таких сценариев. Численное моделирование на основе современных данных процесса подготовки и реализации извержений в зонах субдукции позволит предсказать признаки катастрофических извержений. Математические модели характеризуются широким диапазоном пространственных и временных масштабов протекающих процессов, сложными химическими реакциями, многофазностью среды (растворенный газ, пузырьки газа и кристаллы) и наличием фазовых переходов. Математическое моделирование может показать механизмы индуцирования явления субдукции. В настоящее время моделирование процесса подготовки и реализации извержений активно развивается и привлекает огромный интерес исследователей. Создана математическая модель дегазации в условиях процесса подготовки и реализации извержений в зонах субдукции. Для согласованной модели процесса перед взрывной дегазацией разработана дискретная модель и программа, в которой рассчитывается распределение давления, плотность и вертикальная скорость магмы, массовые доли газа и растворенной воды в подводящем канале. Модель учитывает процесс подготовки к извержению и основана на решении уравнений сохранения массы и баланса импульса с учетом фазовых переходов для пузырьковой фазы. Расчет ведется от нижней границы третьего очага до глубины 3 км до поверхности.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Sorokin, S. B. An efficient direct method for numerically solving the Cauchy problem for Laplace's equation // Num. Analysis and Appl. 2019. Vol. 12, iss. 1. P. 87–103. DOI: 10.1134/S1995423919010075.

2. Arakcheev, A. S., Arakcheev, S. A., Kandaurov, I. V., Kasatov, A. A., Kurkuchekov, V. V., Lazareva, G. G., Maksimova, A. G., Mashukov, V. I., Popov, V. A., Trunев, Y. A., Vasilyev, A. A., Vyacheslavov, L. N. On the mechanism of surface-parallel cracks formation under pulsed heat loads // Nucl. Materials and Energy. 2019. Vol. 20, No 100677. DOI: 10.1016/j.nme.2019.100677.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Lazareva, G. G., Arakcheev, A. S., Vasilyev, A. A., Maksimova, A. G. Numerical simulation of tungsten melting under fusion reactor-relevant high-power pulsed heating // Smart Innov., Syst. and Technol. 2019. Vol. 133. P. 41–51. DOI: 10.1007/978-3-030-06228-6_5.

2. Maksimova, A. G., Arakcheev, A. S., Lazareva, G. G. Numerical model for calculating displacements near a crack // J. of Phys.: Conf. Ser. (IOP). 2019. Vol. 1336, No 012005. DOI: 10.1088/1742-6596/1392/1/012044.

3. Lazareva, G. G., Arakcheev, A. S., Popov, V. A., Maksimova, A. G., Kapina, E. S. Calculation of current distribution in tungsten plate under exposure to a pulsed electron beam // J. of Phys.: Conf. Ser. (IOP). 2019. Vol. 1392, № 012043. DOI: 10.1088/1742-6596/1392/1/012043.

4. Lazareva, G. G., Arakcheev, A. S., Popov, V. A., Maksimova, A. G. Estimation of the change in the gas flow rate from the surface of a tungsten plate under pulsed heat load // J. of Phys.: Conf. Ser. (IOP). 2019. Vol. 1336, No 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012011.

5. Sorokin, S. B., Maksimova, A. G., Lazareva, G. G., Arakcheev, A. S. Numerical implementation of the Lamé equation with complex boundary conditions // J. of Phys.: Conf. Ser. (IOP). 2019. Vol. 1336, No 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012016.

6. Romanenko, A. A., Snytnikov, A. V., Lazareva, G. G. High performance collisional PIC plasma simulation with GPU-based clusters // J. of Phys.: Conf. Ser. (IOP). 2019. Vol. 1336, No 012005. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012005.

7. Lazareva, G. G., Arakcheev, A. S., Maksimova, A. G., Popov, V. A. Numerical model of evaporation of tungsten in vacuum under high-power transient heating // J. of Phys.: Conf. Ser. (IOP). 2019. Vol. 1391, No 012074. DOI: 10.1088/1742-6596/1391/1/012074.

8. Sorokin, S. B. An implicit iterative method for numerical solving the Cauchy problem for elliptic equations // J. of Appl. and Indust. Math. 2019. Vol. 13, No 4. P. 1–14. DOI: 10.1134/S199047891904001X.

9. Berendeev, E. A., Snytnikov, A. V., Efimova, A. A. Performance of the particle-in-cell method with the Intel (Broadwell, KNL) and IBM Power9 architectures // Commun. on Comput. and Inform. Sci. : Rus. Supercomp. Days Proc. 2019. Vol. 1129 CCIS. P. 610–624. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9_50.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Sorokin, S. B. Fourier method for solving the Cauchy problem for an elliptic equations // Num. Algebra with Appl. : Proc. of the 8th China – Russia conf., Rostov-on-Don, June 24–27, 2019. Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University Press, 2019. P. 65–69.

2. Сорокин, С. Б. Экономичный алгоритм решения задачи Коши для эллиптических уравнений с переменными коэффициентами // Вычислительная математика и математическая

геофизика : труды Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г. С. 362–367.

3. Сорокин, С. Б. Экономичный алгоритм для численного решения задачи идентификации правой части уравнения Пуассона // СибЖИМ. 2018. Т. 21, № 2. С. 101–107.

4. Васильева, Л. Ф., Дебелов, В. А., Шелепаев, Р. А. О разработке виртуального поля-рископа // Труды Международной научной конференции Московского физико-технического института (государственного университета) и Института физико-технической информатики, дер. Спас-Тешилово (Московская обл.), 20–23 нояб. 2018 г. С. 325–332.

5. Васильева, Л. Ф., Дебелов, В. А., Шелепаев, Р. А. Компьютерная модель поляризованного микроскопа для наблюдения фотореалистических интерференционных картин // Вычислительная математика и математическая геофизика : труды Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г. С. 82–93.

6. Артемьев, С. С., Корнеев, В. Д., Лазарева, Г. Г. Расчет частотных характеристик стохастической модели динамики ударных волн методом Монте-Карло // Вычислительная математика и математическая геофизика : труды Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г. С. 33–40.

7. Сорокин, С. Б. Неявный итерационный метод численного решения задачи Коши для эллиптических уравнений // СибЖИМ. 2019. Т. 22, № 4(80). С. 95–106.

8. Сорокин, С. Б. Экономичный прямой метод численного решения задачи Коши для уравнения Лапласа // СибЖИМ. 2019. Т. 22, № 4(80). С. 99–117.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 5 докладов, из них 1 пленарный (Лазарева Г. Г., Дебелов В. А., Васильева Л. Ф., Сорокин С. Б., Максимова А. Г.).

2. Международная конференция "Математика в приложениях" в честь 90-летия акад. С. К. Годунова, Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 1 доклад (Лазарева Г. Г., Максимова А. Г.).

3. 4-я Международная конференция "Суперкомпьютерные технологии математического моделирования", Москва, 19–21 июня 2019 г. – 2 доклада (Лазарева Г. Г., Максимова А. Г.).

4. 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes, Moscow, October 10–11, 2019 – 2 доклада, из них 1 приглашенный (Лазарева Г. Г., Снытников А. В.).

5. 18-я Всероссийская конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", посвященная памяти Л. А. Крукиера, Абрау-Дюрсо, 16–21 сентября 2019 г. – 1 пленарный доклад (Сорокин С. Б.).

6. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ-2019), Калининград, 2–4 апреля 2019 г. – 1 доклад (Лазарева Г. Г., Корнеев В. Д.).

7. Международная конференция "Russian supercomputing days", Москва, 23–24 сентября 2019 г. – 1 доклад (Снытников А. В.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Коновалов А. Н.:

– сопредседатель программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

- член программного комитета Международной научной конференции "Современные проблемы вычислительной математики и математической физики", посвященной 100-летию акад. А. А. Самарского, Москва, 18–20 июня 2019 г.,
- член программного комитета Международной научной конференции "Математика в приложениях", Новосибирск, 4–10 августа 2019 г.,
- член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,
- член программного комитета International scientific conference "Eurasian conference on applied mathematics", Novosibirsk, August 26–29, 2019;
- 2. Лазарева Г. Г.:
 - член программного комитета 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes, Moscow, October 10–11, 2019,
 - член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,
 - член программного комитета 4-й Международной конференции "Суперкомпьютерные технологии математического моделирования", Москва, 19–21 июня 2019 г.,
 - член программного комитета International scientific conference "Eurasian conference on applied mathematics", Novosibirsk, August 26–29, 2019,
 - член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;
- 3. Дебелов В. А. – член программного комитета 29-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению "Графикон-2019", Брянск, 23–26 сентября 2019 г.;
- 4. Сорокин С. Б. – член программного комитета 8th China – Russia conference on numerical algebra with applications (CRC-NAA'19), Rostov-on-Don, June 24–27, 2019.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 2
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 19
 Докладов на конференциях – 13, в том числе пленарных 2, приглашенный 1
 Участников организации конференций – 12

Кадровый состав

1. Дебелов В. А.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Васильева Л. Ф.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
3. Коновалов А. Н.	советник РАН	акад. РАН
4. Корнеев В. Д.	с.н.с.	к.т.н.
5. Лазарева Г. Г.	г.н.с.	член-корр. РАН
6. Максимова А. Г.	м.н.с.	
7. Марусина О. А.	техник 1-й катег.	
8. Роженко А. И.	с.н.с.	д.ф.-м.н.
9. Снытников А. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.

10. Сорокин С. Б. в.н.с. д.ф.-м.н.
11. Хорсова Г. Е. ведущ. программист
Максимова А. Г. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

- Коновалов А. Н. – профессор НГУ
Сорокин С. Б. – профессор НГУ
Дебелов В. А. – профессор НГУ
Лазарева Г. Г. – профессор НГУ, НГТУ, РУДН
Снытников А. В. – ст. преподаватель НГУ
Максимова А. Г. – преподаватель СУНЦ НГУ

Руководство студентами

1. Голиков М. О. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Дебелов В. А.
2. Долгов Н. Ю. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Дебелов В. А.
3. Ивашин Н. Е. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.

Руководство аспирантами

1. Максимова А. Г. – 2-й год, НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
2. Пехтерев М. С. – 2-й год, НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
3. Ядренников Л. О. – 4-й год, НГУ, руководитель Роженко А. И.

Защита дипломов

- Капина Е. С. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
Ивашин Н. Е. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
Орлова М. П. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.

Защита диссертации

Снытников А. В., "Исследование производительности высокопроизводительных вычислительных систем" на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.15 Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети, 10 октября 2019 г.

Лаборатория вычислительных задач геофизики

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

Важнейшее достижение

Разработка параллельного программного обеспечения для оценки частотно зависимых эффективных упругих характеристик горной породы по трехмерным цифровым томографическим изображениям керна

Д.ф.-м.н. Решетова Г. В.

В 2019 г. разработано параллельное программное обеспечение для оценки частотно зависимых эффективных упругих характеристик горной породы по трехмерным цифровым томографическим изображениям керна. Этот подход является альтернативой широко используемым подходам определения упругих характеристик образцов керна с помощью дорогостоящих трудо/время затратных физических лабораторных экспериментов. Разработанный подход основан на математическом моделировании "виртуального эксперимента" по цифровым 3D изображениям компьютерной томографии. Метод основан на принципе эквивалентности энергии деформаций, в котором в качестве однородных граничных условий выбираются статические граничные условия, имитирующие физический эксперимент, и определяются компоненты тензора жесткости.

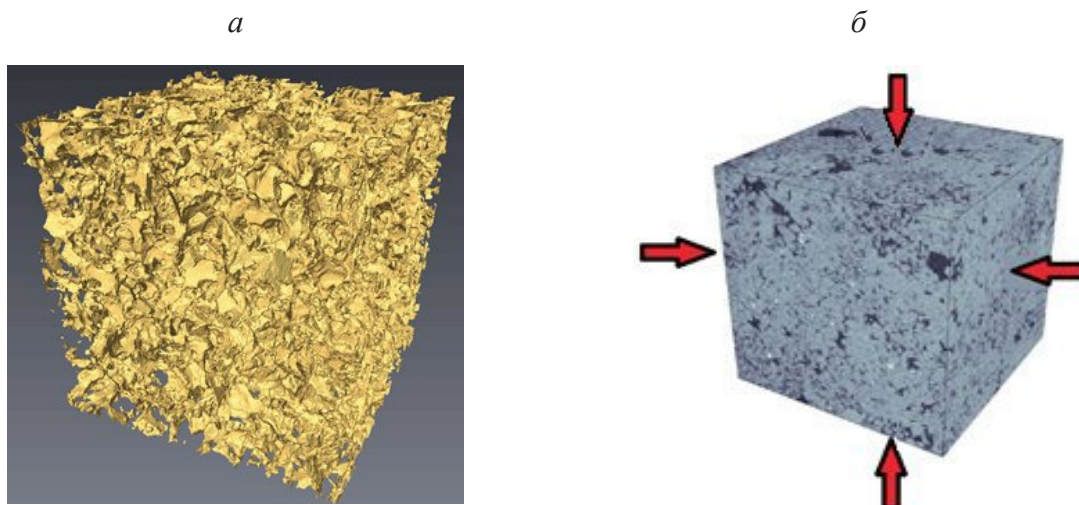


Рис. 1: Цифровой образец керна (а) и математическое моделирование физического эксперимента (б)

Особенностью алгоритма являются новые схемы решения задач статического нагружения образца методом установления задачи динамической теории упругости и параллельной реализации на основе оптимального подбора интерфейсов передачи сообщений. В параллельной программной реализации алгоритма использована новая функция CoArray Fortran (CAF) последнего расширения Фортран. Проведено сравнение трех вариантов параллельной реализации алгоритма с помощью MPI, MPI + OpenMP и CAF. Экспериментально установлено, что CAF и MPI демонстрируют примерно одинаковую производительность на небольшом количестве используемых ядер, однако при увеличении количества ядер реализация с помощью CAF является предпочтительной в силу сокращения времени на обмен данными между соседними процессами. Кроме того, параллельная программа, написанная с использованием CAF, обладает более четкой структурой. Точность параллельного программного

обеспечения для определения эффективных параметров проверялась на однородных образцах с известными свойствами и слоистых, для которых эффективные параметры рассчитывались по методу Шенберга.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Reshetova, G., Cheverda, V., Khachkova, T. A comparison of MPI/OpenMP and coarray fortran for digital rock physics application // Lect. Notes in Comput. Sci. 2019. Vol. 11657. P. 232–244.
2. Reshetova, G., Khachkova, T. Parallel numerical method to estimate the effective elastic moduli of rock core Samples from 3D tomographic images // Lect. Notes in Comput. Sci. Vol. 11386. P. 452–460.
3. Reshetova, G., Cheverda, V., Lisitsa, V., Khachkova, T. Multiscale digital rock modelling for reservoir simulation // OnePetro, Conf. Paper, PE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition.

Результаты исследований представлены на конференциях:

1. PE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Bali (Indonesia), Oct. 29–31, 2019.
2. International conference on finite difference methods, Lozenetz (Bulgaria), June 11–16, 2018.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 0315-2019-0005 "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей с помощью суперкомпьютеров".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0005.

Руководитель – д.ф.-м.н., член-корр. РАН Кабанихин С. И.

1. Разработан 2D конечно-разностный алгоритм обращенного продолжения волнового поля для глубинной миграции и построения изображения земных недр. Исследована точность, сходимост, устойчивост предлагаемых конечно-разностных схем, алгоритмов.

Разработан и исследован новый спектрально-разностный алгоритм волновой миграции для построения изображений земных недр на основе решения одностороннего волнового уравнения. В отличие от существующих спектрально-разностных алгоритмов, предлагаемый подход не требует решения плохо обусловленных знаконеопределенных систем линейных алгебраических уравнений. Построены новые устойчивые спектрально-разностные методы решения одностороннего волнового уравнения для экстраполяции волнового поля с поверхности в глубину. Для этого разработаны новые вспомогательные алгоритмы, позволяющие стабилизировать неустойчивост как решения одностороннего волнового уравнения, так и разностных схем высоких порядков точности.

Создан комплекс параллельных программ для построения 3D изображений земных недр на основе процедуры волновой миграции сейсмических данных.

2. Предложен новый численный метод интегрирования быстро осциллирующих функций для вычисления коэффициентов разложения ряда Лагерра. Разработан новый экономичный алгоритм расчета интегрального преобразования Лагерра для аппроксимации функций на больших интервалах.

Таблица 1: Исследование точности разностного решения, полученного на основе метода Ричардсона четвертого порядка точности, метода сплайн-фильтрации (новый корректор) пятого и шестого порядков точности и метода Рунге – Кутты четвертого порядка точности; N_x – число узлов сетки

N_x	AM5-15	AM6-17	CN	RK4	Richardson	AM5-D4
1000	0.32	0.18	1.47	0.99	6.04e-02	0.56
1500	6.67e-2	2.4e-2	1.51	0.92	1.13e-2	0.18
2000	1.72e-2	4.6e-3	1.38	0.6	3.5e-3	6.5e-2
3000	2.3c-3	4.18e-4	0.87	1.68	6.82e-4	1.33e-2
4000	5.6c-4	7.52e-5	0.53	5.46c-2	2.14e-4	4.2e-3
4500	3.1c-4	3.72e-5	0.43	3.39c-2	1.33e-4	2.6e-3

а

б

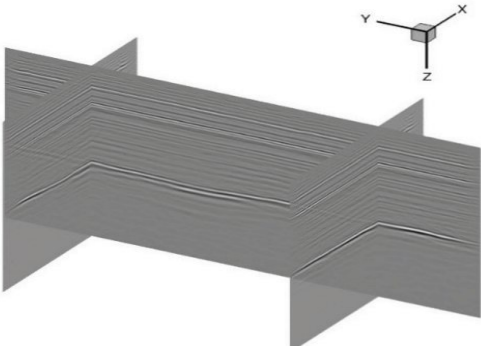
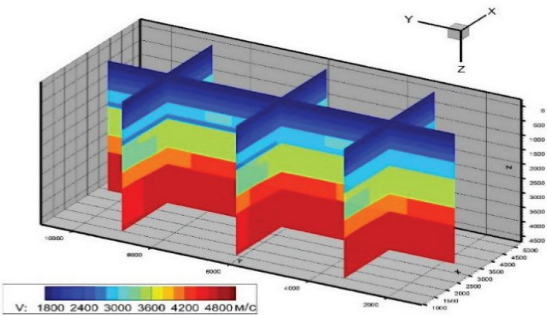


Рис. 2: Скоростная модель для района Западной Сибири (а) и глубинное изображение, построенное на основе реальных данных сейсмических наблюдений (б)

3. Разработанный ранее алгоритм гладкой аппроксимации применительно к 2D случаю перенесен на 3D случай пространственных равномерных прямоугольных сеток.
4. Разработан алгоритм корреляционного анализа пространственных аномалий вычисленных и измеренных геофизических полей в системе GIS-ENDDB.
5. Исследована краевая задача для вырождающегося эллиптического уравнения с дельта-функцией Дирака в правой части. Показано применение метода конечных элементов к решению данной задачи.
6. Найдены дифференциальные законы сохранения (дивергентные тождества вида $\operatorname{div} F = 0$) для семейства произвольных пространственных гладких кривых и законы сохранения для семейства произвольных гладких поверхностей. Продолжено систематическое исследование 10-параметрической группы Ли преобразований 6-мерного пространства $(x, y, z, t, u^1 = u, u^2 = n^2)$, являющейся расширением группы конформных преобразований 3-мерного пространства x, y, z , а также группой эквивалентности трехмерного уравнения эйконала и других классических уравнений математической физики.
7. Создана 3D программа для зонда с тороидальными катушками (изотропный случай). Выполнено тестирование, проведены численные эксперименты. С помощью параллельной версии программы Pardiso из библиотеки INTEL MKL удалось существенно ускорить выполнение расчетов.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 18-51-41002 "Математическое моделирование термодинамически согласованной математической модели двухфазных сред в диссипативном приближении с перекрестными эффектами".

Руководитель – д.ф.-м.н. Урев М. В.

В рамках проекта за отчетный период получены следующие результаты. Исследовано классическое решение в полупространстве второй краевой задачи для переопределенной стационарной системы уравнений второго порядка, возникающей в двухжидкостной среде с равновесием фаз по давлению. Построено фундаментальное решение для описания трехмерных стационарных течений вязких жидкостей двухскоростного континуума с одним давлением. Доказана теорема существования обобщенного решения для переопределенной системы Стокса с помощью метода ортогонального расширения путем введения в систему градиента дополнительной скалярной функции с нулевым граничным условием. Получена система уравнений типа Бюргерса из уравнений двухскоростной гидродинамики и исследована корректность начально-краевой задачи для указанной системы на основе метода слабой аппроксимации. Численно решена начально-краевая задача для одномерной системы уравнений двухжидкостной среды с равновесием фаз по давлению.

Проект РФФИ № 19-01-00347 "Цифровой керн: методология построения разномасштабной модели горных пород путем проведения виртуальных физических экспериментов".

Руководитель – д.ф.-м.н. Решетова Г. В.

В первый год выполнения проекта исследования проводились по двум основным направлениям. Первое направление связано с разработкой численного метода, созданием алгоритма и научно-исследовательской версии параллельного программного обеспечения для определения статических эффективных упругих модулей для трехмерного цифрового керна на основе принципа эквивалентности потенциальной энергии. Второе направление связано с разработкой новых подходов к моделированию насыщенных упругих сред на основе теории законов сохранения термодинамически согласованных систем, в частности, на основе формулировки общих определяющих уравнений многофазных сред сформулированы модели распространения волн малой амплитуды в флюидонасыщенных упругих пористых средах с целью изучения частотно-зависимых модулей упругости для цифровых образцов керна. Разработан численный метод и создана научно-исследовательская версия параллельного программного обеспечения для моделирования процесса распространения волн малой амплитуды в двумерных упругих пористых средах, насыщенных смесью жидкостей/газов.

Проект РФФИ № 18-41-543002 p_мол_a "Разработка математических методов и комплексов программ для построения изображений земных недр с использованием суперЭВМ".

Руководитель – к.ф.-м.н. Терехов А. В.

В 2019 г. разработаны новые спектрально-разностные алгоритмы высоких порядков точности для решения одностороннего волнового уравнения. Замена преобразования Фурье на преобразование Лагерра позволяет после разностной аппроксимации пространственных производных получить систему линейных алгебраических уравнений, удобную для решения прямыми методами, такими как параллельный алгоритм дихотомии. Численные эксперименты показали, что специальные разностные схемы, сохраняющие дисперсионное соотношение, позволяют уменьшить шаг сетки в горизонтальном направлении приблизительно

в два раза по сравнению с классическими разностными схемами. В результате исследований удалось определить причины численной неустойчивости для многошаговых схем высокого порядка точности, используемых для аппроксимации производной для z -направления. Для стабилизации неустойчивости разработана специальная стабилизирующая процедура на основе сплайн-фильтрации, что позволило реализовать многошаговые схемы Адамса и на их основе – методы типа предиктор-корректор высоких порядков точности. Комбинация сплайн-фильтрации, многошаговых методов Адамса и преобразования Лагерра является взаимодополняющей. Экспериментально проверено, что замена методов Адамса на схемы на основе конечных разностей "назад" не позволяет обеспечить устойчивость счета посредством предлагаемых стабилизирующих процедур. В то же время замена преобразования Лагерра на преобразование Фурье по времени делает сплайн-фильтрацию бессмысленной, так как в этом случае решение для каждой гармоники определяется независимо начальными условиями на дневной поверхности. Разработанное программное обеспечение позволяет проводить практические расчеты в рамках миграционных преобразований для расчета глубинных изображений земных недр. Алгоритмы миграции проверены на корректность и точность специалистами Сибирского научно-исследовательского института геофизики, геологии и минерального сырья и Новосибирского филиала Всероссийского научно-исследовательского геологического нефтяного института. Установлено, что предлагаемые методы корректны и позволяют получать глубинные изображения высокого разрешения для сложных моделей сред.

Публикации

Монографии, главы в монографиях

1. Аксенов, В. В. Несиловые электромагнитные поля в экспериментах. Екатеринбург: Наука России, 2019. 134 с. ISBN: 978-5-6042310-0-5. DOI: 10.18411/978-5-6042310-0-5.
2. Alekseev, A. S., Tsibulchik, G. M., Kovalevsky, V. V., Belonosov, A. S. Elements of active geophysical monitoring theory // Ch. 1.1 in book "Active Geophysical Monitoring". Elsevier, 2019. P. 3–18. DOI: 10.1016/B978-0-08-102684-7.00001-7.

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Aksenov, V. V. On mutual generation of magnetic fields in tokamaks and methods of its suppression // Springer Nature "Russ. Phys. J.". 2019. Vol. 61, No 9. P. 1741–1743. DOI: 10.1007/s11182-018-1595-z.
2. Imomnazarov, Kh. Kh., Jabborov, N. M. Application of A-analytic functions to the investigation of the Cauchy problem for a stationary poroelasticity system // J. Contemp. Math. Fundam. Directions. 2019. Vol. 65, No 1. P. 33–43. DOI: 10.22363/2413-3639-2019-65-1-33-43.
3. Imomnazarov, Kh. Kh., Mikhailov, A. A., Rakhmonov T. T. Simulation of the seismic wave propagation in porous media described by three elastic parameters // СЭМИ. 2019. № 16. С. 591–599. DOI: 10.33048/semi.2019.16.037.
4. Kobalo, N., Kulikov, A., Titov, I., Vorobiev, D. Prediction of RNA secondary structure based on optimization in the space of its descriptors by the simulated annealing algorithm // Труды конф. "PSI 19" Lect. Notes in Comput. Sci. Springer. 2019. P. 116–124. DOI: 10.1007/978-3-030-37487-7_10.
5. Megrabov, A. G. Conservation laws and other formulas for the families of rays and wavefronts and for the eikonal equation // Num. Analysis and Appl. 2019. Vol. 12, No 4. P. 395–406. DOI: 10.1134/S1195423919040074.

[Меграбов, А. Г. Законы сохранения и другие формулы для семейств лучей и фронтов и для уравнения эйконала // *СибЖВМ*. 2019. Т. 22, № 4. С. 483–497. DOI: 10.15372/SJNM20190407].

6. Megrabov, A. G. Conservation laws and the equivalence group // *IOP Conf. Series: J. of Phys.: Conf. series*. July 2019. Vol. 1268 012048. All-Russian conference and school for young scientists "Mathematical problems of continuum mechanics", devoted to 100th anniv. of Acad. L. V. Ovsiannikov, Novosibirsk. May 13–17, 2019. DOI:10.1088/1742-6596/1268/1/012048.

7. Reshetova, G., Cheverda, V., Khachkova, T. Numerical experiments with digital twins of core samples for estimating effective elastic parameters // *Commun. in Comput. and Inform. Sci.* Springer. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9_24.

8. Terekhov, A. V. The stabilization of high-order multistep schemes for the Laguerre one-way wave equation solver // *J. of Computational Phys.* 2018. Vol. 368, Sept. 1. P. 115–130. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.04.059>.

9. Titov, I., Kobalo, N., Vorobiev, D., Kulikov, A. A bioinformatic method for identifying group II introns in organella genomes. secondary structures dataset of eukaryotic mobile group II introns // *Frontiers in Genetics*. 2019. DOI: 10.3389/fgene.2019.01135.

10. Иванов, М. И., Кремер, И. А., Урев, М. В. Решение вырожденной задачи Неймана методом конечных элементов // *СибЖВМ*. 2019. Т. 22, № 4. С. 437–451.

11. Имомназаров, Ш. Х., Урев, М. В. Краевая задача магнитопористости, возникающая при исследовании околоскважинного пространства // *СибЖВМ*. 2019. Т. 22, № 1. С. 15–26. DOI: 10.1134/S1995423919010026.

12. Эпов, М. И., Михайлов, И. В., Глинских, В. Н., Никитенко, М. Н., Суродина, И. В. Algorithms of data processing and inversion for an electromagnetic tool with toroidal coils when studying macroanisotropic properties of reservoirs // *Bull. of the Tomsk Polytechn. Univ.-geo Assets Engin.* 2019. Vol. 330, No 6. P. 187–197. DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2139.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Belonosov, A., Shishlenin, M., Klyuchinskiy, D. A comparative analysis of numerical methods of solving the continuation problem for 1D parabolic equation with the data given on the part of the boundary // *Adv. in Comput. Math.* 2019. Vol. 45, iss. 2. April 2. P. 735–755. DOI: 10.1007/s10444-018-9631-7.

2. Epov, M., Mikhaylov, I., Glinskikh, V., Nikitenko, M., Surodina, I. Electromagnetic logging tool with toroidal coils for the study of vertically inhomogeneous macroanisotropic formations [Electron. resource] // 81st EAGE conf. and exhib. 2019 "Embrace change – creativity for the future", London (UK), June 3–6, 2019. C. Th_R16_05, DOI: 10.3997/2214-4609.201901658.

3. Protasov, M., Tcheverda, V., Lisitsa, V., Reshetova, G., Shilikov, V., Ledyayev, A., Petrov, D., Merzlikina, A., Volyanskaya, V. 3D scattering imaging in the time domain based on asymmetric beam summation // 81st EAGE conf. and exhib. 2019 "Embrace change – creativity for the future", London (UK), June 3–6, 2019. C. Th_P03_06. DOI: 10.3997/2214-4609.201901375.

4. Reshetova, G., Anchugov, A. V., Yurkevich, N. V. Acoustic emission events reconstruction method from the physical experiment records // *Ext. abst. "Geomodel 2019"*. P. 1–4. DOI: 10.3997/2214-4609.201950063.

5. Reshetova, G., Cheverda, V., Khachkova, T. A comparison of MPI/OpenMP and Coarray Fortran for digital rock physics application // *Lect. Notes in Comput. Sci.* 2019. Vol. 11657. P. 232–244. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_19.

6. Reshetova, G., Cheverda, V., Lisitsa, V., Khaidykov, V. A parallel algorithm for studying the ice cover impact onto seismic waves propagation in the shallow arctic waters // *Revised*

Selected Papers of the 4th Russian Supercomputing Days (RuSCDays), Moscow, Sept. 24–25, 2018. P. 3–14. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_1.

7. Reshetova, G., Khachkova, T. Parallel numerical method to estimate the effective elastic moduli of rock core samples from 3D tomographic images // Lect. Notes in Comput. Sci. 2019. Vol. 11386. P. 452–460. DOI: 10.1007/978-3-030-11539-5_52.

8. Reshetova, G., Romenski, E. Two-phase computational model for wave propagation in deforming saturated porous medium // Conf. Proc. of the 81st EAGE conf. and exhib. 2019 "Embrace change – creativity for the future", London (UK), June 3–6, 2019. P. 1–4. DOI: 10.3997/2214-4609.201900657.

