

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 2018 г.



Новосибирск-2019

СОДЕРЖАНИЕ

Научно-организационная деятельность.....	4
Важнейшие результаты научных исследований в 2018 г.	19
Лаборатория методов Монте-Карло	25
Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений.....	35
Лаборатория стохастических задач	44
Лаборатория вычислительной физики.....	58
Лаборатория математических задач химии	71
Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере	78
Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде.....	93
Лаборатория численного анализа и машинной графики.....	105
Лаборатория математических задач геофизики	116
Лаборатория обратных задач естествознания	129
Лаборатория математического моделирования волн цунами	138
Лаборатория геофизической информатики	145
Лаборатория обработки изображений.....	155
Лаборатория системного моделирования и оптимизации.....	166
Лаборатория синтеза параллельных программ.....	179
Лаборатория суперкомпьютерного моделирования	189
Справочная информация	207

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Награды сотрудников Института в 2018 г.:

– Памятным знаком "За труд на благо города" в честь 125-летия со дня основания г. Новосибирска награждены: чл.-корр. РАН Г. Г. Лазарева, проф. РАН М. А. Марченко, д.ф.-м.н. В. А. Вшивков, д.ф.-м.н. В. К. Гусяков, д.т.н. В. В. Ковалевский, д.ф.-м.н. Ю. М. Лаевский, к.ф.-м.н. Д. А. Мигов, д.ф.-м.н. С. В. Рогазинский;

– Почетным орденом "Экологический щит России" награжден д.ф.-м.н. В. Ф. Рапуга;

– медалью им. акад. М. В. Келдыша награжден д.ф.-м.н. В. П. Пяткин;

– Почетной грамотой Губернатора Новосибирской обл., Почетной грамотой Департамента промышленности, инноваций и предпринимательства мэрии г. Новосибирска, Почетной грамотой мэра г. Новосибирска награжден д.ф.-м.н. В. В. Пененко;

– Почетной грамотой Департамента промышленности, инноваций и предпринимательства мэрии г. Новосибирска награжден к.ф.-м.н. А. В. Пененко.

Проведено 12 заседаний Ученого совета института, на которых были рассмотрены научные, кадровые и организационные вопросы, заслушаны научные доклады сотрудников Института:

– "Математика и цифровая революция. Суперкомпьютерное моделирование в экономике и в естественных науках. Разработка отечественного программного обеспечения. Цифровые платформы Сибирского региона", чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин, проф. РАН М. А. Марченко, д.ф.-м.н. М. А. Шишленин, д.ф.-м.н. И. М. Куликов;

– "Численные методы для задач тепло-массопереноса", д.ф.-м.н. Ю. М. Лаевский;

– "Математическое моделирование в изучении природных катастроф", д.ф.-м.н. Гусяков В. К.;

– "Численные методы: от ядерных реакторов и теории возмущений к задачам динамики атмосферы и охраны окружающей среды", д.ф.-м.н. В. В. Пененко;

– "Суперкомпьютерный анализ социальных, эпидемиологических и экономических процессов. Теория, алгоритмы и комплекс программ", к.ф.-м.н. О. И. Криворотько.

Также на заседании Ученого совета был заслушан доклад гостя Института "Цифровое месторождение и нейронные сети", к.ф.-м.н. Е. Н. Павловский.

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

Продолжена работа по шести проектам Российского научного фонда, руководители: д.ф.-м.н. В. П. Ильин, д.ф.-м.н. К. К. Сабельфельд, д.ф.-м.н. Куликов И. М., д.ф.-м.н. В. А. Вшивков, к.ф.-м.н. Пененко А. В., к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

В 2018 г. проводились работы по 16 базовым проектам фундаментальных научных исследований, 51 проекту РФФИ (из них 27 инициативных, 7 молодежных, 2 проекта ориентированных фундаментальных исследований, 4 проекта на поддержку проведения конференций), 6 проектам РНФ, 8 проектам Президиума РАН и ОМН 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 2018 г. состоялись четыре заседания по присуждению степени кандидата наук, в том числе сотруднице ИВМиМГ Носовой Т. А.

Институт является базовым для шести кафедр университетов Новосибирска:

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

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

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

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

Издательская деятельность

– С 1993 г. издается журнал "Journal of Inverse and Ill-Posed Problems", периодичность шесть номеров в год. Главный редактор – директор ИВМиМГ СО РАН, 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 Q1.

– С 1998 г. издается "Сибирский журнал вычислительной математики", периодичность четыре номера в год. Главный редактор – директор ИВМиМГ СО РАН, 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 2008 г. издается журнал "Проблемы информатики", периодичность четыре номера в год. Главный редактор – д.т.н. Малышкин В. Э. Заместители главного редактора: д.т.н. А. С. Родионов, к.ф.-м.н. В. В. Шахов.

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

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

Международные конференции

В 2018 г. проведено пять международных конференций:

1. Летняя международная 31-я молодежная школа-конференция по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.

2. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика 2018", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.

3. Российско-вьетнамско-китайский научный семинар по теме "Численные методы решения обратных задач естествознания", Новосибирск, 11 октября 2018 г.

4. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.

5. 14-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", с. Кара-Ой (Кыргызская Республика), 20–31 июля 2018 г.

Международные соглашения, контракты, гранты

Выполнялись либо были заключены: два меморандума о взаимопонимании, четыре договора и три 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. – 31.12.2018 г.

2. 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 – директор, чл.-корр. РАН С.И. Кабанихин; от Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева – ректор Ж. К. Шаймарданов.

Срок договора: 23.10.2015 г. – 23.10.2020 г.

3. Договор о сотрудничестве 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, профессор, д.т.н. В. Э. Малышкин; от малазийского технологического университета – профессор, заместитель директора по науке и инновациям Мохд Азрай Кассим (Mohd Azraai Kassim).

Срок договора: 05.12.2013 г. – 05.12.2018 г.

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

Координаторы: от Каршинского государственного университета – ректор Б. А. Шоимкулов; от ИВМиМГ СО РАН – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок договора: 23.01.2015 г. – 23.01.2019 г.

6. Меморандум о взаимном сотрудничестве между Международным казахско-турецким университетом им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан (Республика Казахстан) и ИВМиМГ СО РАН.

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

Срок меморандума: 28.10.2015г. – 28.10.2020г.

7. Соглашение о сотрудничестве N170-1/15 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 – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 2.11.2015 г. – 2.11.2020 г.

8. Соглашение о научном сотрудничестве 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 – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 6.12.2016 г. – 6.12.2021 г.

8. 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 В.В. Ковалевский; от Института астрономии и геофизики Монгольской академии наук – директор Д. Содномсамбуу.

Срок договора: 21.07.2017 г. – 21.07.2022 г.

9. Соглашение о сотрудничестве в сфере образования, науки, научно-технической и инновационной деятельности 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 – директор, чл.-корр. РАН С. И. Кабанихин.

Срок соглашения: 10.10.2017 г. – 10.10.2022 г.

Выполнялись либо были получены гранты:

1. Проект М-2018b-6. Компактный курс междисциплинарных лекций "Междисциплинарные лекции по численному решению уравнений со свободной границей для решения задач материаловедения". Германно-российский междисциплинарный научный центр, Свободный университет, Берлин (Германия).

Научные координаторы: от Саарландского университета – проф., д-р Э. Рупль; от Санкт-Петербургского государственного университета – проф., д-р А. Шикин; участник проекта от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН Г. Г. Лазарева.

Даты начала и окончания работ: 6.08.2018 г. – 17.08.2018 г.

2. Грант РФФИ_Узб "Математическое моделирование термодинамически согласованной математической модели двухфазных сред в диссипативном приближении с перекрестными эффектами". Зарубежный участник – Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент (Узбекистан).

Научные координаторы: от Национального университета Узбекистана им. М. Улугбека (Ташкент) – проф. М. М. Арипов; от ИВМиМГ СО РАН – д.ф.-м.н. М. В. Урев.

Даты начала и окончания работ: 1.03.2018 г. – 1.03.2019 г.

3. 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, Ханой (Вьетнам).

Научные координаторы: от Института математики Вьетнамской академии наук и технологий – проф. Д. Н. Хао (Dinh Nho Hao); от ИВМиМГ СО РАН – чл.-корр. РАН, проф. С. И. Кабанихин.

Даты начала и окончания работ: 1.03.2017 г. – 1.03.2019 г.

4. 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).

Научные координаторы: от НИИ Математики и механики Казахского национального университета им. Аль-Фараби – д.т.н., проф. Д. Ж. Ахмед-Заки; от ИВМиМГ СО РАН – д.т.н., проф. В. Э. Малышкин.

Даты начала и окончания работ: 1.02.2018 г. – 1.02.2020 г.

5. 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).

Научные координаторы: от НИИ Математики и механики Казахского национального университета им. Аль-Фараби – д.т.н., проф. Д. Ж. Ахмед-Заки; от ИВМиМГ СО РАН – д.т.н., проф. В. Э. Малышкин.

Даты начала и окончания работ: 1.02.2018г. – 1.02.2020 г.

6. Грант РФФИ 17-57-45166 Инд_а "Подход к обработке данных, регистрируемых в процессе вибрационного просвечивания Земли и теоретическое исследование сейсмических волн".

Зарубежный участник – отдел прикладной математики Индийского технологического Института, г. Дханбад (Индия).

Научные координаторы: от Индийского технологического Института – проф. С. Кунду; от ИВМиМГ СО РАН – к.т.н. Знак В. И.

Даты начала и окончания работ: 3.07.2017 г. – 31.12.2018 г.

Командировки за рубеж

В 2018 г. за рубеж командированы 29 сотрудников вместо 30 в 2017 г., из них 24 командировки для участия в международных конференциях, 5 краткосрочных командировок, касающихся научной кооперации (из них 2 в страны ближнего зарубежья). Страны, в которые было осуществлено командирование: США, Норвегия, Германия, Австрия, Бельгия, Италия, Мальта, Испания, Португалия, Греция, Венгрия, Болгария, Китайская Народная Республика, Республика Казахстан.

Германия

1.* Пененко А. В., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международном симпозиуме "Ассимиляция данных–2018", г. Мюнхен, 3.03.2018 г. – 10.03.2018 г.

2.* Сабельфельд К. К., г.н.с., д.ф.-м.н. Совместная работа по исследованию методов катодолюминисценции и ростовых экспериментов GaN нановискеров, Институт твердотельной электроники, г. Берлин, 14.03.2018 г. – 10.05.2018 г.

Австрия

3.* Пененко А. В., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в Генеральной ассамблее Европейского Геофизического Союза (EGU General Assembly-2018), г. Вена, 08.04.2018 г. – 14.04.2018 г.

* Здесь и далее символом "*" отмечено командирование за счет гранта.

Мальта

4.* Ермоленко Д. В., инженер. Участие в Международной конференции "Обратные задачи: моделирование и симуляция. Обратные задачи в финансировании, экономике и естественных науках", г. Меллиха, 19.05.2018 г. – 28.05.2018 г.

5.* Латышенко В. А. Участие в Международной конференции "Обратные задачи: моделирование и симуляция. Обратные задачи в финансировании, экономике и естественных науках", г. Меллиха, 19.05.2018 г. – 28.05.2018 г.

6.* Криворотько О. И., н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Обратные задачи: моделирование и симуляция. Обратные задачи в финансировании, экономике и естественных науках", г. Меллиха, 19.05.2018 г. – 28.05.2018 г.

Бельгия

7.* Платов Г. А., д.ф.-м.н., в.н.с. Участие в 50-м Международном Льежском коллоквиуме по динамике океана, г. Льеж, 28.05.2018 г. – 01.06.2018 г.

8.* Каргаполова Н. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 32-й международной Европейской конференции по моделированию, г. Гент, 22.10.2018 г. – 29.10.2018 г.

Болгария

9.* Пененко А. В. с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в 7-й Международной конференции по конечным разностным методам: теория и приложения, г. Лозенец, 9.06.2018 г. – 27.06.2018 г.

10.* Ефимова А. А., м.н.с. Участие в 10-й конференции Евро-Американского консорциума по продвижению приложения математики в технических и естественных науках", г. Албена, 18.06.2018 г.–26.06.2018 г.

11.* Боронина М. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 10-й конференции Евро-Американского консорциума по продвижению приложения математики в технических и естественных науках", г. Албена, 18.06.2018 г.–26.06.2018 г.

12.* Лазарева Г. Г., г.н.с., чл.-корр. РАН. Участие в 10-й конференции Евро-Американского консорциума по продвижению приложения математики в технических и естественных науках", г. Албена, 18.06.2018 г.–27.06.2018 г.

Венгрия

13.* Каргаполова Н. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 9-м Международном семинаре по прикладным вероятностным проблемам, г. Будапешт, 17.06.2018 г. – 24.06.2018 г.

Италия

14.* Титов П. А. м.н.с. Участие в 5-й Международной конференции "Анализ больших данных и сбор данных", г. Рим, 20.06.2018 г. – 21.06.2018 г.

Испания

15.* Каргаполова Н. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 9-м Международном семинаре по моделированию, г. Барселона, 25.06.2018 г. – 30.06.2018 г.

Греция

16.* Ильин В. П., г.н.с., д.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по вычислительной математике "NASCA–2018", г. Каламата, 01.07.2018 г. – 08.07.2018 г.

17.* Вшивкова Л. В., ученый секретарь, к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по вычислительной математике "NASCA–2018", г. Каламата, 01.07.2018 г. – 08.07.2018 г.

18.* Пененко А. В., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по вычислительной математике "NASCA–2018", г. Каламата, 01.07.2018 г. – 08.07.2018 г.

США

19.* Черных И. Г., зав. лаб., с.н.с. Участие в Международной конференции "Астрохимия: прошлое, настоящее, будущее", г. Пасадена, 09.07.2018 г. – 15.07.2018 г.

Португалия

20.* Каргаполова Н. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по моделированию, методологии, технологии и приложениям, г. Порту, 26.07.2018 г. – 02.08.2018 г.

Китайская Народная Республика

21.** Кабанихин С. И., директор, чл.-корр. РАН. Обсуждение перспектив совместных работ с научными организациями КНР, Шеньчженский Институт передовых технологий Китайской Академии наук, г. Шеньчжень, 10.04.2018 г. – 18.04.2018 г.

22.** Горбенко Н. И., н.с. Участие в 17-й Китайско-российской международной конференции по численной алгебре и приложениям, г. Шанхай, 06.07.2018 г.–14.07.2018 г.

23.** Кабанихин С. И., директор, чл.-корр. РАН. Участие в международной конференции по суперкомпьютерным вычислениям, г. Тяньцзинь, 22.07.2018 г.–31.07.2018 г.

24.** Кабанихин С. И., директор, чл.-корр. РАН. Обсуждение сотрудничества с Тяньцзиньским университетом, г. Тяньцзинь, 12.08.2018 г. – 19.08.2018 г.

25.** Кабанихин С. И., директор, чл.-корр. РАН. Участие в форуме "Математика для промышленности'2018" (FMPI2018), г. Шанхай, 17.11.2018 г. – 02.12.2018 г.

Норвегия

26.* Платов Г. А., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в Международном совещании по проблемам исследования Арктики (FAMOS), г. Берген, 22.10.2018 г. – 26.10.2018 г.

27.* Голубева Е. Н., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в Международном совещании по проблемам исследования Арктики (FAMOS), г. Берген, 22.10.2018 г. – 26.10.2018 г.

Республика Казахстан

28.** Городничев М. А., м.н.с. Научная работа по теме "Технология разработки программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных систем", НИИ математики и механики Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, 29.07.2018 г. – 12.08.2018 г.

29.** Перепёлкин В.А., м.н.с. Научная работа по теме "Технология разработки программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных систем", НИИ математики и механики Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, 29.07.2018 г. – 17.08.2018 г.

Прием зарубежных ученых и представителей фирм

В 2018 г. были приняты 64 иностранных гостя из десяти стран: Франция – 5, Италия – 1, Япония – 1, Бразилия – 1, Китай – 20, Саудовская Аравия – 1, Сирия – 1, Индия – 1, Вьетнам – 3, Казахстан – 30. Из них 6 научных сотрудников, 7 преподавателей; 51 студент (20 из Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. 7 Харбин (Китай)).

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

Здесь и далее символом "*" отмечено командирование за счет принимающей стороны.

2. Цюли ЛИ/Qiuli LI, студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 15.10.2016 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН и НГУ по программе "Прикладная математика и информатика". Ответственный за курс – зав. лабораторией математических задач химии, д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

3. Яру ПАНЬ/Yaru PAN, студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 15.10.2016 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН и НГУ по программе "Прикладная математика и информатика". Ответственный за курс – зав. лабораторией математических задач химии, д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

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

5. Мэн СУНЬ /Meng SUN, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 08.02.2017 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе НГУ по специализации "Методы сплайн-функций. Теория и приложения" на базе НГУ, ИВМиМГ СО РАН. Ответственный за курс – зав. лабораторией численного анализа и машинной графики, д.ф.-м.н. Дебелов В. А.

6. Суцзянь ЧЖАО/Xuejian ZHAO, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 08.02.2017 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе НГУ по специализации "Математические методы геофизики" на базе НГУ и ИВМиМГ СО РАН. Ответственный за курс – зав. лабораторией численного анализа и машинной графики, д.ф.-м.н. Дебелов В. А.

7. Жадыры Саматовна МУКАТОВА, студентка НГУ, гражданка Республики Казахстан. Срок визита: 20.02.2017 г. – 30.06.2020 г. Цель визита: обучение по магистерской программе НГУ по специализации "Механика и Математическое моделирование" на базе НГУ и ИВМиМГ СО РАН. Ответственный за курс – с.н.с. лаборатории математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, к.ф.-м.н. Пененко А. В.

8. Хасан АЛХУССЕЙН/Hasan ALHUSSEIN, студент университета г. Алеппо, Сирия. Срок визита: 08.03.2017 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе НГУ по специализации "Использование гемологии для изучения расширений групп" на базе НГУ и ИВМиМГ СО РАН. Ответственный за курс – зав. лабораторией численного анализа и машинной графики, д.ф.-м.н. Дебелов В. А.

9. 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. Ответственный за курс – в.н.с. лаборатории стохастических задач, д.ф.-м.н. Пригарин С. М.

10. Ли ФАНЬ/Li FAN, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 11.10.2017 г. – 11.10.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре ММФ НГУ по специализации "Обратные задачи охраны окружающей среды и экологии". Ответственный за курс – зав. лабораторией математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, д.ф.-м.н. Пененко В. В.

11. Чжэн ЦЗЯНПЭН/Zhen TSZYANPEN, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 11.10.2017 г. – 11.10.2018 г. Цель визита: обучение в магистратуре ММФ НГУ по специализации "Обратные задачи охраны окружающей среды и экологии". Ответственный за курс – зав. лабораторией математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, д.ф.-м.н. Пененко В. В.

12. 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 по программе "Прикладная математика и информатика". Ответственный за курс – в.н.с. лаборатории стохастических задач, д.ф.-м.н. Пригарин С. М.

13. Ли ЦЗИЮЙ/Li TSIUI, студентка Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 12.10.2017 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по направлению "Механика и математическое моделирование" со специализацией "Обратные задачи математической физики". Ответственная за курс – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

14. Дарья Владимировна ЕРМОЛЕНКО, гражданка Казахстана, 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". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

15. 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". Ответственный за курс – зав. лабораторией стохастических задач, д.ф.-м.н. Каргин Б. М.

16. Изатулла МУХАММАД / Izzatullah MUHAMMAD, гражданин Малайзии, магистрант научно-технологического университета им. Короля Абдаллы, г. Тувал, Саудовская Аравия. Срок визита: 14.12.2017 г. – 26.01.2018 г. Цель визита: Проведение совместных научных работ по теме: "Обратные и некорректно поставленные задачи". Ответственный – с.н.с. лаборатории математических задач геофизики, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

17. Шуан СУНЬ/Shuan SUN, магистрант Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 12.02.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме: "Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом тепловой энергии для параболических задач математической физики". Ответственный за курс – г.н.с. лаборатории численного анализа и машинной графики, акад. Коновалов А. Н.

18. Чженьсин ЧЖАН/Chjensin CHJAN, магистрант Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 12.02.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме: "Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом тепловой энергии для параболических задач математической физики". Ответственный за курс – г.н.с. лаборатории численного анализа и машинной графики, акад. Коновалов А. Н.

19. Инци ЯНЬ/Intsi YAN, магистрант Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 12.02.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме:

"Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом тепловой энергии для параболических задач математической физики". Ответственный за курс – г.н.с. лаборатории численного анализа и машинной графики, акад. Коновалов А. Н.

20. Бо ЧЖАО/Bo ZHAO, студент Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 12.02.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе по теме: "Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом тепловой энергии для параболических задач математической физики" ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН. Ответственный за курс – г.н.с. лаборатории численного анализа и машинной графики, акад. Коновалов А. Н.

21. Чжень ЯН/Zhen YANG, магистрант Китайско-российского института Хэйлунцзянского университета, г. Харбин, Китай. Срок визита: 12.02.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение по магистерской программе по теме: "Оптимальные, явно разрешимые дискретные модели с контролируемым дисбалансом тепловой энергии для параболических задач математической физики" ММФ НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН. Ответственный за курс – г.н.с. лаборатории численного анализа и машинной графики, академик Коновалов А. Н.

22. Марина АКЕНТЬЕВА, гражданка Республики Казахстан, студентка ММФ НГУ. Срок визита: 15.02.2018 г. – 01.09.2019 г. Цель визита: обучение по программе бакалавриата ММФ НГУ по специализации "Методы Монте-Карло", работа над дипломной работой по теме: "Алгоритмы численного статистического моделирования метеорологических процессов". Ответственный – г.н.с. лаборатории стохастических задач, д.-ф.-м.н. Огородников В. А.

23. Акжан САЛИМОВА /Akzhan SALIMOVA, гражданка Республики Казахстан, студентка ММФ НГУ. Срок визита: 26.02.2018 г. – 31.12.2020 г. Цель визита: обучение по программе бакалавриата ММФ НГУ по специализации "Обратные задачи и задачи усвоения данных для охраны окружающей среды и экологии". Ответственный – зав. лабораторией математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, д.ф.-м.н. Пененко В. В.

24. Сантимой КУНДУ/Santimou KUNDU, профессор Института технологи, г. Дханбад, Индия. Срок визита: 06.03.2018 г. – 16.03.2020 г. Цель визита: Согласование плана исследований и работ в рамках индийско-российского проекта РФФИ №17-57-45166 инд_а "Подход к обработке данных, регистрируемых в процессе вибрационного просвечивания Земли и теоретическое исследование сейсмических волн". Ответственный – с.н.с. лаборатории геофизической информатики, к.т.н. Знак В. И.

25. Акманат САДЫКОВА, студентка казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 07.03.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обучение (в рамках одного семестра) по специальности "Информатика и вычислительная техника" (ФИТ НГУ) по программе студенческой мобильности с Казахским национальным университетом им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

26. Алляль ГЕССАБ/Allal GUESSAB, профессор лаборатории прикладной математики университета г. По, Франция. Срок визита: 17.04.2018 г. и 22.05.2018 г. Цель визита: Выступление на объединённом семинаре ИВМиМГ СО РАН и кафедры вычислительной математики НГУ совместно с семинаром по математическому моделированию под руководством чл.-корр. РАН Кабанихина С. И. по темам: "Об улучшении конечно-элементных аппроксимаций" и "Диаграммы Вороного, триангуляции Делане и их оптимальные критерии в многомерной численной интеграции". Ответственный – г.н.с. лаборатории вычислительной физики, д.ф.-м.н. Ильин В. П.

27. Клеман Селестан Жильбер ПЕТИ/Clement Celestin Gilbert PETIT, студент Лицея Сан-Жозеф-Ла Заль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 03.05.2018 г. – 05.07.2018 г. Цель визита: Прохождение производственной практики по теме: "Информатика и вычислительная техника", участие в работе научных и учебных семинаров лаборатории. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

28. Алан Патрик ОРО/Alan Patric HOARAU, студент Лицея Сан-Жозеф-Ла Заль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 03.05.2018 г. – 05.07.2018 г. Цель визита: прохождение производственной практики по теме "Информатика и вычислительная техника", участие в работе научных и учебных семинаров лаборатории. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

29. Матьё Жозель Паскаль Мишель ЛОРО/Mathieu Joël Pascal Michel LORNO, студент Лицея Сан-Жозеф-Ла Заль, г. Лорьян, Франция. Срок визита: 03.05.2018 г. – 05.07.2018 г. Цель визита: прохождение производственной практики по теме: "Информатика и вычислительная техника", участие в работе научных и учебных семинаров лаборатории. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

30. Владимир ЯВОРСКИЙ, д.т.н., профессор Карагандинского государственного технического университета, г. Караганда, Республика Казахстан. Срок визита: 13.06.2018 г. – 18.06.2018 г. Цель визита: Проведение исследований по разработке инновационных и телекоммуникационных технологий. Ответственный – зав. лабораторией системного моделирования и оптимизации, д.т.н. Родионов А. С.

31. Айнур КУСАИНОВА, докторант Евразийского национального университета им. Л. И. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 23.06.2018 г. – 29.06.2018 г. Цель визита: научная стажировка по теме "Механика и математическое моделирование", специализация "Обратные задачи математической физики". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

32. Зарина Толеубековна ХАСЕНОВА, докторант Евразийского национального университета им. Л. И. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 25.06.2018 г. – 30.06.2018 г. Цель визита: обсуждение результатов научной работы по теме: "Методы математического моделирования в области охраны окружающей среды". Ответственный – зав. лабораторией математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, д.ф.-м.н. Пененко В. В.

33. Микеле ПАГАНО/Michele PAGANO, профессор Университета г. Пизы, Италия. Срок визита: 28.06.2018 г. – 04.07.2018 г. Цель визита: обсуждение вопросов по совместной работе с лабораторией системного моделирования и оптимизации. Ответственный – зав. лабораторией системного моделирования и оптимизации, д.т.н. Родионов А. С.

34. Данил ЛЕБЕДЕВ, докторант PhD, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в Летней международной XXXI Школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н., Малышкин В. Э.

35. Жандос Адилулы ЖАППАС, студент 3-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в Летней международной XXXI Школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

36. Айбек Талгатулы ЕРТУЯК, студент 2-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в Летней международной XXXI Школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н., Малышкин В. Э.

37. Тимур Аркадьевич ЖИГМЫТОВ, студент 4-го курса университета международного бизнеса, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в Летней международной XXXI Школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

38. Ернур Канадбекович ТОЛЕНБЕКОВ, докторант 1-го курса международного университета информационных технологий, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в Летней международной XXXI Школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

39. Актумар Рахымкызы РАХЫМОВА, студентка 1-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в Летней международной XXXI Школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

40. Куаныш Амандыкулы НУРБЕРГЕН, студент 3-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в 31-й Летней международной школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

41. Дарья Юрьевна ЧИКИБАЕВА, студентка 3-го курса Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 02.07.2018 г. – 15.07.2018 г. Цель визита: участие в 31-й Летней международной школе-конференции по параллельному программированию. Ответственный – зав. лабораторией синтеза параллельных программ, д.т.н. Малышкин В. Э.

42. Никола ГОНСАЛЕС/Nicolas GONZALEZ, студент Института прикладных наук, г. Тулуза, Франция. Срок визита: 02.07.2018 г. – 22.07.2018 г. Цель визита: обучение в студенческой интернатуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по теме "Разработка алгоритмов усвоения данных для моделей адвекции – диффузии – реакции". Ответственный – с.н.с. лаборатории математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, к.ф.-м.н. Пененко А. В.

43. Василий ГОРШУНОВ, гражданин Республики Казахстан, 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". Ответственный – г.н.с. лаборатории вычислительной физики, д.ф.-м.н. Ильин В. П.

44. Жадыры Саматовна МУКАТОВА, студентка НГУ, гражданка Республики Казахстан. Срок визита: 12.09.2018 г. – 30.06.2020 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". Ответственный – с.н.с. лаборатории математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, к.ф.-м.н. Пененко А. В.

45. Акжан САЛИМОВА, студентка НГУ, гражданка Республики Казахстан. Срок визита: 18.09.2018 г. – 30.05.2019 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". Ответственный – с.н.с. лаборатории математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, к.ф.-м.н. Пененко А. В.

46. Гулим ТУРСЫНГАЛИЕВА, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 05.10.2018 г. – 14.11.2018 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Суперкомпьютерное моделирование химокинетических процессов в сверхновых звёздах третьего поколения". Ответственный – с.н.с. лаборатории суперкомпьютерного моделирования, д.ф.-м.н. Куликов И. М.

47. Айжан ЖАРКИМБЕКОВА, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан. Срок визита: 05.10.2018 г. – 14.11.2018 г. Цель визита: прохождение научной стажировки по теме "Суперкомпьютерное моделирование химокинетических процессов в сверхновых звёздах третьего поколения". Ответственный – с.н.с. лаборатории суперкомпьютерного моделирования, д.ф.-м.н. Куликов И. М.

48. Хонг Куанг ФАМ / Hong Quang PHAM, директор Центра информатики и вычислительной техники Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам. Срок визита: 07.10.2018 г. – 11.10.18 г. Цель визита: участие в российско-китайско-вьетнамском семинаре "Численные методы в решении обратных и некорректных задач в естественных науках". Ответственный – зав. лабораторией математических задач естествознания, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

49. Куанг А ДАНГ/ Quang A DANG, профессор Центра информатики и вычислительной техники Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам. Срок визита: 07.10.2018 г. – 11.10.18 г. Цель визита: участие в российско-китайско-вьетнамском семинаре "Численные методы в решении обратных и некорректных задач в естественных науках". Ответственный – зав. лабораторией математических задач естествознания, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

50. Динх Нхо ХАО / Dinh Nho HAO, профессор Института математики Вьетнамской академии наук и технологий, г. Ханой, Вьетнам. Срок визита: 07.10.2018 г. – 11.10.18 г. Цель визита: участие в российско-китайско-вьетнамском семинаре "Численные методы в решении обратных и некорректных задач в естественных науках". Ответственный – зав. лабораторией математических задач естествознания, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

51. Вячеслав ПРИЙМЕНКО/Viatcheslav PRIIMENKO, проф. Северного Флуминенсе государственного университета Дарси Рибейро, г. Макаэ, Бразилия. Срок визита: 08.10.18 г. – 15.10.18 г. Цель визита: участие в международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика'2018", посвящённой 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева. Ответственный – директор ИВМиМГ СО РАН, чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

52. Александр ВАЖЕНИН/Alexandr VAZHENIN, профессор университета Айзу, г. Айзувакамацу, Япония. Срок визита: 08.10.18 г. – 14.10.18 г. Цель визита: участие в международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика'2018", посвящённой 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева. Ответственный – директор ИВМиМГ СО РАН, чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

53. Казизат Такуадинович ИСКАКОВ, д.ф.-м.н., проф. Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан. Срок визита: 08.10.18 г. – 13.10.18 г.

Цель визита: участие в международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика'2018", посвящённой 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексева. Ответственный – директор ИВМиМГ СО РАН, чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

54. Динара ТОКСЕИТ, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан. Срок визита: 08.10.18 г. – 14.11.18 г. Цель визита: стажировка по спецкурсам: "Обратные задачи метафизики", "Численные методы решения задач естествознания", "Высокопроизводительные технологии в математическом моделировании". Ответственный – зав. лабораторией математических задач естествознания, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

55. Алия ТАКУАДИНА, докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан. Срок визита: 08.10.18 г. – 14.11.18 г. Цель визита: стажировка по спецкурсам "Обратные задачи метафизики", "Численные методы решения задач естествознания", "Высокопроизводительные технологии в математическом моделировании". Ответственный – зав. лабораторией математических задач естествознания, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

56. 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 над подготовкой кандидатской диссертационной работы по теме "Численное статистическое моделирование в задачах теории переноса с приложениями в области оптики атмосферы и океана". Ответственный – зав. лабораторией стохастических задач, д.ф.-м.н. Каргин Б. М.

57. Шуан ЛЮ/Shuang LIU, магистрантка 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". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

58. Бигуль Олжабаевна МУХАМЕТЖАНОВА, аспирантка Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 10.10.2018 г. – 13.10.2018 г. Цель визита: участие в международной молодёжной конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

59. Айгуль Даулетовна КУБЕГЕНОВА, аспирантка Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Республика Казахстан. Срок визита: 10.10.2018 г. – 13.10.2018 г. Цель визита: участие в международной молодёжной конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

60. Нурлан ШАЯХМЕТОВ, докторант Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 06.10.2018 г. – 12.10.2018 г. Цель визита: участие в международной молодёжной конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

61. 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". Ответственная – н.с. лаборатории обратных задач естествознания, к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

62. Максим БАСУРМАНОВ, магистрант НГУ, гражданин Республики Казахстан. Срок визита: 15.10.18 г. – 31.06.19 г. Цель визита: обучение в магистратуре НГУ на базе ИВМиМГ СО РАН по специализации "Обратные задачи охраны окружающей среды и экологии". Ответственный – с.н.с. лаборатории математического моделирования гидродинамических процессов в природной среде, к.ф.-м.н. Пененко А. В.

63. Мерей КЕНЖЕБАЕВА, докторант Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан. Срок визита: 17.10.2018 г. – 06.12.2018 г. Цель визита: прохождение стажировки по теме "Численные методы решения задач естествознания" и ознакомление с методиками расчётов обратных задач, возникающих при моделировании нефтегазовых месторождений. Ответственный – зав. лабораторией математических задач естествознания, д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

64. Марат Абдукадырович СУЛТАНОВ, к.ф.-м.н., доцент международного Казахско-турецкого университета им. Х. А. Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан. Срок визита: 26.11.2018 г. – 30.11.2018 г. Цель визита: консультации по методам обработки изображений. Проведение переговоров о совместном сотрудничестве. Ответственный – заведующий лабораторией обработки изображений, профессор, д.т.н. Пяткин В. П.

Важнейшие результаты ИВМиМГ СО РАН в 2018 г.

Новые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов параметров критичности процесса рассеяния частиц с размножением в случайных средах.

Советник РАН, чл.-корр. РАН Михайлов Г. А., к.ф.-м.н. Лотова Г. З.

По аналогии с методом Келлога построен допускающий распараллеливание алгоритм метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов ведущего характеристического числа k уравнения переноса частиц с размножением в случайной среде. С этой же целью разработан рандомизированный метод гомогенизации на основе теории малых возмущений и диффузионного приближения. Тестовые расчеты, проведенные для однопроводной сферически симметричной модели системы, показали удовлетворительное согласование результатов, полученных двумя методами.

Модель нагрева и остывания пластины дивертора с учетом испарения под воздействием высокоскоростного пучка электронов.

Чл.-корр. РАН Лазарева Г. Г., м.н.с. Максимова А. Г.

Расширена математическая модель нагрева и остывания пластины дивертора из тугоплавкого металла вольфрама под воздействием высокоскоростного пучка электронов с учетом процессов плавления и испарения. Модель основана на решении двухфазной задачи Стефана. Положение и скорость движения границы раздела фаз зависят от разрывных нелинейных коэффициентов. Плотность, теплопроводность и удельная теплоемкость учтены как зависимости от температуры материала в диапазоне $300 \text{ K} < T < 8000 \text{ K}$. Эти функции имеют разрывы или теряют гладкость при температуре плавления 3695 K . Условие на границе свободный расплав – твердое тело состоит в непрерывности температуры и разрывности теплового потока за счет поглощения или выделения известного количества тепла. На решение задачи большое влияние оказывают разрывные по пространству и времени нелинейные граничные условия, описывающие нагрев и испарение материала. При проведении экспериментов на установке ВЕТА вольфрамовые образцы подвергались воздействию осесимметричного электронного пучка с энергией $80\text{--}90 \text{ кВт}$. Распределение плотности теплового потока по поверхности измерялось с помощью рентгеновской визуализации. Для реализации схемы непрерывного счета условие на свободной границе включено в решаемое уравнение теплопроводности. Расчеты проводились с интервалом сглаживания 5 К . Процесс испарения на границе учитывался в расчете результирующего потока энергии через мощность теплового потока, потерю мощности, температуру на границе, давление насыщенного пара и скорость испарения. Сравнение экспериментально полученных радиусов расплавленной области в различные моменты времени с расчетными данными показывают сильное влияние учета процесса испарения.

Секция "Вычислительная математика и численное моделирование физики атмосферы и гидросферы"

Методы стохастического моделирования для вычисления интенсивности катодоллюминесценции и тока, индуцированного электронным пучком для визуализации дислокаций в полупроводниках.

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

Предложен новый бессеточный стохастический алгоритм вычисления интенсивности катодоллюминесценции и тока, индуцированного электронным пучком. На его основе проведена серия расчетов катодоллюминесцентных карт для полупроводников с краевыми

дислокациями. Получен новый результат в физике взаимодействия экситонов и дислокаций: наши расчеты показали, что как интенсивность катодолюминесценции, так и распределение энергии запрещенной зоны в окрестности дислокации в рамках традиционного представления краевой дислокации в виде твердого цилиндра (диаметром порядка 3 нанометров) находятся в значительном противоречии с экспериментальными данными. Этот результат поставил задачу построения новой, физически обоснованной математической модели транспорта экситонов при наличии дислокаций для проверки предложенной нами теории взаимодействия экситонов и дислокаций. Над подобной теорией работают многие группы в мире, однако сложность самой физической задачи и отсутствие методов моделирования таких сложных взаимодействий экситонов с ансамблями дислокаций до сих пор препятствовали построению такой теории.

По предложенной нами совместно с группой ученых-физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (PDI, Berlin) теории электрическое поле вокруг дислокации формируется за счет упругих сил, поскольку нитрид галлия (GaN) является пьезоэлектрическим кристаллом, и нам потребовалось точно вычислить приповерхностное поле в окрестности выхода дислокации на поверхность кристалла, поскольку именно оно может приводить к нерадиационной рекомбинации экситона.

При работе над данной проблемой нами построена теория взаимодействия экситона с дислокацией и на ее основе создан стохастический алгоритм для расчета катодолюминесценции и в целом катодолюминесцентных карт дислокаций. Построен алгоритм моделирования движения экситона в пьезоэлектрическом поле в окрестности дислокации с учетом того, что вектор скоростей вокруг дислокации чрезвычайно сложен и имеет большие градиенты при приближении к оси дислокации, где число Пекле резко возрастает. Стохастический алгоритм моделирования движения экситонов в таком поле скоростей удалось построить и реализовать на основе точного (аналитического) вычисления распределения позиции экситона на поверхности сферы.

Алгоритм расчета ортоскопических и коноскопических интерференционных картин для одноосных кристаллов.

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

Разработан алгоритм расчета ортоскопических и коноскопических интерференционных картин для немагнитных прозрачных оптически одноосных кристаллов. Впервые выполнен расчет реалистических цветных интерференционных картин (на примере кальцита и кварца). Упомянутые картины являются важным инструментом в работе петрографов, кристаллооптиков, ювелиров и др. при определении типа и качества исследуемого образца минерала.

Результат расширяет возможности систем виртуальной реальности при физически корректном моделировании природных оптических явлений. Расчетный алгоритм базируется на прямом физически корректном моделировании взаимодействия лучей света с анизотропными средами. Применяется трассировка лучей света, характеризующихся состоянием поляризации, фазой и индикатором когерентности. Аналогичные результаты, судя по публикациям, отсутствуют. При отладке алгоритма проводилось качественное сравнение с фотографией реальной картины.

Модель двойной пористости на основе гибридной функции перетока.

Д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М. в соавторстве с сотрудниками СВФУ (г. Якутск) к.ф.-м.н. Григорьевым А. В. и к.ф.-м.н. Яковлевым П. Г.

Предложена модель двойной пористости для трещиновато-пористой среды с использованием комбинации классической и градиентной функций массообмена между трещинами и пористыми блоками в случае течения слабо сжимаемой однофазной жидкости. Такая функция массообмена позволяет учитывать анизотропные свойства фильтрации в более общем, по сравнению с известными моделями, виде. Введено понятие эффективной нормали к трещиноватой среде. Установлено достаточное условие разрешимости соответствующей дифференциальной задачи в виде неравенства, при котором справедлива априорная оценка решения. В случае переменной эффективной нормали возможно возникновение неустойчивости, и наличие слагаемого, соответствующего классической функции перетока, служит своего рода стабилизатором. Вычислительный алгоритм основан на использовании конечно-элементной аппроксимации по пространству и полностью неявной аппроксимации по времени. Для сеточной задачи также получена априорная оценка при том же условии, что и для дифференциальной задачи. Найден набор параметров, для которых возникает неустойчивость.

Метод декомпозиции расчетной области на две подобласти без их пересечения для решения трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа.

Д.ф.-м.н. Свешников В. М., А.О. к.ф.-м.н. Савченко, Петухов А. В.

Предложен, теоретически и экспериментально исследован метод декомпозиции расчетной области на две подобласти без пересечения для решения трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа, описывающего распределение потенциала электрического поля. Исходная краевая задача сводится к двум подзадачам: внутренней и внешней на сфере, которые решаются параллельно. Предложен метод выделения особенности во внешней краевой задаче. Для сшивки решений на границе сопряжения подобластей (сфере) записывается специальное операторное уравнение, которое аппроксимируется системой линейных алгебраических уравнений. Данная система решается итерационными методами в подпространствах Крылова. Примеры решения модельных задач подтверждают работоспособность предлагаемого подхода.

Методы решения условно-корректных обратных задач продолжения и производных от них задач усвоения данных с учетом неопределенностей на базе вариационных принципов со слабыми ограничениями для математических моделей процессов гидротермодинамики, переноса и трансформации примесей в атмосфере.

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

Разработаны новые методы решения условно-корректных обратных задач продолжения и производных от них задач усвоения данных на базе вариационных принципов со слабыми ограничениями для математических моделей процессов и данных наблюдений с учетом неопределенностей. Для построения численных алгоритмов применяется концепция локальных сопряженных задач в сочетании с методами расщепления и декомпозиции операторов моделей и функционалов. Принципиальные положения разработаны для четырехмерных задач гидротермодинамики геофизических жидкостей (атмосфера, водные объекты) в системе Земля и, на их основе, задач охраны окружающей среды. Методы используются в задачах, где необходим учет сложной конфигурации областей и их границ, а также в тех случаях, когда отсутствуют данные об источниках или о граничных условиях.

Исследование температурных аномалий Арктического шельфа и процессов разрушения субаквальной мерзлоты на основе комплекса региональных вложенных моделей.

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

Сформирован комплекс региональных вложенных моделей окраинных морей Арктики. На основе разработанного комплекса проведено исследование изменчивости гидрологии Сибирских морей, обусловленной современными климатическими процессами. Использование технологии встроженных моделей позволило воспроизвести и уточнить процессы, протекающие на шельфе моря Лаптевых в летний период. Наиболее важными среди них являются процессы распространения пресных вод р. Лены при различных режимах атмосферной циркуляции и формирование аномалий температуры, способных проникать в придонный слой, способствуя разрушению субаквальной мерзлоты.

Секция "Математическое моделирование и методы прикладной математики"**Новые семейства точных решений двумерного уравнения эйконала**

Москаленский Е. Д.

Предложен способ получения решений двумерного уравнения эйконала для случая, когда скорость в среде зависит только от одной координаты. Причиной интереса к такому типу уравнения является то, что двумерное уравнение эйконала общего вида сводится, с помощью конформной замены переменных, к уравнению, в котором правая часть зависит от одной переменной. За счет подбора общего вида решения удалось, в некоторых случаях, свести исходное уравнение к одному или нескольким обыкновенным дифференциальным уравнениям, поддающимся решению. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании распространения волн цунами, например для тестирования численных методов расчета.

Оценка упругих свойств образцов горной породы по 3D цифровым изображениям компьютерной томографии.

Д.ф.-м.н. Решетова Г. В.

В настоящее время широко используемый подход к определению упругих характеристик образцов керна состоит в проведении дорогостоящих трудо/время затратных физических лабораторных экспериментов. Разработан альтернативный подход, основанный на математическом моделировании "виртуального эксперимента" по 2D и 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 податливости. Особенностью алгоритма является новая схема решения задач статического нагружения образца методом установления задачи динамической теории упругости и схема параллельной реализации на основе MPI+OpenMP. Точность метода определения эффективных параметров проверялась на однородных образцах с известными свойствами и слоистых, для которых эффективные параметры рассчитывались по методу Шенберга.

Построение математической модели земной коры по данным метода приемной функции и ее верификация с применением математического моделирования и методов активной сейсмологии (лаб. д.т.н. Ковалевского В.В.)

Д.т.н. Ковалевский В. В., к.ф.-м.н. Караваев Д. А., Л. П. Брагинская, Григорюк А. П.

Построена существенно неоднородная 2D скоростная модель земной коры южного Прибайкалья по данным метода приемной функции с выделением в коде Р-волны обменных

поперечных волн на основе двумерной сплайновой аппроксимации данных эксперимента PASSCAL. Разработаны параллельные алгоритмы и программы на основе конечно-разностных методов с реализацией на кластере НКС-30Т Сибирского суперкомпьютерного центра и выполнено математическое моделирование полного вибросейсмического поля. Впервые получены теоретические (синтетические) сейсмограммы для разработанной модели эксперимента PASSCAL на профиле Байкал – Улан-Батор, которые показали преобладание в волновом поле прямых и рассеянных волн в отличие от отраженных, преломленных и головных волн для известных слоистых моделей земной коры. Показано хорошее согласование теоретических сейсмограмм с регистрируемыми сейсмограммами, полученными методами активной сейсмологии, и вибросейсмическими данными, полученными ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН в Байкальском регионе.

Метод восстановления изображений трехмерных объектов в спектральной позитронной эмиссионной томографии с учетом комптоновского рассеяния.

Д.ф.-м.н. Казанцев И. Г.

Разработан метод восстановления изображений по томографическим проекциям, регистрируемым детекторами высокого спектрального разрешения, обладающими возможностью регистрации фотонов, претерпевших комптоновское рассеяние. Доказано, что при необременительных ограничениях восстановление может быть произведено с использованием алгоритма обращения послойного лучевого преобразования Радона. Эксперименты позволяют сделать вывод, что многоспектральная информация, содержащаяся в данных рассеяния, может быть успешно использована наравне с традиционным монохроматическим излучением. Подход может быть применен в задачах улучшения разрешения на многоспектральных данных, используемых в сканерах эмиссионной томографии.

Секция "Параллельные и распределенные вычисления"

Разработка алгоритмов и реализация подсистемы управления библиотекой фрагментированных подпрограмм.

Д.т.н. Малышкин В. Э., Городничев М. А., Киреев С. Е., Перепелкин В. А.

Разработана и реализована подсистема управления библиотекой параллельных фрагментированных подпрограмм (модулей) на базе системы программирования LuNA. Библиотека хранит модули, пополняется новыми, а также предоставляет информацию о модулях и их свойствах в унифицированном виде. Спецификация функциональных свойств модулей выполняется путем введения вычислительной модели предметной области, при этом входные и выходные параметры библиотечной подпрограммы ставятся в соответствие переменным этой вычислительной модели. Реализована подсистема для включения библиотечных фрагментированных подпрограмм в прикладные программы. Система LuNA предоставляет программисту прикладной программный интерфейс, позволяющий осуществлять запуск библиотечных фрагментированных подпрограмм в программах, написанных на языке C++. В качестве экспериментального примера применения подсистемы для включения библиотечных фрагментированных программ в прикладные программы разработан скелетон (каркас) программы решения задач пространственной динамики методом частиц-в-ячейках.

Суперкомпьютерное моделирование астрофизических объектов.

Д.ф.-м.н. Куликов И. М., к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Получены важнейшие результаты в области исследования взрыва сверхновых звезд типа Ia на основе эволюции белых карликов. Разработана вычислительная модель процесса

сверхновой типа Ia на массивно-параллельных суперкомпьютерах с использованием технологии адаптивных вложенных сеток. Для реализации используется стек технологий параллельных вычислений FFTW/MPI/OpenMP/CUDA/AVX-512. С помощью вычислительных экспериментов на суперЭВМ исследованы два сценария взрыва сверхновых типа Ia, в основе которых – взрыв на периферии звезды.

Получены важнейшие результаты в области исследования процессов звездообразования во взаимодействующих галактиках. Проведено исследование процесса звездообразования в ходе столкновения S и E галактик. С помощью вычислительного эксперимента на суперЭВМ показано образование двухрукавного диска из молодых звезд.

Big data и обработка данных площадных сейсмических наблюдений.

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Кабанихин С. И., д.ф.-м.н. Шишленин М. А., Новиков Н. С.

Создание алгоритмов и комплекса программ численного решения обратных задач акустики и сейсморазведки при реализации платформы цифрового интеллектуального месторождения на основе обработки площадных систем наблюдений в сейсморазведке и микросейсмическом мониторинге, исследования и решения трехмерных аналогов уравнений Гельфанда – Левитана – Крейна на основе малоранговых аппроксимаций, тензорного разложения и теплицевых матриц при обработке больших данных. Показано, что применение методов, использующих структуру матриц, можно уменьшить число операций, необходимых для решения обратной задачи, на два порядка.

Параллельные алгоритмы численного статистического моделирования для решения стохастических дифференциальных уравнений с частными производными

Д.ф.-м.н. Артемьев С. С., проф. РАН, д.ф.-м.н. Марченко М. А., Смирнов Д. Д.

Разработаны и реализованы на суперкомпьютере параллельные алгоритмы численного статистического моделирования решений стохастических дифференциальных уравнений с частными производными – одномерных и двумерных уравнений теплопроводности, Бюргера и Кортевега-де-Фриза, а также для обратной задачи гравиметрии.

Секция "Информационные системы"

Эволюционные методы оптимизации инженерных сетей.

К.ф.-м.н. Мигов Д. А., к.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Токтошов Г. Ы., к.ф.-м.н. Юргенсон А. Н.

Разработаны методы оптимального синтеза сетей инженерных коммуникаций по критерию минимума суммарных затрат на их строительство и эксплуатацию, основанные на иерархической гиперсетевой модели. Предложен метод дифференциальной эволюции, позволяющий улучшить первоначальное решение путем отображения ребер вторичной сети в первичную сеть с использованием дополнительных точек Штейнера. Разработан новый метод поиска оптимальных трасс для прокладки инженерных сетей, учитывающий несовместимость различных типов ресурсов для их прокладки по групповой (общей) трассе. Кроме того, разработан модифицированный муравьиный алгоритм, обеспечивающий получение не только экономичного, но и достаточно надежного по отношению к заданному порогу решения при условии, что сбои происходят в первичной (физической) сети. Проведенные численные эксперименты показывают применимость предложенных методов.

Лаборатория методов Монте-Карло

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

Важнейшие достижения

Новые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов параметров критичности процесса рассеяния частиц с размножением в случайных средах

По аналогии с методом Келлога построен допускающий распараллеливание алгоритм метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов ведущего характеристического числа k уравнения переноса частиц с размножением в случайной среде. С этой же целью разработан рандомизированный метод гомогенизации на основе теории малых возмущений и диффузионного приближения. Тестовые расчеты, проведенные для однорупповой сферически-симметричной модели системы, показали удовлетворительное согласование результатов, полученных двумя методами. В таблице представлены результаты расчетов для двенадцатислойного шара с независимыми значениями сечения $\sigma_i (i = 1, 2, \dots, 12)$, равномерно распределенными в интервале $(0.7, 1.3)$; при $\sigma_i = 1$ шар критичен, т. е. $k = 1$.

Вероятностные моменты флуктуаций эффективного коэффициента размножения k частиц в двенадцатислойном шаре

E k		$\sqrt{D} k$	
метод Монте-Карло	гомогенизация	метод Монте-Карло	гомогенизация
0.9996099 ± 0.0000087	0.9996701 ± 0.0000004	0.0040432	0.0045597

Чл.-корр. РАН Михайлов Г. А., к.ф.-м.н. Лотова Г. З.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Mikhailov G. A., Lotova G. Z. New Monte Carlo algorithms for estimating probability moments of criticality parameters for a scattering process with multiplication in stochastic media // Doklady Math. 2018. Vol. 97, N 1. P. 6–10. DOI: 10.1134/S1064562418010039.

2. Mikhailov G. A., Lotova G. Z. Monte Carlo methods for estimating the probability distributions of criticality parameters of particle transport in a random medium // Comput. Math. and Math. Phys. 2018. Vol. 58, N 11. P. 1828–1837. DOI: 10.1134/S09655f42518110088.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Разработка весовых параметрических алгоритмов статистического моделирования для суперкомпьютерного решения многомерных задач в естественных и технических науках".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0002.

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

Разработан допускающий распараллеливание алгоритм метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов ведущего характеристического числа уравнения переноса частиц с размножением в случайной среде на основе метода Келлога. С этой целью построены новые итерационные оценки коэффициента размножения и рекуррентное представление статистических оценок моментов. При этом эффективно используются метод двойной рандомизации, а для вычисления вероятности надкритичности – рандомизированный проекционный

метод. Кроме того, разработан рандомизированный метод гомогенизации на основе теории малых возмущений и диффузионного приближения. Тестовые расчеты, проведенные для однорупповой сферически-симметричной модели системы, показали удовлетворительное согласование результатов, полученных двумя методами.

Численно-статистически моделировался перенос излучения через случайные среды трех различных типов с одинаковыми одномерными распределениями и корреляционными радиусами. При этом практически совпали осредненные вероятности прохождения квантов и их угловые распределения, хотя расчеты корреляционных радиусов и визуализации соответствующих полей яркости дали несколько различающиеся результаты. В расчетах использовались методы двойной рандомизации и максимального сечения, а также статистические ядерные оценки. Получены численно-статистические оценки корреляционных характеристик и осредненных угловых распределений поля интенсивности излучения, проходящего через случайную среду. Сравнительные исследования проведены для элементарного пуассоновского и для "реалистического" полей оптической плотности среды. Полученные оценки подтверждают предположение о большой степени зависимости изучаемых величин от корреляционного масштаба и одномерного распределения поля плотности среды.

Построен и обоснован новый универсальный суперкомпьютерный весовой алгоритм метода Монте-Карло с дополнительным ветвлением траектории, использование которого позволяет в одном расчете получать весовые оценки линейных функционалов от набора решений многомерных скалярных или векторных линейных кинетических уравнений с заданной конечной трудоемкостью.

Разработана статистическая оценка числа обусловленности матрицы большого размера. Эта оценка может быть использована при решении нелинейных обратных задач большой размерности, а также позволяет оценить величину параметра регуляризации при решении системы линейных уравнений, возникающей при решении обратной задачи. Разработан метод регуляризации для восстановления эффективности одного статистического метода расчета переноса излучения через плоский оптический слой вещества при больших значениях оптической толщины слоя.

Построены оценки метода Монте-Карло для линейных функционалов от решения системы уравнений, описывающих динамику цен на бирже в рамках кинетической модели. В данной модели ценообразования изучается связь количества ордеров на бирже (аналог концентрации вещества) и частоты сделок (аналог скорости реакции), поэтому модель называется кинетической. Подобно взаимодействиям молекул в газовой динамике, в этой модели сделки на рынке рассматриваются как акты кинетических взаимодействий трейдеров, а именно покупателей и продавцов. Для рассматриваемой вероятностной модели цены построено интегральное уравнение второго рода, связанное с линейной многочастичной моделью динамики поведения множества продавцов и покупателей на бирже. Для оценки функционалов от решения полученного уравнения использован аппарат весовых алгоритмов метода Монте-Карло.

Методом подсеточного моделирования получены эффективные параметры (параметры эффективно осредненной модели) для квазистационарных уравнений Максвелла с учетом членов первого порядка малости по $\omega \varepsilon(\mathbf{x})/\sigma(\mathbf{x})$, где ω – циклическая частота, $\varepsilon(\mathbf{x})$ – диэлектрическая проницаемость, $\sigma(\mathbf{x})$ – электропроводность. В этом случае эффективные параметры не зависят от частоты и, следовательно, верны и во временной области. Изучено влияние коррелированности полей диэлектрической проницаемости и электропроводности на эффективную оценку энергии в скин-слое.

Исследована сравнительная эффективность различных алгоритмов статистического моделирования процесса переноса поляризованного излучения для задачи с молекулярной матрицей рассеяния. При этом вычислялись векторные освещенность и яркость для прошедшего и отраженного излучений. Для оценки соответствующих угловых распределений разработана статистическая ядерная оценка с учетом весов регистрируемых квантов.

В атмосферной оптике рассматривалась задача восстановления аэрозольной матрицы рассеяния по наземным наблюдениям поляризованного излучения. Для ее решения построен итерационный метод типа предиктор-корректор, позволяющий более точно восстанавливать индикатрису рассеяния.

Предложен алгоритм метода Монте-Карло для изучения двунаправленных угловых характеристик поляризованного излучения, основанный на двумерном проекционном разложении соответствующего поверхностного углового распределения по базису из ортонормированных с весом функций специального вида. Изучены два варианта базисных функций: полусферические гармоники, построенные на основе присоединенных полиномов Якоби, а также функции, построенные в виде произведения модифицированных полиномов Якоби и Лежандра. Рассмотрена задача оценки угловых характеристик отражения и пропускания излучения оптически толстым слоем рассеивающего и поглощающего вещества с учетом как подповерхностных взаимодействий, так и поляризационных эффектов. С помощью построенных алгоритмов проведено численное исследование двумерных угловых распределений интенсивности и степени поляризации излучения, прошедшего и отраженного оптически толстыми слоями рассеивающей и поглощающей сред.

Разработан алгоритм метода прямого статистического моделирования для расчета истечения разреженной смеси водорода и метана через цилиндрический канал в вакуум. В алгоритм включено моделирование четырех газофазных реакций (диссоциация и рекомбинация водорода, разложение метана на метил и атомарный водород, восстановление метана из метила), а также моделирование диссоциации и рекомбинации водорода на стенках канала. Параметры моделирования гетерогенных реакций на поверхности канала выбраны на основе численно-экспериментальных данных для вольфрама. Проведен анализ влияния длины канала на степень диссоциации водорода и метана на выходе из канала. Полученные результаты могут быть полезны для оптимизации газодинамических источников активированного газа при синтезе алмазоподобных пленок.

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

Блок проекта комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН II.1 "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 – д.ф.м.н. Рогазинский С. В.

Выполнена адаптация модели развития ионизации в электронных лавинах методом Монте-Карло применительно к разрядам низкого давления.

Рассмотрены задачи теории переноса электронов в газе под действием сильного внешнего электрического поля. Проведены расчеты с помощью трехмерного алгоритма ELSHOW и получены выборки состояний частиц в электронной лавине для заданного момента времени. Для такой выборки несколькими способами вычислялись соответствующие "диффузионные

радиусы" и коэффициенты диффузии. Известно, что в диффузионном приближении плотность частиц в облаке пропорциональна нормальному распределению. Однако диффузионное приближение достаточно хорошо описывает происходящие в лавине процессы лишь при малых значениях отношения напряженности поля к давлению газа. Поэтому предложен другой способ в рамках диффузионного приближения, т. е. с целью гауссовской аппроксимации плотности, но использовать его можно и для более точных оценок искомых функционалов. А именно, коэффициенты диффузии находятся с помощью "радиусов" поперечной и продольной диффузии. Для вычисления радиусов диффузии необходимо построить график плотности распределения частиц, найти точку его максимального значения (точку "вершины") и точку, в которой значение графика в ϵ раз меньше вершины. Ранее для этого использовались гистограмма и полигон частот со специально подобранными шагами. В данной работе построены более точные оценки радиуса диффузии на основе сглаженных оценок плотности распределения частиц: ядерных оценок Парзена – Розенблатта с использованием группированной выборки и рандомизированного проекционного метода с использованием полиномов Лагерра и Эрмита. Тестовые расчеты показали высокую эффективность проекционных оценок для вычисления диффузионных характеристик.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 18-01-00356а "Разработка рандомизированных весовых алгоритмов численного статистического моделирования с ветвлением траекторий для построения параметрических оценок функционалов от решений многомерных линейных и нелинейных кинетических уравнений".

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

Построена новая универсальная модификация векторного весового метода подобных траекторий (МПТ) с ветвлением цепи столкновений соответственно максимуму по всем параметрам соответствующей нормы "накопленного" матричного веса. Построен новый комбинированный алгоритм моделирования переноса поляризованного излучения с конечной дисперсией, а также алгоритм со смешанной переходной плотностью, сравнительная эффективность которого численно исследована для молекулярной матрицы рассеяния. Разработан весовой векторный алгоритм Монте-Карло для оценки "двунаправленных" угловых характеристик рассеянного поляризованного излучения, основанный на проекционном разложении плотности соответствующего углового распределения по "полусферическим гармоникам". Построен новый распараллеливаемый алгоритм статистического моделирования для решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана на основе проекционного метода, причем в качестве ортонормированного базиса использовались полиномы Эрмита. Для оценки линейных функционалов от решения уравнений типа Больцмана, а также систем таких уравнений, построены новые алгоритмы метода Монте-Карло в рамках кинетических моделей автотранспортных потоков и ценообразования. На основе численного статистического моделирования процесса переноса частиц (квантов излучения) детально изучено случайное поле интенсивности излучения, проходящего через случайную среду. Исследования проведены для трех моделей однородных изотропных случайных полей (плотностей сред) с известными корреляционными функциями. При этом практически совпали осредненные вероятности прохождения квантов и их угловые распределения, хотя расчеты корреляционных радиусов и визуализации соответствующих полей яркости дали несколько различающиеся результаты. В расчетах использовались специально построенные алгоритмы методов

"двойной рандомизации" и "максимального сечения", а также статистические ядерные оценки для оценки плотностей угловых распределений. Для оценки вероятностных моментов эффективного коэффициента K размножения частиц в случайной среде разработаны распараллеливаемые алгоритмы метода Монте-Карло на основе нового итерационного процесса, который, по аналогии с классическим определением спектрального радиуса линейного оператора, определяется величиной K_n корня n -й степени из специального линейного функционала от плотности распределения частиц n -го поколения. Сходимость такого процесса к величине K доказана по аналогии с обоснованием классического метода Келлога. Для оценки вероятностных моментов коэффициента размножения используется разложение величины корня K_n в степенной ряд до M -го порядка и алгоритм метода двойной рандомизации, в котором для каждой реализации среды строятся M условно независимых траекторий частиц. Проведены соответствующие численные эксперименты для сферически-симметричной тестовой случайной среды. Для решения задач исследования транспортных характеристик электронных лавин построен алгоритм моделирования криволинейных (вследствие учета внешней силы) пробегов частиц с помощью метода "максимального сечения".

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Рогозинский С. В.

Для решения нелинейных кинетических уравнений больцмановского типа, описывающих течение химически реагирующих газов, на основе рандомизированного ветвления траекторий модельного ансамбля (или расширения ансамбля) построены новые весовые алгоритмы статистического моделирования с использованием метода мажорантной частоты. Разработан новый комбинированный подход к оцениванию статистической погрешности метода прямого статистического моделирования (ПСМ) для решения стационарных задач динамики разреженного газа, основанный на теории равновесной статистической физики. Построены эффективно реализуемые на суперкомпьютерах алгоритмы численного статистического моделирования траекторий ветвящихся процессов. Построены и исследованы новые суперкомпьютерные алгоритмы статистического моделирования для решения пространственно неоднородных нелинейных уравнений Больцмана для задач о течении смеси газов с физико-химическими реакциями и уравнений Смолуховского для задач об образовании и росте наночастиц, исследована трудоемкость полученных алгоритмов. Разработаны и исследованы практически эффективные алгоритмы суперкомпьютерного статистического моделирования переноса частиц через стохастические среды различных типов. Исследована гипотеза о том, что осредненная по реализациям среды вероятность прохождения в значительной степени определяется корреляционным масштабом среды. С помощью асимптотических оценок и суперкомпьютерного моделирования разработана практически эффективная методика построения детерминированной радиационной модели, которая воспроизводит искомую осредненную вероятность. Построены новые суперкомпьютерные алгоритмы оценки коэффициента ударной ионизации на кинетическом уровне, т. е. без использования диффузионного приближения. Оптимизирована смещенная оценка коэффициента ударной ионизации, который определяет экспоненциальный рост лавины. На основе оптимального "полигона частот" для функциональной статистической оценки электронной плотности в газе построена оценка соответствующего коэффициента диффузии. Исследована эффективность использования ядерных оценок элементов используемой для этого гистограммы.

С помощью новых суперкомпьютерных алгоритмов исследована энергетическая зависимость коэффициента диффузии. Разработаны и внедрены в стандартные пакеты на суперкомпьютерах (в том числе с гибридной архитектурой) параллельные генераторы псевдослучайных чисел для реализации распределенного статистического моделирования.

Проект РФФИ № 17-01-00823а "Численное статистическое моделирование переноса поляризованного излучения в рассеивающих средах и решение обратных задач".

Руководитель – д.ф.-м.н. Ухинов С. А.

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. Представлен обзор результатов численного статистического моделирования двумерных угловых распределений интенсивности и степени поляризации излучения. 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.

Публикации

Монографии

1. Михайлов Г. А., Войтишек А. В. Статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М.: Юрайт, 2018. 371 с.

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Mikhailov G. A., Lotova G. Z. New Monte Carlo algorithms for estimating probability moments of criticality parameters for a scattering process with multiplication in stochastic media // Dokl. Math. 2018. Vol. 97. N 1. P. 6–10. DOI: 10.1134/S1064562418010039.

2. Ambos A. Yu., Mikhailov G. A. Numerically statistical simulation of the intensity field of the radiation transmitted through the random media // Rus. J. of Num. Analysis and Math. Model. 2018. Vol. 33, N 3. P. 161–171. DOI: 10.1515/rnam-2018-0014.

3. Mikhailov G. A. Optimization of randomized Monte Carlo algorithms for solving problems with random parameters // *Dokl. Math.* Vol. 98, N 2. P. 448–451. DOI: 10.1134/S1064562418060157.
4. Mikhailov G. A., Prigarin S. M., Rozhenko S. A. Comparative analysis of vector algorithms for statistical modelling of polarized radiative transfer process // *Rus. J. of Num. Analysis and Math. Modell.* 2018. Vol. 33, N 4. P. 253–263. DOI: 10.1515/rnam-2018-0021.
5. Mikhailov G. A., Lotova G. Z. Monte Carlo methods for estimating the probability distributions of criticality parameters of particle transport in a randomly pertubated medium // *Comput. Math. and Math. Phys.* 2018. Vol. 58, N 11. P. 1828–1837. DOI: 10.1134/S09655f42518110088.
6. Tracheva N. V., Ukhinov S. A. Two-dimensional projection Monte Carlo estimators for the study of angular characteristics of polarized radiation // *Rus. J. of Num. Analysis and Math. Modell.* 2018. Vol. 33, N 3. P. 187–197. DOI: 10.1515/rnam-2018-0016.
7. Tracheva N. V., Ukhinov S. A. On the evaluation of spatial-angular distributions of polarization characteristics of scattered radiation // *Stat. Papers.* 2018. Vol. 59, iss. 4. P. 1541–1557. DOI: 10.1007/s00362-018-1034-9.
8. Soboleva O. N., Epov M. I., Kurochkina E. P. Effective coefficients in the electromagnetic logging problem with log-normal distribution, multiscale conductivity and permittivity // *Ibid.* V. 59, iss. 4. P. 1339–1350. DOI: 10.1007/s00362-018-1035-8.
9. Ambos A. Yu.; Mikhailov G. A. A Monte Carlo estimation of functional characteristics of field intensity of radiation passing through a random medium // *Num. Anal. and Appl.* Vol. 11, N 4. P. 279–292. DOI: 10.1134/S1995423918040018.
10. Medvedev I. N. Effective algorithms of statistical simulation with additional branching for solving the problems of the theory of radiation transfer // *Proc. SPIE.* Vol. 10833. 24th Intern. Symp. on Atmosp. and Ocean Optics: Atmosph. Phys. 1083327 (2018). DOI: 10.1117/12.2504483.
11. Korda A. S., Ukhinov S. A. Monte-Carlo algorithms for defining the components of the aerosol scattering matrix // *Ibid.* SPIE 10833. 13 Dec. 2018. DOI: 10.1117/12.2504461.
12. Tracheva N. V., Ukhinov S. A. On the Monte Carlo based algorithm for the estimation of bidirectional angular characteristics of polarized radiation // *Ibid.* SPIE 10833. DOI: 10.1117/12.2504460.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. Numerical simulation of hydrogen-methane mixture flow through the cylindrical channel in vacuum // *J. of Phys.: Conf. Ser.* Vol. 1105. 012110. DOI: 10.1088/1742-6596/1105/1/012110.
2. Mikhailov G. A., Tracheva N. V., Ukhinov S. A. New Monte Carlo algorithm for evaluation of outgoing polarized radiation // *Springer Proc. in Math. and Stat.* 8th. V. 231. "Statistics and Simulation – IWS 8", Vienna (Austria), Sept., 2015. P. 115–125. DOI: 10.1007/978-3-319-76035-3_8.
3. Soboleva O. N., Kurochkina, E. P. Large-scale simulation of acoustic waves in random multiscale media // *Ibid.* P. 85–97. DOI: 10.1007/978-3-319-76035-3_6.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Антюфеев В. С. Вероятностная оценка числа обусловленности матрицы // *Сиб. журн. чистой и прикладной матем.* 2018. Т. 18. № 1. С. 28–34.
2. Коротченко М. А. Построение статистических оценок с помощью моделирования динамики цен в рамках кинетической модели ценообразования // *Материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов "Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем"*, Пенза, 28–31 мая 2018 г. С. 174–179.

3. Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Моделирование автотранспортного потока в кинетической модели со случайными параметрами // Тез. докл. 19-й Всерос. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. 2018. С. 12–13.

4. Соболева О. Н. Влияние корреляции между диэлектрической проницаемостью и проводимостью на эффективную оценку энергии в скин-слое // Сб. материалов Интерэкспо "Гео-сибирь"; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 2018. Т. 1. С. 177–182.

5. Медведев И. Н. Универсальная модификация векторного весового метода подобных траекторий с конечной трудоёмкостью // Труды Междунар. конф. по выч. матем. и матем. геофиз., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г. С. 281–287.

6. Трачева Н. В., Ухинов С. А. Использование полусферических гармоник для оценки двунаправленных угловых характеристик излучения с учетом поляризации // Там же. С. 379–385.

7. Корда А. С., Ухинов С. А. Исследование сходимости алгоритмов методов Монте-Карло восстановления матрицы рассеяния // Там же. С. 203–209.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция по вычислительной математике и математической геофизике, посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 11 докладов, в том числе 1 пленарный (Антюфеев В. С., Коротченко М. А., Корда А. С., Лотова Г. З., Медведев И. Н., Шкарупа Е. В., Рогазинский С. В., Роженко С. А., Соболева О. Н., Трачева Н. В., Михайлов Г. А.).

2. Международная конференция 9-й семинар по моделированию, Барселона (Испания), 25–29 июня 2018 г. – 7 докладов (Медведев И. Н., Ухинов С. А., Трачева Н. В., Рогазинский С. В., Корда А. С., Лотова Г. З., Соболева О. Н.).

3. 24-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 2–5 июля 2018 г. – 3 доклада (Медведев И. Н., Корда А. С., Трачева Н. В.).

4. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН – 2018, Новосибирск, 14–16 мая 2018 г. – 2 доклада (Корда А. С., Трачева Н. В.).

5. 13th International conference in Monte Carlo & quasi-Monte Carlo methods in scientific computing, Rennes (France), July 1–6, 2018 – 2 доклада (Корда А. С., Трачева Н. В.).

6. 19-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 29 октября – 2 ноября 2018 г. – 1 доклад (Коротченко М. А.).

7. Интерэкспо "Гео-сибирь" 2018; Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 25–27 апреля 2018 г. – 1 доклад (Соболева О. Н.).

8. Всероссийская конференция 34-й Сибирский теплофизический семинар, Новосибирск, 27–30 августа 2018 г. – 1 доклад (Шкарупа Е. В.).

Участие в организации конференций

1. Медведев И. Н.:

– член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;

2. Усов А. Г.:

– член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.

3. Михайлов Г. А.:

– член программного комитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.

– член программного комитета Международной конференции 9-й семинар по моделированию, 25–29 июня 2018 г., Барселона (Испания).

Итоговые данные по лаборатории

Монографий – 1.

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 12.

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 15.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 21.

Докладов на конференциях – 28, в том числе 1 пленарный.

Участников оргкомитетов конференций – 4.

Кадровый состав

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

Амбос А. Ю., Роженко С. А., Корда А. С. – молодые научные сотрудники.

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.	– старший преподаватель НГУ;
Усов А. Г.	– старший преподаватель НГУ, зам. декана ММФ;

Трачева Н. В. – старший преподаватель НГУ.

Руководство аспирантами

1. Зайцева А. А. – 3-й год, ММФ НГУ, руководитель Лотова Г. З.

Руководство студентами

1. Беспалов А. В. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Медведев И. Н.

2. Николаев А. К. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Рогазинский С. В.

3. Володин А. С. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Рогазинский С. В.

Премии и награды

Корда А. С. – 3-е место на конкурсе молодых ученых в рамках международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы".

Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений

И. о. зав. лабораторией проф. РАН, д.ф.-м.н. Марченко М. А.

Важнейшие достижения

Разработаны и реализованы на суперкомпьютере параллельные алгоритмы численно-статистического моделирования решений стохастических дифференциальных уравнений с частными производными – одномерных и двумерных уравнений теплопроводности (рис. 1–3), Бюргерса и Кортевега-де-Фриза (рис. 4), а также для решения обратной задачи гравиметрии.

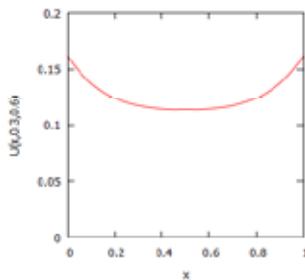


Рис. 1: Динамика решения детерминированного двумерного уравнения теплопроводности

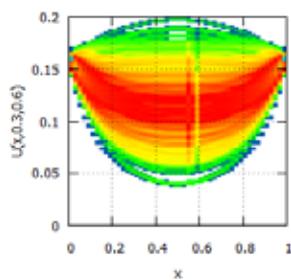


Рис. 2: Динамика траекторий решений со случайным источником (вид сверху)

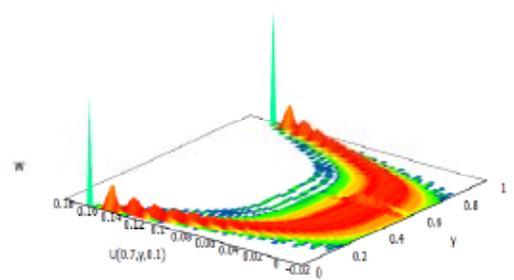
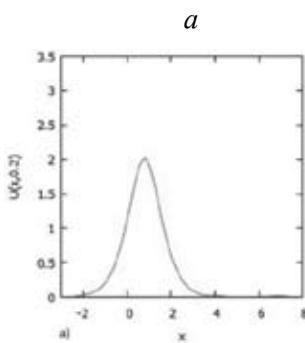
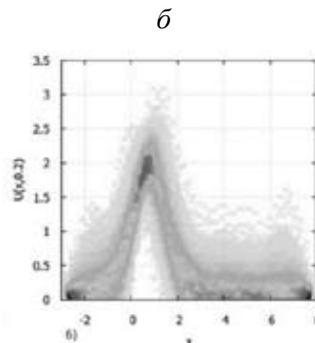


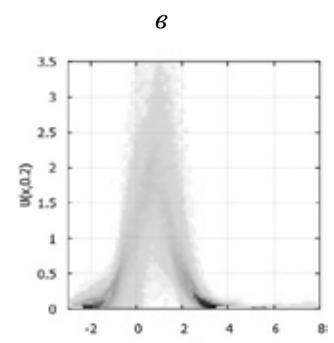
Рис. 3: Динамика траекторий решений со случайным источником (вид сбоку)



а



б



в

Рис. 4: Солитон (волна) без случайных воздействий (а); траектории солитонов под действием аддитивных шумов (б); траектории солитонов под действием мультипликативных шумов (в)

Д.ф.-м.н. Артемьев С. С., д.ф.-м.н. Марченко М. А., Смирнов Д. Д.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Смирнов Д. Д. Комплекс программ ParSPDE для численного решения стохастических дифференциальных уравнений с частными производными методом статистического моделирования на суперкомпьютере // Труды Междунар. конф. "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 24–25 сентября 2018 г.

2. Иванов А. А., Смирнов Д. Д., Артемьев С. С. Анализ влияния случайных шумов на солитонное решение уравнения Кортевега-де-Фриза методом Монте-Карло // Труды Междунар. конф. "Вычислительная математика и математическая геофизика" в рамках Марчуковских научных чтений, Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г.

Отчет по этапам НИР, завершенным в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект 1.2.9 "Разработка весовых параметрических алгоритмов статистического моделирования для суперкомпьютерного решения многомерных задач в естественных и технических науках".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0002.

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

Построены стохастические дифференциальные уравнения, траектории которых с вероятностью 1 находятся на заданном гладком многообразии (рис. 5). В качестве примеров многообразий для трехмерного пространства (фазовое пространство двумерно) выбраны цилиндрические поверхности второго порядка: эллиптический, гиперболический и параболический цилиндры. Для этих поверхностей построены классы стохастических дифференциальных уравнений, из которых выделены линейные уравнения с мультипликативным шумом. С помощью разработанных статистических численных методов проведено моделирование отклонения численного решения от многообразия. Для рассматриваемых примеров проведен сравнительный анализ точности восьми численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений.

Проведено расширение класса стохастических динамических систем, траектории которых находятся на заданном многообразии, на мультиструктурные стохастические системы, а именно системы с переменной и случайной структурой. Рассмотрены вопросы описания таких систем и моделирования их траекторий в приложении к задачам анализа и фильтрации.

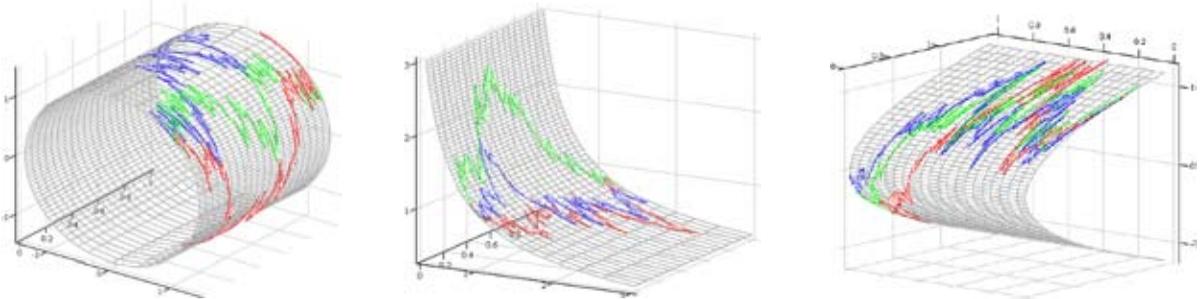


Рис. 5: Траектории процессов, описываемых стохастическими дифференциальными уравнениями, которые с вероятностью 1 находятся на заданных гладких многообразиях

Проведено моделирование зародышей фазового перехода на основе решения кинетических уравнений в частных производных Фоккера – Планка, позволяющее определить их неравновесное распределение по размерам, возникающее при кластеризации пара в плазме с учетом критерия неустойчивости Рэлея, ограничивающего рост заряженных капель из-за накопления напряжений в них, которое приводит к диспергированию. Кластеризация представлена диффузионным процессом, заданным стохастическим дифференциальным уравнением в смысле Стратоновича, моменты диспергирования кластеров задаются скачкообразным процессом. Алгоритмы обобщенного метода Розенброка стохастической молекулярной динамики для непрерывных траекторий были дополнены статистическими алгоритмами потоков Пуассона. Плотность вероятности распределения кластеров по размерам и дисперсия связаны с флуктуациями заряда на кластерах, что важно при получении наноразмерных аморфных порошков и нанесении тонких пленок.

Для линейного стохастического осциллятора получено аналитическое выражение автоковариационной функции решения СДУ, задающего осциллятор. Для осциллятора Ван-дер-Поля численно исследовано влияние пуассоновской составляющей на характер колебаний первого и второго моментов решения СДУ при большой величине скачков и выполнен анализ оценки плотности вероятности численного решения СДУ.

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

Разработаны новые численные параллельные статистические алгоритмы решения двумерного уравнения теплопроводности. Проведен численный параметрический анализ влияния аддитивных гауссовых шумов на поведение траекторий решения.

Методом Монте-Карло исследовано воздействие аддитивных и мультипликативных случайных шумов на солитонное (устойчивое) решение уравнение Кортевега – де Фриза, описывающего поведение волн в плазме, поверхностных волн на глубокой воде, гравитационных волн на мелкой воде, волн в нелинейных линиях передач.

Разработаны новые статистические параллельные методы и проведен численный анализ динамики мощности световых импульсов в солитонных волоконно-оптических линиях связи, описываемых решением нелинейного уравнения Шредингера, при максимальной нагрузке.

Построены новые алгоритмы метода Монте-Карло для численной оценки вероятностных моментов линейных функционалов от решения нелинейного кинетического уравнения Смолуховского. Построены оценки метода Монте-Карло для линейных функционалов от решения системы уравнений, описывающих динамику цен на бирже в рамках кинетической модели.

Предложен новый метод Монте-Карло оценки теплового состояния теплоизоляции, содержащей сотовые панели. Теплообмен в сотовой панели описывается краевой задачей для параболического уравнения с разрывным коэффициентом диффузии и граничными условиями третьего рода. Для поиска приближенного решения использовано сглаживание коэффициента диффузии. Полученная задача решалась на основе вероятностного представления. Разработана модификация численного метода поиска решения с использованием комбинации методов Эйлера и случайного блуждания на движущихся сферах. Новый подход позволил значительно сократить вычислительные затраты.

Продолжена разработка комплекса программ для реализации параллельных алгоритмов статистического моделирования решений систем СДУ с частными производными на суперкомпьютере. Разрабатываемый комплекс программ будет включать возможность проведения полного параметрического анализа решений систем СДУ в частных производных на суперкомпьютере в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах с выводом результатов расчетов в мультимедийной форме.

Результаты работ по проектам РФФИ

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

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

В 2018 г. в ходе выполнения проекта получены следующие результаты.

Разработаны новые специальные частотные и статистические характеристики для анализа численных решений двумерных стохастических параболических уравнений:

частотное пространственное сечение (ЧПС) и частотное пространственно-временное сечение (ЧПВС).

Разработан новый параллельный алгоритм решения двумерного параболического стохастического уравнения теплопроводности. С помощью разработанных новых частотных характеристик ЧПС и ЧПВС проведен численный параметрический анализ решения стохастического уравнения теплопроводности.

Построена новая модель динамики ударных волн, задаваемая системой СДУЧП. Проведено исследование взаимодействия ударных волн большой интенсивности и длительности с пузырьками газа. Наибольший интерес представляют механизм трансформации волн и излучение энергии, поглощенной пузырьковой средой, а также релаксационные, дисперсионные и диссипативные эффекты, сопровождающие процесс проникновения волны в пузырьковую среду. Для адекватного описания волновых процессов в пузырьковых средах использовалась математическая модель двухфазной среды. Проведенные расчеты позволили оценить разброс плотностей, скорости и давления за счет учета случайных возмущений в уравнении состояния пузырьковой среды.

Выполнен анализ солитонного решения стохастического одномерного уравнения Кортевега – де Фриза (КдФ). С помощью ЧВС показано, что влияние аддитивных шумов на солитонное решение уравнения КдФ с увеличением времени качественно меняет поведение его отдельных реализаций по сравнению с поведением известного точного решения детерминированной задачи. Оказалось, что даже небольшой аддитивный шум может разрушать устойчивую волну. Амплитуда некоторых траекторий увеличилась в сравнении с точным решением практически в два раза. Дополнительные численные эксперименты показали, что увеличение интенсивности аддитивных шумов увеличивает разброс реализаций относительно точного решения детерминированной задачи. Наличие мультипликативного шума в большей мере увеличивает амплитуду волны в сравнении с аддитивным шумом.

Построены новые модификации алгоритмов моделирования распространения и взаимодействия оптических сигналов в оптоволоконных каналах, которое точно описывается нелинейным уравнением Шредингера (NLSE), учитывающим непрерывное взаимодействие между дисперсией и нелинейностью. Проведено моделирование динамики мощности импульсов солитонов при прохождении случайной гетерогенной среды и высокочастотных взаимодействий солитонов, возникающих при максимальных нагрузках оптического волокна (рис. 6).

Рассмотрено нелинейное кинетическое уравнение Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, которые зависят от размеров взаимодействующих частиц и, кроме

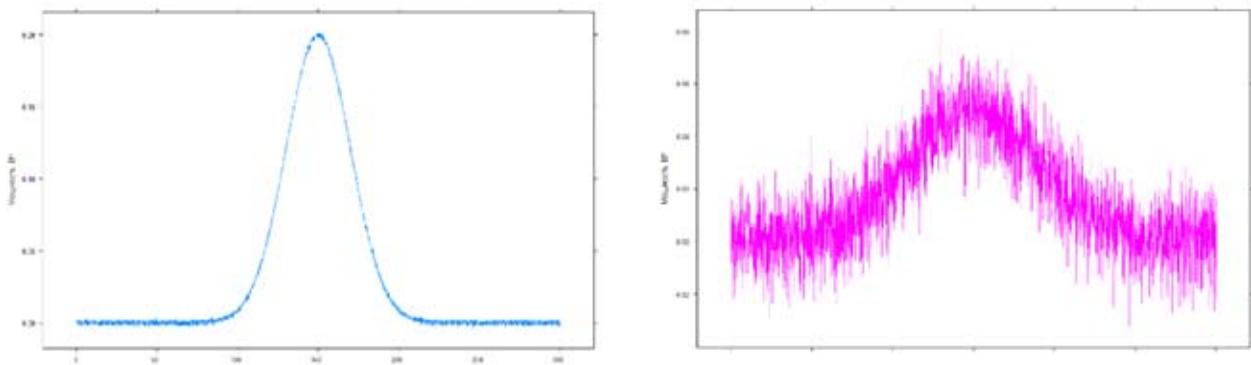


Рис. 6: Динамика изменения мощности световых импульсов с начальным гауссовым белым шумом и после прохождения 30 км

того, являются случайными процессами. Алгоритмы разработаны с использованием метода двойной рандомизации в рамках подхода, основанного на переходе к интегральному уравнению второго рода и моделированию эволюции системы частиц согласно соответствующей цепи Маркова. Методы моделирования многочастичных систем, предложенные для решения задач коагуляции, были использованы для описания динамики двух видов цен (спроса и предложения) на рынке в кинетической модели ценообразования, аналогичной модели двухкомпонентного газа. Построены алгоритмы метода Монте-Карло для оценки линейных функционалов от решения системы уравнений, описывающих динамику цен в рамках данной модели.

Проведенные вычисления показали высокую эффективность распараллеливания алгоритмов, полученных в рамках предложенного авторами проекта подхода к решению СДУЧП, что существенно снижает время счета программ и обосновывает разработку высокопроизводительных статистических алгоритмов для решения и анализа больших систем СДУЧП на суперкомпьютере.

Новые инструменты численного анализа, ЧПС и ЧПВС, внедрены в программный комплекс SPARDE1D. Программный комплекс SPARDE1D для численного анализа стохастических дифференциальных уравнений в частных производных на суперкомпьютере был зарегистрирован в Роспатенте (свидетельство № 2018617942).

Все расчеты проводились на кластерах НКС-30Т и НКС-1П ССКЦ ИВМиМГ СО РАН.

Проект РФФИ № 18-01-00599 "Разработка алгоритмов численного статистического моделирования и комплексов программ для суперкомпьютеров с целью оценки вероятностных характеристик природных и финансовых процессов".

Руководитель проекта – проф. РАН, д.ф.-м.н. Марченко М. А.

В 2018 г. в ходе выполнения проекта получены следующие результаты.

Разработаны численная вероятностная совместная модель природных и финансовых процессов российского региона в упрощенной постановке с использованием аппарата стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) и применением выборочных частотных характеристик. Создан реализующий модель параллельный алгоритм численного статистического моделирования для реализации на вычислительных системах с массивно-параллельными архитектурами. С целью оценки параметров модели для усвоения и анализа больших данных применены методы байесовского вывода.

Разработаны гибридные параллельные алгоритмы численного решения СДУ с частными производными на суперкомпьютере, разработан программный комплекс SPARDE1D для их реализации.

Разработан параллельный алгоритм численного статистического моделирования для решения прямой и обратной задач определения цен опционов с использованием метода стохастической оптимизации для оценки параметров модели по данным наблюдений и применением библиотеки PARMONC для проведения расчетов.

Разработан параллельный алгоритм численного статистического моделирования для оценки параметров оптимального управления для модели прибыли инвестора, определяемой системой СДУ, с использованием методов стохастической оптимизации (метод "роя частиц") и распараллеливания вычислений с помощью библиотеки PARMONC.

Разработан упрощенный вариант математической модели пространственно неоднородного процесса образования и коагуляции частиц загрязняющих примесей в атмосфере с учетом протекающих химических реакций и реализующий ее параллельный алгоритм численного статистического моделирования.

Построены экономичные параллельные алгоритмы моделирования пространственно-временных полей метеорологических элементов: температуры приземного воздуха, относительной влажности, скорости ветра, суточных осадков, а также их комплексов.

Построен параллельный алгоритм численного статистического моделирования для эффективной оценки коэффициентов продольной и поперечной диффузии электронов в лавине при моделировании, с его помощью создана модификация ранее разработанной программы ELSHOW.

Публикации

Издания, ключенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Averina T. A., Karachanskaya E. V., Rybakov K. A. Statistical analysis of diffusion systems with invariants // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2018. Vol. 33, N 1. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1515/rnam-2018-0001>.

2. Simakova M. A., Ryzhkov A. V., Kuzymly A. V., Naimushin A. V., Lukinov V. L., Moiseeva O. M. Perspectives of using pulmonary arterial stiffness indicators to evaluate the prognosis of patients with pulmonary arterial hypertension // Terapevticheskiy arkhiv. 2018. Vol. 90, iss. 1. P. 86–92. DOI: [10.26442/terarkh201890186-92](https://doi.org/10.26442/terarkh201890186-92).

Издания, ключенные в реферативную базу данных Scopus

1. Averina T. A., Rybakov K. A. Systems with regime switching on manifolds // Proc. of the 14th Intern. conf. "Stability and oscillations of nonlinear control systems" (STAB) (Pyatnitskiy's Conference), Moscow, May 30 – June 1, 2018. IEEE, 2018. P. 1–3. DOI: [10.1109/STAB.2018.8408345](https://doi.org/10.1109/STAB.2018.8408345).

2. Gusev S. A., Nikolaev V. N. Estimation of the thermal process in the honeycomb panel by a Monte Carlo method // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 302 (2018) 012045. DOI: [10.1088/1757-899X/302/1/012045](https://doi.org/10.1088/1757-899X/302/1/012045).

3. Gusev S. A., Nikolaev V. N. Optimization parameters of air-conditioning and heat insulation systems of a pressurized cabins of long-distance airplanes // Ibid. 012042 DOI: [10.1088/1757-899X/302/1/012042](https://doi.org/10.1088/1757-899X/302/1/012042).

4. Gusev S. A. Nikolaev V. N. Sensitivity of parameters in boundary conditions of heat exchange problems for honeycomb heat-shielding coatings // Proc. of the 14th Intern. sci.-techn. conf. on actual problems of electron. instrum. engin. APEIE. 44894, Novosibirsk, Oct. 2–6, 2018. Vol. 1, p. 4. P. 100–105.

5. Gusev S. A. Nikolaev V. N. Mathematical simulation of the onboard radio electronic equipment thermal state in the unpressurized compartment of the aircraft // Ibid. P. 106–109.

6. Chernyavsky A. M., Lyashenko M. M., Syrota D. A., Lukinov V. L. Hybrid technology in the surgical treatment of proximal aortic dissection // Rus. J. of Cardiology. 2018. Vol. 23, iss. 11. P. 8–13. DOI: [10.15829/1560-4071-2018-11-8-13](https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-11-8-13).

Издания, ключенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Змиевская Г. И., Аверина Т. А. Флуктуации заряда на каплях расплава карбида кремния в процессе конденсации // Препр. ИПМ им. М. В. Келдыша РАН № 280. 2018. 21 с.

2. Аверина Т. А., Карачанская Е. В., Рыбаков К. А. Моделирование и анализ линейных инвариантных стохастических систем // Диф. ур. и проц. управления. 2018. № 1. С. 54–76. [Электрон. ресурс]. <http://www.math.spbu.ru/diffjournal>.

3. Аверина Т. А., Рыбаков К. А. Моделирование мультиструктурных систем на многообразиях в задачах статистического анализа и фильтрации // Вестн. Тамбов. гос. ун-та. Сер.:

Естеств. и техн. науки. 2018. Т. 23, № 122. С. 145–153. DOI: 10.20310/1810-0198-2018-23-122-145-153.

4. Бурмистров А. В., Новиков А. В. Определение коэффициентов в стохастической дифференциальной модели формирования цены // Совр. наука: актуальные пробл. теор. и практ. Сер.: Естеств. и техн. науки. 2018. № 3. С. 39–44.

5. Гусев С. А., Николаев В. Н. Математическое моделирование теплового состояния негерметизированного отсека беспилотного летательного аппарата // Науч. вестн. Новосиб. гос. техн. ун-та. 2018. № 2. С. 23–38. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-2-23-38.

6. Новиков А. В., Бурмистров А. В. Использование торговых алгоритмов в адаптируемой интеллектуальной экосистеме // Экон. и бизнес: теория и практика. 2018. № 4. С. 184–198.

7. Марченко М. А., Новиков А. В. Обработка больших данных с использованием байесовского подхода на универсальном суперкомпьютерном гетерогенном вычислительном комплексе высокой плотности PetaCube. // Междунар. конф. "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 24–25 сент. 2018 г.

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте

Свидетельство № 2018617942 РФ. SPARDE1D – программный комплекс для численного анализа стохастических дифференциальных уравнений в частных производных на суперкомпьютере: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / С. С. Артемьев А. А. Иванов. Дата регистрации 05.07.2018 г.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Динамика в Сибири" 26 февраля – 3 марта 2018 г., Новосибирск – 1 доклад (Аверина Т. А.).

2. 45-я Международная конференция по физике плазмы и УТС "ICPAF-2018", 2–6 апреля 2018 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

3. Международная конференция "Колмогоровские чтения – VIII. Общие проблемы управления и их приложения" (ОПУ – 2018), посвященной 115-летию со дня рождения А. Н. Колмогорова и 100-летию Тамбовского гос. университета, Тамбов, 1–5 октября 2018 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

4. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 10 докладов, из них 2 пленарных (Марченко М. А., Артемьев С. С., Аверина Т. А., Бурмистров А. В., Гусев С. А., Иванов А. А., Лукинов В. Л., Смирнов Д. Д., Якунин М. А.).

5. The International symposium on nonequilibrium processes, plasma, combustion and atmospheric phenomena (NEPCAP 2018), Sochi, October 1–5, 2018 – 1 доклад (Аверина Т. А.).

6. 14-я Международная конференция "Устойчивость и колебания нелинейных систем управления" (конференция Пятницкого), Москва, 30 мая – 1 июня 2018 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).

7. The 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE), Novosibirsk, October 2–6, 2018, – 1 доклад (Гусев С. А.).

8. Юбилейная международная научно-техническая конференция "Сибирское наследие ЦАГИ", посвященная 100-летию юбилею ЦАГИ – СибНИА им. С. А. Чаплыгина, Новосибирск, 20–21 ноября 2018 г. – 1 пленарный доклад (Гусев С. А.).

9. 19-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 29 октября – 2 ноября 2018 г. – 2 доклада (Бурмистров А. В., Смирнов Д. Д.).

10. Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ-2018), Ростов-на-Дону, 2018 – 1 доклад (Иванов А. А.).

11. Международная конференция "Артериальная гипертензия 2018: на перекрестке мнений", Москва, 14–15 марта 2018 г. – 1 доклад (Лукинов В. Л.).

12. 9-я Международная конференция по симулированию "IWS 2018", Барселона (Испания), 25–29 июня 2018 г. – 1 доклад (Лукинов В. Л.).

13. The 7th International Conference on applied and computational mathematics (ICACM '18), Рим, 23–25 ноября 2018 г. – 1 пленарный доклад (Лукинов В. Л.).

14. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Марченко М. А., Смирнов Д. Д.).

15. The 11th International conference bioinformatics of genome regulation and structure \ systems biology, Novosibirsk, August 20–25, 2018 – 1 пленарный доклад (Марченко М. А.).

16. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 24–25 сентября 2018 г. – 2 доклада (Смирнов Д. Д., Марченко М. А.).

17. The 4th International conference "Quasilinear equations, inverse problems and their applications", Dolgoprudny, December 3–5, 2018 – 1 доклад (Марченко М. А.)

18. 6-й Международный форум и выставка технологического развития "Технопром-2018", Новосибирск, 27–30 августа 2018 г. – 1 пленарный доклад (Марченко М. А.).

19. 14-й Новосибирский инвестиционно-инновационный форум "Азиатские встречи", Новосибирск, 9 ноября 2018 г. – 1 пленарный доклад (Марченко М. А.).

Участие в организации конференций

1. Марченко М. А.:

– член программного и организационного комитетов Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;

– член программного и организационного комитетов 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.

– член программного и организационного комитетов The 11th International conference bioinformatics of genome regulation and structure \ systems biology, Novosibirsk, August 20–25, 2018.

– член организационного комитета 6-го Международного форума и выставки технологического развития "Технопром-2018", Новосибирск, 27–30 октября 2018 г.

– член организационного комитета форума "Городские технологии", Новосибирск, 4–6 апреля 2018 г.

– член организационного комитета 14-го Новосибирского инвестиционно-инновационного форума "Азиатские встречи", Новосибирск, 9 ноября 2018 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 5
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 20
Свидетельств о регистрации программ и баз данных – 1
Докладов на конференциях – 31, в том числе 9 пленарных
Участников оргкомитетов конференций – 6

Кадровый состав

1. Марченко М. А. – и.о. зав. лаб. д.ф.-м.н.
 2. Артемьев С. С. – г.н.с. д.ф.-м.н.
 3. Аверина Т. А. – с.н.с. к.ф.-м.н.
 4. Бурмистров А. В. – н.с. к.ф.-м.н.
 5. Гусев С. А. – с.н.с. д.ф.-м.н.
 6. Иванов А. А. – м.н.с.
 7. Кондакова Е. А. – инженер
 8. Лукинов В. Л. – с.н.с. к.ф.-м.н.
 9. Махоткин О. А. – н.с. к.ф.-м.н.
 10. Новиков А. В. – инженер к.ф.-м.н.
 11. Смирнов Д. Д. – м.н.с.
 12. Якунин М. А. – с.н.с. к.ф.-м.н.
- Иванов А. А., Смирнов Д. Д. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

1. Артемьев С. С. – профессор НГУ
2. Аверина Т. А. – доцент НГУ
3. Гусев С. А. – доцент НГТУ
4. Марченко М. А. – доцент НГУ
5. Махоткин О. А. – доцент НГУ
6. Лукинов В. Л. – доцент СибГУТИ
7. Бурмистров А. В. – ст. преп. НГУ

Руководство аспирантами

Евсеева В. М. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель д.ф.-м.н. Артемьев С. С.

Руководство студентами

Тошчаловский Н. С. – 4-й курс, СибГУТИ, руководитель к.ф.-м.н. Лукинов В. Л.
Кузьминых В. С. – 4-й курс, СибГУТИ, руководитель к.ф.-м.н. Лукинов В. Л.
Метельский М. Л. – 4-й курс, СибГУТИ, руководитель к.ф.-м.н. Лукинов В. Л.
Дворников А. Н. – 4-й курс, СибГУТИ, руководитель к.ф.-м.н. Лукинов В. Л.

Лаборатория стохастических задач

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

Важнейшие достижения

Методы стохастического моделирования для вычисления интенсивности катодоллюминесценции и тока, индуцированного электронным пучком для визуализации дислокаций в полупроводниках.

Предложен новый бессеточный стохастический алгоритм вычисления интенсивности катодоллюминесценции и тока, индуцированного электронным пучком. На его основе проведена серия расчетов катодоллюминесцентных карт для полупроводников с краевыми дислокациями. Получен новый результат в физике взаимодействия экситонов и дислокаций: расчеты показали, что как интенсивность катодоллюминесценции, так и распределение энергии запрещенной зоны в окрестности дислокации в рамках традиционного представления краевой дислокации в виде твердого цилиндра (диаметром порядка 3 нм) находятся в значительном противоречии с экспериментальными данными. Этот результат поставил задачу о построении новой, физически обоснованной математической модели транспорта экситонов при наличии дислокаций для проверки предложенной нами теории взаимодействия экситонов и дислокаций. Над подобной теорией работают многие группы в мире, однако сложность физической задачи и отсутствие методов моделирования подобных взаимодействий экситонов с ансамблями дислокаций до сих пор препятствовали построению такой теории.

По предложенной нами совместно с группой ученых-физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин) теории электрическое поле вокруг дислокации формируется за счет упругих сил, поскольку нитрид галлия (GaN) является пьезоэлектрическим кристаллом, и нам потребовалось точно вычислить приповерхностное поле в окрестности выхода дислокации на поверхность кристалла, поскольку именно оно может приводить к нерадиационной рекомбинации экситона.

При работе над данной проблемой построена теория взаимодействия экситона с дислокацией, и на ее основе создан стохастический алгоритм для расчета катодоллюминесценции и в целом катодоллюминесцентных карт дислокаций. Результаты работы опубликованы в журнале *Applied Physics Let.*, входящем в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition. Построен алгоритм моделирования движения экситона в пьезоэлектрическом поле в окрестности дислокации с учетом того, что вектор скоростей вокруг дислокации чрезвычайно сложен и имеет большие градиенты при приближении к оси дислокации, где число Пекле резко возрастает (рис. 1–3). Стохастический алгоритм моделирования движения

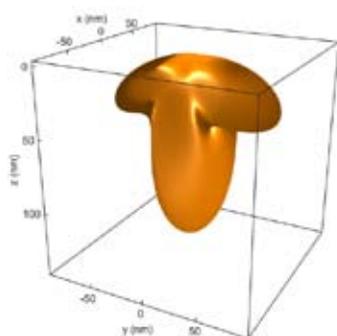


Рис. 1: Пьезоэлектрическое поле вокруг краевой дислокации

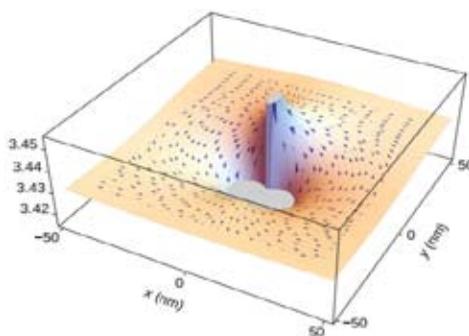


Рис. 2: Поле скоростей экситона вокруг краевой дислокации

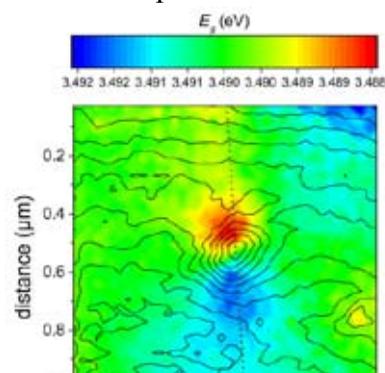


Рис. 3: Карта CL для краевой дислокации

экситонов в таком поле скоростей удалось построить и реализовать на основе точного (аналитического) вычисления распределения позиции экситона на поверхности сферы.

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

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Kaganer, V. M, Sabelfeld, K. K., Brandt, O. Piezoelectric field, exciton lifetime, and cathodoluminescence intensity at threading dislocations in GaN{0001} // Appl. Phys. Let., v. 112 (2018), iss. 12, 122101.

2. Sabelfeld K. Application of the von Mises-Fisher distribution to Random Walk on Spheres method for solving high-dimensional diffusion-advection-reaction equations // Stat. and Probab. Let., v. 138 (2018). P. 137–142.

3. Karl K. Sabelfeld, Anastasya E. Kireeva, Vladimir M. Kaganer, and Oliver Brandt. Drift and diffusion of excitons at threading dislocations in GaN{0001}, Phys. Rev. Let., 2018, submitted.

4. Sabelfeld K. A mesh free algorithm for solving diffusion-convection-reaction equations on complicated domains // Doklady mathematics, v. 898 (2). P. 435–438 (2018).

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.2.1.2. "Разработка весовых параметрических алгоритмов статистического моделирования для суперкомпьютерного решения многомерных задач в естественных и технических науках".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0002.

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

Исследована численная стохастическая радиационная модель системы атмосфера – взволнованная поверхность – верхний слой океана. Проведено сравнение стохастических моделей поверхности морского волнения по отношению к вероятности затенения на поверхности. Разработан алгоритм исследования оптической передаточной функции системы атмосфера – взволнованная поверхность – верхний слой океана, и проведены численные эксперименты для различных параметров среды; исследованы свойства оптической передаточной функции среды, и проведены численные эксперименты по ее применению.

Введено и подробно изучено понятие вычислимых моделируемых преобразований координат, т. е. преобразований декартовых координат, позволяющих строить эффективные (экономичные) алгоритмы численного моделирования многомерных случайных величин. В качестве иллюстративных и практически важных примеров таких преобразований рассмотрены переходы к полярным, сферическим, параболическим и цилиндрическим координатам.

Построены новые нестационарные алгоритмы блуждания по кубам для вычисления потоков частиц при заданных граничных условиях Дирихле и общих граничных условиях типа Робена.

Построена двумерная численная стохастическая модель слоистой облачности. Для построения случайных полей предварительно проведен статистический анализ полей оптических толщин арктической облачности типа Stratus, восстановленных по результатам самолетных измерений. В предположении однородности исследованы одномерные распределения и корреляционные структуры случайных полей. Двумерные численные модели случайных полей оптической толщины облаков конструируются на основе метода обратной функции распределения с использованием гауссовского поля с определенной корреляционной структурой, согласующейся с корреляционной функцией моделируемого поля. При

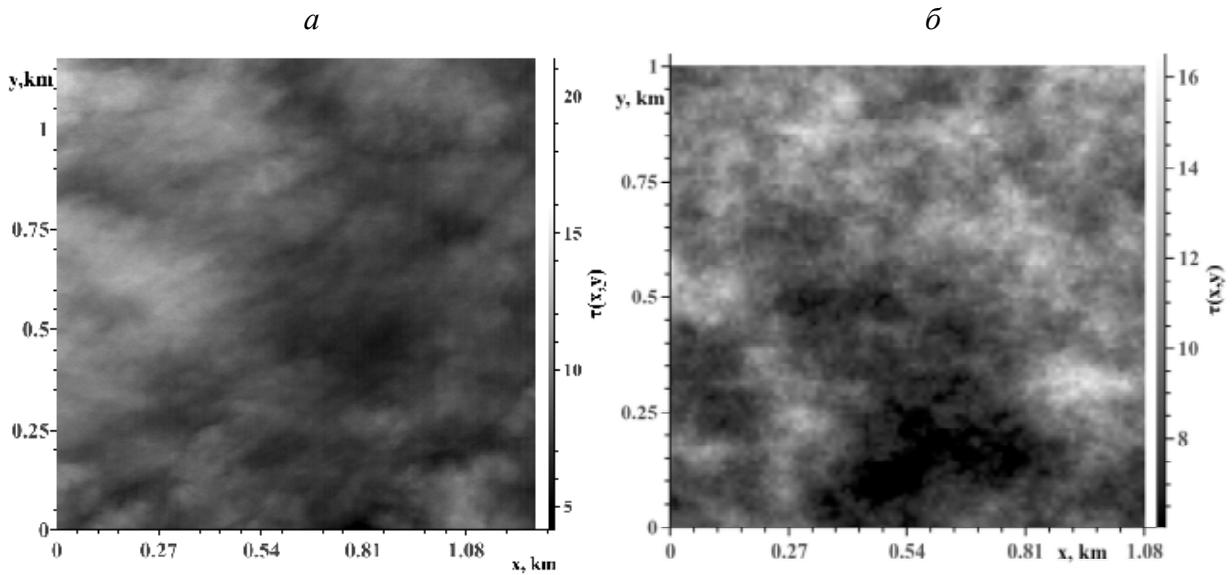


Рис. 4: Фрагмент поля оптической толщины слоистого облака: восстановленного из самолетных измерений (а); численная реализация (б)

моделировании вспомогательного гауссовского случайного поля применялись методы по строкам и столбцам, а также совместно метод условных математических ожиданий и векторная схема авторегрессии. При анализе результатов показано, что векторная схема авторегрессии и метод условных математических ожиданий могут применяться для моделирования случайной структуры облачности, так как воспроизводят одномерные распределения случайного поля и корреляционную структуру облачности с достаточно хорошей точностью. Данные модели предполагается использовать для задач радиационного переноса в атмосфере Земли и дистанционного зондирования атмосферы.

Предложен весовой стохастический алгоритм моделирования свободного пробега частицы (фотона) для решения уравнения переноса излучения с коэффициентом ослабления, представляющим собой однородный гауссовский случайный процесс. Алгоритм основан на построении дополнительного рассеивающего слоя с кусочно-постоянным коэффициентом ослабления и использовании статистических весов. Проведено сравнение данного алгоритма с методом максимального сечения на решении тестовой задачи переноса излучения через плоский слой со случайным коэффициентом ослабления, зависящим от высоты над нижней границей слоя. Для каждой реализации случайного рассеивающего слоя моделирование траекторий производится во вспомогательном слое, который разбит по высоте на M однородных подслоев. Коэффициент ослабления в каждом подслое равен среднему значению коэффициента ослабления случайного поля для аналогичного подслоя. Смещение вычисляемых оценок компенсируется стохастическими весами. Показано, что если дисперсия коэффициента ослабления σ_z невелика, наиболее эффективным по трудоемкости является метод максимального сечения, в случае большой дисперсии коэффициента ослабления σ_z возможно сконструировать такой вспомогательный рассеивающий слой, что трудоемкость предложенного алгоритма будет в 1.5–2.5 раза меньше трудоемкости метода максимального сечения.

Оценка вероятности пропускания излучения $I^{(2)}$ плоским слоем со случайным коэффициентом ослабления (ε – погрешность расчета, S – трудоемкость алгоритмов)

	$\sigma_\varepsilon=1$		$\sigma_\varepsilon=5$		$\sigma_\varepsilon=10$	
	$(I^{(2)} \pm \varepsilon) \times 10^{-5}$	$S \times 10^{-5}$	$(I^{(2)} \pm \varepsilon) \times 10^{-5}$	$S \times 10^{-5}$	$(I^{(2)} \pm \varepsilon) \times 10^{-5}$	$S \times 10^{-5}$
Макс. сечения	4940.2 \pm 3.2	0.820	5813.9 \pm 2.69	2.884	5294.3 \pm 2.7	5.03
Весовой:	4938.4 \pm 3.2	1.070	5807.8 \pm 5.66	6.492	5326.9 \pm 76.7	1309
$M = 1$						
$M = 50$	4938.8 \pm 3.2	1.036	5807.3 \pm 2.76	1.548	5293.4 \pm 2.9	1.85
$M = 100$	4940.2 \pm 3.2	1.12	5801.4 \pm 2.7	1.501	5292.3 \pm 2.8	1.72

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

На основе данных метеорологических наблюдений исследованы основные вероятностные свойства совместных временных рядов приземной температуры воздуха, относительной влажности и атмосферного давления высокого разрешения, совместных рядов суточных сумм осадков, минимальной и максимальной температуры воздуха и др. Разработаны, численно реализованы и верифицированы соответствующие стохастические модели, учитывающие суточный и сезонный ход реальных метеопроцессов. Исследована возможность применения построенных параметрических стохастических моделей совместных временных рядов атмосферного давления, температуры воздуха и относительной влажности для численного исследования свойств временных рядов энтальпии влажного воздуха и индекса жары с малым шагом по времени. Показано, что ряды указанных показателей теплосодержания воздуха, построенные на основе модельных траекторий комплекса метеоэлементов, обладают статистическими свойствами, близкими к свойствам реальных рядов энтальпии и индекса жары. В связи с тем, что в условиях меняющегося климата необходимо не только исследовать свойства вышеуказанных обобщенных характеристик в текущих климатических условиях, но и изучать зависимость данных характеристик от изменяющихся метеопараметров, начато исследование зависимости свойств рядов энтальпии и индекса жары от изменений свойств рядов температуры и влажности.

Предложены и численно реализованы два приближенных алгоритма численного стохастического моделирования гауссовских периодически коррелированных процессов на основе спектрального представления. В основе алгоритмов два подхода: первый основан на стандартном спектральном представлении, в котором спектральная плотность периодически зависит от времени; второй – на спектральном представлении, в котором случайные амплитуды образуют векторный случайный процесс непрерывного времени с заданной матричной корреляционной функцией. Итоговый скалярный периодически коррелированный процесс непрерывного времени получается из этого векторного процесса суммированием его компонентов. Эти алгоритмы моделирования скалярных периодически коррелированных

процессов, в отличие от алгоритмов, основанных на использовании векторных стационарных последовательностей, позволяют строить периодически коррелированные процессы в произвольные не равноотстоящие друг от друга моменты времени. Предложены методы оценки соответствующих параметров для построения численных стохастических моделей метеорологических периодически коррелированных процессов по реальным данным.

Разработаны алгоритмы численного стохастического моделирования совместных пространственно-временных полей среднесуточной температуры приземного воздуха и суточных сумм жидких осадков на заданной неравномерной сети метеостанций. В предположении стационарности полей по времени построены алгоритмы стохастической интерполяции совместных полей со станций в узлы регулярной сетки. Проведено обобщение метода оценки степени неоднородности поля по реальным данным на случай совместных полей различных метеорологических параметров.

На основе реальных данных разработана численная стохастическая модель временных рядов энтальпии влажного воздуха в приближении периодически коррелированного процесса. Проведены расчеты характеристик различных экстремальных событий, связанных с этим параметром.

Результаты работ по проектам РФФИ

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

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

В ходе работы над проектом получены следующие основные результаты:

– На основе восьмисрочных данных метеорологических наблюдений исследованы основные вероятностные свойства совместных временных рядов приземной температуры воздуха, относительной влажности и атмосферного давления, закономерности суточного и сезонного ходов их одномерных распределений и корреляций. Исследованы вероятностные свойства совместных рядов суточных сумм осадков, минимальной и максимальной температуры воздуха и др.

– Разработаны, численно реализованы и верифицированы соответствующие параметрические стохастические модели, учитывающие суточный и сезонный ходы реальных метеопроцессов.

– Построенные параметрические стохастические модели совместных временных рядов атмосферного давления, температуры воздуха и относительной влажности использованы для численного исследования свойств временных рядов энтальпии влажного воздуха и индекса жары с малым шагом по времени. Проведены предварительные исследования влияния изменения характеристик климата на характеристики теплосодержания воздуха. Проведены исследования статистических свойств неблагоприятных метеорологических явлений (в том числе, длительных периодов времени с высокой температурой при отсутствии осадков, резких внутрисуточных перепадов температуры и др.).

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

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

В ходе работы над проектом разработаны и реализованы новые методы и алгоритмы статистического моделирования для решения ряда задач атмосферной оптики, дистанционного

зондирования, а также для исследования радиационного баланса и процессов переноса излучения в океане и облачной атмосфере.

Результаты работ по проектам РФФ

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

Этап 2017–2018 гг.

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

В 2018 г. получены следующие научные результаты:

1. Исследования по моделированию, расчету и построению катодоллюминесцентных сигналов и карт.

Предложен бессеточный стохастический алгоритм вычисления интенсивности катодоллюминесценции и тока, индуцированного электронным пучком, проведена серия расчетов катодоллюминесцентных карт для полупроводников с краевыми дислокациями. Расчеты показали, что как интенсивность катодоллюминесценции, так и распределение энергии запрещенной зоны в окрестности дислокации в рамках традиционного представления краевой дислокации в виде твердого цилиндра (диаметром порядка 3 нм) находятся в значительном расхождении с экспериментальными данными. Это привело нас к созданию новой, физически обоснованной математической модели транспорта экситонов при наличии дислокаций для проверки предложенной нами теории взаимодействия экситонов и дислокаций. По предложенной нами совместно с группой ученых-физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (Белин) теории электрическое поле вокруг дислокации формируется за счет упругих сил, поскольку GaN является пьезоэлектрическим кристаллом, и нужно точно вычислить приповерхностное поле в окрестности выхода дислокации на поверхность кристалла, поскольку именно оно может приводить к нерадиационной рекомбинации экситона. При работе над данной проблемой нами построена теория взаимодействия экситона с пьезоэлектрическим полем вокруг дислокации, и на ее основе создан стохастический алгоритм для расчета интенсивности катодоллюминесценции и в целом катодоллюминесцентных карт дислокаций. Результаты работы опубликованы в журнале *Applied Physics Let.*, входящем в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition. Другая публикация по данным исследованиям направлена в журнал *Phys. Rev. Let.*

2. Разработка алгоритмов стохастического моделирования для решения нестационарных задач метода катодоллюминесценции и метода, основанного на токе, индуцированном электронным пучком.

Задача о расчете катодоллюминесцентных карт здесь еще более усложняется тем, что требуется решать нестационарную задачу от импульсного источника. Экспериментальные попытки в данном направлении ведутся в упомянутой выше группе физиков-экспериментаторов из PDI (Берлин), однако без точных расчетов продвижение в этой задаче очень затруднено, поскольку требуется проведение многочисленных трудоемких и весьма дорогостоящих экспериментов. Нами разработан алгоритм стохастического моделирования данной нестационарной задачи, причем число дислокаций, которое допускается при моделировании, может достигать нескольких тысяч. Нами осуществлена имплементация алгоритмов стохастического и клеточно-автоматного моделирования с распараллеливанием на кластерах

Сибирского суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН. Результаты данных исследований опубликованы в журналах *Monte Carlo Methods and Applications* и *Communications in Computer and Information Science*. Отметим, что возможность решать трехмерные нестационарные задачи с такой сложной геометрией (тысячи дислокаций в полупроводниковом материале) появилась благодаря тому, что разработанный нами стохастический алгоритм является бессеточным, основанным на потраекторном моделировании движения экситонов, где учет геометрии сводится к определению расстояния от текущей позиции экситона до ближайшей дислокации и до подложки полупроводника.

3. Построение полной модели эпитаксиального выращивания GaN нановискеров.

По данному направлению исследований разработана полная стохастическая модель эпитаксиального выращивания GaN нановискеров, включающая в себя следующие режимы: 1) зарождение двумерных островков GaN на подложке; 2) формирование устойчивых трехмерных островков в процессе установления стехиометрического равновесия при инкорпорации атомов галлия и азота; 3) переход от трехмерного островка фиксированного радиуса к одномерному росту в виде нановискера; 4) кинетика роста нановискеров с учетом их коалесценции и появления новых островков в условиях экспоненциального спада потока атомов азота, проникающих до подложки. Созданная модель стохастического моделирования с включением всех четырех режимов позволяет исследовать процесс выращивания GaN нановискеров на различных подложках, включая титановые, когда выращиваются ансамбли нановискеров высокого качества с очень узким распределением по высоте и диаметрам. По данным работ подготовлена статья для журнала *Computational Materials Science*. В основе разработанного алгоритма стохастического моделирования лежит кинетико-термодинамический подход в рамках теории гетерогенной нуклиации Беккера – Деринга – Зельдовича с учетом диффузии адатомов по поверхности подложки, образования и распада неустойчивых кластеров, вычислением в процессе моделирования размеров устойчивого кластера. По этим исследованиям опубликована работа в журнале *Monte Carlo Methods and Applications*. Данная модель также разработана в сотрудничестве с группой ученых-физиков из Института твердотельной электроники (Берлин), при их экспериментальной поддержке. В настоящее время исследования продолжаются, готовится совместная публикация.

4. Обобщение метода блуждания по сферам на процессы с анизотропной диффузией и рекомбинацией различных типов экситонов.

Наличие методов стохастического моделирования с возможностью учета анизотропной диффузии и различных типов рекомбинаций позволяет существенно расширить класс решаемых физических задач, включающих анизотропную диффузию, рекомбинации, дрейфт и химические или иные реакции. Эта задача до сих пор не была решена, поскольку даже в двумерном случае чистой анизотропной диффузии без дрейфта и реакций не существует аналитического соотношения о среднем интегральном для таких задач. По данному направлению исследований удалось построить очень эффективные алгоритмы стохастического моделирования на основе полученного нами приближенного сферического соотношения для анизотропной диффузии для сферы малого радиуса. Такой подход позволил учитывать не только анизотропию, но и зависимость от пространственной переменной коэффициентов диффузии и времени жизни диффундирующей частицы. Результаты этой работы опубликованы в журнале *Monte Carlo Methods and Applications*. Нами предложен также другой подход к построению стохастических алгоритмов для решения транспортных задач с анизотропной диффузией, основанный на явном представлении функции Грина для произвольного параллелепипеда. Этот метод позволяет использовать не малые, а произвольные

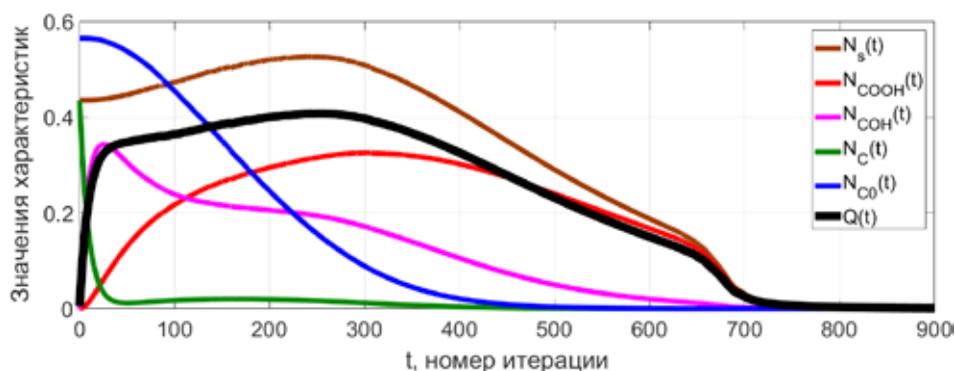


Рис. 5: Значения характеристик КА модели коррозии углерода, вычисленные с помощью компьютерного моделирования для $G_x = 10$, $G_y = 10$, $G_z = 5$ гранул вдоль осей X , Y , Z (N_s – концентрация поверхностных атомов, N_{COH} и N_{COOH} – концентрации окисленных атомов углерода с одной и двумя ковалентными связями, N_C и N_{C0} – концентрации поверхностных и объемных атомов углерода, Q – удельная емкость образца)

параллелепипеда в случае постоянных коэффициентов диффузии. По результатам данной работы направлена статья в журнал *Communications in Computer and Information Science*. Другим важным результатом исследований по данному направлению является решение систем уравнений дрейфа-диффузии, описывающих транспорт свободных и связанных экситонов, которые могут рекомбинировать друг в друга. Построен алгоритм блуждания по сферам для решения таких систем уравнений, основанный на выведенном нами соотношении о среднем, в который входят интегралы по сферам и шарам. Алгоритмически метод близок по структуре скалярному методу. Отличие заключается в том, что при случайном попадании частицы одного типа внутрь шара существует вероятность рекомбинации ее во второй тип частицы (например, свободный экситон рекомбинирует в связанный экситон) и продолжения траектории до очередной рекомбинации внутри одного из блуждающих шаров. Данный алгоритм применим к системам с любым числом частиц с рекомбинацией. Работа опубликована в журнале *Applied Mathematical*.

5. Разработана трехмерная клеточно-автоматная (КА) модель электрохимического окисления углерода и текстурных свойств углеродного носителя Ketjen Black.

Образец углерода Ketjen Black в КА-модели формируется из гранул, каждая из которых образована двумя вложенными сферами. Область между сферами заполнена атомами углерода. Радиусы сфер подобраны в соответствии с текстурными свойствами Ketjen Black. Состояния клеток изменяются в соответствии с вероятностными правилами, заданными на основе механизма коррозии углерода, приводящей к разрушению и отрыву частей образца. Для определения оторвавшихся от образца атомов выполняется поиск компонент связности и удаление несвязанных атомов. Разработана параллельная реализация КА модели коррозии углерода путем декомпозиции моделируемой области и распределения вычислений между MPI процессами. В результате КА-моделирования вычислена временная зависимость доли "чистых" и окисленных атомов углерода, а также электрохимической емкости образцов Ketjen Black для различных значений модельных параметров (рис. 5). Выполнено сравнение результатов моделирования с данными натуральных экспериментов, полученными группой химиков из Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.

Прочие гранты

Грант Президента РФ МК-659.2017.1 "Имитационное стохастическое моделирование метеорологических процессов: разработка и исследование эффективных алгоритмов моделирования случайных полей, построение моделей и вероятностный анализ экстремальных метеорологических явлений".

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

В рамках проекта завершено исследование и построение стохастических моделей совместных пространственных и пространственно-временных случайных полей стока р. Бердь и осадков в бассейне реки. Построены стохастические модели нестационарных совместных временных рядов суточных сумм осадков, минимальной и максимальной суточной приземной температуры воздуха на годовом интервале, стохастические модели комплексов метеопараметров (например, приземная температура – атмосферное давление, приземная температура – относительная влажность) различного разрешения. Начато исследование свойств временных рядов и полей модуля скорости ветра.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Kaganer, Vladimir M.; Sabelfeld, Karl K.; Brandt, Oliver. Piezoelectric field, exciton lifetime, and cathodoluminescence intensity at threading dislocations in GaN{0001} // Appl. Phys. Lett. 2018. V. 112, N 12, 122101.

2. Karl Sabelfeld, Application of the von Mises-Fisher distribution to Random Walk on Spheres method for solving high-dimensional diffusion-advection-reaction equations // Stat. and Probab. Lett. 2018. V. 138. P. 137–142.

3. Karl Sabelfeld, A Mesh Free Stochastic Algorithm for solving diffusion-convection-reaction equations on complicated domains // Dokl. Math. 2018. V. 98, N 2. P. 435–438.

4. Sabelfeld, K. K., Ereemeev, G. A hybrid kinetic-thermodynamic Monte Carlo model for simulation of homogeneous burst nucleation // Monte Carlo Methods and Appl. 2018. v. 24, N 3. P. 193–202.

5. Sabelfeld K., Kireeva A. Probability distribution of the life time of a drift-diffusion-reaction process inside a sphere with applications to transient cathodoluminescence imaging // Monte Carlo Methods and Appl. 2018. V. 24, N 2. P. 79–92.

6. Shalimova I., Sabelfeld K. Random walk on spheres method for solving anisotropic drift-diffusion problems // Monte Carlo methods and Appl. 2018. V. 24 (2018), iss. 1. P. 43–54.

7. Sabelfeld K. First passage Monte Carlo algorithms for solving coupled systems of diffusion-reaction equations // Appl. Math. Lett. 2019. 88. P. 141–148 (published online 01.09.2018).

8. Киреева А. Е., Сабельфельд К. К., Мальцева Н. В., Грибов Е. Н. Трехмерная клеточно-автоматная модель электрохимического окисления углерода Ketjen Black EC-600JD // Вестн. Том. гос. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019.

9. Sabelfeld K. K. A Random Walk on Spheres based kinetic Monte Carlo method for simulation of the fluctuation-limited bimolecular reactions // Math. and Comput. in Simulation. 2018. 143. P. 46–56. DOI:10.1016/j.matcom.2016.03.011.

10. Sabelfeld K. K. Stochastic projection methods and applications to some nonlinear inverse problems of phase retrieving // Ibid. P. 169–175. DOI.org/10.1016/j.matcom.2016.08.001.

11. Sabelfeld K., Simonov N. A. Random walk algorithms for elliptic equations and boundary singularities // Monte Carlo Methods and Appl. 2018. V. 24, (2018), N 4, p. 323–327.

12. Ogorodnikov V. A., Sereseva O. V. Probabilistic properties of non-Gaussian piecewise-linear processes on Poisson flows with independent random values at points of flow // Russian J. of Num. Analysis and Math. Modelling. 2018. V. 33, N 1. P. 55–64.

13. Mikhailov G. A., Prigarin S. M., Rozhenko S. A. Comparative analysis of vector algorithms for statistical modelling of polarized radiative transfer process // Russian J. of Num. Analysis and Math. Modelling (2018), V. 33, N 4. P. 253–263. DOI: 10.1515/rnam-2018-0021.

14. Sergei M. Prigarin, Daria E. Mironova. Stochastic simulation of peculiarities of laser pulse propagation in clouds and water media // Proc. SPIE 10833, 24th Intern. Symp. on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 108331Z, Dec. 13, 2018. DOI: 10.1117/12.2504437.

15. Natalia V. Kustova, Anatoli G. Borovoi, Alexander V. Konoshonkin, Andrey P. Lyulyakin, Tatiana B. Zhuravleva, Sergei M. Prigarin. Scattering matrixes of hexagonal ice crystals of cirrus clouds calculated for problems of radiation balance // Ibid. 1083354, Dec. 13, 2018. DOI: 10.1117/12.2504452.

16. Evgeniya G. Kablukova, Sergei M. Prigarin, Gerard I. Zabinyako. Cloud droplet size distribution reconstruction by the phase function // Ibid. 1083325. Dec. 13, 2018. DOI: 10.1117/12.2504467.

17. Andrey V. Zakovryashin, Sergei M. Prigarin. Software for phase functions fast computation and optical phenomena visualization in water-drop atmospheric clouds // Ibid. 108332Y. Dec. 13, 2018. DOI: 10.1117/12.2505569.

18. Shefer O. V., Kargin B. A. Radiant energy extinction in the radiative transfer equation for crystal clouds // Russ. Phys. J. V. 61, N 9. Jan., 2019. DOI: 10.1007/s11182-018-1573-5.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Voytishchik A. V. Development and optimization of randomized functional numerical methods for solving the practically significant Fredholm integral equations of the second kind // J. of Appl. and Industrial Math. 2018. V. 12, N 2. P. 382–394.

2. Sabelfeld K., Kireeva A. Supercomputer simulation of cathodoluminescence transients in the vicinity of threading dislocations // Commun. in Comput. and Inform. Science. 910 (2018). P. 280–293.

3. Sabelfeld K., Kireeva A., Gribov E. N., Maltseva N. V. Parallel implementation of a three-dimensional cellular automaton model of the electrochemical oxidation of carbon "Ketjenblack EC-600JD" // The J. of Supercomputing. 2018, July 2. P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2474-7>.

4. Vasily A. Ogorodnikov, Evgeniya G. Kablukova, Sergei M. Prigarin. Stochastic models of atmospheric clouds structure // Stat. Papers. 2018. DOI: 10.1007/s00362-018-1036-7.

5. Kargapolova N., Khlebnikova E., Ogorodnikov V. Monte Carlo simulation of the joint non-Gaussian periodically correlated time-series of air temperature and relative humidity // Ibid. DOI: 10.1007/s00362-018-1031-z.

6. Kargapolova N. Monte Carlo Simulation of Non-stationary Air Temperature Time-Series // Proc. of the 8th Intern. conf. on simulation and modeling methodologies, technologies and appl., Porto, 2018 / Ed. by F. D. Rango, T. Ören, M. S. Obaidat. P. 323–329.

7. Kargapolova N. Stochastic model of the joint time-series of air temperature and atmospheric pressure // Proc. of the 32nd European modelling and simulation conf., Ghent, 2018 / Ed. by D. Claeys, V. Limere. P. 199–204.

8. Levykin A. I., Novikov A. E., Novikov E. A. Third order (m, k)-method for solving stiff systems of ODEs and DAEs // Proc. of the 14th Intern. scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering "APEIE 2018". Proceedings 8545974. P. 158–163. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545974.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Войтишек А. В. Теория и приложения рандомизированных функциональных алгоритмов: новые результаты // Труды Международной научной конференции "Компьютерные науки и информационные технологии". Саратов: ИЦ "Наука", 2018. С. 85–89.

2. Каргин Б. А., Каблукова Е. Г., Чжэн П. Весовой алгоритм моделирования переноса излучения в стохастических рассеивающих и поглощающих средах // Труды 17-й Междунар. конф. им. А. Ф. Терпугова. Томск: НТЛ, 2018. С. 326–332.

3. Каргаполова Н. А., Огородников В. А. Вероятностная модель нестационарных совместных временных рядов приземной температуры, относительной влажности воздуха и атмосферного давления // Труды Междунар. конф. "Марчуковские научные чтения", Новосибирск, 8–12 окт. 2018 г. [Электрон. ресурс].

4. Oshlakov V. G., Khokhlova Yu. V., Prigarin S. M. Laser beam instrumental system (LBIS) landing aircraft // Proc. of the 8-th Intern. Symp. "Modern Problems of Laser Phys." (MPLP-2018)? Novosibirsk, Aug. 25 – Sept. 1 2018. P. 179–180.

5. Шефер О. В., Каргин Б. А. Ослабление лучистой энергии в уравнении переноса излучения для кристаллических облаков // Изв. вузов. Сер.: Физика. 2018. Т. 61, № 9. С. 18–28.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 9th Workshop on Simulation; Барселона (Испания), 23–28 июня 2018 г. – 8 докладов (Войтишек А. В., Пригарин С. М., Огородников В. А., Каргаполова Н. А., Сересева О. В., Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Ухинова О. С., Каргин А. Б.).

2. Международная конференция "Компьютерные и информационные технологии" памяти А. М. Боголюбова, Саратов, 2–3 июля 2018 г. – 1 доклад (Войтишек А. В.).

3. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 15 докладов (из них 1 пленарный, 3 приглашенных) (Каргин Б. А., Войтишек А. В., Шалимова И. А., Пригарин С. М., Огородников В. А., Каргаполова Н. А., Сересева О. В., Каблукова Е. Г., Ухинова О. С., Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).

4. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 2 пленарных доклада (Сабельфельд К. К., Каргин Б. А.).

5. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии", Ростов-на-Дону, 2–6 апреля 2018 г. – 1 доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).

6. 12-я Российская конференция с международным участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур" (ISAM'2018), п. Катунь (Алтайский кр.) 4–8 июня 2018 г. – 1 доклад (Сабельфельд К. К., Киреева А. Е.).

7. 14-я Международная выставка и научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018", Новосибирск, 24–27 апреля 2018 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

8. 25-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 27–30 ноября 2018 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А., Огородников В. А., Сересева О. В.).

9. 9th Intern. workshop on appl. probability, Будапешт (Венгрия), 18–21 июня 2018 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

10. 8th and Intern. conference on simulation and modeling methodologies, technologies and appl. "SIMULTECH 2018", Порту (Португалия), 29–31 июля 2018 г., – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

11. 32nd European modelling and simulation conference, Гент (Бельгия), 24–26 октября 2018 г. – 1 доклад (Каргаполова Н. А.).

12. 24-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 2–5 июля 2018 г. – 1 доклад (Пригарин С. М.).

13. "Актуальные проблемы электронного приборостроения" (АПЭП 2018), Новосибирск, 2–6 октября 2018 г. – 1 доклад (Левыкин А. И.).

Участие в организации конференций

1. Войтишек А. В.:

– член программного комитета 56-й Международной студенческой научной конференции МНСК–2018, Новосибирск, 22–27 апреля 2018 г.;

– член оргкомитета конференции молодых ученых Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 14–16 мая 2018 г.

2. Каргин Б. А. – член программного комитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения А. С. Алексева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.;

3. Сабельфельд К. К.:

– член программного комитета Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения А. С. Алексева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.;

– член программного комитета 8-й конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.;

4. Каблукова Е. Г. – член организационного комитета Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения А. С. Алексева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.;

5. Киреева А. Е. – член организационного комитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения А. С. Алексева; Новосибирск, ИВМиМГ, 8–12 октября 2018

6. Каргаполова Н. А. – член программного комитета 8th Intern. conference on simulation and modeling methodologies, technologies and appl. "SIMULTECH 2018", 29–31 июля 2018 г., Порту (Португалия).

Международные научные связи

Сотрудничество с группой ученых-физиков из Института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин) продолжается более 10 лет; за последние 5 лет опубликовано 9 совместных работ в высокорейтинговых журналах из первого квартиля Q1 WoS.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 18

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 12

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 5

Докладов на конференциях – 34, в том числе 4 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 6

Кадровый состав

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

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.	– старший преподаватель ВКИ НГУ

Руководство аспирантами

1. Алешина Т. В. – аспирант 4-го года НГУ, руководитель Пригарин С. М.
2. Заковряшин А. В. – аспирант 2-го года НГУ, руководитель Пригарин С. М.
3. Миронова Д. Э. – аспирант 2-го года ИВМиМГ СО РАН, руководитель Пригарин С. М.
4. Анисова М. А. – аспирант 4-го года ИВМиМГ СО РАН, руководитель Войтишек А. В.
5. Скворцов С. С. – аспирант 4-го года ИВМиМГ СО РАН, руководитель Огородников В. А.
6. Медвяцкая А. М. – аспирант 3-го года ИВМиМГ СО РАН, руководитель Огородников В. А.
7. Дульзон О. В. – аспирант 3-го года НГУ, руководитель Шалимова И. А.
8. Му Цюань – аспирант 1-го года НГУ, руководители Каргин Б. А., Каблукова Е. Г.
9. Прасол Д. А. – 2-й курс аспирантуры ИВМиМГ, руководитель Сабельфельд К. К.
10. Еремеев Г. В. – 3-й курс аспирантуры НГУ, руководитель Сабельфельд К. К.

Руководство студентами

1. Джао Бо – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.
2. Хохлова Ю. В. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.

3. Ян Чжень – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пригарин С. М.
4. Абдразакова А. Р. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Войтишек А. В.
5. Шипилов Н. М. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, Войтишек А. В.
6. Акентьева М. С. – 4-й курс бакалавриата ММФ НГУ, руководитель Огородников В. А.
7. Гребенников Д. И. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Огородников В. А.
8. Чжэн Пэнфэй – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководители: Каргин Б. А., Каблукова Е. Г.

Премии и награды

Премия "THE BEST PAPER AWARD" за статью и доклад Kargapolova N. A. "Stochastic model of the joint time-series of air temperature and atmospheric pressure", присужденная Программным комитетом The 32nd annual European Simulation and Modelling Conference, 2018, Гент (Бельгия).

Лаборатория вычислительной физики

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

Важнейшие достижения

Метод декомпозиции расчетной области на две непересекающиеся подобласти для решения трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа

Предложен, теоретически и экспериментально исследован метод декомпозиции расчетной области на две непересекающиеся подобласти для решения трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа, описывающего распределение потенциала электрического поля. Исходная краевая задача сводится к двум подзадачам: внутренней и внешней на сфере, которые решаются параллельно. Предложен метод выделения особенности во внешней краевой задаче. Для сшивки решений на границе сопряжения подобластей (сфере) записывается специальное операторное уравнение, которое аппроксимируется системой линейных алгебраических уравнений. Данная система решается итерационными методами в подпространствах Крылова. Решения модельных задач подтвердили работоспособность предлагаемого подхода.

Д.ф.-м.н. Свешников В. М., к.ф.-м.н. Савченко А. О., Петухов А. В.

Результаты исследований опубликованы в работе

Свешников В. М., Савченко А. О., Петухов А. В. Численное решение трехмерных внешних краевых задач для уравнения Лапласа методом декомпозиции расчетной области без пересечения // СибЖВМ. Т. 21, № 4. С. 435–449.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

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

Номер государственной регистрации НИР 01201370231.

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

Разработаны алгоритмы и технологии моделирования задач электронной оптики с сильными неоднородностями, состоящих в расчете движения плотных пучков заряженных частиц в электростатических полях на неструктурированных тетраэдральных сетках. Сетки строятся при помощи известного сеточного генератора NetGen. Разработаны экономичные алгоритмы распределения объемного заряда на неструктурированных сетках. Для верификации предложенных подходов проведены численные расчеты тестовых задач.

Для исследования процессов в бесстолкновительной плазме зачастую применяются гибридные (комбинированные) модели, в которых движение ионов описывается кинетическим уравнением Власова, а для описания движения электронов используются уравнения магнитной гидродинамики (МГД). Исследования на основе гибридного приближения существенно уменьшают требования к вычислительным ресурсам по сравнению с использованием полностью кинетических моделей и в настоящее время являются наиболее перспективными с точки зрения вычислительного эксперимента. Для реализации этих моделей требуется применение метода частиц-в-ячейках и практика решения задач, основанных на алгоритмах параллельных вычислений.

