

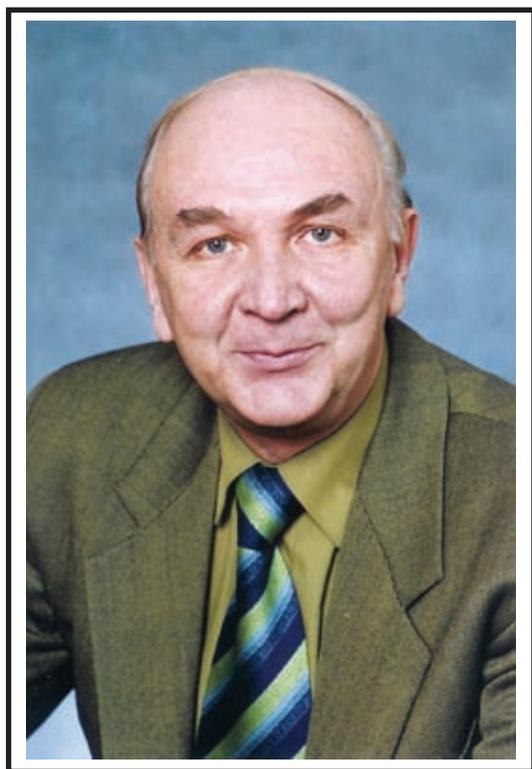
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ  
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

# Отчет подразделений ИВМиМГ СО РАН

о выполнении плановых заданий 2014 г.



Новосибирск-2015



**1944–2014 гг.**

4 октября 2014 г. после тяжелой болезни  
ушел из жизни директор Института вычислительной  
математики и математической геофизики  
академик РАН Борис Григорьевич Михайленко.

## СОДЕРЖАНИЕ

Научно-организационная деятельность.....	4
Важнейшие результаты научных исследований в 2014 г. ....	13
Лаборатория методов Монте-Карло .....	29
Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений.....	43
Лаборатория стохастических задач .....	51
Лаборатория вычислительной физики .....	63
Лаборатория математических задач химии .....	73
Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере .....	81
Лаборатория математического моделирования гидродинамических процессов .....	97
в природной среде	
Лаборатория численного анализа и машинной графики.....	111
Лаборатория математических задач геофизики .....	118
Лаборатория численного моделирования сейсмических полей .....	135
Лаборатория математического моделирования волн цунами .....	144
Лаборатория геофизической информатики .....	152
Лаборатория обработки изображений.....	165
Лаборатория системного моделирования .....	176
Лаборатория прикладных систем .....	180
Лаборатория моделирования динамических процессов в информационных сетях .....	187
Лаборатория синтеза параллельных программ.....	197
Лаборатория параллельных алгоритмов решения больших задач .....	210
Лаборатория Сибирский суперкомпьютерный центр .....	227
Справочная информация .....	238

## НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2014 г. проведено 11 заседаний Ученого совета института. На заседаниях рассмотрены научные, кадровые и организационные вопросы, заслушан научный доклад члена-корреспондента РАН Г. А. Михайлова "Замечания о практически эффективных алгоритмах численного статистического моделирования".

В 2014 г. продолжалась работа по грантам Президента РФ по поддержке ведущих научных школ: по проекту академика РАН Б. Г. Михайленко "Прямые и обратные задачи в науках о Земле, в экологии и рациональном природопользовании. Математические модели геофизических процессов и их связи со свойствами среды. Применение супер-ЭВМ для моделирования в природных и техногенных системах" и проекту члена-корреспондента РАН Г. А. Михайлова "Разработка методов численного статистического моделирования для решения задач математической физики и индустриальной математики". Продолжалась работа по грантам Президента РФ по поддержке молодых кандидатов наук (к.ф.-м.н. К. В. Калгин, к.ф.-м.н. И. М. Куликов), стипендиям Президента РФ для молодых ученых (к.ф.-м.н. А. В. Терехов, Е. А. Берендеев). По результатам конкурса Российского научного фонда для отдельных научных групп получили поддержку два проекта: "Стохастические и клеточно-автоматные модели и алгоритмы для систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений и их применение к моделированию бимолекулярных реакций и процессов аннигиляции электронов и дырок в нановискерах" (руководитель д.ф.-м.н. К. К. Сабельфельд) и "Высокопроизводительные методы и технологии моделирования электрофизических процессов и устройств" (руководитель д.ф.-м.н. В. П. Ильин).