9. Tcheverda, V., Kolyukhin, D., Lisitsa, V., Protasov, M., Reshetova, G., Merzlikina, A., Volyanskaya, V., Petrov, D., Shilikov, V., Melnik, A., Glinsky, B., Chernykh, I., Kulikov, I. Digital twin of the seismogeological object: Building and application // Commun. in Comput. and Inform. Sci. Springer. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9_18.

10. Нестерова, Г. В., Ельцов, И. Н., Соболев, А. Ю., Суродина, И. В. Многофизические модели коллекторов: построение базы данных АТЛАС МФМ [Электрон. ресурс] // Геомодель-2019 : тез. докл. 21-й конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа, г. Геленджик, 9–13 сентября 2019 г. С. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.201950067. URL: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=99309>.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Hazivaliev, F. R., Mikheeva, A. V. The "orbital" hypothesis of cosmogenic impact on the relief and geodynamics of the Earth. [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2019. Vol. 21. P. 11–21. URL: https://nccbulletin.ru/files/article/hazivaliev_0.pdf.

2. Imomnazarov, B., Haydarov, I. On one model of solute transport in poroelastic shale landscape [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2019. Vol. 21. P. 1–9. URL: <https://nccbulletin.ru/files/article/haydarov.pdf>.

3. Imomnazarov, B., Imomnazarov, Kh., Haydarov, I. Thermodynamically consistent model of shale swelling around a cylindrical wellbore [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2019. Vol. 21. P. 23–33. URL: https://nccbulletin.ru/files/article/imomnazarov_0_0.pdf.

4. Imomnazarov, Kh. Kh., Imomnazarov, Sh. Kh., Urev, M. V., Bakhramov, R. Kh. The solution of one overdetermined stationary system arising in an incompressible two-fluid medium in a half-space [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2019. V. 21. P. 35–42. URL: https://nccbulletin.ru/files/article/imomnazarov2_3.pdf.

5. Mikheeva, A. V., Saveliev, B. N. A technique of searching for ancient meteorite craters by behind-crater rings and other secondary signs inherited in the landscape [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2019. Vol. 21. P. 55–67. URL: https://nccbulletin.ru/files/article/mikheeva_6.pdf.

6. Аксенов, В. В. Несиловые электромагнитные поля в экспериментах // Наука России: цели и задачи : сб. науч. трудов 13-й Международной научной конференции, Екатеринбург, 10 февраля 2019 г. Ч. 3. С. 63–70. DOI: 10.18411/sr-10-02-2019-57.

7. Аксенов, В. В. О некоторых физических обоснованиях гипотез "расширения" и "дрейфа континентов" в истории Земли // Наука России: цели и задачи : сб. науч. трудов 13-й Международной научной конференции, Екатеринбург, 10 февраля 2019 г. Ч. 1. С. 84–89. DOI: 10.18411/sr-10-08-2019-21.

8. Арипов, М., Имомназаров, Х., Караваев, Д., Коробов, П. Обобщенное решение одной переопределенной стационарной системы двухжидкостной среды // Пробл. вычисл. и прикл. матем. 2019. № 2(20). С. 20–25.

9. Велесов, Д. В., Михайлов, И. В., Суродина, И. В. Изучение тонкослоистых коллекторов приобского месторождения по данным нового зонда индукционно-гальванического каротажа // Трофимуковские чтения-2019 : материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых, Новосибирск, 7–12 октября 2019 г. С. 52–55.

10. Глинский, Б. М., Черных, И. Г., Мартынов, В. Н., Сапетина, А. Ф., Винс, Д. В. Сибирский суперкомпьютерный центр коллективного пользования и его применение для создания вычислительных технологий // Пробл. информ. 2019. № 1. С. 42–60.

11. 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.

12. Имомназаров, Б. Х., Имомназаров, Х. Х., Хайдаров, И. К. Об одной математической модели разбухания глинистого сланца // Пробл. выч. и прикл. матем. 2019. № 3(21). С. 49–56.

13. Имомназаров, Х. Х., Герасимов, В. В. Лучевое решение динамической задачи порупругости для SH-волн // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов, Пенза, 3–6 июня 2019 г. С. 14–19.

14. Имомназаров, Х. Х., Турдиев, У. К. Исследование задачи Коши для одномерной системы уравнений типа Бюргерса методом слабой аппроксимации // Пробл. информ. 2019. № 3. С. 20–30.

15. Имомназаров, Х. Х., Урев, М. В., Искандаров, И. К. Об одной задаче для стационарной системы в двухжидкостной среде в полупространстве // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019". Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4. С. 156–162. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-156-162.

16. Имомназаров, Х. Х., Юсупов, Р. К., Искандаров, И. К. Групповые свойства одномерного нелинейного уравнения порупругости // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019". Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4. С. 149–155. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-149-155.

17. Имомназаров, Ш. Х., Маматкулов, М. М. Об одной начально-краевой задаче для уравнений двухскоростной гидродинамики // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов, Пенза, 3–6 июня 2019 г. С. 19–23.

18. Искандаров, И. К., Имомназаров, Х. Х., Куйлиев, С. К. Об одной внешней краевой задаче для одной переопределенной системы на плоскости // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов, Пенза, 3–6 июня 2019 г. С. 152–156.

19. Искандаров, И. К., Имомназаров, Х. Х., Куйлиев, С. К. Регулярность задачи для одной переопределенной системы на плоскости // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов, Пенза, 3–6 июня 2019 г. С. 156–160.

20. Костин, В., Лисица, В., Решетова, Г., Чеверда, В. Численное моделирование волновых сейсмических полей в трехмерно-неоднородных средах с локальными осложняющими факторами (поглощение, анизотропия, мелкомасштабные неоднородности) // ГеоЕвразия 2019. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии : материалы Международной геолого-геофизической конференции и выставки, Москва, 4–7 февр. 2019 г. Тверь: ПолиПРЕСС, 2019. С. 448–452.

21. Максимов, М. А., Суродина, И. В., Глинских, В. Н. Программно-алгоритмическое обеспечение технологии геомагнитной томографии с использованием данных беспилотной магниторазведки // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 2. № 3. С. 47–54. DOI: 2618-981X-2019-2-3-47-54.

22. Нестерова, Г. В., Ельцов, И. Н., Соболев, А. Ю., Суродина, И. В. База многофизичных моделей пластов АТЛАС МФМ // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 2. № 3. С. 63–71. DOI: 2618-981X-2019-2-3-63-71.

23. Решетова, Г. В., Анчугов, А. В. Моделирование акустической эмиссии для реальных образцов керна // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 2. № 3. С. 160–167. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-2-3-160-167.

24. Суродина, И. В., Нестерова, Г. В. Быстрые алгоритмы трехмерного численного моделирования показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ, учитывающие неравнокомпонентное поле напряжений в окрестности скважины // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 2. № 3. С. 55–62. DOI: 2618-981X-2019-2-3-55-62.

25. Новиков, М. А., Лисица, В. В., Колюхин, Д. Р., Решетова, Г. В. Влияние связности систем трещин на поглощение сейсмической энергии в трещиновато-пористых средах // ГеоЕвразия 2019. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии : материалы Международной геолого-геофизической конференции и выставки, Москва, 4–7 февр. 2019 г. Тверь: ПолиПРЕСС, 2019. С. 808–812. ISBN 978-5-6041943-3-1.

26. Суродина, И. В., Михайлов, И. В. Математическое моделирование электромагнитных полей тороидального источника в двумерных анизотропных моделях геологических сред // Геодинамика. Геомеханика и геофизика: материалы 19-й Всерос. конф., с. Солонешное Алтайского кр., 22–28 июля 2019 г. 2019. С. 137–139.

27. Сухорукова, К. В., Суродина, И. В., Никитенко, М. Н. Электрический и электромагнитный каротаж в наклонных и горизонтальных скважинах: сигналы и их численная инверсия // Геодинамика. Геомеханика и геофизика: материалы 19-й Всерос. конф., с. Солонешное Алтайского кр., 22–28 июля 2019 г. 2019. С. 140–142.

28. Сухорукова, К. В., Эпов, М. И., Никитенко, М. Н., Суродина, И. В., Копытов, Е. В. Количественная интерпретация данных электромагнитного каротажа в субгоризонтальных

скважинах // Новая техника и технологии ГИС для нефтегазовой промышленности : сб. докладов 11-го Междунар. симпозиума стран ЭПШП и ЕАЭС, Новосибирск, 16–20 сент. 2019 г. Ч. 2. С. 183–200.

29. Эпов, М. И., Еремин, В. Н., Глинских, В. Н., Михайлов, И. В., Никитенко, М. Н., Суроидина, И. В. Электромагнитный зонд с тороидальными катушками для определения электрической макроанизотропии нефтяных коллекторов // Новая техника и технологии ГИС для нефтегазовой промышленности : сб. докладов 11-го Междунар. симпозиума стран ЭПШП и ЕАЭС, Новосибирск, 16–20 сент. 2019 г. Ч. 1. С. 129–138.

Свидетельства о регистрации в ФАП СО РАН

Имомназаров, Х. Х., Михайлов, А. А. Моделирование сейсмических волн в пористой среде (МОДСВИПС) // Регистрационный номер в ФАП: PR17010.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 21-я конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа "Геомодель-2019", г. Геленджик, 9–13 сентября 2019 г. – 2 доклада (Суроидина И. В., Решетова Г. В.).

2. Conference and exhibition 2019 "Embrace change – creativity for the future", London (UK), 3–6 June, 2019 – 3 доклада (Суроидина И. В., Решетова Г. В.).

3. 9th International congress on industrial and applied mathematics (ICIAM 2019), Valencia (Spain), 15–19 July, 2019 – 2 доклада (Решетова Г. В.).

4. 2-я Международная геолого-геофизическая конференция и выставка "ГеоЕвразия 2019. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии", Москва, 4–7 февраля 2019 г. – 4 доклада (Решетова Г. В.).

5. International conference on parallel computing technologies (PaCT-2019), Almaty (Kazakhstan), 19–23 August, 2019 – 1 доклад (Решетова Г. В.).

6. 13-я Международная научная конференция "Наука России", Екатеринбург, 10 февраля 2019 г. – 1 доклад (Аксенов В. В.).

7. 13-я Международная научно-техническая конференция молодых специалистов "Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем", Пенза, 3–6 июня 2019 г. – 3 доклада (Имомназаров Х. Х., Имомназаров Ш. Х.).

8. 14-я Международная сейсмологическая школа, Кишинев (Молдова), 16–22 сентября 2019 г. – 1 доклад (Михеева А. В.).

9. 19-й Всероссийский семинар "Геодинамика. Геомеханика и геофизика", с. Солонешное Алтайского кр., 22–28 июля 2019 г. – 2 доклада (Суроидина И. В.).

10. Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" в рамках 15-го Международного научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г. – 7 докладов (Имомназаров Х. Х., Урев М. В., Суроидина И. В., Решетова Г. В.).

11. 16-я Международная научная конференция "Наука России", Екатеринбург, 10 августа 2019 г. – 1 доклад (Аксенов В. В.).

12. Всероссийская конференция и школа для молодых ученых "Математические проблемы механики сплошных сред", посвященные 100-летию акад. Л. В. Овсянникова, Новосибирск, 13–17 мая 2019 г. – 1 доклад (Меграбов А. Г.).

13. Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых "Трофимукские чтения – 2019", Новосибирск, 7–12 октября 2019 г. – 1 доклад (Суродин И. В.).

14. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках "Марчуковских научных чтений – 2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 12 докладов (Михайлов А. А., Мартынов В. Н., Суродин И. В., Решетова Г. В., Подколотный Н. Л., Михеева А. В., Терехов А. В., Куликов А. И.).

15. Международная конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий", Ташкент (Узбекистан), 14–15 ноября 2019 г. – 6 докладов (Имомназаров Х. Х., Урев М. В., Имомназаров Б. Х.).

16. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России-2019", Москва, 23–24 сентября 2019 г. – 3 доклада (Решетова Г. В.).

17. Международная конференция "Математика в приложениях" в честь 90-летия С. К. Годунова, Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 2 доклада (Решетова Г. В.).

18. Международная конференция "Обратные и некорректные задачи", Самарканд (Узбекистан), 2–4 октября 2019 г. – 4 доклада (Имомназаров Х. Х.).

19. Международная конференция SPE/IATMI Asia Pacific oil & gas conference and exhibition, Bali (Indonesia), 29–31 October, 2019 – 1 доклад (Решетова Г. В.).

20. Международный российско-французский семинар "Дифференциальные уравнения и математическое моделирование", г. Ханты-Мансийск, 25–29 августа 2019 г. – 5 докладов (Имомназаров Х. Х., Имомназаров Б. Х., Галактионова А. А., Белоносов А. С., Мартынов В. Н., Васильев Г. С., Имомназаров Ш. Х.).

21. Республиканская научная конференция с участием зарубежных ученых "Актуальные проблемы и применения анализа", Карши (Узбекистан), 4–5 октября 2019 г. – 11 докладов (Имомназаров Х. Х., Урев М. В., Васильев Г. С.).

22. Узбекско-российская научная конференция "Неклассические уравнения математической физики", Ташкент (Узбекистан), 24–26 октября 2019 г. – 4 доклада (Урев М. В., Имомназаров Х. Х., Имомназаров Б. Х.).

23. 11-й Международный симпозиум стран ЭПШП и ЕАЭС, Новосибирск, 16–20 сентября 2019 г. – 2 доклада (Суродин И. В.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Имомназаров Х. Х.:

– член программного комитета Международной конференции "Обратные и некорректные задачи", Самарканд (Узбекистан), 2–4 октября 2019 г.,

– член программного комитета Республиканской научной конференции с участием зарубежных ученых "Актуальные проблемы и применения анализа", г. Карши (Узбекистан), 4–5 октября 2019 г.,

– член программного комитета узбекско-российской научной конференции "Неклассические уравнения математической физики", Ташкент (Узбекистан), 24–26 октября 2019 г.,

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий", Ташкент (Узбекистан), 14–15 ноября 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 12

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 22

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 52

Свидетельств о регистрации программ в ФАП –1

Докладов на конференциях – 79.

Участников организации конференций – 4

Кадровый состав

1. Имомназаров Х. Х.	зав. лаб.,	д.ф.-м.н.
2. Аксенов В. В.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Решетова Г. В.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
4. Меграбов А. Г.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
5. Урев М. В.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
6. Белоносов А. С.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
7. Суродина И. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
8. Терехов А. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
9. Мастрюков А. Ф.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
10. Подколодный Н. Л.	с.н.с.	
11. Мартынов В. Н.	с.н.с.	
12. Михеева А. В.	н.с.	к.ф.-м.н.
13. Михайлов А. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
14. Галактионова А. А.	м.н.с.	
15. Куликов А. И.	ведущ. прогр.	
16. Кабанихина Е. С.	инженер	
17. Шерстюгина Л. П.	техник 1-й катег.	

Галактионова А. А. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

1. Аксенов В. В.	– профессор СибУПК
2. Белоносов А. С.	– доцент ММФ НГУ
3. Меграбов А. Г.	– профессор НГТУ
4. Михеева А. В.	– доцент ВКИ НГУ
5. Подколодный Н. Л.	– старший преподаватель НГУ
6. Урев М. В.	– доцент НГУ, профессор СибАГС

Руководство аспирантами

1. Игнатьев Д. А. – 3-й курс СибУПК, руководитель Аксенов В. В.
2. Кобало Н. С. – 2-й курс ММФ НГУ, руководитель Имомназаров Х. Х.

Защита диссертации

Терехов А. В., "Спектрально-разностные схемы для моделирования волновых полей и их реализация на суперЭВМ", на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 17 декабря 2019 г.

Лаборатория обратных задач естествознания

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей с помощью суперкомпьютеров".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0005.

Руководитель – д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Разработан метод определения волатильности опциона на продажу в коэффициентной обратной задаче для уравнения Блэка – Шоулза. Разработанный алгоритм апробирован на ежедневных данных о значении индекса фондового рынка и характеристики Европейского опциона на продажу на индекс фондового рынка Шанхай-композит и Шанхай-Шэньчжень-композит за один год. Разработан алгоритм определения волатильности и доходности на фондовом рынке.

Разработан градиентный метод решения коэффициентной обратной задачи для уравнения Бюргерса по дополнительной информации, заданной в некоторый финальный момент времени. Построен пример некорректности ретроспективной задачи для уравнения Бюргерса.

Разработан метод численной регуляризации задачи продолжения решения параболического уравнения с части границы. Проведен сравнительный анализ градиентного метода, метода обращения разностной схемы и метода сингулярного разложения. Показано, что формулировка задачи продолжения в виде обратной задачи является устойчивой регуляризацией.

Разработана и численно реализована диффузионная логистическая модель распространения информации в онлайн социальных сетях.

Реализован новый численный метод решения задачи оптимального управления для решения обратной задачи стохастических дифференциальных уравнений. Оптимальная норма потребления с увеличением времени монотонно уменьшается до определенного значения, а затем колеблется в его окружении. Оптимальная доля общего богатства, имеющегося на складе, является постоянной. Таким образом, оптимальной инвестиционной стратегией является сохранение половины средств в рискованном активе, а оставшейся части – в

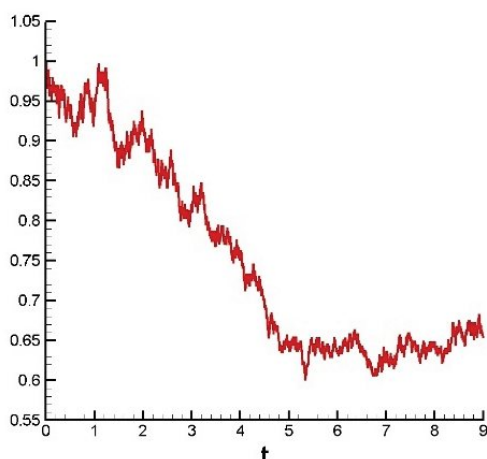


Рис. 1: Кривая, на которой
измеряются данные

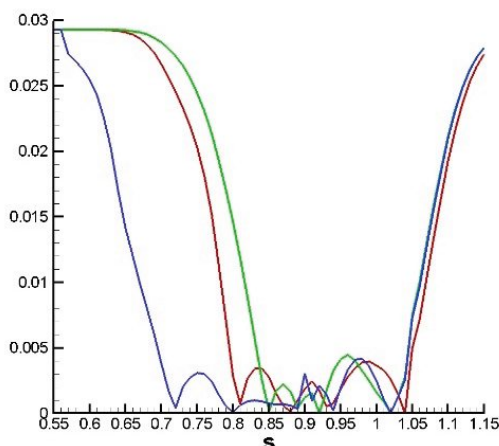


Рис. 2: Разность между точным
и приближенным решениями на 5000 итераций

безрисковом и контроль нормы потребления в пределах кривой, показанной на рис. 3.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 18-31-00409 "Алгоритмы определения акустических и упругих параметров сложных сред по площадным системам наблюдений на основе прямой линейной обработки данных".

Руководитель проекта – Новиков Н. С.

Для трехмерной коэффициентной обратной задачи для уравнения акустики получен новый аналог уравнения Крейна, использующий данные, полученные на основе откликов от системы сосредоточенных источников и приемников, соответствующих площадной системе наблюдений. Для обратной задачи для системы уравнений теории упругости в случае горизонтально-слоистой среды предложен новый метод решения, использующий отклики от двух источников произвольной временной формы и сводящий обратную задачу к системе линейных интегральных уравнений 1-го рода.

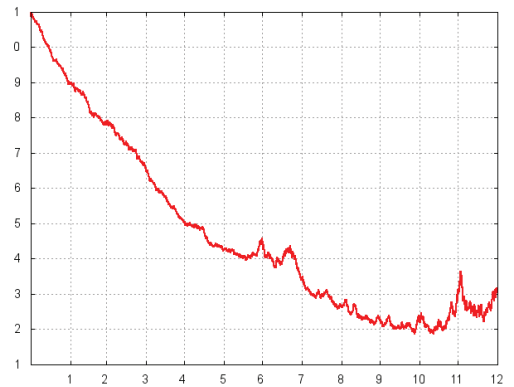


Рис. 3: Оптимальное распределение капитала инвестора в течение 12 месяцев

Проект РФФИ № 18-31-20019 "Прямые и обратные задачи социальных процессов: теория, алгоритмы и комплексы программ".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

Уточнены начальные данные начально-краевой задачи для математической модели распространения информации в модельной онлайн социальной сети по дополнительным измерениям плотности активных пользователей в фиксированные моменты времени (обратная задача). Проведен анализ степени некорректности обратной задачи для линеаризованной математической модели распространения информации в онлайн социальных сетях, основанный на изучении степени убывания сингулярных чисел матрицы обратной задачи. Показано, что сингулярные числа экспоненциально убывают к нулю, что свидетельствует о неустойчивости решения линеаризованной обратной задачи и, как результат, о неустойчивости решения исходной нелинейной обратной задачи. На основе анализа убывания сингулярных чисел разработан алгоритм регуляризации решения обратной задачи. Задача уточнения была сведена к задаче оптимизации в смысле наименьших квадратов и решена с помощью комбинации глобального метода роя частиц (МРЧ) и локального метода Нелдера – Мида (МНМ). Задача оптимизации решена с помощью метода градиентного спуска (МГС) и многоуровневого градиентного метода (МГМ).

Таблица 1: Результаты оптимизационных методов

Метод	Начальное приближение	Число итераций	Значение функционала	Относительная погрешность
МРЧ	–	~20	0.00166187	0.00154411
МГС I	Решение МРЧ	5000	0.00098664	0.00153618
МГМ I	Решение МРЧ	500	0.00099199	0.00153629
МГМ II	Нулевое	100	0.00090323	0.00153283
МГС II	Нулевое	9000	4533.77	398.151
МРЧ + МНМ	–	100	0.00089925	0.00153279

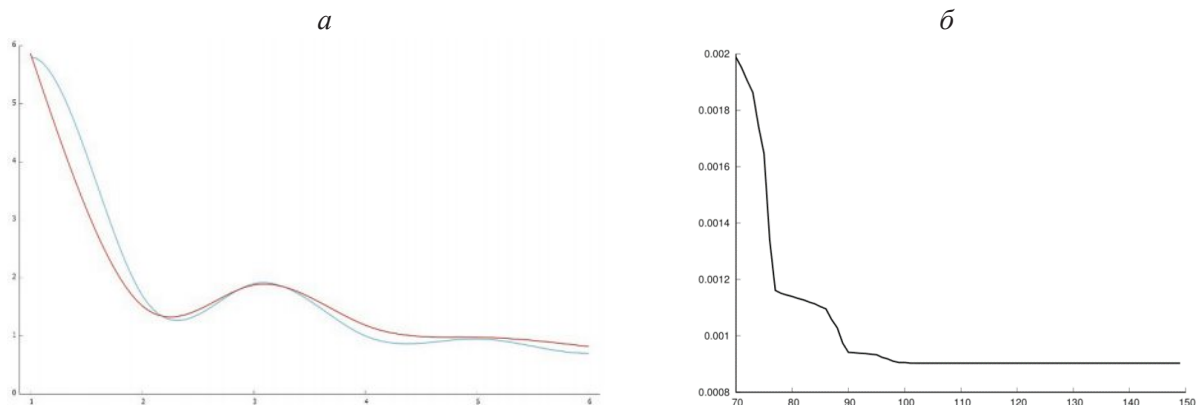


Рис. 4: Результаты работы многоуровневого градиентного метода с нулевым начальным приближением:

а – графики решения обратной задачи многоуровневым градиентным методом (синий) и методом роя частиц (красный); *б* – график убывания функционала с 70-й по 150-ю итерацию

Проект РФФИ 19-01-00694 "Продолжение решений с части границы математических моделей естествознания: алгоритмы и комплексы программ".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

Получена оценка условной устойчивости задачи продолжения для параболического уравнения.

Разработан метод решения задачи продолжения решения с части границы области для трехмерного параболического уравнения. Проведен сравнительный анализ численных методов решения: метода обращения разностной схемы и градиентного. Для регуляризации метода обращения разностной схемы и повышения глубины и устойчивости восстановления решения используются дополнительные граничные условия по времени (поток тепла равен нулю). Показано, что метод обращения разностной схемы, эквивалентный по количеству операций решению прямой задачи, является неустойчивым: при шуме в данных приближенное решение с ростом глубины начинает расходиться. Градиентный метод на порядок более устойчив.

Разработан метод решения задачи продолжения решения с части границы области для трехмерного уравнения Пуассона. Проведен сравнительный анализ численных методов решения на основе градиентного и стохастического градиентного спусков. Предложены достаточно общие подходы к решению выпуклых оптимизационных задач в гильбертовом пространстве, основанные на методе градиентного спуска. Обычно он не позволяет вычислить точное значение градиента (производная Фреше). Таким образом, получен компромисс между стоимостью одной итерации и количеством требуемых итераций: можно вычислить градиент точно, поэтому сходимость быстрая (при использовании быстрого градиентного спуска) при высокой стоимости одной итерации, и наоборот, можно вычислить градиент приближенно при медленной сходимости (используя только робастный простой градиентный спуск) и невысокой стоимости одной итерации.

Проведен сравнительный анализ двух различных подходов расчета градиента. Численные расчеты показали, что производительность ниже на 5 % вследствие дополнительных копирований областей памяти. Например, в новом подходе решение сопряженной задачи на пространственной сетке 500×500 занимает 10 Мбайт оперативной памяти вместо 5 Гб. В зависимости от ситуации и наличия свободной памяти и/или вычислительных ресурсов есть возможность выбора стратегии расчета градиента.

Результаты работ по проектам РНФ

РНФ № 18-71-10044 "Суперкомпьютерный анализ социальных, эпидемиологических и экономических процессов. Теория, алгоритмы и комплекс программ".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

В рамках второго года выполнения проекта разработаны алгоритмы, созданы комплексы программ и проанализированы результаты численного решения некоторых прямых и обратных задач для математических моделей социальных, эпидемиологических и экономических процессов, описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), уравнениями в частных производных и стохастических дифференциальных уравнений (СДУ). Была построена новая математическая модель ОРВИ в мегаполисе. Получены оценки скорости сходимости оптимизационных методов для решения вариационных неравенств и выполнена апробация разработанных алгоритмов.

РНФ № 19-11-00154 "Создание принципиально новых математических моделей акустической томографии в медицине. Численные методы, высокопроизводительные вычисления и комплексы программ".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

Реализована двумерная математическая модель акустического томографа, записанная в виде законов сохранения на высокопроизводительной рабочей станции. Проведен сравнительный анализ производительности и масштабируемости процессоров Intel Broadwell и Skylake. Разработан и реализован на суперЭВМ численный метод решения двумерной коэффициентной обратной задачи восстановления плотности и скорости распространения волн для гиперболической системы акустики. Разработана и численно реализована математическая модель диаграмм направленности для увеличения разрешающей способности акустической томографии в двумерном случае на основе решения задачи управления. Получены теоремы единственности и условной устойчивости линеаризованных и коэффициентных обратных задач акустики.

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

Программа Президиума РАН, проект 0315-2015-0015 "Идентификация математических моделей акустики, электродинамики и теории упругости".

Подпроект "Разработка численных методов идентификации математических моделей акустики".

Руководитель – д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Задачи продолжения решений с части границы уравнений математической физики актуальны в таких приложениях, как геофизика, морская акустика, томография. Решение задач продолжения позволяет локализовывать неоднородности, недоступные для наблюдения.

Микросейсмический мониторинг является инновационной технологией контроля гидроразрыва пласта (ГРП). Микросейсмика позволяет определять геометрию ГРП на достаточно больших расстояниях от места наблюдения (в скважинах или на поверхности), а также получать диагностические 3D изображения в процессе образования и развития разрыва.

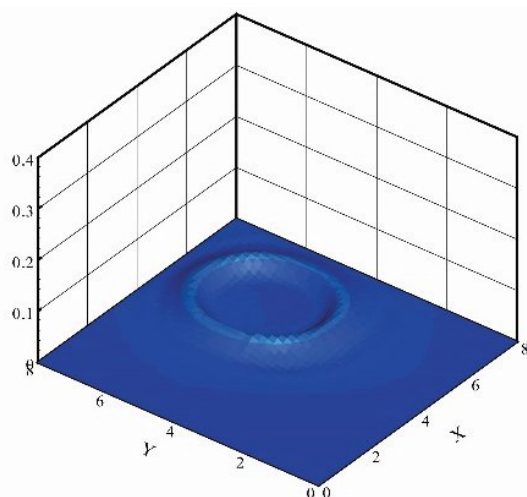


Рис. 5: Решение обратной задачи по информации с одного приемника

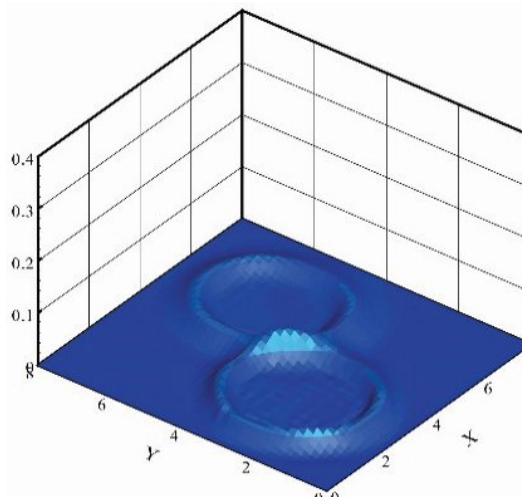


Рис. 6: Решение обратной задачи по информации с двух приемников

Суть микросейсмического мониторинга заключается в регистрации сейсмозмиссионных процессов, сопровождающих образование трещинной зоны ГРП. Технология позволяет получать данные для оперативной коррекции дизайна ГРП, минимизировать риски и оптимизировать увеличение отбора углеводородов при вовлечении в разработку трудноизвлекаемых запасов.

Обратная задача микросейсмического мониторинга формулируется в виде обратной задачи поиска зависящей от времени и пространственных переменных правой части трехмерного гиперболического уравнения по данным сейсмических датчиков, расположенных как на поверхности, так и внутри скважин. После дискретизации обратная задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений очень большой размерности. В случае двумерной акустики показано, что применение малоранговой аппроксимации с помощью тензорного разложения позволяет увеличить размер сетки на порядок по каждой переменной и уменьшить требование к памяти в несколько раз, сократив время расчетов на порядок.

Программа Президиума РАН, проект 0315-2015-0012 "Обратные задачи математической физики и их приложения".

Подпроект "Обратные задачи геофизики".

Руководитель – д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Исследована задача продолжения решения с части границы для уравнения теплопроводности, в которой неизвестная температура объекта должна быть найдена на основе наблюдений – измерения температуры на доступной части границы. Задача продолжения уравнения теплопроводности некорректна (задача Коши для параболического уравнения). В тепловом процессе для измерения доступна как температура на части границы, так и поток тепла. Однако невозможно измерить эти функции на остальной части границы. Тем не менее, требуется вычислить температуры или поток тепла на недоступной для наблюдения части границы.