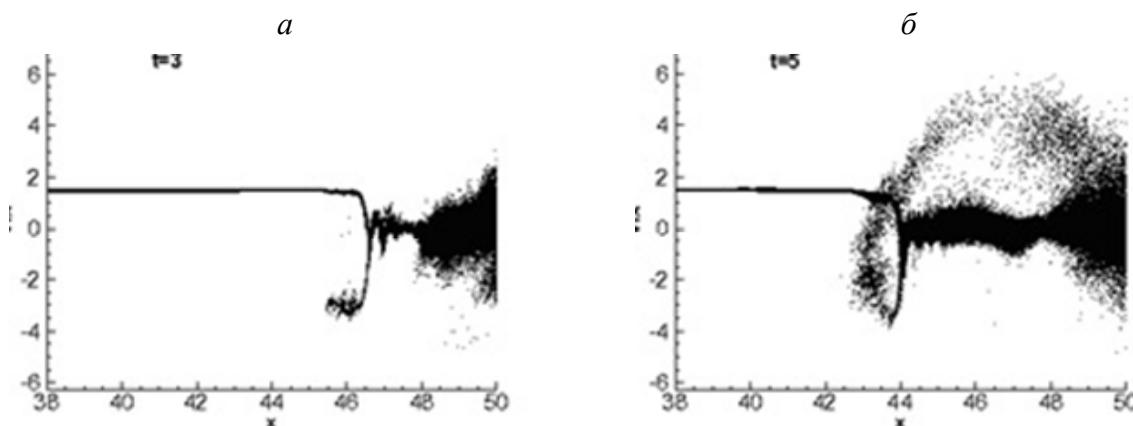


Рис. 1: Отражение ионов ударной волной с вращением по ларморовскому радиусу и образованием квазистационарной структуры, связанной с непрерывным отражением набегающего потока плазмы ударной волной и его вращением во внешнем магнитном поле. Начальная скорость частиц $v_0=1,5$, число Маха $Ma=2,8$. Фазовые плоскости в моменты времени $t=3$ (а); 5 (б)

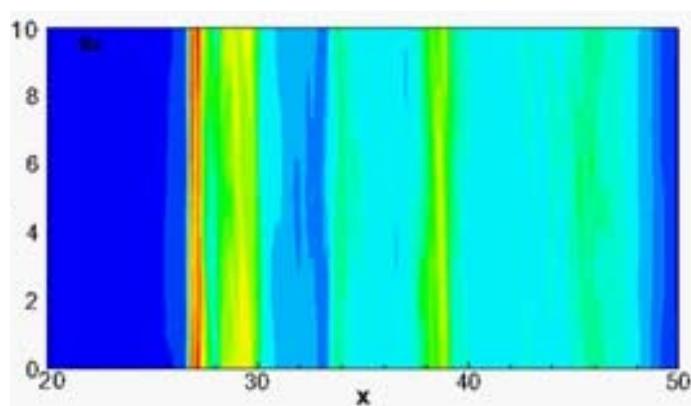


Рис. 2: Магнитное поле B_z

На основе двумерной гибридной численной модели проведена серия вычислительных экспериментов по исследованию структуры бесстолкновительных ударных волн в плазме и ускорения ионов на их фронте. При моделировании ударная волна формируется следующими способами: 1) путем отражения сверхзвукового потока от границы области и последующего взаимодействия между входящим и отражающимся потоками плазмы; 2) при взаимодействии потока плазмы с неподвижным фоном. Одним из важных преимуществ созданной гибридной модели является возможность изучения плазменных неустойчивостей на ионно-временных масштабах без учета электронных высокочастотных мод. Проведенные расчеты показали большую зависимость устойчивости схемы от вычислительных параметров, поэтому была предложена новая вычислительная схема для реализации созданной математической модели.

Тестовые расчеты (рис. 1, 2) показали адекватные физические результаты, позволяющие исследовать структуру бесстолкновительной ударной волны и исследовать механизм ускорения ионов на ее фронте в зависимости от напряженности магнитного поля и температуры. Созданные вычислительные алгоритмы и коды могут найти применение при решении ряда задач астрофизики и физики высокотемпературной плазмы.

Предложен новый итерационный алгоритм решения внешней краевой задачи для уравнения Гельмгольца на основе декомпозиции расчетной области на две пересекающиеся подобласти, конечную и бесконечную, и последовательного решения внутренней и внешней

краевых задач в каждой из этих подобластей. Исследованы условия сходимости предложенного алгоритма для уравнений Гельмгольца, имеющих вещественные решения. Выполнена численная реализация алгоритма на широком классе модельных задач.

Результаты работ по проектам РФФИ

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Для начально-краевых задач параболического типа с произвольной пространственной размерностью исследовано влияние приближенных итерационных методов при использовании неявных аппроксимаций по времени. Получены оценки глобальной погрешности численного интегрирования с учетом величины критерия окончания итераций, которые в определенном смысле являются обобщением теоремы Лакса. Предложен алгоритм выбора начального приближения на каждом временном шаге из принципа минимизации начальной невязки с использованием полученных решений на предыдущих временных шагах при помощи алгоритма наименьших квадратов. Проведено экспериментальное исследование семейства данного типа подходов, демонстрирующее возможности кардинального сокращения числа итераций в неявных схемах при сохранении устойчивости и требуемой точности численного решения. Использованный принцип имеет универсальный характер и может быть перенесен на междисциплинарные задачи, описываемые системами нелинейных дифференциальных уравнений.

Разработана новая многомерная вычислительная модель внутрипластового фильтрационного горения газа в режиме низких скоростей, алгоритмической основой которой является метод расщепления по координатным направлениям и мультипликативное выделение на неявном временном слое концентрации реагирующего компонента. Также был разработан устойчивый алгоритм вычисления скорости движения фронта горения, что позволило контролировать точность вычислений. Предложенная методика была реализована на кластере ЦКП ССКЦ ИВМиМГ СО РАН в виде параллельных программ, использующих MPI-технологии. Представленные экспериментальные исследования подтвердили эффективность разработанных алгоритмов.

Разработано математическое и программное обеспечение в рамках базовой системы моделирования БСМ для решения трехмерных смешанных начально-краевых задач для уравнения теплопроводности с фазовыми переходами в условиях сезонных изменений Арктики при наличии геологических неоднородных структур и произвольного количества скважин. Рассмотрены неявные аппроксимации энтальпийной формулировки проблемы с помощью барицентрического метода конечных объемов и разрывных алгоритмов Галеркина на неструктурированной тетраэдральной сетке. Решение системы линейных алгебраических уравнений СЛАУ на каждом временном шаге осуществляется с помощью предобусловленных итерационных методов, реализованных авторами проекта в рамках библиотеки KRYLOV. Проведены экспериментальные исследования разработанных алгоритмов на характерных тестовых задачах, подтверждающие эффективность реализованных подходов.

Разработаны вычислительные методы и параллельные технологии решения трехмерных смешанных начально-краевых задач двухфазной фильтрации в пористых средах с явным выделением трещин малой толщины в дискретной форме. Исходная вариационная формулировка аппроксимируется наивными методами конечных элементов с помощью

"трехмерных" и "двумерных" кусочно-линейных базисных функций на неструктурированных тетраэдральных сетках, генерируемых таким образом, что трещины проходят по сеточным граням. Получаемые на каждом временном шаге СЛАУ решаются с помощью параллельных двухуровневых итерационных аддитивных методов декомпозиции в подпространствах Крылова, реализованных авторами проекта в составе библиотеки программ KRYLOV. Масштабируемое распараллеливание алгоритмов обеспечивается средствами гибридного программирования с использованием систем MPI на внешних итерациях и многопоточковых вычислений над общей памятью при синхронном решении вспомогательных СЛАУ в подобластях. Высокая производительность, робастность и эффективность разработанных алгоритмов подтверждены результатами экспериментальных исследований на представительной серии тестовых задач методического и практического характера.

Полученные за отчетный период результаты имеют в целом комплексный и междисциплинарный характер, включая разработку математических моделей, современных аппроксимационных и алгебраических методов, а также сеточных и параллельных высокопроизводительных вычислительно-информационных технологий. Проведенные исследования, в соответствии с задачами проекта, ориентированы на создание интегрированного вычислительного окружения для эффективного предсказательного моделирования взаимосвязанных процессов нефтедобычи на реальных данных.

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

В рамках библиотеки KRYLOV в 2018 г. проводились исследования по разработке ряда новых алгоритмов итерационного решения СЛАУ, а также по их программной реализации, валидации, верификации, тестированию и сравнительному анализу эффективности и производительности на характерных методических примерах. Предложены весовые методы Чиммино в подпространствах Крылова, в которых каждое итерационное приближение формируется путем оптимального линейного комбинирования проекций на гиперплоскости, соответствующие блочным строкам матрицы. Данный подход чрезвычайно перспективен для параллельных реализаций аддитивных параллельных методов декомпозиции областей, в том числе с параметрическим пересечением подобластей и различными интерфейсными условиями на их внутренних границах.

Второе направление развития итерационных подходов в 2018 г. связано с ускорением на основе применения методов наименьших квадратов (МНК) в случаях, когда крыловские оптимальные алгоритмы вынужденно прерываются рестартовыми процедурами из-за вычислительного нарушения условий ортогональности или вследствие ограничений по памяти при реализации "длинных" рекурсий при решении несимметричных систем. В таких ситуациях значительное повышение эффективности достигается путем запоминания рестартовых приближений и формирования их линейных комбинаций по условиям минимизации невязки. Отметим, что возможны две реализации приемов ускорения: неявная и явная. Неявный прием заключается в том, что после выполнения и запоминания заданного количества рестартов коэффициенты их линейной комбинации вычисляются (в том числе параллельно) из решения вспомогательной алгебраической системы. При использовании явного подхода ускоряющие коррекции вычисляются последовательно, с помощью рекурсий, аналогично методу полусопряженных невязок SCR (Semi-Conjugate Residual).

Третий результат в направлении развития итерационных алгоритмов относится к их применению для решения СЛАУ, возникающих при численном интегрировании нестационарных

многомерных начально-краевых задач после проведения неявных аппроксимаций по времени. Предложенная идея заключается в определении начального итерационного приближения на каждом временном шаге путем вычисления оптимальной линейной комбинации предыдущих приближенных решений не из аппроксимационных подходов, как в методах типа предиктор-корректор, а по условию минимизации невязки. Как показывают теоретические оценки и результаты численных экспериментов, достигается значительное повышение эффективности алгоритмов и даже возможен такой парадоксальный феномен, как безытерационные неявные схемы.

Высокопроизводительное решение СЛАУ с масштабируемым параллелизмом при использовании алгоритмов описанного типа выполняется с помощью двухуровневых итерационных методов декомпозиции областей (в том числе при решении внешних краевых задач) в подпространствах Крылова, описание и реализация которых может осуществляться на геометрическом или алгебраическом уровне. Первый подход подразумевает разбиение сеточной расчетной области на сеточные подобласти с параметризованными пересечениями (по числу общих сеточных слоев) и различными интерфейсными условиями на внутренних границах, соответствующих краевым условиям Дирихле, Неймана или Робена (т. е. первого, второго или третьего рода). Предполагается, что исходная алгебраическая система и начальное приближение изначально представлены в распределенном по подобластям виде. На алгебраическом языке подобласть означает блочную строку матрицы и соответствующие подвекторы при соответствующей нумерации векторных компонент по подобластям. Итерации верхнего уровня осуществляются мультипредобусловленными методами сопряженных или полусопряженных невязок, для симметричных или несимметричных СЛАУ соответственно (в последнем случае допускается также применение эквивалентного по скорости сходимости алгоритма FGMRES). В качестве основных способов предобусловливания фигурируют методы Якоби – Шварца или Чиммино, а для дополнительного ускорения используются такие подходы, как дефляция, агрегация, грубосеточная коррекция, малоранговые аппроксимации исходных матриц (включая использование иерархических HSS форматов) или МНК. На каждой внешней итерации производится одновременное решение вспомогательных СЛАУ в подобластях. При этом используются итерационные крыловские алгоритмы (с динамическим управлением критерием окончания внутренних итераций) или прямой решатель PARDISO из библиотеки Intel MKL. Масштабируемое распараллеливание итерационных процессов достигается средствами гибридного программирования с применением MPI-процессов на верхнем уровне и использованием технологии многопоточковых вычислений на основе применения системы OpenMP на ядрах с общей памятью, а также с помощью векторизации операций путем использования системы команд AVX (для последнего случая разработан специальный векторный формат матричных данных VSR). Для повышения производительности кода используются приемы сокращения медленных и очень энергозатратных операций, при этом проводится специальная буферизация данных для межпроцессорных обменов и совмещение информационных пересылок с арифметическими действиями.

Разработанные алгоритмы реализованы в рамках библиотеки программ KRYLOV, с помощью которой проведены обширные экспериментальные исследования эффективности и производительности алгоритмов на представительной серии тестовых примеров. В частности, проведен сравнительный анализ влияния различных способов сбалансированной декомпозиции расчетных областей с помощью подходов, заложенных в общедоступной программе METIS, а также путем двухуровневого разбиения, разработанного участниками проекта. Реализации библиотечных алгоритмов осуществляются без программных ограничений на число степеней свободы и количество используемых устройств.

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

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

Разработаны алгоритмы и технологии построения квазиструктурированных сеток в плоских или осесимметричных областях со сложной конфигурацией границ.

Предложен, теоретически и экспериментально исследован новый метод распределения объемного заряда по узлам сетки с учетом прикатодной особенности.

Разработаны численно-аналитические алгоритмы интегрирования уравнений движения заряженных частиц в двумерных электрических полях.

Разработаны алгоритмы и технологии применения графических ускорителей и ускорителей Phi при распараллеливании решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках.

Разработаны специальные параллельные технологии и структуры данных для решения трехмерных краевых задач в областях со сложной геометрией.

Для ускорения решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках создан многосеточный предобуславливатель внешнего итерационного процесса по решению уравнения Пуанкаре – Стеклова.

Предложены, экспериментально и теоретически исследованы новые алгоритмы решения внешних краевых задач методом декомпозиции расчетной области без пересечения и с пересечением.

Результаты работ по проектам РФФИ

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Участниками проекта в 2018 г. получены результаты по вычислительным методам и технологиям, которые могут быть представлены в двух частях. Первый круг вопросов связан с развитием концепции, общей структуры и основных компонент интегрированного вычислительного окружения (ИВО) для высокопроизводительного решения больших задач математического моделирования процессов и явлений различной природы на современных суперЭВМ гетерогенной архитектуры с распределенной и иерархической общей памятью. Мировые вызовы научно-технологического прогресса ставят во главу угла создание больших объемов математического и программного обеспечения нового поколения для решения междисциплинарных прямых и обратных задач моделирования, которое должно стать орудием как получения фундаментальных знаний, так и изучения, оптимизации и управления в производственных, природоведческих и социальных сферах.

Реализация ИВО в проекте осуществляется в рамках базовой системы моделирования (БСМ), ориентированной на поддержку всех основных технологических стадий крупномасштабного вычислительного эксперимента: геометрическое и функциональное моделирование, построение сеток, аппроксимация исходных уравнений, решение алгебраических задач, постобработка и визуализация результатов, методы оптимизации для обратных задач, принятие решений по результатам расчетов. Формирование таких инструментальных сред, с помощью которых могут оперативно разрабатываться прикладные программные

комплексы (ППК) для различных приложений, являются мировой тенденцией последних десятилетий.

Функциональное ядро БСМ состоит из подсистем, каждая из которых отвечает за отдельную технологическую стадию и представляет собой соответствующее методо-ориентированное интегрированное окружение, являющееся достаточно автономным взаимодействующее с остальными подсистемами через согласованные структуры данных: геометрические и функциональные (ГСД и ФСД), сеточные и алгебраические (ССД и АСД) и т. д.

Участниками проекта разработаны концепции, архитектуры, структуры данных и основные компоненты для следующих подсистем: VORONOVY – геометрическое и функциональное моделирование, DELAUNAY – построение сеток, CHEBYSHEV – аппроксимация исходных уравнений, HAMILTON – решение обыкновенных дифференциальных уравнений, KANTOROVICH – методы оптимизации для решения обратных задач. Подсистема KRYLOV, представляющая собой библиотеку решателей для решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), разрабатывалась авторами проекта на протяжении нескольких лет, работы, проводимые в данном проекте, направлены на развитие ее функциональности.

Принципы построения ИВО заключаются в выполнении следующих основных технических требований:

- гибкая расширяемость состава моделей, алгоритмов и технологий построения сеток;
- адаптация к эволюции суперкомпьютерных архитектур и платформ, отсутствие ограничений на число степеней свободы задачи и количество используемых вычислительных устройств;
- возможность переиспользования внешних программных продуктов, представляющих собой богатый овестьственный интеллектуальный потенциал;
- высокая производительность программного кода с масштабируемым параллелизмом, в том числе на гетерогенных кластерах с разнообразными графическими ускорителями;
- согласованное участие различных групп разработчиков.

Рассматриваемые архитектурные принципы ориентированы на длительный жизненный цикл разрабатываемого продукта, а также на высокую производительность программистского труда участников данного наукоемкого проекта. При этом нацеленность на суперкомпьютерные вычисления означает не только быстрое действие алгоритмов, но и интеллектуальность инструментальной среды, и квалифицированную работу с большими данными во избежание коммуникационных потерь.

Описание решаемой начально-краевой задачи осуществляется в рамках БСМ с помощью подсистемы VORONOVY, предназначенной для формирования геометрической и функциональной структур данных, отображающих всю исходную информацию по решаемой задаче, которая задается пользователем в интерактивном режиме с помощью интеллектуального графического интерфейса из состава профессиональных программных продуктов САПровского типа, связанных непосредственно с промышленным производством. В нашем случае используется отечественная система ГЕРБАРИЙ, базирующаяся на ядре RGK-3D, которые созданы под руководством компании ТОП СИСТЕМ (Москва) при участии разработчика ЛЕДАС (Новосибирск). Данный инструментарий содержит достаточно богатые изобразительные средства описания геометрии расчетной области и материальные свойства моделируемого объекта, которые на математическом языке отображаются в типы решаемых уравнений и представления их коэффициентов, а также в задание начальных и граничных условий. Функция подсистемы VORONOVY является посреднической, т. е. она должна перевести традиционные САПровские форматы в ГСД и ФСД, понятные БСМ библиотеке

построения сеток DELAUNAY. Интегрирующая роль подсистемы VORONOV заключается в приспособлении разрабатываемого ИВО к различным САПРовским системам, представляющим многомиллиардный мировой рынок.

Назначением библиотеки сеточных генераторов DELAUNAY в БСМ является формирование универсальной сеточной структуры данных (ССД), позволяющей описывать широкий класс квазиструктурированных сеток, в которых сеточная расчетная область может состоять из различных типов сеточных подобластей со своими ССД и формами примитивных объектов. Отметим, что содержание ССД должно включать на сеточном уровне все данные об исходной решаемой задаче, в силу чего она обязана иметь ссылки на соответствующие объекты из ГСД и ФСД. Роль подсистемы DELAUNAY заключается в поддержке функционирования существующих многочисленных алгоритмов построения сеток, в том числе имеющих блочную структуру, что актуально для построения современных методов декомпозиции областей, а также эффективных многосеточных подходов. Важно отметить, что для больших задач, с числом узлов 10⁹ и более, генерация сеток должна осуществляться в распределенном по различным процессорам (точнее, MPI процессорам) режиме.

Подсистема CHEBYSHEV должна по сформированной ССД реализовать алгоритмы аппроксимации решаемых уравнений с учетом граничных условий на основе методов или конечных объемов, или конечных элементов, или разрывных алгоритмов Галеркина, которые единообразно реализуются на основе естественным образом распараллеливаемых элементарных технологий с вычислением локальных матриц и сборкой глобальной матрицы задачи. В результате для получаемой СЛАУ формируется алгебраическая структура данных (АСД), которая представляется в общепринятых сжатых разреженных форматах (а именно Compressed Sparse Row (CSR)), причем для больших порядков – в распределенном по MPI процессам варианте. Отметим, что мировой тенденцией последних лет являются методы аппроксимаций высокого порядка, имеющие повышенную сложность расчетных формул и заполненность матричных портретов и позволяющие значительно экономить память и объем коммуникаций, что является наиболее критичным для суперкомпьютеров постпетасфлопного уровня. Важно заметить, что идея реализации библиотеки аппроксиматоров позволяет значительно повысить в целом качество автоматизации построения алгоритмов, причем прямых аналогов такой разработки в мировой литературе не имеется.

Библиотека алгебраических решателей KRYLOV, разрабатываемая авторами на протяжении более чем 10 лет, содержит реализации достаточно большого количества параллельных алгоритмов для решения разреженных СЛАУ с симметричными и несимметричными матрицами высокого порядка, представимыми в общепринятых форматах типа CSR. Основной подход заключается в применении двухуровневого итерационного метода декомпозиции областей (МДО) с параметризованными пересечениями подобластей и различными интерфейсными условиями на внутренних границах. Внешний итерационный процесс по подобластям представляет собой специальную версию метода Шварца – Якоби в подпространствах Крылова, а вспомогательные СЛАУ в подобластях при этом решаются синхронно прямыми или итерационными методами (в последнем случае используются какие-либо предобусловленные крыловские алгоритмы из состава библиотеки). Для ускорения крыловских процессов на обоих уровнях используются различные современные подходы: дефляция, агрегация, грубосеточная коррекция, методы наименьших квадратов и малоранговая аппроксимация исходных матриц, а также ряд других перспективных идей.

Помимо математического усовершенствования алгоритмов, значительное повышение производительности кода достигается с помощью технологических приемов. Масштабированно-распараллеливание вычислений ведется средствами гибридного программирования.

Внешние итерации реализуются в распределенном по MPI-процессам варианте, а распараллеливание внутренних решателей СЛАУ в подобластях осуществляется на основе многопоточковых вычислений в системе OpenMP. Кроме того, существенное ускорение достигается за счет векторизации операций с помощью системы команд AVX и организации специальных форматов матричных данных.

Вторая часть проекта связана с разработкой вычислительных методов и технологий для решения в рамках БСМ ряда актуальных прикладных задач. Один рассматриваемый класс прикладных задач заключается в решении задачи рассеяния волновых полей на решетчатых структурах, описываемых системой уравнений Захарова – Шабата в комплексной плоскости. Данная проблематика чрезвычайно важна в современных технологиях передачи сигналов в широком диапазоне частот и предъявляет высокие требования к точности, устойчивости и быстродействию численных методов. Участниками проекта предложены экономичный алгоритм с локальным третьим порядком аппроксимации на неравномерной сетке, что позволяет оптимизировать ее шаги в окрестности резких пиков интенсивности полей, а также метод четвертого порядка, которые, как подтверждают проведенные экспериментальные исследования, имеют значительные преимущества перед существующими подходами.

Еще одна рассмотренная в проекте прикладная электрофизическая задача связана с геофизическими исследованиями околоскважинного пространства. Доказаны существование и единственность обобщенного решения краевой задачи для системы уравнений магнитопористости в диссипативном приближении. Получены численные решения методом конечных элементов тестовой краевой задачи магнитопористости в частотной области. Показано, что принципиальная схема принятого измерения электропроводности и проницаемости сохраняется, но характерная частота акустического отклика сдвигается в низкочастотную область со всеми вытекающими для практических измерений последствиями.

Большой круг вопросов данного проекта относится к области моделирования электрофизических процессов в многоэлектродных устройствах сильноточной СВЧ-электроники. В рамках проекта ERA-3D построены и апробированы методы повышенной точности для расчета трехмерных электромагнитных полей, а также полуаналитические алгоритмы интегрирования уравнений движения заряженных частиц, что значительно повысило разрешающую способность и экономичность вычислительного эксперимента. Вторым серьезным результатом здесь заключается в проведении сравнительного анализа производительности графических ускорителей различных типов – GPGPU и Intel Phi при решении краевых задач в модельных подобластях с помощью быстрых неявных методов переменных направлений.

Разработаны специальные параллельные технологии и структуры данных для решения трехмерных краевых задач в областях со сложной геометрией, так как от этого зависит эффективность распараллеливания. Основной принцип разработок состоит в сохранении, по возможности, структурированных массивов информации, что обеспечивает компромисс между объемом данных и удобством доступа к ним.

Проведены экспериментальные исследования эффективности распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках с использованием ускорителей Phi, результаты которых показали значительное (до 146 раз) ускорение вычислений с использованием разработанных технологий.

В рамках ППК ERA-3D были разработаны и исследованы также методы декомпозиции областей для решения внешних краевых задач с условиями Зоммерфельда на бесконечности. В данном случае расчетная область разбивается на ограниченную и неограниченную области (рассматриваются случаи как с пересечением подобластей, так и без). В первой из них решение вычисляется с помощью метода конечных объемов, во второй – с помощью

интегрального представления решения. Итерационный процесс по подобластям конструируется в подпространствах Крылова. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования данного метода демонстрируют его высокую эффективность.

Другой рассматриваемый класс прикладных задач – задачи рассеяния волновых полей на решетчатых структурах, описываемых системой уравнений Захарова – Шабата в комплексной плоскости. Данная проблематика чрезвычайно важна в современных технологиях передачи сигналов в широком диапазоне частот и предъявляет высокие требования к точности, устойчивости и быстродействию численных методов. Участниками проекта предложены экономичный алгоритм с локальным третьим порядком аппроксимации на неравномерной сетке, позволяющий оптимизировать ее шаги в окрестности резких пиков интенсивности полей, а также метод четвертого порядка, построенный на основе развития методологии интегральных тождеств, предложенной Г. И. Марчуком. Разработанные методы, как подтверждают проведенные экспериментальные исследования, имеют значительные преимущества перед существующими подходами.

Еще одна рассмотренная в проекте прикладная электрофизическая задача связана с геофизическими исследованиями околоскважинного пространства. Доказано существование и единственность обобщенного решения краевой задачи для системы уравнений магнитопористости в диссипативном приближении. Получены численные решения методом конечных элементов тестовой краевой задачи магнитопористости в частотной области. Показано, что на основе исследованного электроакустического эффекта принципиальная схема принятого измерения электропроводности и проницаемости сохраняется, но характерная частота акустического отклика сдвигается в низкочастотную область со всеми вытекающими для практических измерений последствиями. При этом появляется возможность создания новой методики интерпретации данных физических измерений при решении обратных задач идентификации параметров модели среды.

Публикации

Монографии и главы в монографиях

1. Skopin I. N. Management of program projects in conditions of unstable development teams // В кн. "Management of Information Systems". 2018. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75874>.

Издания, включенные в реферативную базу данных Wos

1. Sveshnikov V. M., Savchenko A. O., Petukhov A. V. A new non-overlapping domain decomposition method for a 3D Laplace exterior problem // Num. Analysis and Appl. 2018. V. 11, N 4. P. 346–359. (WOS), DOI: 10.1134/S1995423918040079.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Васильев В. И., Васильева М. В., Гладких В. С., Ильин В. П., Никифоров Д. Я., Перевозкин Д. В., Прокопьев Г. А. Численное решение задачи фильтрации в трещиноватой среде с использованием декомпозиции областей // СибЖИМ. 2018. Т. 21, № 4(76). С. 15–27. DOI: 10.1134/S199047891804018X.

2. Il'in V. P. Mathematical modeling and the philosophy of science // Herald of the Russian Academy of Sciences 2018. Vol. 88, N 1. P. 81–88. DOI: 10.1134/S1019331618010021.

3. Gurieva Y. L., Il'in V. P. On coarse grid correction methods in Krylov subspaces // J. of Math. Sci. 2018. Vol. 232, N 6. P. 774–782. DOI: 10.1007/s10958-018-3907-9.

4. Il'in V. P. The conception, requirements and structure of the integrated computational environment // Proc. RuSCDays 2018, CCIS 965 / Ed. by V. Voevodin and S. Sobolev. P. 1–13. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_56.

5. П'ин В. Р. Two-level least squares methods in Krylov subspaces // J. of Math. Sci. 2018. Vol. 232, N 6, Aug. P. 892–902. DOI: 10.1007/s10958-018-3916-8.
6. Kozыrev A. N., Sveshnikov V. M. Numerical algorithms for calculating the volume charge generated by intense charged particles beams // Appl. Phys. 2018. Iss. 1. P. 30–35. 2-s2.0-85047395652.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Ускорение параллельных алгоритмов решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // Выч. методы и программир. Т. 19. 2018. С. 121–129. DOI: 10.26089/NumMet.v19r211.
2. Корнеев В. Д., Свешников В. М. Параллельные технологии и сеточные структуры данных для решения трехмерных краевых задач в сложных областях на квазиструктурированных сетках // Там же. С. 496–506. DOI: 10.26089/NumMet.v19r444.
3. Барамя Д. А., Горбенко Н. И., Лаврентьев М. М. Описание долговременной эволюции берегового профиля на основе диффузионной модели // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. техн. 2018. Т. 16, № 4. С. 13–19. DOI: 10.25205/1818-7900-2018-16-4-13-19.
4. Гурьева Я. Л., Перевозкин Д. В. Вопросы разработки параллельного программного обеспечения для метода декомпозиции области // Выч. методы и програм. Новые выч. техн. 2018. Т. 19. С. 219–229. DOI: 10.26089/NumMet.v19r321.

Свидетельства о регистрации программ в Роспатенте

1. Свешников В. М., Козырев А. Н., Петухов А. В. Программный комплекс ERA-3D для моделирования интенсивных пучков заряженных частиц / Св-во о гос. регистрации программ для ПрЭВМ № 2018665036 от 29.11.2018.
2. Свешников В. М., Корнеев В. Д., Климонов И. А. Программа для ускорения параллельного решения трехмерных краевых задач на многопроцессорных суперЭВМ / Св-во о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2018665000 от 28.11.2018.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", Новосибирск, 10–16 декабря 2018 г. – 2 доклада (Ильин В. П., Свешников В. М.).
2. The 3rd conference on numerical analysis and scientific computation with applications, Kalamata, July 2–6, 2018 – 1 доклад (Ильин В. П.).
3. 17-я Международная конференции "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 15–20 октября 2018 г. – 2 доклада (Ильин В. П., Гладких В. С.).
4. 22-я Всероссийская научная конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко, Абрау-Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г. – 2 доклада (Ильин В. П., Гладких В. С., Петухов А. В.).
5. Международная конференция по вычислительной математике и математической геофизике, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г. – 6 докладов (Ильин В. П., Горшунов В. С., Горбенко Н. И., Савченко А. О., Петухов А. В., Гурьева Я. Л., Перевозкин Д. В., Гладких В. С.).
6. Russian – German conference "Supercomputing in scientific and industrial problems", Svetlogorsk, April 23–27, 2018 – 1 доклад (Ильин В. П.).
7. 9-я Всероссийская конференция с международным участием, посвященная памяти акад. А. Ф. Сидорова "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", Абрау-

Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г. – 3 доклада (Ильин В. П., Свешников В. М., Козырев А. Н., Гладких В. С., Петухов А. В.).

8. The 9th International conference "Numerical geometry, grid generation and scientific computing", Moscow, December 3–5, 2018 – 1 доклад (Ильин В. П.).

9. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 24–25 сентября 2018 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).

10. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии" ("ПаВТ–2018"), Ростов-на-Дону, 2–6 апреля 2018 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).

11. Международная конференция "Дни геометрии в Новосибирске – 2018", Новосибирск, 19–22 сентября 2018 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).

12. 14-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", 20–31 июля 2018 г. – 1 доклад (Скопин И. Н.).

13. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 1 доклад (Свешников В. М.).

14. 6th International congress on energy fluxes and radiation effects (EFRE2018), Tomsk, 2018 – 1 доклад (Свешников В. М., Козырев А. Н.).

Участие в организации конференций

1. Ильин В. П.:

– член программного комитета 17-й Международной конференции "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 15–20 октября 2018 г.,

– член программного комитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– член программного комитета 9-й Всероссийской конференции с международным участием "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвящ. памяти акад. А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г.,

– член программного комитета Международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ–2018), Ростов-на-Дону, 2–6 апреля 2018 г.;

2. Свешников В. М.:

– член программного комитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;

3. Петухов А. В.:

– член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 1

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 8

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 8

Докладов на конференциях – 24, в том числе 3 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 3

Кадровый состав

- | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Горбенко Н. И. | зав. лаб. н.с. | к.ф.-м.н. |
| 2. Свешников В. М. | г.н.с. 0,8 ст. | д.ф.-м.н. |
| 3. Ильин В. П. | г.н.с. | д.ф.-м.н. |
| 3. Гурьева Я. Л. | с.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 4. Савченко А. О. | с.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 5. Скопин И. Н. | с.н.с. 0,5 ст. | к.ф.-м.н. |
| 6. Омарова Г.А. | н.с. 0,5 ст. | к.ф.-м.н. |
| 7. Петухов А. В. | м.н.с. | |
| 8. Перевозкин Д. В. | м.н.с. 0,4 ст. | |
| 9. Козырев А. Н. | м.н.с. 0,25 ст. | |
| 10. Ицкович Е. А. | ведущ. программист | 0,5 ст. |
| 11. Чимаева Е.В. | ведущ. программист | |
| 12. Гладких В. С. | инженер 1-й категории | |
| 13. Крылов А. М. | инженер, | 0,25 ст. |
| 14. Горшунов В. С. | инженер, | 0,25 ст. |
- Козырев А. Н., Перевозкин Д. В. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| Ильин В. П. | – профессор НГУ |
| Свешников В. М. | – профессор НГУ |
| Скопин И. Н. | – доцент НГУ |
| Горбенко Н. И. | – доцент СИУ РАНХиГС |
| Омарова Г. А. | – ст. преподаватель НГУ |

Руководство аспирантами

1. Горшунов В. С. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Ильин В. П.
2. Эрдышев Э. Б. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Ильин В. П.
3. Казанцев Г. Ю. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Ильин В. П.
4. Климонов И. В. – 1-й год, ММФ НГУ, руководитель Свешников В. М.

Руководство студентами

1. Кострамин В. Ю. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Омарова Г. А.

Лаборатория математических задач химии

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

Важнейшие достижения**Модель двойной пористости на основе гибридной функции перетока**

Предложена модель двойной пористости для трещиновато-пористой среды с использованием комбинации классической и градиентной функций массообмена между трещинами и пористыми блоками в случае течения слабосжимаемой однофазной жидкости. Такая функция массообмена позволяет учитывать анизотропные свойства фильтрации в более общем, по сравнению с известными моделями, виде. Введено понятие эффективной нормали к трещиноватой среде. Установлено достаточное условие однозначной разрешимости соответствующей дифференциальной задачи в виде неравенства, при котором справедлива априорная оценка решения. В случае переменной эффективной нормали возможно возникновение неустойчивости, и наличие слагаемого, соответствующего классической функции перетока служит своего рода стабилизатором. Вычислительный алгоритм основан на использовании конечно-элементной аппроксимации по пространству и полностью неявной аппроксимации по времени. Для сеточной задачи также получена априорная оценка при том же условии, что и для дифференциальной задачи. Найден набор параметров, для которых возникает неустойчивость.

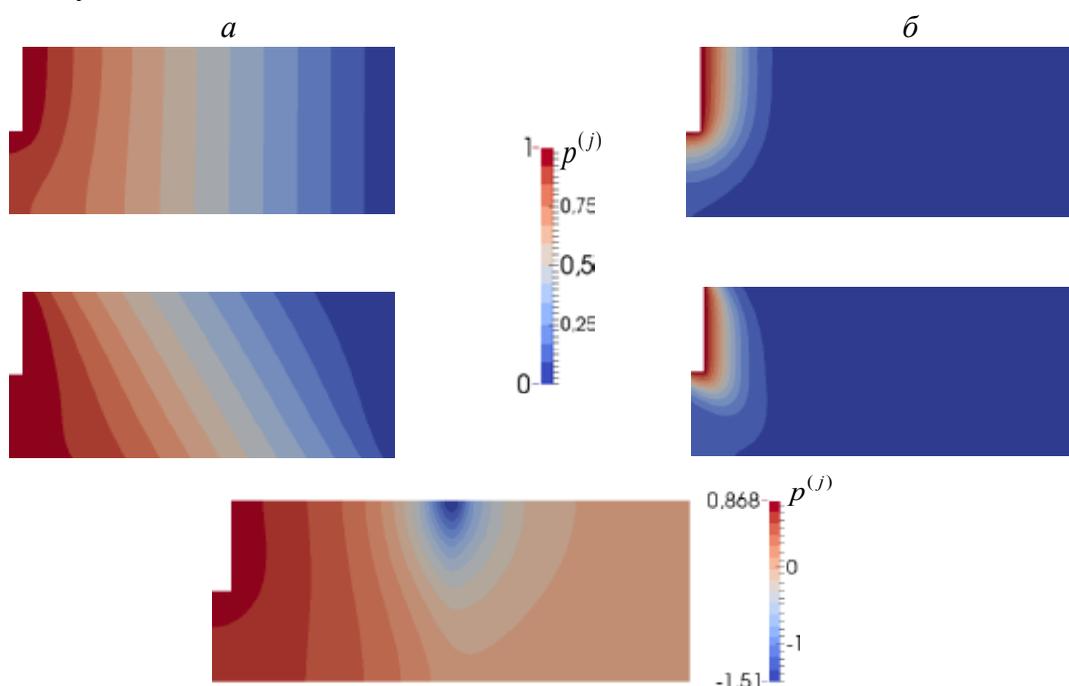


Рис. 1: Давление для изотропного и анизотропного тензоров проницаемости:
а – трещины ($p^{(a)}$); б – поровые блоки ($p^{(b)}$); в – пример неустойчивости

Д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М. в соавторстве с сотрудниками СВФУ (г. Якутск) к.ф.-м.н. А. В. Григорьевым и к.ф.-м.н. П. Г. Яковлевым.

Результаты исследований опубликованы в работе

Григорьев А. В., Лаевский Ю. М., Яковлев П. Г. О модели двойной пористости трещиновато-пористых коллекторов на основе гибридной функции перетока // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 2. С. 155–169.

[Grigoriev A. V., Laevsky Yu. M., Yakovlev P. G. On a double porosity model of fractured-porous reservoirs based on a hybrid flow function // Num. Analysis and Appl. 2018. V. 11, iss. 2. P. 121–133.].

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР "Математическое моделирование комплексных многомерных процессов естественного возгорания на супер-ЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0008.

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

В соответствии с п. 4 плана проекта на 2018 г. проведены запланированные исследования и получены следующие результаты. Осуществлена кластерная реализация многомерных вычислительных моделей фильтрационного горения газа. Разработаны вычислительные модели фильтрационного горения газа на кластере НКС-30Т с использованием технологий OpenMP и MPI. Реализовано распараллеливание двумерной сеточной задачи с явной аппроксимацией по времени. Для распределения по MPI процессам рассматриваемая область "разрезается" на вертикальные подобласти вдоль границ ячеек пространственной сетки. На каждом шаге по времени происходит следующее. Каждый MPI процесс, кроме нулевого, собирает значения искомым функций вдоль левой границы своей подобласти и с помощью функции MPI_Send отправляет их процессу с номером на один меньше. С помощью функции MPI_Recv каждый процесс, кроме последнего, получает данные, отправленные ему процессом с номером на один больше. Имея необходимые данные, эти процессы вычисляют значения правых частей для дальнейшего нахождения значений потоков в x -направлении. Вычисленные значения правых частей на правой границе своей подобласти каждый процесс (кроме нулевого) отправляет процессу с номером на один больше. После выполнения этих четырех действий каждый из процессов обладает всеми необходимыми данными и завершает вычисления на данном временном шаге самостоятельно. При этом перечисленные четыре шага, связанные с обменом данными, выполняются на каждом из процессов единственным выделенным OpenMP-потокom, а все остальные вычисления выполняются в циклах, для которых возможно применение OpenMP-директивы #pragma omp for. Численные эксперименты проводились на кластере НКС-30Т ССКЦ. На рис. 2 представлены результаты распараллеливания: линия с квадратными маркерами обозначает вычисления

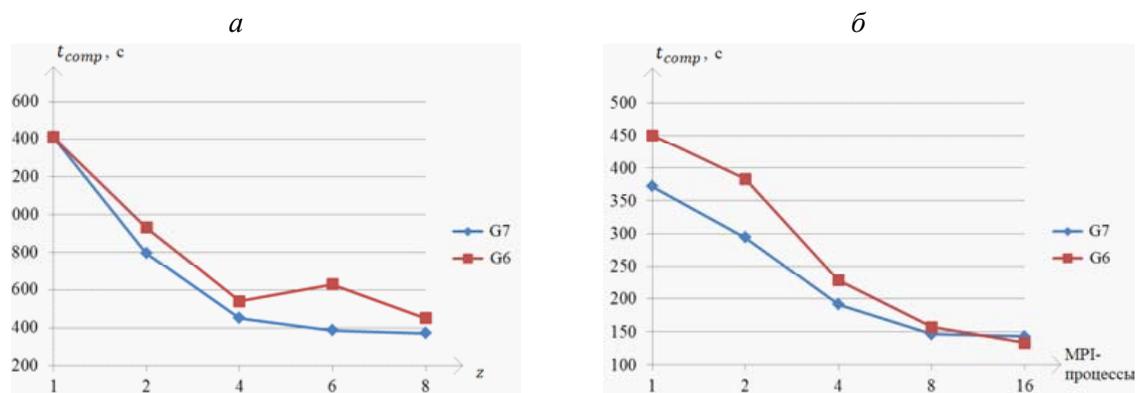


Рис. 2: Распараллеливание:

a – с помощью OpenMP на одном процессе; b – помощью MPI и OpenMP

на узле G6, содержащем 2 процессора по 4 ядра Intel® Xeon® Processor E5540; с маркерами-ромбами – на узле G7, содержащем 2 процессора по 6 ядер Intel® Xeon® Processor X5670. В данных экспериментах размерность сетки равна 256×32 . Для узла G6 было использовано по 4 OpenMP-потока на каждом MPI процессе, а для G7 – по 6 потоков. Суммарно достигнуто десятикратное ускорение по сравнению с последовательным исполнением алгоритма.

Далее был распараллелен алгоритм схемы расщепления, реализующей многомерную модель фильтрационного горения газа в потоковой постановке. Использование технологии MPI для распараллеливания данного алгоритма подразумевает необходимость перераспределения данных по процессам при каждой смене направления счета. Сбор и перераспределение данных между MPI-процессами были реализованы тремя способами:

1) Каждый процесс с помощью функции MPI_Send отправляет свои данные некоторому выделенному процессу. Ответственный за сборку процесс получает данные с помощью функции MPI_Recv, собирает их в общий массив, переупорядочивает и отправляет каждому процессу новый блок данных (также с помощью MPI_Send).

2) Сбор данных на выделенном процессе осуществляется функцией коллективного взаимодействия MPI_Gather, а распределение – функцией MPI_Scatter. Обработка данных производится одним процессом.

3) Обмен данными осуществляется с помощью функции MPI_Alltoall, переупорядочивание производится на каждом процессе независимо от других.

Кроме исследований, представленных в качестве важнейших достижений лаборатории, в 2018 г. разработан алгоритм, реализующий вычислительную модель фильтрации двухфазной жидкости, удовлетворяющий сеточному принципу максимума. Фильтрационное течение двухфазной жидкости в пористой среде описывается моделью Маскета – Леверетта, которая включает закон Дарси и закон сохранения масс для каждой из фаз, а также условие на скачок фазных давлений, обусловленный действием капиллярных сил. Модель Маскета – Леверетта записывается как система уравнений первого порядка относительно суммарной скорости фильтрующейся жидкости и обобщенного скалярного давления вытесняющей фазы. Описанная смешанная система уравнений формулируется в обобщенном виде с минимальными требованиями на регулярность решения. Подсистема уравнений "скорость – давление" решается смешанным методом конечных элементов.

Для аппроксимации искоемых переменных используются векторные элементы Равьяра – Тома и скалярные элементы наименьшего порядка. Для интегрирования закона сохранения масс, записанного в терминах насыщенности вытесняющей фазы, предложен вариант экономичной явной "upwind" схемы. Проведены сравнения результатов расчетов со схемами Лакса – Вендроффа и "Кабаре".

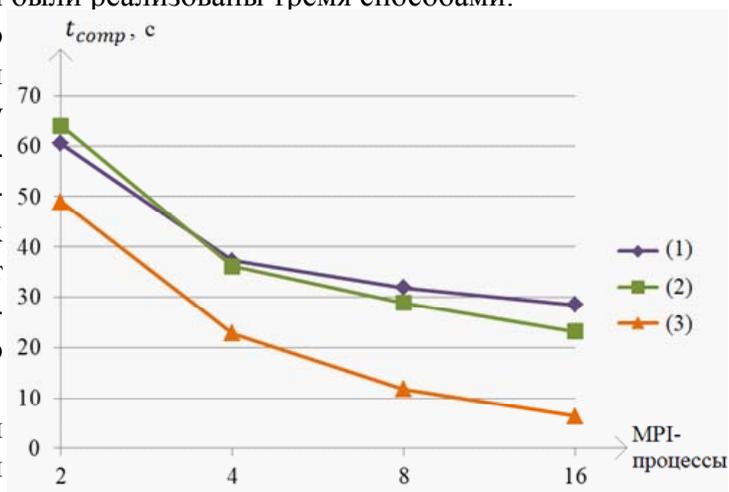


Рис. 3: Сравнительный график различных способов распараллеливания с помощью MPI:
1 – Send+Recv; 2 – Gather+Scatter; 3 – AllToAll

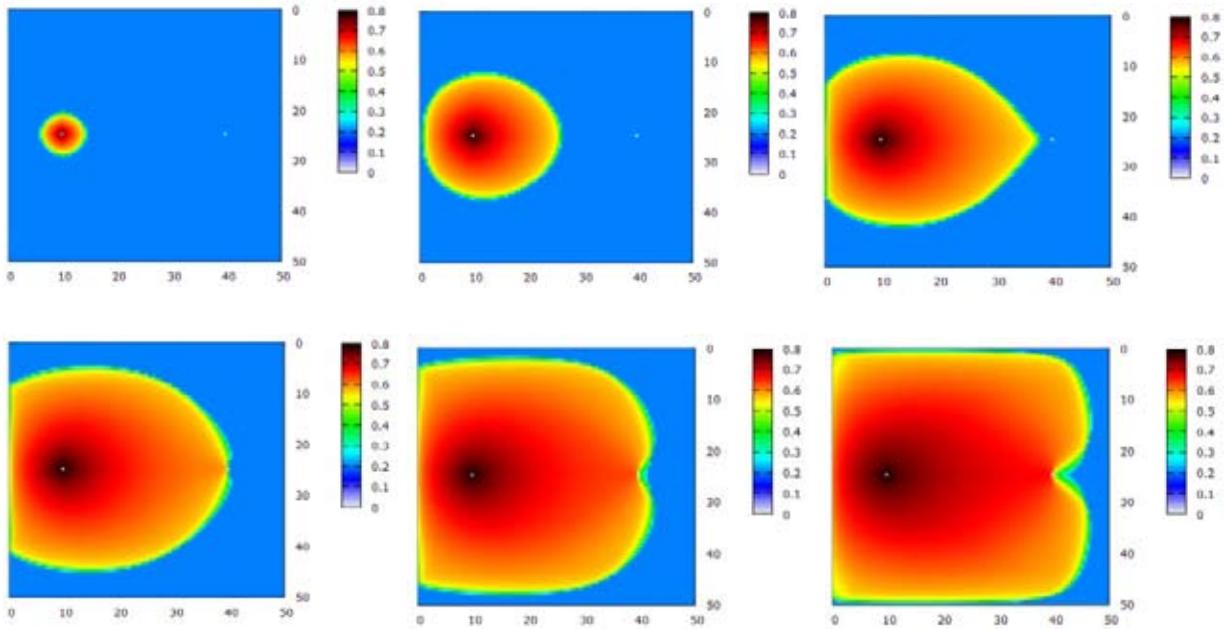


Рис. 4: Динамика водонасыщенности при наличии двух скважин

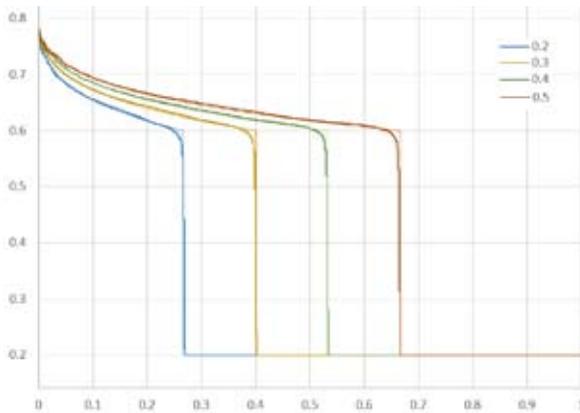
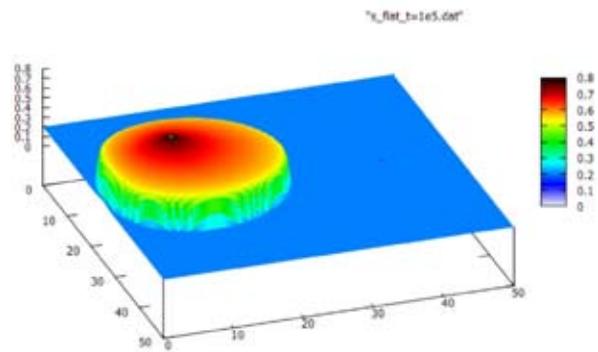
Рис. 5: Схема с пересчетом
возмущенной насыщенности

Рис. 6: Иллюстрация отсутствия осцилляций

Основы теории кубатурных формул на сфере, инвариантных относительно преобразований конечных групп вращений, заложены акад. С. Л. Соболевым. К настоящему времени наибольшее распространение получили кубатурные формулы, инвариантные относительно групп симметрии правильных многогранников. Среди них особый интерес представляют кубатуры, имеющие положительные веса и содержащие при этом минимальное число узлов (кубатуры гауссова типа). В случае наличия для данного порядка точности нескольких кубатур с положительными весами и одинаковым числом узлов нами предложен новый критерий оптимальности, согласно которому наилучшей среди этих кубатур считается имеющая наименьший главный член погрешности. Данный критерий был использован для поиска наилучших кубатур для всех групп симметрии правильных многогранников, а также для групп вращений диэдра с инверсией D_{2h} , D_{4h} и D_{6h} . В отчетном году разработан алгоритм поиска наилучших кубатурных формул на сфере, инвариантных относительно группы вращений диэдра с инверсией D_{5d} . Эта группа является подгруппой группы вращений икосаэдра с инверсией и устроена несколько сложнее ранее изученных групп D_{2h} , D_{4h} и D_{6h} . С помощью разработанного алгоритма были проведены обширные численные расчеты с

использованием вычислительной техники Сибирского суперкомпьютерного центра. В результате были получены все наилучшие кубатурные формулы данного вида симметрии до 35-го алгебраического порядка точности n . При этом для $n = 1, 3, 5, 7, 9, 11$ были найдены точные значения параметров наилучших кубатур, а для остальных n – приближенные, полученные путем численного решения систем нелинейных алгебраических уравнений методом ньютоновского типа. При поиске оптимальных кубатурных формул разных порядков точности использовалась общая теория, заложенная в работах акад. С. Л. Соболева. При построении систем нелинейных алгебраических уравнений применялась техника, предложенная В. И. Лебедевым для группы вращений октаэдра с инверсией. Разработанный нами подход к решению полученных систем уравнений, в отличие от работ В. И. Лебедева, позволяет рассматривать не только системы, разбивающиеся на подсистемы, но и решать по единой схеме возникающие системы уравнений для всех исследованных нами групп симметрии. Основная цель – получить оптимальную кубатурную формулу в рамках данной группы симметрии.

В рамках текущей научно-исследовательской деятельности проведена работа по созданию библиотеки программ, предназначенных для эффективного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) на основе алгоритмов Е. А. Новикова. Указанные алгоритмы снабжены контролем точности и автоматическим выбором алгоритма в зависимости от свойств решения ОДУ. В настоящий момент идет апробация разработанных интерфейсов, отличающихся малым количеством параметров, на задаче моделирования биохимии крови. Выбранные алгоритмы и способ их реализации на языке программирования Си уже доказали свою эффективность, продемонстрировав преимущество по сравнению с пакетом Simbiology из пакета прикладных программ Matlab как в скорости решения жесткой системы ОДУ, так и в точности.

Проведенная работа показала, что разработанная и созданная библиотека программ для решения систем ОДУ может быть применена для решения огромных систем ОДУ с миллионами уравнений, однако для этого потребуются модификация программы работы с матрицей Якоби. Реализованный в настоящий момент подход с плотным форматом хранения матрицы может быть улучшен в части затрат по памяти и скорости работы в случае, когда матрица Якоби разреженная, т. е. содержит много нулей. Кроме того, на примере задаче биохимии стало понятно, что контроль точности будет работать лучше, если использовать векторную норму с весами, обратно пропорциональными характерным значениям вычисляемых компонентов решения. В следующем году планируется провести работу по реализации и апробации указанных изменений в библиотеке программ.

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

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

Руководитель проекта – акад. РАН Верниковский В. А.

В 2017 г. К. В. Ворониным и Ю. М. Лаевским сконструированы новые экономичные методы решения 3D уравнений, описывающих нестационарные тепловые процессы в терминах тепловых потоков, что обеспечивает автоматическое выполнение сеточных законов сохранения. Последнее особенно важно при описании процессов, протекающих на относительно больших временных интервалах. Особенностью новых алгоритмов является высокая

точность и надежность для уравнений с негладкими решениями, порожденными различного рода неоднородностями. Подобные уравнения лежат в основе математических моделей тепловых процессов в различных задачах геодинамики. Алгоритмической основой новых методов является использование скалярных схем-прообразов типа предиктор-корректор. Благодаря корректору в скалярной схеме существенно повышается точность при работе с "плохими" решениями в схемах для векторных потоков. В отчетном году новые алгоритмы были реализованы в 3D геодинамических моделях, описывающих тектонотермальную историю процесса косоугольной коллизии при образовании Таймыр-Североземельского орогена. Новая модель включает около полумиллиарда степеней свободы (456 млн неизвестных) и реализована на многоядерной гибридной суперЭВМ Сибирского суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН с использованием параллельных MPI технологий.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Nosova T. A., Laevsky Yu. M. Numerical simulation of filtration gas combustion // AIP Conf. Proc. 2017. V. 1906. P. 100003. DOI:10.1063/1.5012373.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Anisimova A. S., Laevsky Yu. M. On reflected waves in the solutions of difference problems for the wave equation on non-uniform meshes // Sib. Electron. Math. Reports. 2018. V. 15. P. 759–767. DOI: 10.17377/semi.2018.15.061.

2. Grigoriev A. V., Laevsky Yu. M., Yakovlev P. G. On a double porosity model of fractured-porous reservoirs based on a hybrid flow function // Num. Analysis and Appl. 2018. V. 11, iss. 2. P. 121–133. DOI: 10.1134/S1995423918020039.

3. Попов А. С. Кубатурные формулы на сфере, инвариантные относительно группы вращений диэдра с инверсией $D5d$ // Сиб. электрон. матем. изв. 2018. Т. 15. С. 389–396. DOI: 10.17377/semi.2018.15.035.

4. Григорьев А. В., Лаевский Ю. М., Яковлев П. Г. О модели двойной пористости трещиновато-пористых коллекторов на основе гибридной функции перетока // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 2. С. 155–169.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Голубева Л. А. Программные комплексы в геометрическом моделировании объектов для задач математического моделирования // Информ. и матем. технол. в науке и управлении. 2018. № 3(11). С. 108–114.

2. Верниковская А. Е., Матушкин Н. Ю., Верниковский В. А., Полянский О. П., Воронин К. В., Лаевский Ю. М., Травин А. В. Тектонотермальная история формирования карского орогена в позднем палеозое (Таймыр – Северная Земля) на основе геохронологических данных и 3D моделирования // Материалы 16-го Всерос. науч. совещ. "Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)", Иркутск, 2018. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2018. С. 40–41.

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 3rd International conference "Numerical Analysis and Scientific Computation with Applications" (NASCA 2018), Kalamata (Greece), July 2–6, 2018 – 1 доклад (Лаевский Ю. М.).

2. 9-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики" с международным участием, посвященная памяти акад. А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г. – 1 пленарный доклад (Лаевский Ю. М.).

3. Международная конференция по вычислительной математике и математической геофизике "Марчуковские чтения – 2018", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный и 1 приглашенный (Лаевский Ю. М., Голубева Л. А., Горшунов В. С., Ильин В. П., Эрдыниев Э. Б., Иванов М. И., Кремер И. А.).

4. 16-е Всероссийское научное совещание "Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)", Иркутск, 16–19 октября 2018 г. – 1 доклад (Верниковская А. Е., Матушкин Н. Ю., Верниковский В. А., Полянский О. П., Воронин К. В., Лаевский Ю. М., Травин А. В.).

5. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", посвященная 110-летию со дня рождения акад. С. Л. Соболева, Новосибирск, 10–16 декабря 2018 г. (Попов А. С.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 1
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 5
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 8
 Докладов на конференциях – 7

Кадровый состав

1. Лаевский Ю. М.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
2. Калинин А. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
3. Кремер И. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
4. Попов А. С.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
5. Голубева Л. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
6. Литвиненко С. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
7. Воронин К. В.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
8. Иванов М. И.	м.н.с.	
9. Носова Т. А.	м.н.с.	
10. Гололобов С. В.	ст. инженер	к.ф.-м.н.
12. Сандер И. А.	ведущ. программист	
13. Юматова Л. А.	программист 1-й кат.	

Воронин К. В., Носова Т. А. – молодые научные сотрудники:

Педагогическая деятельность

Лаевский Ю. М. – профессор НГУ
 Гололобов С. В. – доцент НГУ
 Голубева Л. А. – доцент НГУ
 Калинин А. А. – доцент НГУ
 Воронин К. В. – ст. преподаватель НГУ
 Литвиненко С. А. – ассистент НГУ

Руководство аспирантами

1. Первунин А. С. – 3-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.
 2. Анисимова А. С. – 2-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.

Руководство студентами

Нектягаев К. И. – 4-й курс бакалавриата ММФ НГУ, руководитель Калинин А. А.

Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере

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

Важнейшие достижения

Создание комплекса региональных вложенных моделей окраинных морей Арктики.

Сформирован комплекс региональных вложенных моделей окраинных морей Арктики: Баренцева (включая Белое), Карского, Восточносибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых. На основе разработанного комплекса проведено исследование изменчивости гидрологии Арктических морей, обусловленной современными климатическими процессами. Использование технологии встраивания региональных моделей в крупномасштабную модель океана и льда SibCIOM позволило воспроизвести и уточнить процессы, протекающие на шельфе моря Лаптевых в летний период (рис. 1). Наиболее важными среди них являются процессы распространения пресных вод р. Лены при различных режимах атмосферной циркуляции и формирование аномалий температуры, способных проникать в придонный слой, способствуя разрушению субаквальной мерзлоты.

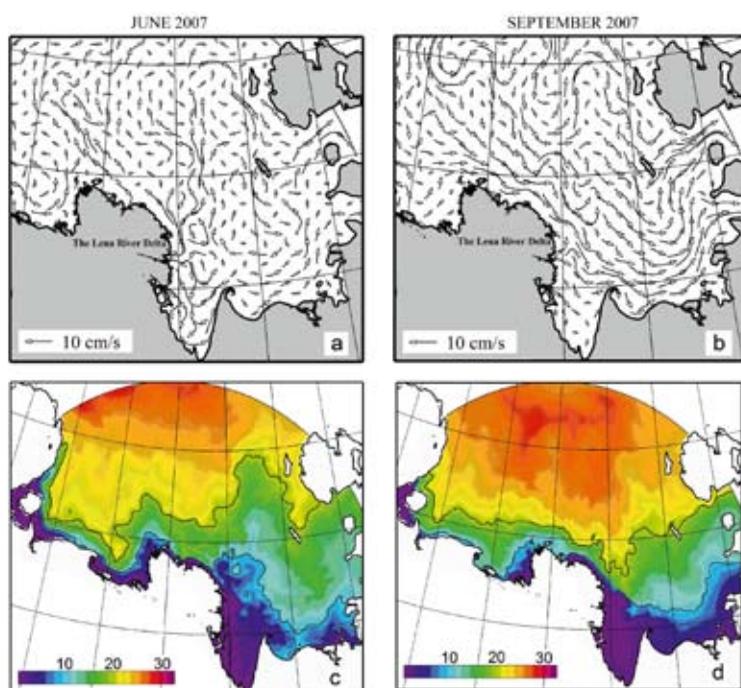


Рис. 1: Результат численного моделирования на основе комплекса региональных моделей: циркуляция вод на шельфе моря Лаптевых в летний период 2007 г. (*a* – июнь; *b* – сентябрь); соленность вод поверхностного слоя (*c*, *d*)

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

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Golubeva E., Platov G, Malakhova V., Kraineva M., Yakshina D. Modelling the long-term and inter-annual variability in the Laptev Sea hydrography and subsea permafrost state // *Polarforschung*. 2018. V. 87 (2). P. 195–210. DOI: 10.2312/polarforschung.87.2.195.

2. Malakhova V. V. Estimation of the subsea permafrost thickness in the Arctic Shelf // *Proc. SPIE 10833*, 24th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 108337T, Dec. 13, 2018. DOI: 10.1117/12.2504197.

3. Fofonova V., Zhilyaev I., Kraineva M., Iakshina D., Tananaev N., Volkova N., Sander L., Papenmeier S., Michaelis R., Wiltshire K. H. Features of the water temperature long-term observations in the Lena River at basin outlet // *Polarforschung*. 2018. V. 87 (2). P. 135–150. DOI:10.2312/polarforschung.87.2.135.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 1.4.1.2 "Развитие методов математического моделирования для задач физики атмосферы, гидросферы и охраны окружающей среды".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0004.

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

1. Сформирован комплекс региональных вложенных моделей окраинных морей Арктики. Использование системы вложенных моделей позволяет провести уточнение наиболее актуальных процессов, протекающих на шельфе Арктических морей.

На основе численного моделирования сезонной и межгодовой изменчивости гидрологических характеристик моря Лаптевых исследовались возможные причины известного из данных наблюдений повышения температуры вод придонного слоя моря Лаптевых. Результаты модельных расчетов на основе использования региональной модели повышенного сеточного разрешения (рис. 2) показали, что в период установления в регионе антициклонической атмосферной циркуляции в море Лаптевых южные и юго-восточные ветры формируют направленный на север перенос пресных вод в поверхностном слое шельфа.

Распространение пресных вод р. Лены в северном направлении способствует повышению устойчивости стратификации в области среднего шельфа, что препятствует перемешиванию вод и проникновению потоков тепла через поверхность в придонный слой. Циклонический режим

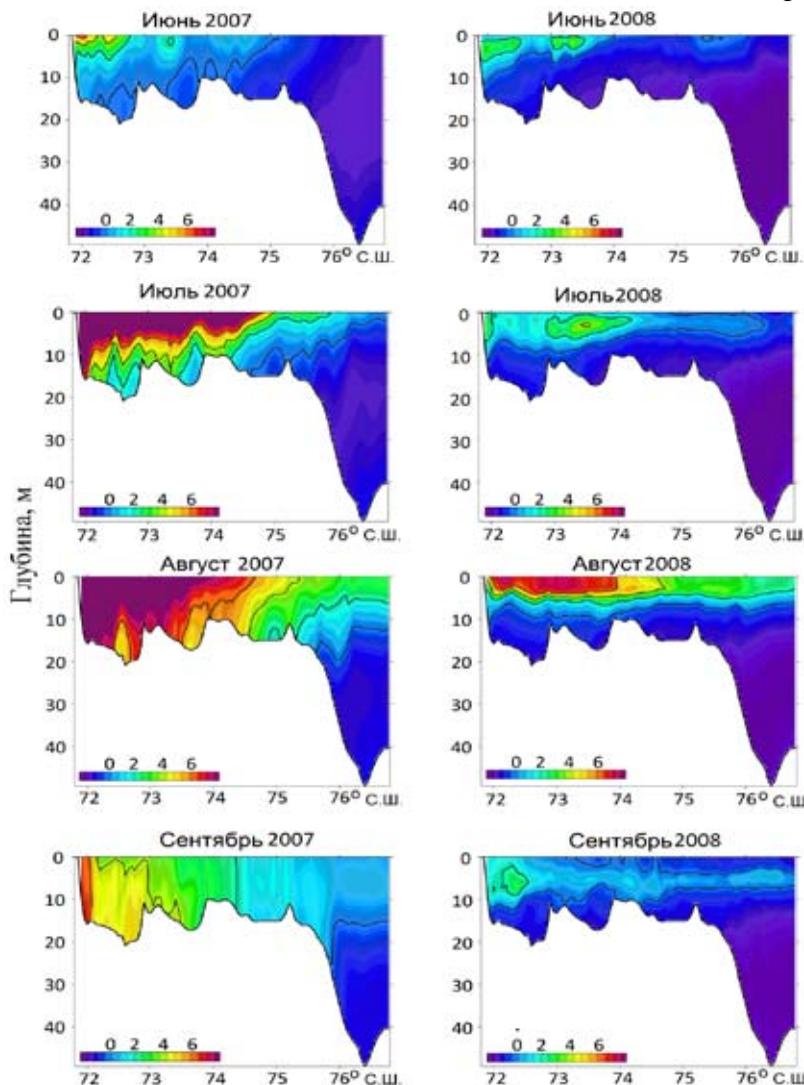


Рис. 2: Распределение температуры на шельфе моря Лаптевых при различных циркуляционных режимах атмосферы региона в летний период (вертикальное сечение, построенное на основе расчетов численной модели повышенного сеточного разрешения): 2007 г. – циклоническая, 2008 г. – антициклоническая циркуляция

циркуляции атмосферы региона с преобладанием северо-западных ветров в летний период способствует распространению пресных речных вод р. Лены в восточном направлении, усиливая Сибирское вдольбереговое течение. В этот период в поверхностном слое шельфа моря Лаптевых наблюдается поток, переносящий более соленую воду северных районов океана, что приводит к ослаблению устойчивости стратификации средней зоны шельфа и интенсивному перемешиванию, способствующему поступлению тепла в придонный слой моря.

2. Выполнена модернизация комплекса моделей компонент климатической системы. Сформированный комплекс моделей компонент климатической системы состоит из ряда модулей, контролируемых "каплером" – специализированным модулем, ответственным за взаимодействия всех компонент в режиме параллельных вычислений на суперкомпьютерной технике ЦКП ССКЦ СО РАН. Среди составляющих комплекса модель атмосферы промежуточной сложности PlaSim (Метеорологический институт университета Гамбурга), включающая модули вегетации и речного стока, модель океана SibCIOM (ИВМиМГ СО РАН), включающая модуль морского льда CICE (Национальная лаборатория Лос Аламоса (LANL)). Созданная "модель данных" позволяет вместо одного из модулей использовать данные, полученные в ходе численных экспериментов с использованием комплекса или иным путем (данные реанализа, данные CMIP и др.). В таком варианте возможно проведение серии тестовых экспериментов с одним из модулей (или их комбинацией) в более экономичном исполнении, когда в ходе численного эксперимента задействована лишь часть используемых модулей.

Модуль морского льда CICE (LANL) первоначально основан на версии CICE-3 и был реализован в варианте, не предусматривающем обновление версии модели льда. В ходе работ над модернизацией комплекса создан вариант модели SibCIOM, использующий более современную версию модели льда CICE-5, а также новый протокол взаимодействия модулей, допускающий обновление исходных модулей. Новый вариант комплекса нуждается в дальнейшем тестировании.

В ходе модернизации комплекса проведено тестирование взаимодействия ледовой модели и модели океана на основе упрощенных одномерных тестов. Результаты серии численных экспериментов показали, что игнорирование изменения объема верхнего слоя в океанической модели при формировании и таянии морского льда будет приводить к нарушению сохранения соли и постепенному повышению солености в океанической модели.

Исследована чувствительность численной модели океана SibCIOM к параметризации процессов вертикального турбулентного и конвективного перемешиваний. Для проведения исследования к модели, имеющей базовую параметризацию, основанную на процедуре конвективного приспособления, был подключен пакет программ GOTM (General Ocean Turbulence Model (см. <http://www.gotm.net/>)). Среди множества одномерных моделей-параметризаций вертикального турбулентного обмена, представленных в пакете GOTM, были протестированы два варианта: первый основан на использовании уравнения баланса турбулентной энергии, второй – широко используемая модель KPP (K-profile parametrization), в которой определяются значения турбулентной вязкости и турбулентной диффузии в верхнем пограничном слое океана на основе теории подобия для турбулентности в стратифицированных жидкостях. Проведен анализ применения этих параметризаций в численной модели океана на основе сравнения вертикального распределения температуры и солености, а также интегральных характеристик, определяющих состояние ледового покрова и содержание пресной воды.

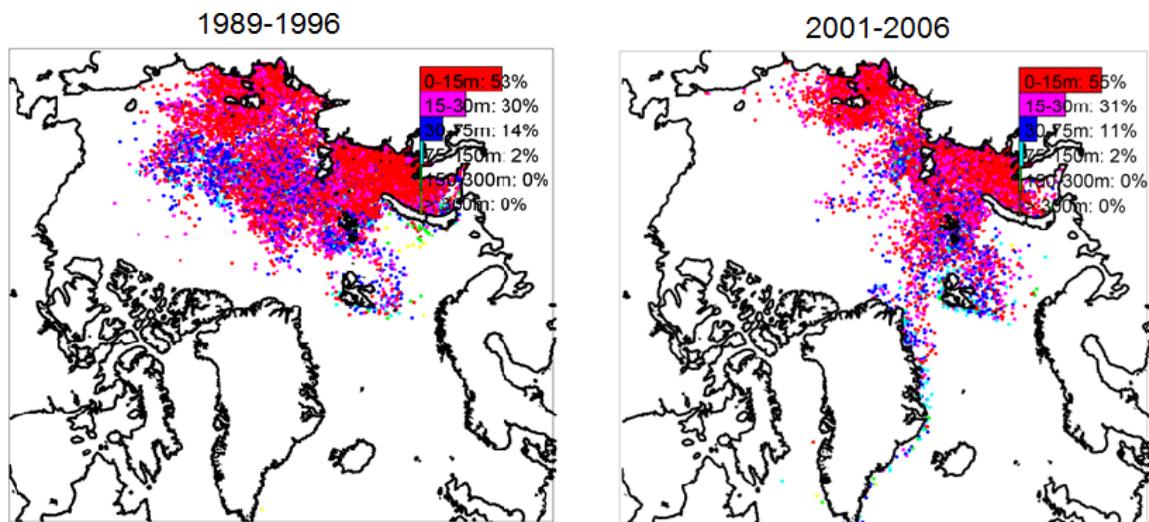


Рис. 3: Распространение трассеров сибирских рек в различные периоды атмосферной циркуляции: циклонический (1989–1996 гг.) и антициклонический (2001–2006 гг.)

Для анализа траектории распространения пресных речных вод в модели использовались пассивные трассеры в виде частиц, поступающих в шельфовую зону сибирских морей в соответствии с расходом рек Лены, Оби и Енисея. Результаты расчета показали, что значительная часть трассеров в течение нескольких лет остается на шельфе (рис. 3). Распространяясь за пределы материкового склона, трассеры включаются в систему циркуляции Арктического бассейна, изменчивость которой определяется динамикой атмосферы.

Расчеты речного стока для водосборов и получение его суточного гидрографа относятся к важным гидрологическим задачам. Получение расчетных характеристик стока и их прогнозирование с учетом климатических изменений, в частности для р. Лены, является необходимым условием для оценки влияния вод реки на процессы водообмена, льдообразования и тепловой баланс моря Лаптевых.

На примере многорукавной дельты р. Лены исследовалась возможность более широкого использования одномерных уравнений Сен-Венана для сложной гидрографической сети. Применение гидродинамического метода для описания неустановившегося движения воды в открытом русле и использование специально разработанного метода прогонки по графу типа "дерево" позволили схематизировать водный режим и получить удовлетворительные результаты расчета характеристик стока для меженного русла пяти магистральных протоков дельты р. Лены. Приближенный учет влияния поймы в рамках одномерной модели требует дальнейшего исследования.

На основе линейной модели с привлечением всемирной базы данных общего доступа MERRA в качестве источника данных об атмосферных осадках, испарении и приземной температуре воздуха рассчитаны среднемесячные гидрографы стока по пяти магистральным протокам дельты р. Лены за трехлетний период 2005–2007 гг. На рис. 4 представлены смоделированные годовые гидрографы по пяти основным протокам. Можно видеть согласование главных характерных фаз гидрологического режима: половодье (июнь) и летняя межень (июль – сентябрь) между данными и рассчитанными гидрографами основных протоков дельты р. Лены.

3. Разработана новая версия модели субквальной мерзлоты за счет усовершенствования модуля теплопереноса в донных отложениях. Для изучения динамики и современного

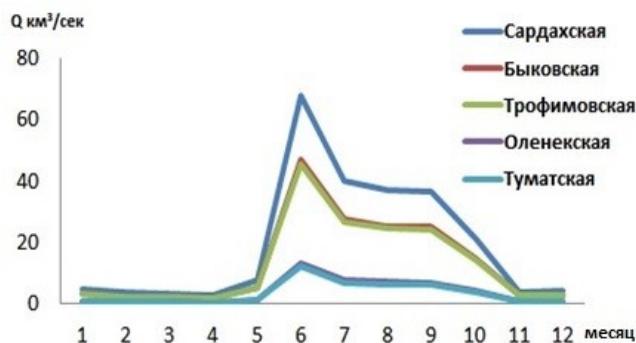


Рис. 4: Рассчитанные среднемесячные гидрографы в замыкающих створах пяти магистральных проток дельты р. Лены для 2005 г.

состояния субаквальной мерзлоты в донных отложениях шельфа Восточной Сибири разработана динамическая модель процессов теплопереноса в грунте, позволяющая рассчитывать динамику термического состояния грунта в случаях чередования границ талых и мерзлых слоев. Модель дополнена палеогеографическим сценарием изменения атмосферного воздействия и уровня океана. Определяющее влияние на механические свойства грунтов оказывает незамерзшая вода, содержание которой определяется засоленностью, типом и температурой грунтов. Еще один фактор уско-

ряющий процесс деградации мерзлоты – процесс дегазации.

При разработке новой версии модели субаквальной мерзлоты были учтены ранее недоучтенные факторы, такие как зависимость теплофизических параметров от строения осадочной толщи и содержание незамерзшей воды в осадках. Распределение температуры в осадочном разрезе находится решением нестационарного одномерного уравнения теплопроводности, содержащего теплофизические параметры пород. Вариации этих параметров для разреза донных отложений на шельфе с глубиной воды 10 м показаны на рис. 5.

4. Разработан ряд моделей и методов решения задач реконструкции полей загрязнения. На основе моделей реконструкции и спутниковой информации изучены закономерности формирования и распространения дымовых шлейфов от промышленных источников. Предложен метод косвенного оценивания эффективной высоты подъема шлейфа выбросов от точечного источника. Наиболее эффективно применение этого метода при слабых ветрах, устойчивой или нейтральной стратификации пограничного слоя атмосферы. Проведена апробация предложенного подхода для ряда крупных ТЭЦ Новосибирска и выполнено сравнение с результатами расчетов эффективной высоты подъема шлейфа по общепринятым методикам.

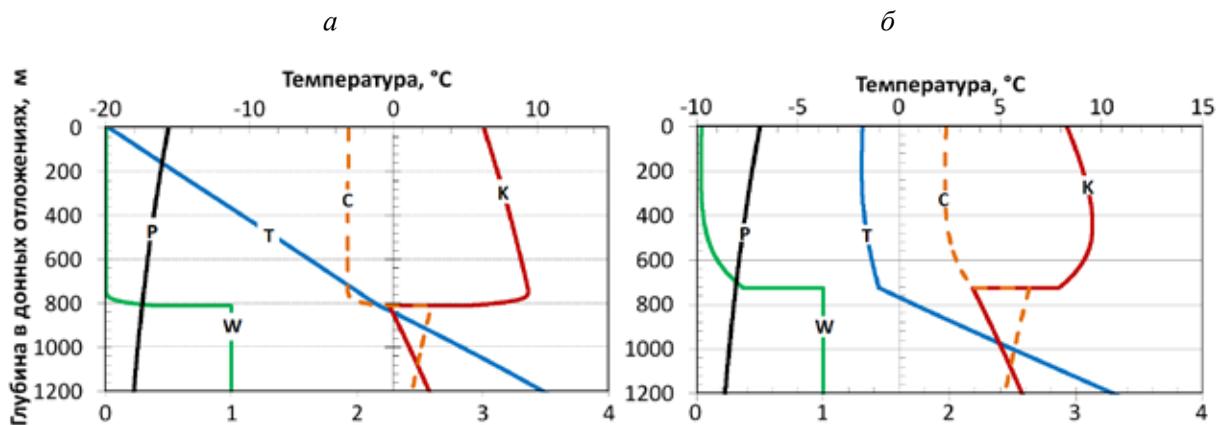


Рис. 5. Изменения теплофизических параметров донных отложений шельфа с глубиной, вычисленных в рамках моделирования динамики субаквальной мерзлоты для временных срезов:

а – 20 тыс. лет назад, когда шельф находился в субаэральных условиях;

б – для современного состояния климата, когда шельф затоплен

(*P* – пористость; *W* – незамерзшая вода; *K* – теплопроводность (Вт/м К); *C* – (МДж/м³ К)

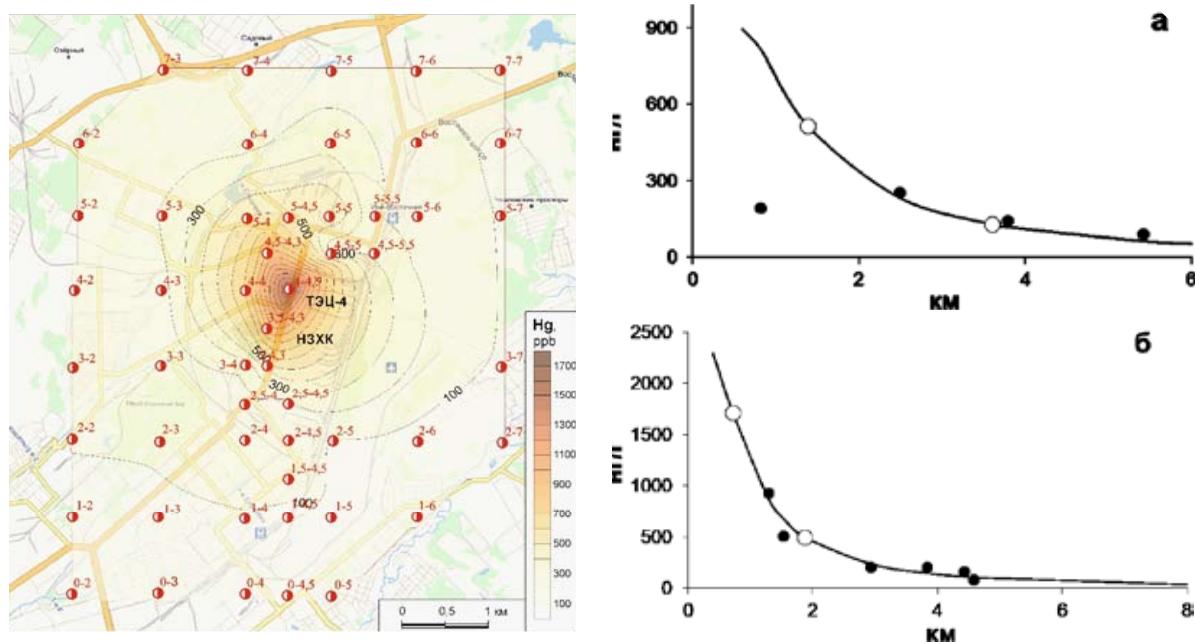


Рис. 6: Биогеохимический ореол ртути в зоне влияния промплощадки НЗХК по данным опробования листьев тополя. Численная реконструкция поля концентрации ртути (нг/г) в северном (а) и северо-западном (б) направлении от НЗХК; светлые кружки – опорные, темные – контрольные точки измерений

Рассмотрена актуальная задача определения содержания ртути в окрестностях Новосибирского завода химконцентратов по данным биогеохимического мониторинга. Предложены методы численного анализа процесса ветрового подхвата пыли с поверхности площадного источника загрязнения территории по направлениям выноса с использованием ограниченного числа опорных точек наблюдений (рис. 6).

Предложена модель оценивания поля концентрации ртути в окрестностях пылящего площадного источника. Интенсивность пыления территории промплощадки НЗХК задавалась в соответствии с данными геохимического обследования и основными очагами загрязнения ртутью. Установлено вполне удовлетворительное согласие между данными измерений и результатами моделирования по направлениям выноса.

Результаты работ по Программе Президиума РАН

Программа Президиума РАН № 51 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования".

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

Одной из проблем, стоящих перед современной наукой, является оценка будущих изменений климата и их последствий для окружающей среды. Экосистемы Сибири и Арктического побережья восточной России наиболее чувствительны к изменению климата и антропогенным воздействиям. Наиболее заметными последствиями климатических изменений в Арктике является таяние морского льда, деградация многолетнемерзлых толщ, приводящая к разрушению инфраструктуры полярных регионов, миграция на север границы лесной

растительности. Оттаивание как материковой, так и шельфовой мерзлоты сопровождается выбросами в атмосферу парниковых газов и окислением вод Северного Ледовитого океана. Для анализа последствий климатоэкологических изменений в этом регионе необходимо изучение физических механизмов, определяющих состояние многокомпонентной климатической системы. Для получения оценок возможных изменений природной среды в регионе создан следующий инструментарий:

- новая версия климатической модели промежуточной сложности PlaSim-ICMMG, верифицированная по результатам численных экспериментов по сценарию IPCC historical, проведено сравнение с результатами численного моделирования современных моделей серии CMIP5;
- адаптированные к взаимодействию с климатической моделью разработанные ранее региональные атмосферные и океанские модели, модели распространения примеси и реконструкции полей загрязнения, модели термофизических процессов в донных отложениях океана;
- модель речного водосбора для изучения влияния климатических изменений на характеристики водосборов речных систем и исследования характера распространения загрязняющих сбросов.

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 – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

Проведен анализ тенденций атмосферного форсинга на основе разложения по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) данных реанализа CORE-2, используемого в модели совместной системы океана и морского льда Арктики и Северной Атлантики.

С помощью серии численных экспериментов исследовалась роль трендов временного хода коэффициентов ЕОФ-декомпозиции атмосферного форсинга при моделировании редукиции объема морского льда Северного Ледовитого океана. Выявлено, что ведущую роль в этом процессе играют тенденции первой моды декомпозиции, соответствующие изменениям параметров сезонного хода: увеличение среднегодового значения, уменьшение амплитуды сезонных колебаний и рост среднеквадратичных отклонений от модулированного годового хода. Существенный вклад в ускорение редукиции морского льда вносит изменчивость с временными масштабами 15–30 суток, т. е. масштаба атмосферного блокинга. Кроме того, существенный вклад вносят тренды второй моды, структура которой совпадает с собственной функцией Арктической осцилляции, и третьей моды, связанной с потеплением приземного атмосферного воздуха в районе Баренцева моря и вблизи Берингова пролива из-за редукиции площади морского льда в этих районах в летний период. Построена серия региональных моделей с горизонтальным разрешением, допускающим развитие вихревой структуры, для морей Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. С их помощью в ходе дальнейшей реализации проекта будет подробно исследоваться проявление климатических изменений в каждом из этих регионов. Проанализировано влияние различных мод, полученных в результате ЕОФ-декомпозиции атмосферного форсинга, на состояние субквальных многолетнемерзлых пород. Проведенный анализ не подтверждает, что интенсивная деградация подводной мерзлоты на шельфе морей Арктики в настоящее

время усиливается и обусловлена современными изменениями климата. Деградация подводной мерзлоты происходит вследствие океанической трансгрессии, а ее интенсификация проявляется в районах, где развивались термокарстовые озера. Таким образом, можно сделать вывод, что наблюдаемое выделение метана на шельфе в современный период связано не с потеплением в XX в., а с окончанием последнего ледникового цикла.

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

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

Для исследования процессов формирования многолетнемерзлых пород и гидратов метана на шельфе Арктических морей разработана модель динамики многолетнемерзлого грунта в геологическом разрезе 1500 м для последних 400 тыс. лет. С использованием разработанной модели проведен анализ влияния таликовых зон, связанных с термокарстовыми озерами, и процессов в рифтовых зонах на динамику субаквальных многолетнемерзлых пород и зоны стабильности газовых гидратов для условий шельфа моря Лаптевых. Интенсификация деградации подводной мерзлоты проявляется в областях, где развиваются термокарстовые озера, и связана с повышением температуры на верхней границе донных отложений. Наличие зон рифтов и/или термокарстовых озер способствует уменьшению современной мощности многолетнемерзлых пород, а при их одновременном влиянии – к сквозному протаиванию мерзлоты шельфа в межледниковья.

Получены оценки современного состояния многолетнемерзлых пород и толщины зоны стабильности метангидратов Восточно-Сибирского шельфа с учетом данных интенсивности теплового потока и солености поровых вод. Согласно проведенным расчетам, толщина мерзлого слоя в донных отложениях шельфа зависит от глубины моря, геотермического потока, засоления донных отложений и составляет от 50 до 700 м. Формирование и существование зоны стабильности газовых гидратов коррелирует с динамикой нижней границы многолетнемерзлого слоя. Подобно динамике подошвы слоя мерзлых пород глубина залегания нижней границы этой зоны зависит от значений геотермического потока и современной глубины шельфа. Положение верхней границы зависит прежде всего от глубины моря. Она расположена на 100–220 м ниже морского дна, что делает газовые гидраты изолированными слоем мерзлых пород. Повышенная интенсивность потока тепла в рифтовых структурах приводит к отсутствию условий образования газогидратов в северной части моря Лаптевых.

Проанализировано влияние возможного потепления в Северном Ледовитом океане в XXI в. на зону стабильности гидратов метана. Для оценки пространственно-временной изменчивости температуры дна океана используется региональная модель океана, разработанная в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. В качестве атмосферного воздействия используются результаты, полученные с климатическими моделями CMIP5 при сценарии RCP8.5 (2006–2100 гг.). Выявлено влияние теплых водных масс Северной Атлантики на арктические газовые гидраты. В таких регионах, как Баренцево море, континентальная окраина Западного Шпицбергена и континентальный шельф Норвегии, гидраты метана могут существовать на мелководье, где происходит самое сильное потепление. Следовательно, в этих регионах можно ожидать максимального выброса метана в океан и атмосферу при потеплении на 2–3 градуса.

Проект РФФИ № 17-47-540342-р_а "Модели и геоинформационные технологии анализа данных наземного и спутникового мониторинга процессов атмосферного загрязнения территорий Новосибирской области".

Руководитель – д.ф.-м.н. Рапуга В. Ф.

Разработаны малопараметрические модели и алгоритмы численной реконструкции полей текущего и длительного загрязнения местности пассивными и химически активными примесями по данным маршрутных наблюдений. На их основе и уравнении ионного баланса основных анионов и катионов создана модель оценивания пространственного распределения интегральных кислотно-щелочных характеристик среды. На данных мониторинга загрязнения снежного покрова от высотных источников Чернореченского цементного завода проведено численное восстановление полей концентраций цементной пыли, химических элементов, компонентов ионного состава, полиароматических углеводородов. Показано, что снижение водородного показателя (рН) от высокощелочного к слабощелочному уровню происходит лишь на расстояниях 7–8 км к северу от завода. Проведен численный анализ данных наземного и спутникового мониторинга загрязнения окрестностей Новосибирского электродного завода (НЭЗ). Установлен довольно высокий уровень согласия измеренных и вычисленных значений концентраций по основным компонентам. Выявлены функциональные связи между концентрациями взвешенных веществ, бенз(а)пирена в снежном покрове и изменениями тонов серого цвета на зимних спутниковых снимках окрестностей НЭЗ. Выполнен статистический анализ данных посуточных атмосферных измерений углеродсодержащих аэрозолей и направлений ветра в Новосибирске и его окрестностях (п. Ключи). Созданы базы данных по результатам полевых и химико-аналитических исследований многокомпонентного загрязнения снежного и растительного покровов в окрестностях крупных промышленных предприятий Новосибирска и Новосибирской обл. Разработана геоинформационная система и программный комплекс для реконструкции полей аэрозольных выпадений примеси в окрестности источника, реализованный на объектно-ориентированном языке программирования java FX.

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

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

Разработана новая версия модели земной системы PlaSim-ICMMG-1.0 как модульная структура, позволяющая создавать спектр моделей земной системы промежуточной сложности, выбирая различные варианты компонентов климатической системы и углеродного цикла. Модель PlaSim-INMMG-1.0 воспроизводит сезонный ход температуры поверхности и осадков достаточно хорошо и в целом лучше предыдущей версии модели PlaSim.

Проведено исследование вклада атмосферной циркуляции в изменчивость морского льда в Арктике с использованием новой модели климатической системы. На основе метода математического моделирования получена оценка чувствительности изменчивости состояния ледового покрова к изменчивости атмосферной циркуляции. Установлены связи между влиянием океана и состоянием льда. Рассчитан поток тепла, поступающий с океаническими водами в Арктику через пролив Фрама и Баренцево море. Для Баренцева моря тепловой поток, рассчитанный для условий циклонической циркуляции (CC), устойчиво превышает поток, рассчитанный для условий антициклонической циркуляции (AC). Это объясняется усиленной циркуляцией атмосферы над Норвежским и Гренландским морями для условий

СС. Тепловые сигналы поступающей в Арктику атлантической воды часто связывают с высоким значением индекса NAO, когда тепло из субарктического региона при усилении циркуляции поступает в СЛО. Однако, по результатам эксперимента, длительное существование усиленной циркуляции в субарктическом регионе приводит к ослаблению теплового потока, тогда как при слабой циркуляции поток устойчиво растет с течением времени и после шести лет превышает значения аналогичного эксперимента для условий АС. В то же время разница между объемами льда для условий СС и АС в Евразийском бассейне начинает сокращаться. Для анализа чувствительности состояния ледового покрова к вариациям атмосферной динамики региона Норвежского и Гренландского морей проанализирована изменчивость объема льда, полученная на основе данных трех численных экспериментов в расчетный период.

Одна из задач проекта – исследование особенностей динамики атмосферы Арктики, а именно мезомасштабных полярных циклонов. Исследование было направлено на изучение динамики атмосферных условий, благоприятных для формирования ПЦ. Рассмотрена также главная мода низкочастотной изменчивости высоты геопотенциала на 1000 гПа (первая компонента разложения по эмпирическим ортогональным функциям EOF1). Выполнено сравнение перечисленных характеристик для двух периодов: с современным содержанием углекислого газа в атмосфере, 1971–2000 гг. (346.4 ppm) и с экстремально высоким содержанием 2301–2330 гг. (1961.6 ppm). Обнаружены существенные различия пространственных структур EOF1, полученных для периодов с современным и экстремально высоким содержанием углекислого газа в атмосфере, что может указывать на изменение расположения областей синхронной низкочастотной изменчивости атмосферной изменчивости – полярный вихрь, струйные течения.

С помощью различных типов данных дана оценка связи между вариацией площади снежного покрова Сибири осенью и фазой Арктического колебания (АК), формирующейся последующей зимой. Полученные результаты позволяют заключить, что рассматриваемый стратосферно-тропосферный механизм может быть подвержен влиянию других процессов в атмосфере. В связи с этим рассмотрена задача о влиянии извержений вулканов на климат внетропических широт. На примере влияния вулканического облака на различные элементы циркуляции атмосферы могут быть продемонстрированы некоторые обратные связи в климатической системе, в частности взаимосвязь между полярным вихрем и Североатлантической/арктической осцилляцией (САК/АК).

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Arzhanov M. M., Malakhova V. V., Mokhov I. I. Simulation of the conditions for the formation and dissociation of methane hydrate over the last 130 000 years // *Dokl. Earth Sci.* 2018. V. 480, iss. 2. P. 826–830. DOI: 10.1134/S1028334X18060211.
2. Raputa V. F., Simonenkov D. V., Belan B. D., Yaroslavtseva T. V. Numerical study of gas and aerosol impurity transfer and transformation processes in the plume of the Norilsk industrial region // *Atmosph. and Oceanic Optics.* 2018. Vol. 31, N 5. P. 466–470. <https://doi.org/10.1134/S1024856018050147>.
3. Krupchatnikov V. N., Platov G. A., Golubeva E. N., Fomenko A. A., Klevtsova A. A., Lykosov V. N. Some results of studies in the area of numerical weather prediction and climate theory in Siberia // *Russ. Meteorol. and Hydrology.* 2018. V. 43, № 11. P. 7–19. DOI: 10.3103/S1068373918110018.

4. Malakhova V. V., Eliseev A. V. Influence of rift zones and thermokarst lakes on the formation of subaqueous permafrost and the stability zone of methane hydrates of the Laptev sea shelf in the Pleistocene // *Ice And Snow*. 2018. N 58(2). P. 231–242. (in russ.) <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-231-242>.

5. Kokovkin V. V., Raputa V. F. Chemical composition and space dynamics of aerosol sedimentation in the vicinity of Iskitim cement plant // *Proc. SPIE 10833, 24th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 1083364* (Dec. 13, 2018). DOI: 10.1117/12.2504618.

6. Krupchatnikov V., Iakshina D. F., Platov G., Martynova Y., Borovko I. On the interaction of atmospheric dynamics Arctic and mid-latitudes under climate change // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 211, N 1. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012018.

7. Malakhova V. V., Golubeva E. N., Eliseev A. V., Platov G. A. Estimation of possible climate change impact on methane hydrate in the Arctic ocean // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 211, N 1. DOI:10.1088/1755-1315/211/1/012017.

8. Malakhova V. V. Estimation of the subsea permafrost thickness in the Arctic shelf // *Proc. SPIE 10833, 24th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 108337T* (December 13, 2018). DOI: 10.1117/12.2504197.

9. Raputa V. F., Simonenkov D. V., Belan B. D., Yaroslavtseva T. V. Analysis of processes of chemical transformation of impurities in the atmosphere of the industrial area // *Proc. SPIE 10833, 24th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 108338F* (December 13, 2018); DOI: 10.1117/12.2504593.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Golubeva E., Platov G., Malakhova V., Kraineva M., Iakshina D. Modelling the long-term and inter-annual variability in the Laptev sea hydrography and subsea permafrost state // *Polarforschung*. 2018. Vol. 87(2). P. 195–210. DOI: 10.2312/polarforschung.87.2.195.

2. Fofonova, V., Zhilyaev I., Kraineva M., Iakshina D., Tananaev N., Volkova N., Sander L., Papenmeier S., Michaelis R., Wiltshire K. H. Features of the water temperature long-term observations in the Lena river at basin outlet // *Ibid.* P. 135–150. DOI:10.2312/polarforschung.87.2.135.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Национальный атлас Арктики. Разд. 7: Океан. Моря / Гл. ред. Н. С. Касимов. М.: Роскартография, 2017. 496 с. ISBN: 978-5-9523-0386-7.

2. Крайнева М. В., Голубева Е. Н. Исследования взаимодействия морей Сибирского шельфа и Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования // *Процессы в геосредах*. 2018. № 3(17). С. 247–248.

3. Крылова А. И., Антипова Е. А. Численное моделирование гидрологического режима в дельте реки Лены // *Оптика атмосферы и океана*. 2018. Т. 31. № 6. С. 463–467. DOI: 10.15372/AOO20180607.

4. Амикишиева Р. А., Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Геоинформационная система планирования эксперимента и анализа данных процессов атмосферного загрязнения // *Сб. материалов 14-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология"*, Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. Т. 2. С. 279–286.

5. Малахова В. В. Оценка состояния многолетнемерзлых пород Арктического шельфа // *Там же*. Т. 1. С. 261–266.

6. Михайлюта С. В., Леженин А. А., Гудовский П. Г. Концентрации бенз(а)пирена в атмосфере г. Красноярска в летний и зимний периоды // Сб. материалов 14-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. Т. 1. С. 249–255.

7. Рапута В. Ф., Леженин А. А., Ярославцева Т. В. Оценка параметров выбросов Новосибирских ТЭЦ с использованием спутниковой информации // Там же. Т. 1. С. 137–146.

8. Рапута В. Ф., Юсупов Д. В., Ярославцева Т. В., Ляпина Е. Е., Турсуналиева Е. М. Экспериментальное исследование и численный анализ распространения ртути в окрестностях Новосибирского завода химконцентратов // Там же. Т. 2. С. 48–58.

9. Сересева О. В., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Медвяцкая А. М., Глотов П. В. Анализ данных сетевых наблюдений субмикронных аэрозолей в атмосферном воздухе г. Новосибирска // Там же. Т. 2. С. 37–47.

10. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф., Соловьева И. А. Наземный и спутниковый мониторинг атмосферного загрязнения в районе Новосибирского электродного завода // Т. 1. С. 152–157.

11. Коковкин В. В., Рапута В. Ф. Базы данных по загрязнению сельхозземель в окрестностях промпредприятий Новосибирской области // Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. "Информационные технологии, системы и приборы в АПК" (АГРОИНФО-2018), р. п. Краснообск, Новосибирская обл., 24–25 окт. 2018 г. Новосибирск: Сиб. физ.-техн. ин-т аграрных пробл., 2018. С. 66–71.

12. Рапута В. Ф., Коковкин В. В., Ярославцева Т. В., Амикишиева Р. А. Модели и методы наземного и спутникового мониторинга загрязнения земель сельскохозяйственного назначения // Там же. С. 537–542.

13. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Модели анализа и управления процессами аэрозольных обработок сельхозполей // Там же. С. 71–75.

14. Крупчатников В. Н., Платов Г. А., Мартынова Ю. В., Якшина Д. Ф., Боровко И. В., Зарипов Р. Б., Голубева Е. Н., Исследование взаимодействия динамики атмосферы арктического региона и средних широт в условиях изменения климата // Тез. Междунар. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. А. М. Обухова. 2018. С. 81.

15. Малахова В. В. Оценка состояния субарктической мерзлоты морей восточной Арктики на основе численного моделирования // Там же. С. 83.

16. Малахова В. В., Голубева Е. Н., Елисеев А. В., Платов Г. А. Оценка влияния возможных изменений климата на состояние субарктических газовых гидратов в Арктике // Труды Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2018", Томск, 5–11 июля 2018 г. С. 94–98.

17. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Использование спутниковой информации в задачах оценивания параметров источников примеси и характеристик атмосферы // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 окт. 2018 г. С. 232–237.

18. Малахова В. В. Современное состояние субарктической криолитозоны и зоны стабильности метангидратов восточного сектора Арктики // Там же. С. 248–253.

19. Сересева О. В., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Медвяцкая А. М. Оценка статистических параметров субмикронных аэрозолей г. Новосибирска и анализ связей с

метеорологических условиями // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 окт. 2018 г. С. 357–361.

20. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф., Амикишиева Р. А. Анализ загрязнения снежного покрова в окрестностях промышленных предприятий // Там же. С. 425–429.

Прочие

1. Новикова И. И., Рапута В. Ф., Коковкин В. В., Морозов С. В., Ярославцева Т. В., Ерофеев Ю. В., Михеев В. Н., Вейних П. А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами, сажей, бенз(а)пиреном по их осадку в снежном покрове / Метод. рекомендации. МР 2.1.6. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений. Роспотребнадзор, 2018. 17 с. (на утверждении у Главного государственного санитарного врача РФ).

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения акад. А. М. Обухова "Турбулентность, динамика атмосферы и климата", Москва – 2 доклада (Крупчатников В. Н., Платов Г. А., Якшина Д. Ф., Боровко И. В., Голубева Е. Н., Малахова В. В.).

2. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2018", Томск, 5–11 июля 2018 г. – 2 приглашенных доклада (Малахова В. В., Голубева Е. Н., Платов Г. А., Крупчатников В. Н., Боровко И. В.).

3. 24-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск. 2–5 июля 2018 г. – 4 доклада (Малахова В. В., Рапута В. Ф.).

4. 50-th International Liege colloquium on ocean dynamics, Liege (Belgium), May 28 – June 1, 2018 – 3 доклада (Platov G., Malakhova V., Golubeva E., Kraineva M.).

5. Международный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018", Новосибирск, 24–27 апреля 2018 г. – 14 докладов (Малахова В. В., Крылова А. И., Боровко И. В., Крупчатников В. Н., Платов Г. А., Голубева Е. Н., Крайнева М. В., Рапута В. Ф., Леженин А. А., Амикишиева Р. А.)

6. Всероссийская конференция "Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий", Сочи, 24–29 сентября 2018 г. – 2 доклада (Малахова В. В., Голубева Е. Н., Платов Г. А.).

7. Forum for Arctic modeling and observational synthesis "FAMOS–2018", Annual Meeting, Bergen (Norway), 23–26 October – 3 доклада (Platov G. A., Golubeva E. N., Kraineva M. V., Malakhova V. V., Iakshina D. F.).

8. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика" посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г. – 14 докладов, из них 1 пленарный (Платов Г. А., Голубева Е. Н., Крупчатников В. Н., Малахова В. В., Крайнева М. В., Крылова А. И., Боровко И. В., Крупчатников В. Н., Леженин А. А., Рапута В. Ф., Амикишиева Р. А., Якшина Д. Ф., Кравченко В. В.).

9. III Виноградовские чтения. Международная научно-практическая конференция "На грани гидрологии", посвященная памяти выдающегося русского гидролога Ю. Б. Виноградова, Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 г. – 1 доклад (Крылова А. И.).

10. 25-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 27–30 ноября 2018 г. – 10 докладов (Боровко И. В., Крупчатников В. Н., Крылова А. И., Леженин А. А., Рапута В. Ф., Амикишиева Р. А.).

11. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 1 доклад (Крупчатников В., Платов Г., Боровко И.).

12. "КИМО 2018", Санкт-Петербург, 21–25 мая – 1 доклад (Крайнева М. В., Голубева Е. Н.).

13. 21-я Всероссийская научная конференция с международным участием "Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии", Томск, 17–19 сентября 2018 г. – 2 доклада (Леженин А. А., Рапута В. Ф.).

14. 7-я Международная научно-практическая конференция "Информационные технологии, системы и приборы в АПК" (АГРОИНФО–2018), п. Краснообск (Новосибирская обл.), 24–25 октября 2018 г. – 3 доклада (Рапута В. Ф., Амикишиева Р. А.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Голубева Е. Н. – член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;

2. Платов Г. А.:

– член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– член рабочего оргкомитета Международного конгресса "Интерэкспо Гео-Сибирь – 2018", Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.;

3. Крупчатников В. Н. – член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;

4. Крайнева М. В. – член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;

5. Леженин А. А. – член рабочего оргкомитета Международного конгресса "Интерэкспо Гео-Сибирь – 2018", Новосибирск, 23–27 апреля 2018 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 – 31

Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 2

Докладов на конференциях – 62, в том числе пленарных 3

Участников оргкомитетов конференций – 6

Кадровый состав

1. Платов Г. А.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Рапута В. Ф.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Голубева Е. Н.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
4. Леженин А. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.

- | | | |
|----------------------|--------------|-----------|
| 5. Крылова А. И. | с.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 6. Малахова В. В. | с.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 7. Боровко И. В. | н.с. | к.ф.-м.н. |
| 8. Кравченко В. В. | м.н.с., | 0.6 ст. |
| 9. Якшина Д. Ф. | м.н.с. | |
| 10. Крайнева М. В. | м.н.с. | 0.25 ст. |
| 11. Яковенко Г. Т. | программист, | 0.55 ст. |
| 12. Амикишиева Р. А. | инженер, | 0.25 ст. |

Якшина Д. Ф., Крайнева М. В., Амикишиева Р. А. — молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

- Голубева Е. Н. – доцент ММФ НГУ, зам. завкафедрой
Крылова А. И. – ст. преподаватель ММФ НГУ
Платов Г. А. – доцент ММФ НГУ
Леженин А. А. – доцент филиала РАНХиГС
Боровко И. В. – доцент СГУПС

Руководство студентами

1. Амикишиева Р. А. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Рапута В. Ф.
2. Юртина Ю. Ю. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Рапута В. Ф.
3. Тарханова М.А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
4. Чубарцева О. С. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
5. Сон А. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Голубева Е. Н.
6. Коробов О. А. – 3-й курс аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Платов Г. А.
7. Карачакова А. Р. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Платов Г. А.
8. Антипова Е. А. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Крылова А. И.
9. Чмеленко О. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Крылова А. И.

Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде

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

Важнейшие достижения

Разработаны новые методы решения условно-корректных обратных задач продолжения и соответствующих им задач усвоения данных на базе вариационных принципов со слабыми ограничениями для математических моделей процессов и данных наблюдений с учетом неопределенностей. Для построения численных алгоритмов применяется концепция локальных сопряженных задач в сочетании с методами расщепления и декомпозиции операторов моделей и функционалов. Принципиальные положения разработаны для четырехмерных задач гидротермодинамики геофизических жидкостей (атмосфера, водные объекты) в системе Земля и, на их основе, задач охраны окружающей среды. Методы используются в задачах, где необходим учет сложной конфигурации областей и их границ, а также в тех случаях, когда отсутствуют данные об источниках или граничных условиях.

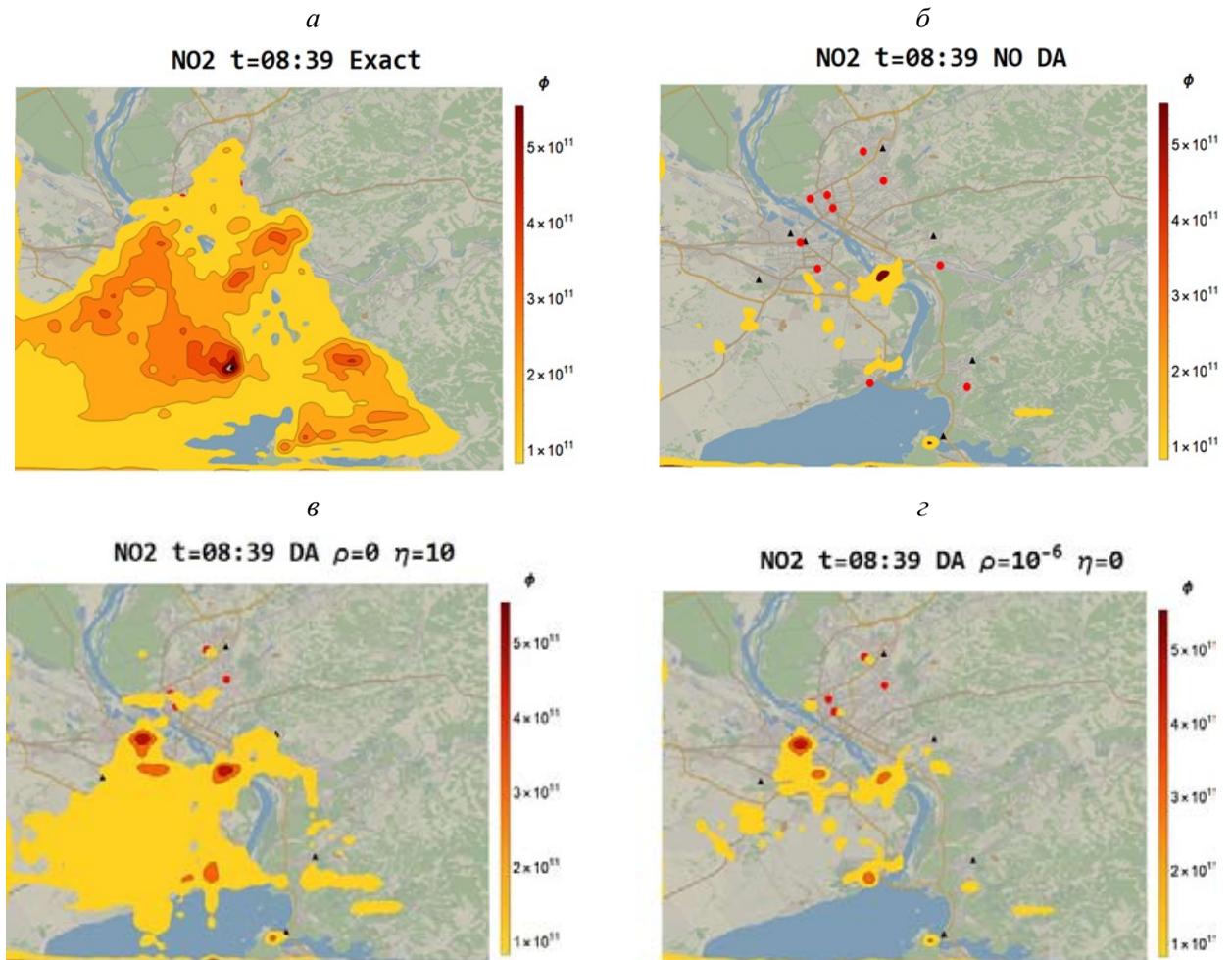


Рис. 1: Пример работы алгоритмов усвоения данных мониторинга загрязнения атмосферы с учетом переноса и трансформации примесей:

a – "точное" решение; *б* – решение без усвоения;

в, *z* – решения с усвоением для различных параметров регуляризации

Отчет по этапам работ, завершённым в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.3.1.2 "Исследование процессов в атмосфере, гидросфере и окружающей среде методами математического моделирования".

Номер государственной регистрации НИР 01201370227.

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

Раздел 1 "Развитие моделей и методов для оценок экологической перспективы".

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Достигнутые в 2018 г. результаты:

1. Построены алгоритмы, использующие вариационную методику количественных оценок неопределенностей в моделях процессов для усвоения данных, в том числе спутниковых, поиска источников, решения обратных задач для оценки качества атмосферы, задач продолжения и т. д. Проблема усвоения изображений рассматривается как решение последовательности связанных между собой обратных задач поиска источников. Разработаны оптимизационные алгоритмы решения обратных задач и задач усвоения спутниковых данных. В отличие от стандартного метода 4DVar со слабыми ограничениями здесь использована схема усвоения данных за счет функций неопределенностей в моделях процессов. В стандартном методе 4DVar управление добавляется в модель в форме дополнения к "пропагатору", что требует дополнительного учета связей между различными элементами функций управления. В предложенных нами алгоритмах элементы функции неопределенности остаются независимыми друг от друга по определению, поскольку они включены в модель как дополнительные источники возмущений и нет необходимости накладывать дополнительные ограничения на искомую функцию управления (рис. 1).

2. Разработаны прямые алгоритмы усвоения данных для моделей переноса атмосферных примесей с учетом различной априорной информации о гладкости функций неопределенности математических моделей. Учет пространственной производной в функции неопределенностей повышает гладкость получаемого решения, что улучшает качество восстановления функции состояния для рутинных загрязнителей (рис. 1, в, г). При этом алгоритм остается прямым (без итераций).

3. Численно исследованы процессы трансформации вертикальных вихревых потоков в устойчиво стратифицированном пограничном слое. С помощью мезомасштабной RANS-модели турбулентности исследованы особенности, возникающие при описании турбулентного вихревого перемешивания в атмосферном пограничном слое (АПС). В частности, при переходе течения в сильно устойчивое состояние потоковое число Ричардсона Ri_f может изменяться немонотонно, возрастая с увеличением градиентного числа Ричардсона Ri_g до достижения состояния насыщения $Ri_g \approx 1$, а затем убывая. Поведение вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла согласуется с представлением о поддержании переноса импульса (но не тепла) распространяющимися внутренними волнами в сильно устойчивом состоянии пограничного слоя. Модель включает эффект внутренних гравитационных волн в вихревом переносе импульса и тепла. С ее помощью проведены исследования структурных особенностей устойчиво стратифицированного (ночного) атмосферного пограничного слоя над охлаждаемой поверхностью, в том числе с локализованной крупномасштабной аэродинамической шероховатостью (рис. 2, а, б).

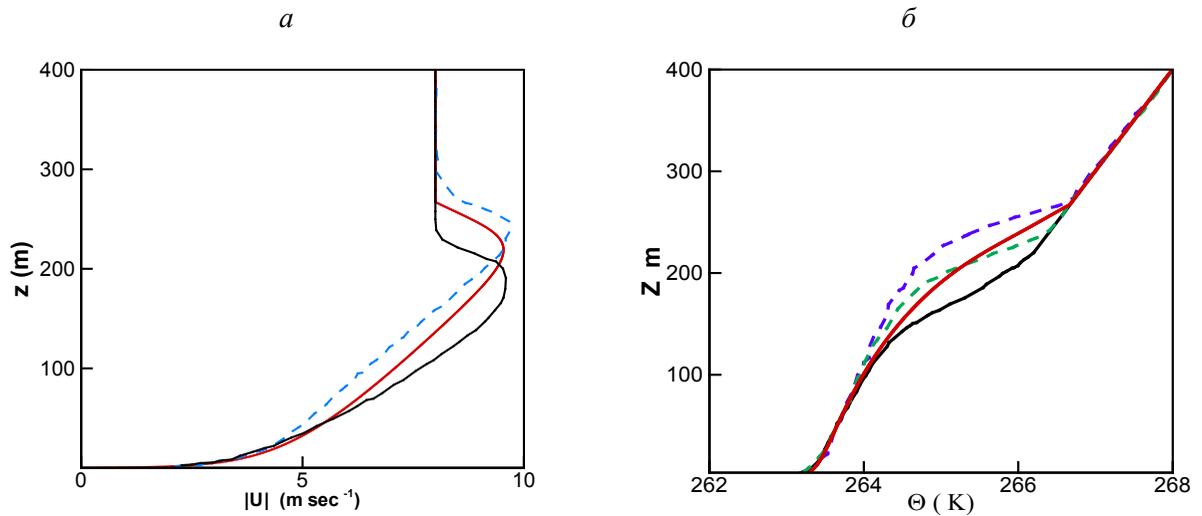


Рис. 2: Профили скорости ветра (а); потенциальной температуры для случая GABLS1 (б) (красная линия – разработанная модель; голубая – модель METEO – France ARPEGE [2]; черная и зеленая линии – LES данные [2])

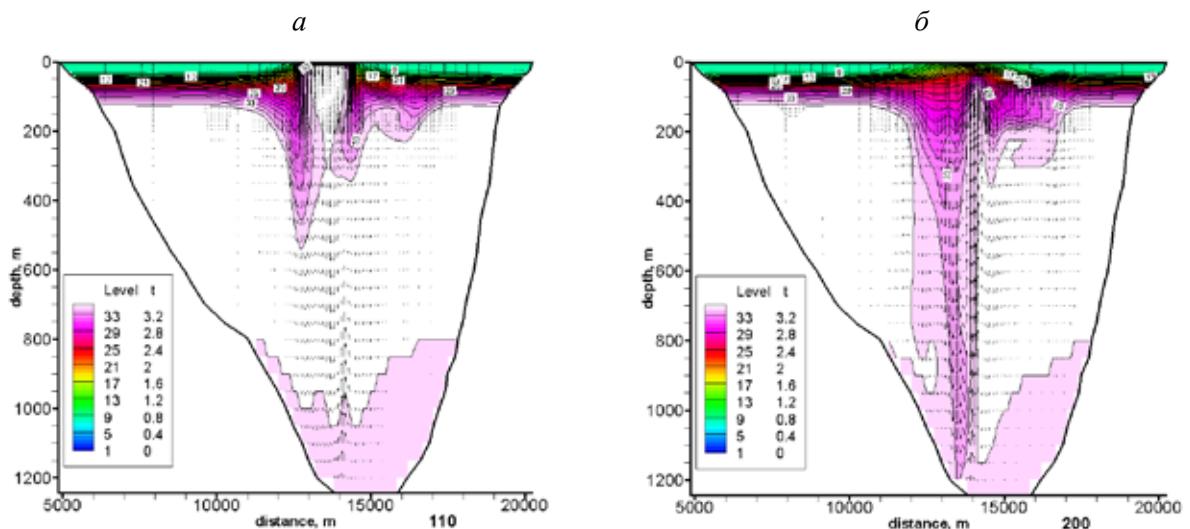


Рис. 3: Вертикальное сечение по центру источника в поперечном разрезе через озеро в Южном Байкале: изолинии вектора температуры и скорости течений через 11 ч после начала моделируемого процесса (а); через 20 ч (б)

Разработана версия модели двухфазной жидко-твёрдой системы применительно к условиям оз. Байкал, включающая параметризацию межфазного динамического обмена.

Для решения систем уравнений типа конвекции – диффузии – реакции применяются численные алгоритмы, основанные на методе расщепления и использовании дискретно-аналитических аппроксимаций с сопряженными интегрирующими множителями. Проанализированы результаты численных экспериментов по моделированию всплывания твердых частиц из площадного источника на дне озера. На рис. 3 приведен пример возникновения глубокой конвекции в результате всплывания твердых частиц в типичных зимних условиях стратифицированной водной толщи глубокого озера.

С помощью негидростатической гиперболической модели динамики атмосферы, основанной на конечно-элементной аппроксимации, исследовано влияние орографических эффектов на скорость распространения гравитационного течения (атмосферного холодного

фронта) над плоской орографией и крутым препятствием. Также моделировалось распространение гравитационного течения на границе раздела вода – суша и проводилось сравнение с данными измерения скорости потока на шести уровнях в распределенных по высоте датчиках на трех высотных 12-метровых мачтах. Особенностью является резкое изменение шероховатости при переходе границы раздела.

4. Созданы новые версии реализации программных систем эксплуатируемых в лаборатории моделей, соответствующие разработанным методам и алгоритмам. В разрабатываемой мезомасштабной модели гидротермодинамики атмосферы настроены процедуры согласования расчетов для вложенных территорий, а именно переход с территории большего размера к подобласти меньшего размера, отлажены алгоритмы интерполяции данных для проведения расчетов на вложенных сетках с кратными шагами.

Модификации модели успешно использованы при проведении численных исследований формирования мезоклиматов над некоторыми территориями Сибири, а также при изучении процессов переноса пассивных примесей над территориями со сложным рельефом. Расчеты проведены с использованием мощностей ССКЦ ИВМиМГ СО РАН.

Результаты работ по проекту РНФ

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.

В проекте разрабатываются алгоритмы решения обратных задач идентификации источников для нелинейных 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. В этих постановках в систему моделирования поступает большое количество элементов информации, ценность каждого из которых для решения поставленных задач неизвестна. На данном этапе выполнения проекта в качестве поступающей информации рассмотрены временные ряды и пространственные профили распределений значений некоторых компонент функции состояния модели для "0-мерных" моделей химической трансформации примесей и 1-мерных моделей адвекции – диффузии – реакции соответственно.

Вследствие высокой общности и простоты реализации для численного решения таких обратных задач часто используются вариационные алгоритмы, осуществляющие минимизацию целевого функционала, содержащего невязку между измеренными и смоделированными значениями, а также некоторый стабилизатор. Градиент целевого функционала обычно вычисляется с помощью последовательного решения одной прямой и одной сопряженной задачи, которые эквивалентны по вычислительным затратам. Наличие градиента позволяет использовать итеративные градиентные алгоритмы, осуществляющие последовательную схему вычислений. С другой стороны, параллельные схемы вычислений представляются более перспективными в свете современного развития вычислительных систем по

сравнению со схемами последовательных вычислений. Поэтому в проекте к выбранным задачам применяется альтернативная идея построения алгоритмов решения обратных задач, предложенная Г. И. Марчуком в 1964 г. Она состоит в сведении обратной задачи к системе уравнений с матрицей, определяемой набором сопряженных функций, соответствующих конечному числу различных линейных функционалов от функции состояния. Сопряженные задачи позволяют связать вариацию значения линейных функционалов от функции состояния с вариацией параметров модели. Для работы с изображениями высокого разрешения, в которых значение каждого пикселя является результатом измерения, для непосредственного применения подобных методов может быть недостаточно вычислительных мощностей, да и неизвестная заранее ценность каждого элемента изображения говорит в пользу того, что вычислительные ресурсы необходимо расходовать более целенаправленно. Поэтому в проекте использована идея рассмотрения некоторых "ключевых особенностей" изображения вместо самого исходного изображения. В данном проекте 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 построены операторы чувствительности, позволяющие преобразовать обратную задачу, сформулированную в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, в семейство нелинейных интегральных уравнений, зависящих от выбора функций предварительного проектирования данных измерений. Такая формулировка обратной задачи открывает доступ к широкому кругу известных методов решения нелинейных интегральных уравнений. Кроме того, представление обратной задачи в виде операторного уравнения позволяет использовать методы анализа операторов, например спектральные. В частности, в результате такого анализа в ходе выполнения проекта было установлено, что для решения задач химии атмосферы дополнительное "взвешивание" компонентов данных измерений, соответствующих различным химическим веществам, позволяет улучшить результат восстановления источника примесей.

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. За счет использования правых обратных матриц удалось ослабить ограничения на число искомых переменных, что увеличило практическую ценность алгоритма. Таким образом, хотя разработанный алгоритм остается итерационным, значительная часть вычислений в нем проводится параллельно, что позволяет получить выигрыш по времени счета. Проведено численное сравнение разработанного алгоритма с вариационным (градиентным). В экспериментах было получено, что разработанный алгоритм превосходит градиентный по точности и скорости расчетов при использовании достаточного количества функций проектирования.

Основной сложностью при решении обратных и некорректных задач является работа с зашумленными данными, так как в силу некорректности малые возмущения во входных данных 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 разрабатываемый алгоритм может работать с зашумленными данными при наличии оценки нормы проекции шума на базис проектирования и по мере уменьшения шума точность восстановления увеличивается. Этот естественный результат для корректных задач является нетривиальным для некорректных. При объединении обратных задач в связанную последовательность, в соответствии с поступающими в определенные моменты времени данными наблюдений, на основе алгоритма решения обратной задачи построен алгоритм усвоения данных.

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.

В настоящем проекте развивается концепция природоохранного прогнозирования и проектирования, разрабатываемая в ИВМиМГ СО РАН, с ориентацией на решение проблем, возникающих в городских агломерациях. Разработаны смешанные (прямые и итерационные) вариационные алгоритмы усвоения данных атмосферной химии с различной гладкостью функций неопределенности в моделях процессов. Разработаны корректные алгоритмы с применением сопряженных уравнений и метода продолжения для решения условно-корректных и обратных задач переноса тепла, влаги и других субстанций в почве для различных категорий землепользования. Предложен вариационный метод построения устойчивых безусловно монотонных схем, использующих концепцию сопряженных интегрирующих множителей для реализации операторов динамики аэрозольных популяций в атмосфере, при аппроксимации операторов коагуляции/дробления и операторов конденсации/испарения, нуклеации и конверсии типа газ – частица. Эти схемы имеют самостоятельное применение и входят в состав уравнений конвекции – диффузии – реакции в моделях химии атмосферы.

В Сибирском суперкомпьютерном центре СО РАН выполнены сценарные расчеты по моделированию формирования и развития мезоклиматов и распространению примесей в регионе Красноярска.

Проект РФФИ 17-41-543309 "Применение методов усвоения данных мониторинга и решения обратных задач для моделирования изменений химического состава атмосферного воздуха в Новосибирской городской агломерации".

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

Разработаны адаптированные к условиям города Новосибирска модификации алгоритмов идентификации источников загрязнения атмосферы и алгоритмов усвоения данных городской системы мониторинга. Учитывались процессы переноса и трансформации примесей, расположения и особенности функционирования основных источников загрязнения и постов наблюдений. Для построения правдоподобных метеорологических сценариев и задания необходимых для решения задач обратного моделирования параметров моделей переноса и трансформации атмосферных примесей, использовались результаты расчетов метеорологических ситуаций по модели WRF-Chem, адаптированной к условиям Новосибирска. Для решения задач усвоения данных применялись вариационные алгоритмы для моделей транспорта и трансформации атмосферных примесей с квазинезависимым усвоением данных на отдельных стадиях схемы расщепления при регулируемой гладкости искомым

функций неопределенности. Функции неопределенности играют роль вспомогательных искомых переменных в алгоритмах усвоения данных. Для оценки областей, наблюдаемых городской сетью мониторинга, вычислен и изучен методами сингулярного разложения оператор чувствительности модели переноса и трансформации атмосферных примесей, соотносящий вариации мощностей источников с результатами измерений. Алгоритмы на основе операторов чувствительности использованы для решения задачи идентификации источников загрязнений. Проведена серия численных экспериментов с синтетическими и реальными данными.

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); исполнители: Пененко В. В., Пьянова Э. А.

Созданы специальные версии мезорегиональных моделей, адаптированные к климатическим и орографическим условиям Байкальского региона. Возможно выполнение расчетов на трех вложенных сетках с шагами по горизонтали 10, 5 и 1 км. Влияние пожаров на динамику атмосферных процессов параметризовалось заданием дополнительных источников тепла на нижней расчетной границе. Для сетки с разрешением 1 км по горизонтали предложен вариант параметризации распространения пожара, который предполагает расчет увеличивающейся площади пожаров с учетом скорости и направления приземного ветра. С использованием ресурсов ССКЦ ИВМиМГ СО РАН выполнены расчеты сценариев моделирования по распространению дымовых трассеров с заданием краевых условий из крупномасштабных расчетов по модели WRF на конкретных временных интервалах. Анализ ситуации в целом показывает, что определяющими факторами, влияющими на трансформацию воздушного потока вблизи поверхности, являются орографические и температурные неоднородности подстилающей поверхности.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Penenko A. V. Consistent numerical schemes for solving nonlinear inverse source problems with gradient-type algorithms and Newton – Kantorovich methods // Num. Analysis and Appl. 2018. Vol. 11, iss. 1. P. 73–88. DOI: 10.1134/S199542391801008.
2. Antokhin P. N., Gochakov A. V., Kolker A. B., Penenko A. V. Comparison of WRF-CHEM chemical transport model calculations with aircraft measurements in Norilsk // Atmosph. and Oceanic Optics. 2018. Vol. 31, iss. 4. P. 372–380. DOI: 10.1134/S1024856018040024.
3. Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Study of the neutral Ekman flow using an algebraic Reynolds stress model // Izv. Atmosph. And Oceanic Phys. Vol. 54, iss. 4. P. 336–343. DOI: 10.1134/S0001433818040266.
4. Granin N. G., Mizandrontsev I. B., Kozlov V.V., Tsvetova E.A., Gnatovskii R. Yu, Blinov V. V., Aslamov I. A., Kucher, K. M., Ivanov, V. G., Zhdanov A. A. Natural ring structures on the Baikal ice cover: analysis of experimental data and mathematical modeling // Rus. Geol. And Geophys. 2018. V. 59, N 11. P. 1514–1525. DOI:10.1016/j.rgg.2018.10.011.
5. Penenko V. V. Advanced methods for the study of regional climate-ecological systems under natural and manmade impacts // Proc. SPIE 10833, 24th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 108336W, December 13, 2018. DOI:10.1117/12.2504492.

6. Pyanova E. A., Penenko V. V., Gochakov A. V., Faleychik L. M. Simulation of smoke tracers transport in the Baikal region // Proc. SPIE 10833, 24th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 108336W, December 13, 2018. DOI:10.1117/12.2504607.
7. Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Eddy transport in the stably stratified planetary boundary layers and in the free atmosphere: Upper troposphere and lower stratosphere // Proc. SPIE – The International Society for Optical Engineering, 10833,108337F 10.1117/12.2503950.
8. Tsvetova E. A. Simulation of dynamic interphase exchange in a two-phase liquid-solid system // Proc. SPIE 10833, 24th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics, 108336W, December 13, 2018. DOI: 10.1117/12.2504635.
9. Penenko A. V., Gochakov A. V., Mukatova Z. S., Antokhin P. N. Numerical evaluation of the chemical data assimilation system in an urban scenario // Proc. of SPIE – The International Society for Optical Engineering, 10833,108338V, 2018.
10. Penenko A. V., Mukatova Z. S. A numerical evaluation of the source identification algorithm for atmospheric chemistry model with the concentrations time series data // Ibid. 108338R, 2018.
11. Yudin M. S. Front speed simulation with a hyperbolic model of atmospheric dynamics // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science 211(1), 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012020.
12. Tsvetova E. A. Simulation of interphase dynamic exchange in a heterogeneous natural system // Ibid. 012024. DOI:10.1088/1755-1315/211/1/012024.
13. Penenko V. V. Variational methods for targeted monitoring of atmospheric quality by specified cost criteria // Ibid. 012048. DOI:10.1088/1755-1315/211/1/012048.
14. Penenko A. V. Algorithms for the inverse modelling of transport and transformation of atmospheric pollutants // Ibid. 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012052.
15. Gochakov A. V., Penenko A. V., Antokhin P. N., Kolker A. B. Air pollution modelling in urban environment based on a priori and reconstructed data // Ibid. 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012050.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

- 1 Penenko V. V. Interaction of models and data in the study of processes in environment and ecology // AIP Conf. Proc. 2027, 030085 (2018). <https://doi.org/10.1063/1.5065179>.
- 2 Pyanova E. A., Penenko V. V., Faleychik L. M. Numerical modeling of atmospheric dynamics and pollutant transport over the regions with inhomogeneous orography // Ibid. 030101 (2018). <https://doi.org/10.1063/1.5065195>.
- 3 Penenko A. V., Mukatova Z. S., Blem A. A. Numerical solution of the inverse source problems for the advection-diffusion-reaction models with image-type measurement data // Ibid. 030106. <https://doi.org/10.1063/1.5065200>.
- 4 Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Urban aeromechanics: Turbulent circulation and contaminant dispersion above city in stably stratified environment // Ibid. 030024. DOI: 10.1063/1.5065118.
- 5 Tsvetova E. A. Methane in lake Baikal: Numerical simulation // Ibid. 030084. DOI: 10.1063/1.5065178.
- 6 Penenko A., Penenko V., Tsvetova E., Grishina A., Antokhin P. (2018) Sequential variational data assimilation algorithms at the splitting stages of a numerical atmospheric chemistry model // Lecture Notes in Computer Science. Large-Scale Scientific Computing. 2017. V. 10665. P. 536–543. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73441-5_59.
- 7 Penenko A., Mukatova Z. Inverse modeling of diffusion-reaction processes with image-type measurement data // Proc. of the 11th Intern. conf. "Bioinformatics of Genome Regulation and

Structure\Systems Biology" (BGRS\SB 2018), Novosibirsk. P. 39–43. [8544885]. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSGB.2018.8544885>.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Антохин П.Н., Пененко А.В., Антохина О.Ю. Алгоритм восстановления вертикального распределения мощностей источников и стоков субстанции в пограничном слое атмосферы // *Оптика атмосферы и океана*. 2018. Т. 31. № 1. С. 49–56.
2. Пененко А.В., Мукатова Ж.С., Пененко В.В., Гочаков А.В., Антохин П.Н. Численное исследование прямого вариационного алгоритма усвоения данных в городских условиях // *Там же*. № 6. С. 456–462. 10.15372/AOO20180606.
3. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. Расчет нейтрального турбулентного течения экмана с модифицированным транспортным членом уравнения спектрального потока энергии // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2018. Т. 4. № 2. С. 59–65.
4. Пьянова Э. А., Пененко В. В., Фалейчик Л. М. Рассеивание примесей от высотных источников в устойчиво стратифицированной атмосфере // *Там же*. С. 219–225. DOI: 10.18411/2618-981X-2018-04-219-225.
5. Пененко А. В. Итеративная регуляризация при решении обратных задач химии атмосферы с данными типа временных рядов концентраций // *Там же*. С. 226–233.
6. Пененко А. В., Гочаков А. В., Мукатова Ж. С., Антохин П. Н. Численное исследование алгоритма вариационного усвоения данных мониторинга химического состава атмосферы в условиях города Новосибирска // *Там же*. С. 234–242.
7. Пененко В. В. Алгоритмы обратных задач продолжения в приложениях к проблемам окружающей среды // *Там же*. С. 243–248.
8. Цветова Е. А. О межфазном динамическом обмене в гетерогенной природной системе // *Там же*. С. 256–260.
9. Пененко В. В. Мезорегиональное природоохранное прогнозирование // *Экология. Экономика. Информатика*. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2018. Т. 1. № 3 (3). С. 76–79. DOI: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-76-79.
10. Цветова Е. А. Метан в Байкале: математическое моделирование // *Там же*. С. 99–103.
11. Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. Urban aeromechanics: turbulent circulation and contaminant dispersion above city in stable stratified environment // *Abst. of the 19-th. Intern. conf. on the methods of aerophysical research "ICMAR 2018"*. Novosibirsk. 2018. P. 155–157.

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 6th International Symposium on Data Assimilation, Munich (Germany), March 5–9, 2018 – 1 доклад (Пененко А. В., Мукатова Ж.).
2. European Geosciences Union General Assembly, Vienna (Austria), April 8–13, 2018 – 3 доклада (Пененко А. В.).
3. 14-й Международный научный конгресс "Интерэкспо Гео-Сибирь" и Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 22–28 апреля 2018 г. – 6 докладов (Пененко В. В., Пененко А. В., Курбацкая Л. И., Пьянова Э. А., Цветова Е. А., Юдин М. С.).
4. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, 15 мая 2018 г. – 1 доклад, пленарный (Пененко А. В.).
5. 7th Conference on finite difference methods: Theory and applications (FDM: T&A'2018), Lozenetz (Bulgaria), June 11–16, 2018 – 1 доклад (Пененко А. В.).

6. 24-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 2–5 июля 2018 г. – 6 докладов, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Пененко В. В., Курбацкая Л. И.).
7. The 3rd Conference on numerical analysis and scientific computation with applications "NASCA 2018", Kalamata (Greece), July 2–6, 2018 – 1 доклад (Пененко А. В., Мукатова Ж.).
8. "ENVIROMIS-2018", Томск, 5–11 июля 2018 г. – 5 докладов, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А., Юдин М. С.).
9. 19-я Международная конференция по методам аэрофизических исследований "ICMAR 2018", Новосибирск, 13–19 августа 2018 г. – 4 доклада (Пененко В. В., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Цветова Е. А.).
10. The 11th International multiconference "Bioinformatics of Genome Regulation and Structure\ Systems Biology", Novosibirsk, August 20–25, 2018 – 1 доклад (Пененко А. В.).
11. 9-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики" с международным участием, посвящ. памяти акад. А. Ф. Сидорова, 3–8 сентября 2018 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Пененко В. В., Цветова Е. А., Курбацкая Л. И.).
12. 22-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирования численных алгоритмов решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко, Абрау-Дюрсо, 2–8 сентября 2018 г. – 2 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А.).
13. Всероссийская конференция "Экология, экономика, информатика. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем", Дюрсо, 10–14 сентября 2018 г. – 2 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А.).
14. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 6 докладов, из них 2 пленарных (Пененко В. В., Пененко А. В., Курбацкая Л. И., Пьянова Э. А., Цветова Е. А., Юдин М. С.).
15. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Пененко А. В.).
16. 19-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, 29 октября – 2 ноября 2018 г. – 1 доклад (Пененко А. В., Мукатова Ж.).
17. 25-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 27–30 ноября 2018 г. – 5 докладов, из них 1 пленарный (Пененко В. В., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Цветова Е. А., Юдин М. С.).
18. 3-й Международный форум "Городские технологии", Новосибирск, 5–6 апреля 2018 г. – 1 доклад (Пененко А. В.).
19. "Технопром – 2018" – 1 доклад (Пененко В. В.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Пененко В. В.:
 - член программного комитета конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 15 мая 2018 г.,
 - член программного комитета международной конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "Enviromis 2018", Томск, 5–11 июля 2018 г.
 - член программного комитета международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– член программного комитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.;

2. Пененко А. В.:

– член программного и оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.;

3. Пьянова Э. А.:

– член оргкомитета международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– член оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.;

4. Юдин М. С. – член оргкомитета международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.

Международные научные связи

1. В рамках некоммерческого партнерства лаборатория ММГППС участвует в междисциплинарном проекте Pan Eurasium Experiment (PEEX, Пан-Евразийский Эксперимент) институтов Европы, России, Китая.

2. В соответствии с договором о сотрудничестве с Восточно-Казахстанским техническим университетом им. Д. Серикбаева, продолжались работы по созданию информационно-аналитической системы "Эко-мониторинг" в г. Усть-Каменогорске.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 15

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 22

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 33

Доклады на конференциях 53, из них 8 пленарных и приглашенных

Участников оргкомитетов конференций – 9

Кадровый состав

1. Пененко В. В. зав. лаб. д.ф.-м.н.

2. Цветова Е. А. в.н.с. к.ф.-м.н.

3. Юдин М. С. с.н.с.

4. Курбацкая Л. И. с.н.с.

5. Пененко А. В. с.н.с. к.ф.-м.н.

6. Пьянова Э. А. н.с. к.ф.-м.н.

7. Иванова Г. И. техник (0,75)

Пененко А. В. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

Пененко В. В. – профессор НГУ

Пененко А. В. – почасовик НГУ

Защита дипломов

Гришина А. А. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.

Цзянпэн Чжен – 2-й курс магистратуры НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.

Фань Ли, НГУ – 2-й курс магистратуры НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.

Блем А. А. – 4-й курс НГУ, руководитель Пененко А. В.

Мукатова Ж. С. – 4-й курс НГУ, руководитель Пененко А. В.

Студенты

Салимова А. – 4-й курс НГУ, руководитель Пененко А. В.

Аршинова А. М. – 4-й курс НГУ, руководитель Пененко А. В.

Лаборатория численного анализа и машинной графики

Зав. лабораторией д.т.н. Дебелов В. А.

Важнейшие достижения

Алгоритм расчета ортоскопических и коноскопических интерференционных картин для одноосных кристаллов.

Разработан алгоритм расчета ортоскопических и коноскопических интерференционных картин для немагнитных прозрачных оптически одноосных кристаллов. Впервые выполнен расчет реалистических цветных интерференционных картин (на примере кальцита и кварца). Упомянутые картины являются важным инструментом в работе петрографов, кристаллооптиков, ювелиров и др. при определении типа и качества исследуемого образца минерала.

Результат расширяет возможности систем виртуальной реальности при физически корректном моделировании природных оптических явлений. Расчетный алгоритм базируется на прямом физически корректном моделировании взаимодействия лучей света с анизотропными средами. Применяется трассировка лучей света, характеризующихся состоянием поляризации, фазой и индикатором когерентности. Аналогичные результаты, судя по публикациям, отсутствуют. При отладке алгоритма проводилось качественное сравнение с фотографией реальной картины (рис. 1).

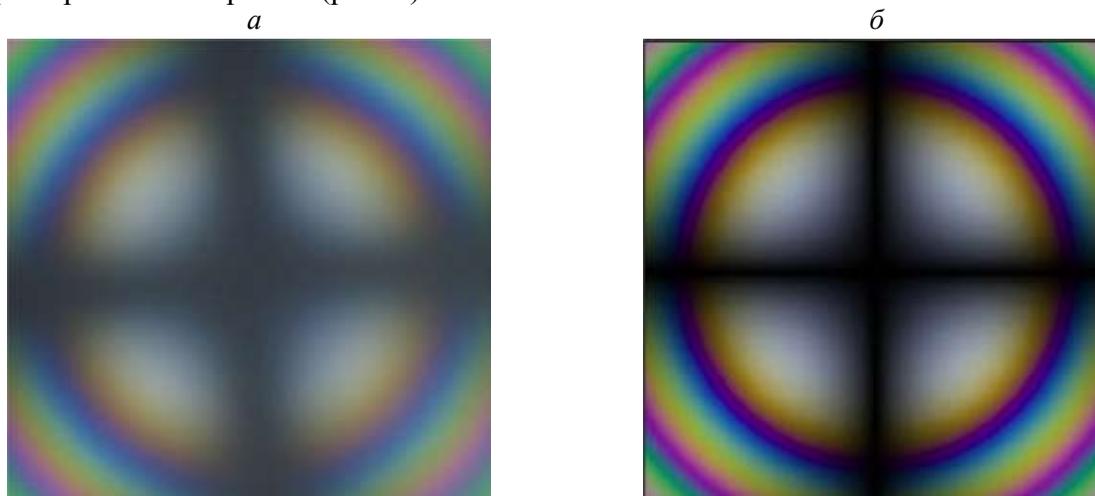


Рис. 1: Коноскопическая картина плоскопараллельного бруска кальцита (толщина 20 мм) между скрещенными поляризаторами:
a – фотография картины в полярископе; *б* – рассчитанное изображение

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

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Васильева Л. Ф., Дебелов В. А., Шелепаев Р. А. О разработке виртуального полярископа // Труды Международной научной конференции SCVRT2018, ЦарьГрад, Московская обл., 20–23 нояб. 2018 г. С. 325–332.

2. Васильева Л. Ф., Дебелов В. А., Шелепаев Р. А. Компьютерная модель поляризационного микроскопа для наблюдения фотореалистических интерференционных картин // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г. С. 82–93.

Модель нагрева и остывания пластины дивертора с учетом испарения под воздействием высокоскоростного пучка электронов.

Расширена математическая модель нагрева и остывания пластины дивертора из тугоплавкого металла вольфрама под воздействием высокоскоростного пучка электронов с учетом процессов плавления и испарения. Модель основана на решении двухфазной задачи Стефана. Положение и скорость движения границы раздела фаз зависит от разрывных нелинейных коэффициентов. Плотность, теплопроводность и удельная теплоемкость учтены как зависимости от температуры материала в диапазоне $300 \text{ K} < T < 8000 \text{ K}$. Эти функции имеют разрывы или теряют гладкость при температуре плавления 3695 K . Условие на границе свободный расплав – твердое тело состоит в непрерывности температуры и разрывности теплового потока за счет поглощения или выделения известного количества тепла. На решение задачи большое влияние оказывают разрывные по пространству и времени нелинейные граничные условия, описывающие нагрев и испарение материала. При проведении экспериментов на установке ВЕТА ИЯФ СО РАН вольфрамовые образцы подвергались воздействию осесимметричного электронного пучка с энергией $80\text{--}90 \text{ кВт}$. Распределение плотности теплового потока по поверхности измерялось с помощью рентгеновской визуализации. Для реализации схемы непрерывного счета условие на свободной границе включено в решаемое уравнение теплопроводности. Расчеты проводились с интервалом сглаживания 5 K . Процесс испарения на границе учитывался в расчете результирующего потока энергии через мощность теплового потока, потерю мощности, температуру на границе, давление насыщенного пара и скорость испарения (рис. 2). Сравнение экспериментально полученных радиусов расплавленной области в различные моменты времени с расчетными данными показывают сильное влияние учета процесса испарения.

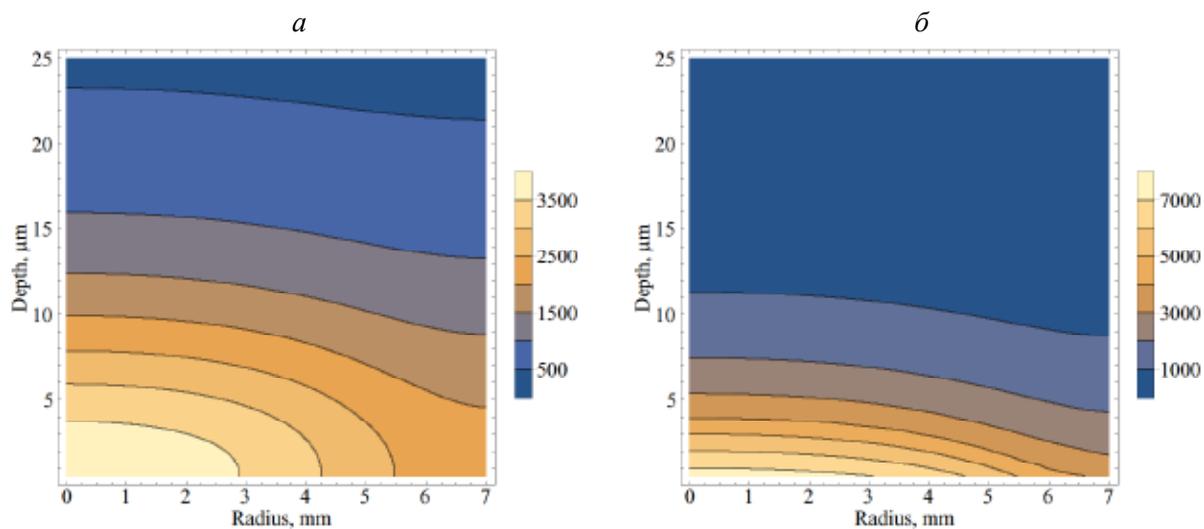


Рис. 2: Изотермы в сечении образца, рассчитанные с учетом процесса испарения при $80 \mu\text{s}$ (а) и $160 \mu\text{s}$ (б)

Член-корр. РАН, д.ф.-м.н. Лазарева Г. Г., м.н.с. Максимова А. Г.