Задача продолжения сведена к обратной задаче, в которой неизвестные начальные данные и граничные условия на недоступной части границы должны быть найдены на основе известных измерений температуры и потока тепла. Следовательно, проблема может быть классифицирована как граничная обратная задача.

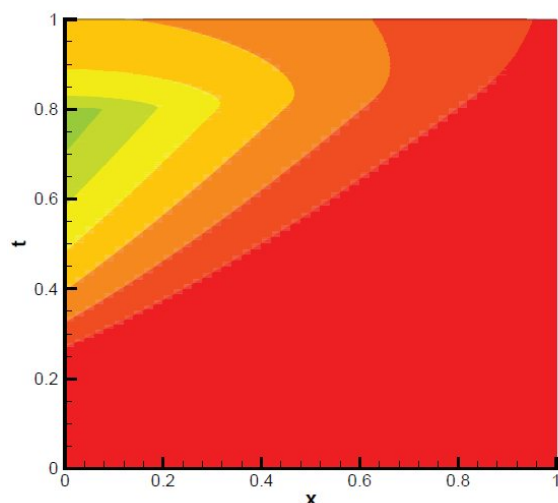


Рис. 6: Точное решение

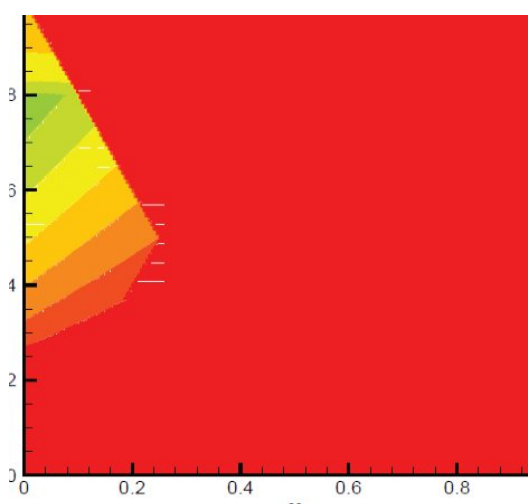


Рис. 7: Решение задачи продолжения без регуляризации на точных данных

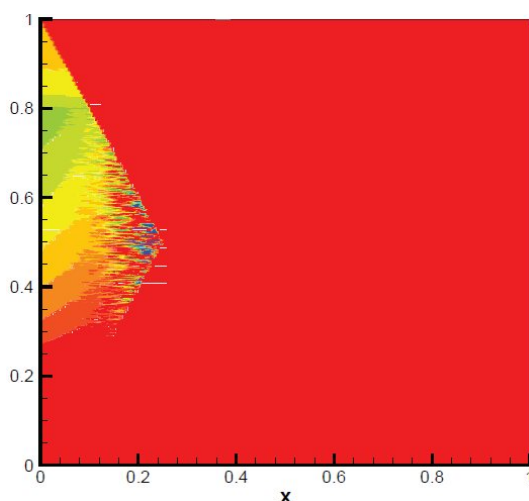


Рис. 8: Решение задачи продолжения без регуляризации на зашумленных данных с шумом 1 %

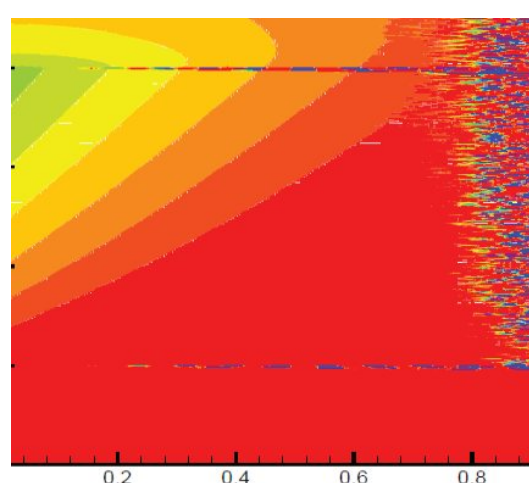


Рис. 9: Решение задачи продолжения с регуляризацией на зашумленных данных с шумом 1 %

Для решения задачи применены градиентный метод, метод обращения разностной схемы, метод сингулярного разложения. Показано, что градиентный метод регуляризации дает решение, устойчивое к зашумленным входным данным.

Доказана новая теорема единственности на основе более тонких оценок, чем карлемановские.

Реализован численный алгоритм определения потока тепла на недоступной части границы для стационарного теплового поля на основе метода минимизации целевого функционала.

Определено понятие относительно слабого решения задачи Коши для эллиптических уравнений. Задача Коши регуляризуется корректной нелокальной граничной обратной задачей, решение которой также понимается в относительно слабом смысле. Разработан устойчивый алгоритм решения на основе метода конечных разностей для решения нелокальной краевой задачи с последующей регуляризацией задачи Коши. Приведены результаты численных расчетов, которые демонстрируют эффективность разработанного метода.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу Web of Science

1. Krivorotko, O., Kabanikhin, S., Zvonareva, T., Zyatkov, N. Numerical solution of the inverse problem for diffusion-logistic model arising in online social networks // Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач : труды 11-й Междунар. молодежной науч. школы-конф., Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.
2. Belonosov, A., Shishlenin, M., Klyuchinskiy, D. A comparative analysis of numerical methods of solving the continuation problem for 1D parabolic equation with the data given on the part of the boundary // Adv. in Comput. Math. 2019. 45 (2). P. 735–755. DOI: 10.1007/s10444-018-9631-7.
3. Lukyanenko, D. V., Grigorev, V. B., Volkov, V. T., Shishlenin, M. A. Solving of the coefficient inverse problem for a nonlinear singularly perturbed two-dimensional reaction – diffusion equation with the location of moving front data // Comput. and Math. with Appl. 2019. 77 (5). P. 1245–1254. DOI: 10.1016/j.camwa.2018.11.005.
4. Isakov, V. M., Kabanikhin, S. I., Shananin, A. A., Shishlenin, M. A., Zhang, S. Algorithm for determining the volatility function in the Black – Scholes model // Comput. Math. and Math. Phys. 2019. 59 (10). P. 1753–1758. DOI: 10.1134/S0965542519100099.
5. Kabanikhin, S. I., Shishlenin, M. A. Theory and numerical methods for solving inverse and ill-posed problems // J. of Inverse and Ill-Posed Probl. 2019. Vol. 27, iss. 3. P. 453–456. DOI: 10.1515/jiip-2019-5001.
6. Lukyanenko, D. V., Shishlenin, M. A., Volkov, V. T. Asymptotic analysis of solving an inverse boundary value problem for a nonlinear singularly perturbed time-periodic reaction-diffusion-advection equation // J. of Inverse and Ill-Posed Probl. 2019. Vol. 27, iss. 5. P. 745–758. DOI: 10.1515/jiip-2017-0074.

Издания, включенные в реферативную базу Scopus

1. Shishlenin, M. A., Kasenov, S. E., Askerbekova, Z. A. Numerical algorithm for solving the inverse problem for the Helmholtz equation // Commun. in Comp. and Inform. Sci. 2019. Vol. 998. P. 197–207. DOI: 10.1007/978-3-030-12203-4_20.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

1. Свидетельство № 2019661851. Программа для ЭВМ "Анализ идентифицируемости математических моделей иммунологии и эпидемиологии" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Д. Андорная, О. И. Криворотько, С. И. Кабанихин. Дата приоритета 28 авг. 2019 г.
2. Свидетельство № 2019613323. Программа для ЭВМ "Программа определения параметров действующего месторождения по термодинамическим измерениям с помощью стандартного оборудования" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / М. А. Шишленин, С. И. Кабанихин, А. Ю. Приходько.
3. Свидетельство № 2019617485. Программа для ЭВМ "Программа определения сейсмических параметров горизонтально-слоистой среды по результатам поверхностных измерений" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / С. И. Кабанихин, М. А. Шишленин, Н. С. Новиков. Дата приоритета 10 апр. 2019 г.
4. Свидетельство № 2019617484. Программа для ЭВМ "Программа определения потенциала волнового уравнения, зависящего от двух пространственных переменных, на основе подхода И. М. Гельфанда – Б. М. Левитана – М. Г. Крейна : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / С. И. Кабанихин, М. А. Шишленин, Н. С. Новиков. Дата приоритета 10 апр. 2019 г.

5. Свидетельство № 2019615590. Программа для ЭВМ "Вычислительная технология определения дебита, обводненности и газового фактора действующей скважины по термодинамическим измерениям с помощью стандартного оборудования" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Кабанихин, С. И., Шишленин, М. А., Приходько, А. Ю. Дата регистрации 30 апр. 2019 г.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 23–24 апреля 2019 г. – 1 пленарный доклад (Криворотько О. И.).

2. Международная конференция "Аналитические и численные методы решения задач гидродинамики, математической физики и биологии", посвященная 100-летию К. И. Бабенко, Пущино (Московская обл.), 26–29 августа 2019 г. – 2 доклада (Криворотько О. И.).

3. 11-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г. – 7 докладов, из них 3 пленарных (Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Шишленин М. А.).

4. The 5th International symposium on inverse problem, design and optimization, Tianjin (China), September 24–26, 2019 – 3 доклада (Криворотько О. И.).

5. The Week of applied mathematics and mathematical modelling, Владивосток, 7–11 октября 2019 г. – 5 докладов (Криворотько О. И., Новиков Н. С., Шишленин М. А.).

6. International conference "Quasilinear equations, inverse problems and their applications", Dolgoprudny, December 2–4, 2019. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Кабанихин С. И., Криворотько О. И.).

7. The 5th International workshop computational inverse problems and applications, July 25–29, Longyan (China) – 1 доклад (Шишленин М. А.).

8. Международная конференция в честь 90-летия акад. РАН С. К. Годунова "Математика в приложениях", Новосибирск, 4–9 августа 2019 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

9. International conference "Advanced mathematics, computations and applications", Novosibirsk, July 1–5, 2019 – 4 доклада, из них 1 пленарный (Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Новиков Н. С., Шишленин М. А.).

10. Международная научная конференция "Современные проблемы математики и механики", посвященная 80-летию акад. РАН В. А. Садовниченко, Москва, 13–15 мая 2019 г. – 2 доклада (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

11. Международная научная конференция "Современные проблемы вычислительной математики и математической физики", Москва, 18–20 июня 2019 г. – 2 доклада (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

12. Международная конференция "Забабахинские научные чтения", Снежинск, 18–22 марта 2019 г. – 1 доклад (Шишленин М. А.).

13. Международная конференция "Eurasian conference on applied mathematics", Новосибирск, 26–29 августа 2019 г. – 3 пленарных доклада (Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Шишленин М. А.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Кабанихин С. И.:

– сопредседатель программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

– член программного комитета Международной конференции "Quasilinear equations, inverse problems and their applications", Долгопрудный, 2–4 декабря 2019 г.,

– председатель программного и организационного комитетов 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,

– председатель программного комитета, заместитель председателя организационного комитета Международной конференции "Eurasian conference on applied mathematics", Новосибирск, 26–29 августа 2019 г.;

2. Криворотько О. И. – заместитель председателя организационного комитета, член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.;

3. Новиков Н. С.:

– член организационного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,

– член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

– член организационного комитета Международной конференции "Eurasian conference on applied mathematics", Новосибирск, 26–29 августа 2019 г.;

4. Шишленин М. А.

– заместитель председателя организационного комитета, член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.,

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

– председатель организационного комитета, заместитель председателя программного комитета Международной конференции "Eurasian conference on applied mathematics", Новосибирск, Академгородок, 26-29 августа 2019.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 6

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 6

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 6

Свидетельств о регистрации программ в Роспатенте – 5

Докладов на конференциях – 40, в том числе 10 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 11

Кадровый состав

1. Шишленин М. А.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Кабанихин С. И.	г.н.с.	д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН
3. Криворотько О. И.	н.с.	к.ф.-м.н.
4. Новиков Н. С.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
5. Маринин И. В.	ведущ. программист	
6. Юдина О. А.	ведущ. инженер	
7. Ануфриенко Е. А.	инженер	
8. Приходько А. Ю.	техник	

Криворотько О. И., Новиков Н. С. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Кабанихин С. И. – профессор, заведующий кафедрой ММФ НГУ

Криворотько О. И. – ст. преподаватель НГУ

Новиков Н. С. – ст. преподаватель НГУ, ст. преп. СУНЦ НГУ

Шишленин М. А. – доцент НГУ

Руководство студентами

1. Звонарева Т. А. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

2. Ануфриенко Е. А. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.

3. Лю Шуан – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

4. Федяева С. С. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

5. Жаркова Е. И. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

6. Корченко Г. С. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

7. Сосновская М. И. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

8. Неверов А. В. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

9. Нестерова А. В. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

10. Прохошин Н. М. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Кабанихин С. И.

11. Приходько А. Ю. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Шишленин М. А.

Руководство аспирантами

1. Андорная Д. В. – 3-й год НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.

2. Кондакова Е. А. – 1-й год, НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.

Защита дипломов

1. Каштанова В. Н. – магистр ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.

2. Кондакова Е. А. – магистр ММФ НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.

3. Ли Цзюй – магистр ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

4. Звонарева Т. А. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

5. Скидина Е. С. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Кабанихин С. И.

6. Титова К. Ю. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Криворотько О. И.

7. Приходько А. Ю. – бакалавр ММФ НГУ, руководитель Шишленин М. А.

Защита диссертации

Новиков Н. С., "Численные алгоритмы решения уравнения Гельфанда – Левитана – Крейна", на соискание ученой степени канд. физ.-ма. наук по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика, 15 мая 2019 г.

Награды

Кабанихин С. И. – медаль Ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени.

Лаборатория математического моделирования волн цунами

Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Важнейшие достижения

Реализация нового быстрого метода расчета распространения цунами на ПК с использованием FPGA плат

Д.ф.-м.н. Марчук Ан. Г.

Реализован численный метод расчета распространения волн цунами в рамках нелинейной модели мелкой воды с применением вентильной матрицы, программируемой пользователем (FPGA). Суть подхода заключается в многократном ускорении вычислений при расчете динамики волны по разностной схеме Мак-Кормака при большой интенсивности потоков данных за счет использования специализированной платы. Адаптация алгоритма к FPGA осуществлена в сотрудничестве с ИАЭ СО РАН. Использование такой вычислительной архитектуры позволило достичь ускорения расчетов более чем в 200 раз по сравнению с моделированием на том же ПК без FPGA платы. При использовании такого подхода численное моделирование распространения цунами на участке океана с реальным рельефом дна (пример расчета для Камчатского побережья приведен на рис. 1) занимает несколько десятков секунд, что дает возможность оценивать ожидаемую высоту цунами у берега до ее прихода туда.

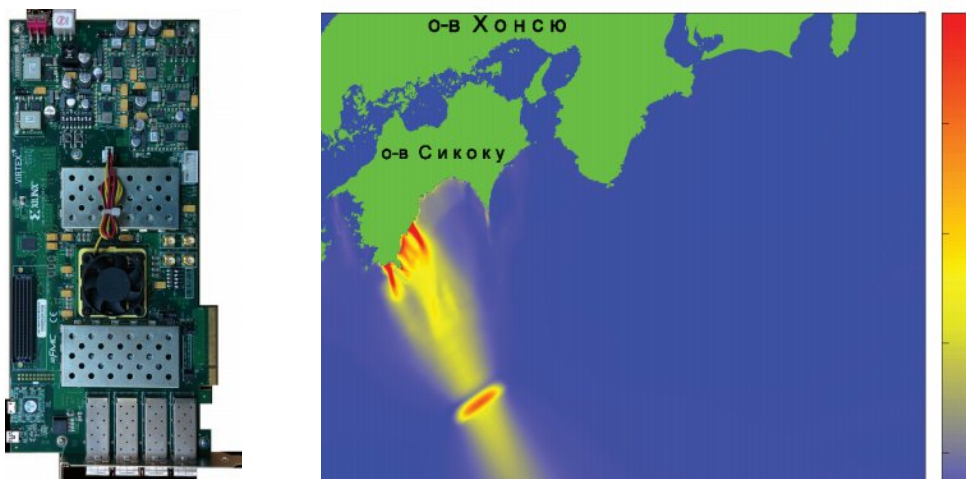


Рис. 1: Распределение максимумов высоты цунами от вытянутого модельного источника длиной 500 км в сегменте расчетной области у берегов Камчатки, рассчитанное по схеме Мак-Кормака с применением FPGA платы. Максимальная высота начального смещения водной поверхности в эллипсовидном очаге составляла +2 м

Результаты исследований опубликованы в работе

Lavrentiev, M., Lysakov, K., Marchuk, An., Oblaukhov, K., Shadrin, M. Fast evaluation of tsunami waves heights around Kamchatka and Kuril Islands // Sci. of Tsunami Hazards. 2019. Vol. 38, No 1. P. 1–13.

**Отчет по этапам НИР, завершённым в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей с помощью суперкомпьютеров".

Номер государственной регистрации НИР 03.15-2016-0005.

Руководитель – д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Решена задача восстановления первоначальной формы волны цунами по записям колебаний уровня морской поверхности, обусловленных пришедшей волной в серии удаленных приемников для Чилийского цунами 16.09.2015. Качество восстановления оценивается по совпадению наблюдаемых и рассчитанных мареограмм. Предложенный алгоритм основан на методе наименьших квадратов и методе г-решений, который состоит в усечении сингулярного разложения компактного оператора на подпространство, являющееся линейной оболочкой r первых правых сингулярных векторов оператора прямой задачи. Исследовано влияние этого усечения на появление артефактов в решении. Изучено поле правых сингулярных векторов для рассматриваемого реального события. Получены оптимальные значения количества пространственных гармоник, используемых для представления неизвестной функции источника. В рамках реализуемого подхода предложен алгоритм оценки действительности глубоководной системы наблюдения для восстановления формы источника цунами и создания ее более эффективного проекта. Показано, что одновременно с восстановлением источника цунами можно получить высоты смещения морской поверхности в пунктах, где наблюдения отсутствуют, при условии учета их в расчете матрицы оператора прямой задачи. Проведено сравнение восстановленного источника Чилийского цунами 16 сентября 2015 г. с результатами расчета источника этого цунами на основе сейсмических данных о деформации дна.

Продолжалась работа по поддержке и пополнению наблюдательных каталогов, входящих в состав Веб-энциклопедии природных катастроф, поддерживаемой лабораторией ММВЦ. В настоящее время в нее входят каталоги цунами, сильных землетрясений, вулканических извержений, опасных атмосферных явлений и импактных структур Земли. В качестве примера таких данных на рис. 2 приведена глобальная карта импактных структур (метеоритных и астероидных кратеров) различной степени достоверности, содержащихся в базе данных EDEIS (Expert Database on Earth Impact Structures).

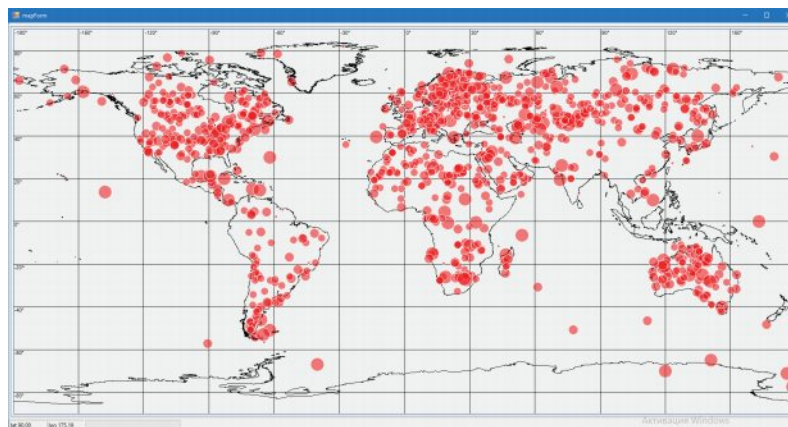


Рис. 2: Карта импактных структур Земли, включенных в базу данных EDEIS. Показано положение 1177 кратеров разной степени достоверности

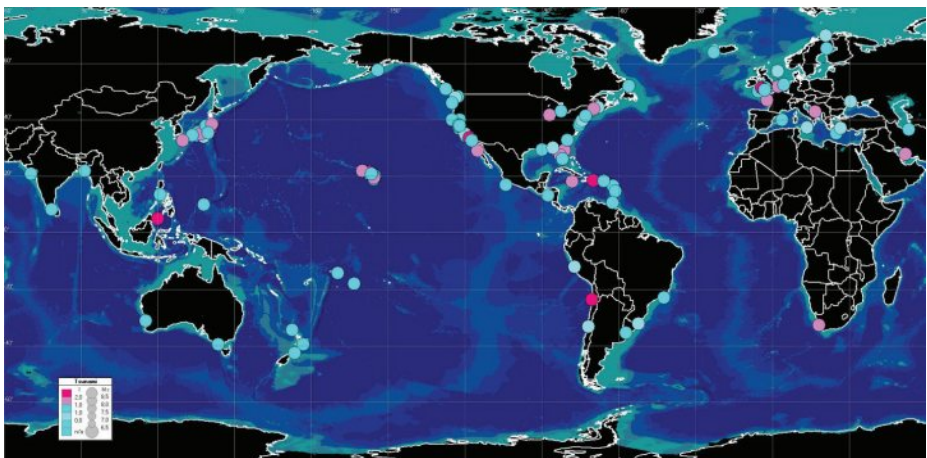


Рис. 3: Карта очагов цунами метеорологического происхождения, наблюдавшихся в Мировом океане, данные о которых внесены в Глобальную базу данных. Цветом показана интенсивность цунами по шкале Соловьева – Имамуры

На основе анализа содержания поддерживаемой в лаборатории ММВЦ глобальной базы данных наблюдений цунами за инструментальный период наблюдений (1900–2019 гг.) получены оценки распределения цунамигенных событий по типам источников (сейсмогенные, вулканогенные, обвальные, метеорологические). Показано, что имеются обширные районы побережья Мирового океана, где основную опасность представляют, например, метеорологические цунами, прогнозы которых не обеспечиваются существующими системами предупреждения о цунами (рис. 3).

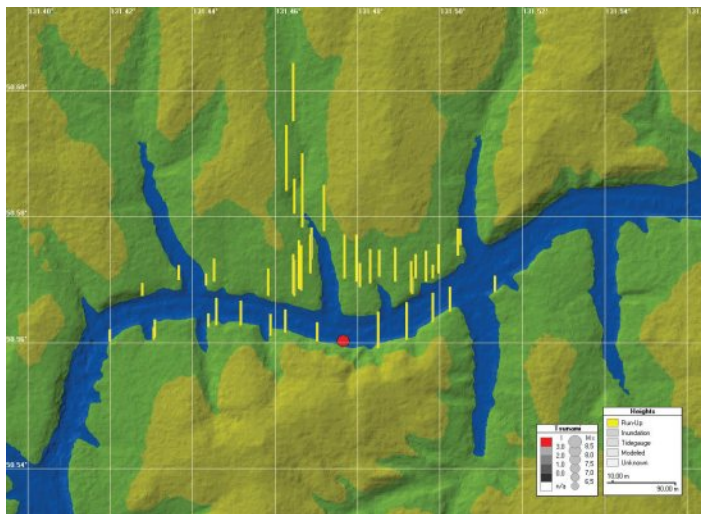


Рис. 4: Визуализация измеренных высот цунами-подобной волны в Бурейском водохранилище в графической оболочке PDM/TSU

зависит от геометрии очага. Результаты подтверждены численными расчетами и отражены в статье, опубликованной в "СибЖВМ".

Разработаны фрагменты теории шкал измерений применительно к опасным природным процессам, в частности для моделирования генерации волн цунами и береговых последствий их прихода – циклические и многозначные шкалы.

Проведено экспедиционное обследование последствий масштабного оползня, происшедшего 11 декабря 2018 г. в средней части Бурейского водохранилища, который породил цунамиподобную волну с высотами заплеска до 90 м. Инструментально измерено и введено в базу данных около 50 высот этого цунами (рис. 4).

Проведено исследование распространения волны цунами в случае, когда глубина океана меняется обратно пропорционально корню квадратному из расстояния до очага. Получены точные решения соответствующего уравнения эйконала, из которых следует, что волна цунами концентрируется внутри угла, величина которого

Публикации

Монографии

Марчук, Ан. Г. Методы расчета прямых и обратных задач кинематики цунами. Новосибирск: СО РАН; Наука, 2019. 171 с. ISBN 978–5–6042857–9–4; ISBN 978–5–02–038800–0. DOI 10.7868/978–5–02–038800–0.

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Gusiakov, V. K., Dunbar, P., Arcos, N. Twenty five years (1992–2016) of global tsunamis: statistical and analytical overview // Pure and Appl. Geophys. Topical Iss. "Twenty five years of modern tsunami science". 2019. Vol. 176(7). P. 2795–2807. DOI: 10.1007/s00024-019-02113-7.

2. Шокин, Ю. И., Гусяков, В. К., Кихтенко, В. А., Чубаров, Л. Б. Методика построения карт цунамиопасности и ее реализация для Дальневосточного побережья Российской Федерации // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489, № 4. С. 419–423.

3. Гусяков, В. К., Кихтенко, В. А., Чубаров, Л. Б., Шокин, Ю. И. Построение обзорных карт цунамирайонирования Дальневосточного побережья РФ в рамках методики РТНА // Выч. технол. 2019. № 1. С. 55–72. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.1.005.

4. Voronina, T. A., Voronin, V. V., Cheverda, V.A. The 2015 Illapel tsunami source recovery by inversion of DART tsunami waveforms using the r-solution method // Pure and Appl. Geophys., Topical Iss. "Twenty five years of modern tsunami science". 2019. Vol. 176(7). P. 2985–2993. DOI: 10.1007/s00024-019-02100-y.

5. Kuzakov, D., Lavrentiev, M., Marchuk, An. Localization of the tsunami source area for effective warning with the given sensor position // Proc. OCEANS'19 MTS/IEEE, Marseille (France), June 17–21, 2019. DOI: 10.1109/OCEANSE.2019.8867532.

6. Lavrentiev, M., Lysakov, K., Marchuk, An., Oblaukhov, K., Shadrin, M. Dependence of nearshore tsunami heights maxima on the source shape // Proc. OCEANS'19 MTS/IEEE, Marseille (France), June 17–21, 2019. DOI: 10.1109/OCEANSE.2019. 8867113.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Voronina, T. A., Loskutov, A.V. Numerical modeling of the 2015 Illapel Tsunami source by the inversion of DART buoys data 2019 // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019. 324, 012015. [Electron. resource]. <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/324/1>. DOI:10.1088/1755-1315/324/1/012015.

2. Lavrentiev, M., Lysakov, K., Marchuk, An., Oblaukhov, K., Shadrin, M. Fast evaluation of tsunami waves heights around Kamchatka and Kuril Islands // Science of Tsunami Hazards. 2019. Vol. 38, No 1. P. 1–13.

3. Kuzakov, D., Lavrentiev, M., Marchuk, An. Reconstruction of tsunami source by a part of wave time series before the first maximum // J. of Phys.: Conf. ser. 2019. Vol. 1268 / 012042. P. 1–9. DOI: 10.1088/1742-6596/1268/1/012042.

4. Lavrentiev, M., Lysakov, K., Marchuk, An., Oblaukhov, K., Shadrin, M. Dependence of tsunami wave maximal heights along a coastline on the source location // J. of Phys.: Conf. ser. 2019. 1268 / 012041. P 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/1268/1/012041.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Voronina, T. A. Determination of the optimal inversion parameters in recovering the 2015 Illapel ChileTsunami source by the r-solution method [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser. Math. Model. in Geophys. 2019. Vol. 21. P. 69–78.

2. Marchuk, An. G. Numerical modeling of the long wave passing above the submerged barrier [Electron. resource] // Bull. NCC. Ser. Math. Model. in Geophys. 2019. Vol. 21. P. 43–53.

Научно-популярные статьи

1. Гусяков, В.К. Оползень и ледяное цунами на Бурее: редкий природный феномен или первый тревожный звонок? // Наука в Сибири. 2019. № 15. С. 6–7.
2. Идеальное наводнение // Коммерсантъ – Наука. 2019, август.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Проблемы тектоники континентов и океанов, Москва, 29 января – 2 февраля 2019 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).
2. The 1st World conference on meteotsunamis split, Croatia, May 8–11, 2019 – 1 доклад (Гусяков В. К.).
3. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 4 доклада (Гусяков В. К., Марчук Ан. Г., Воронина Т. А.).
4. 19-я Всероссийская конференция "Геодинамика, геомеханика и геофизика", Новосибирск; стационар "Денисова пещера" (Алтайский край), 22–28 июля 2019 г. – 1 пленарный доклад (Гусяков В. К.).
5. 25-я Всероссийская школа-семинар с международным участием по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород, Москва; пос. Борок (Ярославская обл.), 25–29 сентября 2019 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).
6. 20-я Международная конференция "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле", Москва; Борок, 23–29 сентября 2019 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).
7. 23-я Международная научная конференция (школа) по морской геологии, Москва, 18–22 ноября 2019 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).
8. General assembly 2019 of the European Geosciences Union, Vienna (Austria), April 7–12, 2019 – 1 доклад (Воронина Т. А.).
9. Международная конф. "Geodynamical processes and natural hazards", Yuzhno-Sakhalinsk, May 27–31, 2019 – 1 доклад (Воронина Т. А., Лоскутов А. В.).
10. Всероссийская конференция и школа молодых ученых, посвященные 100-летию акад. Л. В. Овсянникова "Математические проблемы механики сплошных сред", Новосибирск, 13–17 мая 2019 г. – 3 доклада (Марчук Ан. Г.).
11. International conference OCEANS'19 MTS/IEEE, Marseille (France), June 17–21, 2019 – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).
12. 27th IUGG General Assembly 2019, Montreal (Canada), July 8–18, 2019 – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).
13. Международная конференция в честь 90-летия акад. С. К. Годунова "Математика в приложениях", Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).

Итоговые данные по лаборатории

Монография – 1

Публикации, индексируемые в базе данных Web of Science – 6

Публикации, индексируемые в базе данных Scopus – 4

Публикации, индексируемые в базе данных РИНЦ – 12

Докладов на конференциях 18, в том числе 1 пленарный

Кадровый состав лаборатории

1. Гусяков В. К.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Марчук Ан. Г.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Воронина Т. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
4. Амелин И. И.	н.с.	к.ф.-м.н.
5. Сергеев В. А.	м.н.с. 0.5 ст.	
6. Москаленский Е. Д.	м.н.с. 0.5 ст.	
7. Лысковская Е. В.	инженер 1-й кат.	
8. Калашникова Т. В.	ведущ. инженер	
9. Ляпидевская З. А.	ведущ. программист, 0.5 ст.	
10. Зиновьев П. С.	инженер 1-й кат.	
Зиновьев П. С. – молодой сотрудник		

Педагогическая деятельность

Воронина Т. А. – преподаватель СУНЦ НГУ

Руководство студентами

Патрушев В. А. – бакалавр НГУ, руководитель Марчук Ан. Г.