Результаты исследований опубликованы в работе

Arakcheev A. S., Apushkinskaya D. E., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Lazareva G. G., Maksimova A. G., Popov V. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Two-dimensional numerical simulation of tungsten melting in exposure to pulsed electron beam // Fusion Engin. and Design. Jul. 2018. V. 132. P. 13–17.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР "Сеточные методы для высокопроизводительных ЭВМ и их применение в задачах естествознания, в том числе при построении многомерных вычислительных моделей для задач динамической теории упругости и тепломассопереноса в сильно неоднородных средах".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0001.

Руководитель – д.т.н. Дебелов В. А.

Разработана математическая модель нагрева и остывания пластины дивертора из тугоплавкого металла вольфрама под воздействием высокоскоростного пучка электронов с учётом процессов плавления и испарения. Модель нагрева пластины основана на решении двухфазной задачи Стефана. Положение и скорость движения фазовой границы зависят от разрывных нелинейных коэффициентов. Разработаны оптимальная явно разрешимая дискретная модель и прототип программы. Проведены численные эксперименты для серии выстрелов. Расчет распространения теплового потока вглубь материала необходим для предсказания положения микротрещин по экспериментальным данным о температуре поверхности пластины. Результаты расчетов коррелируют с экспериментальными данными, полученными на экспериментальном стенде ВЕТА в ИЯФ СО РАН.

Построен новый дискретный аналог сопряженно-операторной модели задачи теории упругости на неравномерных нестыкующихся сетках. Дискретный аналог сохраняет сопряженно-операторную структуру исходной модели и записывается в терминах приближенных величин для исходных параметров модели: вектор перемещений, тензор деформаций и тензор напряжений. Вычислительный эксперимент показал, что разностная схема сходится со вторым порядком точности, в том числе для случая кусочно-постоянных параметров Ламе. Дискретизация производится на регулярной прямоугольной сетке. Для областей, составленных из прямоугольников предложенная схема существенно проще в реализации.

Разработаны параллельные структуры данных для хранения объединений подсеток, создаваемых с целью балансировки загрузки процессоров. Предложены способы и реализован алгоритм распараллеливания сеток на интерфейсе, предполагающие хранение минимального объема информации, необходимой для работы текущего процессора. Реализован алгоритм формирования шаблонов приграничных узлов подсеток, для которых необходимо проводить специальную аппроксимацию, учитывающую криволинейность границы и неравномерность сеточных шаблонов.

На основе упомянутых структур данных разработан и реализован параллельный алгоритм решения трехмерной краевой задачи со сложной геометрией (рис. 3).

Расчетная область G с криволинейной границей Γ , изображенная на рис. 3, заключена между двумя соосными цилиндрами диаметрами d , D ($D > d$). Вокруг G описан

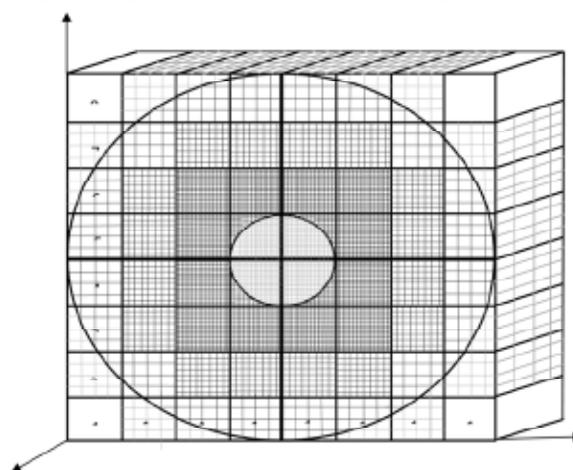


Рис. 3: Расчетная область с криволинейной границей и описанном вокруг нее параллелепипедом. Подсетки в подобластях построены так, что они сгущаются к центру. Это отвечает требованиям точности решения задачи

параллелепипед с построенной в нем макросеткой. Таким образом, проводится декомпозиция расчетной области G на подобласти $G_{I,J,K}$. Различаются следующие типы подобластей:

- внешние при $G_{I,J,K} \cap G = \emptyset$,
- граничные при $G_{I,J,K} \cap G \neq \emptyset$ и $G_{I,J,K} \cap \Gamma \neq \emptyset$,
- внутренние при $G_{I,J,K} \in G$.

Основной принцип параллельных технологий и структур данных состоит в сохранении, по возможности, структурированных массивов информации. Он основан на компромиссном решении между объемом данных и удобством доступа к ним.

Основным инструментом распараллеливания решения задачи является метод декомпозиции расчетной области на подобласти, сопрягаемые без наложения. Декомпозиция проводится равномерной параллелепипедальной макросеткой. В каждой подобласти и на границе сопряжения (интерфейсе) строятся отдельные структурированные параллелепипедальные подсетки. Во внешних подобластях подсетки не строятся, они вводятся лишь для поддержки структурированности массивов, описывающих макросетку. Каждая подсетка $\Omega_{I,J,K}$ содержит узлы (i, j, k) разных типов. Узел (i', j', k') называется соседним к узлу (i, j, k) , если $|i' - i| + |j' - j| + |k' - k| = 1$. Имеются следующие типы узлов:

- внешний, если (i, j, k) не принадлежит G ,
- граничный при $(i, j, k) \in \Gamma$,
- приграничный, если $(i, j, k) \in G$, а соседний (i', j', k') является граничным или внешним,
- внутренний, если $(i, j, k) \in G$, а соседний (i', j', k') является внутренним или приграничным.

Система сеточных уравнений строится и решается во внутренних, приграничных и граничных узлах. Совокупность таких узлов образует множество расчетных узлов. Допускаются несогласованные подсетки. Плотность узлов в подсетках регулируется исходя из физических соображений. Объединение этих подсеток образует квазиструктурированную сетку, на которой решается поставленная задача. Такой прием позволяет работать с подсетками как со структурированными массивами в отдельных подпрограммах, что обеспечивает хорошую распараллеливаемость алгоритма решения задачи.

Основные алгоритмы параллельного решения задачи:

1. С целью балансировки загрузки процессоров разработан и реализован параллельный алгоритм распределения подобластей по компьютерам таким образом, чтобы количество счетных точек в каждом из них было приблизительно одинаковым.

2. Интерфейсы границ сопряжения хранятся в отдельных структурированных массивах. Предложены способы и реализован параллельный алгоритм распараллеливания сеток на интерфейсе, предполагающие хранение минимального объема информации, необходимого для работы текущего процессора.

3. Разработан и реализован параллельный алгоритм сопряжения границ подобластей на интерфейсе с несогласованными подсетками в этих подобластях.

4. Разработан и реализован параллельный алгоритм определения типов подобластей: внешние (все узлы вне G), внутренние (все узлы принадлежат G), граничные (часть узлов принадлежат G , часть – нет).

5. Разработан и реализован параллельный алгоритм определения типа узла в подобластях (внешний, внутренний, граничный, приграничный), обеспечивающий хранение этих узлов в структурированных массивах.

6. Реализован алгоритм формирования шаблонов приграничных узлов подсеток, для которых необходимо проводить специальную аппроксимацию, учитывающую криволинейность границы и неравномерность сеточных шаблонов.

7. Разработаны и реализованы алгоритмы обменов данными между компьютерами.

Разработан и практически протестирован алгоритм фотореалистического рендеринга сцен, состоящих из кристаллических агрегатов прозрачных оптически изотропных и анизотропных (одноосных и двуосных) кристаллов с учетом поляризации и интерференции света. Основные этапы алгоритма проверялись на основе сравнения фотографий реальных сцен с результатами рендеринга соответствующих компьютерных модельных 3D сцен. Впервые рассчитаны интерференционные ортоскопические и коноскопические картины для немагнитных прозрачных оптически одноосных кристаллов, фотографии которых могут быть получены через поляризационный микроскоп. Сравнение фотографий и рассчитанных коноскопических картин проведено на примере кристалла кальцита (см. рис. 1). Сравнение скана реальной конструкции из поляризатора, кварцевого клина и анализатора с расчетом ортоскопической картины приведено на рис. 4.

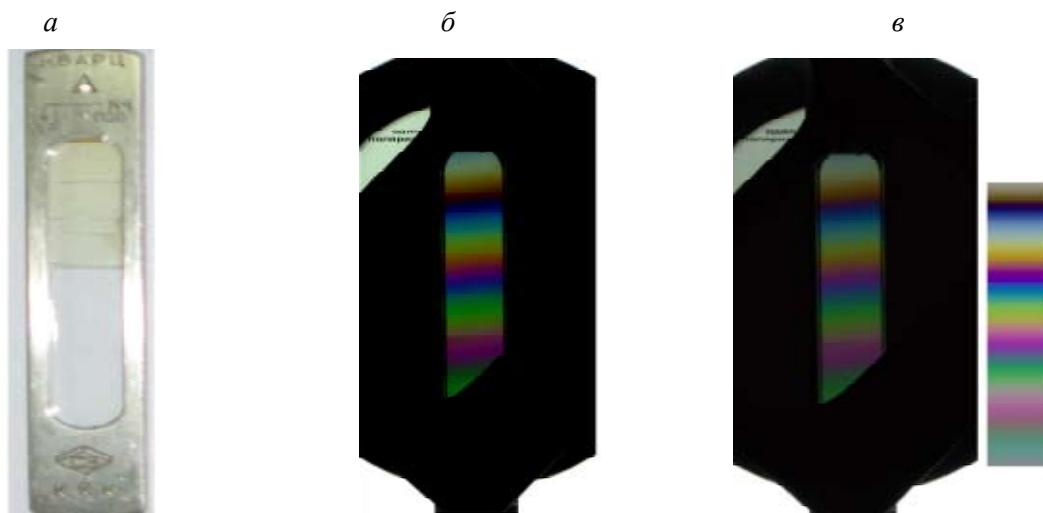


Рис. 4: Модельная сцена для расчета ортоскопического изображения кварцевого клина:

а – фото клина; *б* – два скана специальной тестовой 3D конструкции (сцены);

в – рассчитанная картина для аналогичной виртуальной сцены

С точки зрения разработанной математической модели взаимодействия света с анизотропными средами кристаллический агрегат анизотропного кристалла – это сrostок нескольких монокристаллов, имеющих разные направления оптических осей. Также в модели агрегатом считается и объект, состоящий из монокристаллов различных минералов, поскольку применяется унифицированный математический аппарат. Важно, что при задании объекта специфицируются границы между составляющими его частями, которые могут быть монокристаллами или однородными средами, относящимися к изотропному, одноосному или двуосному оптическим типам с известными характеристиками.

Проект НИР 0315-2018-0014 "Численное моделирование процессов в магматическом очаге".

Блок "Изучение зон субдукции и связанного с ними вулканизма методами геофизики, петрологии и математического моделирования".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2018-0014.

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

Численное моделирование процесса подготовки и реализации извержений в зонах субдукции является сложной задачей, которая в полном объеме пока не решена. Это связано

прежде всего с широким диапазоном пространственных и временных масштабов, в которых протекают процессы, а также с наличием сложных химических реакций, многофазных сред и фазовых переходов. Создана математическая модель динамики сейсмической структуры в магматическом очаге St Helen. Модель основана на решении уравнений сохранения массы и баланса импульса с учетом фазовых переходов. Разработаны дискретная модель, алгоритм и программа. Рассчитывается распределение давления, плотности магмы и массовые доли газа в магматической камере. В подводящем канале рассчитывается распределение давления, плотности магмы, температуры, вертикальной скорости магмы, массовые доли газа и растворенной воды. Проведен предварительный численный анализ с целью верификации метода на модельных постановках. Полученные численные результаты будут использованы для интерпретации новых томографических данных.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-07-00762 а "Исследование и разработка моделей, методов и алгоритмов взаимодействия света с кристаллами для расчета реалистических интерференционных картин".

Руководитель – д.т.н. Дебелов В. А.

Основная задача исследований по проекту – разработка алгоритма фотореалистического рендеринга сцен, состоящих из кристаллических агрегатов прозрачных оптически анизотропных (изотропных, одноосных и двуосных) кристаллов с учетом поляризации и интерференции света. При этом рассматривались сцены специального типа, а именно компьютерные модели поляризационных микроскопов и полярископов. Кроме того, игнорировались лучи, дважды отраженные от внутренних границ кристалла-образца и направленные в сторону наблюдателя, поскольку из литературы по кристаллооптике известно, что энергией луча, дважды отраженного от границ между прозрачными средами, можно пренебречь.

Особенности реализации и отладки алгоритма. В известных монографиях и учебниках получение интерференционных картин (особенно коноскопических) рассматривается только в контексте поляризационного микроскопа или полярископа, оснащенного специальной линзой. Это означает, что виртуальная компьютерная сцена должна также содержать компьютерные модели аналогичных устройств и приспособлений. При программной реализации и отладке невозможно немедленно однозначно определить, какое из программных устройств вносит ошибку в расчет: компьютерная модель линзы или модель взаимодействия луча со средой. Поэтому известно стремление по возможности проводить проверку на более простой сцене. В рамках проекта показано, что минимальной сложности сцена для наблюдения должна включать только поляризатор, образец и анализатор (2-й поляризатор). При этом толщина образца должна быть достаточно большой, чтобы могла сформироваться разность фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами при прохождении их внутри кристалла. Тогда не понадобится конденсор или коноскопическая линза. Используя этот результат удалось рассчитать коноскопическую интерференционную картину (см. рис. 1) для кристалла кальцита (в нашем эксперименте толщина бруска составляет 20 мм) для минимальной сцены.

В среде MS VisualStudio 2013 в качестве инструмента для реализации алгоритма применялась система Nvidia OptiX на ПЭВМ с видеокартой GeForce, обеспечивающая параллельное выполнение задач, использующих трассировку лучей в рамках 3D геометрии. При расчете коноскопических картин на реальных размерах сцены (поляризационный микроскоп – это

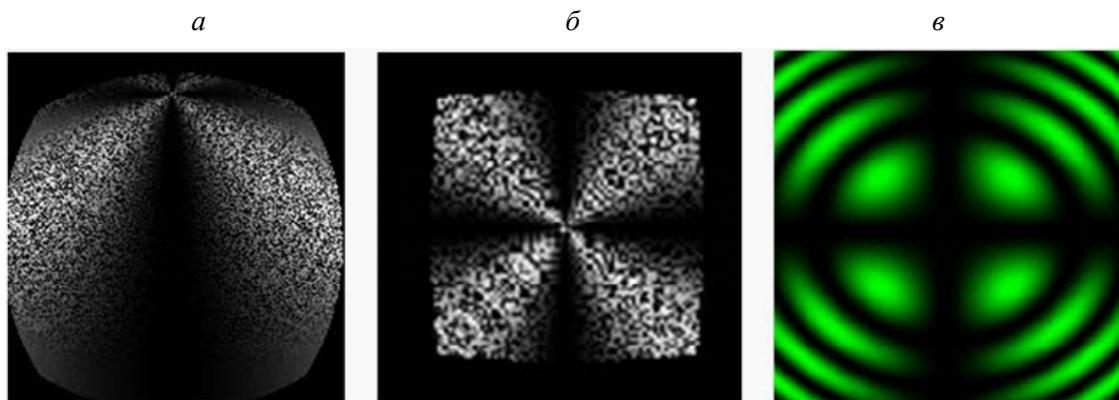


Рис. 5: Классический вид коноскопической картины (а); проблемные изображения (б, в)

десятки сантиметров с учетом расстояния до глаза или камеры) возникла проблема, показанная на рис. 5 б,в. Ожидаемое изображение, напоминающее идеальный "Мальтийский крест" (рис. 5а), рассчитано позже. Первым объяснением было возникновение аналога лестничного эффекта, который проявляется при рисовании растеризованных линий. Впоследствии оказалось, что причина – точность вычислений. OptiX работает с геометрией, представленной вещественными числами в формате float. Это гарантированные 6 точных значащих цифр, и, таким образом, все геометрически точное пространство (точно адресуемые точки) может быть представлено в виде 3D сетки размером $10^6 \times 10^6 \times 10^6$. Оценим полярископ высотой порядка 10^2 мм. Волна из видимого диапазона имеет длину порядка 1 мкм ($1 \text{ мм} = 10^3 \text{ мкм}$). Для определения разности фаз подсчет оптического пути нужно вести в долях длин волн, допустим, с точностью до 0.01 длины волны – это еще 10^2 мкм. Оптический путь больше евклидова расстояния в iR раз (индекс рефракции среды). Например, у алмаза iR примерно 2.5. Значит, добавляется еще один порядок 10^1 . Таким образом, получаем, что порядок равен 8 ($2 + 3 + 2 + 1$), и нам требуется геометрическая сетка не хуже $10^8 \times 10^8 \times 10^8$. И это только для полярископа, имеющего малые размеры. В связи с этим был выполнен переход на представление double для подсчета оптического пути и вычисления интерференционного слагаемого в результирующей интенсивности, т. е. частично отойти от геометрической модели OptiX, что значительно усложнило реализацию.

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.

Модель расчета распространения тепла в материале дополнена различными геометриями трещин, такими как наклонные и несимметричные. Это позволяет делать расчет для областей с различными комбинациями трещин линейной формы. Данное дополнение реализовано в программном виде.

Создан комплекс программ, позволяющий производить расчет смещений в однородном материале около трещин. Численная реализация основана на использовании схемы стабилизирующей поправки и метода прогонки. За основу расчетов смещений вокруг трещин взято уравнение Ламе в терминах коэффициента Пуассона. Стационарное решение системы уравнений эллиптического типа находится путем поиска установившегося решения эволюционной системы уравнений параболического типа.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Debelov V. A., Kushner K. G., Vasilyeva L. F. Lens for a computer model of a polarizing microscope // *Math. Montisnigri*. 2018. V. 41. P. 151–165. Mode of access: <http://www.montis.pmf.ac.me/vol41/12.pdf>. DOI
2. Arakcheev A. S., Apushkinskaya D. E., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Lazareva G. G., Maksimova A. G., Popov V. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Two-dimensional numerical simulation of tungsten melting in exposure to pulsed electron beam // *Fusion Engin. and Design*. July 2018. V. 132. P. 13–17. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2018.05.008.
3. Rozhenko A. I. Comparison of radial basis functions // *Num. Analysis and Appl.* 2018. Vol. 11, N 3. P. 220–235. DOI: [org/10.1134/S1995423918030047](https://doi.org/10.1134/S1995423918030047).

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Lazareva G. G., Arakcheev A. S., Burdakov A. V., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Maksimova A. G., Popov V. A., Shoshin A. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Numerical model of high-power transient heating of tungsten with considering of various erosion effects // *IOP Conf. Series: J. of Phys.* 2018. V. 1103, N 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012001.
2. Lazareva G. G., Arakcheev A. S., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Maksimova A. G., Popov V. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Computational experiment for solution of the Stefan problem with nonlinear coefficients // *AIP Conf. Proc.* 2018. V. 2025. 080005. DOI: [org/10.1063/1.5064925](https://doi.org/10.1063/1.5064925).
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. V. 12. N 2. P. 362–368. DOI: 10.1134/S1990478918020163.
4. 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 Modeling for Engin. Sys. Proc. of the Conf. 50 Years of the Development of Grid-Characteristic Method. Series: Smart Innov., Sys. and Technol.* 2019. V. 133 P. 41–51. DOI: 10.1007/978-3-030-06228-6.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Ускорение параллельных алгоритмов решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках // *Выч. методы и программирование: новые выч. технол.* 2018. Т. 19. № 2. С. 121–129. DOI: 10.26089/NumMet.v19r211.
2. Корнеев В. Д., Свешников В. М. Параллельные технологии и структуры данных для решения трехмерных краевых задач в сложных областях на квазиструктурированных сетках // *Там же*. № 4. С. 496–506. DOI: 10.26089/NumMet.v19r444.
3. Maksimova A. G., Lazareva G. G., Arakcheev A. S. Calculation of displacements around the crack formed during pulsed thermal load // *Bul. NCC. Ser.: Comp. Sci.* 2018. N 42. P. 23–28.
4. Maksimova A. G., Lazareva G. G., Arakcheev A. S. The calculation of heating of various geometry of cracks formed under during pulsed heat load // *Ibid.* P. 29–34.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

1. Свидетельство № 2018664307 РФ. Компьютерная модель простой линзы из оптически изотропного прозрачного материала для обработки лучей линейно поляризованного света : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Дебелов В. А. Дата регистрации 14.11.2018. Дата поступления заявки 24.09.2018. Дата публикации 14.11.2018.

2. Свидетельство № 2018665035 РФ. Программа для распараллеливания алгоритма решения задачи фокусировки ударной волны в жидкости на суперЭВМ : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Лазарева Г. Г., Корнеев В. Д., Вшивков В. А. Дата регистрации 29.11.2018. Дата поступления заявки 1.11.2018. Дата публикации 29.11.2018.

3. Свидетельство № 2018665000 РФ. Программа для ускорения параллельного решения трехмерных краевых задач на многопроцессорных супер-ЭВМ : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Свешников В. М., Корнеев В. Д., Климонов И. А. Дата регистрации 28.11.2018. Дата поступления заявки 01.11.2018. Дата публикации 28.11.2018.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 7-я китайско-российская конференция по вычислительной алгебре с приложениями (CRCNAА 2018) Шанхайский университет Цзяо Тонг (Jiao Tong), Шанхай (Китай), 8–12 июля 2018 г. – 1 доклад (Сорокин С. Б.).

2. 10th Jubilee conference of the Euro-American consortium for promoting the "Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences", Albena (Bulgaria), June 20–25, 2018 – 1 доклад (Лазарева Г. Г.).

3. 12-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 сентября 2018 г. – 2 доклада (Коновалов А. Н., Лазарева Г. Г.).

4. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск 8–10 октября 2018 г. – 6 докладов (Дебелов В. А., Васильева Л. Ф., Сорокин С. Б., Роженко А. И., Корнеев В. Д., Лазарева Г. Г.).

5. "Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: methods, tools, and outcomes" в рамках "Марчуковских научных чтений – 2018", Новосибирск, 8–10 октября 2018 г. – 1 доклад (Лазарева Г. Г., Максимова А. Г.).

6. Конференция "50 years of the development of grid-characteristic method" (MIPT & ICAD RAS), Moscow, March 31 – April 3, 2018 – 2 доклада (Коновалов А. Н., Лазарева Г. Г.).

7. 10-я Международная молодежная научная школа конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 2 доклада (Лазарева Г. Г., Максимова А. Г.).

8. 22-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко, Новороссийск, 3–8 сентября 2018 г. – 1 доклад (Максимова А. Г., Лазарева Г. Г.).

9. Конференция молодых ученых по вычислительной математике и информатике, Новосибирск, 14–16 мая 2018 г. – 1 доклад (Максимова А. Г.).

10. 56-я Международная научная студенческая конференция "МНСК–2018", Новосибирск, 22–27 апреля 2018 г. – 1 доклад (Максимова А. Г.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Коновалов А. Н.:

– член программного комитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.,

– член программного комитета международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– член программного комитета "Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: methods, tools, and outcomes. Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday", Новосибирск, 11–12 октября 2018 г.,

– член программного комитета 12-й Международной конференции "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 20–25 сентября 2018 г.,

– член программного комитета Международной конференции "50 years of the development of grid-characteristic method MIPT & ICAD RAS", Москва, 31 марта – 3 апреля 2018 г.;

2. Дебелов В. А. – член программного комитета 28-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению "ГрафиКон 2018", Томск, 24–27 сентября 2018 г.;

3. Лазарева Г. Г.:

– член программного комитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.,

– член программного комитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– член программного комитета "Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: methods, tools, and outcomes. Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday", Новосибирск, 11–12 октября 2018 г.

4. Максимова А. Г. – член программного комитета Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: methods, tools, and outcomes. Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 октября 2018 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 3

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 5

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 7

Свидетельств о регистрации программ и баз данных – 3

Докладов на конференциях – 18, в том числе 5 пленарных и 4 приглашенных

Участников оргкомитетов конференций – 10

Кадровый состав

1. Дебелов В. А.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Коновалов А. Н.	советник РАН	академик РАН
3. Лазарева Г. Г.	г.н.с.	член-корр. РАН
4. Сорокин С. Б.	в.н.с.	д.ф.-м.н.

5. Корнеев В. Д. с.н.с. к.т.н.
6. Васильева Л.Ф. с.н.с. к.ф.-м.н.
7. Роженко А. И. с.н.с. д.ф.-м.н.
8. Хорсова Г. Е. ведущ. программист
9. Максимова А. Г. м.н.с.
Максимова А.Г. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

- Коновалов А. Н. – профессор НГУ
Сорокин С. Б. – профессор НГУ, ВКИ
Дебелов В. А. – профессор НГУ
Лазарева Г. Г. – профессор НГУ, НГТУ
Максимова А. Г. – преподаватель СУНЦ НГУ

Руководство студентами

1. Ядренников Л. О – 3-й год аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Роженко А. И.
2. Максимова А. Г. – 1-й год аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
3. Пехтерев М. С. – 1-й год аспирантуры ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
4. Давлетов Э. М. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
5. Куклин А. А. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
6. Истомина Е. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
7. Орлова М. П. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
8. Капина Е. С. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.
9. Ивашин Н. Е. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.

Лаборатория вычислительных задач геофизики

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

Важнейшие достижения

Оценка упругих свойств образцов горной породы по 3D цифровым изображениям компьютерной томографии

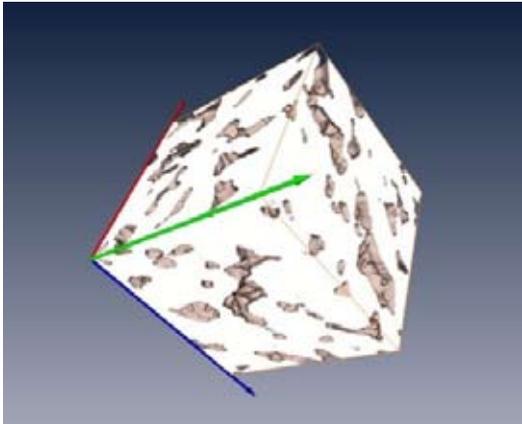


Рис. 1. Цифровой образец ядра

В настоящее время широко используемый подход к определению упругих характеристик образцов ядра состоит в проведении дорогостоящих трудо- и времязатратных физических лабораторных экспериментов. Разработан альтернативный подход, основанный на математическом моделировании "виртуального эксперимента" по 2D и 3D изображениям компьютерной томографии. Метод основан на принципе эквивалентности энергии деформаций, в качестве однородных граничных условий выбираются статические граничные условия, имитирующие физический эксперимент и определяются компоненты тензора податливости. Особенностью алгоритма являются новая схема

решения задач статического нагружения образца методом установления задачи динамической теории упругости (рис. 1) 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.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Решетова Г. В., Хачкова Т. С. Численный метод оценки эффективных упругих характеристик горной породы по двумерным и трехмерным цифровым изображениям ядра // Выч. методы и программирование. 2017. Т. 18. С. 416–433.
2. Решетова Г. В., Хачкова Т. С. Параллельный алгоритм оценки упругих свойств образцов горной породы по 2D и 3D КТ-изображениям ядра // Тез. Междунар. геол.-геофиз. конф. и выставки "Современные технологии изучения и освоения недр Евразии" ("ГеоЕвразия – 2018"), Москва, 5–8 февраля 2018 г.
3. Решетова Г. В., Хачкова Т. С. Определение эффективных упругих модулей образцов ядра по их трехмерным цифровым изображениям // Техн. конф. SPE "ПЕТРОФИЗИКА XXI", Петергоф, 4–5 июня 2018 г.
4. Reshetova G., Khachkova T. A method of determining effective elastic properties of rock core samples from 3D digital tomographic images // Techn. paper 80th EAGE Conf. & Exhib. 2018, Copenhagen (Denmark), June 11–14, 2018.
5. Решетова Г. В., Хачкова Т. С. Оценка упругих свойств образцов горной породы по цифровым изображениям ядра // Тез. 14-й Международной выставки и научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2018", Новосибирск, 25–27 апр. 2018 г.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2018 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 1.3.1.3 "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей в науках о Земле".

Номер государственной регистрации НИР 012010002449.

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Получена система уравнений типа Бюргерса из системы уравнений двухскоростной гидродинамики. Исследованы вопросы корректности задачи Коши в случае одномерной системы. Получена формула решения задачи Коши для одномерной системы уравнений, возникающей в двухскоростной гидродинамике. Доказан предельный переход к известному решению задачи Коши для одномерного уравнения Бюргерса.

Получены в нескольких формах дифференциальные законы сохранения для уравнения эйконала – основной математической модели кинематической сейсмологии на основе общих геометрических формул, полученных в 2016–2017 гг. Найдены соленоидальные поля, выражаемые явно через величины, входящие в уравнение эйконала (через характеристику волнового процесса – поле времен и через характеристику неоднородной среды – показатель преломления). Геометрическая форма и геометрическое истолкование этих формул как законов сохранения для семейств лучей и фронтов волн, а также как новой дивергентной формы для гауссовой кривизны фронтов. Систематически исследована группа эквивалентности уравнения эйконала и других уравнений, изучены ее геометрические аспекты.

Создана программа автоматического построения 3D геоэлектрической модели (по результатам одномерной и двумерной инверсии) для программы 3D математического моделирования в методе сопротивлений для задачи вертикального электрического зондирования.

Проведены численные расчеты, обосновывающие результаты электротомографии для трехмерных моделей с разломными нарушениями

Усовершенствованы программы прямого 3D моделирования для расчета показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ при наличии тонких трещин, возникающих при гидроразрывах пластовых пород. Использование собственных параллельных алгоритмов для GPU позволило существенно сократить время таких расчетов.

На основе полномасштабного численного моделирования проведено исследование проявления флюидонасыщенности трещин и каверн, выработаны методы локации флюидонасыщенных и минерализованных зон карбонатных резервуаров.

Для численного моделирования процессов распространения сейсмических волн в трехмерно-неоднородных средах с разномасштабными неоднородностями (кавернозно-трещиноватыми резервуарами) разработан конечно-разностный метод, основанный на использовании сеток с локальным пространственно-временным измельчением. Необходимость использования таких сеток связана с огромными различиями в масштабах неоднородностей вмещающей среды (десятки и сотни метров) и микроструктуры пласта-коллектора (от долей сантиметра до первых метров). Вычисления на грубой и мелкой сетках требуют использования высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой. На основе разработанного метода создано научно-исследовательское параллельное программное обеспечение для моделирования реалистичных моделей карбонатных резервуаров с коридорами трещиноватости. Программный продукт ориентирован на использование высокопроизводительных вычислительных систем с общей и распределенной памятью, использующих стандарты MPI2 и OpenMP. Для реализации параллельных вычислений использовалась

трехмерная декомпозиция области, когда каждый элементарный объем приписывается своему процессорному элементу. Эти процессорные элементы объединяются в две группы – для вмещающей среды (крупная сетка) и резервуара (мелкая сетка). Вычисления внутри каждой из групп производятся асинхронно за счет использования неблокирующих процедур iSend/iRecv библиотеки MPI. Обмены между группами организованы также с помощью этих процедур и осуществляются через выделенные мастер-процессоры. Изучение проявлений коридоров трещиноватости в сейсмических волновых полях было проведено на тестовой цифровой трехмерной модели Юрубчено-Тахомского нефтяного месторождения в Восточной Сибири, в которую была внедрена система трещин – коридоров трещиноватости, построенная на основе статистического анализа. Были изучены особенности и поисковые признаки формирования рассеянных волновых полей для флюидонаполненных и минерализованных трещин.

Разработаны параллельные алгоритмы и создан комплекс научно-исследовательских программ для определения эффективных параметров трехмерных цифровых томографических изображений ядра.

Разработан аналитический метод расчета волновых полей в неоднородном шаре.

Создан программный модуль, позволяющий проводить моделирование SH волн для пространственно-временных масштабов реальной Земли. Разработан алгоритм и созданы программы расчета волновых полей в неоднородном шаре на основе комплексирования интегральных преобразований по времени и пространственным переменным с конечно-разностным методом.

Разработаны и исследованы стабилизирующие процедуры высокого порядка точности для многошаговых схем Адамса в задачах продолжения волнового поля на основе решения одностороннего волнового уравнения. Проведены исчерпывающие тестовые расчеты, доказывающие эффективность предлагаемого подхода. В частности, рассмотрена задача миграции данных сейсморазведки как для модельных наборов данных, так и для реальных данных полевых наблюдений.

На данном этапе рассмотрены спектрально-разностные методы высокого порядка точности для решения одностороннего волнового уравнения на основе интегрального преобразования Лагерра по времени. Для обеспечения высокой пространственной точности и устойчивости расчетов может применяться метод Ричардсона (рис. 2а). Однако такой подход является вычислительно затратным, поэтому были рассмотрены альтернативные алгоритмы на основе многошаговых схем Адамса (рис. 2б). Для обеспечения устойчивости сначала для одномерного одностороннего волнового уравнения, а затем и для двумерного случая были разработаны стабилизирующие процедуры на основе сплайн-интерполяции. Это позволило устойчиво реализовать метод типа предиктор-корректор, в рамках которого краевая разностная задача для эллиптических уравнений высокого порядка заменяется на последовательность обращений разностных операторов для эллиптических уравнений второго порядка, что позволяет снизить общие вычислительные затраты. Для оценки точности и устойчивости разностных аппроксимаций для транспортного уравнения на основе двойного преобразования Лагерра было получено аналитическое решение, которое может быть вычислено экономично, если для суммирования воспользоваться быстрыми алгоритмами вычисления дискретной линейной свертки. Для двумерного одностороннего волнового уравнения устойчивость и точность предлагаемых процедур были исследованы на примере реализации алгоритма миграции в рамках задачи сейсмической разведки.

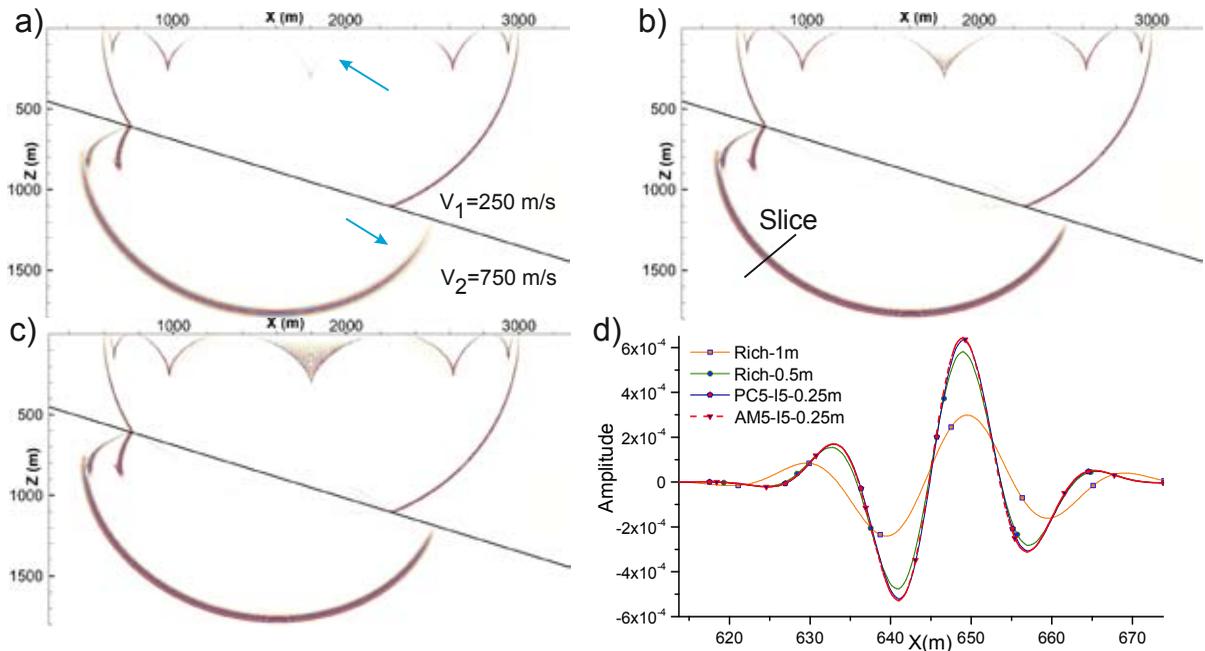


Рис. 2: Мгновенный снимок волнового поля в момент времени $t = 5$ сек для неоднородной скоростной модели среды:

a – экстраполяция Ричардсона с шагом сетки 1 м; b – метод предиктор-корректор с шагом сетки $h_x = 1$ м, $h_z = 1/4$ м; c – схема Адамса – Мультона $h_x = 1$ м, $h_z = 1/4$ м; d – зависимость волнового поля от координаты вдоль линии "Slice" для различных методов и шагов сеток (стрелки указывают на повышенную диссипации энергии волнового поля)

Разработаны методы выявления и анализа паттернов суточной динамики экспрессии генов, различающихся по сходству формы кривой суточной экспрессии без учета фазовых характеристик. Проведен функциональный анализ обогащения терминами геной онтологии групп генов с различающимися паттернами суточной экспрессии, который показал их функциональную значимость, что может быть использовано для математического моделирования сложной циркадной регуляции, синхронизации и взаимодействия биологических процессов с суточной динамикой.

Разработан метод подавления неустойчивости плазмы в токамаках.

Рассмотрена обобщенная на несилловые электромагнитные поля электродинамика наблюдаемого на Земле электромагнитного поля. Показано, что учет несилловой модификации ЭМП расширяет возможности применения наблюдаемых ЭМП в геофизике.

Создан программный комплекс для численного исследования возможности мониторинга вулканических структур магматического типа. Разработаны ряд 2D и 3D параллельных алгоритмов и программ для численного моделирования распространения упругих волн. В комплекс также включены алгоритмы и программы для построения расчетных моделей со сложной геометрией, характерной для моделей вулканического типа. Проведена серия численных экспериментов. Проведенное численное моделирование вулканических структур показывает, что сейсмическое поле вулканов имеет сложную структуру, зависящую от геометрии исследуемых объектов и их реологических характеристик, именно это обстоятельство позволяет проводить вибросейсмический мониторинг этих сейсмоопасных объектов. Проводя регулярное вибросейсмическое зондирование и отслеживая в динамике поведение сейсмического поля по сейсмотрассам можно проследить существенные изменения напряженно деформированного состояния исследуемого объекта, которые могут привести

к катастрофическим явлениям. Насколько известно авторам, в такой постановке задача мониторинга решается впервые. На основании результатов проведенных исследований сделан вывод о возможности мониторинга вулканов этих типов с применением прецизионных вибросейсмических источников и сейсмических систем наблюдений.

Усовершенствован метод поиска сейсмолинеамента в среде GIS-ENDDB, сопряженного с активным сейсмогенным разломом мегаструктурного уровня или его фрагментами, выявляющий закономерность развития глубинного сейсмогенного процесса по дуге Большого Круга Земли. Введены параметры, минимизирующие выборку участвующих в построении землетрясений, на основе вероятностных оценок.

Предложено решение одномерных уравнений Максвелла, основанное на спектральном преобразовании Лагерра. Для повышения точности численного решения построена разностная схема, содержащая дополнительные параметры, определяемые минимизацией погрешности аппроксимации уравнений и зависящие только от спектра решения уравнений. Эту зависимость можно использовать при решении обратной задачи для уравнений Максвелла. По известному решению уравнений в некоторой точке пространства находится распределение электромагнитных параметров среды. Меняя оптимальный параметр в зависимости от спектра решения можно получить более высокую точность определения электромагнитных параметров среды. Показано, что при использовании преобразования Лагерра можно получить более высокую точность аппроксимации уравнений в сравнении со случаем использования преобразования Фурье.

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. Показано в стационарном случае, что система двухскоростной гидродинамики с равновесием по давлению фаз является переопределенной. Рассматривается задача для данной системы с неоднородными дивергентными и краевыми условиями для двух скоростей. Заменой искомых функций задача приводится к однородной. Решение полученной системы сводится к последовательному решению двух краевых задач: задачи Стокса для одной скорости и давления и переопределенной системы для другой скорости. Приведены обобщенные постановки этих задач и их дискретные аппроксимации по методу конечных элементов. Для решения переопределенной задачи применяется вариант метода регуляризации.

Проект РФФИ № 16-01-00729 "Математическое моделирование фильтрации минерализованных растворов в вязкоупругих средах".

Руководитель – д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

В рамках проекта за отчетный период получены следующие результаты. Найдено ядро основных групп Ли преобразований одномерной системы уравнений двухскоростной гидродинамики с равновесием фаз по давлению с использованием аппарата теории групп и алгебр Ли. Получена замкнутая система динамических уравнений двухфазной среды второго порядка относительно вектора смещений упругого пористого тела и порового давления в бездиссипативном приближении и рассмотрена задача Коши для системы уравнений пороупругости в стационарном случае. Построена формула Карлемана для рассматриваемой задачи Коши на плоскости. Численно исследовано распространение сейсмических волн в совмещенной модели вязкоупругой и пористой сред с учетом диссипации энергии в плоской

геометрии. Также численно исследован характер течения минерализованных вязких жидкостей в гранулированных или пористых средах в плоской геометрии.

Проект Президента РФ № МК-152.2017.5 "Разработка методов построения изображения земных недр на основе миграционных преобразований в задачах сейсмической разведки".

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

В рамках обратной задачи сейсмической разведки предложен новый численный метод решения одностороннего волнового уравнения, позволяющий получать изображения земных недр с более высокой разрешающей способностью по сравнению с аналогичными алгоритмами миграции.

Для уменьшения времени счета проведено исследование, в рамках которого были рассмотрены спектрально-разностные методы высокого порядка точности для решения одностороннего волнового уравнения. В первом варианте метода для обеспечения высокой пространственной точности и устойчивости расчетов применялся метод Ричардсона. Однако такой подход является вычислительно затратным, поэтому были рассмотрены альтернативные алгоритмы на основе многошаговых схем Адамса. Для обеспечения устойчивости сначала для одномерного, а затем для двумерного случая разработаны стабилизирующие процедуры на основе сплайн-интерполяции. Это позволило устойчиво реализовать метод типа предиктор-корректор, в рамках которого краевая задача для эллиптических уравнений высокого порядка заменяется на последовательность обращений эллиптических операторов второго порядка, что позволяет снизить вычислительные затраты. Для оценки точности и устойчивости разностных аппроксимаций для одномерного случая на основе двойного преобразования Лагерра было получено аналитическое решение, которое может быть вычислено экономично, если для суммирования воспользоваться быстрыми алгоритмами вычисления дискретной линейной свертки. Для двумерного случая устойчивость и точность предлагаемых процедур исследованы на примере реализации алгоритма миграции в рамках задачи сейсмической разведки.

Совместно с Сибирским научно-исследовательским институтом геологии, геофизики и минерального сырья (Новосибирск) проведена серия расчетов с целью определить область применения нового алгоритма волновой миграции.

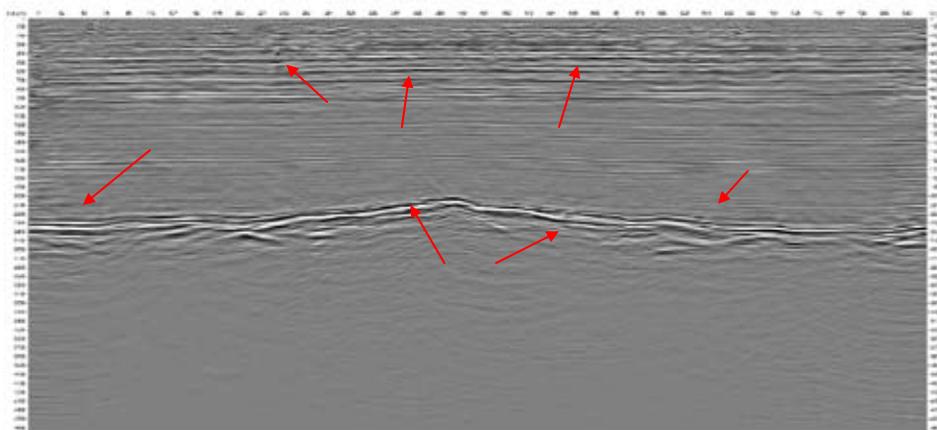


Рис. 3: Глубинная миграция "классическим методом"; стрелками отмечены артефакты

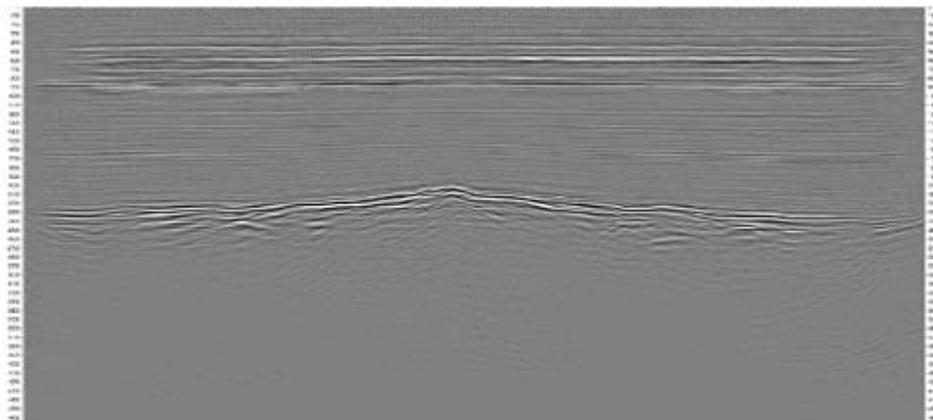


Рис. 4: Глубинная миграция на основе нового алгоритма
(меньшее число шумов в верхней части разреза и более четкие границы разломов)

Сравнение рис. 3 и 4 позволяет утверждать, что новый алгоритм миграции существенно превосходит по точности аналогичные подходы, что требует дальнейших исследований в этом направлении с целью уменьшения времени счета и верификации полученного метода.

Публикации

Публикации, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Megrabov A. G. On some formulas for families of curves and surfaces and Aminov's divergent representations // *Lobachevskii J. of Math.* 2018. Vol. 39, N 1. P. 114–120. DOI: 10.1134/S1995080218010201.
2. Terekhov A. V. The stabilization of high-order multistep schemes for the Laguerre one-way wave equation solver // *J. of Comput. Phys.* Vol. 368, 1 Sept. 2018. P. 115–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.04.059>.
3. Reshetova G., Khachkova T. The principle of energy equivalence in parallel numerical method for evaluating the effective elastic parameters of rock from 3D CT-images // *Lect. Notes in Comput. Sci.* 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11539-5_52.
4. Perepechko Y., Kireev S., Sorokin K., Imomnazarov S. Modeling of nonstationary two-phase flows in channels using parallel technologies // *Parallel Comput. Technol. PCT 2018. Commun. in Comput. and Inform. Sci.* Vol. 910. Springer, Cham. P. 266–279. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99673-8_1.
5. Perepechko Y., Sharapov V., Sorokin K., Mikheeva A. V. Dynamics of convective heat and mass transfer in permeable parts of seismofocal zones of the Kamchatka region and conjugated volcanic arcs // *Volcanoes – Geological and Geophysical Setting, Theoretical Aspects and Numerical Modeling, Applications to Industry and Their Impact on the Human Health.* Gemma Aiello, IntechOpen, 2018. P. 133–152. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73225>.

Публикации, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Reshetova G., Hachkova T. Numerical computation of effective elastic parameters of rock samples by 2d and 3d numerical images // *Saint Petersburg 2018: Innovations in Geosciences & #65533; Time for Breakthrough.* Art. num. N 44455. DOI: 10.3997/2214-4609.201800203.
2. Bazaikin Ya., Khachkova T., Kolyukhin D., Lisitsa V., Reshetova G., Gurevich B., Lebedev M. A multi-scale geostatistical method of evaluating the elastic properties of rock from digital core // *Ibid.* Art. num. 44411. DOI: 10.3997/2214-4609.201800167.

3. Zhernyak G. F., Miroshnikov V. V. The 4D regularization of common-offset seismic data // Saint Petersburg 2018: Innovations in Geosciences & #65533; Time for Breakthrough. Art. num. 44347. DOI: 10.3997/2214-4609.201800130.
4. Подколотная О. А., Твердохлеб Н. Н., Подколотный Н. Л. Выявление и анализ динамических паттернов суточной экспрессии генов млекопитающих // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 8. DOI: 10.18699/VJ18.450.
5. Юдин Н. С., Подколотный Н. Л., Агаркова Т. А., Игнатъева Е. В. Приоритизация генов, ассоциированных с патогенезом лейкоза у крупного рогатого скота // Там же. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.451>.
6. Урев М. В., Имомназаров Ш. Х. Классическое решение одной переопределенной стационарной системы, возникающей в двухскоростной гидродинамике // СЭМИ. 2018, № 15. С. 1621–1629. DOI: 10.33048/semi.2018.15.134.
7. Васильев Г. С., Жиан-Ган Тан, Мамасолиев Б. Ж. Инвариантные подмодели системы уравнений двухскоростной гидродинамики с равновесием фаз по давлению // Там же. С. 585–602. DOI: 10.17377/semi.2018.15.047.
8. Zubairova U., Nikolaev S., Penenko A., Podkolodnyy N., Golushko S. Mechanical behavior of cells within a cell-based model of wheat leaf growth // Frontiers in Plant Sci. 2018. Vol. 7, iss. December 2016. Art. num. 1878. DOI: 10.3389/fpls.2016.01878.

Публикации, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Аксёнов В. В. О взаимной генерации магнитных полей в токамаках и ее подавлении // Изв. вузов. Сер.: Физика. 2018. Т. 61. № 9. С. 171–172.
2. Михеева А. В. Южно-Азиатская мегаструктура по данным геоинформационной системы GIS-ENDDB // Геоинформатика. 2018. № 4. С. 2–16.
3. Имомназаров Х. Х., Юсупов Р. К. Об одной модели динамической теории пороупругости с памятью // Пробл. информ. 2018, Т. 4 (41). С. 25–32.
4. Имомназаров Х. Х., Турдиев У. К. Исследование задачи Коши для одномерной системы уравнений типа Бюргерса методом слабой аппроксимации // Там же. С. 11–18.
5. Подколотный Н. Л., Гаврилов Д. А., Твердохлеб Н. Н., Подколотная О. А. Cytoscape плагин для построения структурных моделей биологических сетей в виде случайных графов // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технол. 2018. № 3, Т. 16. С. 37–50.
6. Мартынов В. Н., Глинский Б. М., Караваев Д. А., Сапетина А. Ф. Моделирование вибросейсмического мониторинга вулканических структур // Сб. материалов Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо Гео-Сибирь", Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г. Т. 4. № 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. С. 122–132.
7. Михеева А. В., Калинин И. И. Методы выявления геодинамических мегаструктур по геофизическим данным // Там же. С. 17–25.
8. Михеева А. В., Калинин И. И. Параметры выявления сейсмолинементов // Материалы 13-й Международной сейсмологической школы "Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных" / Отв. ред. А. А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 153–157.
9. Дядьков П. Г., Романенко Ю. М., Михеева А. В. О методике построения карт сейсмических затиший по аномалиям выделения сейсмической энергии // Сб. материалов Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо Гео-Сибирь", Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г. Т. 4. № 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. С. 26–31.
10. Хачкова Т. С., Базайкин Я. В., Колухин Д. Р., Лисица В. В., Решетова Г. В., Гуревич Б., Лебедев М. Оценка упругих свойств горной породы по цифровому керну на основе геоста-

тистического моделирования // Труды Междунар. геол.-геофиз. конф. "Современные методы изучения и освоения недр Евразии" ("ГеоЕвразия 2018"). 2018. С. 448–452.

11. Решетова Г. В., Хачкова Т. С. Параллельный алгоритм оценки упругих свойств образцов горной породы по 2d и 3d кт-изображениям керна // Там же. С. 453–457.

12. Имомназаров Х. Х., Имомназаров Б. Х., Коробов П. В. Об одной некорректной задаче, возникающей в теории пороупругости // Сб. материалов Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо Гео-Сибирь", Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г. Новосибирск, 2018. Т. 1. Новосибирск : СГУГиТ, 2018. С. 183–187.

13. Васильев Г. С., Мамасолиев Б. Ж. Ядро основных групп Ли преобразований одномерной системы уравнений двухскоростной гидродинамики // Там же. Т. 1. С. 188–194.

14. Имомназаров Ш. Х., Михайлов А. А., Доровский В. Н. Численное решение одной динамической задачи магнитопороупругости // Там же. Т. 2. С. 87–94.

15. Имомназаров Х. Х., Турдиев У. К. Об одной системе уравнений типа Бюргерса, возникающей в двухжидкостной среде // Там же. Т. 2. С. 95–103.

16. Имомназаров Х. Х., Юсупов Р. К. Об одном интегро-дифференциальном уравнении динамической теории пороупругости // Там же. Т. 2. С. 104–111.

17. Искандаров И. К., Имомназаров Х. Х., Урев М. В. Об одной краевой задаче для одной переопределенной системы // Материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов "Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем", Пенза, 28–31 мая 2018 г. С. 6–10.

18. Искандаров И. К., Имомназаров Х. Х., Урев М. В. Краевая задача для одной переопределенной системы, возникающей в двухжидкостной среде // Там же. С. 20–26.

19. Имомназаров Б. Х., Няго В. А., Имомназаров Х. Х., Коробов П. В. Теории пороупругости химически активного глинистого сланца // Там же. С. 213–218.

20. Аксенов В. В. О дифференциальных уравнениях естественного электромагнитного поля, восходящих к дифференциальным уравнениям Максвелла – Паркера – Моффата и их свойствах // Сб. трудов 9-й Междунар. науч. конф. "Наука России: Цели и задачи", Екатеринбург, 10 июня 2018 г. С. 5–10.

21. Максимов М. А., Суродина И. В., Глинских В. Н. Разработка программно-алгоритмической базы для технологии геомагнитной томографии с использованием данных беспилотной разнорельефной магниторазведки // Сб. материалов Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо Гео-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология" Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г. Т. 3. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. С. 241–248.

22. Максимов М. А., Суродина И. В., Глинских В. Н. Разработка программно-алгоритмического обеспечения для технологии геомагнитной томографии с использованием данных беспилотной разнорельефной магниторазведки // Материалы 5-й Всерос. молодежной науч.-практ. школы-конф. "Науки о Земле. Современное состояние", п. Шира (Хакасия) 30 июля – 5 авг. 2018 г. С. 51–53.

23. Нестерова Г. В., Ельцов И. Н., Соболев А. Ю., Суродина И. В. Построение мультифизических моделей коллекторов на основе данных скважинных измерений // Материалы 18-го Всерос. семинара "Геодинамика, геомеханика и геофизика". 2018. С. 37–39.

24. Суродина И. В. Математическое моделирование сигналов электромагнитного зонда с тороидальными катушками в двумерных изотропных моделях геологических сред // Сб. материалов Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо Гео-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки

месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология" Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г. Т. 4. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. С. 162–171.

25. Фаре А. Н., Оленченко В. В., Ельцов И. Н., Суродина И. В. Верификация данных электротомографии при помощи трехмерного численного моделирования при изучении подозерного талика // Труды Междунар. конф. "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 окт. 2018 г. [Электрон. ресурс]. URL: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/mathgeo2018/490619/main.pdf>. С. 186–194.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

Свидетельство № 2018612346 РФ. Программа для ЭВМ "EMF-2Dizo" : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / И. В. Суродина ; правообладатель ИНГТ СО РАН. Дата публикации 15.02.2018. Бюл. № 2.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 13 докладов (Аксенов В. В., Мартынов В. Н., Меграбов А. Г., Васильев Г. С., Имомназаров Х. Х., Имомназаров Б. Х., Михайлов А. А., Суродина И. В., Урев М. В., Михеева А. В.).

2. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-кор. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 1 доклад (Меграбов А. Г.).

3. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", посвященная 110-летию со дня рождения акад. С. Л. Соболева, Новосибирск, 10–16 декабря 2018 г. – 1 доклад (Меграбов А. Г.).

4. 13-я Международная сейсмологическая школа, Таджикистан, 11–15 сентября 2018 г. – 1 доклад (Михеева А. В.).

5. 14-й Международный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г. – 7 докладов (Решетова Г. В., Михеева А. В., Имомназаров Х. Х., Васильев Г. С., Михайлов А. А.).

6. 14-й Международный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология" – 4 доклада (Мартынов В. Н., Михеева А. В., Суродина И. В.).

7. 6-я Международная научная конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хорезми 2018", Ташкент, 13–15 сентября 2018 г. – 6 докладов (Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А., Имомназаров Ш. Х., Урев М. В., Васильев Г. С.).

8. 12-я Международная научно-техническая конференция молодых специалистов, аспирантов и студентов "Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем", Пенза, 28–31 мая 2018 г. – 3 доклада (Имомназаров Х. Х., Урев М. В.).

9. Международная геолого-геофизическая конференция и выставки "Современные технологии изучения и освоения недр Евразии" (ГеоЕвразия–2018), Москва, 5–8 февраля 2018 г. – 1 доклад (Решетова Г. В.).
10. Техническая конференция SPE "ПЕТРОФИЗИКА XXI", Петергоф, 4–5 июня 2018 г. – 1 доклад (Решетова Г. В.).
11. 11-я Международная научная конференция "Наука России: Цели и задачи", 10 июня 2018 г. – 1 доклад (Аксенов В. В.).
12. 5-я Всероссийская молодежная научно-практическая школа-конференция "Науки о Земле. Современное состояние", 2018 г. – 1 доклад (Суродина И. В.).
13. 18-й Всероссийский семинар "Геодинамика, геомеханика и геофизика", 2018 – 1 доклад (Суродина И. В.).
14. Technical paper 80th EAGE conference & exhibition 2018, June 11–14, 2018, Copenhagen (Denmark) – 1 доклад (Решетова Г. В.).
15. The 11th International Conference "Bioinformatics of genome regulation and structure\ systems biology" (BGRS\SB–2018), Novosibirsk, Aug. 20–25, 2018 – 1 доклад (Подколотный Н. Л.).
16. The 3rd International symposium "Mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology" (ММ-НРС-BBB–2018), Novosibirsk, 21–24 Aug. 2018 – 1 доклад (Подколотный Н. Л.).

Участие в организации конференций

1. Мартынов В. Н.:
 - член оргкомитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.
2. Имомназаров Х. Х.:
 - член оргкомитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,
 - член программного комитета 6-й Международной научной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хорезми 2018", Ташкент, 13–15 сентября 2018 г.,
 - член программного комитета 3-й Международной научно-практической конференции "Информатика и прикладная математика", 26–29 сентября 2018 г., Алматы (Казахстан).
3. Решетова Г. В.:
 - член оргкомитета 8-й Международной геолого-геофизической конференции и выставки "Санкт-Петербург 2018. Инновации в геонауках – время открытий", Санкт-Петербург, 9–2 апреля 2018 г.,
 - член оргкомитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.
4. Суродина И. В. – член оргкомитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева. Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.
5. Подколотный Н. Л.:
 - член оргкомитета 11-й Международной конференции по биоинформатике регуляции и структуры геномов и системной биологии "BGRS\SB–2018",

– член оргкомитета The 3rd International Symposium "Mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology" (ММ-НПС-ВВВ-2018), Novosibirsk, Aug. 21–24, 2018.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 5
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 12
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 47
 Патентов – 1
 Докладов на конференциях – 48.
 Участие в организации конференций – 7

Кадровый состав

1. Имомназаров Х. Х.	– в.н.с.	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. Мاستрюков А. Ф.	– с.н.с.	к.ф.-м.н.
10. Подколотный 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. Куликов А. И.	–	ведущ. программист
15. Жерняк Г. Ф. (внеш. совм)	–	ведущ. инженер
16. Васильев Г. С. (внеш. совм)	–	инженер
17. Имомназаров Ш. Х. (внеш. совм)	–	инженер
18. Кабанихина Е. С.	–	инженер
19. Шерстюгина Л. П.	–	техник 1-й катег.

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. Подколотный Н. Л.	– старший преподаватель НГУ
6. Урев М. В.	– доцент НГУ, профессор СибАГС

Руководство аспирантами

1. Галактионова А. А. – 1-й год обучения, аспирантура ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.;
2. Кобало Н. С. – 1-й год обучения, аспирантура ММФ НГУ, руководитель Имомназаров Х. Х.;

3. Игнатъев Д. А. – 2-й год обучения, руководитель Аксенов В. В.

Руководство студентами

1. Галактионова А. А. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.;

2. Москалева А. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.;

3. Фролова А. Я. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.;

4. Сычев А. Д. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Куликов А. И.;

5. Чебодаев М. А. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Куликов А. И.

Защита дипломов

1. Галактионова А. А. – диплом магистра ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.;

2. Москалева А. А. – диплом бакалавра ММФ НГУ, руководитель Белоносов А. С.

Лаборатория обратных задач естествознания

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

Важнейшие результаты**Разработка новых аналогов уравнений Гельфанда – Левитана – Крейна**

Получен новый многомерный аналог уравнения Крейна для решения трехмерной обратной задачи для уравнения акустики. Новизна заключается в том, что для решения обратной задачи использована перспективная с точки зрения приложений система источников и приемников, соответствующих площадной системе наблюдений. С математической точки зрения это означает наличие сингулярной составляющей по горизонтальным переменным в функции источника. Учет этой составляющей позволил получить новый трехмерный аналог уравнения Крейна, позволяющий определить плотность среды без аппроксимации обратной задачи конечным семейством одномерных задач (схема N -приближения, которая является наиболее часто встречающейся при использовании метода Гельфанда – Левитана – Крейна в многомерном случае).

Также рассмотрена обратная задача для системы динамических уравнений теории упругости для слоистой среды в случае произвольной временной формы источника. Использование метода Гельфанда – Левитана – Крейна в такой постановке является новым, поскольку обычно подразумевается использование источника возмущений вида дельта-функции по времени. В предложенной постановке сингулярная часть в форме источника отсутствует, что приближает постановку задачи к возникающим на практике, при этом не позволяя свести задачу к семейству интегральных уравнений второго рода. Для решения поставленной задачи был применен оригинальный подход, заключающийся в сведении к обратной задаче для волнового уравнения и использовании двух вспомогательных задач, связывающих экспериментальные данные со свойствами среды. Это приводит к необходимости использования данных двух независимых экспериментов. Таким образом, появляется возможность свести задачу к решению системы линейных интегральных уравнений первого рода. Преимуществами такого подхода являются использование данных от источников произвольной формы по времени и переход к постановке, не подразумевающей дифференцирование данных (что является характерной особенностью классических уравнений Гельфанда – Левитана – Крейна). Таким образом, в данном случае для решения обратной задачи не требуется решать задачи деконволюции и численно дифференцировать данные обратной задачи, что является несомненным преимуществом с прикладной точки зрения.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2018 г.
в соответствии с планом НИР института****Проект НИР "Обратные задачи геофизики".**

Номер государственной регистрации НИР 0315-2018-0015.

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Получены следующие результаты:

1. Построен численный алгоритм по определению потока тепла.
2. Доказана новая теорема единственности на основе карлемановских оценок

Исследована одномерная проблема продолжения (задача Коши) для параболического уравнения с данными на части границы. Реализовано несколько численных методов решения задачи продолжения и проведен сравнительный анализ реализованных алгоритмов.

Проект НИР "Разработка численных методов идентификации математических моделей акустики".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2018-0012.

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Получены следующие результаты:

1. Разработаны алгоритмы решения двумерных обратных задач акустики.
2. Получены оценки условной устойчивости задач продолжения волновых полей, описываемых гиперболическими уравнениями второго порядка с переменными коэффициентами, с данными на части плоскости.
3. Проведено теоретическое исследование и разработка алгоритмов решения двумерных обратных задач акустики. Получены оценки условной устойчивости задач продолжения волновых полей, описываемых гиперболическими уравнениями второго порядка с переменными коэффициентами, с данными на части плоскости.
4. Предложен новый подход к определению диэлектрической проницаемости и проводимости среды в окрестности скважины сложного профиля, существенной частью которого является использование локализованного источника в небольшой окрестности выбранной точки скважины и нахождение приближенного электромагнитного поля в окрестности этой точки. Найденное поле используется для определения неизвестных параметров. Проведены численные эксперименты.
5. Исследование дает возможность проведения натурального эксперимента, после которого можно будет судить о возможности практического использования предложенного алгоритма. Насколько известно авторам проекта, в научной литературе отсутствует описание методов решения задачи об определении проницаемости и проводимости в окрестности скважины сложного профиля.
6. При обработке геофизической информации достаточно большую роль играет уравнение полной свертки. Изучен оператор свертки (фредгольмовского типа на конечном интервале) с симметричным ядром.
7. Предложен новый подход к определению диэлектрической проницаемости и проводимости среды в окрестности скважины сложного профиля. Существенной частью этого подхода является использование локализованного источника в небольшой окрестности выбранной точки скважины и нахождение приближенного электромагнитного поля в окрестности этой точки. Мы используем найденное поле для определения неизвестных параметров. Представлены результаты численных экспериментов.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-01-00755 "Разработка численных методов продолжения решений с части границы уравнений математической физики".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Шишленин М. А.

Получена оценка сильной сходимости итерационного процесса решения задачи продолжения для общего эллиптического уравнения с данными на части границы и оценка условной устойчивости. Построены и обоснованы численные методы решения задачи продолжения теплового поля с части границы. Разработан проекционный метод решения задачи продолжения для уравнения упругости в предположении линейной зависимости скоростей. Разработанные алгоритмы апробированы на гибридных суперЭВМ. Получена оценка сильной сходимости итерационного процесса для решения задачи продолжения теплового процесса с данными на части границы и оценка условной устойчивости.

Для общего вида уравнений параболического и эллиптического типов разработаны численные методы решения обратных и некорректно поставленных задач в случае, когда данные обратной задачи задаются внутри исследуемой области (область, кривая, набор точек). Получен явный вид градиента функционала и построен численный алгоритм решения на основе минимизации целевого функционала. Разработаны и обоснованы численные методы решения задачи продолжения диффузионных и тепловых процессов на основе итеративной регуляризации и приема С. К. Годунова с использованием сингулярного разложения. Серии численных расчетов показали, что решение задачи продолжения для диффузионного уравнения, сформулированной в виде обратной задачи определения начального и граничного условий на недоступной части границы, более устойчиво к ошибкам в данных, чем решение дискретной задачи продолжения методом сингулярного продолжения. Проведена оптимизация разработанных алгоритмов и программ на гибридных суперЭВМ и проведен сравнительный анализ затрачиваемого машинного времени в зависимости от архитектуры. В ходе выполнения проекта исследованы постановки обратных и некорректных задач для нелинейных диффузионных процессов. Для задачи продолжения решения в обратном времени для уравнения Бюргерса построены два примера некорректности задачи в нелинейной и линеаризованных постановках, показывающие, что малым возмущениям данных задачи могут соответствовать бесконечно большие возмущения решения. Для системы уравнений газовой динамики в астрофизике разработан оптимизационный метод решения задачи продолжения в обратном времени – восстановление начального положения галактик, по наблюдаемому столкновению. Построен оптимизационный метод решений на основе градиентного метода. Получена явная формула градиента функционала.

На основе оценок более тонких чем карлемановские, доказана теорема единственности и условной устойчивости задачи продолжения решения с части границы для параболического уравнения. Проведен сравнительный анализ численных методов решения задачи продолжения решения с части границы для параболического уравнения на основе метода сингулярного разложения, метода обращения разностной схемы и градиентного метода. Исследован вопрос учета априорной информации в разработанных алгоритмах численного решения задач продолжения решений уравнений математической физики. Получена оценка сильной сходимости итерационного процесса для решения динамических задач продолжения с данными на времениподобной границе. Получена оценка условной устойчивости.

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 первого рода.

Результаты работа по проектам Российского научного фонда

Проект РФФИ № 18-71-10044 "Суперкомпьютерный анализ социальных, эпидемиологических и экономических процессов: теория, алгоритмы и комплекс программ".

Руководитель – к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

1. Разработаны и исследованы прямые и обратные задачи для математических моделей социальных, эпидемиологических и экономических процессов, основанных на системах уравнений в частных производных и стохастических дифференциальных уравнениях.

2. Проведен анализ идентифицируемости и чувствительности математических моделей и получены условия, при которых исследуемые обратные задачи корректны.

3. Получены оценки условной устойчивости решения исследуемых обратных задач на основе сингулярного разложения матриц линеаризованных обратных задач для исследуемых математических моделей.

4. Предложен универсальный аналог метода Нестерова для вариационных неравенств с гильдеровым сильно монотонным полем, а также сильно выпукло/вогнутых седловых задач. Получены оценки числа итераций, необходимых для достижения требуемого качества решения.

5. Разработана платформа для цифровой интеллектуальной системы.

6. Подготовлены социально-экономические и демографические данные, характеризующие выбранные регионы РФ. Получена статистическая оценка качества прогноза заболеваемости и проведена классификация регионов в однородные группы. Протестированы статистические предикторы заболеваемости на данных 2010–2014 гг. и получены оценки прогноза 2015–2016 гг.

Прочие гранты

Грант Президента МК-1214.2017.1 "Исследование и разработка численных алгоритмов решения прямых и обратных задач иммунологии и эпидемиологии".

Руководитель – к.ф.-м.н. Криворотько О. И.

В рамках проекта исследовались различные математические модели иммунологии (динамики ВИЧ, инфекционного заболевания) и эпидемиологии (ко-инфекции туберкулеза и ВИЧ, туберкулеза в особо эндемичных районах). В публикациях по теме проекта представлены результаты по всем указанным моделям:

– получено численное решение обратных задач иммунологии и эпидемиологии, проведен сравнительный анализ детерминистских (градиентные методы) и стохастических (генетический алгоритм, метод имитации отжига) методов численного решения обратных задач;

– проведена верификация полученных результатов. Построены доверительные интервалы полученных решений обратных задач, демонстрирующие ошибку полученных решений;

– решена задача определения оптимального лечения в случае математической модели внутриклеточной динамики ВИЧ;

– разработан комплекс программ с дружелюбным пользовательским интерфейсом, демонстрирующий карты распространения эпидемий туберкулеза органов дыхания (ТОД) и ВИЧ в Российской Федерации по регионам различных групп населения (впервые выявлено больных ТОД, умерло зарегистрированных больных туберкулезом от всех причин, излечено больных ТОД, рецидивы ТОД и т. п.).