Лаборатория геофизической информатики

Зав. лабораторией д.т.н. Ковалевский В. В.

Важнейшие достижения

Численное моделирование распространения сейсмоакустических волн в системе "атмосфера – лесной покров – грунт" в интересах экологоохранных задач

К.т.н. Шиманская Г. М., к.ф.-м.н. Караваев Д. А., д.т.н. Хайретдинов М. С.

В связи с проблемой экологоохранной защиты социальной инфраструктуры города в зонах повышенных транспортных и производственных акустических и сейсмических шумов решена задача понижения шумоопасности на инфранизких частотах, представляющих наибольшую угрозу для человека. Оценены численные характеристики шумоопасности на основе решения задачи взаимодействия акустических колебаний с окружающей средой, представленной трехслойной моделью "атмосфера – лес – грунт" (рис. 1). Разработаны и реализованы алгоритм и программа расчета уровней акустических колебаний с учетом их углов падений на лесную среду, частотного содержания и высотного положения источника. Получены и представлены теоретические результаты модельных расчетов в виде двухмерных снимков поля акустических волн.

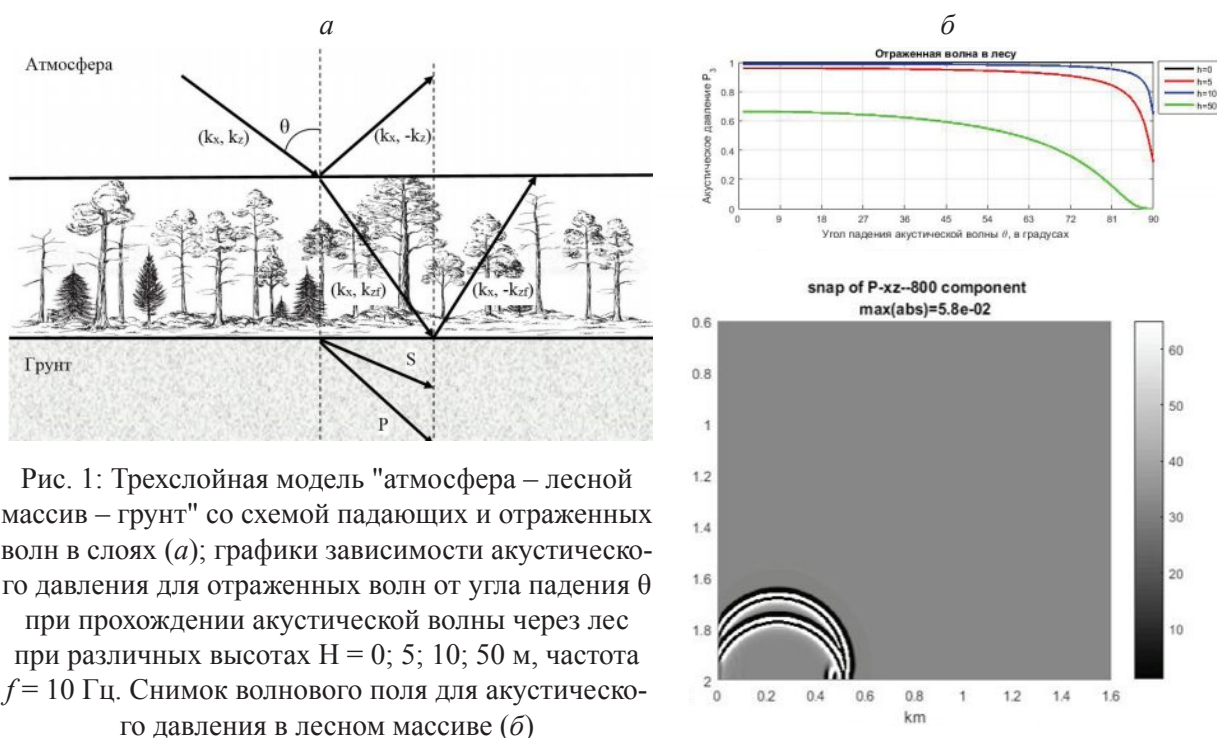


Рис. 1: Трехслойная модель "атмосфера – лесной массив – грунт" со схемой падающих и отраженных волн в слоях (а); графики зависимости акустического давления для отраженных волн от угла падения θ при прохождении акустической волны через лес при различных высотах $H = 0; 5; 10; 50$ м, частота $f = 10$ Гц. Снимок волнового поля для акустического давления в лесном массиве (б)

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Voskoboinikova, G. M., Karavaev, D. A., Khairtdinov, M. S. Numerical simulation of acoustic waves propagation in an "Atmosphere – Forestland – Ground" system // J. of Appl. and Indust. Math. 2019. Vol. 13, iss. 1. P. 175–183. DOI: 10.1134/S1990478919010186.

2. Воскобойникова, Г. М., Караваев, Д. А., Хайретдинов, М. С. Численное моделирование распространения акустических волн в системе "атмосфера – лесной массив – грунт" // СибЖИМ. 2019. Т. 22, № 1 (77). С. 24–33.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Математическое моделирование, численные методы и высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии для решения задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования Земли".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0003.

Руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Раздел 1. Математическое моделирование и проведение экспериментальных работ по мониторингу Южнобайкальского региона с целью верификации моделей строения земной коры в южной зоне Байкальского рифта. Обработка данных мониторинга с целью выявления малых вариаций скоростей сейсмических волн. Поиск и изучение информативных природных факторов, определяющих распространение и взаимодействие сопряженных геофизических полей в проблеме предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Разработка многофакторной модели взаимодействия полей. Полное формальное описание результатов концептуального моделирования предметной области. Организация функционирования и наполнение портала знаний ПО "Активная сейсмология", обеспечивающего интеграцию знаний и удобную навигацию как внутри НИС, так и во всей сети Интернет.

Этап 2019 г.

Разработан параллельный алгоритм математического моделирования полного вибро-сейсмического поля для реалистичной скоростной модели земной коры в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ). В основе алгоритма для проведения численных экспериментов использован конечно-разностный метод. Параллельная реализация ориентирована на высокопроизводительные вычислительные SMP и MPP архитектуры на основе CPU и Xeon Phi. Распараллеливание проведено на основе декомпозиции по данным с применением технологий MPI и OpenMP. Вся двумерная область моделирования, имеющая форму прямоугольника, делится на слои примерно одинакового по количеству узлов сетки объема, вдоль координаты Oz с перекрытием. Под перекрытием понимается одномерный слой точек, необходимый для проведения обменов информацией между соседними подобластями. Такая декомпозиция и обмены реализованы посредством MPI и неблокированных функций передачи сообщений MPI_Isend и MPI_Irecv. Каждый из слоев рассматривается как отдельная вычислительная подобласть и рассчитывается на выделенном узле. Распараллеливание вычислений для каждого MPI процесса для каждой из подобластей проводится посредством OpenMP. Число OpenMP потоков выбиралось равным количеству вычислительных ядер на одном узле кластера. С использованием разработанной программы проведены расчеты на тестовых моделях упругих неоднородных изотропных сред на многоядерных вычислительных архитектурах.

Создан структурированный архив вибрационных сейсмограмм, зарегистрированных в ближней зоне вибратора виброисточника ЦВО-100 (Южно-Байкальский вибросейсмический полигон), на с/с Тырган, Хурамша в период 2003–20019 гг. Проведена предварительная обработка и валидация данных, созданы структурированные архивы корреляционных сейсмограмм. Разработаны и включены в состав программного комплекса V12 процедуры для фазового анализа сейсмических сигналов методом преобразования Гильберта. Обработаны данные, полученные в ходе вибросейсмического мониторинга Байкальской рифтовой зоны

с использованием виброисточника ЦВО-100. Всего было обработано 180 трехкомпонентных вибрационных сейсмограмм, зарегистрированных сеймостанцией Тырган (TIG) за период с 2003 по 2014 г. Выявлены вариации мгновенной фазы отдельных вступлений в пределах нескольких градусов.

В интересах проблемы экологоохранной защиты социальной инфраструктуры города в зонах повышенных транспортных и производственных акустических и сейсмических шумов решена задача понижения шумоопасности на инфранизких частотах, представляющих наибольшую угрозу для человека. Оценены численные характеристики шумоопасности на основе решения задачи взаимодействия акустических колебаний с окружающей средой, представленной трехслойной моделью "атмосфера – лес – грунт". Разработаны и реализованы алгоритм и программа расчета уровней акустических колебаний с учетом углов падения волнового фронта на лесной покров с заданной высотностью и частотного содержания зондирующих колебаний. Получены графики зависимости акустического давления по отношению к преломленным и отраженным волнам при прохождении акустической волны через лесную среду. Получены и представлены теоретические результаты модельных расчетов распространения волновых полей через лесное препятствие в виде набора двухмерных снимков, отражающих характеристики акустических волн во времени.

В экспериментальном плане проведения работ по проблеме выполнены сейсмоакустические записи и анализ транспортных шумов вибрационной природы, включая шумы от железнодорожного транспорта и большегрузной автомобильной техники. Выделены особенности спектрального состава шумов, их связи с расстоянием и временем. Дальнейшее развитие работ связано с решением задач интегрального воздействия транспортных шумов на окружающую среду как результата взаимодействия различных природных факторов, включая метеопараметры, характеристики земного покрова, сезонного состояния верхней части разреза земли и атмосферы.

Продолжены работы по онтологическому инжинирингу предметной области "Активная сейсмология". Были модифицированы две базовые онтологии – онтология научной деятельности и онтология научного знания. Были выделены формализованные понятия, связанные с геофизическими исследованиями грязевых вулканов. С целью ускорения процесса разработки, а также для повышения эффективности запросов, онтологии разрабатывались с применением онтологических паттернов содержания (Content ontology Design Pattern CDP). Паттерны представляют собой небольшие целостные фрагменты онтологии, формализующие обобщенные ситуации предметной области.

На основе онтологии проведена модернизация интеллектуального научного интернет-ресурса (ИНИР), в соответствии с которой ИНИР представляет собой доступную через Интернет информационную систему, обеспечивающую систематизацию и интеграцию научных знаний и информационных ресурсов по активной сейсмологии, а также содержательный эффективный доступ к ним (адрес: <http://opg.sgcc.ru/>).

Специальные функции имеют фундаментальное значение в математической физике. Однако в настоящее время не существует единого метода вычисления цилиндрических функций. Получено новое устойчивое рекуррентное соотношение для цилиндрических функций. В итоге, с учетом классического рекуррентного соотношения, получен новый единый вычислительно устойчивый и эффективный метод получения значений цилиндрических функций для широкого диапазона значений их индексов и аргументов, в том числе и комплексных. Полученный новый единый метод вычисления цилиндрических функций открывает новые возможности для аналитического решения прикладных задач естествознания.

Простота алгоритма позволит исследователю при решении конкретной задачи самому создать программный код вычисления соответствующей цилиндрической функции.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 17-07-00872-а "Разработка и исследование методов повышения чувствительности инфранизкочастотной акустооптической технологии дальней регистрации акустических колебаний с применением прецизионных вибрационных источников и лазерных измерительных линий".

Руководитель проекта – д.т.н. Хайретдинов М. С.

Тема проекта относится к фундаментальной проблеме взаимодействия физических полей, имеющих различную природу. Задача проекта связана непосредственно с изучением процессов акустооптического взаимодействия на инфранизких частотах. Актуальность темы исследований, исключая фундаментальную компоненту, определяется необходимостью решения задач акустического обнаружения и локализации различных техногенных и природных объектов и событий с помощью лазерных измерительных линий наряду с использованием линий иной природы, например сейсмических и акустических. Новизна выполненных исследований и полученных по проекту результатов предопределена постановкой задачи исследований и методикой их проведения, в основе которой лежат методы зондирования атмосферы одновременно инфранизкочастотными акустическими колебаниями сейсмического вибратора ЦВ-40, отличающегося высокими метрологическими силовыми и фазо-частотными характеристиками, и оптическое лазерное зондирование с высокой чувствительностью к внешним волновым воздействиям. Выбранный тип инфранизкочастотного сейсмического вибратора с возмущающей силой 40 тс в диапазоне частот 5–12 Гц, обладающий способностью одновременно излучать сейсмические и акустические колебания, на сегодня не имеет аналогов в мире. Акустооптическое преобразование (АОП) относится к числу слабых взаимодействий. С учетом этого авторами был предложен и реализован метод синхронного накопления на основе алгоритма квадратурной обработки данных для обнаружения и измерения слабых вариаций амплитудно-фазо-частотных параметров оптических колебаний, обусловленных воздействием внешних акустических колебаний, на фоне влияния неоднородной атмосферы и солнечного излучения. Так, по результатам натурных экспериментов с использованием вибратора ЦВ-40 на удалении 930 м от него на частотах излучения 8–10 Гц в пределах длины луча 300 м измерено акустическое давление около 0.001 Па, чему соответствует смещение лазерного пучка порядка 10^{-6} – 10^{-7} м. Измерение таких величин смещений представляет собой техническую проблему. Решение ее достигается путем использования технологии синхронного накопления: высокоточные акустический источник, приемо-регистрирующая аппаратура и программное обеспечение для анализа акустооптических данных. Такая технология была предложена и успешно реализована авторами в рамках настоящего проекта. Одновременно с акустообусловленными вариациями смещений с высокой точностью оценены фазовые вариации характеристик АОП.

Наряду с указанными в рамках проекта были проанализированы другие подходы к повышению чувствительности АОП. Авторами в проведенных экспериментах доказано преимущество использования метода молекулярного рассеяния ультрафиолетовых импульсов лазерного излучения. Это связано с достижением объемного контроля над большим количеством молекул рассеивающей среды, пропорциональное $1/\lambda^4$ (релеевское рассеяние), при этом резко снижается уровень оптических помех от солнечного излучения при длине волны $\lambda < 0.29$ мкм благодаря защитному озоновому барьеру.

Следующий подход к повышению эффективности АОП связан с использованием синхронного метода лазерного излучения высокостабильных потоков импульсов, что позволяет определять изменение коэффициента преломления среды, коррелированное с акустической волной, на основе высокочувствительного фазового метода путем сравнения принятой частоты импульсов F_i с исходной частотой потока импульсов F_0 . В качестве другого метода повышения чувствительности к АОП была построена и испытана на базе обсерватории "Кайтанак" (респ. Горный Алтай) двухлучевая лазерная измерительная линия для изучения акустооптических взаимодействий на инфранизких частотах. Идея подхода состоит в том, что для акустических колебаний, волновой фронт которых перпендикулярен линиям световых лучей, огибающие импульсов накачки лазерного излучения на выходах обоих оптических приемников будут находиться в противофазе при расстоянии между лучами в полдлины акустической волны. Это соответствует дифференциальному методу измерений, при котором достигается более точное оценивание параметров акустического сигнала на фоне помех, вызванных атмосферными факторами. Экспериментально были оценены предельно достижимые дальности линии по критерию разрешающей способности оптической системы по углу с учетом выбранного типа фотоприемника и отражающих рефлекторов.

Показано, что созданная в рамках проекта виброакустооптическая система отличается высокой метрологичностью, оригинальностью, новизной, экологичностью, что определяет перспективу проведения и развития исследований по акустооптическим взаимодействиям на инфранизких частотах.

Работы по Проекту выполнены совместными усилиями сотрудников четырех организаций: Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Института лазерной физики СО РАН, Московского физико-технического Института, Новосибирского государственного технического университета. В соответствии с намеченным планом работы выполнены полностью.

Проект РФФИ № 18-47540006p_a "Разработка геоинформационной технологии оценивания экологических рисков техногенных шумов для социальной инфраструктуры города".

Руководитель проекта – д.т.н. Хайретдинов М. С.

В результате проведения экспериментальных исследований определены геоэкологические показатели шумов от различных типов транспорта; созданы методики оценивания геоэкологических рисков в связи с воздействием на социальную структуру города различных видов техногенных шумов в комплексе с внешними метеофакторами; получены результаты оценивания эффективности различных шумовых барьеров в проблеме шумоподавления в условиях города; сформированы базы записей типовых транспортных шумов.

В итоге разработаны предложения по предупреждению и снижению геоэкологических рисков техногенных шумов для социальной инфраструктуры города.

Проект РФФИ № 17-57-45166 ИНД_a "Подход к обработке данных регистрации вибросейсмических волн и теоретического исследования сейсмических волн".

Руководитель проекта – к.т.н. Знак В. И.

В 2019 г. завершались исследования, проводимые в рамках гранта 17-57-45166 ИНД_a "Подход к обработке данных регистрации вибросейсмических волн и теоретического исследования сейсмических волн". Опубликована работа Знак В. И., Santimoy Kundu, Fatyanov A. G. "Using the cluster analysis for the statistical study of vibro-seismic waves for a more accurate estimation of their arrival times" в журнале Advance Research Journal of Multi-Disciplinary Discoveries. 2019. Vol. 32.0, iss. I. P. 66–73.

В 2020 г. планируется подготовка обзора результатов, полученных в рамках исследований порядковых фильтров и кластерного анализа периодических сигналов.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Kovalevsky, V. V., Fatyanov, A. G., Karavaev, D. A., Braginskaya, L. P., Grigoryuk, A. P., Mordvinova, V. V., Tubanov, Ts. A., Bazarov, A. D. Research and verification of the Earth's crust velocity models by mathematical simulation and active seismology methods // *Geodynam. and Tectonophys.* 2019. Vol. 10, iss. 3. P. 569–583. DOI: 10.5800/GT-2019-10-3-0427.

2. Fatyanov, G., Burmin, V. Yu. Occurrence of precursors of PKP waves in the layered radial-symmetric Earth // *Dokl. Earth Sci.* 2019. Vol. 489, Pt. 1. P. 1313–1317. DOI: 10.1134/S1028334X19110011.

3. Kulikov, I., Chernykh, I., Karavaev, D., Protasov, V., Serenko, A., Prigarin, V., Ulyanichev I., Tutukov A. Using adaptive nested mesh code HydroBox3D for numerical simulation of type Ia Supernovae: Merger of carbon-oxygen white dwarf stars, collapse, and non-central explosion // *Proc. of the Ivannikov Isp Ras Open Conf., Moscow, Nov. 22–23, 2018.* P. 77–81. DOI: 10.1109/ISPRAS.2018.00018.

4. Romanov, E. L., Troshina, G. V., Yakimenko, A. A. Software engineering for industry specialists. // *Proc. of the 4th International technologies in engineering education, Moscow, Oct. 23–26, 2018.,* P. 222–225. ISBN 978-1-5386-5832-1. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581741.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Khairtdinov, M. S., Karavaev, D. A., Yakimenko, A. A., Morozov, A. Practical aspects the restoring of velocity models of elastic media in the problems of the monitoring of the zones the underground nuclear explosions // *Proc. of the 19th Intern. multidiscipl. sci. geoconference "SGEM 2019", Albena (Bulgaria), 28 June – 7 July, 2019.* V. 19, iss. 2.1. P. 1019–1026. DOI: 10.5593/sgem2019/2.1/S08.132.

2. Khairtdinov, M., Karavaev, D., Yakimenko, A., Morozov, A. Seismic simulation and reconstruction of models in problems of studying areas of underground nuclear explosions // *Proc. of the 19th Intern. multidiscipl. sci. geoconference "SGEM 2019", Albena (Bulgaria), 28 June – 7 July, 2019.* V. 19, iss. 2.1. P. 1051–1058. DOI: 10.5593/sgem2019/2.1/S08.136.

3. Voskoboinikova, G. M., Karavaev, D. A., Khairtdinov, M. S. Numerical simulation of acoustic waves propagation in an "Atmosphere – Forestland – Ground" system // *J. Appl. Ind. Math.* 2019. Vol. 13, iss. 1. P. 175–183. DOI: 10.1134/S1990478919010186.

4. Kulikov, I., Chernykh, I., Karavaev, D., Berendeev, E., Protasov, V. HydroBox3D: Parallel & distributed hydrodynamical code for numerical simulation of supernova Ia // *Lect. Notes in Comp. Sci. (including subseries Lect. Notes in Artif. Intell. and Lect. Notes in Bioinform.).* 2019. Vol. 11657 LNCS. P. 187–198. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_15.

5. Kulikov, I., Chernykh, I., Berendeev, E., Protasov, V., Serenko, A., Prigarin V., Ulyanichev I., Karavaev D., Vorobyov E., Tutukov, A. Numerical modeling of hydrodynamic turbulence with self-gravity on Intel Xeon Phi KNL // *Commun. in Comp. and Inform. Sci.* 2019. Vol. 1063. P. 309–322. DOI: 10.1007/978-3-030-28163-2_22.

6. Prigarin, V., Karavaev, D., Protasov, V. The cuFFT code for N-body simulation // *J. of Physics: Conf. Ser.* V. 1336, iss. 1. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012023.

7. Kulikov, I., Chernykh, I., Karavaev, D., Protasov, V., Prigarin, V., Ulyanichev, I., Vorobyov, E., Tutukov, A. The numerical modeling of moving of dwarf galaxy through the intracluster medium // *J. of Physics: Conf. Ser.* V. 1336, iss. 1. 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012004.

8. Kalinin, S., Karavaev, D., Sapetina, A. The parallel implementation of the adaptive mesh technology in poroelasticity problems // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. V. 1129 CCIS. P. 439–450. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9_36.
9. Kulikov, I., Chernykh, I., Berendeev, E., Karavaev, D., Protasov, V. Relativistic hydrodynamics modeling by means adaptive nested mesh on IBM Power 9 // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 1129. CCIS. 5th Russian supercomputing days conference (RuSCDays2019), Moscow, Sept. 23–24, 2019. 235009. P. 350–362. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9_29.
10. Khairtdinov, M. S., Karavaev, D. A., Yakimenko, A. A., Morozov, A. Approaches to recognize cavity inclusions in elastic media in problem of monitoring test sites // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th International Asian school-seminar "OPCS-2019", Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 78–81. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880200.
11. Pinigina, D., Yakimenko A. Optimization algorithm for seismic location of underground objects // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th International Asian school-seminar "OPCS-2019", Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 140–142. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880255.
12. Braginskaya, L. P., Grigoruk, A. P., Kovalevsky, V. V. An ontological approach to organizing an active seismology web environment // CEUR Workshop proc. of the All-Russian conf. "Spatial data processing for monitoring of natural and anthropogenic processes" SDM 2019, Berdsk (Novosib region), Aug. 26–30, 2019. Vol. 2534. P. 56–60.
13. Braginskaya, L. P., Grigoruk, A. P., Kovalevsky, V. V. Integration of knowledge and data in active seismology // CEUR Workshop Proceedings of 17th International conference on distributed information-computational resources DICR-2019, Novosibirsk, Dec. 3–6, 2019. Vol. 2569. P. 6–12.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Фатьянов, А. Г., Бурмин, В. Ю. Возникновение предвестников РКР-волн в радиально-симметричной слоистой Земле // Докл. РАН. 2019. Т. 489, № 1. С. 79–83.
2. Kotovitch, N. I. Automated testing of web applications using data driven testing // Progress through Innovations : труды 8-й Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и магистрантов, Новосибирск, 28 марта 2019 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. С. 59–60. ISBN 978-5-7782-3848-0.
3. Levchuk, S. A. Study of facial recognition algorithms // Progress through Innovations : труды 8-й Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и магистрантов, Новосибирск, 28 марта 2019 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. С. 24–26.
4. Арипов, М., Имомназаров, Х., Караваев, Д., Коробов, П. Обобщенное решение одной переопределенной стационарной системы двухжидкостной среды // Пробл. выч. и прикл. матем. 2019. № 2(20). С. 20–25.
5. Воскобойникова, Г. М., Караваев, Д. А., Хайретдинов М. С. Численное моделирование распространения акустических волн в системе "атмосфера – лесной массив – грунт" // СибЖИМ. 2019. Т. 22, № 1 (77). С. 24–33.
6. Ефимов, С. А. Пространственно-временной анализ сейсмического волнового поля от распределенного карьерного взрыва // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, апрель 2019 г. Т. 4, № 1. С. 141–148. Новосибирск: СГУГиТ, 2019.

7. Брагинская, Л. П., Григорюк, А. П., Ковалевский, В. В. Онтолого-ориентированный подход к организации web-среды по активной сейсмологии // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов : труды Всерос. конф. с междунар. участием "SDM-2019", Новосибирск, 27–30 авг. 2019 г. С. 56–60.
8. Брагинская, Л. П., Григорюк, А. П., Ковалевский, В. В. Интеграция знаний и данных в области активной сейсмологии // Распределенные информационно-вычислительные ресурсы. Цифровые двойники и большие данные : сб. трудов 17-й Междунар. конф. (DICR-2019), Новосибирск, 3–6 дек. 2019 г. С. 48–55.
9. Ковалевский, В. В. Сверхмощные вибрационные сейсмоисточники для глобальной томографии земли // Геодинамика. Геомеханика и геофизика : материалы 19-й Всерос. конф., Новосибирск, 22–28 июля 2019 г. С. 221.
10. Брагинская, Л. П., Григорюк, А. П., Ковалевский, В. В. Информационная и аналитическая поддержка вибросейсмических исследований // Геодинамика. Геомеханика и геофизика : материалы 19-й Всерос. конф., Новосибирск, 22–28 июля 2019 г. С. 211–212.
11. Доброродный, В. И., Седухина, Г. Ф., Хайретдинов, М. С. Сейсмоакустическая локация взрывных источников // Проблемы оптимизации сложных систем : труды 14-й Междунар. Азиат. школы-семина., оз. Иссык-Куль (Кыргызская Респ); Алматы (Казахстан), 20–31 июля 2018 г. Ч. 1. С. 207–214.
12. Хайретдинов, М. С., Ковалевский, В. В., Воскобойникова, Г. М., Седухина, Г. Ф., Якименко, А. А. Виброинформационная технология изучения взаимосвязей геофизических полей // Проблемы оптимизации сложных систем : труды 14-й Междунар. Азиат. школы-семина., оз. Иссык-Куль (Кыргызская Респ); Алматы (Казахстан), 20–31 июля 2018 г. Ч. 2. С. 115–120.
13. Хайретдинов, М. С., Ковалевский, В. В., Воскобойникова, Г. М. Технология активного мониторинга в изучении взаимодействия геофизических полей // Вычислительная математика и математическая геофизика : труды Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. С. 393–400.
14. Григорюк, А. П., Ковалевский, В. В., Брагинская, Л. П. Исследование поляризованных характеристик вибросейсмических сигналов // Вычислительная математика и математическая геофизика : труды Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. С. 133–138.
15. Знак, В. И., Кунду, С. Подход к оценке времени вступления сигнала с привлечением кластерного анализа. // Вычислительная математика и математическая геофизика : труды Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. С. 153–158.
16. Хайретдинов, М. С., Воскобойникова, Г. М., Ковалевский, В. В., Седухина, Г. Ф., Якименко, А. А. Сейсмоакустические волны сеймовибраторов в системе "литосфера – атмосфера" // Вестн. Нац. ядерного центра Респ. Казахстан. 2018. Вып. 2 (74). С. 44–48.
17. Хайретдинов, М. С., Остапкевич, М. Б., Минахудинов, Р. Ф. Реализация алгоритмов поточной свертки с применением технологии программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) // Вестн. Нац. ядерного центра Респ. Казахстан. 2018. Вып. 2 (74). С. 49–53.
18. Котович, Н. И., Якименко, А. А. Разработка и исследование подхода Data Driven Testing в автоматизированном тестировании // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства : сб. трудов 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием им. В. В. Губарева, Новосибирск, 11–13 дек. 2018 г. С. 196–199.
19. Левчук, С. А., Якименко, А. А. Исследование характеристик алгоритмов распознавания лиц // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства :

сб. трудов 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием им. В. В. Губарева, Новосибирск, 11–13 дек. 2018 г. С. 199–203.

20. Макфузова, А. И., Якименко, А. А. Методы сегментации в задачах распознавания изображений // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства : сб. трудов 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием им. В. В. Губарева, Новосибирск, 11–13 дек. 2018 г. С. 214–220.

21. Булатов, А. Д., Москвичев, И. И., Мищенко, П. В., Якименко, А. А. Информационная система профориентирования с применением интерактивных демонстраций прикладных задач // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства : сб. трудов 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием им. В. В. Губарева, Новосибирск, 11–13 дек. 2018 г. С. 47–56.

22. Левчук, С. А., Якименко, А. А. Исследование характеристик алгоритмов распознавания лиц // Сб. науч. трудов НГТУ. 2018. № 3–4 (93). С. 40–58.

23. Макфузова, А. И., Якименко, А. А. Анализ метода сегментации изображения для картин волнового поля // Сб. науч. трудов НГТУ. 2018. № 3–4 (93). С. 70–82.

24. Fatyanov, A. G., Burmin, V. Yu. The focusing effect of p-wave in the moon's and earth's low-velocity core analytical solution // 10-й Международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы : Материалы симпозиума, Москва, 7–11 окт. 2019 г. С. 389–391.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 19th International multidisciplinary scientific geoconference "SGEM2019", June 28–July 7, 2019, Albena (Bulgaria) – 2 доклада (Хайретдинов М. С., Караваев Д. А., Якименко А. А.).

2. 15th International Asian school-seminar "Optimization problems of complex systems" (OPCS-2019), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019 – 2 доклада (Хайретдинов М. С., Якименко А. А.).

3. 16-я Международная конференция "Инновационные, информационные и коммуникационные технологии" (ИНФО-2019), Сочи, 1–10 окт. 2019 г. – 1 пленарный доклад (Хайретдинов М. С.).

4. Международная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" в рамках 15-го Научного конгресса "Гео-Сибирь-2019", Новосибирск, 17–18 апреля 2019 г. – 8 докладов (Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В., Караваев Д. А., Якименко А. А., Ефимов С. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Фатьянов А. Г.).

5. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики, АПВППМ-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 2 пленарных доклада (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Фатьянов А. Г.).

6. 5-я Международная конференция "Информационные технологии для наук о Земле и приложения для геологии, горной промышленности и экономики "ITES&MP-2019", Москва, 14–18 октября 2019 г. – 1 доклад (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

7. 19-я Всероссийская конференция "Геодинамика. Геомеханика и геофизика", Новосибирск, 22–28 июля 2019 г. – 1 доклад (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

8. Всероссийская конференция с международным участием "Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов" ("SDM-2019"), г. Бердск (Новосибирская обл.), 26–30 августа 2019 г. – 1 доклад (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

9. Международная научно-практическая конференция "Распределенные информационно-вычислительные ресурсы: цифровые двойники и большие данные" ("ICR 2019"), 3–6 декабря 2019 г., Новосибирск – 1 доклад (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

10. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 23–24 сентября 2019 г. – 2 доклада (Караваев Д. А.).

11. 13th International scientific conference on parallel computational technologies (PCT 2019), Kaliningrad, April 2–4, 2019 – 1 доклад (Караваев Д. А.).

12. 15th International conference on parallel computing technologies (PaCT 2019), Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019 – 1 доклад (Караваев Д. А.).

13. Международная конференция "Математика в приложениях", Новосибирск, 4–10 августа 2019 г. – 1 доклад (Фатьянов А. Г.).

14. 5-я Международная конференция "Информационные технологии для наук о Земле и приложения для геологии, горной промышленности и экономики", Москва, 15–18 октября 2019 г. – 1 доклад (Фатьянов А. Г.).

15. The 10th Moscow solar system symposium ("IKI RAS"), Moscow, October 7–11, 2019 – 1 доклад (Фатьянов А. Г.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Ковалевский В. В.:

– член программного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", 26–30 августа 2019 г., Новосибирск;

2. Хайретдинов М. С.:

– член программного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", 26–30 августа 2019 г., Новосибирск.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 4

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 15

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 28

Докладов на конференциях – 26, в том числе пленарных 3.

Участников организации конференций – 2

Кадровый состав

1. Ковалевский В. В.	и.о. зав. лаб.	д.т.н.
2. Борисов В. В.	ведущ. инженер	
3. Брагинская Л. П.	ведущ. программист	
4. Григорюк А. П.	н.с.	
5. Ефимов С. А.	н.с.	
6. Знак В. И.	с.н.с.	к.т.н.
7. Иванова И. Н.	ведущ. инженер	
8. Кайсина Н. В.	ведущ. инженер	
9. Караваев Д. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
10. Макаров В. А.	ведущ. инженер-электроник	
11. Седухина Г. Ф.	н.с.	
12. Фатьянов А. Г.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
13. Хайретдинов М. С.	г.н.с.	д.т.н.

14. Шиманская Г. М. н.с. к.т.н.

15. Якименко А. А. н.с. к.т.н.

Якименко А. А., Караваев Д. А. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Хайретдинов М. С. – профессор НГТУ

Якименко А. А. – доцент НГТУ

Руководство студентами

1. Голощапова Д. П. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Копылова О. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Перминов Е. В. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
4. Чендыева Я. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
5. Бибиков Н. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
6. Булатов А. Д. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
7. Левчук С. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
8. Макфузова А. И. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
9. Паршин С. Е. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
10. Выродов А. Ю. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
11. Нишляев Е. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
12. Хрыпченко А. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
13. Шипилин В. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
14. Якимук А. С. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.

Руководство аспирантами

1. Грищенко М. В. – аспирант ИВМиМГ, 3-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Доброродный В. И. – аспирант ИВМиМГ, 3-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Машников Д. Я. – аспирант ИВМиМГ, 2-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
4. Михайленко Д. А. – аспирант НГТУ, 2-й год, руководитель Якименко А. А.

Защита дипломов

1. Минахудинов Р. Ф. – магистр НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Букреев А. В. – магистр НГУ, руководитель Якименко А. А.
3. Морозов А. Е. – магистр НГУ, руководитель Якименко А. А.
4. Пинигина Д. Л. – магистр НГУ, руководитель Якименко А. А.
5. Чуприн К. В. – магистр НГУ, руководитель Якименко А. А.
6. Омеляненко Е. А. – магистр НГУ, руководитель Якименко А. А.
7. Баталыгина Т. И. – бакалавр НГУ, руководитель Якименко А. А.

Лаборатория обработки изображений

Зав. лабораторией д.т.н. Пяткин В. П.

Важнейшие достижения

Новый управляемый непараметрический статистический критерий, альтернативный критерию Вилкоксона – Манна – Уитни

К.т.н. Салов Г. И.

Разработан новый управляемый непараметрический статистический критерий для задачи проверки гипотезы об однородности двух выборок против односторонней альтернативной гипотезы о том, что величины элементов одной выборки имеют тенденцию быть стохастически больше величин элементов другой. Показано преимущество разработанного критерия с точки зрения мощности и управляемости перед критерием Вилкоксона – Манна – Уитни, стандартно применяемым в подобных задачах. Результат имеет общий характер и может быть использован, например, при решении задач обнаружения.

Результаты исследований опубликованы в работе

Салов, Г. И. Об управляемости одного нового непараметрического статистического критерия, альтернативного критерию Вилкоксона – Манна – Уитни // СибЖВМ. 2019. Т. 22, № 3. С. 315–323.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершающимся в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Математическое моделирование, численные методы и высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии для решения задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования Земли".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0003.

Руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Раздел 1. "Разработка распределенных высокопроизводительных технологий решения задач моделирования, обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием кластеров Сибирского Суперкомпьютерного Центра (ССКЦ). Разработка и реализация облачных Web-интерфейсов для доступа как к вновь создаваемым, так и существующим программным технологиям. Дальнейшее развитие и совершенствование высокопроизводительных программных технологий обработки данных ДЗЗ различного спектрального и пространственного разрешения. Разработка методов и алгоритмов решения задач моделирования, обработки и интерпретации гиперспектральных данных ДЗЗ и томографических сканеров. Разработка статистических алгоритмов и критериев для анализа и моделирования как единичного изображения, так и последовательности изображений. Визуализация "естественной кластеризации" для анализа многомерной гистограммы на основе ее представления в виде четырехмерного рельефа. Разработка высокопроизводительных методов и алгоритмов кластеризации гиперспектральных данных ДЗЗ. Представление результатов проекта для экспертной проверки на Лабораторном Web-сервере".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Этап 2019 г. "Разработка и реализация методов улучшения границ в итерационных томографических алгоритмах обработки гиперспектральных данных ДЗЗ на основе методов стереологии. Разработка библиотеки решения задач обработки и анализа данных ДЗЗ на микропроцессоре Intel Xeon Phi. Разработка двух программ для задач скорейшего обнаружения соответственно на трех и пяти зашумлённых изображениях зарегистрированных треков объектов-целей, движущихся прямолинейно к центру важного (охраняемого) объекта. Модификация иерархического гистограммного кластерного алгоритма к текстурным данным. Разработка и реализация облачного Web-сервиса для построения векторных полей перемещений природных объектов по серии спутниковых снимков на основе корреляционно-экстремального анализа. Исследование и разработка облачного сервиса динамических ссылок автоматического зеркалирования серверов облака."

Исследовано влияние значений различных геометрических параметров в программе улучшения границ изображений в итерационных алгоритмах обработки проекционных данных на основе методов стереологии. В исследованиях варьировались наклон и ширина линий и полос (т. е. областей интегрирования) с целью внесения малых возмущений, оставляющих систему уравнений совместной, но улучшающих обусловленность матриц системы, подобно методу регуляризации сдвигом. Получены предварительные численные результаты.

Исследованы масштабируемые маски выделения угловых структур на цифровых изображениях, применяемые при обработке скользящим по изображению окном. Предлагаемые матрицы маски произвольных размеров конструируются добавлением строк и столбцов по периметру к матрице меньших масок. Подматрицы при этом остаются неизменными, а новые элементы добавляются повторением элементов подматрицы, сохраняющих структуру угла.

Для получения возможности использования микропроцессора Intel Xeon Phi в развиваемую в проекте библиотеку SSCIP обработки изображений на высокопроизводительных ЭВМ введена возможность распараллеливания вычислений с помощью технологии OpenMP. В результате при исполнении на четырехъядерном центральном процессоре получено 2,5-кратное ускорение вычислительного кода библиотеки. Разработка библиотеки ведется на гибридном кластере ССКЦ НКС-1П, получаемые результаты позволят расширить состав программного обеспечения суперкомпьютерных центров и облегчить использование трудоемких вычислительных алгоритмов в прикладных дистанционных исследованиях.

Введено понятие управляемости непараметрического статистического критерия. Разработан новый управляемый непараметрический статистический критерий (см. "Важнейшие достижения"), который может быть использован при решении задач обнаружения в последовательности зашумлённых изображений зарегистрированных треков объектов-целей, движущихся прямолинейно к центру важного (охраняемого) объекта.

Применение развиваемого в проекте нового делимого гистограммного алгоритма к текстурным признакам SAR на аэроснимке леса показало хорошее соответствие по капле Коэна k результатов кластеризации с данными наземной таксации (рис. 1). Отметим, что для полностью согласованной кластеризации $k = 1$, при $k > 0,75$ согласованность считается высокой, при $0,4 < k < 0,75$ хорошей, иначе плохой.

Разработан макет облачной SaaS-технологии построения векторных полей перемещений природных объектов по серии спутниковых снимков. Технологической основой разработки стал свободно распространяемый Web-сервер Apache. Для использования в качестве



вычислительного ядра системы создан автономный вариант программы построения полей перемещений на основе нахождения максимумов коэффициента взаимной корреляции. Корреляция используется как средство поиска эквивалентов объекта-эталона. Решение задачи состоит из следующих основных шагов:

- поиск на текущем изображении квадратных объектов-эталонов, основанный на достижении максимума контраста либо максимума энтропии (методика предложена EUMETSAT);
- поиск позиций найденных эталонов на последующем изображении серии, основанный на достижении максимального значения коэффициента взаимной корреляции;
- построение векторных полей пространственных перемещений объектов в соответствии с найденными позициями.

Пример результата работы алгоритма представлен на рис. 2.

Разработанный сервис может быть использован при анализе данных различной природы, как данных систем ДЗЗ, при анализе которых возникают потребности построения полей перемещений природных объектов (облачных образований в атмосфере, ледяных полей, водных масс), так и результатов численного моделирования различных физических или биологических процессов, представленных в виде последовательности изображений.

Скриншот сеанса работы с Web-интерфейсом технологии представлен на рис. 3.

Исследовались подходы к организации динамических ссылок для зеркалирования облачного сервера при несовпадении структур файловых носителей "зеркал". Реализация технологии построения полей перемещений природных объектов показала необходимость развития внутри Apache механизмов поддержки управления динамической памятью.

Поддерживался сервер лаборатории <http://loi.sccc.ru>.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Buchnev, A., Kim, P., Pyatkin, V., Pyatkin, F., Rusin, E. Framework of cloud web services for processing remote sensing data // E3S Web of Conf. 2019. Vol. 75. 03001. DOI: 10.1051/e3sconf/20197503001.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Асмус, В. В., Бучнев, А. А., Кровотынцев, В. А., Пяткин, В. П. Комплекс программного обеспечения в задачах космического мониторинга опасных гидрометеорологических явлений // Труды Междунар. конф. "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева. 2018. С. 41–49.

2. Бучнев, А. А., Пяткин, В. П. Классификация гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли // Журн. СФУ. Техника и технологии. 2019. Т. 12, № 5. С. 536–541.

3. Казанцев, И. Г., Намзалов, Б. Б., Овчарова, Е. Г. Создание эскиза цифровой карты растительных покровов по данным полевого дешифрирования и аэрофотосъемки // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 59–63. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-156-162.

4. Пяткин, Ф. В., Голомолзин, В. В., Косторная, А. А. Применение регрессионного анализа для расчетов по данным приборов ИКФС-2 и МТВЗА спутника "Метеор-2" // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф. в рамках 15-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019", Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 3–10.

5. Русин, Е. В., Голомолзин, В. В. Программный комплекс валидации измерений прибора МТВЗА-ГЯ космических аппаратов серии "Метеор-М" № 2 // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 76–82.

6. Ким, П. А. О параметризации выбора числа значащих кластеров // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология : сб. материалов Междунар. науч. конф., Новосибирск, 24–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 4, № 1. С. 64–67.

7. Ким, П. А. Диаграммы Вороного в задачах кластеризации // Труды 18-й Международной конференции по науке и технологиям Россия – Корея – СНГ, Москва, 26–28 авг. 2018 г. С. 216–220. ISBN 978-5-7782-3637-0.

8. Ким, П. А. О радиусе описанной сферы бесконечномерного симплекса // Труды 19-й Международной конференции по науке и технологиям Россия – Корея – СНГ, Москва, 29–31 авг. 2019 г. С. 111–113.

9. Русин, Е. В. Каркасный подход к реализации библиотек высокопроизводительной обработки изображений // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019) : сб. трудов Всерос. конф. с междунар. участием. 2019. С. 183–188.

10. Салов, Г. И. Об управляемости одного нового непараметрического статистического критерия, альтернативного критерию Вилкоксона – Манна – Уитни // СибЖВМ. 2019. Т. 22, № 3. С. 315–323.

Патент на изобретение

1. Ким, П. А. Устройство моделирования диаграммы Вороного : пат. 2695138 РФ; опубл. 27.7.2019. Бюллетень № 21.
2. Ким, П. А. Шкала измерений кривизны квазигиперболы : пат. № 2695943 РФ; опубл. 10.08.2019. Бюллетень № 22.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 15-я Международная выставка и научный конгресс "Интерэкспо Гео-Сибирь 2019", Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г. – 4 доклада (Казанцев И. Г., Ким П. А., Русин Е. В., Пяткин Ф. В.).
2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВМ-2019), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. – 1 доклад (Казанцев И. Г.).
3. Всероссийская конференция с международным участием "Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов" (SDM-2019), Бердск (Новосибирская обл.), 27–30 августа 2019 г. – 1 доклад (Русин Е. В.).
4. 19-я Международная конференция по науке и технологиям Россия – Корея – СНГ, Москва, 29–31 августа 2019 г. – 1 доклад (Ким П. А.).
5. 11-я Международная молодёжная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г. – 1 доклад (Казанцев И. Г.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Пяткин В. П.:
 - член программного комитета 6-й Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 10–13 сентября 2019 г.,
 - член организационного комитета 15-й Международной выставки и научного конгресса "Интерэкспо Гео-Сибирь 2019", Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.;
2. Русин Е. В.:
 - член организационного комитета 15-й Международной выставки и научного конгресса "Интерэкспо Гео-Сибирь 2019", Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 3
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 4
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 15
Патентов на изобретения – 2
Докладов на конференциях – 8
Участников организации конференций – 3

Кадровый состав

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. Карогодина Т. И. ведущ. инженер

Педагогическая деятельность

- Пяткин В. П. – профессор СГУГиТ
Ким П. А. – доцент НГПУ

Руководство аспирантами

Мухаметжанова Б. О. – аспирант Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева (Астана, Казахстан), научный консультант Казанцев И. Г. (научный руководитель Искаков К. Т.).

Награды

Пяткин В. П. – медаль "За заслуги" Федерации космонавтики России.

Лаборатория системного моделирования и оптимизации

Зав. лабораторией д.т.н. Родионов А. С.

Важнейшие достижения

Развитие теории ненадежных структур применительно к решению прикладных задач

Волжанкина К. А., к.э.н. Ляхов О. А., к.ф.-м.н. Мигов Д. А., д.т.н. Родионов А. С., Ткачев К. В., к.т.н. Токтошов Г. Ы.

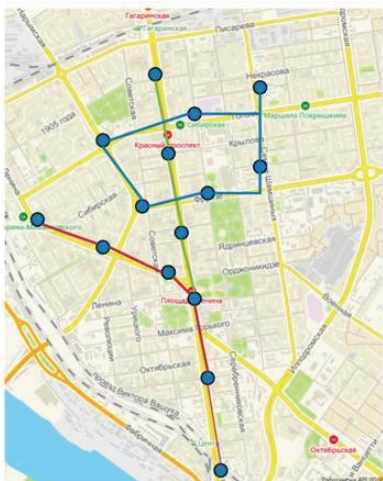
Получены модельные описания систем, разработаны алгоритмы анализа и оптимизации для решения следующих задач:



– Оптимизация маршрутов прокладки магистрального трубопровода для транспортировки георесурсов: разработан параллельный алгоритм оценки надежности сети методом Монте-Карло.

– Планирование ремонтных работ в узлах инженерных сетей: разработана новая постановка задачи построения маршрутов транспортных средств с учетом планов ремонтных работ в узлах обслуживаемой сети.

– Проектирование оптимальных сетей электропитания и коммуникаций для оборудования многофункциональных систем безопасности в угольных шахтах: предложена модель двухуровневой гиперсети с несколькими вложенными вторичными сетями ограниченного диаметра и предложен алгоритм оптимизации их вложения по критерию покрытия узлов первичной сети.



– Оценка качества транспортной инфраструктуры мегаполиса: построены эффективные алгоритмы расчета и кумулятивного оценивания математических ожиданий максимальных потоков и их арифметического среднего в сетях с ненадежными связями; разработаны специальные бионические алгоритмы решения NP-трудной задачи покрытия мультиграфа применительно к задаче мониторинга дорожного движения.

– Мультикритериальная оптимизация сетей инженерных коммуникаций: предложен эвристический подход к решению задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций по критерию минимума суммарных строительных затрат при обеспечении заданного уровня надежности на основе метода k-кратчайших путей.

Результаты исследований опубликованы в работах:.

1. Токтошов, Г. Ы., Юргенсон, А. Н., Мигов, Д. А. Оптимизация маршрутов прокладки магистрального трубопровода для транспортировки георесурсов // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 41–49. DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2124.

2. Rodionov, A. S. On evaluating a network throughput // Proc. of the 13th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2019", Phuket (Thailand), Jan. 4–6, 2019. P. 34–41. DOI: 10.1007/978-3-030-19063-7_3.

3. Мигов, Д. А., Винс, Д. В. Параллельная реализация и имитационное моделирование оценки надежности сети методом Монте-Карло // Вестн. ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. Т. 47. С. 66–74. DOI:10.17223/19988605/47/8.

4. Lyakhov, O. A., Toktoshov, G. Y. The repair works planning problems in the utility networks nodes // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th International Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 92–95. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880256.
5. Tkachev, K. V. The interaction interface between the model and the observer agent in the simulation system // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 204–206. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880245.
6. Tkachev, K. V., Volzhankina, K. A., Migov, D. A. Comparison of the work of algorithms for arranging message distribution devices in transport networks // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 200–203. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880212.
7. Lyakhov, O. A., Toktoshov, G. Y. The repair works planning problems in the utility networks nodes // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 92–95. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880256.
8. Tkachev, K. V. The interaction interface between the model and the observer agent in the simulation system // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar, Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 204–206. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880245.
9. Токтошов, Г. Ы., Юргенсон, А. Н., Мигов, Д. А. Оптимизация маршрутов прокладки магистрального трубопровода для транспортировки георесурсов // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 41–49. DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2124.
10. Rodionov, A. S. On evaluating a network throughput // Proc. of the 13th Intern. conference on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2019", Phuket (Thailand), Jan. 4–6, 2019. P. 34–41. DOI: 10.1007/978-3-030-19063-7_3.
11. Мигов, Д. А., Винс, Д. В. Параллельная реализация и имитационное моделирование оценки надежности сети методом Монте-Карло // Вестн. ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. Т. 47. С. 66–74. DOI: 10.17223/19988605/47/8.

Результаты исследований представлены на конференциях:

1. IEEE 15th Int. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems". Новосибирск, 26–30 авг. 2019 г.
2. 4-я Международная научно-практическая конференция "Информатика и прикладная математика", Алматы (Казахстан), 25–29 сентября 2019 г.
3. The 13th International conference on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2019", Phuket (Thailand), January 4–6, 2019.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2019 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, системного анализа и оптимизации сложных систем".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0006.

Руководитель д.т.н. Родионов А. С.

Этап 2019 г. "Разработка методов измерения динамических характеристик узлов РИВС. Подготовка исходных данных для разработки логит-модели городского транспортного потока. Разработка и исследование гибридных алгоритмов расчета показателей надежности ненадежных сетей, сочетающих использование точных и приближенных методов при рассмотрении подсетей в исходных и промежуточных (при использовании метода факторизации) структурах. Разработка математических моделей и методов обеспечения эффективного

функционирования сложных систем с использованием марковских процессов принятия решений в условиях частично наблюдаемой среды. Разработка и исследование интеллектуальных методов моделирования и оптимизации на основе биоинспирированных алгоритмов для инфокоммуникационных систем. Разработка алгоритмов нелинейного квадратичного программирования на основе аппарата векторной оптимизации".

Проведен анализ механизмов генерации и роста, свойственных реальным комплексным сетям. Основное внимание уделено математическим моделям, порождающим масштабно-инвариантные сети, для которых вероятность $p(k)$ того, что узел имеет входящую степень k , подчиняется степенному закону: $p(k) \sim k^{-\gamma}$ для достаточно больших значений k . Рассмотренные сетевые модели базируются на механизме предпочтительного присоединения (РА), обеспечивающем при росте сети присоединение нового узла к узлам, уже имеющим высокую степень. Вероятность Π того, что новый узел присоединится к узлу i , имеющему степень k_i , равна.

$$\Pi(k_i) = \frac{k_i^\alpha}{\sum_j k_j^\alpha}.$$

Показано, как функциональная форма РА-механизма влияет на структурные свойства сети. А именно, только в случае $\alpha = 1$, т. е. при линейной зависимости от k сеть в процессе роста становится масштабно-инвариантной. С учетом "возраста" узлов, вероятность присоединения к узлу i можно представить формулой $\Pi(k_i, t_i) \propto k_i f(t_i)$, где t_i – время появления в сети узла i . Показано, что вид функции $f(t_i)$ влияет на распределение степеней $P(k)$. Приведены способы расширения определения РА и рассмотрено их влияние на сетевую структуру. Проанализированы аналитические подходы к исследованию динамических свойств сетей, порожденных согласно моделям.

Разработан лексикографический алгоритм для задачи о многих ранцах (МКП). Алгоритм использует упорядочение ранцев по неубыванию размера и два способа упорядочения объектов: по невозрастанию полезности и невозрастанию отношения полезности к размеру объекта. Эти упорядочения порождают два отношения лексикографического порядка на множестве $A \times B$ (A – множество ранцев, B – множество неделимых объектов). По каждому лексикографическому упорядочению алгоритм строит допустимое решение МКП, просматривая пары $(a, b) \in A \times B$ в соответствующем порядке и помещая объект b в ранец a , если объект еще не размещен и в ранце достаточно места. Из двух полученных решений алгоритм выбирает лучшее. Алгоритм имеет относительную точность 0,5 и трудоемкость $O(mn)$ (без учета сортировок), где m и n – мощности множеств A и B соответственно.

Предложен метод кластеризации узлов распределенной информационной сети. Задача кластеризации формулируется как оптимизационная задача нахождения минимального размера разреза графа. Реализованы два спектральных алгоритма разбиения ориентированного взвешенного графа, основанные на минимизации нормализованного разреза. Алгоритмы используют спектральные свойства матриц случайного блуждания для минимизации весов межкластерных ребер. Апробация алгоритмов применительно к сети цитирования журналов выполнена на основе "сырых" данных, извлеченных из библиографической базы данных RePEc. Разработаны алгоритмы и программы расчета показателей надежности сетей с ненадежными элементами, сочетающие элементы алгоритмов точного расчета на макроуровне с приближенным расчетом характеристик подсетей, получаемых в результате декомпозиций и факторизации в ходе вычислений.

Приближенный расчет основан на применении кумулятивных оценок в случае получения численного значения рассматриваемого показателя и смыслового значения коэффициентов при оценивании полинома надежности. Впервые предложен метод факторизации по состояниям нескольких ребер случайного графа (получены численные результаты для случаев 3 и 4 ребер) с детальным рассмотрением результатов факторизации по 3 и 4 ребрам, инцидентным вершине соответствующей степени. Исследован процесс улучшения оценок коэффициентов ATR-полинома (полинома для вероятности связности всех вершин неориентированного случайного графа с ненадежными ребрами) при повышении глубины дерева разбора методом факторизации (рис. 1).

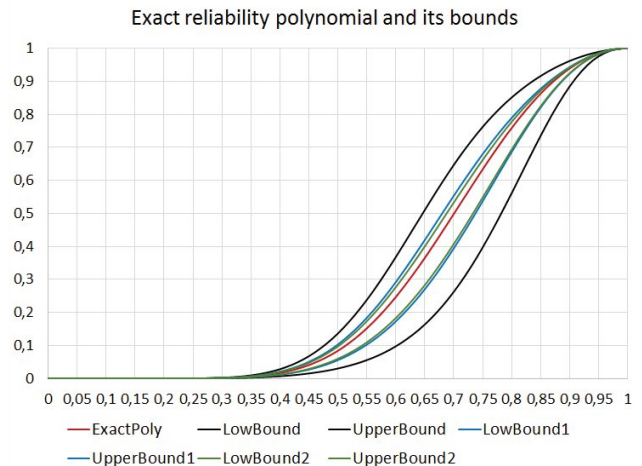


Рис. 1: Приближение ATR-полинома

Рассмотрена актуальная задача – моделирование движения транспорта и распространение сообщений между участниками движения. Разработанная ранее система имитационного моделирования MTSS была адаптирована для задачи оптимизации рассылки мгновенных сообщений от одного источника. Симулятор имеет графические инструменты для создания моделей и моделирования передачи данных.

Рассматривались следующие условия распространения сообщений широкополосным методом: каждое устройство начинает рассылку после случайной задержки на обработку данных, каждый пакет имеет уникальный идентификатор для отслеживания, сообщение получают все устройства в радиусе действия сигнала. Использовались данные открытого сервиса Open Street Map. Передача радиосигнала имитировалась с использованием формулы затухания.

Проведенные с помощью системы MTSS тестирования показали, что основной проблемой при такой передаче сообщений является интерференция, зависящая от различных ситуаций движения на транспортной сети (прямолинейные трассы, участки движения с перекрестками).

Решалась задача оптимальной расстановки устройств мониторинга и оповещения на транспортных сетях с целью передачи информации о ситуациях на дорогах максимальному количеству участников движения. Для этого использовался модифицированный генетический алгоритм (ГА). Решения сравнивались с результатами, полученными с применением "жадного" алгоритма и алгоритма экспертных оценок. Применение ГА обеспечивает улучшение результатов в сравнении с "жадным" алгоритмом на 10–20 % (пример расстановки показан на рис. 2).

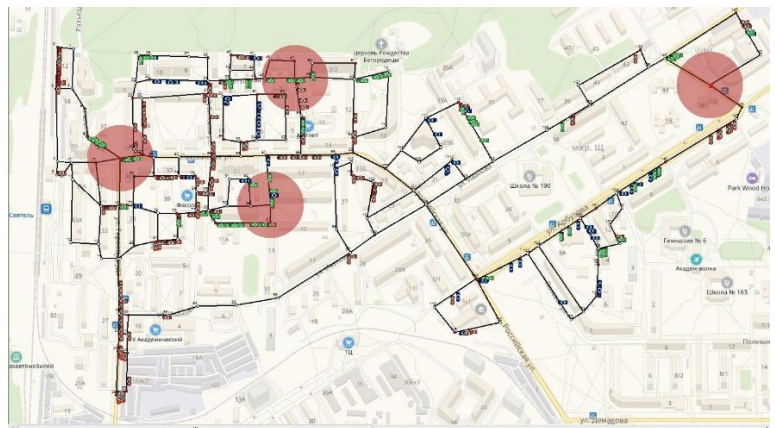


Рис. 2: Пример оптимальной расстановки четырех устройств мониторинга в Верхней зоне Новосибирского Академгородка

Разрабатывались алгоритмические и программные средства имитационной оптимизации. Процесс имитационной оптимизации заключается в выполнении одного запуска модели, при котором, согласно выбранному методу, подбираются значения управляемых параметров для нахождения оптимальных (с учетом заданных ограничений) значений заданной целевой функции. Более того, в ходе оптимизации может меняться и ее алгоритм, т. е. стратегия поведения модели по выходу на оптимальную траекторию поведения. Основная проблема – отделение модели от постановки задачи для эксперимента, поэтому проводится разделение переменных на наблюдаемые и изменяемые. Для управления данными моделями, системой моделирования и запуском системы на суперЭВМ разработан программный интерфейс, обеспечивающий информативное и удобное взаимодействие управляющего агента с исполняемой моделью.

Для обеспечения оптимальной производительности разработаны средства определения временных интервалов обновления значений наблюдаемых переменных в интерфейсе.

Разработаны алгоритмы и программы решения оптимизационной проблемы построения оптимальных по среднему диаметру параметрически описываемых регулярных и квазирегулярных сетей – циркулянтных и гиперциркулянтных сетей (графов). Разработан и реализован подход, использующий методы вычислительного интеллекта – биоинспирированные алгоритмы (генетический, дифференциальной эволюции, роя частиц, колонии пчел и алгоритм светлячков) для автоматического порождения оптимальных параметрических описаний циркулянтных и гиперциркулянтных сетей. Проведено сравнение эффективности указанных биоинспирированных алгоритмов по степени минимизации среднего диаметра сетей и времени исполнения. Разработаны простые и эффективные алгоритмы поиска кратчайших путей с константной оценкой сложности для семейства двумерных циркулянтных сетей. Исследовано и реализовано несколько алгоритмов маршрутизации динамического типа, предназначенных для использования в сетях на кристалле с топологией трехмерных циркулянтов. Проведено тестирование алгоритмов маршрутизации на различных семействах оптимальных циркулянтов и выполнено их сравнение по эффективности, скорости и занимаемым в памяти ресурсам в сетях на кристалле. Разработаны алгоритмы и программы определения свойств и структурных характеристик семейств гиперциркулянтных и циркулянтных сетей. Полученные данные показывают логарифмическую зависимость среднего диаметра от числа вершин для гиперциркулянтных сетей в отличие от степенной зависимости для тороидальных и циркулянтных сетей. Проведен сравнительный анализ структурных характеристик гиперциркулянтных, тороидальных и циркулянтных сетей. Показано преимущество гиперциркулянтных сетей при соизмеримых затратах на число узлов и число связей системы по таким структурным характеристикам, как диаметр, средний диаметр, пропускная способность и надежность сети. Программа оптимизации циркулянтных топологий на основе биоинспирированного генетического алгоритма официально зарегистрирована в Роспатенте. Разработанные и реализованные биоинспирированные алгоритмы нашли применение при синтезе нелинейных моделей и для решения задачи символьной регрессии.

Предложены модели таксономического анализа для построения начальных планов в задачах транспортной логистики. Разработана модель планирования ремонтных работ в узлах инженерных сетей.

Для задачи оптимизации иерархических сетей по критерию минимума суммарных строительных затрат предложен подход, основанный на методе k -кратчайших путей. Полученная методика построения сетей различного назначения учитывает иерархичность проектируемых типов сетей, а также их совместимость уже на этапе проектирования. На ее основе разработан эвристический алгоритм проектирования сетей, приводящий к достаточно

экономичному решению, удовлетворяющему различным другим критериям и ограничениям. Предложенный приближенный алгоритм поиска решения использует также популярную в подобных задачах идею двухэтапного метода и модель гиперсети.