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. An algorithm for source reconstruction in nonlinear shallow-water equations // *Comput. Math. and Mathem. Phys.* 2018. V. 58, N 8. P. 1334–1343. DOI: 10.1134/S0965542518080109.

2. Dinh Nho Hao, Le Thi Thu Giang, Kabanikhin S., Shishlenin M. A finite difference method for the very weak solution to a Cauchy problem for an elliptic equation // *J. Of Inverse And Ill-Posed Problems*. 2018. Vol. 26, N 6. P. 835–857. DOI: 10.1515/jiip-2018-0060.

3. Lukyanenko D. V., Shishlenin M. A., Volkov V. T. Solving of the coefficient inverse problems for a nonlinear singularly perturbed reaction-diffusion-advection equation with the final time data // *Communications In Nonlinear Science And Numerical Simulation*. 2018. Vol. 54. P. 233–247. DOI: 10.1016/j.cnsns.2017.06.002, WoS Q1.

4. 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.* 2018. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2018.11.005>.

5. 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 // *Advances in Computational Mathematics*. 2018. April 2019. Vol. 45, iss. 2. P. 735–755. <https://doi.org/10.1007/s10444-018-9631-7>.

6. Banks H.T., Kabanikhin S.I., Krivorotko O.I., Yermolenko D.V. A numerical algorithm for constructing an individual mathematical model of HIV dynamics at cellular level // *J. Inverse Ill-Posed Probl.* 2018. Vol. 26, iss. 6. P. 859–873, <https://doi.org/10.1515/jiip-2018-0019>.

7. Kabanikhin S., Krivorotko O., Kashtanova V. A combined numerical algorithm for reconstructing the mathematical model for tuberculosis transmission with control programs // *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, 2018. Vol. 26, iss. 1. P. 121–131. <https://doi.org/10.1515/jiip-2017-0019>.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Kabanikhin S. I., Shishlenin M. A. Recovering a Time-Dependent Diffusion Coefficient from Nonlocal Data // *Num. analysis and appl.* 2018. Vol. 11, N 1. P. 38-44. DOI: 10.1134/S1995423918010056.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Novikov N. S., Kabanikhin S. I., Shishlenin M. A. Direct method for solving coefficient inverse problems of seismic and acoustics // Тез. докл. 5-й Междунар. конф. "Функциональные пространства. Дифференциальные операторы. Проблемы математического образования", посвящ. 95-летию со дня рождения чл. корр. РАН Л. Д. Кудрявцева. 2018. С. 238.

2. Кабанихин С. И., Новиков Н. С., Шишленин М. А. Сведение обратной задачи для уравнения колебаний к системе линейных интегральных уравнений первого рода // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика" посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева. 2018. С. 163–169.

3. Приходько А. Ю., Шишленин М. А., Стадниченко О. А. Определение скорости химических реакций в пиролитическом реакторе // Там же. С. 323–331.

4. Шишленин М. А. Микросейсмический мониторинг гидроразрыва пласта // Там же. С. 407–413.

5. Шишленин М. А., Головин С. В. Определение коэффициента параболического уравнения по дополнительной информации, заданной в дискретном наборе точек внутри области // Там же. С. 414 – 418.

6. Кабанихин С. И., Шишленин М. А. Цифровое месторождение // *Георесурсы*. 2018. Т. 20. № 3. С. 139–141.

7. Кабанихин С. И., Шишленин М. А. Восстановление коэффициента диффузии, зависящего от времени, по нелокальным данным // *СибЖВМ*. 2018. Т. 21, № 1. С. 55–63.

8. Глинский Б. М., Кабанихин С. И., Калинин С. А., Куликов И. М., Курмангалиев Р. З., Новиков Н. С., Рязанцев А. Э., Сапетина А. Ф., Черных И. Г., Шишленин М. А. Математическое моделирование упругопластических деформаций для задач образования и эволюции геологических трещин // Вестн. НГУ. Сер.: Информационные технологии. 2018. Т. 16. № 1. С. 61–73.

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 9th International conference "Inverse problems: Modeling and simulation" (IPMS-2018), Malta, May 21–25, 2018 – 6 докладов (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Ермоленко Д. В.).

2. The 6th International conference on control and optimization with industrial applications, Baku (Azerbaijan), July 11–13, 2018 – 2 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Новиков Н. С.).

3. 7-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 15–19 октября 2018 г. – 2 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Новиков Н. С.).

4. Seventh Conference on Finite Difference Methods: Theory and Applications (FDM: T&A'2018). June 11-16, 2018 Lozenetz, Bulgaria – 3 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Новиков Н. С.).

5. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева – 4 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Новиков Н. С., Приходько А. Ю.).

6. Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: methods, tools, and outcomes. Honor of academician A. Alekseev's 90th Birthday, Novosibirsk, October 11–12 – 1 доклад (Шишленин М. А., Кабанихин С. И.).

7. The 3rd Mongolia – Russia – Vietnam Workshop on numerical solution of integral and differential equations (NSIDE 2018), Hanoi (Vietnam), October 22–27, 2018 – 1 доклад (Шишленин М. А.).

8. Международная научно-практическая конференция "Моделирование геологического строения и процессов разработки – основа успешного освоения нефтегазовых месторождений", посвященная 75-летию начала промышленной разработки нефтяных месторождений Татарстана, Казань, 4–5 сентября 2018 года – 1 доклад (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

9. International conference 50 years of the development of grid-characteristic method. MIPT & ICAD RAS, March 31 – April 3, 2018 – 1 доклад (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

10. The 3rd International symposium "Mathematical Modeling and High-Performance Computing in Bioinformatics, Biomedicine and Biotechnology", Novosibirsk, August 21–24, 2018 – 11 докладов (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Новиков Н. С., Ермоленко Д. В., Приходько А. Ю.).

11. 8-я Международная научно-методическая конференция "Математическое моделирование и информационные технологии в образовании и науке", посвященная 90-летию Казахского национального педагогического университета им. Абая, Алматы (Казахстан), 3–4 октября 2018 г. – 3 доклада (Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Ермоленко Д. В.).

12. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г., – 10 докладов (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Ермоленко Д. В., Приходько А. Ю.).

13.5-я Международная конференция "Функциональные пространства. Дифференциальные операторы. Проблемы математического образования", посвященная 95-летию со дня рождения чл.-корр. РАН, академика Европейской академии наук Л. Д. Кудрявцева, Москва, 26–29 ноября 2018 г. – 2 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Новиков Н. С., Приходько А. Ю.).

14. International forum "Math-for-Industry", Shanghai (China), November 17–21, 2018 – 2 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И.).

15. The 4th International conference "Quasilinear equations, inverse problems and their applications" (МИПТ), Dolgoprudny, December 3–5, 2018 – 4 доклада (Шишленин М. А., Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Новиков Н. С.).

16. Международная школа-конференция "Соболевские чтения", посвященная 110-летию со дня рождения акад. С. Л. Соболева, Новосибирск, 10–16 декабря 2018 г. – 1 доклад (Кабанихин С. И., Криворотько О. И.).

17. Научная конференция грантополучателей Президентской программы исследовательских проектов РФ "Лидеры науки", Москва, 1–2 ноября 2018 г. – 1 доклад (Криворотько О. И.).

Участие в организации конференций

1. Кабанихин С. И.:

– сопредседатель оргкомитета и программного комитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,

– председатель оргкомитета и программного комитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.,

– сопредседатель оргкомитета и программного комитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes. Honor of academician A. Alekseev's 90th Birthday", Novosibirsk, October 11–12, 2018,

– сопредседатель программного комитета международной конференции Russian – Vietnamese – Chinese Workshop "Numerical methods of solving inverse and ill-posed problems of natural sciences", Novosibirsk, October 11–12, 2018;

2. Шишленин М. А.:

– член программного комитета и зампреда оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.,

– сопредседатель программного комитета и оргкомитета международной конференции Russian – Vietnamese – Chinese workshop "Numerical methods of solving inverse and ill-posed problems of natural sciences", Novosibirsk, October 11–12, 2018;

3. Криворотько О. И.:

– зампреда оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.,

– член оргкомитета и программного комитета международной конференции Russian – Vietnamese – Chinese workshop "Numerical methods of solving inverse and ill-posed problems of natural sciences", Novosibirsk, October 11–12, 2018;

4. Новиков Н. С.:

– член оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.,

– член оргкомитета международной конференции Russian – Vietnamese – Chinese workshop "Numerical methods of solving inverse and ill-posed problems of natural sciences", Novosibirsk, October 11–12, 2018;

5. Ермоленко Д. В. – ученый секретарь оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.;

6. Приходько А. Ю. – член оргкомитета международной конференции Russian – Vietnamese – Chinese workshop "Numerical methods of solving inverse and ill-posed problems of natural sciences", Novosibirsk, October 11–12, 2018.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web Of Science – 5

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 8

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 8

Докладов на конференциях – 55

Участников оргкомитетов конференций – 12

Кадровый состав

- | | | |
|----------------------|--------------------|-----------|
| 1. Шишленин М. А. | зав. лаб. | д.ф.-м.н. |
| 2. Кабанихин С. И. | г.н.с. | д.ф.-м.н. |
| 3. Криворотько О. И. | н.с. | к.ф.-м.н. |
| 4. Новиков Н. С. | м.н.с., | |
| 5. Воронов Д. А. | м.н.с. | |
| 6. Маринин И. В. | ведущ. программист | |
| 7. Юдина О. В. | ведущ. инж. | |
| 8. Ермоленко Д. В. | инж. | |
| 9. Приходько А. Ю. | техник. | |

Педагогическая деятельность

Кабанихин С. И. – профессор НГУ, лекционные курсы в СУНЦ НГУ.

Шишленин М. А. – доцент НГУ.

Криворотько О. И. – старший преподаватель НГУ.

Новиков Н. С. – старший преподаватель НГУ, лекционные курсы в СУНЦ НГУ.

Руководство студентами

1. Каштанова В. Н. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.;

2. Кондакова Е. А. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.;

-
3. Ли Цзюй (Валя) – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Криворотько О. И.;
 4. Филимонов И. А. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Шишленин М. А.;
 5. Ануфриенко Е. А. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.;
 6. Быков Д. О. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководители Кабанихин С. И., Криворотько О. И.;
 7. Лю Шуан – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Криворотько О. И.;
 8. Екименко Д. Д. – 4-й курс НГУ, руководители: Криворотько О. И., Денисова Н. В.;
 9. Звонарева Т. А. – 4-й курс НГУ, руководитель Криворотько О. И.;
 10. Скидина Е. С. – 4-й курс НГУ, руководитель Кабанихин С. И.;
 11. Титова К. Ю. – 4-й курс НГУ, руководитель Криворотько О. И.;
 12. Приходько А. Ю. – 4-й курс НГУ, Шишленин М. А.

Лаборатория математического моделирования волн цунами

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Важнейшие достижения

Новые семейства точных решений двумерного уравнения эйконала

Предложен способ получения решений двумерного уравнения эйконала для случая, когда скорость в среде зависит только от одной координаты. Причиной интереса к такому типу уравнений является то, что двумерное уравнение эйконала общего вида с помощью конформной замены переменных сводится к уравнению, в котором правая часть зависит от одной переменной. За счет подбора общего вида решения удалось, в некоторых случаях, свести исходное уравнение к одному или нескольким обыкновенным дифференциальным уравнениям, поддающимся решению. В частности, найдены точные решения для случаев, когда скорость в среде задается следующими выражениями: $\frac{1}{k}|\sin ky|$, $\frac{1}{k}|\operatorname{sh} ky|$, e^{ky} , $\frac{y}{\sqrt{y^2+k}}$,

где k – параметр. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании распространения волн цунами, например, для тестирования численных методов расчета.

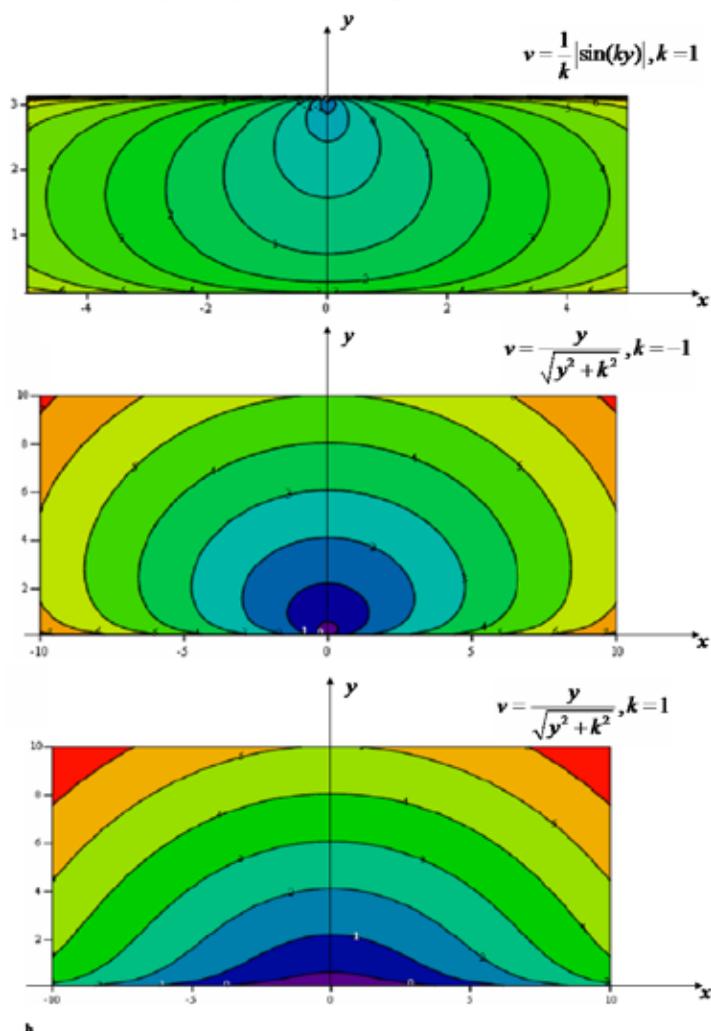


Рис. 1: Кинематика распространения волны в среде с указанным распределением скорости
Москаленский Е. Н.

Результаты исследований опубликованы в работе

Москаленский Е. Д. Новые семейства точных решений двумерного уравнения эйконала для случая, когда скорость в среде зависит только от одной координаты // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 3. С. 259–271.

Отчет по этапам НИР, завершённым в 2018 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. В. К. Гусяков

Реализован алгоритм численного расчета распространения цунами от очага до берега на последовательности вложенных сгущающихся сеток (рис. 2). При этом расчет ведется с использованием многопроцессорной компьютерной архитектуры, а также на графических процессорах, сокращающих время моделирования в сотни раз. В результате детальное распределение ожидаемых высот волны вдоль побережья может быть получено за время, значительно меньшее, чем требуется реальной волне для достижения этого побережья. Данная работа выполнялась в сотрудничестве с Университетом Айзу (г. Айзу-Вакамацу, Япония). Продолжена разработка численных методов расчета кинематики волн цунами. В частности, реализованы и протестированы два метода построения волновых лучей: первый базируется на вариационном подходе, второй – на геометрических особенностях волнового фронта.

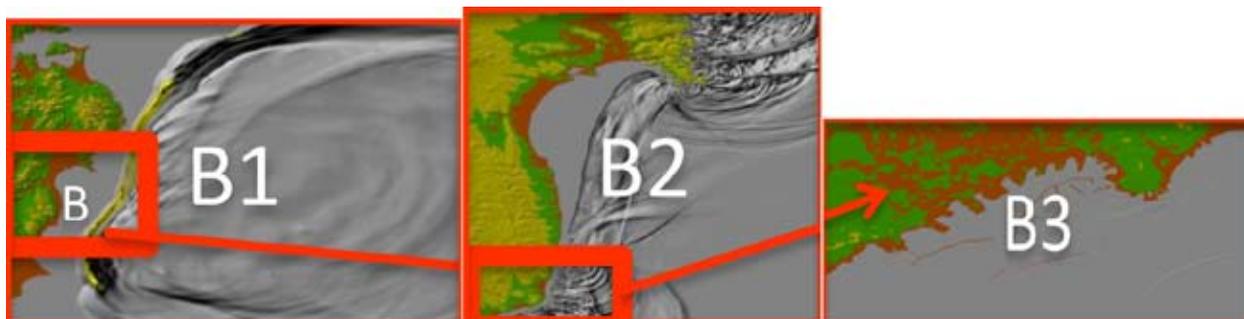


Рис. 2: Схема вычислительного конвейера для расчета распространения цунами на последовательности сгущающихся сеток от очага до акватории портов и бухт. Алгоритм, реализованный в сотрудничестве с Университетом Айзу (Япония), позволяет использовать облачные вычисления

В рамках решения обратной задачи по восстановлению источника цунами на основе метода g -решений продолжено изучение связи параметров восстанавливаемого источника цунами для реальных данных с такими параметрами инверсии, как количество используемых гармоник в представлении функции источника, количество и расположение регистраторов волн цунами. Исследована структура сингулярных векторов и ее влияние на результат инверсии при усеченном SVD на примере моделирования источника Чилийского цунами 16 сентября 2015 г. Проведено сравнение восстановленного источника этого цунами с результатами расчета косейсмической деформации дна на основе восстановленных по сейсмическим данным параметров очага этого землетрясения (рис. 3). Проведена адаптация и распараллеливание алгоритма для Курило-Камчатской зоны Тихого океана, выполнены тестовые расчеты на примере Шикотанского цунами 1994 г. С учетом результатов этих исследований создан алгоритм получения параметров возможных очагов цунами при вероятных крупных цунамигенных землетрясениях Дальневосточной зоны.

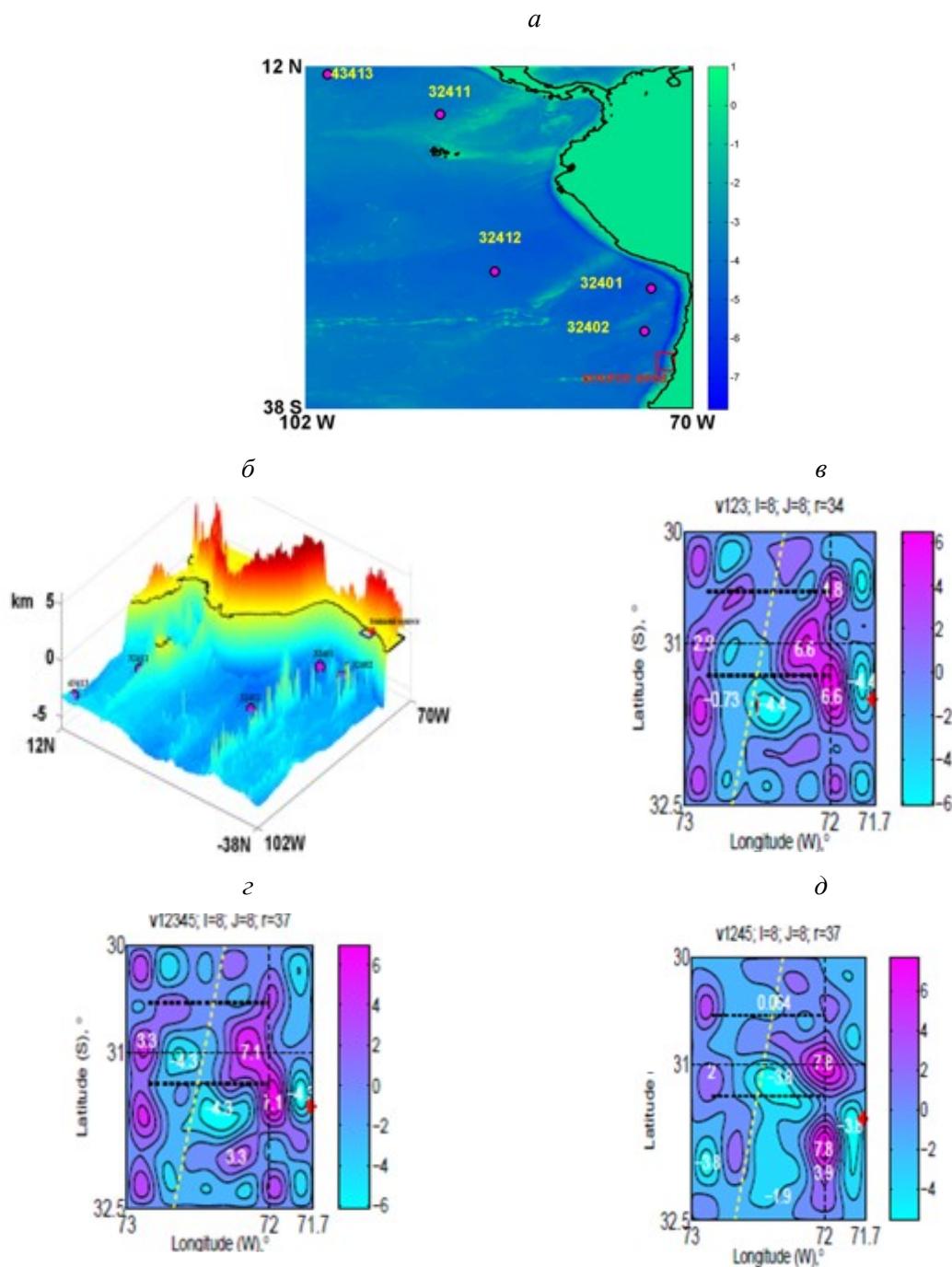


Рис. 3: Восстановление источника цунами по записям донных датчиков давления (на примере Чилийского цунами 16 сентября 2015 г.):

a – расчетная область с отмеченным расположением датчиков ДАРТ и их номерами;
б – 3D-модель подводного рельефа расчетной области; *в* – результаты восстановления источника цунами при использовании трех датчиков (32401, 32402, 32412); *г* – пяти датчиков (32401, 32401, 32412, 32411, 43413); *д* – четырех датчиков (32401, 32402, 32411, 43413)

В рамках решения задачи цунамирайонирования побережья получены параметры возможных очагов цунами в районах наиболее вероятных крупных цунамигенных землетрясений Дальневосточного региона. Оценены вероятности и повторяемости возникновения мега-землетрясений (магнитуды $M > 9$) в Курило-Камчатском регионе РФ. Показано, что

именно эти землетрясения определяют уровень цунамиопасности Дальневосточного побережья РФ на больших интервалах времени (500–1000 лет).

В рамках исследований космических опасностей, угрожающих Земле на современном этапе ее геологической истории, создана база данных крупных болидных взрывов за историческое время (порядка 200 лет) и период инструментальных наблюдений (примерно с 1960 г.). Анализ содержания базы показывает достаточно высокую (более 50 %) вероятность болидного взрыва с тротильным эквивалентом 5–10 Мт (класса Тунгусского 1908 г.) в атмосфере Земли в течение столетия.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ 16-05-00450 "Связь интенсивности цунами с параметрами очагов дальневосточных землетрясений".

Руководитель – д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

Выполнение проекта завершилось в 2018 г., его основной целью было получение расчетных и экспертных оценок интенсивности дальневосточных цунами по шкале Соловьева – Иمامуры и исследование на этой основе зависимости балла интенсивности от параметров очагов подводных землетрясений этого региона. На основе созданного в первый год выполнения проекта полного каталога высот цунами в Дальневосточном регионе РФ, конвертированного в базу данных, построенную на СУБД Access, получены расчетные баллы интенсивности дальневосточных цунами с оценкой их точности для различных исторических периодов (доинструментальный – ранее 1900 г.), инструментальный (1901–1991 гг.), современный (после 1991 г.). Для получения расчетных значений балла интенсивности использовалась созданная ранее интерактивная процедура для оценки интенсивности по шкале Соловьева – Иمامуры, встроенная в графическую оболочку PDM/TSU, которая позволяет вычислять интенсивность на основе сделанной экспертом выборки высот из базы данных. Изучена корреляция интенсивности цунами с моментной магнитудой подводного землетрясения и проведено ее сопоставление с имеющимися теоретическими оценками (рис. 4). Такая корреляция изучена как для Курило-Камчатской сейсмогенной зоны, так и для двух соседних зон (Алеутско-Аляскинской и Японской), имеющих сходное сеймотектоническое строение и условиями образования цунами. Показано, что фактический разброс

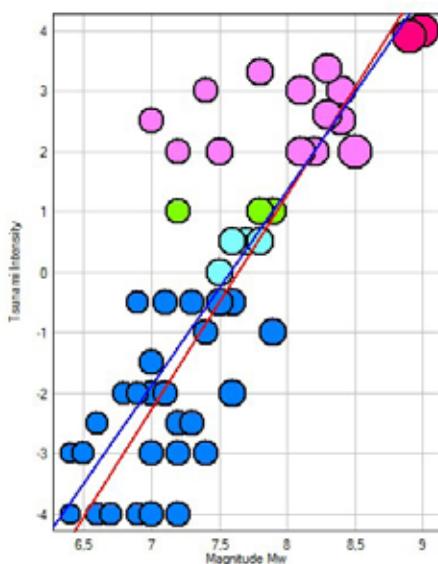


Рис. 4: Зависимость интенсивности цунами I от магнитуды M_w для цунамигенных событий, происшедших в Дальневосточном регионе РФ с 1901 по 2018 г. Красной линией показана теоретическая зависимость, описанная авторами в 1987 г.; синей – корреляционная зависимость, полученная по наблюдаемым данным в рамках выполнения данного проекта. Близость этих зависимостей показывает адекватность использованных моделей для расчетов возбуждения цунами, корректность и практическую пригодности шкалы интенсивности цунами, введенной акад. С. Л. Соловьевым в 1972 г.

интенсивности цунами для землетрясений в интервале магнитуд от 7.0 до 8.0 очень велик и достигает 6 баллов по шкале интенсивности. Проанализированы возможные причины такого разброса. Полученные оценки интенсивности дали возможность изучить связь интенсивности цунами с глубиной очага и глубиной воды в эпицентральной области, а также получить оценки повторяемости цунамигенных событий в основных цунамигенных зонах Дальневосточного региона (Курило-Камчатская дуга, Японское и Охотское моря). Эти оценки крайне важны для получения карт цунамиопасности Дальневосточного побережья РФ. Сформулированы рекомендации по уточнению магнитудно-географического критерия прогнозирования цунами, используемого в Службе оперативного прогноза цунами на Дальневосточном побережье РФ.

Публикации

Публикации, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Никонов А. А., Гусяков В. К., Флейфель Л. Д. Новый каталог цунами в Черном и Азовском морях в приложении к оценке цунамиопасности российского побережья // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 2. С. 240–255. DOI:10.15372/GiG20180208.

2. Хаяши К., Марчук Ан. Г., Важенин А. П. Генерирующие граничные условия для расчета распространения цунами на последовательности вложенных сеток // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 3. С. 315–331. DOI: 10.15372/SJNM20180306.

3. Москаленский Е. Д. Новые семейства точных решений двумерного уравнения эйконала для случая, когда скорость в среде зависит только от одной координаты // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 3. С. 259–271. DOI: 10.15372/SJNM20180303.

4. Lysakov K., Lavrentiev M., Marchuk An., Oblaukhov K., Shadrin M. FPGA-based modelling of the tsunami wave propagation at South Japan water area // Proc. of the 2018 OCEANS – MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO) Conference and exhibition, Kobe (Japan), May 28–31, 2018. Session: Ocean natural hazard monitoring and social implementation. 5 p. IEEE Catalog Number: CFP18OCF-DVD. DOI: 10.1109/OCEANSKOB.2018.8559359.

5. Kuzakov D., Lavrentiev M., Marchuk An. Determination of initial sea surface displacement at tsunami source by a part of wave profile // Ibid. 8 p. DOI: 10.1109/OCEANSKOB.2018.8559466.

6. Hayashi K., Vazhenin A., Marchuk An. Cloud-based pipelined nested tsunami modeling // Proc. of the 28 International Ocean and Polar Engineering Conference, Sapporo (Japan), June 10–15, 2018. P. 714–719.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Гусяков В. К. Математическое моделирование в задачах оценки цунамиопасности морских побережий // Пробл. информ. 2018, № 4. С. 7–24.

2. Гусяков В. К. Ground Zero: Мега-землетрясения – главная угроза безопасности морских побережий // Наука из первых рук. 2018, № 2/3 (78). С. 12–35.

3. Гусяков В. К. Цунамигенные процессы в субдукционных зонах Мирового океана // Сборник трудов международного симпозиума "Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере" (МСП–2018), Москва, 30 октября – 2 ноября 2018 г. С. 98–101.

4. Воронина Т. А. Восстановление источника цунами и выбор оптимальной системы наблюдения на основе метода г-решений для Ильяпель цунами 16 сентября 2015 г. // Труды 14-й Всерос. конф. "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики", Санкт-Петербург, 23–25 мая 2018 г. СПб.: ЛЕМА, 2018. С. 231–233.

Научно-популярные статьи

1. Гусяков В. К. Природные катастрофы в современном мире – взгляд из Юго-Восточной Азии // Наука в Сибири. 2018, № 9. С. 6–7.

Участие в конференциях и совещаниях

1. AOGS-EGU joint conference "New dimensions for natural hazards in Asia", Tagaytay (Philippines), February 4–8, 2018 – 1 доклад (Гусяков В. К.).

2. Международная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотogramметрия. Мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 24–27 апреля 2018 г. – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).

3. Japan Geoscience Union Meeting–2018, Chiba (Japan), May 20–24, 2018 – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).

4. 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO) Conference & Exhibition, Kobe (Japan), May 28–31, 2018 г. – 2 доклада (Марчук Ан. Г.).

5. 14-я Всероссийская конференция "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики", Санкт-Петербург, 23–25 мая 2018 г. – 1 доклад (Воронина Т. А.).

6. The 28th International Ocean and Polar Engineering Conference, Sapporo (Japan), June 10–15, 2018 – 1 доклад (Марчук Ан. Г.).

7. 18-й Всероссийский семинар "Геодинамика, геомеханика и геофизика", стационар "Денисова пещера", Алтайский кр., 23–28 июля 2018 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).

8. 36th General assembly of the European Seismological Commission (ESC), Valletta (Malta), September 2–7, 2018 – 1 доклад (Гусяков В. К.).

9. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г. – 6 докладов (Гусяков В. К., Марчук Ан. Г., Воронина Т. А., Сергеев В. А.).

10. 10-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 1 пленарный доклад (Марчук Ан. Г.).

11. 17-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 15–19 октября 2018 г. – 1 пленарный доклад (Марчук Ан. Г.).

12. 5-я Международная конференция "Функциональные пространства. Дифференциальные операторы. Проблемы математического образования", посвящ. 95-летию со дня рождения чл.-корр. РАН, акад. Европейской академии наук Л. Д. Кудрявцева, Москва, 26–29 ноября 2018 г. – 1 доклад (Воронина Т. А.).

13. Международный симпозиум "Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере" (МСП–2018), Москва, 30 октября – 2 ноября 2018 г. – 1 доклад (Гусяков В. К.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикации, индексируемые в базе данных Web of Science – 6

Публикации, индексируемые в базе данных РИНЦ – 10

Докладов на конференциях – 19, в том числе 2 пленарных

Кадровый состав лаборатории

Гусяков В. К.	зав. лабораторией	д.ф.-м.н.
Марчук Ан. Г.	в.н.с.	д.ф.-м.н.
Воронина Т. А.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
Амелин И. И.	н.с.	к.ф.-м.н.
Сергеев В. А.	м.н.с.	
Москаленский Е. Д.	м.н.с. 0.5 ст.	
Лысковская Е. В.	инженер 1-й кат.	
Калашникова Т. В.	ведущ. инженер	
Ляпидевская З. А.	ведущ. программист	
Зиновьев П. С.	инженер 1-й кат.	
Зиновьев П. С.	– молодой научный сотрудник	

Педагогическая деятельность

Воронина Т. А. – преподаватель СУНЦ НГУ

Руководство студентами

1. Ромахин И. Д. – бакалавриат НГУ, руководитель Марчук Ан. Г.
2. Патрушев В. А. – бакалавриат НГУ, руководитель Марчук Ан. Г.

Лаборатория геофизической информатики

Зав. лабораторией д.т.н. Ковалевский В. В.

Важнейшие достижения

Построение математической модели земной коры по данным метода приемной функции и ее верификация с применением математического моделирования и методов активной сейсмологии.

Построена существенно неоднородная 2D скоростная модель земной коры южного Прибайкалья по данным метода приемной функции с выделением в коде Р-волны обменных поперечных волн на основе двумерной сплайновой аппроксимации данных эксперимента PASSCAL. Разработаны параллельные алгоритмы и программы на основе конечно-разностных методов с реализацией на кластере НКС-30Т Сибирского суперкомпьютерного центра и проведено математическое моделирование полного вибросейсмического поля. Впервые получены теоретические (синтетические) сейсмограммы для разработанной модели эксперимента PASSCAL на профиле Байкал – Улан-Батор, которые показали преобладание в волновом поле прямых и рассеянных волн в отличие от отраженных, преломленных и головных волн для известных слоистых моделей земной коры. Показано хорошее согласование теоретических сейсмограмм с реально регистрируемыми, полученными методами активной сейсмологии, и вибросейсмическими данными, полученными ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН в Байкальском регионе.

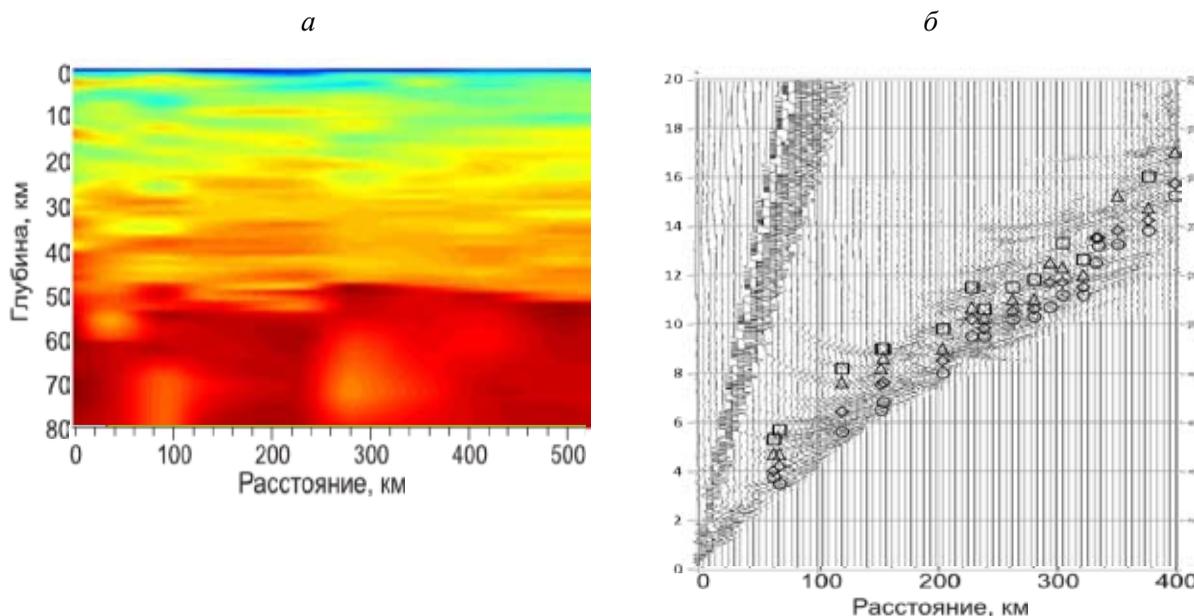


Рис. 1: Скоростная модель земной коры по результатам экспериментов PASSCAL (а); теоретические сейсмограммы для профиля Байкал – Улан-Батор с экспериментальными данными моментов вступлений волн (б)

Д.т.н. Ковалевский В. В., к.ф.-м.н. Караваев Д. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г.
в соответствии с планом НИР института**

Проект НИР 0315-2016-0003 "Математическое моделирование, численные методы и высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии для решения задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования Земли".

Номер государственной регистрации НИР 0120.0712227.

Научные 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, с точки зрения 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.

Проведено математическое моделирование полного вибросейсмического поля существенно неоднородной 2D скоростной модели земной коры южного Прибайкалья, построенной по данным эксперимента PASSCAL. Впервые получены теоретические (синтетические) сейсмограммы для разработанной модели на профиле Байкал–Улан-Батор. Показано хорошее согласование теоретических сейсмограмм с данными вибросейсмических исследований.

Разработаны и включены в состав программного комплекса V12 процедуры для поляризационного анализа сейсмических волн. Обработаны данные, полученные в ходе вибросейсмического мониторинга Байкальской рифтовой зоны с использованием виброисточника ЦВО-100. В общей сложности обработаны 24 трехкомпонентные вибрационные сейсмограммы, зарегистрированные сейсмостанцией Тырган (TIG) за период с 2005 по 2010 год. Определены коэффициенты линейности и направления главной оси эллипсоида поляризации сейсмических волн. Установлена связь вариаций параметров поляризации сейсмических волн с изменениями поля напряжений среды в результате мощного Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. В частности, угол поляризации в азимутальной плоскости начал отклоняться от среднего значения 120 ± 6 градусов приблизительно за полгода до землетрясения, достиг 135 градусов и вернулся к исходному значению через несколько месяцев после землетрясения.

Исследование проблемы взаимосвязи между геофизическими полями различной природы наряду с ее фундаментальным характером имеет практическое значение, обусловленное эффектами многократного нарастания геоэкологических рисков в результате взаимодействия полей, сопровождающих процессы излучения и распространения сейсмических и акустических волн. Значения геоэкологических рисков, оцениваемых удельной плотностью энергии волн, зависят от ряда природных и техногенных факторов, влияющих на процессы распространения и взаимодействия волн в земле и атмосфере. В качестве основных факторов изучены закономерности затухания волн инфранизких частот от вибратора ЦВ-40 по расстоянию в диапазоне дальностей до 100 км, оценено влияние метеополей на процесс пространственной фокусировки акустических колебаний с учетом таких факторов, как направление

и скорость ветра, температура и влажность окружающего воздуха. Рассмотрено влияние характеристик дневной поверхности земли (наличие снежного покрова, лесонасаждений) на параметры затухания инфранизкочастотных акустических колебаний. Количественные оценки многофакторного анализа получены с помощью численного моделирования и натурных экспериментов. С учетом полученных результатов построена интегральная многофакторная модель геоэкологических рисков в виде уравнения энергетического баланса.

Исследован подход к решению обратной задачи геофизики – определение положения объекта (каверны) и его геометрических параметров на основе применения нейронных сетей (НС) для анализа картины распространения волнового поля. Продемонстрировано применение метода и представлена возможная архитектура НС, а также приведены результаты проведенных экспериментов по ее реализации и обучению. Полученная в результате экспериментов модель показывает наличие "понимания" входных данных, демонстрируя ответы, приближенные к оригиналу. В ответах НС можно выделить зависимость между качеством ответа сети и количеством волн, прошедших через искомый объект среды.

Проведены работы по онтологическому инжинирингу предметной области "Активная сейсмология". Две базовые онтологии – научной деятельности и научного знания – расширены специфическими понятиями и классами. В соответствии с разработанной онтологией проведено расширение интернет-портала за счет включения новых классов и информационных объектов и связей между ними. База экспериментальных данных пополнена результатами экспериментов по вибросейсмическому зондированию на профиле Улан-Удэ – Улан-Батор. В электронную библиотеку НИС "Активная сейсмология" включен раздел "Отчеты", в котором размещены подробные отчеты по экспериментальным работам. Информационные объекты, размещенные в НИС "Активная сейсмология", описаны в портале и представлены гиперссылками. Актуальные информационные объекты (статьи, отчеты сторонних организаций, справочные материалы и т. п.) описаны в портале и также представлены гиперссылками. Через портал организованы навигация и содержательный доступ к информационным объектам без их физического слияния. Интернет-ресурс доступен по адресу <http://opg.sccc.ru/>.

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 – д.т.н. Хайретдинов М. С.

В целях повышения чувствительности акустооптического взаимодействия на инфранизких частотах теоретически обоснованы, разработаны и реализованы новые методы обнаружения инфразвука в атмосфере на основе анализа изменений временных и энергетических характеристик синхронных оптических потоков импульсов под модулирующим воздействием волнового фронта инфразвука, с одной стороны, и, с другой стороны, корреляции параметров молекулярного рассеяния ультрафиолетовых импульсов лазерного излучения с изменением концентрации молекул в инфразвуковой волне. Предложенный метод положен в основу созданного в рамках проекта оптического стенда. Параллельно создан аппаратный комплекс для прямой регистрации исходных внешних акустических колебаний в атмосфере и сейсмических колебаний на земной поверхности. Одновременно получаемые результаты прямых акустических и опосредованных акустооптических измерений позволяют

оценивать чувствительность акустооптического преобразования. С помощью созданного комплекса и программ высокоразрешающего спектрального и фазового анализа решается задача обнаружения в оптическом сигнале проходящих из атмосферы акустических колебаний. Показано, что созданные средства позволяют обеспечить достижимость определения в оптическом сигнале внешнего акустического поля с глубиной модуляции до 0.1 %. Полученный результат характеризует достижимость высокой потенциальной чувствительности акустооптического преобразования.

Проект РФФИ №18-47540006р_а "Разработка геоинформационной технологии оценивания экологических рисков техногенных шумов для социальной инфраструктуры города".

Руководитель – д.т.н. Хайретдинов М.С.

В интересах защиты среды обитания человека рассмотрена задача анализа шумопоглощения защитными лесонасаждениями в районах нахождения крупных транспортных магистралей. Такой анализ особенно важен по отношению к шумам на инфранизких частотах, наиболее опасных для человека. Выполнено численное моделирование распространения акустических волн в неоднородной среде, представленной моделью атмосфера – лесной массив – грунт. Разработаны и реализованы алгоритмы и их программная реализация с использованием технологии параллельного программирования OpenMP. Получены и представлены теоретические результаты модельных расчётов, отражающих ослабление шумовых полей в зависимости от параметров лесного массива, спектра шумов, расстояния. Представлены двухмерные снимки поля акустических волн. Разработанная программа ориентирована на использование для расчётов на SMP системах, а также на вычислительных устройствах типа Xeon Phi. В экспериментальной части работ получены спектры шумов от движущегося транспорта, проведен поляризационный анализ шумов, получены характеристики их затухания в зависимости от расстояния.

Проект РФФИ №16-07-01052-а "Разработка программно-алгоритмических средств поиска и анализа комплекса информативных факторов взаимодействия геофизических полей разной природы для прогнозирования разрушительных экологических рисков от природно-техногенных взрывов".

Руководитель – к.т.н. Воскобойникова Г. М.

В соответствии с планом проекта выполнено математическое моделирование процессов совместного распространения сейсмических и акустических волновых полей от инфранизкочастотного источника с учетом влияния следующих факторов: снежного покрова, растительного массива, рельефа местности. Для проведения расчетов реализованы программы расчета уровней давления акустических колебаний с учетом выбора параметров численной модели и задания граничных условий, приближенных к реальным условиям. Одновременно оценены уровни акустического давления и колебательной скорости сейсмических волн по экспериментально полученным данным удаленной регистрации обоих типов волн от сейсмического вибратора ЦВ-40. Получены теоретические и экспериментальные оценки соотношений обоих типов волн, доказывающие явно выраженную зависимость акустических и поверхностных сейсмических волн, степень связи между которыми определяется параметрами снежного покрова. С целью анализа роли растительного массива в понижении уровней акустических колебаний от взрывов на инфранизких частотах выполнено математическое 2D моделирование процессов распространения инфразвуковых акустических колебаний в нижней части атмосферы при наличии растительного массива с учетом вносимой при этом силы трения. Разработан алгоритм и реализована программа расчета уровней акустического

давления в разных средах с применением волнового уравнения для атмосферы, уравнений газовой динамики Эйлера для растительного покрова. В связи с решением задачи оценивания влияния разновысотного рельефа дневной поверхности земли на затухание акустических колебаний разработан алгоритм численного моделирования распространения акустических колебаний в условиях криволинейной границы раздела земля – атмосфера. С учетом высотных профилей плотности и скорости звука получены результаты численного моделирования, позволившие исследовать влияние рельефа местности на распространение инфразвуковых волн и эффект взаимодействия между волнами в системе литосфера – атмосфера. Показано влияние разновысотного рельефа земли на структуру волнового акустического поля в зависимости от соотношения длин волн от сосредоточенного источника, расположенного вблизи границы раздела, а также размеров неоднородности дневной поверхности.

Проект РФФИ № 17-57-45166 ИНД_а "Подход к обработке данных регистрации вибросейсмических волн и теоретического исследования сейсмических волн".

Руководитель – к.т.н. Знак В. И.

В рамках индо-российского проекта РФФИ исследована интеллектуальная обработка данных вибросейсмических исследований и оптимизация соответствующего процесса с привлечением мощностей Суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН. Развита технология привлечения мощностей Суперкомпьютерного центра для обработки сигналов порядковыми фильтрами. Произведен обзор обработки периодических сигналов порядковыми фильтрами и оценки их параметров и характеристик с привлечением кластерного анализа. Разработан алгоритм интерактивной оценки параметров и характеристик периодических сигналов с привлечением кластерного анализа. Развита технология привлечения графического интерфейса для целей обработки и анализа периодических сигналов.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Yakimenko A. A., Morozov A. E., Karavaev D. A. Practical aspects of using a neural network to solve inverse geophysical problems // *J. of Phys.: Conference Series*. Vol. 1015, iss. 3. May 22, 2018. Art. Nim. 032148. International conference on information technologiess in business and industry 2018 (ITBI 2018), Tomsk, Jan. 17–20, 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032148.
2. A. G. Fatyanov, V. Yu. Burmin. The focusing effect of P-wave in the Moon's and Earth's low-velocity core. Analytical solution // *Planetary and Space Sci.* Vol. 153 (2018). P. 100–106. DOI: 10.1016/j.pss.2018.01.002.
3. A.G. Fatyanov, V.Yu. Burmin. The P-wave focusing effect in a low-velocity core of the Earth: Analytical Solution // *Dokl. Earth Sci.* 2018. Vol. 478. Part. 1. P. 120–123. DOI: 10.1134/S1028334X1801021X.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Voskoboynikova G., Karavaev D., Kovalevsky V., Khairtdinov M. Mathematical simulation of acoustic waves propagation through forest layer onto ground // 2018 AIP Conf. Proc. 10th Intern. conference for promoting the application of mathematics in technical and natural sciences "AMiTaNS'18", June 20–25, 2018. Vol. 2025. 040017. DOI: 10.1063/1.5064901.
2. V. Prigarin, V. Protasov, E. Berendeev, D. Karavaev, A. Serenko, V. Nenashev, I. Ulyanichev, I. Kulikov, I. Chernykh, A. Tutukov. A new intel xeon phi accelerated hydrodynamic code for numerical simulations of interacting galaxies // *J. of Phys.: Conference series*. Workshop on

numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes. Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Novosibirsk, Oct. 11–12, 2018. Vol. 1103, iss. 1. Код 141584. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012010.

3. Znak V., Karavaev D., Titov P. Order filters: Some aspects of the intelligent processing of vibroseismic research data as periodic signals and optimization of their performance // Saint Petersburg 2018: Innovations in Geosciences �, Time for Breakthrough 2018. 8th Saint Petersburg International conference and exhibition: Innovations in geosciences – Time for breakthrough; Saint Petersburg, Apr. 9–12, 2018. Код 137602. DOI: 10.3997/2214-4609.201800112.

4. Fatyanov A. Express method for extraction the scattered component by means of regularization // 20th Science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development "GEOMODEL", 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802309.

5. Khairetdinov M. S., Poller B. V., Britvin A. V., Sedukhina G. F., Mashnikov D. Y. The vibrational method for studying acoustooptic interaction at infralow frequencies // Proc. of the 14-th Intern. scientific technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018), Novosibirsk, Oct. 2–6, 2018. V. 1. Part 4. P. 442–446. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8546174.

6. Karavaev D. A., Kovalevsky V. V. A technique for large-scale 2D seismic field simulations on supercomputers // Ibid. P. 110–114. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545842.

7. Khairetdinov M. S., Voskoboynikova G. M., Kovalevsky V. V. Mathematical simulation of infrasonic waves propagation through vegetation into ground // Ibid. P. 118–122. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545912.

8. Khairetdinov M.S., Yushin V.I., Voskoboynikova G.M. Restoration of borehole source coordinates and parameters of the near wellbore environment. // Ibid. P.447–450. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8546148.

9. Kovalevsky V. V., Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P. Scientific infrastructure for the support studies the geodynamic process in the seismic prone zones // Ibid. P. 451–456. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545138.

10. Morozov A. E., Yakimenko A. A., Karavaev D. A. Features of the neural network for determining the position and geometric characteristics of cavernous inclusions // Ibid. P. 492–495. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8546252.

11. Pinigina D. L., Yakimenko A. A. Features of the application of the seismic events localization algorithm for structure recovery of the geophysical model of the environment // Ibid. P. 516–518. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545650.

13. Yakimenko A. A., Belov A. I., Goncharuk P. S., Stubarev I. M. Development platform for controlling the infrastructure of the internet of things // Ibid. P. 572–578. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545837.

12. Якименко А. А., Романов Е. Л., Трошина Г. В. Software engineering for industry specialists // Proc. of the 4th Inter. technologies in engineering education, Moscow, Oct. 23–26, 2018. Moscow: IEEE, 2018. P. 222–225. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581741.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Хайретдинов М. С., Агафонов В. М., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М. Многофакторный метод геоэкологоохранного прогнозирования. В кн.: Интеллектуализация обработки информации. Тез. докл. 12-й Междунар. конф. "Интеллектуализация обработки информации", Москва (Россия) – Гаэта (Италия), 8–12 окт. 2018 г. С. 174–177. DOI: 10.30826/IDP201880 <https://elibrary.ru/item.asp?id=36370451>.

2. Воскобойникова Г. М., Караваев Д. А., Ковалевский В. В. Анализ условий и результатов распространения акустических колебаний сквозь пронцаемое препятствие (растительный массив) // Тез. докл. 9-й Всерос. конф. с междунар. участием "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященной памяти акад. А. Ф. Сидорова. Абрау-Дюрсо, 3–8 сент. 2018 г., С. 22–23.

3. Ефимов С. А. Количественный анализ местоположения землетрясений методами волновой сейсмоки // 14-й Междунар. науч. конгр. Интерэкспо ГЕО-Сибирь., Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. Т. 1. С. 202–201.

4. Ефимов С. А. Качественный анализ карьерного взрыва, как источника сейсмических волн // Там же. Т. 1. С. 195–201.

5. Воскобойникова Г. М., Хайретдинов М. С. Распространение акустических волн сквозь пронцаемые препятствия // Там же. Т. 2. С. 76–86.

6. Dobrorodny V. I., Sedukhina G. F., Khairtdinov M. S. Combined seismoacoustic location in the problem of the geo-ecological monitoring of the natural medium // Там же. Т. 1. С. 168–177.

7. Khairtdinov M. S., Poller B. V., Britvin A. V., Mashnikov D. Y. Acoustooptic interaction on low frequencies. // Там же. Т. 1. С. 158–167.

8. Якименко А. А., Караваев Д. А., Морозов А. Е. Опыт использования нейронной сети для определения местоположения и геометрических характеристик кавернозных включений // Там же. Т. 2. С. 3–9.

9. Григорюк А. П., Ковалевский В. В., Брагинская Л. П. Исследование поляризации сейсмических волн при вибротсейсмическом мониторинге // Там же. Т. 2. С. 10–16.

10. Ковалевский В. В., Фатьянов А. Г., Караваев Д. А., Терехов А. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П. Математическое моделирование и экспериментальные исследования вибротсейсмических волновых полей в Южном Прибайкалье // Там же. Т. 2. С. 26–36.

11. Воскобойникова Г. М., Хайретдинов М. С. Распространение акустических волн сквозь пронцаемые препятствия // Там же. Т. 2. С. 76–86.

12. Караваев Д. А. Алгоритм и программы моделирования двухмерных сейсмических полей и их практическое применение // Там же. Т. 2. С. 112–121.

13. Мартынов В. Н., Глинский Б. М., Караваев Д. А., Сапетина А. Ф. Моделирование вибротсейсмического мониторинга вулканических структур // Там же. Т. 2. С. 122–132.

14. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В. Информационная и аналитическая поддержка научных исследований в активной сейсмологии // Пробл. информ. 2018. № 4 (41). С. 60–69.

15. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф. Вибротсионная технология активного мониторинга в изучении взаимодействия геофизических полей // Там же. С. 47–59.

16. Добродородный В. И., Седухина Г. Ф., Хайретдинов М. С. Сейсмоакустическая локация взрывных источников // Материалы 14-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Респ. – Алматы, 20 июля – 31 июля 2018 г. Ч. 1. С. 207–214.

17. Хайретдинов М. С., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Якименко А. А. Вибротсионная технология изучения взаимосвязей геофизических полей // Там же. Ч. 2. С. 115–120.

Прочие издания

1. Khairtdinov M. S., Voskoboinikova G. M. Information computational technology in problem of geophysical monitoring // Information innovative technologies: Materials of the Intern. scientific-practical conf., Prague (Czech Republic), April 23–27, 2018. P. 367–374.

2. Voskoboinikova G. M., Khairtdinov M. S. Simulation of interaction of acoustic oscillations with forest // Information innovative technologies: Materials of the Intern. scientific-practical conf., Prague (Czech Republic), April 23–27, 2018. P. 425–430.

3. Хайретдинов М. С., Караваев Д. А., Якименко А. А. Восстановление скоростных моделей 2D и 3D сред в задачах мониторинга зон подземных ядерных взрывов // Материалы 3-й Междунар. науч. конф. "Информатика и прикладная математика", посвящ. 80-летию проф. Р. Г. Бияшева и 70-летию проф. М. Б. Айдарханова, Алматы (Казахстан), 26–29 сент. 2018 г. Ч. 1. С. 318–328.

4. Хайретдинов М. С., Якименко А. А., Караваев Д. А. Алгоритмы и результаты восстановления скоростной модели 2-D - 3-D сред в задачах мониторинга зон подземных ядерных взрывов // Вестн. Нац. ядерного центра Респ. Казахстан. 2018. Вып. 2 (74). С. 64–68.

5. Хайретдинов М. С., Остапкевич М. Б., Минахудинов Р. Ф. Реализация алгоритмов точной свертки с применением технологии программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) // Там же. С. 49–53.

6. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Ковалевский В. В., Седухина Г. Ф., Якименко А. А. Сейсмоакустические волны сейсмовибраторов в системе литосфера – атмосфера // Там же. С. 44–48.

Участие в конференциях и совещаниях

1. International Scientific-Practical conference "Information innovative technologies", Prague (Czech Republic), April 23–27, 2018 – 3 доклада, из них 1 пленарный (Khairtdinov M. S., Voskoboinikova G. M.).

2. 10th International conference for promoting the application of mathematics in technical and natural sciences AMiTaNS 2018, Albena (Bulgaria), June 20–25, 2018 – 1 доклад (Voskoboinikova G., Karavaev D., Kovalevsky V., Khairtdinov M.).

3. 12-я Международная конференция "Интеллектуализация обработки информации", Москва (Россия) – Гаэта (Италия), 8–12 октября 2018 г. – 1 доклад (Хайретдинов М. С., Агафонов В. М., Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М.).

4. 8-я Международная геолого-геофизическая конференция и выставка "Санкт-Петербург 2018. Инновации в геонауках – время открытий", 9–12 апреля 2018 – 1 доклад (Знак В. И., Караваев Д. А.).

5. 5th International conference on big data analysis & data mining, Rome (Italy), June 20–21, 2018 – 3 доклада (V. Znak, D. Karavaev, P. Titov).

6. 10-я Международная конференция "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Алматы (Казахстан), 6–10 августа 2018 г. – 3 доклада (Хайретдинов М. С., Якименко А. А., Караваев Д. А., Воскобойникова Г. М., Ковалевский В. В., Седухина Г. Ф.).

7. 3-я Международная научная конференция "Информатика и прикладная математика", Алматы (Казахстан), 26–29 сентября 2018 г. – 1 доклад (Хайретдинов М. С., Караваев Д. А., Якименко А. А.).

8. 14-я Международная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2018)", Новосибирск, 2–6 октября 2018 г. – 8 докладов (Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Караваев Д. А., Хайретдинов М. С., Седухина Г. Ф., Якименко А. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

9. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексева, Марчуковские научные чтения – 2018, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 9 докладов (Ковалевский В. В.,

Воскобойникова Г. М., Караваев Д. А., Хайретдинов М. С., Седухина Г. Ф., Якименко А. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

10. 14-й Междунар. научн. конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018": Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", г. Новосибирск, 24–27 апреля 2018 г. – 11 докладов (Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Караваев Д. А., Хайретдинов М. С., Седухина Г. Ф., Якименко А. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ефимов С.А.).

11. International Conference on Information Technologiess in Business and Industry 2018, ITBI 2018; Tomsk Polytechnic University Tomsk; Russian Federation; January 17–20, 2018 – 1 доклад (Якименко А. А.).

12. 9-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики" с международным участием, п. Абрау-Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г. – 1 доклад (Воскобойникова Г. М., Караваев Д. А., Ковалевский В. В.).

13. 4th International technologies in engineering education, Moscow, Oct. 23–26, 2018 – 1 доклад (Якименко А. А.).

14. 12-я Российско-монгольская международная конференция по астрономии и геофизике "Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика", Иркутск, 1–5 октября 2018 г. – 2 доклада (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Фатьянов А. Г., Караваев Д. А.).

15. 14-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", 20–31 июля 2018 г., оз. Иссык-Куль (Кыргызская Республика) – 2 доклада (Хайретдинов М. С, Ковалевский В. В., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф, Якименко А. А.).

Участие в организации конференций

1. Хайретдинов М. С. – член программного комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", 20–31 июля 2018 г., оз. Иссык-Куль (Кыргызская Республика);

2. Ковалевский В. В.:

– член программного комитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.

– член программного комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", 20–31 июля 2018 г., оз. Иссык-Куль (Кыргызская Республика);

– член программного комитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 3.

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 16.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 19.

Докладов на конференциях – 48, в том числе 1 пленарный.

Участников оргкомитетов конференций – 4.

Кадровый состав

1. Ковалевский В. В.	зав. лаб.	д.т.н.
2. Хайретдинов М. С.	г.н.с., 0.6 ст.	д.т.н.
3. Знак В. И.	с.н.с., 0.25 ст.	к.т.н.
4. Григорюк А. П.	н.с., 0.6 ст.	
5. Ефимов С. А.	н.с., 0.2 ст.	
6. Седухина Г. Ф.	н.с., 0.6 ст.	
7. Воскобойникова Г. М.	н.с.	к.т.н.
8. Караваев Д. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
9. Якименко А. А.	н.с., 0.25 ст.	к.т.н.
10. Борисов В. В.	ведущ. инженер, 0.5 ст.	
11. Брагинская Л. П.	ведущ. программист, 0.6 ст.	
12. Кайсина Н. В.	ведущ. инженер, 0.2 ст.	
13. Иванова И. Н.	ведущ. инженер, 0.6 ст.	
14. Макаров В. А.	ведущ. инженер-электроник, 0.5 ст.	

Караваев Д. А., Якименко А. А. – молодые научные сотрудники.

Педагогическая деятельность

Хайретдинов М. С.	– профессор НГТУ.
Якименко А. А.	– доцент НГТУ.

Руководство аспирантами

1. Грищенко М. В.	– аспирант ИВМиМГ, 2-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Добrorодный В. И.	– аспирант ИВМиМГ, 2-й год, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Машников Д. Я.	– аспирант ИВМиМГ, 1-й год, руководитель Хайретдинов М. С.

Руководство студентами

1. Лазарева А. В.	– 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Минахутдин Р. Ф.	– 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Чендыева Я. А.	– 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
4. Голощапова Д. П.	– 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
5. Копылова О. А.	– 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
6. Перминов Е. В.	– 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
7. Булатов А. Д.	– 4-й курс бакалавриата НГТУ, руководитель Якименко А. А.
8. Дементьев А. А.	– 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
9. Станкевич А. И.	– 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
10. Барсуков Д. Р.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
11. Булатов А. Д.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
12. Ильин А. А.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
13. Котович Н. И.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
14. Левчук С. А.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
15. Лыков А. С.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
16. Макфузова А. И.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
17. Паршин С. Е.	– 1-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
18. Морозов А. Е.	– 2-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
19. Омельяненко Е. А.	– 2-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
20. Пинигина Д. Л.	– 2-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.
21. Чуприн К. В.	– 2-й курс, магистратуры НГТУ, руководитель Якименко А. А.

Лаборатория обработки изображений

Зав. лабораторией д.т.н. Пяткин В. П.

Важнейшее достижение

Метод восстановления изображений трехмерных объектов в спектральной позитронной эмиссионной томографии с учетом комптоновского рассеяния.

Д.ф.-м.н. Казанцев И. Г.

Рассматривается задача восстановления изображений по проекциям, регистрируемым детекторами высокого спектрального разрешения. На рис. 1,а показана модель эмиссионной томографии на паре прямых (нерассеянных, "первичных") фотонах u и v с энергией $E = 511$ кэВ, разлетающихся из точки аннигиляции C в результате столкновения позитрона, испускаемого изотопом активности f , с одним из свободных электронов среды μ . С улучшением спектрального разрешения детекторов появляется возможность регистрации фотонов с меньшими энергиями $E' < E$, претерпевших комптоновское рассеяние (рис. 1,б), т. е. некогерентное отклонение на угол θ , вычисляемый из соотношения Комптона $E' = E/(2 - \cos\theta)$.

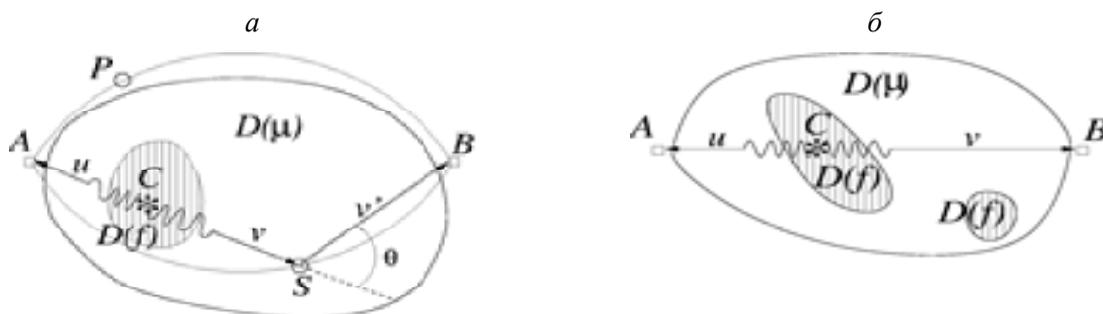


Рис. 1: Модели позитронной эмиссионной томографии:
а – геометрическая модель на первичных фотонах; б – модель
комптоновского рассеяния фотона v в точке S под углом θ

Получена и исследована формула вычисления потока фотонов, рассеянных с углом θ , регистрируемых детектором В при условии, что в А попали первичные фотоны:

$$\xi_{\theta}(A, B) = \int_0^{\theta} d\phi \cos \phi \cos(\theta - \phi) \int_0^{2\pi} d\psi \frac{\mu(\psi, \phi, |AS|)}{\sigma_c} \frac{\partial \sigma_c}{\partial \Omega} \cdot e^{-\left(\int_A^S \mu dl + \int_S^B \mu' dl\right)} \cdot \int_0^{|AS|} f(\psi, \phi, r) dr$$

Здесь S – точка, в которой происходит комптоновское рассеяние; $\partial \sigma / \partial \Omega$ – дифференциальное поперечное сечение рассеяния; штрихом отмечено значение величины после рассеяния; (ψ, ϕ, r) – сферические координаты.

Для проверки формул проведены вычислительные эксперименты с полным углом обзора и фантомом размером $256 \times 256 \times 256$, состоящим из 7 больших и 11 малых сфер (рис. 2), служащих носителем функции активности $f = 1$, помещенных в воду с постоянным коэффициентом ослабления $\mu = 0,096$ см. Сгенерированы 1000 проекций в случайно выбранных направлениях для угла рассеяния $\theta = 30^\circ$. Доказано, что при необременительных ограничениях восстановление может быть произведено с использованием алгоритма обращения послыонного лучевого преобразования Радона. Эксперименты позволяют сделать вывод, что многоспектральная информация, содержащаяся в данных рассеяния, может быть успешно использована наравне с традиционным монохроматическим излучением.

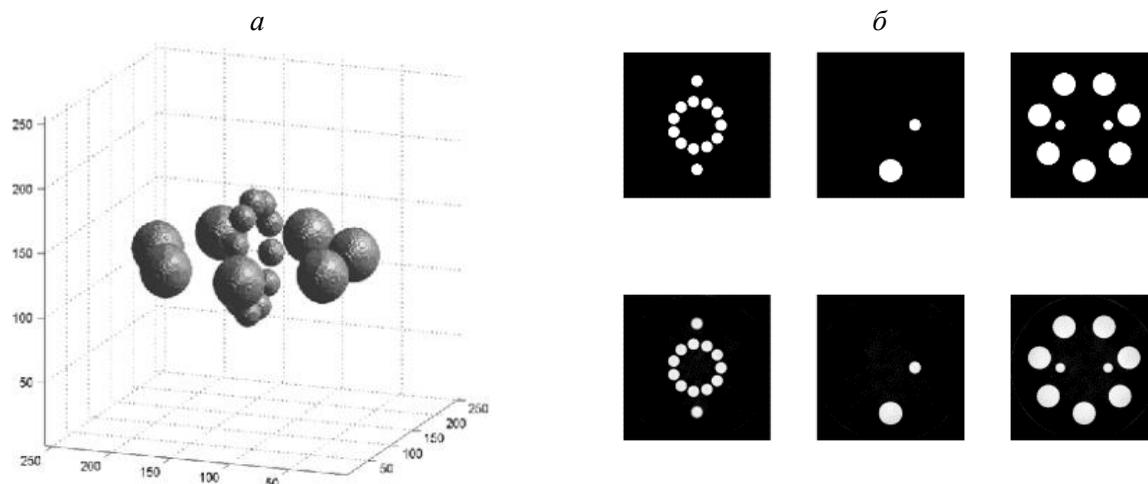


Рис. 2: Результаты вычислительных экспериментов:
 а – цифровой фантом $256 \times 256 \times 256$; б – три сечения фантома (верхний ряд),
 сечения реконструкции по 1000 проекций (нижний ряд)

Рассматриваемый подход может быть применен в задачах улучшения разрешения на много-спектральных данных, используемых в сканерах эмиссионной томографии.

Результаты исследований опубликованы в работе

Kazantsev I. G., Olsen U. L., Poulsen H. F., Hansen P. C. A spectral geometric model for Compton single scatter in PET based on the single scatter simulation approximation // Inverse Problems. 2018. Vol. 34, N 2. Paper 024002. DOI: 10.1088/1361-6420/aaa05d.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г. в соответствии планом НИР института

Проект НИР № 0315-2016-0003 "Математическое моделирование, численные методы и высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии для решения задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования Земли".

Номер государственной регистрации НИР 01201370226.

Руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Блок 2. 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 к вновь создаваемым 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 2018 г. Разработка библиотеки решения задач обработки и анализа данных ДЗЗ на гибридном высокопроизводительном кластере с узлами, оснащенными несколькими графическими ускорителями. Адаптация разработанной системы нечеткой кластеризации данных ДЗЗ к данным гиперспектральных сканеров. Разработка и реализация итерационных алгоритмов восстановления внутренней структуры грязевого вулкана. Разработка двух программ для задач скорейшего обнаружения на трех и пяти зашумленных изображениях зарегистрированных в результате экспозиции треков (следов) объекта-цели, движущегося прямолинейно к центру важного объекта. Разработка и реализация облачного Web-сервиса для решения прикладных задач ДЗЗ. Визуализация макетного четырехмерного рельефа, созданного на основе четырехмерного многогранника – 4D-кубов. Исследование и разработка алгоритмов оценки соответствия карт кластеризации и реальных данных.

В рамках работ по высокопроизводительной обработке спутниковых данных получила развитие разрабатываемая в лаборатории библиотека обработки изображений на высокопроизводительных ЭВМ SSCCIP. Актуальность данных исследований определяется потребностью в обработке интенсивного потока спутниковых данных в реальном времени и отсутствием соответствующих средств в программном обеспечении суперкомпьютерных центров. Выполнено расширение библиотеки операциями обработки на вычислительных узлах, оснащенных несколькими графическими ускорителями. Расширение выполнено посредством использования введенных на предыдущем этапе новых возможностей по обработке multi-GPU библиотеки обработки изображений на GPU SSCCGPU и сохраняет подход библиотеки SSCCIP к:

- 1) сокрытию параллелизма и использования GPU от пользователей за "последовательным" интерфейсом библиотеки;
- 2) организации кода как технологического каркаса, упрощающего расширение библиотеки новыми алгоритмами;
- 3) минимизации накладных расходов на рост уровня абстракции модели вычислений посредством механизма шаблонов C++;
- 4) переносимости кода библиотеки.

Разработка библиотеки ведется на гибридном кластере ССКЦ НКС-30Т+GPU, получаемые результаты позволят расширить состав программного обеспечения суперкомпьютерных центров и облегчить использование трудоемких вычислительных алгоритмов в прикладных дистанционных исследованиях.

Выполнена адаптация разработанной ранее системы нечеткой кластеризации многоспектральных данных ДЗЗ к данным гиперспектральных сканеров. Известно, что гиперспектральная съемка (с количеством спектральных диапазонов больше 100), при которой спектральные диапазоны каналов съемочной аппаратуры покрывают некоторый диапазон электромагнитного спектра, обеспечивает получение данных, обладающих большей информативностью по сравнению с мультиспектральными данными. Вместе с тем обработка гиперспектральных данных требует значительных вычислительных ресурсов. До недавнего времени при обработке данных гиперспектральной съемки либо разрабатывались более простые с вычислительной точки зрения, но менее "точные" алгоритмы (например классификатор спектрально-углового картирования, использующий только статистики первого порядка), либо уменьшалась размерность пространства измерений до значений, присущих многоспектральным данным (как правило, посредством выделения главных компонент, которое, являясь линейным преобразованием, может приводить к разрушению нелинейных связей между векторами признаков). В рамках настоящего проекта выполнена адаптация

а



б

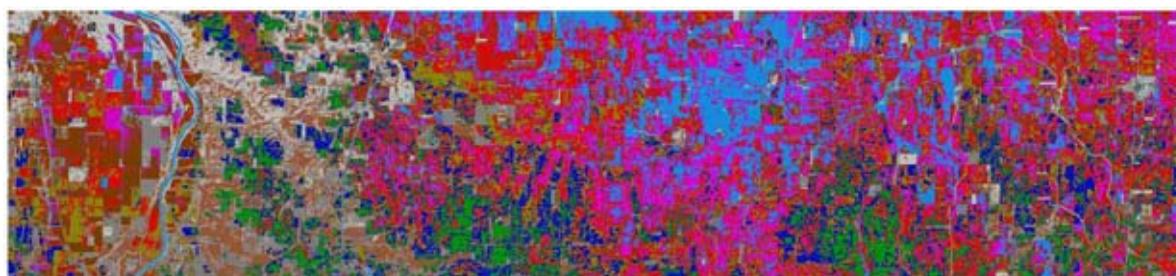


Рис 3: Работа алгоритма С-средних на гиперспектральных данных:
 а – спектросовмещенное изображение каналов № 1, 23, 59 из набора данных, полученных 224-канальным спектрометром AVIRIS; б – кластерная карта, полученная в результате выделения 10 кластеров с помощью алгоритма С-средних

реализованного ранее в рамках создания программного комплекса по обработке многоспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) PlanetaMonitoring алгоритма С-средних нечеткой кластеризации к векторам измерений с размерностями, присущими гиперспектральным сканерам.