В 2019 г. проводилась разработка методики оптимизации информационных систем, основанных на Web-технологиях, с целью улучшения индексации их информационного наполнения одновременно с обеспечением безопасности подобной индексации, исключения возможности попадания в поисковые индексы конфиденциальных данных.

Предложены подходы и разработаны методы оптимизации: 1) структуры контента подобных систем и повышения связности содержащейся в них информации (организация взаимосвязи страниц внутри системы; автоматическая генерация и загрузка карты контента в поисковые серверы с регулярным обновлением); 2) верстки страниц (определение набора метатегов в заголовках страниц, тегов описания изображений и прикрепленных файлов, осмысленное их наименование); 3) интерфейсов пользователей в области взаимодействия с социальными сетями и сервисами (авторизация в системе с использованием аккаунта пользователя в социальных сетях, возможность автоматизированного распространения контента системы через персональные аккаунты пользователей).

Проведен анализ потенциальных источников утечек конфиденциальных данных в результате индексации контента информационных систем поисковыми роботами. Определены наиболее вероятные варианты утечек: ссылки для прямого входа без ввода логина и пароля с уникальными адресами, анализ и сбор браузерами анонимных данных о посещениях страниц, счетчики систем аналитики. Разработаны методы противодействия утечкам: запрет доступа к конфиденциальной информации без использования авторизации, запрет поисковым роботам индексировать содержимое конфиденциальных страниц (используя стандарты robots.txt, .htaccess либо набор тегов в HTML-разметке и заголовках страниц). В сочетании с аудитом ранее проиндексированной информации предложенный подход позволяет снизить вероятность попадания конфиденциальных данных в поисковую выдачу.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 17-07-00775 А "Разработка математических моделей и алгоритмов анализа и оптимизации иерархических сетей".

Руководитель – д.т.н. Родионов А. С.

В ходе выполнения проекта получены следующие основные результаты.

1. Дано описание гиперсетей обслуживания (QHN), построены аналитические модели некоторых вариантов QHN. Для проверки полученных аналитических выражений, а также с целью рассмотрения более сложных QHN, разработан ряд имитационных моделей, подтверждающих как верность проведенных доказательств, так и удобство принятой формы описания входящих в QHN систем массового обслуживания (СМО). В отчетном году получены аналитические выражения для расчета некоторых конкретных структур QHN и разработано новое представление входящих в нее СМО, более удобное для описания имитационных моделей при изменении состояния СМО в процессе незавершенного обслуживания: вместо обычного случайного времени обслуживания заявки при ее поступлении в СМО генерируется случайный объем связанной с ней работы, тогда как скорость выполнения работы определяется текущим состоянием СМО. В этом случае скорость может меняться несколько раз в ходе обслуживания заявки с перерасчетом оставшегося времени обслуживания.

2. Разработаны алгоритмы расчета и кумулятивного оценивания некоторых показателей надежности одно- и двухуровневых сетей с ненадежными элементами, включая вероятность связности всех узлов и среднее арифметическое вероятности связности всех пар узлов вторичной сети при ненадежной первичной сети (пример – исследуется надежность связи по логической сети древовидной структуры, реализованной в кольцевой оптической сети), а также вероятность передачи потока заданной величины, математическое ожидание величины максимального потока и среднее арифметическое этих математических ожиданий по всем парам узлов сети. В отчетном году рассмотрены модели сетей с ненадежными узлами и решалась задача оптимального покрытия сети "деревьями" ограниченного диаметра.

3. Предложены эвристические алгоритмы нахождения реберных и вершинных покрытий в гиперсетях для решения ряда прикладных задач мониторинга, например расстановки заданного числа базовых станций сети VANET на улицах мегаполиса с целью минимизации времени оповещения участников дорожного движения о ДТП (задачи отчетного года).

4. Предложены алгоритмы генерации случайных потоков специального вида, необходимых для более адекватного имитационного моделирования QHN при решении прикладных задач (этот раздел проекта выполнялся совместно с лабораторией стохастических задач).

Проект РФФИ № 18-07-00460 А "Разработка математических методов и комплексов программ для анализа надежности сетей различного назначения".

Руководитель – к.ф.-м.н. Мигов Д. А.

В рамках проекта получен ряд важных результатов в области анализа надежности сетей различного назначения, представленных эффективными методами, в том числе параллельными, для точного и приближенного расчета показателей надежности сетей. Также разработаны методы проектирования и структурной оптимизации сетей различного назначения по критериям стоимости и надежности в условиях различных ограничений. Изучались как широко известные показатели надежности (вероятность связности сети, надежность с ограничением на диаметр), так и новые.

Методы расчета и оценивания надежности включают декомпозиционный метод расчета вероятности связности двухполюсной сети, метод оценки математического ожидания площади области покрытия беспроводной сенсорной сетью и параллельные алгоритмы точного расчета и оценки показателей надежности сети на суперЭВМ, в том числе с использованием графических ускорителей, а также другие методы.

Методами проектирования и структурной оптимизации сетей являются метод проектирования топологии инженерных сетей минимальной стоимости с обеспечением заданного уровня надежности на основе подхода k-кратчайших путей и генетический алгоритм размещения стоков в беспроводной сенсорной сети для получения максимально надежной топологии с точки зрения рассматриваемых показателей надежности.

На основе полученных методов разработаны и зарегистрированы алгоритмы и программные комплексы.

Проект РФФИ № 19-01-00562 А "Математические модели и алгоритмы для оптимизации функционирования сетей передачи данных с подвижными узлами".

Руководитель – к.т.н. Соколова О. Д.

Объект исследования – беспроводные сети с меняющейся топологией, в том числе сети с узлами на транспортных средствах. Основные задачи оптимизации функционирования таких сетей связаны со сбором информации и распространением сообщений между движущимися узлами.

Исследовались задачи оптимизации сбора и передачи данных, получили развитие некоторые оригинальные методы теории телетрафика применительно к ситуации, когда используется и кластеризация пользовательских мобильных терминалов, и промежуточная инфраструктура агрегирования трафика. Для уменьшения энергопотребления использован подход объединения главы кластера и рядовых узлов в топологию типа "звезда". Для моделирования поведения узлов применялись марковские процессы. Результаты работы могут использоваться для оценки производительности и повышения экономической отдачи сетей с подвижными узлами, таких как V2X, Multi-access edge computing, а также сетей, развернутых на беспилотных летательных аппаратах.

Исследованы известные имитационные модели для сетей с подвижными объектами, проведена адаптация среды моделирования движения транспортных средств SUMO к задачам проекта. Предложены оригинальные методы, разработаны алгоритмы оптимизации пропускной способности транспортных сетей. Рассматривалась задача оптимальной расстановки систем мониторинга на транспортной сети с учетом некоторых ограничений, проведен сравнительный анализ различных алгоритмов расстановки. Для вычисления доли оповещенных транспортных средств проведены эксперименты с использованием имитационного моделирования.

Значимость полученных научных результатов в том, что они могут быть применены для оптимизации распространения сообщений в транспортной среде, т. е. быстрого оповещения участников движения в критических ситуациях, что повышает безопасность на дорогах мегаполисов.

Проект РФФИ № 19-47-540007 p_a "Модели и алгоритмы для эффективного сбора и передачи пространственно-временных данных о состоянии атмосферы мегаполиса с помощью беспроводных сенсорных сетей (на примере Новосибирска)".

Руководитель – к.т.н. Соколова О. Д.

Исследовалась актуальная задача эффективного мониторинга состояния окружающей среды. Современная информационно-измерительная система мониторинга состояния атмосферы должна состоять из множества распределенных интеллектуальных датчиков, которые собирают и передают формируемые в реальном времени потоки пространственно-временных данных в аналитический центр для обработки и анализа. Развитие технологий в этой области привело к выделению класса интеллектуальных датчиков с возможностью определения своего местоположения – геосенсоров. Для решения проблемы мониторинга заданной области и оптимизации сбора информации от сети геосенсоров были проанализированы существующие математические модели и алгоритмы. Решалась задача оптимального распределения сети стационарных датчиков (для различных топологий исследуемой области на примере Новосибирска), поиска покрывающих множеств. Были разработаны эффективные приближенные алгоритмы.

Исследовалась задача сбора и передачи информации со стационарных геосенсоров с использованием мобильных стоков. Разработаны алгоритмы с учетом оптимизации энергопотребления при сборе данных.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Мигов, Д. А., Винс Д. В. Параллельная реализация и имитационное моделирование оценки надежности сети методом Монте-Карло // Вестн. ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. Т. 47. С. 66–74. DOI: 10.17223/19988605/47/8.

2. Kratov, S. V. About leaks of confidential data in the process of indexing sites by search crawlers // *Lect. Notes in Comput. Sci.* 2019. Vol. 11964. DOI: 10.1007/978-3-030-37487-7_16.
3. Kratov, S. V. On improving the indexing of information systems based on web technologies // *J. of Phys. Conf. Ser.* 2019. Vol. 1210. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012072.
4. Токтошов, Г. Ы., Юргенсон, А. Н., Мигов, Д. А. Оптимизация маршрутов прокладки магистрального трубопровода для транспортировки георесурсов // *Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов.* 2019. Т. 330, № 6. С. 41–49. DOI 10.18799/24131830/2019/6/2124.
5. Rodionov, A. S. On evaluating a network throughput // *Proc. of the 13th Intern. conf. on ubiquitous information management and communication "IMCOM".* 2019. Vol. 935. P. 34–41. DOI: 10.1007/978-3-030-19063-7_3.
6. Романов, А. Ю., Ведмидь, Е. А., Монахова, Э. А. Проектирование сетей на кристалле с топологией кольцевой циркулянт с тремя образующими: разработка алгоритмов маршрутизации // *Информ. технол.* 2019. № 9. С. 522–530. DOI: 10.17587/it.25.522-530.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Monakhov, O., Monakhova, E. An algorithm of multi-variant evolutionary synthesis of nonlinear models with realvalued chromosomes // *In: Decision Science in Action: Theory and Applications of Modern Decision Analytic Optimization.* Springer 2019. P. 41–49. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0860-4_4.
2. Monakhov, O., Monakhova, E. A. Comparative analysis of bioinspired algorithms for solving the problem of optimization of circulant and hypercirculant networks // *Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 100–103. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880247.
3. Kalney, A., Nasibullina, T., Migov, D., Rodionov, A., Tkachev, K., Toktoshev, G. Designing of optimal power supply networks for the equipment of multifunctional safety systems (MFSS) // *Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 187–191. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880253.
4. Lyakhov, O. A., Toktoshev, G. Y. The repair works planning problems in the utility networks nodes // *Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 92–95. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880256.
5. Tkachev, K. The interaction interface between the model and the observer agent in the simulation system // *Proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar "Optimization problems of complex systems" (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 204–207. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880245.
6. Scherbakova, N. G., Bredikhin, S. V. Normalized spectral clustering of the journal citation network // *Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 17–20. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880205.
7. Khutoretskii, A. B., Bredikhin, S. V. A greedy algorithm for jobs allocation in a multiprocessor system // *Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 82–85. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880192.
8. Toktoshev, G., Migov, D. The application of the k-shortest paths method for constructing an optimal hypernet // *Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019.* P. 162–166. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880221.
9. Materukhin, A. V., Maiorov, A. A., Gvozdev, O. G., Sokolova, O. D. Simulation of spatio-temporal data streams from geosensors located on mobile objects // *Optimization problems of*

complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 179–183. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880188.

10. Shakhov, V. V., Sokolova, O. D. Towards air pollution detection with Internet of vehicles // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 183–187. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880264.

11. Tkachev, K. V., Volzhankina, K. A., Migov, D. A. Comparison of the work of algorithms for arranging message distribution devices in transport networks // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. P. 200–203. DOI: 10.1109/OPCS.2019.8880212.

12. Sokolova, O., Shakhov, V., Yurgenson, A. On messages transmission in intelligent transport system // Russian automation conf. : proc. of the 2019 Intern. conf. "RusAutoCon", Sochi, Sept. 8–14, 2019. P. 1–5. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867691.

13. Shakhov, V., Jan, S. U., Ahmed, S., Koo, I. On lightweight method for intrusions detection in the Internet of things // 2019 IEEE International Black Sea conf. on communications and networking (BlackSeaCom), Sochi, June 3–6, 2019. P. 1–5. DOI: 10.1109/BlackSeaCom.2019.8812813.

14. Zybarev, Y., Kratov, S. The project office for bioresource collections management // Proc. of the 2019 Intern. multi-conf. on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Okt. 21–22, 2019. P. 0657–0660. DOI: 10.1109/sibircon48586.2019.8958441.

15. Shakhov, V., Koo, I. Towards robust IoT network topology in adversarial environments // Proc. of the 2019 Intern. multi-conf. on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Okt. 21–22, 2019. P. 0148–0151. DOI: 10.1109/sibircon48586.2019.8958240.

16. Rodionov, A. S. Fast Rough Bounds for the Coefficients of the Network Reliability Polynomial // Optimization problems of complex systems : proc. of the 15th Intern. Asian school-seminar (OPCS), Novosibirsk, Aug. 26–30, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-19063-7_3.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Рудометов, С. В., Соколова, О. Д. Моделирование передачи сообщений между движущимися объектами в транспортной среде // Програм. продукты и сист. 2019. Т. 32, № 1. С. 141–145. DOI: 10.15827/0236-235X.125.141-145.

2. Токтошов, Г. Ы., Мигов, Д. А. Об оптимизации сетей инженерных коммуникаций различного назначения // Вестн. Бурят. гос. ун-та. матем. информ. 2019. № 1. С. 78–90. DOI: 10.18101/2304-5728-2019-1-78-90.

3. Щербакова, Н. Г. Модели сетей с предпочтительным присоединением // Пробл. информ. 2019. № 3. С. 46–61.

4. Монахова, Э. А., Монахов, О. Г. Динамический алгоритм парной маршрутизации для аналитически задаваемых семейств циркулянтных сетей степени шесть // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : труды 19-й Междунар. науч.-техн. конф. / Под ред. В. И. Горбаченко, В. В. Дрождина : Пенза, 24–25 окт. 2019 г. С. 33–39.

5. Монахов, О. Г., Монахова, Э. А. Применение метаэвристического программирования для решения задачи символьной регрессии // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : труды 19-й Междунар. науч.-техн. конф. / Под ред. В. И. Горбаченко, В. В. Дрождина : Пенза, 24–25 окт. 2019 г. С. 27–33.

6. Токтошов, Г. Ы. Задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций различного назначения // Пробл. автом. и управл. 2019. № (36). С. 5–11. DOI: 10.5281/zenodo.3252965.

7. Насибуллина, Т. В., Мигов, Д. А. Практические аспекты моделирования сети энергоснабжения оборудования многофункциональной системы безопасности угольной шахты // Имитационное моделирование. Теория и практика : труды 9-й Всерос. науч.-практ. конф. по

имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности ("ИММОД-2019"), Екатеринбург, 16–18 окт. 2019 г. Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2019. ISBN 978-5-91450-172-0. С. 327–332.

8. Токтошов, Г. Ы. Об одной задаче мультикритериальной оптимизации сетей инженерных коммуникаций // Обработка информации и математическое моделирование : материалы Российской науч.-техн. конф., Новосибирск, 25–26 апреля 2019 г. С. 192–197.

9. Юргенсон, А. Н., Мигов, Д. А. О сложности задачи поиска гиперсети минимальной стоимости [Электрон. ресурс] // Проблемы оптимизации сложных систем : труды 15-й Междунар. Азиат. школы-семина., Новосибирск, 26–30 авг. 2019 г. С. 85–89. DOI: 10.24411/9999-018A-2019-10012.

10. Ткачёв, К. В., Волжанкина, К. А. Имитационное моделирование мониторинга в сетях с движущимися объектами // Проблемы оптимизации сложных систем : труды 15-й Междунар. Азиат. школы-семина., Новосибирск, 26–30 авг. 2019 г. С. 68–73. DOI: 10.24411/9999-018A-2019-10013.

11. Мигов, Д. А., Волжанкина, К. А. Генетический алгоритм размещения стоков в беспроводных сенсорных сетях с ненадежными узлами для повышения вероятности успешного мониторинга // Проблемы оптимизации сложных систем : труды 15-й Междунар. Азиат. школы-семина., Новосибирск, 26–30 авг. 2019 г. С. 328–332. DOI: 10.24411/9999-016A-2019-10052.

12. Ляхов, О. А. Алгоритмы построения начального плана в задачах транспортной логистики // Тез. Междунар. науч. конф. "Марчуковские научные чтения-2019", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г. Новосибирск: ИПЦНГУ, 2019. С. 139. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10283.

13. Ляхов, О. А. Таксономический анализ в маршрутизации транспорта [Электрон. ресурс] // Обработка информации и математическое моделирование : материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 25–26 апр. 2019 г. Новосибирск: СИБГУТИ, 2019. С. 162–167. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39936711>.

14. Моисеенко, В. В. Научное проектирование в академическом институте // Пробл. информ. 2019. Т. 4. С. 33–41.

15. Khutoretskii, A. B., Bredikhin, S. V., Zamyatin, A. A. A lexicographic 0,5-Approximation algorithm for the multiple knapsack problem // J. of Appl. and Indust. Math. 2018. Vol. 12, N 2. P. 108–121. DOI: 10.1134/S1990478918020011.

16. Бредихин, С. В., Ляпунов, В. М., Щербакова, Н. Г. Спектральный анализ сети цитирования журналов. Ч II // Пробл. информ. 2019. № 1. С. 30–41.

17. Khutoretskii, A. B., Bredikhin S. V. Allocating indivisible jobs in a multiprocessor system [Electron. resource] // Параллельные вычислительные технологии : труды 13-й Междунар. конф. "ПаВТ' 2019", Калининград, 2–4 апр. 2019 г. С. 444. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37327290_83724801.pdf.

18. Нестеров, С. Н., Мигов, Д. А., Снытникова, Т. В. Параллельные методы расчета надежности сетей // Молодежь. Инновации. Технологии : труды междунар. конф. "МНТК-2019", Новосибирск, 23–25 апр. 2019 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. С. 23–24.

19. Мигов, Д. А., Волжанкина, К. А. Генетические алгоритмы расстановки объектов в сетях различного назначения // Молодежь. Инновации. Технологии : труды междунар. конф. "МНТК-2019", Новосибирск, 23–25 апр. 2019 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. С. 25–27.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

1. Свидетельство № 2019662631. Программа для ЭВМ "Программа оптимизации циркулянтных топологий на основе генетического алгоритма" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Монахов О. Г., Монахова Э. А. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019. Дата публикации 27.09.2019. Бюл. № 10.

2. Свидетельство № 2019664252. Программа для ЭВМ "Параллельная программа расчета надежности сетей" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Мигов Д. А. : правообладатель ИВМиМГ. Дата публикации 01.11.2019.

Свидетельства о регистрации в ФАП СО РАН

1. Свидетельство о регистрации программы в ФАП СО РАН № PR19006. Параллельная программа расчета надежности сети. Версия 2 / Д. А. Мигов.

2. Свидетельство о регистрации программы в ФАП СО РАН № PR19007. Имитационная модель для расчета эффективности мониторинга в сетях с движущимися объектами. Версия 3 / К. В. Ткачëв.

3. Свидетельство о регистрации программы в ФАП СО РАН № PR19005. Метод расстановки стоков для повышения надежности сбора информации в сети с ненадежными элементами. Версия 2 / К. А. Волжанкина, Д. А. Мигов.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 9-я Всерос. науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД-2019), Екатеринбург, 16–18 октября 2019 г. – 1 доклад (Мигов Д. А.).

2. A.P. Ershov informatics conference, Novosibirsk, July 2–5, 2019 – 1 доклад (Kratov S.).

3. 2019 International multi-conference on engineering, computer and information sciences "SIBIRCON", Novosibirsk, Oct. 21–27, 2019 – 2 доклада (Кратов С. В., Шахов В. В.).

4. Российская научно-техническая конференция "Обработка информации и математическое моделирование", Новосибирск, 25–26 апреля 2019 г. – 2 доклада (Токтошов Г. Ы., Ляхов О. А.).

5. 15-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 август 2019 г. – 10 докладов (Токтошов Г. Ы., Мигов Д. А., Ляхов О. А., Соколова О. Д., Шахов В. В., Ткачëв К. В., Волжанкина К. А., Бредихин С. В., Щербакова Н. Г., Монахов О. Г., Монахова Э. А., Родионов А. С.).

6. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19), 1–5 июля 2019 г., Новосибирск – 2 доклада (Токтошов Г. Ы., Ляхов О. А.).

7. International russian automation conference ("RusAutoCon"), Sochi, Sept. 8–14, 2019 – 1 доклад (Соколова О. Д., Шахов В. В., Юргенсон А. Н.).

8. Международная конференция "Молодежь. Инновации. Технологии" (МНТК-2019), Новосибирск, 23–25 апреля 2019 г. – 2 доклада (Мигов Д. А., Волжанкина К. А.).

9. 4-я Международная конференция по компьютерным наукам и информационному инжинирингу "ICCSIE-2019", Beijing (China), September 27–28, 2019 – 1 доклад (Мигов Д. А.).

10. 4-я Международная научно-практическая конференция "Информатика и прикладная математика", Алматы (Казахстан), 25–29 сентября 2019 г. – 1 доклад (Родионов А. С.).

11. The 13th International conference on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2019", Phuket (Thailand), 4–6 January, 2019 – 1 доклад (Родионов А. С.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Шахов В. В.:

- член организационного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.,
- член программного комитета IEEE International multi-conference on engineering, computer and information sciences ("SIBIRCON"), Novosibirsk, October 21–27, 2019,
- член программного комитета International conference on ubiquitous information management and communication ("IMCOM"), Phuket (Thailand), January 4–6, 2019;

2. Монахов О. Г. – член программного комитета International conference on communication and intelligent systems (ICCIS19), Jaipur (India), November 9–10, 2019;

3. Токтошов Г. Ы. – заместитель председателя оргкомитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.;

4. Соколова О. Д. – ученый секретарь программного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.;

5. Юргенсон А. Н.:

- член организационного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.,
- член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.,

6. Волжанкина К. А. – член организационного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.;

7. Ткачёв К. В.:

- член организационного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.,
- член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

8. Мигов Д. А. – член организационного комитета 15-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Новосибирск, 26–30 августа 2019 г.;

9. Родионов А. С.:

- член организационного комитета IEEE 15th International Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, 26–30 August,
- член программного комитета 13th International conference on ubiquitous information management and communication "IMCOM 2019", Phuket (Thailand), January 4–6, 2019,
- член программного комитета International multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON 2019), Novosibirsk, October 21–27, 2019,
- член программного комитета 5th Ural workshop on parallel, distributed, and cloud computing for young scientists ("Ural-PDC 2019"), Ekaterinburg, October 26, 2019,
- член программного комитета 20th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Erlagol (Altai region), June 29 – July 3, 2019,
- член программного комитета 4-й Международной научно-практической конференции "Информатика и прикладная математика", посвящ. 70-летию проф. Биярова Т. Н.,

проф. Вуйчика В. и 60-летию проф. Амиргалиева Е. Н., Алматы (Казахстан), 25–29 сентября 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 6
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 21
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 45
 Свидетельств о регистрации программ в Роспатенте – 2
 Докладов на конференциях – 24, в том числе 2 пленарных
 Участников оргкомитетов конференций – 18

Кадровый состав

1. Родионов А. С.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Бакулина М. П.	н.с.	к.ф-м.н.
3. Бредихин С. В.	в.н.с.	к.т.н.
4. Волжанкина К. А.	м.н.с.	
5. Капустина Г. А.	ведущ. инженер	
6. Кратов С. В.	н.с.	
7. Ляпунов В. М.	ведущ. инженер	
8. Ляхов О. А.	н.с.	к.э.н.
9. Мигов Д. А.	с.н.с.	к.ф-м.н.
10. Моисеенко В. В.	н.с.	
11. Монахов О. Г.	в.н.с.	к.т.н.
12. Монахова Э. А.	с.н.с.	к.т.н.
13. Рудометов С. В.	н.с.	к.т.н.
14. Соколова О. Д.	с.н.с.	к.т.н.
15. Ткачев К. В.	м.н.с.	
16. Токтошов Г. Ы.	н.с.	к.т.н.
17. Трофимова Л. В.	ведущ. инженер	
18. Шахов В. В.	с.н.с.	к.ф-м.н.
19. Щербакова Н. Г.	с.н.с.	
20. Юргенсон А. Н.	н.с.	к.ф-м.н.

Волжанкина К. А., Ткачев К. В. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Бакулина М. П.	– ст. преподаватель НГУ
Шахов В. В.	– доцент НГТУ
Мигов Д. А.	– ассистент НГУ
Токтошов Г. Ы.	– доцент СибГУТИ
Волжанкина К. А.	– ст. преподаватель ВКИ НГУ
Ткачев К. В.	– ст. преподаватель ВКИ НГУ
Родионов А. С.	– профессор НГУ и СибГУТИ

Руководство студентами

1. Нагонова В. М.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Токтошов Г. Ы.
2. Нестеренко Д. Д.	– 4-й курс СибГУТИ, руководитель Токтошов Г. Ы.
3. Тарханова О. Ю.	– 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Шахов В. В.

-
- | | |
|----------------------|--|
| 4. Злотникова Р. Е. | – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Шахов В. В. |
| 5. Хагай В. В. | – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Шахов В. В. |
| 6. Мистюрин В. В. | – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Родионов А. С. |
| 7. Кальней А. М. | – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Родионов А. С. |
| 8. Ластович А. А. | – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Шахов В. В. |
| 9. Голубь С. А. | – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Шахов В. В. |
| 10. Куянцев В. П. | – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Родионов А. С. |
| 11. Никифорова Е. А. | – 4-й курс СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |
| 12. Ивонин К. А. | – 4-й курс СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |
| 13. Строгова М. Д. | – 4-й курс СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |
| 14. Сидоров Н. О. | – 4 курс СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |

Защита дипломов

- | | |
|---------------------|---|
| 1. Мистюрин В. В. | – магистратура НГУ, руководитель Родионов А. С. |
| 2. Кальней А. М. | – магистратура НГУ, руководитель Родионов А. С. |
| 3. Тарханова О. Ю. | – магистратура НГУ, руководитель Шахов В. В. |
| 4. Никифорова Е. А. | – бакалавр СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |
| 5. Ивонин К. А. | – бакалавр СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |
| 6. Строгова М. Д. | – бакалавр СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |
| 7. Сидоров Н. О. | – бакалавр СибГУТИ, руководитель Родионов А. С. |

Награды

Родионов А. С. – Почетная грамота Новосибирского государственного университета, нагрудный знак "Почетный работник НГУ I степени".

Лаборатория синтеза параллельных программ

Зав. лабораторией д.т.н. Малышкин В. Э.

Важнейшие достижения

Разработка алгоритмов, повышающих производительность системы LuNA

Д.т.н. Малышкин В. Э., Перепёлкин В. А., Беляев Н. А., Киреев С. Е.

Разработаны и реализованы алгоритмы системы LuNA, существенно повышающие ее производительность. Система автоматизации конструирования параллельных программ численного моделирования LuNA освобождает пользователя от решения таких сложных задач параллельного программирования, как программирование коммуникаций, синхронизация процессов и потоков, планирование вычислений, распределение и динамическое перераспределение ресурсов и т. п. Основным результатом исследований в 2019 г. стало существенное (до 1–1,5 порядков) повышение производительности работы системы LuNA по сравнению с предыдущей версией системы, что позволило: 1) повысить производительность исполнения LuNA-программ и 2) расширить класс прикладных задач, на которых система LuNA обеспечивает приемлемую производительность. Отставание в производительности от ручной реализации составляет 2–3 раза и более (для сложных программ). Повышение производительности достигнуто за счет трансляции исходной LuNA-программы в новую императивную модель вычислений мультиагентного типа, а также за счет применения узкоспециализированных алгоритмов компиляции и исполнения к LuNA-программам частного вида.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Malyshkin, V., Perepelkin, V. Automated construction of high performance distributed programs in LuNA system // Lect. Notes in Comput. Sci. 2019. Vol. 11657. P. 3–9. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_1
2. Belyaev, N., Kireev, S. (2019) LuNA-ICLU compiler for automated generation of iterative fragmented programs // Lect. Notes in Comput. Sci. 2019. Vol. 11657. P. 10–17. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_2.

Результаты исследований представлены на конференции

The 15th International conference on parallel computing technologies (PaCT-2019), Almaty, Kazakhstan, August 19–23, 2019.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Технологии, алгоритмы и система автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования на пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0007.

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

Этап 2019. 1) Разработка программного комплекса для автоматизации управления вычислениями хранением данных на множестве объединенных неоднородных высокопроизводительных вычислительных систем, систем хранения данных. 2) Разработка алгоритмов построения распределенных клеточных массивов для задач моделирования.

Работа выполнена в рамках развития проектов HPC Community Cloud (HPC2C) и NumGrid. В рамках проекта HPC2C должна быть создана система высокоуровневого управления организацией вычислений, обеспечивающая программный и пользовательский интерфейсы для управления организацией вычислений на удаленных высокопроизводительных вычислительных системах (ВВС). Сервисы HPC2C позволяют программно (через RESTful интерфейс) или средствами веб-приложения перемещать файлы между персональным компьютером пользователя, файловым хранилищем HPC2C и ВВС, к которым у пользователя есть персональный доступ (учетная запись), осуществлять постановку и отслеживание выполнения вычислительных задач на ВВС. Особенности работы с различными ВВС состоят в расширяемом наборе модулей управления, при этом интерфейс пользователя унифицирован.

В рамках проекта NumGrid должен быть создан инструмент для организации параллельных вычислений на объединении высокопроизводительных вычислительных систем, в частности обеспечивающий возможность выполнения MPI-программ с распределением процессов между несколькими высокопроизводительными вычислительными системами.

В 2019 г. средства управления организацией вычислений на объединении неоднородных высокопроизводительных вычислительных систем развивались в двух направлениях: 1) обеспечена возможность организации распределенных вычислений на основе NumGrid через интерфейсную систему HPC2C, 2) обеспечена возможность задавать сценарии вычислений – множество задач, которые должны быть выполнены на различных высокопроизводительных вычислительных системах, при этом задачи могут быть связаны между собой информационными зависимостями, которые накладывают частичный порядок на множестве задач. Порядок постановки распределенной задачи включает выбор ВВС, предполагаемых к объединению, сборку исполняемых файлов на каждой из выбранных ВВС, постановку вычислительных задач в рамках каждой из ВВС, развертывание шлюзов для передачи сообщений между ВВС, обеспечивающих связывание отдельных задач в единую задачу NumGrid. Поддержка выполнения всех шагов обеспечивается в HPC2C.

Реализация вычислительных сценариев основана на использовании программного интерфейса HPC2C для обеспечения перемещения файлов и управления вычислительными задачами. Пользователь визуально описывает граф вычислений: задает операции и связывает их в нужном порядке через переменные. Операция специфицируется как обращение к программному интерфейсу HPC2C для реализации той или иной функции.

Таким образом, в программный комплекс в 2019 г. объединены средства управления вы-

числениями HPC Community Cloud, организации распределенных вычислений NumGrid, разработки и реализации сценариев вычислений, для чего были разработаны: 1) модули удаленного управления вычислительными задачами на серверах без систем управления прохождением задач (СУПЗ); 2) модули удаленного управления вычислительными задачами на кластерах с СУПЗ PBS, Torque; 3) средства управления распределенными задачами NumGrid как комплексом обычных вычислительных задач, веб-приложение, реализующее среду визуальной разработки вычислитель-

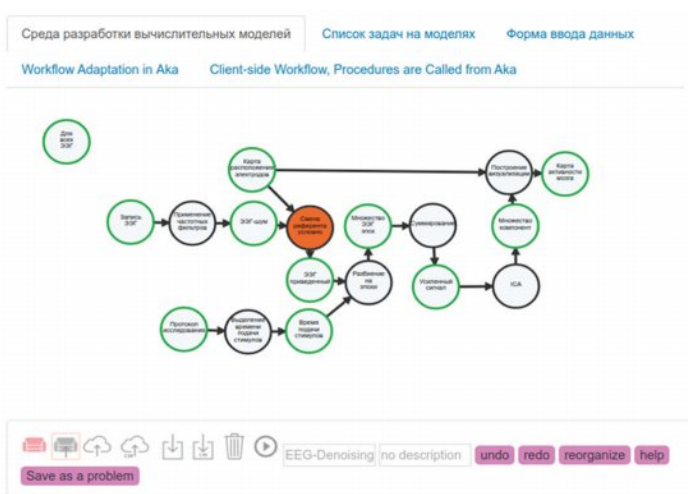


Рис. 1: Пример визуализации вычислительного сценария в веб-приложении HPC2C

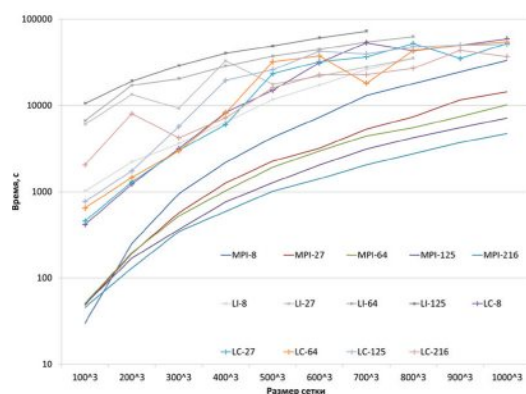


Рис. 2: Производительность на модельной задаче (3D)

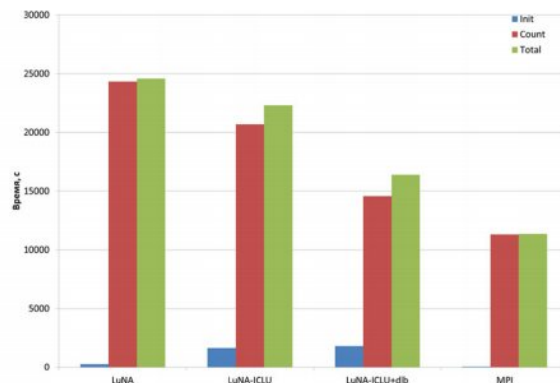


Рис. 3: Производительность приложения на основе метода PIC (3D)

ных сценариев, постановки задач и визуализации выполнения вычислительных сценариев; 4) форма представления и система хранения сценариев; 5) система выполнения вычислительных сценариев.

Выполнены работы по оптимизации производительности системы LuNA. Использование системы LuNA позволяет абстрагироваться от ряда проблем организации вычислений на мультимашинных системах, таких как распределение ресурсов, организация синхронизаций и коммуникаций, балансировка вычислительной нагрузки и проч. Повышение уровня абстракции достигается за счет того, что вычисления описываются в аппаратно независимой форме (LuNA-программа), а конкретная параллельная программа, реализующая вычисления, конструируется и исполняется автоматически системой LuNA. При этом система LuNA осуществляет настройку программы на конкретные ресурсы вычислителя и параметры задачи. Одной из проблем системы LuNA является относительно низкая производительность, поэтому в 2019 г. выполнены работы по ее оптимизации.

Во-первых, разработана модель промежуточного представления LuNA-программы, основанная на мультиагентном подходе и являющаяся императивной (в противоположность исходно декларативному представлению). Исходная LuNA-программа транслируется в это представление, которое затем параллельно исполняется системой. Разработаны алгоритмы трансляции LuNA-программ в промежуточное представление и алгоритмы исполнения промежуточного представления.

На рис. 2 показано время выполнения различных реализаций модельной задачи распространения тепла в единичном кубе: MPI – программа, разработанная вручную с использованием стандарта MPI; LI (LuNA Interpreter) – предыдущая версия системы LuNA, основанная на интерпретации LuNA-программы; LC (LuNA Compiler) – новая версия системы LuNA, основанная на трансляции исходной программы в промежуточное императивное представление. Предлагаемый подход позволил существенно сократить издержки на выполнение LuNA-программ, что особенно заметно при мелкой фрагментации задачи.

Во-вторых, разработаны алгоритмы эффективного исполнения LuNA-программ частного вида, к которому относятся итерационные задачи на регулярных прямоугольных сетках в одно-, двух- и трехмерном случаях. Основной идеей алгоритмов является распознавание принадлежности исходной LuNA-программы к поддерживаемому классу с последующей генерацией специализированного кода, основанного на заранее заготовленных шаблонах параллельной программы. Благодаря узкой специализации генерируемый код является более производительным, чем в общем случае.

На рис. 3 показано время выполнения различных программ, моделирующих эволюцию протопланетного диска в трехмерной области методом частиц-в-ячейках: LuNA-исполнение

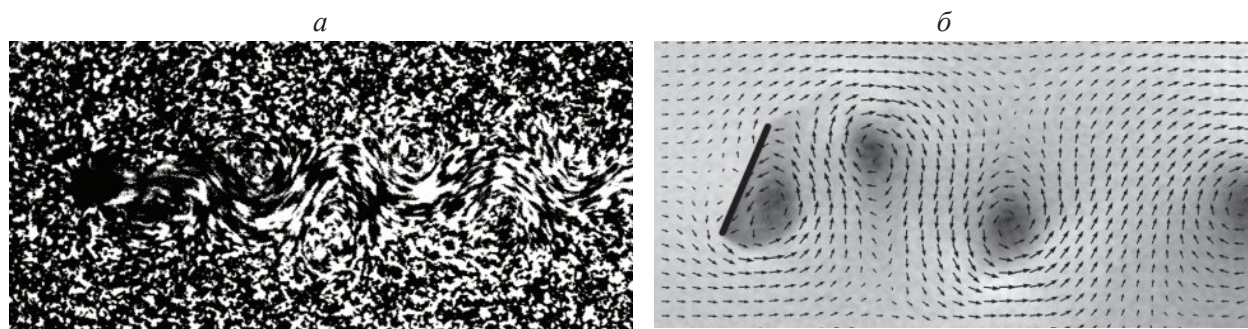


Рис. 4: Фотография вихревой дорожки (а); вихревая дорожка Кармана, полученная в эксперименте с клеточно-автоматной моделью

с помощью общего алгоритма; LuNA-ICLU – частный сгенерированный код; LuNA-ICLU+dlb – частный сгенерированный код с динамической балансировкой нагрузки на узлы; MPI – реализация алгоритма вручную с использованием стандарта MPI. Сгенерированный специализированным алгоритмом код более производителен, чем базовый алгоритм LuNA, хотя и уступает ручной реализации средствами MPI.

Разработаны алгоритмы построения распределенных клеточных массивов для задач моделирования. Распределение осуществляется на нескольких уровнях. На уровне ядра обеспечивается взаимодействие всех компонентов системы. На уровне топологий клеточного массива осуществляется отображение индексов клеток автомата в номера элементов структуры данных, используемой для представления клеточного массива в памяти вычислителя. На уровне класса моделей определяется внутренний формат элементов этой структуры данных и осуществляется отображение номеров элементов структуры в адреса ячеек памяти вычислителя. На уровне моделей природных процессов формулируются методы обработки клеток как элементов упомянутой структуры. На уровне компьютерных экспериментов производится физическое выделение памяти вычислителем для размещения в ней клеток массива.

Создан прототип библиотеки функций, реализующих алгоритмы построения распределенных клеточных массивов, позволяющей систематизировать процесс разработки и исследования клеточно-автоматных моделей, унифицировать процесс внедрения моделей в систему облачных вычислений, а также формировать библиотеку клеточно-автоматных моделей в духе философии активных знаний.

Опробован метод внедрения алгоритмов распределенных клеточных массивов в систему облачных вычислений на примере реализации клеточно-автоматной модели газового потока. Полученная программная реализация позволяет задавать параметры экспериментов и запускать задания на вычислительные кластеры, а также обрабатывать результаты вычислений. Система позволяет проводить большое количество компьютерных экспериментов, требуемое для валидации клеточно-автоматных моделей. Проведены компьютерные эксперименты по моделированию турбулентного потока, в результате которых получена дорожка Кармана (рис. 4), что соответствует физическим представлениям.

На рис. 4а в качестве образца воспроизведена фотография вихревой дорожки из книги Kármán T. (1963) *Aerodynamics*. First McGraw-Hill Paperback Edition. P. 68, fig. 31. На рис. 4б показана вихревая дорожка Кармана, полученная в результате компьютерного эксперимента с клеточно-автоматной моделью. Параметры эксперимента: размер области 3000×1500 клеток; координаты концов препятствия (350, 600) и (550, 1100); количество итераций 30 тыс.; период отделения пары вихрей приблизительно 11 тыс. итераций. Стрелки отображают

направление и скорость потока в точке. Темные участки фона соответствуют низкому давлению, светлые – высокому.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Malyshkin, V., Perepelkin, V. Automated construction of high performance distributed programs in LuNA system // PaCT-2019 proc. LNCS 11657. Springer. 2019. P. 3–9. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_1.
2. Belyaev, N., Kireev, S. LuNA-ICLU compiler for automated generation of iterative fragmented programs // PaCT-2019 proc. LNCS 11657. Springer. 2019. P. 10–17. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_2.
3. Gorodnichev, M., Medvedev, Y. A web-based platform for interactive parameter study of large-scale lattice gas automata // PaCT-2019 proc. LNCS 11657. Springer. 2019. P. 321–333. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_25.
4. Kireeva, A., Sabelfeld, K. K., Kireev, S. Synchronous multi-particle cellular automaton model of diffusion with self-annihilation // PaCT-2019 proc. LNCS 11657. Springer. 2019. P. 345–359. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_27.
5. Akhmed-Zaki, D., Lebedev, D., Perepelkin, V. Implementation of a 3D model heat equation using fragmented programming technology // J. of Supercomp. Dec. 2019. Vol. 75, iss. 12. P. 7827–7832. <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2710-1>.
6. Malyshkin, V. E. Parallel computing technologies 2018. Automatic parallel implementation of applications // J. of Supercomp. Dec. 2019. Vol. 75, iss. 12. P. 7747–7749. <https://doi.org/10.1007/s11227-019-03014-1>.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Непомнящая, А. Ш., Снытникова, Т. В. Ассоциативный параллельный алгоритм для динамической обработки дерева кратчайших путей после добавления новой дуги // Прикл. дискр. матем. 2019. № 46. С. 58–71. DOI: 10.17223/20710410/46/5.

Издания, включенные в реферативную базу данных РИНЦ

1. Снытникова, Т. В. Развитие ассоциативных параллельных архитектур // Пробл. информ. 2019. № 2. С. 36–50.
2. Арыков, С. Б. Методы задания управления в технологии фрагментированного программирования // Юж.-Сиб. науч. вестн. 2019. № 2. С. 45–50. DOI: 10.25699/SSSB.2019.2(26).
3. Мигов, Д. А., Нестеров, С. Н., Снытникова, Т. В. Параллельные методы расчета надежности сетей // Молодежь, инновации, технологии : сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 23–25 апр. 2019 г. / Под ред. Е. Г. Гуровой, С. В. Макарова. 2019. С. 23–24.
4. Ажбаков, А. А., Перепелкин, В. А. Разработка и реализация переносимых алгоритмов распределенного исполнения фрагментированных программ на неоднородных вычислителях // Пробл. информ. 2019. № 1. С. 51–69.
5. Ахмед-Заки, Д., Лебедев, Д., Малышкин, В., Перепелкин В. Автоматизация конструирования распределенных программ численного моделирования в системе LuNA на примере модельной задачи // Пробл. информ. 2019. № 4. С. 4–12.

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 15th International conference on parallel computing technologies (PaCT-2019), Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019 – 4 доклада (Малышкин В. Э., Городничев М. А., Беляев Н. А., Киреев С. Е., Перепелкин В. А., Медведев Ю. Г.).

2. The 13th International conference on parallel processing and applied mathematics, Белосток (Польша), 8–11 сентября 2019 г. – 1 доклад (Малышкин В. Э.).
3. 13-я Междунар. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2019), Калининград, 2–4 апреля 2019 г. – 1 доклад (Щукин Г. А.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Малышкин В. Э.:
 - член программного комитета "The 13th International conference on parallel processing and applied mathematics" (PPAM 2019), Белосток (Польша), 8–11 сентября 2019 г.,
 - член программного комитета "The International conference on high performance computing & simulation (HPCS 2019), The 17th Annual Meeting", Dublin (Ireland), July 15–19, 2019,
 - член программного комитета "The 14th International conference on green, pervasive and cloud computing" (GPC'19), Uberlandia (Brazil), May 26–28, 2019,
 - член программного комитета и оргкомитета "The 15th International conference on parallel computing technologies", Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019,
 - член оргкомитета 32-й Летней международной молодежной школы-конференции по параллельному программированию, Новосибирск, 1–12 июля 2019 г.,
 - член оргкомитета 31-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 28 января – 1 февраля 2019 г.;
2. Городничев М. А.:
 - член оргкомитета 31-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 28 января – 1 февраля 2019 г.,
 - член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019,
 - член оргкомитета 32-й Летней международной молодежной школы-конференции по параллельному программированию, Новосибирск, 1–12 июля 2019 г.;
3. Перепёлкин В. А.:
 - член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019,
 - член оргкомитета 31-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 28 января – 1 февраля 2019 г.,
 - член оргкомитета 32-й Летней международной молодежной школы-конференции по параллельному программированию, Новосибирск, 1–12 июля 2019 г.;
4. Киреев С. Е. – член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019;
5. Арыков С. Б. – член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019;
6. Ачасова С. М. – член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019;
7. Маркова В. П. – член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019;
8. Медведев Ю. Г. – член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019;
9. Щукин Г. А. – член оргкомитета The 15th International conference on parallel computing technologies, Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019.

Международные научные связи

1. Лаборатория синтеза параллельных программ ИВМиМГ СО РАН совместно с лабораторией компьютерных наук НИИ Математики и механики Казахского национального университета им. аль-Фараби участвует в выполнении двух проектов: 1) «Создание высокопроизводительных интеллектуальных технологий анализа и принятия решения для системы "Логистика – агломерация" в рамках формирования цифровой экономики РК»; 2) "Разработка системы управления активными знаниями для автоматизации конструирования высокопроизводительных параллельных программ обработки неструктурированных данных и численного моделирования в задачах фильтрации". Координаторы работ по темам: с казахской стороны – д.т.н., проф. Д. Ж. Ахмед-Заки, с российской стороны – д.т.н., проф. В. Э. Малышкин.

2. Малышкин В. Э. – член редколлегии международных журналов "The Journal of Parallel and Distributed Computing", "The International Journal of Big Data Intelligence", "The Journal of Supercomputing", "The International Journal of Computational Science and Engineering".

Итоговые данные по лаборатории

Публикации, индексируемые в базе данных Web of Science – 6

Публикации, индексируемые в базе данных Scopus – 7

Публикации, индексируемые в базе данных РИНЦ – 12

Докладов на конференциях – 6

Участников организации конференций – 18

Кадровый состав

1. Малышкин В. Э.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Ачасова С. М.	с.н.с.	к.т.н.
3. Маркова В. П.	с.н.с.	к.т.н.
4. Медведев Ю. Г.	с.н.с.	к.т.н.
5. Непомнящая А. Ш.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
6. Скопин И. Н.	с.н.с.	к.т.н.
7. Арыков С. Б.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
8. Калгин К. В.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
9. Киреев С. Е.	н.с.	
10. Городничев М. А.	н.с.	
11. Снытникова Т. В.	м.н.с.	
12. Перепелкин В. А.	н.с.	
13. Щукин Г. А.	н.с.	
14. Савукова В. А.	техник 1-й катег.	

Арыков С. Б., Городничев М. А., Калгин К. В., Перепелкин В. А., Снытникова Т. В., Щукин Г. А. – молодые научные сотрудники.

Проведение лабораторией международной конференции и школ по параллельному программированию

1. The 15th International conference on parallel computing technologies (PaCT-2019), Almaty (Kazakhstan), August 19–23, 2019.

2. 32-я Летняя международная молодежная школа-конференция по параллельному программированию, Новосибирск, 1–12 июля 2019г.

3. 31-я Зимняя школа по параллельному программированию, Новосибирск, 28 января – 1 февраля 2019 г.

Педагогическая деятельность

Малышкин В. Э.	– профессор, зав. кафедрой НГУ и НГТУ
Маркова В. П.	– доцент НГУ и НГТУ
Арыков С. Б.	– доцент НГТУ
Киреев С. Е.	– ст. преподаватель НГУ
Медведев Ю. Г.	– доцент ВКИ НГУ
Городничев М. А.	– ассистент НГУ и НГТУ
Калгин К. В.	– ст. преподаватель НГУ
Перепелкин В. А.	– ст. преподаватель НГУ
Щукин Г. А.	– ассистент НГТУ

Руководство аспирантами

1. Беляев Н. А. – ИВМиМГ, руководитель Малышкин В. Э.
2. Нурислам Муратбекулы Касымбек – Казахский национальный университет им. аль-Фараби, руководители Лебедев Д. В. (Каз.НУ им. аль-Фараби), Малышкин В. Э.

Защита дипломов

1. Артюхов А. А. – бакалавр НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
2. Ижицкий Р. Л. – бакалавр НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
3. Тренин С. А. – бакалавр НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
4. Дроздов Э. К. – бакалавр НГТУ, руководитель Маркова В. П.
5. Можаев А. С. – бакалавр НГТУ, руководитель Маркова В. П.
6. Ажбаков А. А. – магистр НГУ, руководитель Малышкин В. Э.

Руководство студентами

1. Чмиль А. В. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
2. Кудинов А. Ю. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
3. Шмидт М. С. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
4. Полушин К. А. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Городничев М. А.
5. Иванишкин Д. С. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Городничев М. А.
6. Холявко П. О. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Городничев М. А.
7. Ершов С. И. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Медведев Ю. Г.
8. Юрганов Д. С. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Калгин К.В.
9. Парфёнов Д. Р. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
10. Плешков А. В. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
11. Александров Е. А. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
12. Вершинин М. О. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
13. Макаренко Д. Е. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
14. Лямин А. С. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
15. Масыч М. А. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Перепёлкин В. А.
16. Жосов Н. А. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Городничев М. А.
17. Зыкин М. И. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Киреев С. Е.
18. Борзов А. С. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Киреев С. Е.

-
19. Бурнышев Е. К. – 3-й курс ФИТ НГУ, руководитель Киреев С. Е.
20. Мошкина А. Д. – 2-й курс магистратуры ФПМИ НГТУ, руководитель Городничев М. А.
21. Нестёркина А. А. – 2-й курс магистратуры ФПМИ НГТУ, руководитель Городничев М. А.
22. Кислицын И. О. – 2-й курс магистратуры ФПМИ НГТУ, руководитель Городничев М. А.
23. Макарова Н. А. – 1-й курс ФПМИ НГТУ, руководитель Городничев М. А.

Лаборатория суперкомпьютерного моделирования

Зав. лабораторией к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Важнейшие достижения

Обоснование нестандартности взрыва сверхновых типа Ia с помощью вычислительного эксперимента на суперЭВМ, оснащенных векторными инструкциями

Д.ф.-м.н. Куликов И. М., к.ф.-м.н. Черных И. Г., д.ф.-м.н. Тутуков А. В. (Институт астрономии РАН)

Обоснована нестандартность взрыва сверхновых типа Ia с помощью вычислительного эксперимента на суперкомпьютере НКС-1П, оснащенный процессорами Intel Xeon Phi KNL. Для описания эволюции белых карликов и их взрыва в виде сверхновой типа Ia разработана гидродинамическая модель вырожденного газа с использованием звездного уравнения состояния. Для описания гидродинамической модели используется система уравнений гравитационной газовой динамики, переопределенная уравнением для энтропии. Такая запись уравнений позволяет разработать эффективную программную реализацию с использованием векторных инструкций AVX-512. Вычислительные эксперименты показали, что в зависимости от ядерного горения углерода варьируется энергия взрыва, что приводит к различию в кривых блеска, что, в свою очередь, говорит о ненадежности использования сверхновых типа Ia в виде "стандартных свечей" для измерения расстояний во Вселенной.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Kulikov, I., Chernykh, I., Tutukov, A. A new hydrodynamic code with explicit vectorization instructions optimizations, dedicated to the numerical simulation of astrophysical gas flow. I. Numerical method, tests and model problems // The Astrophys. J. Suppl. Ser. 2019. Vol. 243. Art. Num. 4.

2. Kulikov, I., Chernykh, I., Karavaev, D., Berendeev, E., Protasov, V. HydroBox3D: Parallel & distributed hydrodynamical code for numerical simulation of Supernova Ia // Lect. Notes in Comput. Sci. 2019. Vol. 11657. P. 187–198.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2019 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Разработка суперкомпьютерных технологий и методов решения сложных физических задач на высокопроизводительных вычислительных системах".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0009.

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

Этап 2019 г.

Одной из важнейших задач лаборатории является создание физико-математических моделей течения плазмы в открытых магнитных ловушках и обоснование возможности их применения для численного моделирования физических процессов. В частности, поставлена задача разработки новых численных моделей течения плазмы в осесимметричной открытой ловушке, основанной на кинетическом приближении для ионной компоненты плазмы и МГД приближении для замагниченной электронной компоненты (гибридная модель с использованием метода частиц). Разработанная гибридная численная модель, основанная

на МГД приближении для электронной компоненты плазмы и кинетическом приближении для ионов, нацелена на возможность адекватно учитывать основные физические процессы мощных плазменных потоков в открытых плазменных системах и применять ее для анализа результатов проводимых и планируемых экспериментов. Условия и возможности ее применения, полученные на основе существующих теоретических оценок и экспериментальных данных, были проверены и уточнены при численном моделировании и проделанной теоретической работе. Создан и протестирован двумерный аксиально симметричный гибридный численный код и проведена серия предварительных численных экспериментов для параметров плазмы, инжектируемого пучка и начальной конфигурации магнитного поля, соответствующих условиям лабораторных экспериментов. Выполнены тестовые расчеты, продемонстрировавшие накопление плазмы, вытеснение магнитного поля из занятой плазмой области и формирование стационарной конфигурации диамагнитной ловушки в режиме с непрерывной инжекцией ионного пучка в приосевую область ловушки. Показано, что время формирования и радиус образующейся области с нулевым магнитным полем согласуются с полученными в проекте аналитическими оценками, основанными на анализе баланса частиц и энергии в системе. Созданы различные алгоритмы непрерывного ввода частиц в ловушку, основанные на точечной и пространственной инжекции. В двумерной осесимметричной модели учтены следующие особенности метода частиц-в-ячейке: разные массы (заряды) частиц в зависимости от расстояния до оси; объем ячейки пропорционален расстоянию до оси; особенности граничных условий на оси для плотности заряда и тока; в алгоритме вычисления координат и скоростей частиц выполняется переход в декартовы координаты и обратно, в цилиндрические.

Для моделирования взаимодействия лазерных импульсов и электронных пучков с плазмой была разработана модификация метода частиц-в-ячейках, использующая ядра высоких порядков. С помощью данной модификации можно добиться повышения точности расчета при использовании меньшего числа частиц, а также устранить некоторые численные неустойчивости. Вычислительные эксперименты на различных архитектурах показали, что современные многопоточные процессоры, такие как Intel Xeon KNL, IBM Power 9, больше подходят для вычислений с ядрами высокой точности, поскольку векторизация позволяет рассчитывать все ядро за один такт процессора, в то время как во время вычисления простых ядер происходит некоторое простаивание из-за недостаточной загрузки. Данная проблема решена путем правильной организации частиц в оперативной памяти – группировки частиц по ячейкам для одновременной обработки нескольких частиц. Для решения задачи разработана новая модификация метода частиц-в-ячейках. В настоящее время популярен метод, при котором вычисление плотности заряда и тока согласованы, т. е. в программе автоматически выполняется уравнение неразрывности для компонент плазмы. Если для вычисления плотности заряда используется ядро РИС-метода, то плотность заряда вычисляется со вторым порядком по пространству. При согласованном вычислении плотности тока точность вычисления тока уменьшается на порядок. В новой модификации ядро РИС-метода используется для вычисления плотности тока, а плотность заряда определяется из уравнения неразрывности. В этом случае точность вычисления как плотности тока, так и плотности заряда повышается на единицу. Недостатком метода является то, что становится неизвестным эффективное ядро при вычислении плотности заряда, кроме того, вид ядра может быть разным для разных частиц.

Разработан и программно реализован 3D параллельный алгоритм моделирования волновых полей в сложнопостроенных средах с топографией поверхности. Отличительной

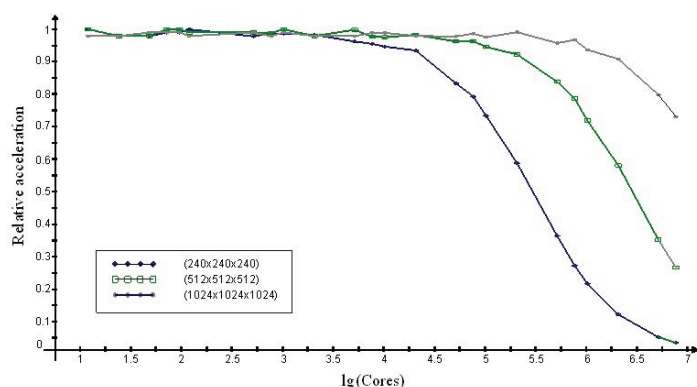


Рис 1: Результаты моделирования масштабируемости алгоритма

особенностью работы является применение криволинейных сеток для лучшего согласования геометрий физической и дискретной моделей. Для численного решения задачи используется явная конечно-разностная схема, построенная с применением метода баланса. В 2019 г. было решено расширить объект исследования вулканических структур, добавив участки в Восточной Сибири, обладающие залежами углеводородов (например, Баженовская сви-

та). В такой постановке задача становится более актуальной с прикладной точки зрения. Проведены работы по изучению эффективности полученного 3D алгоритма (при помощи средств Intel Vtune Amplifier) и потенциальной масштабируемости на системы экзафлопсного уровня (при помощи средств имитационного моделирования). Получены рекомендации по дальнейшей оптимизации алгоритма. Результаты моделирования представлены на рис. 1.

Для конечноразностного решения задачи распространения сейсмических волн в упругих 3D средах, характерных для магматических вулканов, разработан комплекс параллельных программ, оптимизированных под архитектуры Intel Broadwell, Intel Knights Landing, IBM POWER9 и NVIDIA Pascal с высоким уровнем производительности. В том числе разработан программный код производительностью около 390 GFLOPS для Intel KNL и код производительностью около 620 GFLOPS для NVIDIA Tesla P100.

Проведенное численное моделирование процессов распространения сейсмических волн в вулканических структурах на примере приближенной геофизической модели живущего вулкана Эльбрус показывает, что сейсмическое поле вулканов имеет сложную структуру, зависящую от геометрии и реологических характеристик исследуемых объектов. Это обстоятельство позволяет проводить вибросейсмический мониторинг этих сейсмоопасных объектов с применением прецизионных источников.

Разработана суперкомпьютерная модель трехмерной динамики газопылевого гравитирующего околосредного диска. Численная модель является комбинацией метода SPH (метод сглаженных частиц) для решения газодинамических уравнений, метода частиц-в-ячейках для моделирования пылевой компоненты и метода свертки для вычисления гравитационного потенциала изолированных систем. Параллельный алгоритм основан на трехмерной декомпозиции области, сортировке частиц по каждой ячейке сетки и передаче необходимого количества частиц между подобластями. Алгоритм предназначен для использования на суперкомпьютерах с распределенной памятью и гибридных суперкомпьютерах.

В качестве теста для проверки работоспособности модели решалась задача распада разрыва в трехмерной прямоугольной области с периодическими граничными условиями, где ударная волна распространяется вдоль оси x . Такие условия позволяют сравнивать полученное численное решение трехмерной задачи с решением одномерной задачи. Было Показано, что метод способен передать основные особенности точного решения, однако для большей точности необходимо использовать существенно больше частиц. Был проведен нагрузочный эксперимент для параллельной реализации данной численной модели. При количестве SPH частиц 100 млн, PIC частиц 100 млн на сетке $2048 \times 256 \times 256$ и с использованием

128 ядер Intel Xeon X5570 время вычисления одного шага составляло около 20 с, при этом на коммуникации потрачено менее 50 % времени.

В процессе анализа инструментов для мультиагентного моделирования на наличие встроенных средств управления моделями и балансировки нагрузки предпочтение отдано языку Erlang. Для моделирования, которое не может быть остановлено или его перезапуск требует существенных временных затрат, в Erlang предусмотрен инструмент горячей замены кода. Таким способом моделирование на Erlang может быть модернизировано без простоев, а выявленные ошибки исправлены. Также программы, написанные на Erlang, способны работать на нескольких узлах. Узлами могут быть процессоры, многие ядра одного процессора и даже целый кластер машин. Создание и взаимодействие процессов разных узлов не отличается от организации взаимодействия процессов внутри узла. Благодаря встроенным в язык возможностям распределенных вычислений объединение в кластер, балансировка нагрузки, добавление узлов и серверов, повышение надежности вызывают лишь небольшие затраты на дополнительный код.

Исследование функционала динамического управления моделями Erlang проводилось на модели исполнения алгоритма моделирования волновых полей в неоднородных средах с топографией поверхности. Исследовалось поведение данного алгоритма при различных количествах и типах вычислительных узлов. Изменение характеристик узлов и их количества проводилось непосредственно в процессе моделирования, "на лету". При этом оценивалось перераспределение нагрузки при добавлении или удалении вычислительных узлов, а также возникновение ошибок в процессе моделирования. Встроенный функционал при внесении изменений отработал без существенных сбоев и ошибок, однако внесение изменений потребовало существенной работы над программным кодом. В дальнейшем планируется создание отдельной библиотеки функций и процедур для облегчения этого процесса.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 19-07-00085 а "Интеллектуальная поддержка решения задач на пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

Руководитель проекта – д.т.н. Глинский Б. М.