Результаты вычислительных экспериментов представлены на рис. 3. Получаемые карты кластеризации имеют как самостоятельное значение, так и могут быть использованы для построения сигнатур классов в контролируемой классификации Байеса.

Разработанная программная система может быть использована в программных комплексах тематической обработки данных ДЗЗ. Она включена в состав развиваемого в лаборатории программного комплекса обработки данных ДЗЗ PlanetaMonitoring, предназначенного для обработки информации как с низкоорбитальных, так и с геостационарных спутников Земли. Данный программный комплекс рекомендуется для внедрения в практику научной и производственной деятельности центров приема и обработки спутниковых данных. В настоящее время комплекс внедрен в НИЦ "Планета" (Москва).

Выполнялись исследования итерационных алгоритмов для решения задачи восстановления внутренней структуры грязевого вулкана. Геометрия сбора геофизических данных вибропросвечивания вулкана позволяет моделировать задачу восстановления скоростных профилей приповерхностных объемов в виде преобразования Радона в полосу. Однако количество отсчетов (5 источников и 37 детекторов), использованных при просвечивании вулкана, недостаточно для обеспечения качественной реконструкции при применении аналитических линейных методов обращения преобразования Радона. Предложено использовать метод итерационного решения системы линейных алгебраических уравнения ART-TV, минимизирующий полную вариацию изображения и позволяющий улучшать качество реконструкции изображения в условиях неполноты данных. Результаты предварительных

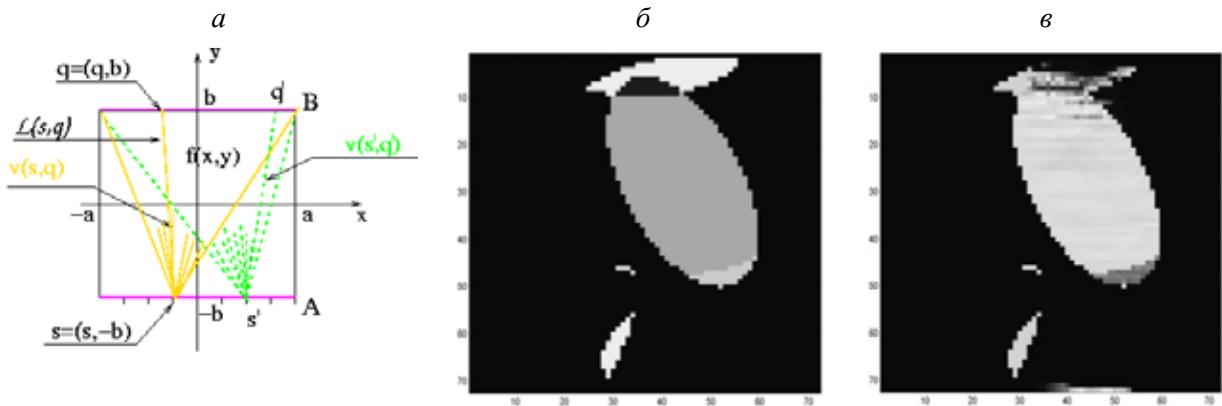


Рис. 4: Результаты предварительных численных экспериментов:
 а – геометрия сбора данных: на стороне А находятся источники, на стороне В – приемники; б – тестовое изображение кусочно-постоянной функции активности размером 72×72 пикселя; в – результат восстановления 50 итерациями ART и 20 итерациями TV по 72 усеченным верным проекциям

численных экспериментов по применению алгоритма ART-TV к обращению преобразования Радона в полосе показаны рис. 4.

Получен новый последовательный векторный непараметрический статистический критерий для задачи скорейшего обнаружения по совокупности зашумленных изображений треков (следов) объектов-целей, движущихся прямолинейно к заданной точке (центру охраняемого объекта), имеющей важное значение для проблемы охраны объектов. Зачастую вероятностные характеристики сигнала в точках области следа объекта-цели и фона неизвестны наблюдателю и могут изменяться. Для подобной ситуации необходимы непараметрические алгоритмы обнаружения – алгоритмы, которые не зависят от вероятностных законов, по которым распределены значения упомянутых сигналов. Рассматриваемая задача обладает естественной симметрией и сводится к обнаружению трека по одному направлению: на каждом изображении наблюдения выполняются одновременно последовательно вдоль луча (полосы), исходящего из точки-центра, шириной, близкой к ширине следа ожидаемого объекта, в точках, принадлежащих области самой полосы, и в точках по обе стороны от полосы симметрично. В отчетный период разработана форма универсального последовательного непараметрического статистического алгоритма, пригодного для произвольной совокупности изображений. Алгоритм является векторным с размерностью, равной числу изображений плюс 1. Отдельные последовательные непараметрические алгоритмы числом, равным числу изображений, решают задачу скорейшего обнаружения отдельно на каждом изображении, поскольку нельзя не учитывать случай, когда след объекта может проявиться на единственном изображении. Еще один последовательный непараметрический алгоритм предназначен для обнаружения по всей совокупности изображений. Чем больше изображений, на которых проявился след объекта, тем эффективнее работа данного алгоритма. В настоящее время разрабатывается программа для полного построения алгоритма и анализа его работы.

Разработан макет облачной SaaS-технологии жесткой кластеризации спутниковых данных методом К-средних. Для использования в качестве вычислительного ядра системы создан автономный вариант программы жесткой кластеризации данных ДЗЗ. Пример сеанса работы с Web-интерфейсом технологии представлен на рис. 5.

а

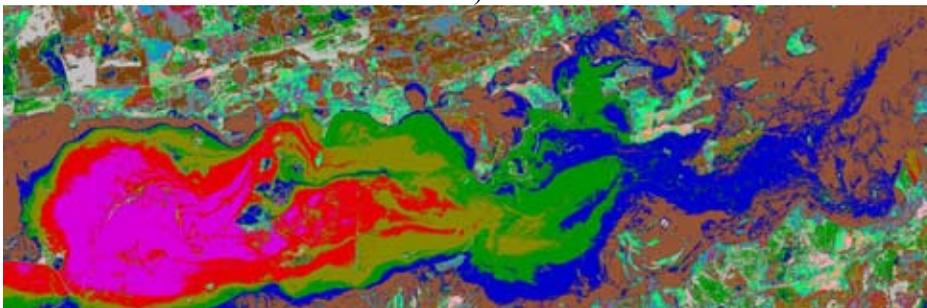
№	Параметры	Параметр	Значение
1	Имя файла в формате BMP, содержащего данные для обработки с различными типами векторов кластерной см. 1 до 4.	Input file	52_170511_0437_18m_ban043.bmp
2	Имя файла в формате BMP, в котором будет сохранен результат обработки.	Output file	52_170511_0437_18m_ban043_res.br
3	Минимальные допустимые части кластеров	Ka	0.5
4	Тип метрики для определения расстояния между центрами кластеров (Евклидова 3-мерная метрика / Евклидова 2-мерная метрика / Манхэттенская метрика)	Metric_Type	1
5	Способ выбора начальных центров кластеров	Center_Type	1
6	Способ задания центров кластеров	Distance_Centers	1
7	Порог ширины для кластеризации векторов	Distance_M	+1
8	Количество итераций	Iterations	10
9	Плотность вычислений	Density	0.000001
10	Название папки формирования файла статистики	Statistics file	1

Запустить программу

б



в



г

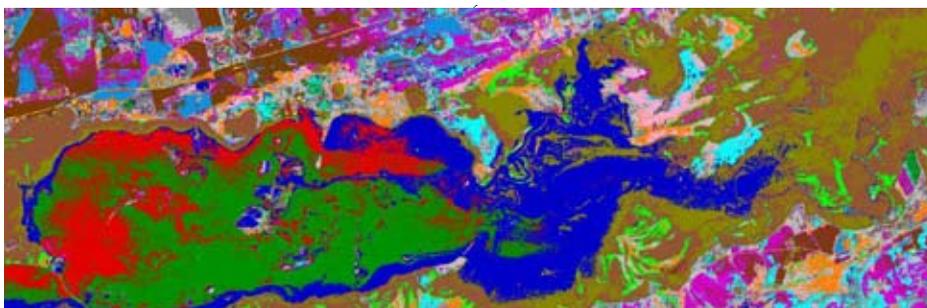


Рис. 5: Пример сеанса работы с Web-интерфейсом:

а – скриншот формы интерфейса конфигурирования алгоритма, задающего выделение 15 класте-ров; б – исходное изображение паводка в Тюменской обл. (спутник Sentinel-2, разрешение 10 м., 11.05.2017); в – результат кластеризации с использованием метрики Евклида; г – результат кластеризации с использованием метрики Махаланобиса

В рамках продолжающихся работ по визуализации четырехмерных объектов, развивающих масштабируемую модель четырехмерного рельефа, в основе которой – решения уравнений Пуассона, построена плоская развертка четырехмерного куба, служащая алгоритмической базой визуализации макетного четырехмерного рельефа. На разработанный в процессе исследований способ представления границы четырехмерного тела представлена заявка на изобретение.

Для оценки соответствия карт кластеризации и реальных данных предложено использовать каппу Коэна – меру согласованности между двумя категориальными переменными. В применении к данной задаче рассматривается таблица сопряженности между кластерной картой и реальными данными $\{n_{ij}\}$, где n_{ij} – число пикселей "реального" кластера i , отнесенного кластеризацией к классу j , $\sum_{j=1}^S n_{ij} = m_i$, $\sum_{i=1}^S n_{ij} = n_j$, $\sum_{i=1}^S m_i = n$. Каппа Коэна определяется как $k = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$, где $P_e = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^S n_i m_i$ – ожидаемая вероятность случайной согласованности, а $P_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^S n_{jj}$ – наблюдаемая согласованность между кластерной картой и реальными данными. Для полностью согласованной кластеризации $k = 1$, при $k > 0,75$ согласованность считается высокой, при $0,4 < k < 0,75$ – хорошей, иначе – плохой.

На рис. 6 представлено применение данного подхода к оценке точности развиваемого коллективом лаборатории делимого иерархического гистограммного алгоритма кластеризации по унимодальным кластерам: достигнута высокая согласованность кластеризации и реальных данных.

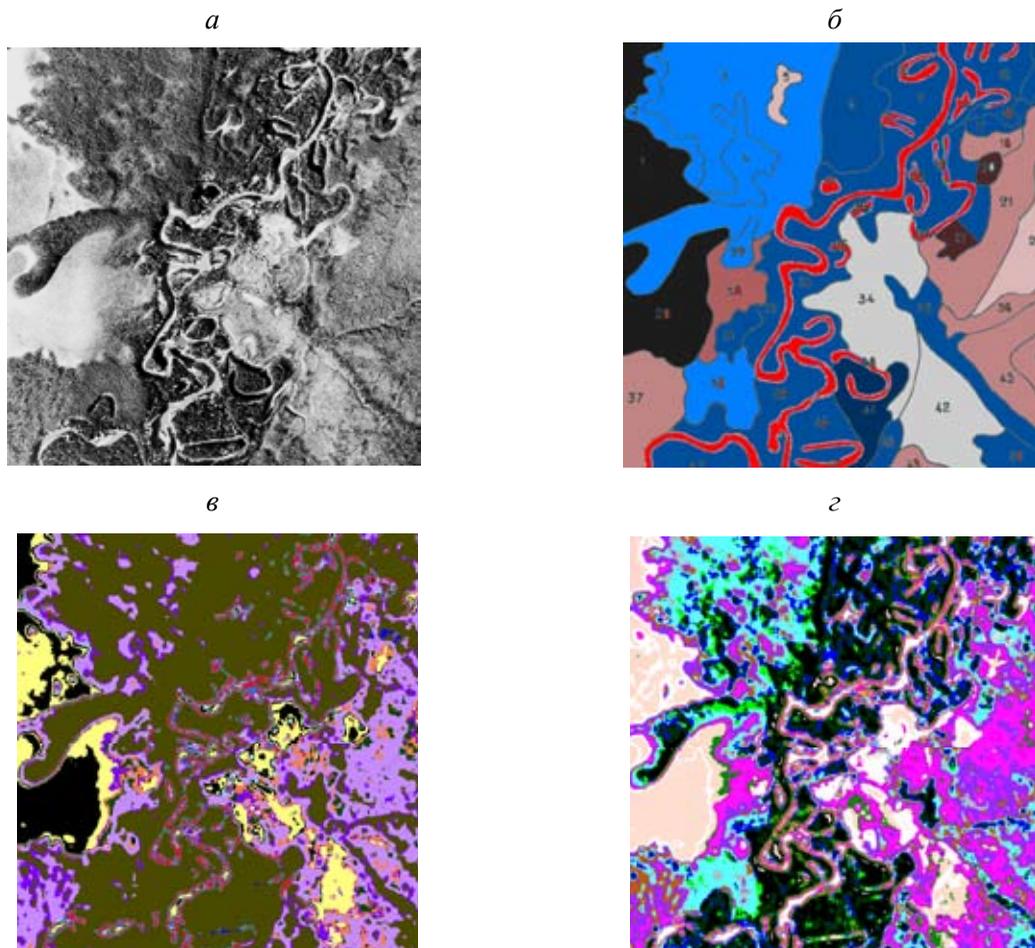


Рис. 6: Применение подхода:

а – исходный снимок; *б* – карта наземной таксации лесного покрова (представлена лесоводами);
в – кластерная карта (7 уровней иерархии); *г* – кластерная карта (14 уровней иерархии; $k = 0.83$)

Поддерживался сервер лаборатории <http://loi.ssc.ru>.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 16-07-00066 "Исследование и разработка эффективных методов, алгоритмов и программных технологий обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли, получаемых сканерами различного спектрального и пространственного разрешения".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Создана высокопроизводительная технология классификации гиперспектральных данных ДЗЗ на основе алгоритма оптимальной проекции подпространства (ОПП) с использованием модели параллельного программирования OpenMP под управлением ОС Windows. Исследована точность быстрой модели измерений прибора МСУ-МР КА Метеор М № 2. Разработаны статистические методы комплексирования спектральной информации на основе сведения задачи к обнаружению одновременных скачков на многомерном сигнале, составленном из одномерных сигналов, представленных сечениями изображения в областях, определенными данными томографического сканирования. Выполнены усложнение прямой задачи формирования спектральных проекции с учетом физической и статистической зависимости между каналами и модификация итерационных методов начиная от случая независимых спектров до более сложных принципов присутствия информации от одного канала в другом. Установлена управляемость полученного ранее нового непараметрического статистического критерия для проверки однородности двух совокупностей случайных величин (двух выборок), альтернативного известному критерию Вилкоксона – Манна – Уитни; получен новый последовательный эффективный алгоритм скорейшего обнаружения в последовательности зашумленных изображений неизвестного заранее момента появления сравнительно неподвижного малоразмерного объекта, а также последовательный статистический алгоритм обнаружения объекта, движущегося прямолинейно с постоянной известной скоростью к заданной важной точке (центру охраняемого объекта). Разработаны алгоритмы поддержки технологии визуализации гиперпространства. Поддерживался Web-сайт проекта <http://loi.sccc.ru/labweb/Lab/RFFI2016-2018/RU/main16.html>. Представлен заключительный отчет.

ФЦП "Федеральная космическая программа России на 2016–2025 гг."

Проект в рамках хоздоговорных работ с Научно-исследовательский центром "Планета" (Москва) "Разработка автоматизированного программного комплекса внешней калибровки и валидации информационных продуктов аппаратуры МТВЗА-ГЯ космических аппаратов серии "МЕТЕОР-М".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Разработан программный комплекс внешней калибровки и валидации информационных продуктов аппаратуры МТВЗА-ГЯ космических аппаратов серии "Метеор-М". Представлен отчет о выполненных работах, работа сдана заказчику.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Asmus V. V., Buchnev A. A., Krovotyntsev V. A., Pyatkin V. P., Salov G. I. Planeta-Monitoring software complex in applied remote sensing problems // Optoelectron., Instrument. and Data Proc. 2018. V. 54, N 3. P. 7–23. DOI: 10.3103/S8756699018030020.

2. Kazantsev I. G., Olsen U. L., Poulsen H. F., Hansen P. C. A spectral geometric model for Compton single scatter in PET based on the single scatter simulation approximation // *Inverse Problems*. 2018. V. 34, N 2. Paper 024002. DOI: 10.1088/1361-6420/aaa05d.

3. Salov G. I. Detection of small objects in noisy images with unknown probability distributions // *Optoelectron., Instrument. and Data Proc.* 2018. V. 54, N 5. P. 434–444. DOI: 10.3103/S8756699018050023.

4. Sidorova V. Unsupervised classification of the Earth's surface data // *Proc. of the 2018 3rd Russian-Pacific conference on computer technology and applications (RPC)*. 2018. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482159.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Asmus V. V., Buchnev A. A., Krovotyntsev V. A., Pyatkin V. P., Salov G. I. Complex of software PlanetaMonitoring in applied remote sensing problems // *CEUR Workshop Proc.* 2017. V. 2033. P. 31–38. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://ceur-ws.org/Vol-2033/06_paper.pdf (10.01.2019). EID: 2-s2.0-85040220275.

2. Buchnev A. A., Pyatkin V. P. Fuzzy classification of the earth remote sensing data // *Ibid.* P. 73–77. Режим доступа: http://ceur-ws.org/Vol-2033/13_paper.pdf (10.01.2019). EID: 2-s2.0-85040228361.

3. Kazantsev I. G. An approach to the problem of edge enhancement on multispectral images // *Ibid.* P. 73–77. P. 98–101. Режим доступа: http://ceur-ws.org/Vol-2033/18_paper.pdf (10.01.2019). EID: 2-s2.0-85040253866.

4. Sidorova V. S. Unsupervised classification of multispectral images // *Ibid.* P. 156–160. Режим доступа: http://ceur-ws.org/Vol-2033/30_paper.pdf (10.01.2019). EID: 2-s2.0-85040244961.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П., Салов Г. И. Комплекс программного обеспечения PlanetaMonitoring в прикладных задачах дистанционного зондирования // *Автометрия*. 2018. Т. 54, № 3. С. 7–23.

2. Бучнев А. А., Ким П. А., Пяткин В. П., Пяткин Ф. В. Распределенная сеть облачных web-сервисов для обработки спутниковых данных // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2018. Т. 10. С. 132–140. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/kongress/Sborniki/2018/%D0%94%D0%97_%D1%821_.pdf (15.01.2019).

3. Казанцев И. Г. Об одном детекторе угловых точек на изображениях // *Там же*. Т. 4, № 1. С. 89–93. Режим доступа: http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/kongress/Sborniki/2018/%D0%94%D0%97_%D1%821_.pdf (15.01.2019).

4. Ким П. А. Естественная кластеризация // *Там же*. С. 147–151. Режим доступа: http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/kongress/Sborniki/2018/%D0%94%D0%97_%D1%821_.pdf (15.01.2019).

5. Бучнев А. А., Ким П. А., Пяткин В. П., Пяткин Ф. В., Русин Е. В. Фреймворк сети облачных web-сервисов для программного комплекса обработки данных дистанционного зондирования // *Материалы 5-й Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли"*, Красноярск, 11–14 сентября 2018 г. С. 7–11.

6. Ким П. А. О формализации модели естественной кластеризации // *Там же*. С. 128–130.

7. Ким П. А. О гендерном аспекте учебного предмета "Технология" // *Сб. трудов Всероссийской научно-практической конференции "Подготовка педагогических кадров технологического профиля в условиях реиндустриализации региона"*, Новосибирск, 18–20 апреля 2018 г. С. 31–34.

8. Ким П. А. Об использовании аддитивных технологий в курсе робототехники // Сб. трудов Международной научно-практической конференции "Образовательная робототехника: состояние, проблемы, перспективы". 2017. С. 93–96.

9. Салов Г. И. Обнаружение малоразмерных объектов на зашумленных изображениях при неизвестных вероятностных распределениях // Автометрия. 2018. Т. 54, № 5. С. 12–24.

10. Сидорова В. С. Кластеризация гиперспектральных изображений поверхности Земли // Евразийское научное объединение. 2018. Т. 1, № 5 (39). С. 64–67.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

1. Ким П. А. Обзорная щелевая камера обскура : пат. 2672305С2 РФ ; опубл. 13.11.2018. Бюл. № 32.

2. Ким П. А. Устройство моделирования квазигиперболы : пат. 2636910С1 РФ ; опубл. 28.11.2017. Бюл. № 34.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 14-й Международный научный конгресс и выставка "Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018", Новосибирск, 25–27 апреля 2018 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Пяткин В. П., Казанцев И. Г., Ким П. А.).

2. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 5 докладов, из них 1 приглашенный (Пяткин В. П., Казанцев И. Г., Ким П. А., Салов Г. И.).

3. 5-я Международная научная конференция "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 11–14 сентября 2018 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Бучнев А. А., Ким П. А.).

4. Всероссийская научно-практическая конференция "Подготовка педагогических кадров технологического профиля в условиях реиндустриализации региона". Новосибирск, 18–20 апреля 2018 г. – 1 доклад (Ким П. А.).

5. Международная конференция по науке и технологиям Россия – Корея – СНГ, Москва, 26–28 августа 2018 г. – 1 доклад (Ким П. А.).

Участие в организации научных мероприятий

1. Пяткин В. П.:

– член оргкомитета 14-го Международного научного конгресса и выставки "Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018",

– член оргкомитета международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева,

– член оргкомитета 5-й Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли";

2. Русин Е. В.:

– член оргкомитета 14-го Международного научного конгресса и выставки "Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018",

– член оргкомитета Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева.

Международные научные связи

Прием заведующего кафедрой математики Международного казахско-турецкого университета им. Х. А. Ясави (г. Туркестан, Казахстан) М. А. Султанова. Срок визита: 26.11.2018 г. – 30.11.2018 г. Цель визита: обсуждение научного сотрудничества с Международным казахско-турецким университетом им. Х. А. Ясави. Ответственный за прием Пяткин В. П.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных WoS – 4
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 8
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 10
Патентов – 2
Докладов на конференциях – 12, в том числе 2 пленарных, 1 приглашенный
Участников оргкомитетов конференций – 5

Кадровый состав лаборатории

- | | | |
|---------------------|----------------|-----------|
| 1. Пяткин В. П. | зав. лаб. | д.т.н. |
| 2. Бучнев А. А. | с.н.с. | к.т.н. |
| 3. Казанцев И. Г. | с.н.с. | д.ф.-м.н. |
| 4. Ким П. А. | с.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 5. Русин Е. В. | с.н.с. | к.т.н. |
| 6. Салов Г. И. | с.н.с. | к.т.н. |
| 7. Сидорова В. С. | н.с. | |
| 8. Карогодина Т. И. | ведущ. инженер | |

Педагогическая деятельность

Пяткин В. П. – профессор СГУГиТ.

Ким П. А. – доцент НГПУ.

Казанцев И. Г. – научный консультант аспиранта Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева (Астана, Казахстан) Мухаметжановой Б. О. (научный руководитель Искаков К. Т.).

Премии и награды

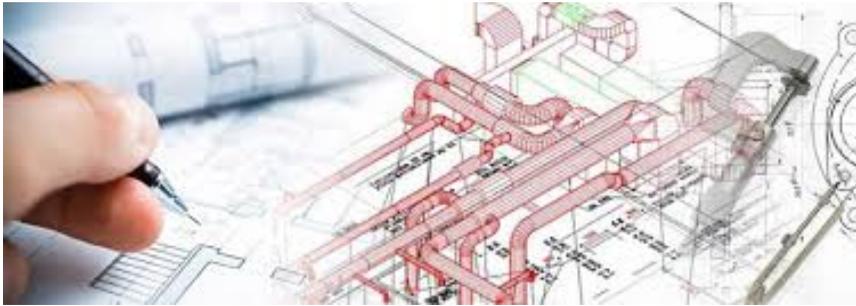
Пяткин В. П. – медаль им. акад. М. В. Келдыша Федерации космонавтики России.

Лаборатория системного моделирования и оптимизации

Зав. лабораторией д.т.н. Родионов А. С.

Важнейшие достижения

Эволюционные методы оптимизации инженерных сетей



Разработаны методы оптимального синтеза сетей инженерных коммуникаций по критерию минимума суммарных затрат на их строительство и эксплуатацию, основанные на иерархической гиперсетевой модели. Предложен

метод дифференциальной эволюции, который позволяет улучшить первоначальное решение путем отображения ребер вторичной сети в первичную сеть с использованием дополнительных точек Штейнера. Разработан новый метод поиска оптимальных трасс для прокладки инженерных сетей по групповой (общей) трассе, учитывающий несовместимость различных типов ресурсов. Кроме того, разработан модифицированный муравьиный алгоритм, обеспечивающий получение не только дешевого, но и достаточно надежного решения по отношению к заданному порогу, при условии, что сбои происходят в первичной (физической) сети. Проведенные численные эксперименты показывают применимость предложенных методов.

К.ф.-м.н. Мигов Д. А., к.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Токтошов Г. Ы., к.т.н. Юргенсон А. Н.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект № 0315-2016-0006 "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации сложных систем".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Руководитель проекта – д.т.н. Родионов А. С.

Достигнутые в 2018 г. результаты.

Предложен метод кластеризации узлов распределенной информационной системы, состоящей из конечного непустого множества узлов $V = \{v_n\}$ и дуг $e = (v_i, v_j) \in E \subseteq V \times V$. Концевые узлы дуг связаны бинарным отношением $v_i R v_j$, определяющим существование связи узлов v_i, v_j и ориентацию дуги e . Для каждой дуги определено значение веса $w(e)$. Исследуемая система представлена взвешенным орграфом $G^{WD} = (V, E)$.

Кластеризация G^{WD} состоит в разбиении $C = \{V_1, \dots, V_k\}$ множества узлов V на непустые непересекающиеся подмножества – кластеры. Разбиение множества узлов индуцирует разбиение множества дуг, а задача кластеризации G^{WD} сводится к задаче нахождения минимального разреза дуг G^{WD} , решение которой зависит от структурных свойств G^{WD} :

$$\text{Cut}(C) = \frac{1}{2} \sum_{h=1}^k E_h, \text{ где } E_h = \sum_{v_i \in V_h} \sum_{v_j \notin V_h} a_{ij},$$

где a_{ij} – элемент матрицы смежности A графа G^{WD} .

Для решения задачи минимального разреза дуг G^{WD} разработаны и реализованы три алгоритма, основанные на спектральных свойствах модификации A . Апробация алгоритмов выполнена на данных о цитировании научных журналов, извлеченных из распределенной библиографической базы данных *RePEc*.

К.т.н. Бредихин С. В., Щербакова Н. Г., ведущ. инженер Ляпунов В. М.

Проводились исследования механизмов сетевых атак в сенсорных сетях и разработка математических подходов для анализа указанных атак. Несмотря на то что спектр атак в сенсорных сетях покрывает все три компоненты триады информационной безопасности CIA (*confidentiality, integrity, availability*), наибольшую угрозу несут разрушающие воздействия, направленные на нарушение доступности, т. е. атаки, имеющие целью вызвать деградацию качества предоставляемого сервиса или отказ сетевого узла. Данное обстоятельство является следствием того, что узлы сенсорной сети располагают существенно меньшими ресурсами по сравнению с узлами традиционных IP сетей. Анализ недавних публикаций показал, что наиболее распространенным критерием живучести сенсорной сети является минимальное время жизни узла, время жизни остальных узлов атакуемого сегмента отличается незначительно. Специфика сенсорной сети, указанная выше, диктует необходимость рассматривать модели с групповыми отказами. Для анализа разрушающего воздействия атак в сенсорных сетях предложена соответствующая модель на основе случайного процесса с дискретным пространством состояний (число атакованных узлов) и непрерывным временем, а также формулы оценки состояния сенсорной сети, подверженной атаке.

Рассматривалась проблема обеспечения эффективного функционирования сложных систем, в том числе с использованием частично наблюдаемых марковских процессов принятия решений. В рамках проблемы предложены модели и методы анализа и оптимизации показателей качества облачных вычислений.

К.ф.-м.н. Шахов В. В.

Рассмотрена задача эффективного сжатия изображений без потери качества. Предложен адаптивный метод сжатия полутоновых изображений, основанный на однопроходной схеме кодирования и превосходящий по эффективности известные двухпроходные алгоритмы сжатия. Как известно, однопроходные алгоритмы кодирования ошибок предсказания по сравнению с двухпроходными позволяют лучше сжимать изображения такого вида. Однако в однопроходных алгоритмах возникает задача кодирования источников с неизвестной статистикой, так как ошибки предсказания кодируются по мере прохождения изображения. Такие методы кодирования называются адаптивными.

К.ф.-м.н. Бакулина М. П.

Решалась задача оптимизации регулярных структур инфокоммуникационных сетей, состоящая в максимизации числа вершин при заданных степени и диаметре сети (графа). Регулярные сети представляют практический интерес как графо-теоретические модели надежных сетей связи параллельных суперкомпьютерных систем, как основа структуры в модели малого мира, в нейронных и оптических сетях. На основе изучения мультипликативных циркулянтов с образующими, представленными в виде степеней натуральных чисел, кратных четырем, получены новые улучшенные нижние оценки достижимого числа вершин мультипликативных циркулянтных сетей степеней 8, 10 и 12. Найдены аналитические описания семейств циркулянтов, достигающих полученных оценок. Существование найденных семейств графов проверено с помощью разработанной компьютерной программы для значений числа вершин до 34×10^6 . При этом использован алгоритм синтеза больших циркулянтных сетей, его параллельная версия с библиотекой OpenMP была реализована

на суперкомпьютерных системах. Порядки новых циркулянтных сетей существенно превосходят порядки всех известных в литературе семейств мультипликативных циркулянтов степеней 8, 10 и 12 и диаметров от 6 до 41. Максимальность порядков (компактность) полученных графов и простой вид их образующих дают теоретическую основу хороших структурных и коммуникационных свойств при их применении в качестве сетей связи суперкомпьютерных систем и многоядерных процессорных систем на кристалле.

Продолжено исследование решения оптимизационной проблемы построения оптимальных по диаметру регулярных сетей (графов). Исследован новый класс параметрически описываемых регулярных сетей – гиперциркулянтные сети (графы). Разработан и реализован подход, использующий алгоритм дифференциальной эволюции для автоматического порождения оптимальных параметрических описаний гиперциркулянтных сетей. Разработаны алгоритмы и программы для определения свойств и структурных характеристик семейств гиперциркулянтных, тороидальных 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.

Предложен и реализован новый многовариантный эволюционный алгоритм, основанный на дифференциальной эволюции, для решения задачи построения нелинейных моделей с использованием заданных экспериментальных данных, наборов переменных, базовых функций и операций, который использует представление хромосомы в виде вектора действительных чисел. Проведено сравнение реализованного алгоритма со стандартным алгоритмом генетического программирования (GP) и декартовым генетическим программированием (CGP), показавшее превосходство предложенного алгоритма перед GP и CGP как по продолжительности поиска решения (более чем на порядок в большинстве случаев), так и по вероятности нахождения заданной модели.

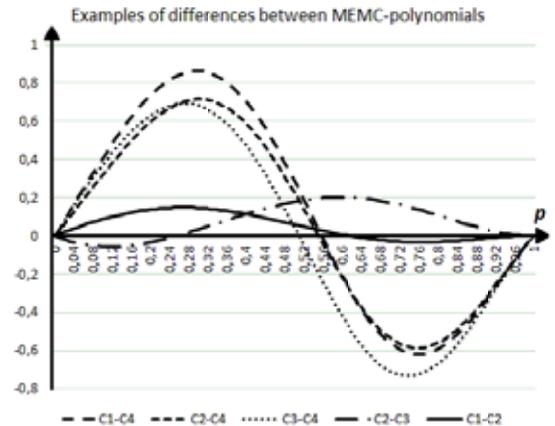
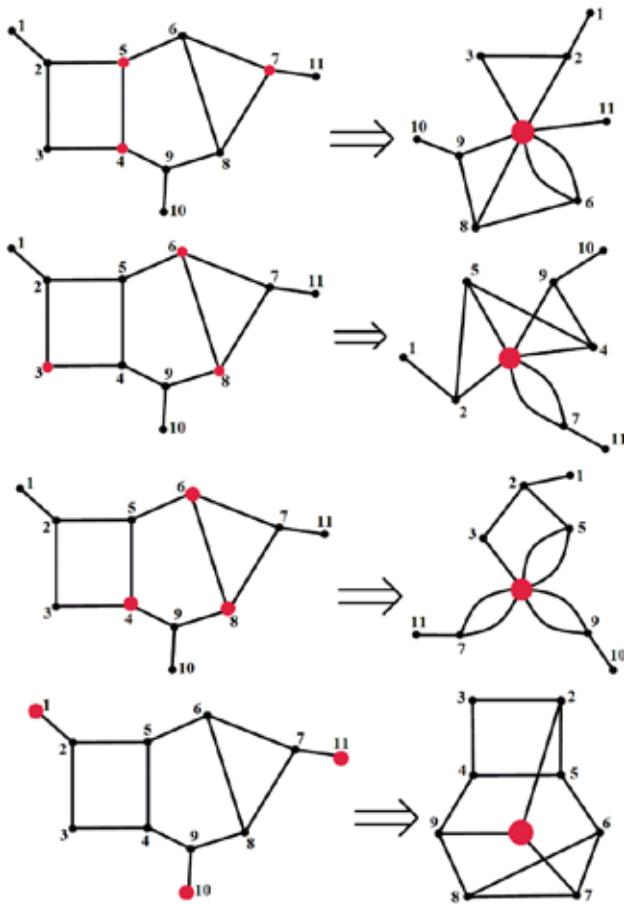
К.т.н. Монахов О. Г., к.т.н. Монахова Э. А.

Разработаны генетические операторы (скрещивание, мутация и др.) для генетического алгоритма расстановки устройств мониторинга в инфокоммуникационных сетях, в том числе транспортных. При разработке учитывалась модель сети, а также различные ограничения (стоимостные, топологические).

Волжанкина К. А.

Разработаны модели и методы оптимального синтеза сетей инженерных коммуникаций различного назначения по критерию минимума суммарных затрат на строительство и эксплуатацию. Предложенный метод позволяет находить трассы для прокладки инженерных сетей с учетом несовместимости различных типов ресурсов для прокладки по групповой (общей) трассе. Метод прокладки сетей является двухэтапным: на первом этапе находится приближение с помощью известных методов, таких как алгоритм Флойда и жадный алгоритм; на втором первичное решение улучшается с использованием списка ребер вторичной сети, упорядоченного по заданному критерию, например по числу наиболее редко используемых ветвей первичной сети. Проведенные численные эксперименты показали применимость предложенных методов.

К.т.н. Токтошов Г. Ы., к.ф.-м.н. Мигов Д. А., к.ф.-м.н. Юргенсон А. Н.



Предложен новый критерий качества потоковых сетей, в частности дорожной сети мегаполиса – арифметическое среднее максимальных потоков между всеми парами узлов. Данный показатель рассмотрен для случаев надежной сети и сети с ненадежными связями (в последнем случае рассматривается математическое ожидание показателя). Предложены алгоритмы расчета и кумулятивного оценивания показателя, по возможности исключающие повторные вычисления, неизбежные при простом последовательном вычислении максимальных потоков между всеми парами узлов сети.

Рассмотрено применение полиномов связности для математического ожидания размера связного подграфа случайного графа, содержащего выделенную вершину, при поиске наилучшего решения по расстановке стоков (пунктов сбора данных) в сетях мониторинга. Соответствующие узлы сети могут быть стянуты в один, поскольку нет разницы, какому стоку передать данные. Экспериментально показано, что выбор зависит от надежности каналов (полиномы пересекаются)

Д.т.н. Родионов А. С.

Исследовалась актуальная задача повышения эффективности сбора и передачи информации в современных сетях за счет разбиения множества узлов на кластеры. Одна из тенденций современных исследований в области разработки оптимальных методов сбора и передачи данных в беспроводной среде состоит в разбиении множества узлов сети на кластеры и использовании возможностей ключевых узлов (*cluster-head* (CH)) в каждом кластере для передачи информации к базовой станции (или, наоборот, для распространения информации в кластере). Такое разбиение узлов может, например, существенно повысить эффективность распространения коротких сообщений в транспортной среде. CH может передавать сообщения узлам своего кластера, используя широкополосную передачу с пониженной мощностью передатчика. Для этого может использоваться отдельный радиоканал. Такая организация передачи информации в сети позволяет оптимизировать время и энергопотребление. Были рассмотрены различные алгоритмы разбиения множества узлов на кластеры. Показано, что эффективность сбора и передачи данных зависит от метода разбиения множества узлов.

К.т.н. Соколова О. Д.

Проведена актуализация базы данных "Публикации научных сотрудников института", добавлены 807 записей за 2017 г.

Выполнялось наполнение базы данных "Научные проекты академического института".

В связи с предстоящей разработкой системы "Цифровой район" по заданию руководства института составлена пояснительная записка "К вопросу об информатизации в Советском районе".

Моисеенко В. В.

Формализованы условия задач маршрутизации для доставки разнородных продуктов с учетом ремонтных работ в узлах сети и экстремального воздействия внешней среды.

К.э.н. Ляхов О. А.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект № 17-07-00775 "Разработка математических моделей и алгоритмов анализа и оптимизации иерархических сетей".

Руководитель проекта – д.т.н. Родионов А. С.

Рассмотрен такой показатель как вероятность пропуска потока заданной величины в стохастической сети. Предложен метод кумулятивного обновления границ этого показателя, позволяющий принимать решение о надежности (ненадежности) сети в сравнении с заданным пороговым значением.

Разработанный метод определения границ вероятности пропуска потока заданной величины в стохастической сети является оригинальным результатом. В настоящее время известны, в основном, методы оценки и точного расчета, а также оптимизации стохастических сетей с ограничением на пропускные возможности элементов.

Для анализа надежности стохастической сети с ограничением на пропускные возможности каналов связи использовался подход, основанный на кумулятивном уточнении верхней и нижней границ надежности сети (предложен в работе J.-M. Won и F. Karraу, опубликованной в журнале IEEE Trans. Reliability в 2010 г.), позволяющий принимать решение о надежности (ненадежности) сети для данного порога.

Входными данными при этом являются заданный объем информации, который необходимо передать от источника к стоку, и пороговое значение надежности, при котором сеть считается надежной. Под показателем надежности будем понимать вероятность пропуска потока заданной величины между выделенной парой узлов.

Суть метода заключается в пошаговом обновлении точных нижней (LB) и верхней (UB) границ вычисляемого показателя и сравнении их с заданным пороговым значением надежности R_0 : если нижняя граница достигла порогового значения ($LB \geq R_0$), то сеть надежна, если верхняя граница опустилась ниже указанного значения ($UB < R_0$), то сеть признается ненадежной.

Этот подход предполагает использование алгоритмов разбиения пространства элементарных событий. Нами использован известный метод факторизации (Мура – Шеннона, ветвления), а также метод поиска максимального потока Форда – Фалкерсона для определения необходимости изменения текущих границ. При получении очередного варианта состояния сети путем "онадеживания", т. е. объявления ребра (дуги) абсолютно надежным, либо удаления этого элемента, границы обновляются после проверки того, является ли максимальный поток меньше или больше заданного.

Предложен метод проектирования структуры двухуровневой иерархической сети с учетом ограничений на совместную прокладку ребер различных типов, являющийся новым и оригинальным результатом. В отличие от существующих методов проектирования сетей, в том числе и многоуровневых сетей, предложенный метод использует аппарат теории гиперсетей с учетом возможности прохождения различных ребер вторичной сети по одной и той же ветви первичной сети.

Предложено рассматривать среднее арифметическое максимальных потоков между всеми парами вершин сети в качестве интегрального критерия, в частности качества дорожной сети мегаполиса. Известно, что в случае неориентированной сети максимальные потоки между всеми парами вершин эффективно находятся с помощью алгоритма Гомори – Ху, однако для вычисления среднего арифметического не требуется находить все индивидуальные потоки, достаточно сумм максимальных потоков для некоторых подмножеств пар вершин. Предложены алгоритмы нахождения таких сумм для пар вершин в цепях и потоков между произвольной вершиной графа и всеми вершинами цепи. В случае наличия в структуре графа многих длинных цепей, что характерно для графов дорог, получение среднего арифметического требует меньшего количества максимальных потоков, чем в алгоритме Гомори – Ху. Рассмотрены решения задачи для надежных и случайных неориентированных сетей (случай независимых отказов ребер). Наряду с точным вычислением предложенного показателя получены его кумулятивные оценки.

Решалась новая задача нахождения оптимального размещения базовых станций в сети мониторинга по критерию максимума математического ожидания видимых узлов сбора данных (датчиков, сенсоров). При этом считается, что все базовые станции надежно связаны с центром обработки, что позволяет на графовой модели стянуть соответствующие вершины в одну. Выбор между вариантами размещения базовых станций осуществляется на основе рассмотрения соответствующих полиномов надежности и выбора мажорирующего на интересующем интервале вероятности присутствия ребра.

Продолжены работы по анализу Q-гиперсетей и их компонент. Разработан ряд аналитических и имитационных моделей, предназначенных для анализа двух- и многоуровневых Q-гиперсетей. Имитационные модели предназначены прежде всего для проверки адекватности аналитических моделей и качества получаемых с их помощью оценок характеристик обслуживания (длины очередей, время ожидания и проч.). Подробно рассмотрены: модель СМО с периодически изменяемой интенсивностью обслуживания (снижение интенсивности на короткий, относительно периода, случайный интервал времени); модель СМО, отличающаяся от предыдущей случайной длиной интервала перед снижением интенсивности обслуживания; модели замкнутой СеМО, состоящей из однотипных СМО, упомянутых выше; имитационная модель замкнутой циклической СеМО, в которой СМО меняют интенсивность обслуживания в заданном либо случайном порядке по одной. Последняя модель в первом приближении позволяет сравнивать расписания ремонта оборудования. Для СМО с периодически изменяемой интенсивностью обслуживания получены аналитические выражения для математического ожидания и дисперсии времени обслуживания. Сложность получения этих выражений заключалась в возможном изменении интенсивности во время обслуживания без его прерывания.

Для адекватного моделирования потоков в Q-гиперсетях требуется учитывать возможную нестационарность. Исследован класс нестационарных кусочно-линейных процессов на пуассоновских точечных потоках с независимыми одинаково распределенными случайными величинами в опорных точках. Рассмотрен подход к вычислению корреляционной

функции процесса, основанный на использовании формулы полной вероятности. Получено общее выражение для корреляционной функции нестационарного процесса. Рассмотрены частные случаи. Методом прямого моделирования показано, что корреляционная функция процесса имеет точку перегиба. Результаты опубликованы в журнале *Rus. J. of Num. Analysis and Math. Modelling*.

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. Результаты представлены эффективными методами, в том числе и параллельными, расчета и оценивания показателей надежности сетей различного назначения а также методами проектирования и структурной оптимизации сетей по критерию надежности. Изучены как широко известные, так и новые показатели надежности (вероятность связности сети, надежность с ограничением на диаметр).

Разработанные методы расчета и оценивания надежности включают декомпозиционный метод расчета вероятности связности сети, метод расчета математического ожидания площади области покрытия беспроводной сенсорной сетью, ряд параллельных алгоритмов для точного расчета и оценки вероятности связности сети на суперЭВМ с распределенной памятью, общей памятью и с использованием графических ускорителей, а также другие методы.

Предложенными методами проектирования и структурной оптимизации сетей являются метод проектирования топологии инженерных сетей с обеспечением заданного уровня надежности на основе гиперсетевого подхода, метод построения оптимальной или близкой к оптимальной по критерию надежности структуры сети на заданном наборе узлов и каналов связи сети и генетический алгоритм размещения стоков в беспроводной сенсорной сети для максимизации вероятности успешного сбора информации с заданной доли сенсоров.

Проект РФФИ № 17-47-540977 р-а "Разработка моделей и методов решения оптимизационных задач функционирования беспроводных VANET-сетей для повышения транспортной безопасности в Новосибирске".

Руководитель – к.т.н. Соколова О. Д.

Основная задача проекта – разработка моделей и методов решения оптимизационных задач в нестационарных сетях с движущимися объектами (например, беспроводные сети с узлами на автомобилях *VANET*). Исследовались различные способы распространения коротких сообщений в транспортной среде, рассматривалась задача расстановки устройств мониторинга в узлах сети. Разработаны алгоритмы оптимальной передачи данных, основанные на кластеризации: множество узлов разделяется на кластеры, в каждом выбирается головной узел (*cluster head* (СН)), который аккумулирует пакеты узлов и передает их другим мобильным узлам. Показано, что ретрансляция сообщений через узлы СН повышает надежность передачи. Разработана аналитическая модель для анализа вероятности блокировки пакета, включающая интенсивность сетевого трафика, размер памяти узлов, производительность протоколов сбора данных с СН (модель основана на марковских процессах).

Для задачи расстановки устройств мониторинга в стационарных узлах сети моделировалось движение транспорта на сетке дорог. Поиск оптимального решения на множестве всех возможных вариантов осуществлялся с использованием генетического алгоритма с некоторыми ограничениями.

Исследовалась задача повышения эффективности потребления энергии в процессе сбора пространственно-временных данных, рассмотрен подход с использованием мобильных стоков, разработан оптимальный алгоритм перемещения мобильного стока для сбора информации с множества сенсоров.

В разработанной ранее системе имитационного моделирования MTSS (*Manufacturing and Transportation Simulation System*) создана библиотека для тестирования алгоритмов оптимальной передачи данных на узлах в транспортных сетях. При моделировании движения автомобилей в Советском районе Новосибирска использованы данные открытого сервиса *Open Street Map*.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Kratov S. V. On providing the fault-tolerant operation of information systems based on open content management systems // *J. of Phys. Conf. Series*. 2018. Vol. 944. Art. Num. UNSP 012067. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012067.

2. Sokolova O. D., Kratov S. V. Foundations of algorithms and programs: history and prospects // *Proc. of the 4th Intern. Conf. on computer technology in Russia and in the Former Soviet Union (SORUCOM)*, Zelenograd, Oct. 3–5, 2017. 2018. P. 120–122. DOI: 10.1109/SoRuCom.2017.00025.

3. Kratov S. V. The information system for the scientific news site support // *Proc. of the 2017 Intern. Multi-Conf. on engineering, computer and information sciences "SIBIRCON"*, Novosibirsk, Sept. 18–22, 2017. P. 105–108. DOI: 10.1109/SIBIRCON.2017.8109848. (не вошла в отчет 2017 г.)

4. Monakhova E. New families of multiplicative circulant networks // *Prikladnaya Diskretnaya Matematika*. 2018. № 41. P. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.17223/20710410/41/8>.

5. Zaheer H., Pant M., Kumar S., Monakhov O., Monakhova E., Deep K. A new guiding force strategy for differential evolution // *Intern. J. of System Assurance Engin. and Manag.* 2017. Vol. 8, suppl. 4. P. 2170–2183. DOI: 10.1007/s13198-014-0322-6 (Статья не вошедшая в отчет прошлого года как Web of Sci.).

6. Kratov S. V. On improving the indexing of information systems based on Web technologies // *Proc. of the XII Intern. sci. and techn. conf. "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)" // J. of Physics Conf. Series*. 2018. Volume 1210, iss. Art. num. 012072. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012072.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Kratov S. V. On the approaches to the development of a scientific organization website // *Proc. of the 3rd Russian-Pacific Conf. on computer technology and applications (RPC 2018)*, Vladivostok, Aug. 18–25, 2018. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482177.

2. Монахова Э. А. Новые семейства мультипликативных циркулянтных сетей // *Прикл. дискр. матем.* 2018. № 41. С. 76–84. DOI: 10.17223/20710410/41/8.

3. Monakhov O., Monakhova E. An algorithm of multi-variant evolutionary synthesis of nonlinear models with real-valued chromosomes // *Decision Scie. in Action: Theory and Appl. of Modern Decision Analytic Optim.* Springer, 2018. P. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995423917020057>.

4. Monakhov O. G. Differential evolution for multi-variant evolutionary synthesis of nonlinear models // Proc. of 14th Intern. sci.-technical conf. on actual problems of electronic instrument engineering "APEIE-2018", 2018. P. 487–491. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545984.

5. Rodionov A. S., Kalney A. M. Reliability polynomials in optimizing placement of base stations in monitoring networks // Ibid. P. 252–259. <https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545933>.

6. Tkachev K. V., Volzhankina K. A., Sokolova O. D. On a problem of the monitoring devices placement on transport networks // Ibid. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545964.

7. Rodionov A. S., Yadykina O. A., Migov D. A. On calculation and estimation of flow transmission probability in a communication network // Proc. of the 7th Int. conf. on optimization problems and their applications (OPTA 2018). Communications in Computer and Information Science, Springer. Vol. 871, 2018. P. 321–330. DOI: 10.1007/978-3-319-93800-4_26.

8. Rodionov A. S. New model for multilevel service systems analysis // ACM Intern. conf. proc. ser. Art. num. 8, 2018. [Electron. resource]. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85048451625>. DOI: 10.1145/3164541.3164575.

9. Toktoshov G. Y., Yurgenson A. N., Migov D. A. On a problem of the utility network design // CEUR Workshop proc. Vol. 2098, 2018. 7th Int. Conf. on Optimization Problems and Their Applications (OPTA 2018). P. 385–395. DOI: 10.1007/978-3-319-93800-4_26.

10. Migov D. A. Parallel methods for network reliability calculation and cumulative updating of network reliability bounds // Proc. of the IEEE 3rd Russian-Pacific conf. on computer technology and applications. 2018. P. 1–5. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482197.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Кратов С. В. Об оптимизации и продвижении веб-ориентированных информационных систем // Труды 16-й Всерос. конф. "Распределенные информационно-вычислительные ресурсы. Наука – цифровой экономике" (DICR-2017), Новосибирск, 4–7 дек. 2017 г. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017. С. 346–351. (не вошла в отчет 2017 года)

2. Ляхов О. А. Задача маршрутизации транспорта с учетом ремонтных работ в узлах сети // Труды 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г. Ч. 2. С. 18–23.

3. Ляхов О. А. Модели построения маршрутов в экстремальных условиях. В сборнике: Обработка информации и математическое моделирование Материалы Российской научно-технической конференции. 2018. С. 206–210.

4. Ляхов О. А. Модели доставки разнородных продуктов // Труды Международной научной конференции "Марчуковские научные чтения", 8–12 окт. 2019 г. С. 243–247.

5. Монахова Э. А., Монахов О. Г. Улучшение структурных показателей семейств мультипликативных циркулянтных сетей // Сб. статей 18-й Международной науч.-техн. конф. "Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике", посвящ. 75-летию Пензенского гос. ун-та., Пенза, 25–26 окт. 2018 г. Пенза: ПГУ, 2018. С. 22–28.

6. Монахов О. Г., Монахова Э. А. О некоторых структурных характеристиках гиперциркулянтных сетей // Там же. С. 29–36.

7. Монахов О. Г., Монахова Э. А. Оптимизация синтеза нелинейных моделей с помощью биоинспирированных алгоритмов. // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 окт. 2018 г. Новосибирск: ИВМиМГ. С. 313–319.

8. Моисеенко В. В. Опыт информатизации Советского района г. Новосибирска в 1970–1990 годах и дальнейшее его использование (ретроспективный обзор) // Пробл. информ. 2018. № . С. 61–70.

9. Токтошов Г. Ы. Задачи оптимизации инженерных сетей в условиях городской застройки // Материалы Рос. науч.-техн. конф. "Обработка информационных сигналов и математическое моделирование", Новосибирск, 26–27 апреля 2018 г. Новосибирск: СибГУТИ, 2018. С. 253–257.
10. Токтошов Г. Ы. Об одной задаче структурной оптимизации инженерных сетей // Труды 14-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г. Ч. 2. С. 261–268.
11. Rodionov A. S. On calculation of maximum flows between all pairs of nodes in a non-oriented graph // Материалы 3-й Междунар. науч. конф. "Информатика и прикладная математика", Алматы, 26–29 сент. 2018 г. Т. 2. С. 339–345.
12. Матерухин А. В., Шахов В. В., Соколова О. Д. Модели процессов сбора пространственно-временных данных с использованием мобильных стоков // Геодезия и картография. 2018. № 12. Стр. 22–28.
13. Кучеров А. В., Мигов Д. А. Расчет ожидаемой площади покрытия беспроводной сенсорной сети с ненадежными узлами // Пробл. информ. 2018. № 3. С. 21–33.
14. Toktoshov G. Y., Migov D. A., Yurgenson A. N. An approach to the utility network design // Bull. of NCC. Ser.: Comp. Sci., iss. 42. 2018. P. 77–84.
15. Rane D., Shakhov V., Srivastava A. CBPM: A dynamic pricing model for cloud-based sensing infrastructure // Пробл. информ. 2018. № 1. С. 20–41.

Свидетельства о регистрации в ФАП СО РАН

1. Нестеров С. Н., Волжанкина К. А., Мигов Д. А. Оптимизация структуры сети по критерию надежности с использованием кумулятивных оценок границ надежности. Версия № 2. Регистрационный номер в ФАП СО РАН PR18008.
2. Волжанкина К. А., Мигов Д. А. Метод расстановки стоков для повышения надежности сбора информации в сети с ненадежными элементами. Регистрационный номер в ФАП СО РАН PR18007.

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 12th International scientific and technical conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics), Omsk, November 13–15, 2018 – 1 доклад (Кратов С. В.).
2. International scientific and practical conference "Computer science and applied mathematics", Almaty (Kazakhstan), September 26–29, 2018 – 2 доклада, из них один пленарный (Родионов А. С., Кратов С. В., Соколова О. Д.).
3. International conference "Science, technology and information in libraries" (LIBWAY-2018)", Novosibirsk, September 12–15, 2018 – 1 доклад (Соколова О. Д., Кратов С. В.).
4. Российская научно-техническая конференция "Обработка информации и математическое моделирование", Новосибирск, 26–27 апреля 2018 г. – 2 доклада (Ляхов О. А., Токтошов Г. Ы.).
5. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г., – 7 докладов, из них 1 пленарный (Родионов А. С., Мигов Д. А., Монахов О. Г., Монахова Э. А., Ляхов О. А., Соколова О. Д., Токтошев Г. Ы.).
6. 14-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль, 20–31 июля 2018 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Родионов А. С., Токтошов Г. Ы., Ляхов О. А.).

7. 12th International conference on ubiquitous information management and communication ACM IMCOM (ICUIMC 2018), Langkawi (Malaysia) – 1 доклад (Родионов А. С.).
8. 3-й Международный форум "Городские технологии", Новосибирск, 5–6 апреля 2018 г. – 1 доклад (Родионов А. С., Соколова О. Д.).
9. 9th International conference "Optimization and Applications" (OPTIMA-2018) Montenegro – Petrovaz, 1–4 октября 2018 г. (Соколова О. Д.).
10. Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2018), Novosibirsk, 2–6 октября 2018 г. – 3 доклада (Родионов А. С., Соколова О. Д., Монахов О. Г.).
11. 7th International conference "Optimization problems and their applications" (OPTA-2018) Омск, 4–8 июля 2018 г. – 3 доклада (Мигов Д. А., Родионов А. С., Токтошов Г. Ы., Юргенсон А. Н., Соколова О. Д.).
12. 12-я Российская конференция с международным участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур" (ICAM'2018), п. Катунь, Алтайский кр., 2018. – 1 доклад (Мигов Д. А.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Монахов О. Г. – член программного комитета 8th International conference "Soft computing for problem solving" (SocProS 2018), Vellore Institute of Technology, Tamil Nadu (India), December 17–19, 2018;
2. Соколова О. Д.:
 - член Программного комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.,
 - член Оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.;
3. Токтошов Г. Ы. – ученый секретарь оргкомитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.;
4. Мигов Д. А. – член оргкомитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.;
5. Юргенсон А. Н.:
 - член оргкомитета комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.;
 - член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, 8–10 октября 2018 г., Новосибирск;
6. Волжанкина К. А. – член оргкомитета комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.;
7. Ткачев К. В.:
 - член оргкомитета комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.;
 - член оргкомитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, 8–10 октября 2018 г., Новосибирск;

8. Родионов А. С.:

- член программного комитета 19th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Novosibirsk, June 29 – July 3, 2018;
- член программного комитета The 11th International conference on bioinformatics of genome regulation and structure\system biology "BGRS\SB'2018", August 20–25, 2018, Novosibirsk;
- член программного комитета 12th International conference on ubiquitous information management and communication ACM IMCOM (ICUIMC 2018), Langkawi (Malaysia), 2018;
- сопредседатель программного комитета International conference in Kyrgyzstan on wireless and optical communications networks "WOCN2018KG", Bishkek (Kyrgyz Republic), 15–17 November, 2018;
- член программного комитета International conference in Tajikistan on Wireless and Optical Communications "WOCN2018TJ", Dushanbe (Republic of Tajikistan), November 7–9, 2018;
- сопредседатель программного комитета The 10th International conference on computer science and its applications (CSA 2018), Kuala Lumpur (Malaysia), December 17–19, 2018;
- член организационного комитета Siberian symposium on data science and engineering 2018 (SSDSE), Новосибирск, 30–31 октября 2018 г.,
- член программного комитета Международной конференции по вычислительной математике и математической геофизике, посвященной 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–10 октября 2018 г.,
- зам. председателя программного комитета 14-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызская Республика, 20–31 июля 2018 г.

Международные научные связи

1. Сотрудничество с Институтом информационных и вычислительных технологий (Алматы, Казахстан) (Соколова О. Д.).
2. Сотрудничество с Университетом г. Пиза (Италия) (Соколова О. Д.).
3. Сотрудничество с университетом SungKyunKwan, Респ. Корея (Родионов А. С.).

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 6
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 10
Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 18
Докладов на конференциях – 25, в том числе 4 пленарных
Участников оргкомитетов конференций – 19

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. – м.н.с.
7. Ляпунов В. М. – ведущ. инженер
8. Ляхов О. А. – н.с., к.э.н.

9. Марусина О. А. – техник 1-й катег.
 10. Мигов Д. А. – с.н.с., к.ф.-м.н.
 11. Моисеенко В. В. – н.с.
 12. Монахов О. Г. – в.н.с., к.т.н.
 13. Монахова Э. А. – с.н.с., к.т.н.
 14. Рудометов С. В. – н.с., к.т.н.
 15. Соколова О. Д. – с.н.с., к.т.н.
 16. Ткачев К. В. – инженер
 17. Токтошов Г. Ы. – н.с., к.т.н.
 18. Трофимова Л. В. – ведущ. инженер
 19. Шахов В. В. – с.н.с., к.ф.-м.н.
 20. Щербакова Н. Г. – с.н.с.
 21. Юргенсон А. Н. – н.с., к.ф.-м.н.
- Волжанкина К. А. – молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

- Родионов А. С. – профессор НГУ, СибГУТИ
Бакулина М. П. – доцент НГУ
Токтошов Г. Ы. – доцент СибГУТИ
Волжанкина К. А. – старший преподаватель ВКИ НГУ;
Ткачев К. В. – ассистент преподавателя ВКИ НГУ.

Руководство студентами

1. Кучеров А. В. – 2-й курс магистратуры ФИТ НГУ, руководитель Мигов Д. А.
2. Казанцев Г. Ю. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Омарова Г. А.
3. Костромин В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Омарова Г. А.
4. Ткаченко Евгения – 4-й курс СибГУТИ, руководитель Токтошов Г. Ы.
5. Мистюрин В. В. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Родионов А. С.
6. Кальней А. М. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Родионов А. С.
7. Лапшакова Е.М. – 4-курс ФИВТ СибГУТИ, руководитель Токтошов Г. Ы.

Руководство аспирантами

1. Нестеров С. Н. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Мигов Д. А.
2. Кучеров А. В. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Мигов Д. А.
3. Ткачев К. В. – 4-й год, НГУ, руководитель Родионов А. С.

Премии и награды

Мигов Д. А. – памятный знак "За труд на благо города" в честь 125-летия со дня основания города Новосибирска.

Кучеров А. В. – 2-я премия конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, 2018 г.

Лаборатория синтеза параллельных программ

Зав. лабораторией д.т.н. Малышкин В. Э.

Важнейшие достижения

Разработана и реализована подсистема управления библиотекой параллельных фрагментированных подпрограмм ("модулей") на базе системы программирования LuNA. Библиотека хранит модули, пополняется новыми, а также предоставляет информацию о модулях и их свойствах в унифицированном виде. Спецификация функциональных свойств модулей выполняется путем введения вычислительной модели предметной области, при этом входные и выходные параметры библиотечной подпрограммы ставятся в соответствие переменным этой вычислительной модели. Реализована подсистема включения библиотечных фрагментированных подпрограмм в прикладные программы. Система LuNA предоставляет программисту прикладной программный интерфейс, позволяющий осуществлять запуск библиотечных фрагментированных подпрограмм в программах, написанных на языке C++. В качестве экспериментального примера применения подсистемы включения библиотечных фрагментированных программ в прикладные программы разработан скелетон (каркас) программы решения задач пространственной динамики методом частиц-в-ячейках.

Д.т.н. Малышкин В. Э., Городничев М. А., Киреев С. Е., Перепелкин В. А.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2018 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 01201370230.

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

Разработана и реализована подсистема управления библиотекой фрагментированных подпрограмм на базе системы LuNA. Библиотека предназначена для накопления библиотечных модулей – фрагментированных подпрограмм – различного вида. В настоящее время поддерживаются следующие виды фрагментированных подпрограмм: программа на языке LuNA, программа для исполнительной системы LuNA-framework и фрагментированная программа на базе MPI (Message Passing Interface). Библиотека предусматривает возможность вызова библиотечных подпрограмм из других подпрограмм унифицированным образом (независимым от типа подпрограммы).

Библиотека фрагментированных подпрограмм включает спецификацию функциональных и нефункциональных свойств модулей (подпрограмм) библиотеки. Подсистема управления библиотекой позволяет включать и хранить модули в библиотеке, предоставлять информацию об их свойствах в унифицированном виде. Спецификация функциональных свойств осуществляется путем введения вычислительной модели предметной области. А именно, входные и выходные параметры библиотечной подпрограммы ставятся в соответствие переменным вычислительной модели. Совпадение множеств входных и выходных переменных различных модулей означает их функциональную эквивалентность. Нефункциональные свойства фиксируются в форме расширяемого набора атрибутов модулей и отражают форматы представления входных, выходных и промежуточных величин модулей, потребности в ресурсах и исполнительном окружении модуля, а также другие нефункциональные свойства

модулей: оценочную сложность, режимы фрагментации данных, оценочный расход памяти и т. п. В качестве языка спецификации модулей выбран формат текстового представления структурированных данных JavaScript Object Notation (JSON), имеющий хорошую инструментальную поддержку и ориентированный на редактирование как человеком, так и машиной. Описание библиотечного модуля представляет собой JSON-текст, следующий ряду приглашений об именовании и структуре данных.

Реализована подсистема включения библиотечных фрагментированных подпрограмм в прикладные программы. Реализована подсистема (библиотека), предоставляющая программисту прикладной программный интерфейс (API) для запуска библиотечных фрагментированных подпрограмм, написанных на языке C++. Архитектура подсистемы предусматривает возможность расширения реализации для обеспечения запуска фрагментированных подпрограмм и из программ, написанных на других языках программирования, позволяющих подключать динамические библиотеки. Программный интерфейс позволяет передавать фрагментированные данные из прикладной программы на вход библиотечной фрагментированной подпрограммы. Результаты вычислений библиотечной подпрограммы могут быть получены через интерфейс в прикладную программу или переданы на вход другой библиотечной подпрограммы. Вызов двух и более библиотечных подпрограмм может осуществляться как в синхронном, так и в асинхронном режимах.

В качестве экспериментального примера применения подсистемы включения библиотечных фрагментированных программ в прикладные программы разработан скелетон решения задач пространственной динамики методом частиц-в-ячейках. Скелетон (каркас) – это параметризованная прикладная программа, где параметрами могут выступать функциональные блоки (процедуры). Параметрами скелетона являются: 1) процедуры для выполнения основных этапов расчета, определяющие особенности решаемой задачи и методы, используемые для ее решения (например, вычисление распределения плотности, вычисление распределения сил, действующих на модельные частицы, сдвиг частиц под действием этих сил); 2) расчетные параметры задачи – размеры пространственной сетки, количество модельных частиц, количество временных шагов; 3) физические параметры задачи. В качестве фактических параметров скелетона могут выступать процедуры, имеющие реализации различного вида, например в виде последовательных подпрограмм, MPI-подпрограмм, LuNA-подпрограмм. На базе скелетона была реализована фрагментированная программа решения задачи моделирования динамики самогравитирующего пылевого облака методом частиц-в-ячейках.

В качестве отдельных библиотечных модулей были реализованы следующие наборы фрагментированных подпрограмм на языках C++ и LuNA: 1) модуль `mesh3d` – подпрограммы для работы с фрагментированными трехмерными массивами (создание, копирование, редукции разного вида); 2) модуль `mesh3d_exchange` (на базе модуля `mesh3d`) – подпрограммы для различных типов обмена граничными значениями фрагментов трехмерного массива (перезапись значений в граничных ячейках, суммирование значений в граничных ячейках, обмен специального вида – обмен частицами между фрагментами фрагментированного по пространству множества частиц) с различными видами трехмерного соседства (6, 18, 26 соседей); 3) модуль `mesh3d_log` (на базе модуля `mesh3d`) – подпрограммы вывода в файл или множество файлов трехмерного фрагментированного массива и его двумерных проекций (сечений по заданной координате или результатов редукции по одной из осей); 4) модуль `poisson3d` (на базе модулей `mesh3d` и `mesh3d_exchange`) – подпрограммы для решения уравнения Пуассона методом Якоби на трехмерной фрагментированной сетке. Создание

подпрограмм модуля `mesh3d_exchange` было автоматизировано с помощью специального генератора LuNA-программ на языке Python. Подпрограммы из всех перечисленных модулей использовались в качестве компонентов разработанного скелетона.

Разработан распределенный алгоритм распределения данных и динамической балансировки нагрузки Patch. Алгоритм интегрирован в систему фрагментированного программирования LuNA. Проведено тестирование алгоритма на фрагментированных реализациях вычислительных задач. Для тестирования использовался кластер МВС-10П МСЦ РАН.

Исследовался фактор анизотропии, вносимой гексагональной структурой клеточного массива дискретной модели газопорошкового потока с целочисленным алфавитом и гексагональной структурой соседства на этапе вычисления осредненных значений давления и скорости потока. Сформулирован метод осреднения для получения изотропных полей скорости и давления с произвольным углом наклона к координатным осям. Проведены вычислительные эксперименты с помощью специализированного программного комплекса на вычислительном кластере. Проведенные исследования относятся к этапу постобработки, заключающемуся в преобразовании дискретных значений концентрации модельных частиц, находящихся в клетках с дискретными координатами, в непрерывные значения давления газа в любых заданных точках плоскости, а дискретных значений скорости этих частиц – в непрерывные значения проекций скорости потока на координатные оси. Показано, что необходимость перехода к непрерывным координатам обусловлена невозможностью размещения на гексагональной структуре окрестностей осреднения с одинаковым шагом вдоль обеих координатных осей и, тем более, под углом к осям так, чтобы центр каждой из окрестностей совпадал с центром какого-либо гексагона.

Разработаны методы осреднения клеточно-автоматных моделей газовых потоков. Исследована возможность применения симметричных окрестностей осреднения, с центром в некоторой клетке массива, и окрестностей с произвольным центром. Показано, что метод, использующий окрестности осреднения с произвольным центром, позволяет строить поле скорости потока и поле давления газа с произвольным шагом и под произвольным углом к координатным осям без дефектов аппроксимации, присущих методу, использующему симметричные окрестности осреднения. Разработанные методы корректно работают с гексагональными клеточными массивами, выдавая результат в виде традиционно используемой квадратной решетки.

Исследована эффективность разработанных методов реализации клеточно-автоматных моделей газовых потоков на суперкомпьютерах. Проведены вычислительные эксперименты, подтвердившие тезис о том, что при использовании разностного метода динамической балансировки в процессе моделирования не возникает автоволнового эффекта перераспределения нагрузки в широком диапазоне размеров долей клеточного массива, распределяемых по ядрам суперкомпьютера. Установлено, что на исследуемом классе задач эффективность параллельной реализации разностного метода на 10–15 % выше, чем метода с отношением времен выполнения.

Исследованы особенности параллельных реализаций дискретной стохастической модели, имитирующей просачивание жидкости через почву, имеющую сложную пористую микроструктуру. С помощью моделирования показан процесс движения жидкости по извилистым порам и заполнение каверн и колодцев. Была использована дискретная стохастическая модель этого процесса, представляющая собой стохастический клеточный автомат, функционирование которого задается набором элементарных локальных операторов, действующих в дискретном клеточном пространстве и имитирующих перемещения (диффузия,

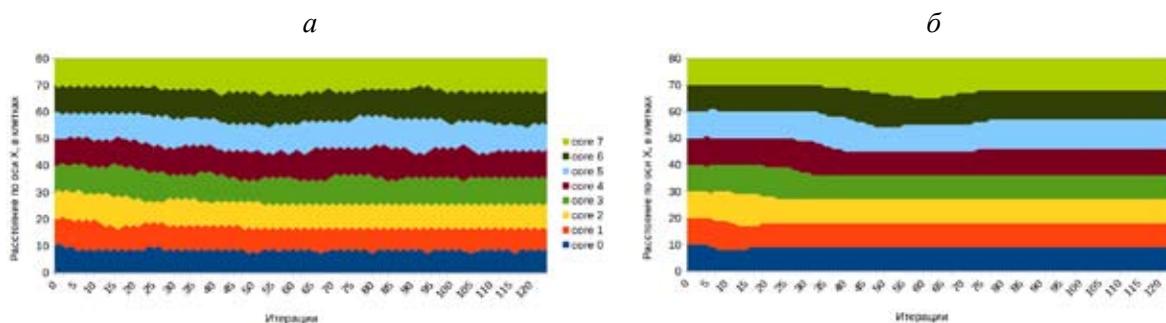


Рис. 1: Динамика распределения клеточного массива между восемью ядрами, в качестве порогового значения для перебалансировки использованы: отношение длительностей выполнения одной итерации соседними ядрами (а); разность длительностей (б)

конвекция, адсорбция) и преобразования (реакция, фазовое превращение) абстрактных или реальных частиц. Вычисления проводились на суперкомпьютерах, так как микроуровень представления процесса требует больших размеров клеточных пространств. Для получения приемлемой эффективности параллельной реализации была внесена детерминированность в алгоритм вычисления, т. е. выполнено снижение стохастичности модели. Проведена серия вычислительных экспериментов, позволивших оценить достоинства и недостатки возможных способов реализации стохастической дискретной модели процесса просачивания жидкости в пористую среду со сложной морфологией на многопроцессорном кластере.