Разработана концепция создания интеллектуальной поддержки решения вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах, которая базируется на онтологии вычислительных методов и алгоритмов, онтологии параллельных архитектур и технологий и использует экспертные правила для поиска наилучшего возможного подхода к параллельному решению специфицируемой пользователем задачи. Разработан и программно реализован 3D параллельный алгоритм моделирования волновых полей в сложно построенных средах с топографией поверхности. Создана и расширяется обобщенная онтология интеллектуальной поддержки решения геофизических задач. Разработан подход к созданию алгоритмического и программного обеспечения для моделирования космической плазмы с использованием онтологического подхода. Разработана схема принятия решения в задачах моделирования космической плазмы.

Проект РФФИ № 19-07-00446 а "Разработка алгоритмов и программного обеспечения для суперкомпьютерного моделирования терагерцового излучения в плазме".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Берендеев Е. А.

Разработан аксиально симметричный 2D3V PIC код, адаптированный к различным архитектурам – классической процессорной архитектуре (на основе процессоров Intel Broadwell,

IBM Power9), ускорителям Intel KNL, а также графическим ускорителям Nvidia. Получены высокие показатели производительности (~10 % пиковой производительности Nvidia Tesla V100 и ~20 % процессоров Intel и IBM).

С помощью созданного кода проведено полномасштабное моделирование лабораторного эксперимента по генерации терагерцового излучения за счет столкновения плазменных кильватерных волн, возбуждаемых встречными лазерными импульсами фемтосекундной длительности. Определена оптимальная схема перекрытия кильватерных полей и оптимальное распределение энергии между лазерными импульсами.

Проект РФФИ № 18-01-00166 "Разработка векторизованных параллельных вычислительных методов высокого порядка точности для моделирования динамической эволюции галактик на суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi".

Руководитель проекта – д.ф.м.н. Куликов И. М.

В ходе работы над проектом в 2019 г. разработана усложненная вычислительная гидродинамическая модель взаимодействующих галактик. Для описания межзвездной среды использована модель гравитационной многокомпонентной односкоростной гидродинамики. Для описания звездной компоненты и темной материи использована модель на основе первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана. В гидродинамическую модель добавлены подсеточные процессы фазовых переходов между газом и звездами: процесс звездообразования и эффект от процесса взрыва сверхновых Ia звезд солнечной массы, ветра звезд средней массы и взрыва сверхновых на основе коллапса ядра для массивных звезд. Также включены функции охлаждения и нагрева при различных температурных режимах и химических процессах. В вычислительную модель включены химические и ядерные реакции основных форм водорода и монооксида углерода до образования формальдегида. Гидродинамическая форма уравнений позволяет сформулировать единый векторный вычислительный метод на основе метода Хартена – Лакса – Ван Леера (HLL) для их разрешения. Проведены вычислительные эксперименты по моделированию химодинамики образования формальдегида во взаимодействующих галактиках.

Проект РФФИ № 18-29-21025 "Суперкомпьютерное моделирование плазменных течений в режимах диамагнитного удержания открытых ловушек".

Руководитель проекта – д.ф.м.н. Вшивков В. А.

Для численного моделирования течения плазмы в открытой магнитной ловушке создана новая модификация двумерной гибридной численной модели. Показано, что данная модель отражает основные закономерности нелинейных физических процессов, наблюдаемых в условиях лабораторных экспериментов. Разработаны новые, более точные алгоритмы решения уравнений движения заряженных частиц, позволившие создать более экономичную реализацию PIC-метода. Проведена серия тестовых расчетов решения задачи формирования и эволюции диамагнитной каверны в открытой магнитной ловушке, что позволило получить необходимые оценки точности и сходимости решений в зависимости от пространственного и временного шагов, количества частиц в ячейке.

Проект РФФИ № 18-31-00314 мол_а "Численное моделирование конфигурации магнитного поля в осесимметричных открытых ловушках с диамагнитным удержанием плазмы".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Генрих Е. А.

В рамках работы по гранту на основе разработанной гибридной двумерной математической модели для изучения процессов формирования согласованной с движением плазмы

конфигурации магнитного поля создан численный алгоритм решения поставленной задачи. Проведено тестирование разработанного численного кода на задаче разлета плазменного облака и на задаче с инжекцией частиц с различными параметрами.

Проект РФФИ № 18-41-543012 «Разработка цифровой платформы "Виртуальный планетарий" для Большого новосибирского планетария».

Руководитель проекта – д.ф.м.н. Куликов И. М.

Разработан эйлерово-лагранжев подход, при котором физические величины сосредоточены в материальных точках, что характерно для метода SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), а расчет сил производится на адаптивной подвижной сетке, привязанной к системе материальных точек. Такой подход единообразно учитывает динамику как сплошной среды, так и дискретных частиц. Расчет гравитационного взаимодействия осуществляется путем решения уравнения Пуассона для гравитационного потенциала. Для этого все частицы проецируются на расчетную сетку, и уже по ней вычисляются значения потенциала в каждой ячейке. Решение уравнения Пуассона для гравитационного потенциала выполняется с использованием быстрого преобразования Фурье.

Результаты работ по проектам РФ

Проект РФ № 18-11-00044 "Разработка, реализация и исследование эффективных параллельных вычислительных методов для решения уравнений гидродинамики с использованием технологии вложенных сеток на массивно-параллельных суперЭВМ".

Руководитель проекта – д.ф.м.н. Куликов И. М.

В рамках работы по проекту в 2019 г. разработаны математические модели: внегалактических струй, для описания которых используются уравнения специальной релятивистской гидродинамики, дополненные ядерными и химическими реакциями ионизации водорода; взрыва сверхновых типа Ia, для описания которых используется модель гравитационной гидродинамики со звездным уравнением состояния, которое усложнено по сравнению с моделью 2018 г. цепочкой ядерных реакций до железа и никеля; взрыва сверхновых на основе коллапса ядра, причем для описания коллапса используется модель гравитационной гидродинамики со звездным уравнением состояния при учете только вырожденного газа, для описания процесса взрыва используются модели идеальной и релятивистской гидродинамики. Разработаны, реализованы и подробно верифицированы численные методы решения уравнений специальной релятивистской гидродинамики на основе схемы Рунге и схемы Русанова с использованием кусочно-параболического и кусочно-линейного представления решения. Дополнительно разработан метод типа HLLEM/HLLI, с помощью которого происходит достройка кусочно-линейного решения в рамках решения задачи Римана, что позволяет значительно уменьшить диссипацию на разрывах и обеспечить минимальные межпроцессные коммуникации при реализации распределенных вложенных сеток. Разработана параллельная реализация технологии вложенных сеток для архитектур с распределенной памятью. Для балансировки загрузки используется одномерная декомпозиция расчетной области на основе веса слайсов корневой сетки. Исследована эволюция внегалактического джета при прохождении через плотную среду галактики. Выполнено моделирование всех основных компонент джета, в том числе эффект "обратного течения". Экспериментально обоснована нестандартность взрыва сверхновой типа Ia за счет различных режимов горения углерода. При решении обеих задач для моделирования ядерных и химических реакций в

ходе развития гидродинамической турбулентности использовались спутниковые вычисления. Исследована задача коллапса ядра и последующая гидродинамика взрыва сверхновой. Последние задачи исследовались в режимах спутниковых и базовых вычислений.

Проект РНФ № 19-71-00054 "Суперкомпьютерное моделирование генерации терагерцового излучения при фокусировке мультигигаваттных электронных пучков в плазме".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Берендеев Е. А.

В рамках проекта создан высокопроизводительный 2D3V PIC код, позволяющий непрерывно инжектировать электронные пучки в расчетную область и измерять основные характеристики генерируемого ЭМ излучения. Проведены расчеты длительной инжекции встречных электронных пучков, сфокусированных в малые поперечные размеры. Выполнено сравнение динамики заряженных частиц при фокусировке круглых и плоских (бесконечных вдоль одного направления) пучков.

Проект РНФ № 19-71-20026 "Численное моделирование открытых плазменных ловушек для решения задач управляемого термоядерного синтеза с использованием перспективных высокопроизводительных вычислительных систем".

Руководитель проекта – к.ф.м.н. Черных И. Г.

Проект направлен на создание алгоритмов численного моделирования физических процессов и различных способов удержания в установках плазмы с термоядерными параметрами. Наличие существенно разных пространственных и временных масштабов плазменных процессов потребовало больших вычислительных ресурсов. Создана математическая модель и соответствующий параллельный численный алгоритм решения задачи динамики частиц в электромагнитных полях ловушки. Выполнена оценка эффективности распараллеливания разработанного алгоритма на большое число вычислительных ядер методами имитационного моделирования. Данный подход позволяет предсказать эффективность использования алгоритма на будущих НТС системах без привлечения большого количества вычислительных и материальных ресурсов. Исследована слабая масштабируемость алгоритма. Для этого была разработана имитационная модель исполнения разработанного алгоритма на суперкомпьютере НКС-1П ЦКП ССКЦ СО РАН. Для демонстрации масштабируемости проведены расчеты для различного числа вычислительных узлов (более 10^6 вычислительных ядер).

Публикации

Монографии, главы в монографиях

1. Kovalevsky, V. V., Glinsky, B. M., Khairtdinov, M. S., Fatyanov, A. G., Karavaev D. A., Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P., Tubanov T. A. Active geophysical monitoring. Ch. 1.3 Active vibromonitoring: experimental systems and fieldwork results // Active Geophysical Monitoring / ed. J. Kasahara, S. M. Zhdanov and H. Mikada. ISBN: 978-0-08-102684-7.

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Boronina, M., Vshivkov, V., Dudnikova, G. Computer simulation of plasma dynamics in open magnetic systems // AIP conf. Proc. 2164, 110002 (2019). DOI: 10.1063/1.5130847.

2. Annenkov, V., Berendeev, E., Volchok, E., Timofeev, I. Second harmonic electromagnetic emission in a beam-driven plasma antenna // Plasma Phys. and Contr. Fusion. 2019. Vol. 61, iss. 5, 055005. DOI: 10.1088/1361-6587/ab0789.

3. Hanusch, A., Liseykina, T., Malkov, M., Aharonian, F. Steepening of cosmic-ray spectra in shocks with varying magnetic field direction // *The Astrophys. J.* 2019. Vol. 885, iss. 11. DOI: 10.3847/1538-4357/ab426d.
4. Genrikh, E. A., Boronina, M. A., Dudnikova G. I. Hybrid model of the open plasma trap // *AIP Conf. Proc.* 2164, 110003 (2019). DOI: 10.1063/1.5130848.
5. Kulikov, I., Chernykh, I., Tutukov, A. A new hydrodynamic code with explicit vectorization instructions optimizations, dedicated to the numerical simulation of astrophysical gas flow. I. Numerical method, tests and model problems // *The Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2019. Vol. 243. Art. Num. 4. DOI: 10.3847/1538-4365/ab2237.
6. Kulikov, I., Chernykh, I., Karavaev, D., Berendeev, E., Protasov, V. HydroBox3D: parallel & distributed hydrodynamical code for numerical simulation of Supernova Ia // *Lect. Notes in Comp. Sci.* 2019. Vol. 11657. P. 187–198. DOI: 10.1007/978-3-030-25636-4_15.
7. Kulikov, I. M., Chernykh, I. G., Karavaev, D. A., Protasov, V. A., Serenko, A. A., Prigarin, V. G., Ulyanichev, I. S., Tutukov, A. V. Using adaptive nested mesh code HydroBox3D for numerical simulation of type Ia Supernovae: Merger of carbon-oxygen white dwarf stars, collapse, and non-central explosion // 2018 Ivannikov ISPRAS Open Conf. (ISPRAS), Moscow, Nov. 22–23, 2018. P. 77–81. DOI: 10.1109/ISPRAS.2018.00018.
8. Kulikov, I. M., Chernykh, I. G., Berendeev, E. A., Protasov, V. A., Serenko, A. A., Prigarin, V. G., Ulyanichev, I. S., Karavaev, D. A., Vorobyov, E. I., Tutukov, A. V. Numerical modeling of hydrodynamic turbulence with self-gravity on Intel Xeon Phi KNL // *Commun. in Comput. and Inform. Sci.* 2019. Vol. 1063. P. 309–322. DOI: 10.1007/978-3-030-28163-2_22.
9. Kulikov, I., Chernykh, I., Vshivkov, V., Prigarin, V., Mironov, V., Tutukov, A. The parallel hydrodynamic code for astrophysical flow with stellar equations of state // *Commun. in Comput. and Inform. Sci.* 2019. Vol. 965. P. 414–426. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_35.
10. Chernykh, I., Kulikov, I., Glinsky, B., Vshivkov, V., Vshivkova, L., Prigarin, V. Advanced vectorization of PPML method for Intel® Xeon® scalable processors // *Commun. in Comput. and Inform. Sci.* 2019. Vol. 965. P. 465–471. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_39.
11. Kulikov, I., Chernykh, I., Protasov, V. The hydrodynamical modeling of the Supernovae Ia explosion by means adaptive nested meshes on supercomputers // *J. of Phys.: Conf. Series.* 2019. Vol. 1268. Art. Num. 012038. DOI: 10.1088/1742-6596/1268/1/012038.
12. Akimova, E., Misilov, V., Kulikov, I., Chernykh, I. Hydrodynamical simulation of astrophysical flows: High-Performance GPU implementation // *J. of Phys.: Conf. Series.* 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012014.
13. Kulikov, I., Chernykh, I., Sapetina, A., Prigarin, V. A new MPI/OpenMP code for numerical modeling of relativistic hydrodynamics by means adaptive nested meshes // *J. of Phys.: Conf. Series.* 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012008. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012008.
14. Kulikov, I., Chernykh, I., Karavaev, D., Protasov, V., Prigarin, V., Ulyanichev, I., Vorobyov, E., Tutukov, A. The numerical modeling of moving of dwarf galaxy through the intracluster medium // *J. of Phys.: Conf. Series.* 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012004. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012004.
15. Weins, D. V., Glinskiy, B. M., Chernykh, I. G. Analysis of means of simulation modeling of parallel algorithms // *Commun. in Comput. and Inform. Sci.* 2019. Vol. 965. P. 1–11. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_3.
16. Zagorulko, G., Zagorulko, Y., Glinskiy, B., Sapetina, A. Ontological approach to providing intelligent support for solving compute-intensive problems on supercomputers / *Commun. in Comput. and Inform. Sci.* 2019. Vol. 1093. P. 363–375. DOI: 10.1007/978-3-030-30763-9_30.
17. Vshivkov, V. A., Boronina, M. A., Genrikh, E. A., Dudnikova, G. I., Vshivkova, L. V., Sudakov A. M. Hybrid numerical model of the plasma flow dynamics in open magnetic

systems // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012020.

18. Vshivkova, L., Vshivkov K., Dudnikova G. 3D numerical modeling of the plasma beam expansion using the MHD-kinetic approach // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012022.

19. Boronina, M. A., Chernykh, I. G., Genrikh, E. A., Vshivkov V. A. Parallel realization of the hybrid model code for numerical simulation of plasma dynamics // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012017.

20. Hanusch, A., Liseykina, T., Malkov, M. Chemistry of ion injection in supernova remnant shocks: hybrid simulations in the light of He/C/O data from AMS-02 // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012010.

21. Dudnikova, G. I., Chernykh, I. G., Chernoshtanov, I. S., Vshivkov, V. A. Computer simulation of diamagnetic regime in open magnetic trap // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012013.

22. Stoyanovskaya, O. P., Glushko, T. A., Okladnikov, F. A., Snytnikov, V. N., Snytnikov, N. V. Gas-monodisperse dust mixtures in smoothed particle hydrodynamics: computing of stiff non-linear drag // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012015.

23. Snytnikov, N. V., Stoyanovskaya, O. P., Glushko T. A. Parallel algorithm for supercomputing simulation of dust-gaseous gravitating systems using particle-in-cell and SPH methods // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012021. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012021.

24. Sapetina, A., Ulyanichev, I., Glinskiy, B. The grid codes generation for solving problems of the cosmic plasma hydrodynamics on supercomputers // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012012.

25. Weins, D., Boronina, M., Vshivkov, V., Mesyats, E., Dudnikova, G., Chernykh, I. Scalability investigation of parallel algorithms for plasma dynamics problems in open magnetic traps by simulation modeling // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012024.

26. Weins, D., Vorobyev, V., Chernykh, I., Logashenko I. Development of simulation model of HPC system for Super Charm-Tau factory // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1336. Art. Num. 012025. DOI: 10.1088/1742-6596/1336/1/012025.

27. Efimova, A. A., Dudnikova G. I. Hybrid models of ion-acoustic shock waves formation on collisionless plasma // AIP Conf. Proc. 2164, 100002 (2019). DOI: 10.1063/1.5130839.

28. Dudnikova, G. I., Boronina, M. A., Genrikh, E. A., Vshivkov V. A. Computer simulation of ion beam-plasma interaction // J. of Physics: Conf. Series. 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/13931/012041.

29. Titov, P. A. The simulation of 3D wave fields in complex topography media / V. Voevodin, S. Sobolev (eds) Supercomputing. RuSCDays // Commun in Comput. and Inform. Scie. 2019. Vol. 1129. P. 451–462. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9.

30. Berendeev, E., Snytnikov, A., Efimova, A. Performance of the particle-in-cell method with the Intel (Broadwell, KNL) and IBM Power9 architectures / V. Voevodin, S. Sobolev (eds) Supercomputing. RuSCDays // Commun in Comput. and Inform. Scie. 2019. Vol. 1129. P. 610–624. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9.

31. Kalinin, S., Karavaev, D., Sapetina, A. The parallel implementation of adaptive mesh technology in poroelasticity problems / Voevodin V., Sobolev S. (eds) Supercomputing. RuSCDays Commun in Comput. and Inform. Scie. 2019. Vol. 1129. P. 439–450. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9.

32. Glinskiy, B., Zagorulko, Y., Zagorulko, G., Kulikov, I., Sapetina, A. The creation of intelligent support methods for solving mathematical physics problems on supercomputers / Voevodin V., Sobolev S. (eds) Supercomputing. RuSCDays 2019 // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 1129. P. 427–438. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9.

33. Cheverda, V., Kolyukhin, D., Lisitsa, V., Protasov, M., Reshetova, G., Merzlikina, A., Volyanskaya, V., Petrov, D., Shilikov, V., Melnik, A., Glinsky, B. Chernykh, I., Kulikov I. Digital twin of the seismogeological object: Building and application / Voevodin V., Sobolev S. (eds) Supercomputing. RuSCDays 2019 // Commun. in Comput. and Inform. Sci. 2019. Vol. 1129. P. 214–224. DOI: 10.1007/978-3-030-36592-9.

34. Glinskiy, B., Zagorulko, Y., Kulikov, I., Sapetina, A. Supercomputer technologies for solving problems of computational physics // J. of Physics: Conf. Series. 2019. Vol. 1392. Art. Num. 012052 DOI: 10.1088/1742-6596/1392/1/012052.

35. Mironov, V., Chernykh, I., Kulikov, I., Moskovsky, A., Epifanovsky, E., Kudryavtsev, A. Performance evaluation of the Intel Optane DC memory with scientific benchmarks // IEEE/ACM Workshop on memory centric high performance computing (MCHPC), Denver (USA), 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/MCHPC49590.2019.00008.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Volchok, E., Annenkov, V., Timofeev, I., Berendeev E. Efficient electromagnetic emission from plasma with continuously injected counterstreaming electron beams // Abst. of the 46th European Physical Society Conf. on Plasma Physics. Vol. 43C. P2.2020.

2. Annenkov, V., Timofeev, I., Berendeev, E., Volchok, E. Powerful electromagnetic emission from a plasma with counterstreaming different-size electron beams // Abst. of the 46th European Physical Society Conf. on Plasma Physics. Vol. 43C O2.202.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Вшивков, В. А., Вшивкова, Л. В., Боронина, М. А. Распараллеливание алгоритмов для решения задач физики плазмы на основе гибридных моделей // Научный сервис в сети Интернет : труды XXI Всероссийской научной конференции, Новороссийск, 23–28 сент. 2019 г. М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2019. С. 222–229. DOI: 10.20948/abrau-2019-13.

2. Генрих, Е. А., Боронина, М. А. Двумерная гибридная модель открытой плазменной ловушки // Выч. мет. программирование. 2019. Т. 20. С. 128–137. DOI: 10.26089/NumMet.v20r213.

3. Вшивков, В. А., Вшивкова, Л. В., Дудникова Г. И. Алгоритм определения структуры электромагнитных волн в вакууме // Выч. мет. программирование. 2019. Т. 20. С. 21–28. DOI: 10.26089/NumMet.v20r103.

4. Titov, P. A., Weins, D. V., Chernykh, I. G. Application of an integral approach to the parallel algorithm of 3D wave fields simulation in generalized coordinates // Суперкомпьютерные дни в России : труды международной конференции, Москва, 23–24 сент. 2019 г. М.: МАКС Пресс, 2019. С. 14–25. DOI: 10.29003/m680.RussianSCDays.

5. Куликов, И. М., Протасов, В. А. Код "Виртуальный планетарий" для моделирования астрофизических объектов: математическая модель, методология и первые результаты // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технол. 2019. Т. 17, № 2. С. 81–90. DOI: 10.25205/1818-7900-2019-17-2-81-90.

6. Романенко, А. А., Снытников, А. В. Оптимизация переупорядочивания модельных частиц при реализации метода частиц-в-ячейках на GPU // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технол. 2019. Т. 17, № 1. С. 82–89. DOI: 10.25205/1818-7900-2019-17-1-82-89.

7. Глинский, Б. М., Мартынов, В. Н., Сапетина А. Ф. Моделирование распространения упругих волн при вибросейсмическом мониторинге вулканических структур на многоядерных процессорах // Дифференциальные уравнения и математическое моделирование: сб. тез. российско-французского семинара, г. Ханты-Мансийск, 25–29 авг. 2019 г. / отв. ред. С. Г. Пятков. Ханты-Мансийск: Югорский формат, 2019. С. 20.

8. Глинский, Б. М., Черных, И. Г., Мартынов, В. Н., Сапетина, А. Ф., Винс, Д. В. Сибирский суперкомпьютерный центр коллективного пользования и его применение для создания вычислительных технологий // Пробл. информ. 2019, № 1. С. 42–60.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ) 2019, 2–4 апреля 2019 г., Калининград, – 2 доклада, из них 1 приглашенный (Берендеев Е. В., Куликов И. М., Черных И. Г., Ефимова А. А.).

2. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН. 23–24 апреля 2019 г., Новосибирск – 1 доклад (Куликов И. М.).

3. Mathematical problems of continuum mechanics, Novosibirsk, 13–17 мая 2019 г., Новосибирск – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г.).

4. The 5th International conference on information technology and nanotechnology, Самара, 20–24 мая 2019 г. – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г.).

5. Astrophysics of hot plasma in extended X-ray sources, Madrid (Spain), 12–14 июня 2019 г., – 1 доклад (Куликов И. М.).

6. Numerical computations: Theory and algorithms, Ле Кастелла (Италия), 15–21 июня 2019 г. – 2 доклада (Куликов И. М., Черных И. Г., Сапетина А. Ф.).

7. The 14th International conference on numerical modeling of space plasma flows "Astronom 2019", Париж (Франция), 1–5 июля 2019 г. – 1 доклад (Куликов И. М.).

8. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" в рамках Марчуковских научных чтений, Новосибирск, 1–6 июля 2019 г. – 9 докладов, из них 3 приглашенных (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Вшивков В. А., Генрих Е. А., Дудникова Г. И., Ефимова А. А., Глинский Б. М., Сапетина А. Ф., Куликов И. М., Снытников Н. В., Черных И. Г.).

9. High energy phenomena in relativistic outflows VII, 9–12 июля 2019, Барселона, Испания – 1 доклад (Куликов И. М.).

10. Международная конференция "Математика в приложениях", 4–10 августа 2019 г. Новосибирск – 4 доклада (Боронина М. А., Вшивков В. А., Генрих Е. А., Дудникова Г. И., Куликов И. М.).

11. Parallel computing technologies 2019, 19–23 августа 2019, Алматы, Казахстан – 1 доклад (Берендеев Е. А., Куликов И. М., Черных И. Г.).

12. Российские суперкомпьютерные дни 2019, Москва, 23–24 сентября 2019 – 6 докладов (Берендеев Е. А., Винс Д. В., Ефимова А. А., Куликов И. М., Титов П. А., Сапетина А. Ф., Черных И. Г.).

13. 2nd workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes, Москва, 10–11 октября 2019 г. – 15 докладов, из них 3 приглашенных (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Винс Д. В., Вшивков В. А., Генрих Е. А., Глинский Б. М., Дудникова Г. И., Ефимова А. А., Глинский Б. М., Сапетина А. Ф., Куликов И. М., Снытников Н. В., Сапетина А. Ф., Черных И. Г.).

14. The 20th International conference on parallel and distributed computing, applications and technologies, Голд Кост (Австралия), 5–7 декабря 2019 г. – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г.).

15. 46-я Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, Звенигород, 18–22 марта 2019 г. – 1 доклад (Вшивков В. А., Дудникова Г. И.).

16. The 11th conference of the Euro-American Consortium for promoting the application of mathematics in technical and natural sciences, Албена (Болгария), 20–25 июня 2019 г. – 3 доклада (Боронина М. А., Вшивков В. А., Генрих Е. А., Дудникова Г. И., Ефимова А. А.).

17. Аналитические и численные методы решения задач гидродинамики, математической физики и биологии, Пущино, 26–29 августа 2019 г. – 1 доклад (Дудникова Г. И.).

18. Gas discharge plasmas and their applications (GDP 2019), Томск, 15–21 сентября 2019 г. – 1 доклад (Боронина М. А., Вшивков В. А., Генрих Е. А., Дудникова Г. И.).

19. 18-я Всероссийская конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", Абрау-Дюрсо, 16–21 сентября 2019 г. – 1 доклад (Дудникова Г. И.).

20. 21-я Всероссийская конференция "Научный сервис в сети Интернет", 23–28 сентября 2019 г. – 1 доклад (Вшивков В. А., Боронина М. А.).

21. Российско-французский семинар "Дифференциальные уравнения и математическое моделирование", Ханты-Мансийск, 25–29 августа 2019 г. – 1 доклад (Сапетина А. Ф., Глинский Б. М.).

22. 4-я Международная конференция "Суперкомпьютерные технологии математического моделирования" (СКТеММ'19), Москва, 19–21 июня 2019 г. – 1 приглашенный доклад (Сапетина А. Ф., Глинский Б. М., Куликов И. М.).

23. Intel HPC developers conference, Дэнвер (США), 18–19 ноября 2019 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).

24. The international conference for high performance computing, networking, storage, and analysis, Дэнвер (США), 17–22 ноября 2019 г. – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г.).

25. The event for high performance computing, networking & storage, Франкфурт (Германия), 16–20 июня 2019 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).

26. Astrochemistry: From nanometers to megaparsecs – A symposium in honour of John H. Black, Гётеборг (Швеция), 24–28 июня 2019 г. – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Берендеев Е. А. – член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19) 1–5 июля 2019 г., Новосибирск.

2. Боронина М. А.:

– член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19) 1–5 июля 2019 г., Новосибирск;

– член организационного комитета "2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019.

3. Вшивков В. А.:

– член программного комитета "2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019;

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

4. Генрих Е. А.:

– член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

– член организационного комитета "The 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019.

5. Глинский Б. М.:

– член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

– член программного комитета "The 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019.

6. Дудникова Г. И.:

– член программного комитета "The 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019.

7. Ефимова А. А.:

– Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019" (АПВПМ-19), Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.;

– член организационного комитета "The 12th Conference of the Euro-American consortium for promoting the application of mathematics in technical and natural sciences", Albena (Bulgaria), June 20–25, 2019.

8. Куликов И. М.:

– член организационного комитета конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 23–24 апреля 2019 г.;

– член программного комитета конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 23–24 апреля 2019 г.;

– член организационного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.;

– член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.;

– член программного комитета "The 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019.

9. Черных И. Г.:

– член программного комитета "The 2nd Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes", Moscow, October 10–11, 2019.;

– член программного комитета 11-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 26 августа – 4 сентября 2019 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 35

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 37

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 19

Докладов на конференциях – 61, в том числе пленарных – 18

Участников организации конференций – 19

Кадровый состав

1. Черных И. Г.	зав. лаб.	к.ф.-м.н.
2. Берендеев Е. А.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
3. Боронина М. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
4. Винс Д. В.	н.с.	к.т.н.
5. Вшивков В. А.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
6. Генрих Е. А.	н.с.,	к.ф.-м.н.
7. Глинский Б. М.	г.н.с.	д.т.н.
8. Дудникова Г. И.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
9. Ефимова А. А.	м.н.с.	
10. Зернова Л. В.	программист 1-й катег.	
11. Кононов А. А.	инженер-электроник.	
12. Куликов И. М.	н.с.	д.ф.-м.н.
13. Кучин Н. В.	гл. специалист по СПО	
14. Лисейкина Т. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
15. Ломакин С. В.	гл. специалист по ИС	
16. Макаров И. Н.	ведущ. программист.	
17. Сапетина А. Ф.	м.н.с.	
18. Снытников Н. В.	н.с.	к.ф.-м.н.
19. Титов П. А.	м.н.с.	

Берендеев Е. А., Винс Д. В., Генрих Е. А., Ефимова А. А., Куликов И. М., Сапетина А. Ф., Титов П. А. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Вшивков В. А.	– профессор НГУ
Глинский Б. М.	– профессор НГУ
Куликов И. М.	– доцент НГУ
Сапетина А. Ф.	– ассистент НГУ

Руководство студентами

1. Судаков А. М. – 6-й курс ММФ НГУ, руководитель Вшивков В. А.
2. Горнова А. Л. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Куликов И. М.
3. Макаров И. О. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Сапетина А. Ф.

Руководство аспирантами

1. Протасов В. А. – 4-й год, НГТУ, руководитель Куликов И. М.
2. Ульяничев И. С. – 2-й год, НГТУ, руководитель Куликов И. М.
3. Пригарин В. Г. – 1-й год, НГТУ, руководитель Куликов И. М.

Защита дипломов

Горнова А. Л. – магистр ММФ НГУ, руководитель Куликов И. М.

Награды

Куликов И. М., Черных И. Г., Берендеев Е. А. Доклад на тему HydroBox3D: Parallel & distributed hydrodynamical code for numerical simulation of Supernova Ia на конференции "Parallel Computing Technologies 2019" (Almaty (Kazakhstan), 19–23 August, 2019) удостоен награды Springer Best Paper Award.