На рис. 1 показана динамика распределения клеточного массива между восемью ядрами. На рис. 1,а в качестве порогового значения для перебалансировки использовалось отношение длительностей выполнения одной итерации соседними ядрами, на рис. 1,б – разность длительностей.

В первом случае устойчивые автоволны образовались, когда значение порогового значения было 0.99 и выше. Во втором случае автоволны не образуются, если выбрана пороговая длительность, в полтора и более раз превышающая среднее время обработки одного столбца клеточного массива.

Исследования проводились для клеточно-автоматной модели газового потока с гексагональной структурой клеточного массива и целочисленным алфавитом состояний клеток.

Исследовано влияние вероятностей столкновения частиц в клетках 2D решетки плотностью три в недетерминированных клеточных автоматах, моделирующих волновые процессы. Для моделирования волнового процесса используется класс одночастичных 2D "решеточных" клеточных автоматов HPP1pr (rest particles). У каждого узла решетки (клетка) имеются четыре соседних. В каждый момент времени в клетке может находиться не более одной движущейся частицы с единичной массой и единичной скоростью, направленной в сторону соседнего узла (принцип Паули), и одна частица покоя с массой 2 и нулевой скоростью. Состояние каждой клетки однозначно определяется булевым вектором длиной 5.

Клетки автомата HPP1pr вычисляют новое состояние синхронно, в результате чего происходит изменение глобального состояния автомата. Известно, что если матрица столкновений удовлетворяет условию полудетального баланса, то автомат HPP1pr моделирует волновой процесс.

Разработан метод построения правил перехода недетерминированного двумерного клеточного автомата с четырьмя соседями, моделирующего волновой процесс. Правила перехода сконструированы на основе матрицы вероятностей, гарантирующей сохранение общей

массы и общего импульса частиц в каждой клетке массива. Исследовано влияние вероятностей столкновения частиц на параметры образующейся волны. Метод позволяет получить клеточно-автоматную модель волны с различными параметрами для случая с единичным импульсом и массой частиц, равной трем.

Для решения задач на графах используется модель параллельных систем типа SIMD, называемая STAR-машиной, которая обрабатывает информацию о содержимом памяти. Функционирование этой модели задается группой основных операций для выполнения ассоциативной обработки, а для разработки ассоциативных алгоритмов построена библиотека стандартных процедур. Для выполнения ассоциативных алгоритмов на графических ускорителях с помощью технологии CUDA реализованы операции STAR-машины и библиотека стандартных процедур.

Разработан ассоциативный параллельный алгоритм динамической обработки дерева кратчайших путей после добавления новой дуги к ориентированному графу. Для этого используется модифицированный алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайших путей, который одновременно строит дерево кратчайших путей и кратчайшие расстояния от корня до любой вершины. Доказана корректность данного алгоритма, получена оценка сложности.

Выделены конструкции ассоциативного алгоритма, с помощью которых выполняется динамическая обработка множества кратчайших расстояний между любыми парами вершин ориентированного графа после удаления одной дуги.

Проведен анализ существующих форматов входных/выходных данных для тестовых графов, содержащих более 5000 вершин. На его основе выбраны два формата *.g (используется в генераторе R-MAT графов GraphPC-1.0, синтетические графы, моделирующие графы социальных сетей и Интернета) и Autonomus System (графы протоколов интернета).

В реализацию STAR-машины на GPU добавлен модуль с процедурами ввода/вывода данных в выбранных форматах с переводом в любой из внутренних форматов STAR-машины (матрица смежности, матрица весов или список дуг).

Проведен численный эксперимент на R-MAT графах по сравнению длительности работы ассоциативного параллельного алгоритма для динамической обработки дерева кратчайших путей после добавления новой дуги к ориентированному графу с длительностью работы статической ассоциативной параллельной модификацией алгоритма Дейкстры.

Публикации

Идания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

1. Арыков С. Б. Решение прикладных задач в системе параллельного программирования Аспект // Вестн. Том. гос. ун-та. Сер.: Управление, вычисл. техн. и информ. 2018. № 45. С. 59–67. DOI: 10.17223/19988605/45/7.

Идания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Бандман О. Л. Дискретная стохастическая модель просачивания жидкости через пористое вещество // СибЖВМ. 2018. Т. 21, № 1. С. 5–22. DOI: 10.15372/SJNM20180101.

2. Bandman O. L. A discrete stochastic model of water permeation through a porous substance: Parallel implementation peculiarities // Num. Analysis and Appl. 2018. Vol. 11, N 1. P. 4–15. DOI: 10.1134/S1995423918010020.

Идания, включенные в реферативную базу данных РИНЦ

1. Малышкин В. Э., Щукин Г. А. Распределенный алгоритм распределения многомерных сеток данных на многомерном мультикомпьютере в системе фрагментированного программирования LuNA // Пробл. информ. 2018. № 1(38). С. 67–80.

2. Городничев М. А., Комиссаров А. В., Можина А. В., Прочкин П. В., Рудыч П. Д., Юрченко А. В. Модели и проектные решения системы хранения и обработки исследовательских данных Ecclesia // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технол. 2018. Т. 16, № 3. С. 87–104. DOI: 10.25205/1818-7900-2018-16-3-87-104.

3. Щукин Г. А. Распределенный алгоритм отображения распределенных многомерных данных на многомерный мультикомпьютер в системе фрагментированного программирования LuNA // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер.: Выч. матем. и информ. 2018. Т. 7, № 2. С. 63–76. DOI: 10.14529/cmse180205.

4. Bandman O. L. Relationships between cellular automata model parameters and their physical counterparts // Bull. NCC. Ser.: Comput. Sci. 2018. Iss. 42. P. 1–14. DOI: 10.31144/bncc.cs.2542-1972.2018.n42.p1-14.

5. Medvedev Yu. G. Averaging methods with isotropy conservation in the FHP-GP CA model // Ibid. P. 35–40. DOI: 10.31144/bncc.cs.2542-1972.2018.n42.p35-40.

6. Nepomniaschaya A. S. Efficient parallel implementation of the Ramalingam decremental algorithm for updating the all-pairs shortest paths // Ibid. P. 41–60. Doi: 10.31144/bncc.cs.2542-1972.2018.n42.p41-60.

7. Hoarau A., Lorho M., Ostapkevich M., Pchelkina A., Petit C. FlexyFace, a portable solution for application-independent interface implementation // Ibid. P. 15–22. DOI: 10.31144/bncc.cs.2542-1972.2018.n42.p15-21.

8. Снытникова Т. В. Реализация модели ассоциативных вычислений на GPU: библиотека базовых процедур языка STAR // Выч. методы и програм. 2018. Т. 19. С. 85–95. Doi: 10.26089/NumMet.v19r108.

Прочие публикации

1. 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.

Участие в конференциях и совещаниях

1. 12-я Российская конференция с международным участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур", п. Катунь (Алтайский кр.), 4–8 июня 2018 г. – 7 докладов, из них 1 приглашенный (Городничев М. А., Киреев С. Е., Маркова В. П., Арыков С. Б., Перепелкин В. А., Ткачева А. А., Гусельников М. Д., Титов А. И., Медведев Ю. Г.).

2. 12-я Международная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2018), 2–6 апреля 2018 г., Ростов-на-Дону – 3 доклада (Киреев С. Е., Перепелкин В. А., Щукин Г. А.).

3. 31-я Летняя международная молодежная школа-конференция по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г. – 8 докладов (Городничев М. А., Перепелкин В. А., Ткачева А. А., Нестеркина А. А., Артюхов А. А., Ижицкий Р. Л., Тренин С. А., Бедарев Н. А., Прокопьева А. В., Мошкина А. Д., Провоторов Н. В.).

4. 15-я Международная школа-семинар "Эволюция дефектных структур в конденсированных средах", Барнаул; Белокуриха, 10–15 сентября 2018 г. – 1 доклад (Киреев С. Е., Полтарак П. А., Щукин Г. А.).

5. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 2 доклада (Медведев Ю. Г., Остапкевич М. Б.).

Участие в организации конференций

1. Малышкин В. Э.:

– член программного комитета The 13th International conference on parallel processing and applied mathematics (PPAM 2019), September 8–11, 2019,

– член программного комитета the 9th Euro american conference on telematics and information systems EATIS '18, Paris (France),

– член программного комитета The 4th IEEE International conference on data science and systems "DSS-2018" Exeter (England, UK), June 28–30, 2018,

– член программного комитета The 14th International conference on green, pervasive and cloud computing "GPC'19", Uberlandia (Brazil), May 26–28, 2018,

– член оргкомитета 30-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 29 января – 2 февраля 2018 г.,

– член оргкомитета 31-й Летней международной молодежной школы по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.;

2. Городничев М. А.:

– член оргкомитета 30-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 29 января – 2 февраля 2018 г.,

– член оргкомитета 31-й Летней международной молодежной школы по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.

– член оргкомитета Зимней школы CompTech@Nsk Winter School, Новосибирск, 28 января – 4 февраля 2018 г.;

3. Щукин Г. А.:

– член оргкомитета 30-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 29 января – 2 февраля 2018 г.,

– член оргкомитета 31-й Летней международной молодежной школы по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.;

4. Перепелкин В. А.:

– член оргкомитета 30-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 29 января – 2 февраля 2018 г.,

– член оргкомитета 31-й Летней международной молодежной школы по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.;

5. Киреев С. Е.:

– член оргкомитета 30-й Зимней школы по параллельному программированию, Новосибирск, 29 января – 2 февраля 2018 г.,

– член оргкомитета 31-й Летней международной молодежной школы по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.;

6. Ткачева А. А. – член оргкомитета 31-й Летней международной молодежной школы по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г.;

7. Медведев Ю. Г. – член программного комитета 12-й Российской конференции с международным участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур", п. Катунь (Алтайский край), 4–8 июня 2018 г.

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:

– "Создание высокопроизводительных интеллектуальных технологий анализа и принятия решения для системы "логистика – агломерация" в рамках формирования цифровой экономики РК";

– "Разработка системы управления активными знаниями для автоматизации конструирования высокопроизводительных параллельных программ обработки неструктурированных данных и численного моделирования в задачах фильтрации".

Координаторы работ по темам: д.т.н., проф. Д. Ж. Ахмед-Заки (с казахской стороны); д.т.н., проф. В. Э. Малышкин (с российской стороны). Даты начала и окончания работ по темам: 2018–2020 гг.

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 – 1

Публикации, индексируемые в базе данных Scopus – 2

Публикации, индексируемые в базе данных РИНЦ – 19

Докладов на конференциях – 21

Участие в оргкомитетах конференций – 17

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. Арыков С. Б. | м.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 7. Калгин К. В. | м.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 8. Киреев С. Е. | н.с. | |
| 9. Городничев М. А. | н.с. | |
| 10. Снытникова Т. В. | м.н.с. | |
| 11. Остапкевич М. Б. | м.н.с. | |
| 12. Ткачева А. А. | м.н.с. | |
| 13. Перепелкин В. А. | н.с. | |
| 14. Щукин Г. А. | н.с. | |
| 15. Савукова В. А. | техник 1-й кат. | |

Арыков С. Б., Городничев М. А., Калгин К. В., Перепелкин В. А., Ткачева А. А., Снытникова Т. В., Щукин Г. А. – молодые научные сотрудники.

Проведение лабораторией школ по параллельному программированию

1. 30-я Зимняя школа по параллельному программированию, Новосибирск, 29 января – 2 февраля 2018 г., Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет, Новосибирский государственный технический университет.

2. 31-я Летняя международная молодежная школа-конференция по параллельному программированию, Новосибирск, 2–13 июля 2018 г., Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет, Новосибирский государственный технический университет.

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
Остапкевич М. Б. – ассистент НГТУ
Перепелкин В. А. – ст. преподаватель НГУ
Щукин Г. А. – ассистент НГТУ
Ткачева А. А. – ассистент НГУ

Руководство аспирантами

1. Ткачева А. А. – ИВМиМГ, руководитель Малышкин В. Э.
2. Беляев Н. А. – ИВМиМГ, руководитель Малышкин В. Э.
3. Софронов И. В. – ИВМиМГ, руководитель Малышкин В. Э.

Защита дипломов

1. Шелехин А. В. – бакалавр НГУ, руководитель Маркова В. П.
2. Провоторов Н. В. – бакалавр НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
3. Кислицын И. О. – бакалавр НГУ, руководитель Маркова В. П.
4. Мошкина А. Д. – бакалавр НГТУ, руководитель Маркова В. П.
5. Нестеркина А. А. – бакалавр НГТУ, руководитель Маркова В. П.
6. Бедарев Н. А. – бакалавр НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
7. Прокопьева А. В. – бакалавр НГУ, руководитель Маркова В. П.
8. Гусельников М. Д. – бакалавр, НГУ, руководители Киреев С. Е., Комаров В. Ю.
9. Титов А. И. – бакалавр, НГУ, руководители Киреев С. Е., Комаров В. Ю.

Руководство студентами

1. Шелехин А. В. – 4-й курс НГУ, руководители Маркова В. П., Городничев М. А.
2. Бедарев Н. А. – 4-й курс НГУ, руководители Малышкин В. Э., Перепелкин В. А.
3. Прокопьева А. В. – 4-й курс НГУ, руководители Маркова В. П., Перепелкин В. А.
4. Можина А. В. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Городничев М. А.
5. Прочкин П. В. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Городничев М. А.
6. Мошкина А. Д. – 4-й курс НГТУ, руководитель Городничев М. А.
7. Провоторов Н. В. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Городничев М. А.
8. Кислицын И. О. – 4-й курс НГТУ, руководитель Маркова В. П.
9. Нестеркина А. А. – 4-й курс НГТУ, руководитель Городничев М. А.
10. Садыкова А. А. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель рук. Малышкин В. Э.
11. Пегит К. С. Ж. – стажировка, НГУ, руководители Городничев М. А., Малышкин В. Э.
12. Лоро М. – стажировка, НГУ, руководители Городничев М. А., Малышкин В. Э.
13. Жоэль П. М. – стажировка, НГУ, руководители Городничев М. А., Малышкин В. Э.
14. Хоаро А. П. – стажировка, НГУ, руководители Городничев М. А., Малышкин В. Э.

-
15. Тренин С. А. – 4-й курс НГУ, руководитель Перепелкин В. А.
 16. Ижицкий Р. Л. – 4-й курс НГУ, руководитель Маркова В. П.
 17. Артюхов А. А. – 4-й курс НГУ, руководитель Маркова В. П.
 18. Ажбаков А. А. – 2-й курс магистратуры НГУ, руководитель Малышкин В. Э.
 19. Гусельников М. Д. – 4-й курс НГУ, руководители Киреев С. Е., Комаров В. Ю.
 20. Титов А. И. – 4-й курс НГУ, руководители Киреев С. Е., Комаров В. Ю.
 21. Дроздов Э. К. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Перепелкин В. А.
 22. Можяев А. С. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Щукин Г. А.

Награды

Можина А. В. – Диплом 2-й степени за доклад на 56-й Международной научной студенческой конференции 22–27 апреля 2018 г., Новосибирск, НГУ.

Шелехин А. В. – Диплом 3-й степени за доклад на 56-й Международной научной студенческой конференции 22–27 апреля 2018 г., Новосибирск, НГУ.

Лаборатория суперкомпьютерного моделирования

Зав. лабораторией к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Важнейшие достижения

Программный код для решения задач астрофизики на суперЭВМ с Intel Xeon Phi

Получены важнейшие результаты в области исследования взрыва сверхновых звезд типа Ia на основе эволюции белых карликов. Разработана вычислительная модель процесса сверхновой типа Ia на массивно-параллельных суперкомпьютерах с использованием технологии адаптивных вложенных сеток на основе гидродинамической модели, замкнутой звездным уравнением состояния. Для источника взрыва сверхновой типа Ia используются реакции ядерного горения углерода посредством бомбардировки атома другим атомом углерода с выходом протона и атома натрия. Разработан новый численный метод, основанный на комбинации метода Годунова, метода разделения операторов и метода Русанова. Параллельная реализация основана на идее распределенных вычислений: на архитектуре с общей памятью происходит счет гидродинамической эволюции белых карликов (базовые вычисления – первый уровень вложенных сеток), при достижении критических значений температуры и плотности происходит запуск новой задачи на архитектуре с распределенной памятью, в которой моделируется развитие гидродинамической турбулентности, приводящей к сверхзвуковому ядерному горению углерода (спутниковые вычисления – второй уровень вложенных сеток). Для реализации используется стек технологий параллельных вычислений FFTW/MPI/OpenMP/CUDA/AVX-512. С помощью вычислительных экспериментов на суперЭВМ исследованы два сценария взрыва сверхновых типа Ia, в основе которых взрыв на периферии звезды.

Получены важнейшие результаты в области исследования процессов звездообразования во взаимодействующих галактиках. Разработана двухфазная модель галактик на основе уравнений гравитационной газовой динамики и уравнений для бесстолкновительной компоненты с диагональным тензором дисперсии скоростей, с учетом нелинейных процессов

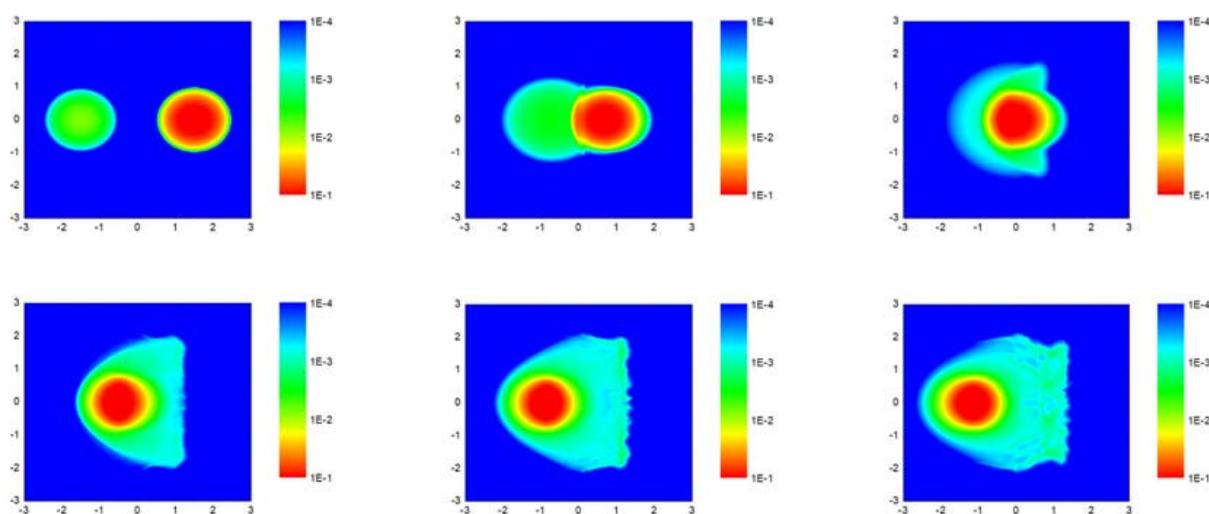


Рис. 1: Результаты вычислительных экспериментов по воспроизведению сценария образования галактики типа Медуза на основе столкновения галактик различных масс.

Показана плотность (см⁻³) по порядку на начальный момент времени и на моменты времени 80, 150, 200, 240 и 270 млн лет

звездообразования и эффекта от взрыва сверхновых с соответствующими функциями охлаждения и нагрева, а также с учетом химокинетики водорода. Исследован процесс звездообразования в ходе столкновения S и E галактик. С помощью вычислительного эксперимента на суперЭВМ показано образование двухрукавного диска из молодых звезд.

Д.ф.-м.н. Куликов И. М.

Результаты исследований опубликованы в работе

Kulikov I. M., Chernykh I. G., Glinskiy B. M., Protasov V. A. An efficient optimization of HLL method for the second generation of Intel Xeon Phi Processor // Lobachevskii J. of Mathematics. 2018. Vol. 39, iss. 4. P. 543–551.

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2018 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР № 0315-2016-0009. Разработка суперкомпьютерных технологий и методов моделирования масштабируемости алгоритмов для высокопроизводительных вычислительных систем".

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0009

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

В рамках бюджетного финансирования проводилось исследование параллельных вычислительных методов решения уравнений гравитационной гидродинамики. Сформулированы новые модельные задачи для тестирования методов решения уравнений гравитационной гидродинамики на качество решения, алгоритмическую сложность и энергоэффективность. На тестовых задачах исследованы разработанные в рамках проектов РФФИ, РФФИ и гранта Президента РФ параллельные вычислительные методы. В настоящее время методика исследования методов включает модели гидродинамики (12 тестов), магнитной гидродинамики (7 тестов), релятивистской гидродинамики (2 теста) и уравнений для первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана (2 теста). Модифицирован пакет ChemPAK для численного моделирования химических процессов в космологических задачах. Модификация заключалась в коррекции системы хранения и обработки данных с целью обеспечения возможности альтернативного расчета констант для случая нестандартной формы предэкспоненты (степенная функция) константы скорости протекания процесса. Модифицированная версия пакета протестирована на кинетической системе из термомолекулярных, ион-молекулярных, нейтральных процессов и процессов фотодиссоциации веществ в космологических задачах. В результате моделирования даны оценки временных характеристик основных процессов с Si, CO, CO₂, He в 400–1000 суток. Проверка модифицированного решателя выполнялась путем запуска на счет на вычислительном узле РСК с процессорами Эльбрус. Показана производительность ядра Эльбрус 4С как 60 % от ядра Intel Broadwell. Разработан список модификаций решателя для эффективного использования совместно с газодинамическим кодом CosmoPhi. Для задач моделирования динамики околозвездных дисков, из которых формируются планеты и которые состоят из газа, пыли и твердых тел, разработаны алгоритмы вычисления силы трения (передачи момента импульса) между твердой фазой и газом. Данные алгоритмы обладают следующими свойствами:

– являются универсальными и могут применяться для пыли и твердых тел любых размеров, меньших чем длина свободного пробега молекул газа;

– могут быть использованы для вычисления двусторонней передачи момента импульса между газом и пылью (а не только односторонней передачи, как это делается в некоторых альтернативных подходах);

- позволяют производить расчеты без потери точности при использовании временного шага, определяемого газодинамическими параметрами (a не силой трения);
- совместимы с используемыми параллельными алгоритмами решения трехмерных уравнений газовой динамики, гидродинамических уравнений для пыли и бесстолкновительного уравнения Больцмана для крупных тел.

В рамках представленного подхода проведено суперкомпьютерное моделирование динамики газопылевого диска.

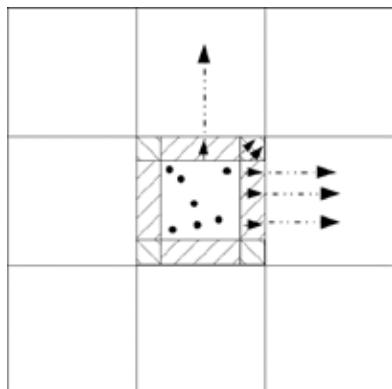


Рис. 2: Разрешение конфликта чтения-записи с помощью буферов

С целью проведения численных расчетов взаимодействия с плазмой инжектируемых электронных пучков в трехмерной постановке создана параллельная реализация кода 3D-PIC, основанная на лагранжевой декомпозиции метода частиц-в-ячейках. Разработана реализация метода частиц в ячейках на GPU. Основной с точки зрения затрат по времени является функция переупорядочивания частиц между ячейками. Создана оригинальная методика оптимизации данного этапа расчета, позволяющая избавиться от атомарных операций. Выполнено тестирование производительности на ряде современных графических процессоров. На графическом процессоре Nvidia VT100 "Volta" получена производительность 0.5 TFLOPS за счет разрешения конфликта чтения-записи с помощью буферов

(штриховка на рис. 2). Каждая пунктирная линия показывает перемещение отдельной частицы из исходной ячейки в соседнюю, видно, что в данном случае они не пересекаются. Частицы, которые не покидают данную ячейку, показаны черными кружками, частицы, которые должны перелететь в одну из соседних ячеек, показаны стрелками, указывающими в соответствующем направлении. Для простоты показан двумерный случай.

Проведены методические исследования влияния граничных условий и форм-фактора частиц на точность решения задач физики плазмы методом частиц в ячейках. В качестве тестовых задач были выбраны задачи о взаимодействии с плазмой одного и двух встречных электронных пучков. Были рассмотрены параболический и PIC форм-факторы, а также два типа граничных условий: граничное условие Мура с вычислением плотности тока через внутренние узлы сетки (способ 1) и поглощающий слой для электромагнитных полей с прямым вычислением плотности тока на границе (способ 2). Показана сходимость всех решений, определена ошибка решения для различного числа модельных частиц. На рис. 3 представлена временная зависимость мощности излучения при непрерывной инжекции встречных электронных пучков в плазму для случаев параболического и PIC-ядра для разных граничных условий и способов вычисления токов. Показана сходимость в зависимости от числа модельных частиц.

Модифицирован алгоритм численного моделирования динамики пучков в суперколлайдерах с целью проведения численных экспериментов с малым углом встречи пучков.

Алгоритм позволяет проводить вычисления для однопролетного взаимодействия пучков в полностью трехмерном ультрарелятивистском случае с учетом эффекта песочных часов, когда возможна сильная нелинейная деформация и разрушение пучков. Проведены расчеты для сильно сфокусированных пучков частиц с $\gamma \sim 106$ и углами встречи $0-20$ мрад, реализовано аналитическое решение для светимости, получено количественное совпадение с

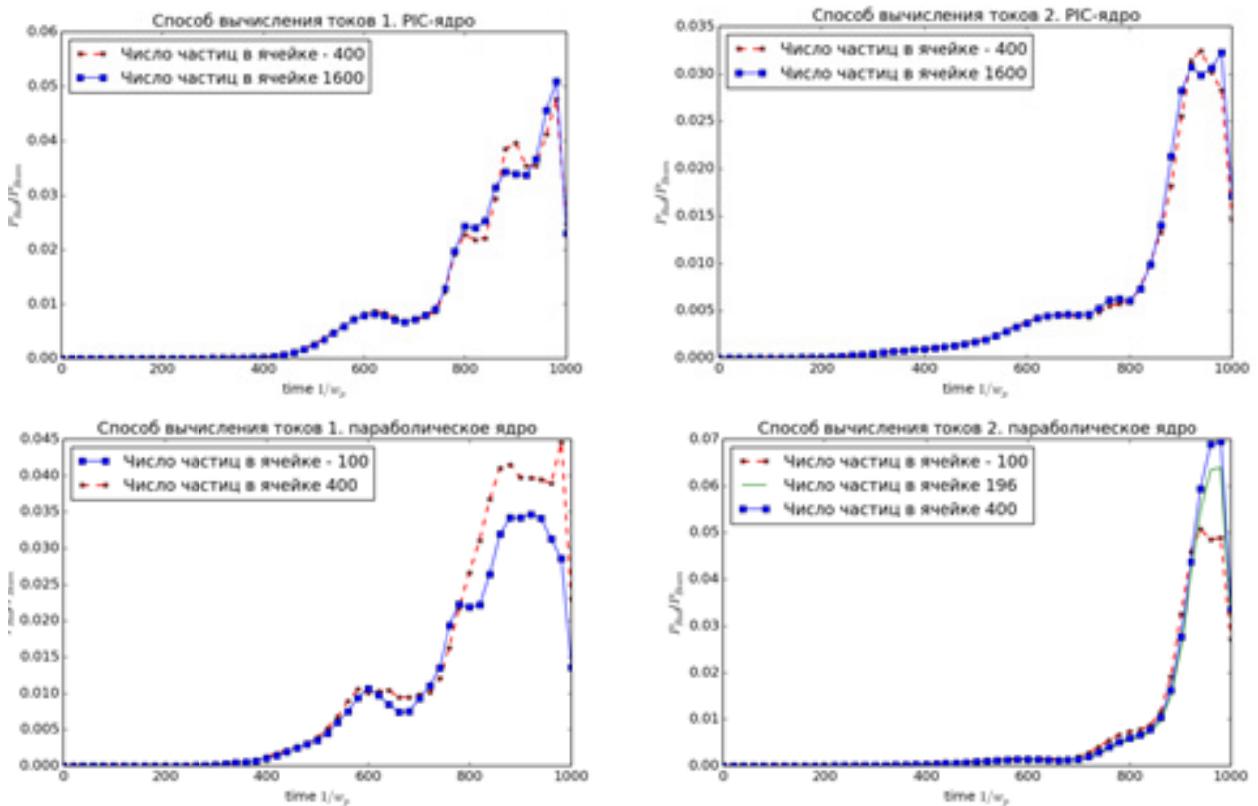


Рис. 3. Временная зависимость мощности излучения при непрерывной инжекции встречных электронных пучков в плазму для случаев параболического и PIC-ядро для разных граничных условий и способов вычисления токов

теоретическими ожиданиями для некритических режимов и качественное совпадение для критических режимов (рис. 4).

Проведено численное моделирование эволюции локализованного возмущения произвольной амплитуды в трехкомпонентной квазинейтральной плазме, состоящей из электронов и двух сортов ионов разных масс.

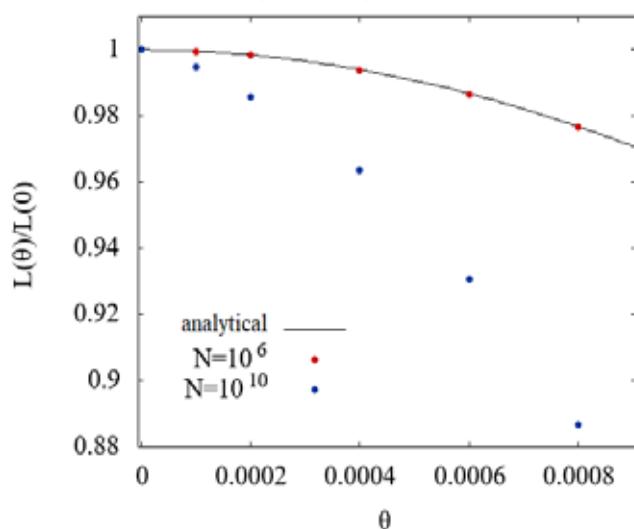


Рис. 4. Зависимость падения светимости от угла встречи θ для некритического случая ($N = 10^6$), критического ($N = 10^{10}$) и теоретической оценки (analytical)

Используется система уравнений Власова для ионных компонент, плотность электронов описывается распределением Больцмана. Показано, что структура ионно-звуковых ударных волн существенно меняется при наличии даже небольшого количества легких ионов, поскольку они отражаются от фронта волны существенно раньше более тяжелых ионов. В случае, когда плазма содержит 0.3 % легких ионов, получен режим "полного отражения" легких ионов потенциальным барьером переднего фронта, который формирует характерное подножье на профиле электростатического потенциала. При увеличении концентрации легких ионов в диапазоне от 1 % до 1.5 % режим

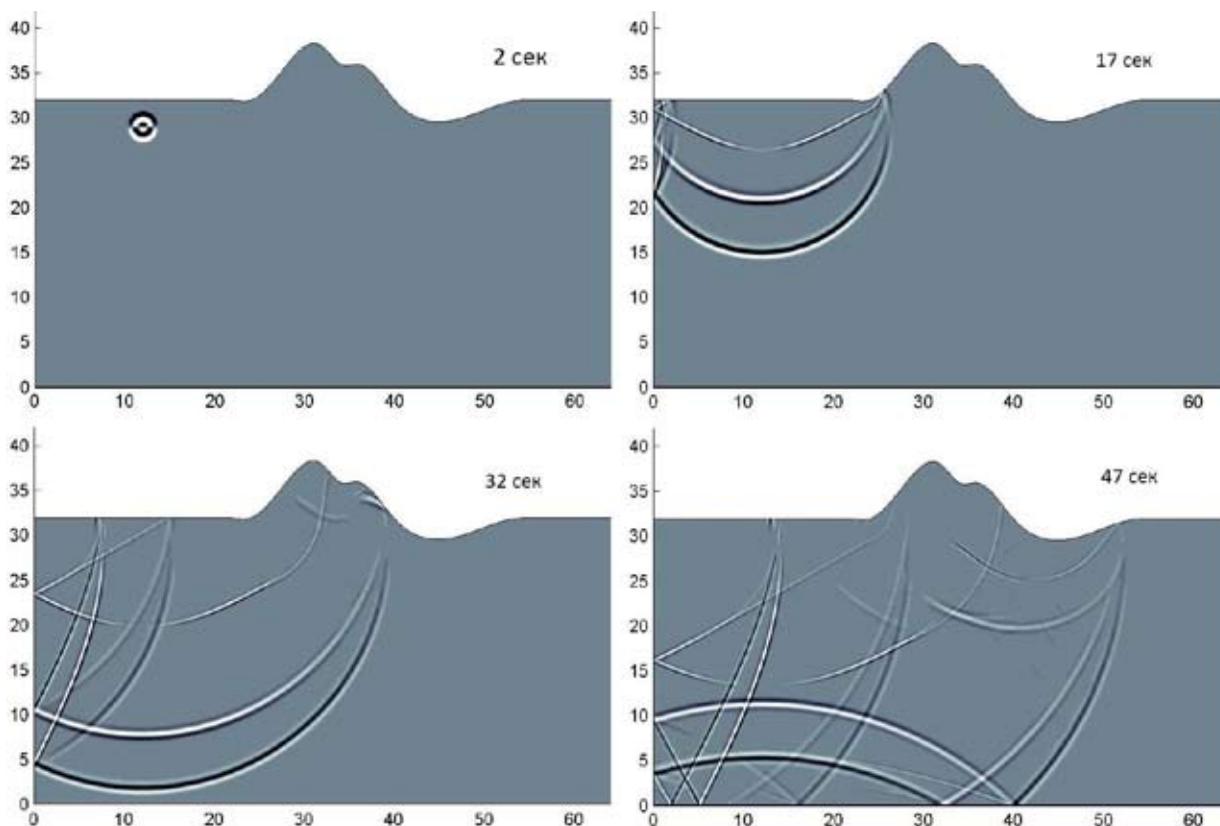


Рис. 5. Область и волновое поле в ней (км)

"полного отражения" сменяется "пульсационным" режимом, при котором происходит периодическое отражение групп частиц от фронта ударной волны.

Продолжены работы над применением многоуровневого подхода к моделированию метода вибросейсмического мониторинга живущих вулканов. Разработан и успешно апробирован алгоритм моделирования упругих волн в средах со сложной топографией свободной поверхности. Созданы и оптимизированы две рабочие версии алгоритма – на основе метода конечных разностей по пространству и времени и на основе метода конечных разностей по пространству и пошагового метода преобразований Лагерра по времени. Отличительной особенностью является применение криволинейной сетки, согласованной с формой свободной поверхности. Класс сред, для которых применим данный подход, был расширен с однородных до слоисто-неоднородных, класс поверхностей – с гладких до кусочно-гладких. Созданы параллельные реализации алгоритмов и проведены расчеты с использованием классической многопроцессорной архитектуры, а также с применением связки CPU+Intel Xeon Phi (архитектура РСК Торнадо) и только Intel Xeon Phi (архитектура РСК ПетаСтрим). На рис. 5 представлен пример области и волнового поля в ней.

Разработана временная модель программы моделирования 3D-сейсмополей. Задача ставится в смещениях (система из трех вместо классических девяти уравнений линейной теории упругости). Для решения необходимо рассчитать компоненты смещения. Топология коммуникаций между процессами – 3D куб (рис. 6).

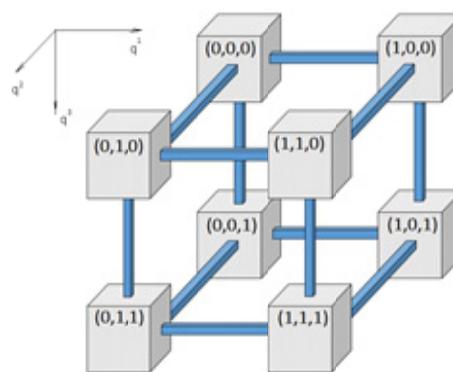


Рис. 6. Топология коммуникаций между процессами

Цикл по времени разбит на несколько участков, каждый из которых представлен временными функциями, зависящими от параметров. Таким образом, если известны средние временные показатели для вычисления/пересылки одного элемента, задержка сети при пересылке и размер данных, можно промоделировать время работы всего временного цикла на произвольном числе ядер и получить оценку потенциальной масштабируемости алгоритма на системы с большим числом ядер. Следовательно, можно получить рекомендации по улучшению работы алгоритма/программы с точки зрения масштабируемости.

Выполнено исследование инструментов для проведения имитационного моделирования большого числа вычислительных потоков. Апробация инструментов проводилась путем проверки производительности на моделях исполнения алгоритмов распределенного статистического моделирования, численного моделирования задач астрофизики и сейсмологии. Одним из результатов выполнения этой работы стало создание универсальной библиотеки для моделирования вычислительных алгоритмов на различных архитектурах на языке Erlang.

Результаты работ по проектам РНФ

Грант РНФ 16-11-10028 "Высокопроизводительное моделирование турбулентных режимов генерации высокочастотного электромагнитного излучения в системе плазма – релятивистский электронный пучок".

Руководитель – д.ф.-м.н. Вшивков В. А.

В рамках работы по проекту в 2018 г. исследован механизм генерации электромагнитного излучения при инжекции в плазму встречных пучков в 2D3V геометрии. Определены наиболее эффективные режимы генерации излучения в терагерцовом диапазоне частот путем варьирования основных параметров системы (внешнее магнитное поле, размеры и относительное положение пучков). Обнаружено, что можно достичь высокой мощности (приблизительно 8 % от мощности инжектируемых пучков) за счет механизма лобового столкновения электромагнитных волн, возбуждаемых пучками в плазме. Для имитации динамики плазмы за границей расчетной области были реализованы новые граничные условия для электромагнитных полей и частиц.

Создан комплекс программ 3D-PIC для моделирования процессов взаимодействия электронных пучков с плазмой в трехмерной постановке. Проведенное компьютерное моделирование взаимодействия с плазмой двух встречных пучков с параметрами, близкими к условию лабораторного эксперимента, показало усиление электромагнитного излучения вблизи второй гармоники плазменной частоты, что хорошо согласуется с теорией. Выполнены расчеты с инжекцией электронного пучка в плазму с модулированной плотностью. Исследована зависимость мощности электромагнитного излучения от формы профиля пучка и плазмы и величины амплитуды модуляции профиля плотности плазмы при взаимодействии одного инжектируемого электронного пучка с модулированной плазмой.

Грант РНФ 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 – д.ф.-м.н. Куликов И. М.

В рамках работы по проекту в 2018 г. разработана вычислительная модель процесса сверхновой типа Ia на массивно-параллельных суперкомпьютерах с использованием

технологии адаптивных вложенных сеток на основе гидродинамической модели, замкнутой звездным уравнением состояния. Для источника взрыва сверхновой типа Ia используется реакция ядерного горения углерода посредством бомбардировки атома другим атомом углерода с выходом протона и атома натрия. Разработан новый численный метод, основанный на комбинации метода Годунова, метода разделения операторов и метода Русанова. Параллельная реализация основана на идее распределенных вычислений: на архитектуре с общей памятью происходит счет гидродинамической эволюции белых карликов (базовые вычисления – первый уровень вложенных сеток), при достижении критических значений температуры и плотности происходит запуск новой задачи на архитектуре с распределенной памятью, в которой моделируется развитие гидродинамической турбулентности, приводящей к сверхзвуковому ядерному горению углерода (спутниковые вычисления – второй уровень вложенных сеток). Для реализации используется стек технологий параллельных вычислений FFTW/MPI/OpenMP/CUDA/AVX-512. С помощью вычислительных экспериментов на суперЭВМ исследованы два сценария взрыва сверхновых типа Ia, в основе которых взрыв на периферии звезды.

Результаты работ по проектам РФФИ

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 – д.ф.-м.н. Куликов И. М.

В ходе работы над проектом в 2018 г. разработана двухфазная модель галактик на основе уравнений гравитационной газовой динамики и уравнений для бесстолкновительной компоненты с диагональным тензором дисперсии скоростей с учетом нелинейных процессов звездообразования и эффекта от взрыва сверхновых с соответствующими функциями охлаждения и нагрева, а также с учетом химокинетики водорода. Исследован процесс звездообразования в ходе столкновения S и E галактик. С помощью вычислительного эксперимента на суперЭВМ показано образование двухрукавного диска из молодых звезд.

Проект РФФИ 18-01-20088 "Проект организации "Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: methods, tools, and outcomes. Honor of academician Anatoly Alekseev's 90th Birthday"».

Руководитель – д.ф.-м.н. Куликов И. М.

Организовано мероприятие "Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: methods, tools, and outcomes. Honor of academician Anatoly Alekseev's 90th Birthday" (сайт <http://conf.nsc.ru/mhd18/en>). Труды конференции опубликованы в журнале Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1103, 2018. Мероприятие способствовало развитию в Российской Федерации математического моделирования в задачах астрофизики, магнитной гидродинамики, физике плазмы. Принято решение о ежегодном проведении подобного рабочего совещания.

Проект РФФИ 18-07-00364 "Кросс-платформенная реализация метода частиц-в-ячейках для решения задач физики высокотемпературной плазмы и УТС на суперЭВМ гибридной архитектуры на базе графических ускорителей и ускорителей Intel Xeon Phi".

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

Создана реализация метода частиц-в-ячейках с поддержкой локальности данных с целью упрощения использования кэш-памяти и исключения синхронизации при пересылке модельных частиц из одной ячейки в другую путем реализации нескольких буферов обмена (по числу направлений) для каждой ячейки. Проведены расчеты на гибридном кластере по моделированию инжекции электронного пучка в плазму. Проведено GPU-моделирование длительной инжекции электронного пучка в замагниченную плазму и идентифицированы количественные характеристики процесса – функции распределения электронов и ионов по энергиям для сравнения с теоретическими моделями и экспериментальными наблюдениями, которые могут служить индикаторами корректности вычислений. Верифицирован существующий трехмерный электромагнитный PIC-код.

Проект РФФИ 18-07-00757 "Разработка параллельных вычислительных методов высокого порядка точности для моделирования химических процессов взрыва сверхновой звезды на высокопроизводительных вычислительных системах".

Руководитель – к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Адаптирована, верифицирована и исследована схема высокого порядка точности для решения уравнений гравитационной газовой динамики в лагранжевых координатах с учетом сферической симметрии. Разработана, верифицирована и исследована схема высокого порядка точности для численного решения жестких систем ОДУ, ориентированная на совместное использование с методом решения гидродинамических уравнений. Разработана программная реализация параллельных вычислительных методов решения уравнений гравитационной газовой динамики на гибридных суперЭВМ. Выполнено моделирование и исследование сценария взрыва сверхновой с учетом кинетической схемы с основными 28 межмолекулярными реакциями (Cherchneff 2009). Для дальнейших работ по исследованию химических процессов в сверхновых подготовлены 15 кинетических схем по циклу работ Cherchneff 2009–2011.

Проект РФФИ 18-37-00279 "Анализ эффективности применения параллельных программ на современных и перспективных суперкомпьютерах на основе мультиагентного моделирования".

Руководитель – Винс Д. В.

В ходе работы над проектом в 2018 г. исследованы средства разработки имитационных моделей параллельных алгоритмов на основе моделей акторов. На примерах алгоритмов распределенного статистического моделирования течений разреженного газа с учетом химических реакций методами Монте-Карло и численного моделирования динамики трехмерных газовых объектов в самосогласованном гравитационном поле показано, что наибольшую производительность и наименьшие потери при обмене сообщениями демонстрирует функциональный язык программирования Erlang. Имитационные модели, реализованные на данном языке, позволяют более точно судить о масштабируемости алгоритма, имитировать исполнение на большем числе вычислительных ядер, а само моделирование занимает меньше времени. С использованием выбранного инструмента создана универсальная, настраиваемая мультиагентная модель выполнения параллельной программы на заданной архитектуре суперкомпьютера.

Проект РФФИ 18-31-00314 "Численное моделирование конфигурации магнитного поля в осесимметричных открытых ловушках с диамагнитным удержанием плазмы".

Руководитель – к.ф.-м.н. Генрих Е. А.

В рамках работы по гранту разработана гибридная двумерная математическая модель для изучения процессов формирования согласованной с движением плазмы конфигурации магнитного поля. Начата разработка алгоритма решения поставленной задачи в цилиндрической геометрии на основе метода частиц.

Проект РФФИ 18-41-543012 «Разработка цифровой платформы "Виртуальный планетарий" для Большого новосибирского планетария».

Руководитель – д.ф.-м.н. Куликов И. М.

В рамках работ по гранту разработан гибридный метод решения уравнений гравитационной гидродинамики на основе метода сглаженных частиц (SPH) и метода Годунова. С помощью разработанного метода решена задача коллапса молекулярного облака до плотностей, соответствующих звездным плотностям.

Проект РФФИ 16-07-00434 "Разработка алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ на основе интегрального подхода.

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

Исследована производительность векторизованного варианта реализации метода решения уравнений гравитационной магнитной газовой динамики на ускорителях Intel Xeon Phi на архитектуре KNL, получена производительность 302 гигафлопс в рамках одного ускорителя. Создана модель взаимодействия параллельных процессов для решения астрофизических задач. Подготовлены данные для имитационного моделирования. Созданы параллельные алгоритм и программа моделирования сейсмополей в средах с криволинейной свободной поверхностью, проведены численные расчеты на разных параллельных архитектурах (многопроцессорная, CPU + Intel Xeon Phi, Intel Xeon Phi). Разработаны параллельные алгоритмы и программное обеспечение для численного моделирования распространения сейсмических волн в трехмерных сложно построенных гетерогенных упругих средах, эффективно использующие архитектуру кластера НКС-1П ССКЦ ИВМиМГ СО РАН, оснащенного процессорами Intel Xeon Phi 7290 KNL. Проведено исследование времени работы, масштабируемости и энергоэффективности разработанного программного обеспечения. Показан высокий уровень загрузки процессора.

Выполнено имитационное моделирование алгоритма для кумулятивного уточнения нижней и верхней границ вероятности связности сети методом Монте-Карло. Исследована масштабируемость алгоритма при исполнении на миллионе и более вычислительных ядер. Алгоритм показал близкую к теоретической масштабируемость при исполнении на 500 тыс. ядер, при дальнейшем увеличении числа ядер наблюдается уменьшение эффекта от параллеливания. Проведено исследование масштабируемости алгоритма численного моделирования распространения сейсмических волн в сложно построенных гетерогенных упругих средах. Показано, что при решении этой задачи эффективно можно использовать примерно 1 млн вычислительных ядер.

Проект РФФИ 16-07-00916 "Разработка алгоритмов и программного обеспечения для суперкомпьютерного моделирования двухфазных гравитирующих систем в задачах астрофизики".

Руководитель к.ф.-м.н. Снытников Н. В.

Разработан алгоритм расчета быстрого обмена импульсами между газом и твердыми частицами в двухфазном газопылевом диске для численной модели с использованием метода сглаженных частиц SPH. Результаты тестовых расчетов сравниваются с полученными ранее

для численной модели ZEUS, использующей сеточные методы с кусочно-параболической интерполяцией (PPM). Разработана параллельная реализация численной модели, комбинирующей метод SPH для решения уравнений газодинамики и метод частиц-в-ячейках для моделирования движения пыли, при котором пыль и газ взаимодействуют посредством гравитационных полей и сил трения на основе созданного алгоритма обмена импульсами.

Проект РФФИ 16-01-00209 "Численное моделирование неустойчивых режимов взаимодействия релятивистских электронных пучков с плазмой в установках УТС".

Руководитель – Дудникова Г. И.

В рамках работы по проекту в 2018 г. разработаны алгоритмы инжекции электронного пучка в плазму для 3D3V кинетической модели, а также методы поглощения электромагнитных полей и определения мощности электромагнитного излучения в 3D геометрии. С помощью разработанных методов были получены оценки эффективности электромагнитного излучения в задаче взаимодействия электронного пучка с модулированной по плотности и однородной плазмой (в открытой постановке). Выполнено сравнение решений для 2D и 3D геометрии для случаев инжекции одного и двух встречных пучков в плазму. Получены зависимости мощности и поляризации электромагнитного излучения от следующих параметров пучка и плазмы: плотности пучка и плазмы, энергии пучка, напряженности магнитного поля и направления движения пучка.

Проект РФФИ 16-29-15120 "Разработка алгоритмического и программного обеспечения многомасштабного моделирования месторождений углеводородов с использованием суперкомпьютеров".

Руководитель – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

В ходе работ по гранту сформулирована, обоснована и реализована математическая модель упруго-пластических сред с учетом фазовых переходов между твердым телом, жидкостью и газом с учетом процесса откола вещества от газовой фазы. Сформулирован один из подходов к записи уравнения состояния упруго-пластических сред, выписаны основные инварианты, используемые для построения уравнения состояния. Представлены результаты математического моделирования геологических деформаций, приводящих к образованию трещин. Решается задача пороупругости на основе метода конечных элементов с использованием подхода (*rp-refinement*) адаптивных подвижных сеток, который позволяет сохранять связность (постоянную структуру матрицы жесткости) для самых различных физических задач, а значит заранее прогнозировать время расчета при имеющихся вычислительных ресурсах. Разработаны параллельные программные модули для расчета задачи пороупругости (в 2D и 3D постановке) на основе *rp-refinement* для решателя Freefem++. Распараллеливание производится средствами MPI путем декомпозиции области на основе метода Шварца с предобусловливателем в виде решения на грубой сетке.

Проект РФФИ 16-01-00455 "Создание автоматизированных технологий и компьютерных программ построения пространственных адаптивных разностных сеток и расчет задач со сложной конфигурацией зон особенностей".

Руководитель – Лисейкин В. Д.

Разработан и программно реализован параллельный алгоритм генерации сеток, согласованных со сложной топографией исследуемой среды (2D и 3D варианты). Особенностью построенных сеток является локальная ортогональность вблизи свободной поверхности. Они применялись для решения прямых 2D и 3D задач теории упругости (моделирование

сейсмополей). Для 2D случая разработаны два параллельных алгоритма (с использованием метода конечных разностей по пространству и времени; с использованием конечно-разностного метода по пространственным переменным и пошагового метода Лагерра по временной переменной). Проведены тестовые расчеты для различных параллельных архитектур, алгоритмы исследованы на слабую и сильную масштабируемость. Рассмотрено решение двухмерной задачи численного моделирования распространения сейсмических волн в сложно построенных гетерогенных упругих средах с сильно выраженной криволинейной границей, характерной для вулкана Эльбрус, на основе метода конечных элементов. Разработаны параллельный алгоритм и программное обеспечение, для проведения соответствующих расчетов с помощью решателя Freefem++ на узлах кластера НКС-1П ССКЦ ИВМиМГ СО РАН. В ходе применения метода Шварца для декомпозиции расчетной области между MPI-процессами рассмотрены различные варианты предобусловливателей. Проведены тестовые расчеты для приближенной модели вулкана Эльбрус.

Проект РФФИ 17-57-45166 ИНД_а "Подход к обработке данных регистрации вибросейсмических волн и теоретического исследования сейсмических волн".

Руководитель – к.т.н. Знак В. И.

На языке Fortran создан параллельный вариант программы обработки сигналов (на примере вибросейсмических сигналов) при помощи порядковых (WOS filters) и ко-фазных порядковых фильтров (Co-phased WOS filters). Проведены расчеты на параллельных архитектурах (классическая многопроцессорная и РСК ПетаСтрим), получены результаты слабой и сильной масштабируемости алгоритма.

Прочие гранты

Грант МК-1445.2017.9 "Разработка эффективных векторизованных параллельных алгоритмов для магнитно-газодинамического моделирования астрофизических течений на гибридных суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi".

Руководитель – д.ф.-м.н. Куликов И. М.

С помощью вычислительных экспериментов на суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi KNL, проведено исследование МГД процессов: предложен один из механизмов образования ионизированных молекулярных облаков в ходе развития сверхзвуковой турбулентности межзвездной среды; показан механизм перезамыкания магнитных линий при взаимодействии солнечного ветра с кометой; описан один из механизмов образования лун в ходе взаимодействия звездного ветра с атмосферой газовой планеты.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных Web of science

1. Boronina M. A., Genrikh E. A., Vshivkov V. A. Numerical simulations of colliding beams dynamics with nonzero crossing angle // *Math. Methods in the Appl. Sci.* 2018. V. 41, iss. 18. P. 9293–9300. DOI: 10.1002/mma.5301.

2. Berendeev E. A., Dudnikova G. I., Efimova A. A., Vshivkov V. A. Simple absorbing layer for EM-radiation from system of beam-plasma interaction // *Ibid.* P. 9276–9282. DOI: 10.1002/mma.5253.

3. Kulikov I. M., Chernykh I. G., Glinskiy B. M., Protasov V. A. An efficient optimization of HLL method for the second generation of Intel Xeon Phi Processor // *Lobachevskii J. of Math.* 2018. Vol. 39, iss. 4. P. 543–551. DOI: 10.1134/S1995080218040091.

4. Kulikov I. M., Chernykh I. G., Tutukov A. V. A new parallel Intel Xeon Phi hydrodynamics code for massively parallel supercomputers // *Lobachevskii J. of Math.* 2018. Vol. 39, iss. 9. P. 1207–1216. DOI: 10.1134/S1995080218090135.

5. Perevalov T. V., Islamov D. R., Chernykh I. G. Atomic and electronic structures of intrinsic defects in Ta₂O₅: Ab initio simulation // *JETP Lett.* 2018. V. 107(12). P. 761–765. DOI: 10.1134/S0021364018120111.

6. V. Annenkov, E. Berendeev, I. Timofeev, E. Volchok. High-power terahertz emission from a plasma penetrated by counterstreaming different-size electron beams // *Physics of Plasmas.* 2018. 5(11), 113110. DOI: 10.1063/1.5048245.

Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus

1. Boronina M., Vshivkov V. 3D numerical modeling of ultrarelativistic particle beams with crossing angle // *Proc. 20th Intern. symposium on high-current electronics "ISHCE 2018"*, 8521191. P. 5–9. DOI: 10.1109/ISHCE.2018.8521191.

2. Dudnikova G., Berendeev E., Efimova A., Vshivkov V. Generation of terahertz radiation by electron beam-plasma interaction // *Ibid.* 8521220. P. 19–22. DOI: 10.1109/ISHCE.2018.8521220.

3. Lazareva G. G., Arakcheev A. S., Burdakov A. V., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Maksimova A. G., Popov V. A., Shoshin A. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Numerical model of high-power transient heating of tungsten with considering of various erosion effects // *J. of Physics: Conf. Series.* 2018. V. 1103, 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012001.

4. Stoyanovskaya O. P., Akimkin V. V., Vorobyov E. I., Glushko T. A., Pavlyuchenkov Ya. N., Snytnikov V. N., Snytnikov N. V. Development and application of fast methods for computing momentum transfer between gas and dust in supercomputer simulation of planet formation // *Ibid.* 012008. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012008.

5. Prigarin V., Protasov V., Berendeev E., Karavaev D., Serenko A., Nenashev V., Ulyanichev I., Kulikov I., Chernykh I., Tutukov A. A new Intel Xeon Phi accelerated hydrodynamic code for numerical simulations of interacting galaxies // *Ibid.* 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012010.

6. Kulikov I. The numerical modeling of the collapse of molecular cloud on adaptive nested mesh // *Ibid.* 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012011.

7. Snytnikov, A. V., Romanenko, A. A. High performance PIC plasma simulation with modern GPUs // *Ibid.* 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012013.

8. Vshivkova L. V., Vshivkov V. A. Two-dimensional algorithm to study electromagnetic waves generating by a relativistic electron beam // *Ibid.* 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012016.

9. Genrikh E. A., Berendeev E. A., Dudnikova G. I. 3D-PIC simulation of the electron beam interaction with modulated density plasma // *Ibid.* 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012018.

10. Boronina M. A., Vshivkov V. A. Numerical modelling of focused relativistic electron-positron beams colliding with crossing angle // *Ibid.* 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012020.

11. Chernykh I., Kulikov I. Numerical modelling of the neutral hydrogen dynamics for astrophysical problems // *Ibid.* 012021. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012021.

12. Berendeev E. A., Annenkov V. V., Timofeev I. V., Dudnikova G. I., Efimova A. A. Comparison of open boundary conditions realizations for continuous injection of an electron beam into a plasma in the case of the PIC and parabolic form-factors // *Ibid.* 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012022.

13. Vshivkova L., Vshivkov V., Dudnikova G. Diagnostics of electromagnetic waves in the vacuum // *J. of Physics: Conf. Series*. 2018. V. 1141, 012039. DOI: 10.1088/1742-6596/1141/1/012039.

14. Boronina M. A., Vshivkov V. A. Parallel algorithm for numerical modeling of colliding ultrarelativistic beams with crossing angle // *AIP Conf. proc.* 2018. V. 2025, 050001. DOI: 10.1063/1.5064903.

15. Genrikh E. A., Berendeev E. A., Vshivkov V. A. 3D-PIC model of the electromagnetic radiation generation by the counter-streaming electron beams // *Ibid.* 110001. DOI: 10.1063/1.5064944.

16. Berendeev E. A., Dudnikova G. I., Efimova A. A. Simulation of open beam-plasma systems by the particle-in-cell (PIC) method // *Ibid.* 080001. DOI: 10.1063/1.5064921.

17. Lazareva G. G., Arakcheev A. S., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Maksimova A. G., Popov V. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Computational experiment for solution of the Stefan problem with nonlinear coefficients // *Ibid.* 080005. DOI: 10.1063/1.5064925.

18. Mironov V., Moskovsky A., Kudryavtsev A., Kulikov I., Alexeev Y., Chernykh I. Evaluation of Intel memory drive technology performance for scientific applications // *ACM Intern. conf. proc. ser.* 2018. P. 14–21. DOI: 10.1145/3286475.3286479.

19. Arakcheev A. S., Apushkinskaya D. E., Kandaurov I. V., Kasatov A. A., Kurkuchekov V. V., Lazareva G. G., Maksimova A. G., Popov V. A., Snytnikov A. V., Trunev Yu. A., Vasilyev A. A., Vyacheslavov L. N. Two-dimensional numerical simulation of tungsten melting in exposure to pulsed electron beam // *Fusion Engin. and Design*. 2018. V. 132. P. 13-17. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2018.05.008.

20. Znak V., Karavaev D., Titov P. Order filters: Some aspects of the intelligent processing of vibroseismic research data as periodic signals and optimization of their performance // *Saint Petersburg 2018: Innovations in Geosciences - Time for Breakthrough*. 2018. Art. num. 44296.

21. Stoyanovskaya O., Glushko T., Snytnikov N., Snytnikov V. Two-fluid dusty gas in smoothed particle hydrodynamics: Fast and implicit algorithm for stiff linear drag // *Astron. and Comput.* 2018. V. 25. P. 25–37. DOI: 10.1016/j.ascom.2018.08.004.

22. Protasov V., Kulikov I., Chernykh I., Gubaydullin I. PADME – new code for modeling of planet georesources formation on heterogeneous computing systems // *MATEC Web of Conf.* 2018. V. 158, 01026. DOI: 10.1051/mateconf/201815801026.

23. Kulikov I., Chernykh I. Numerical modeling of Jellyfish galaxy at Intel Xeon Phi supercomputers // *2017 Ivannikov ISPRAS Open Conf. (ISPRAS)*. 2018. P. 104–109. DOI: 10.1109/ISPRAS.2017.00024.

24. Dudnikova G. I., Vshivkova L. V. Numerical modeling the dynamics of plasma flows interaction in magnetic field // *J. of Physics: Conf. Series*. 2018. V. 1103, 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/1103/1/012017.

25. Romanenko A. A., Snytnikov A. V. The peculiarities of the parallel implementation of particle-in-cell method // *Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Ser.: Matematika, Mekhanika, Komp'yuternye Nauki*. 2018. N 28(3). P. 419–426. DOI: 10.20537/vm180311.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Боронина М. А., Вшивков В. А. Параллельный алгоритм для численного моделирования встречных пучков ультрарелятивистских частиц с учетом угла встречи // *Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технол.* 2018. Т. 16, № 4. С. 31–40. DOI: 10.25205/1818-7900-2018-16-4-31-40.

2. Титов П. А. Моделирование упругих волн в средах со сложной топографией свободной поверхности // *Там же*. № 4. С. 153–166. DOI: 10.25205/1818-7900-2018-16-4-153-166.

3. Глинский Б. М., Кабанихин С. И., Калинин С. А., Куликов И. М., Курмангалиев Р. З., Новиков Н. С., Рязанцев А. Э., Сапетина А. Ф., Черных И. Г., Шишленин М. А. Математическое моделирование упругопластических деформаций для задач образования и эволюции геологических трещин // Там же. № 1. С. 61–73. DOI: 10.25205/1818-7900-2018-16-1-61-73.

4. Мартынов В. Н., Глинский Б. М., Караваев Д. А. Моделирование вибросейсмического мониторинга вулканических структур // Сборник материалов 14-й Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь", Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. Т. 2. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. С. 120–132.

5. Берендеев Е. А., Ефимова А. А. Метод затухающего поглощения электромагнитных волн при численном моделировании взаимодействия электронного пучка с плазмой // Выч. методы. и програм. Новые выч. технол. 2018. Т. 19, вып. 3. С. 253–260.

6. Стояновская О. П., Акимкин В. В., Воробьев Э. И., Глушко Т. А., Павлюченков Я. Н., Снытников В. Н., Снытников Н. В. Разработка и применение алгоритмов для расчета быстрого обмена импульсом между газом и твердыми частицами в суперкомпьютерном моделировании образования планет // Труды конференции "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2018). 2018. С. 353–365.

7. Куликов И. М., Черных И. Г., Пригарин В. Г., Паршин Д. В., Чупахин А. П. Математическое моделирование образования крупномасштабных космологических структур на суперЭВМ // Там же. С. 295–309.

8. Боронина М. А., Вшивков В. А. Параллельный алгоритм для моделирования динамики пучков заряженных частиц при встрече под углом // Тез. докл. 9-й Всерос. конф. с международным участием "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвящ. памяти акад. А. Ф. Сидорова. 2018. С. 14–15.

9. Вшивкова Л. В., Вшивков В. А., Дудникова Г. И. О диагностике электромагнитных волн // Там же. С. 23–24.

10. Берендеев Е. А., Ефимова А. А., Дудникова Г. И. Моделирование открытых пучково-плазменных систем методом частиц в ячейках // Труды 22-й Всерос. конф. "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко. 2018. С. 20–21.

11. Куликов И. М., Черных И. Г. GooPhi: новый код для моделирования астрофизических течений на суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi // Пробл. информ. 2018. № 2. С. 52–74.

12. Сапетина А. Ф., Глинский Б. М., Мартынов В. Н. . Суперкомпьютерное 3D моделирование сейсмических волновых полей в средах, характерных для магматических вулканов // Труды Междунар. конф. "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 окт. 2018 г. Новосибирск: ИВМиМГ, 2018. С. 342–348.

Прочие

1. Chernykh I., Glinskiy B., Kuchin N., Lomakin S. Siberian supercomputer center as a service for bioinformatics research // Abst. of the 3rd Intern. symp. on mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology "MM-HPC-BBB-2018", Novosibirsk, Aug. 21–24, 2018. P. 16. DOI: 10.18699/MM-HPC-BBB-2018-07.

2. Kulikov I. High performance computing in astrophysics. The organic formation in protostellar disc // Ibid. P. 39. DOI: 10.18699/MM-HPC-BBB-2018-30.

Свидетельства о регистрации программ и баз данных в Роспатенте

1. Свидетельство № 2018617293 РФ. Программа для численного решения уравнений гравитационной газовой динамики с использованием векторизации вычислений на суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi / Куликов И. М. Дата регистрации 21.06.2018 г.

2. Свидетельство № 2018665035 РФ. Программа для распараллеливания алгоритма решения задачи фокусировки ударной волны в жидкости на суперЭВМ : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Лазарева Г. Г., Корнеев В. Д., Вшивков В. А. Дата регистрации 29.11.2018. Дата поступления заявки 1.11.2018. Дата публикации 29.11.2018.

Участие в конференциях и совещаниях

1. The 10th International conference on application of mathematics in technical and natural sciences, Албена (Болгария), 20–25 июня 2018 г. – 4 доклада (Боронина М. А., Генрих Е. А., Ефимова А. А., Вшивков В. А., Берендеев Е. А., Снытников А. В.).

2. The 6th International congress energy fluxes and radiation effects ("EFRE 2018"), Томск, 16–22 сент. 2018 г. – 3 доклада (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Вшивков В. А., Ефимова А. А., Генрих Е. А.).

3. 9-я Всероссийская конференция с международным участием "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвящ. памяти акад. А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г. – 4 доклада (Боронина М. А., Ефимова А. А., Берендеев Е. А., Генрих Е. А., Вшивков В. А., Вшивкова Л. В.).

4. 22-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирования численных алгоритмов решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко, Абрау-Дюрсо, 3–8 сентября 2018 г. – 1 доклад (Ефимова А. А., Берендеев Е. А.).

5. Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: methods, tools, and outcomes. Honor of acad. A. Alekseev's 90th birthday, Новосибирск, 11–12 октября 2018 г. – 11 докладов, из них 3 приглашенных (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Вшивков В. А., Генрих Е. А., Ефимова А. А., Куликов И. М., Снытников А. В., Снытников Н. В., Черных И. Г., Вшивкова Л. В.).

6. Международная конференция "Суперкомпьютерные дни в России", Москва, 4–25 сентября 2018 г. – 3 доклада (Винс Д. В., Глинский Б. М., Черных И. Г., Вшивков В. А., Куликов И. М.).

7. 12-я Российская конференция с международным Участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур", Томск, 4–8 июня 2018 г. – 1 доклад (Винс Д. В.).

8. The 3rd Conference on numerical analysis and scientific computation with applications, Каламата (Греция), 2–6 июля 2018г. – 1 доклад (Вшивков В. А., Вшивкова Л. В.).

9. 25-й Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям, Санкт-Петербург, 11–14 сентября 2018 г. – 1 доклад (Ефимова А. А.)

10. Dubna workshop "Computational modelling of complex systems", Дубна, 15 ноября 2018 г. – 2 доклада (Ефимова А. А., Берендеев Е. А.).

11. "EAGE-2018", Санкт-Петербург, 10–11 апреля 2018 г. – 1 доклад (Титов П. А.).

12. "Big data and data analysis" – 2018, Рим (Италия), 20–21 июня 2018 г. – 1 доклад (Титов П. А.).

13. "Параллельные вычислительные технологии 2018", Ростов-на-Дону, 2–6 апреля 2018 г. – 1 доклад (Снытников Н. В.)
14. 10-я Международная молодежная научная школа конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова, Новосибирск, 10–13 октября 2018 г. – 2 доклада (Снытников А. В., Черных И. Г., Глинский Б. М.).
15. Международная конференция "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященная 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 октября 2018 г. – 4 доклада (Глинский Б. М., Сапетина А. Ф., Снытников А. В., Вшивков В. А.).
16. 6-й Международный молодежный Форум "Инженерия для освоения космоса", Томск, 26–28 апреля 2018 г. – 1 доклад (Черных И. Г., Куликов И. М.).
17. Mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology ("ММ-НПС-ВВВ-2018"), Новосибирск, 21–24 августа 2018 г. – 2 доклада (Черных И. Г., Куликов И. М.).
18. Открытая конференция ИСП РАН им. В. П. Иванникова, Москва, 22–23 ноября 2018 г. – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г.).
19. Национальный суперкомпьютерный форум (НСКФ–2018), Переславль-Залесский, 27-30 ноября 2018 г. – 2 доклада (Черных И. Г., Куликов И. М., Берендеев Е. А., Сапетина А. Ф.).
20. Интерэкспо "ГЕО-Сибирь", Новосибирск, 25–27 апреля 2018 г. – 1 доклад (Глинский Б. М., Сапетина А. Ф.).
21. "ISC18", IXPUG Workshop, Франкфурт (Германия), 24–28 июня 2018 г. – 1 доклад (Черных И. Г.).
22. "МСНПС'18": Workshop on memory centric high performance computing, supercomputing' 18, Даллас (США), 11–16 ноября 2018 г. – 1 доклад (Черных И. Г., Куликов И. М.).
23. 2-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием им. В. В. Губарева "Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства"; Молодежная школа, Новосибирск, 11–13 декабря 2018 г. – 1 приглашенный доклад (Черных И. Г.).
24. "Astrochemistry: past, present, future", Пасадена (США), 10–13 июля 2018 г. – 1 доклад (Куликов И. М., Черных И. Г., Глинский Б. М.).
25. International conference on mathematical modeling in physical sciences, Москва, 27–31 августа 2018 г. – 1 доклад (Вшивков В. А., Вшивкова Л. В.).

Участие в оргкомитетах конференций

1. Черных И. Г.:

– член программного комитета и оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.,

– член оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова;

2. Куликов И. М.:

– член программного комитета и оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.,

– член программного комитета и оргкомитета 10-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексева и 80-летию чл.-корр. РАН В. Г. Романова;

3. Глинский Б. М.:

– член программного комитета и оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.,

– член программного комитета международной конференции "Параллельные вычислительные технологии" 2018;

– член программного комитета международной конференции "Суперкомпьютерные дни в России" 2018;

– член программного комитета международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексева, 2018;

4. Вшивков В. А. – член программного комитета и оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.,

5. Берендеев Е. А. – член оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.;

6. Боронина М. А. – член оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.;

7. Генрих Е. А. – член оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.;

8. Ефимова А. А. – член оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.;

9. Снытников А. В. – член оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.;

10. Снытников Н. В. – член оргкомитета международной конференции "Workshop on numerical modeling in MHD and plasma physics: Methods, tools, and outcomes". Honor of acad. A. Alekseev's 90th Birthday, Новосибирск, 11–12 ноября 2018 г.

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 6

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 30

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 13

Докладов на конференциях – 52, в том числе 4 приглашенных.

Участников оргкомитетов конференций – 11

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. Ефимова А. А. – м.н.с.
9. Зернова Л. В. – программист 1-й катег.
10. Кононов А. А. – инженер-электроник
11. Куликов И. М. – н.с. д.ф.-м.н.
12. Кучин Н. В. – гл. специалист по СПО
13. Ломакин С. В. – гл. специалист по ИС
14. Макаров И. Н. – ведущ. программист
15. Сапетина А. Ф. – м.н.с.
16. Снытников А. В. – с.н.с. к.ф.-м.н.
17. Снытников Н. В. – н.с. к.ф.-м.н.
18. Титов П. А. – м.н.с.

Берендеев Е. А., Боронина М. А., Винс Д. В., Генрих Е. А., Ефимова А. А., Куликов И. М., Сапетина А. Ф., Снытников А. В., Снытников Н. В., Титов П. А., Черных И. Г. – молодые научные сотрудники (до 39 лет включительно)

Педагогическая деятельность

- Глинский Б. М. – зав. кафедрой НГУ
Вшивков В. А. – профессор НГУ
Куликов И. М. – доцент НГУ
Сапетина А. Ф. – ассистент НГУ

Руководство студентами

1. Макаров И. О. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Сапетина А. Ф.
2. Тарасов В. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Вшивков В. А.
3. Судаков А. М. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Вшивков В. А.
4. Койнов В. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Глинский Б. М.