В 2014 г. проводились работы по 9 базовым проектам фундаментальных научных исследований, 18 интеграционным проектам СО РАН (в 6 из них Институт выступает головной организацией), 22 проектам по программам Президиума РАН и ОМН РАН, 3 проектам по программам Президиума РАН по стратегическим направлениям развития науки, 43 инициативному проекту РФФИ (из них 10 молодежных), 2 проектам РНФ.

В 2014 г. аспиранты и сотрудники института защитили 5 кандидатских (И. В. Афанасьев, Д. С. Козлов, Е. А. Месяц, Н. С. Моцартова, А. А. Якименко) и одну докторскую диссертацию (И. Г. Казанцев).

Институт является базовым для четырех кафедр Новосибирского государственного университета: вычислительная математика (ММФ), вычислительные системы (ММФ), математические методы геофизики (ММФ), параллельные вычисления (ФИТ), – и двух кафедр Новосибирского государственного технического университета: параллельные вычислительные технологии (ФПМИ), сетевые информационные технологии (АВТФ).

На базе института действует Учебно-научный центр по вычислительной математике и информатике. Центр создан совместно с НГУ и ИСИ СО РАН, имеет терминальный класс на 12 рабочих мест с компьютерами, подсоединенными к сети института и интернету.

На базе института осуществляет свою деятельность Фонд алгоритмов и программ СО РАН.

Институт принял участие в работе "Национальной суперкомпьютерной технологической платформы" и "Инновационного кластера информационных и биофармацевтических технологий Новосибирской области".

### Конференции, школы

В 2014 г. институтом проведены четыре международные конференции:

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2014". Место проведения – Академгородок, Новосибирск, Россия. Срок проведения – 8–11 июня 2014 г. Количество участников – 319, из них 298 российских и 21 иностранный, в том числе США – 2, Италия – 1, Япония – 3, Германия – 1, Франция – 2, Норвегия – 1, Казахстан – 9, Кыргызстан – 2.

2. Международная школа-конференция "Современные проблемы прикладной математики и информатики". Место проведения – Академгородок, Новосибирск, Россия. Сроки проведения – 9–13 июня 2014 г. Количество участников – 325, из них 321 российский и 4 иностранных, в том числе Франция – 2, Казахстан – 2.

3. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем". Место проведения – с. Булан-Соготту Иссык-Кульской области, Киргизская Республика. Сроки проведения – 25 июля – 5 августа 2014 г. Количество участников – 284, из них 121 российский и 163 иностранных, в том числе Республика Казахстан – 77, Киргизская Республика – 70, Республика Узбекистан – 10, Азербайджан – 4, Турция – 1, Украина – 1.

4. 6-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач". Место проведения – Алматы, Казахстан. Сроки проведения – 8–14 декабря 2014 г. Количество участников – 48, из них 25 российских, 27 иностранных, в том числе Казахстан – 21, Туркестан – 2.

### Международные соглашения, контракты, гранты

1. Соглашение о научном сотрудничестве по проведению совместных исследований в области математического моделирования информационных сетей между ИВМиМГ СО РАН (г. Новосибирск, Россия) и Сункьонкванским Национальным Университетом (Республика Корея). Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – зав. лаб., д.т.н., А. С. Родионов; от Сункьонкванского национального университета – руководитель исследовательского центра по распознаванию образов Донгхо Вон. Срок соглашения – с 01.01.2007 г. по 31.12.2014 г.

2. Соглашение о научно-техническом сотрудничестве по проведению совместной научно-исследовательской и образовательной деятельности между Университетом им. Сулеймана Демиреля, Республика Казахстан и ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – директор, академик РАН Б.Г. Михайленко и зам. директора, член-корреспондент РАН С.И. Кабанихин; от Университета им. Сулеймана Демиреля – ректор Месут Акгул. Срок соглашения – с 15.03.2011 г. по 15.03.2014 г.

3. Договор о научно-техническом сотрудничестве по развитию методов математического моделирования для целей рационального природопользования и охраны окружающей среды между ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия и Восточно-Казахстанским государственным техническим университетом им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан. Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – директор, академик РАН Б. Г. Михайленко, от Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева – ректор Н. М. Темирбеков. Срок договора – с 29.11.2012 г. по 29.11.2017 г.

4. Договор о научно-техническом сотрудничестве по исследованиям в области информационных технологий, системного и прикладного программного обеспечения суперкомпьютеров и разработки суперкомпьютерных приложений между ИВМиМГ СО РАН,

г. Новосибирск, Россия и Технологическим университетом г. Джохор-бару, штат Джохор, Малайзия /Johor- bahru, Johor, Malaysia. Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – зав. лабораторией, д.т.н. В. Э. Малышкин, от Технологического университета – профессор, вице-руководитель по исследованиям и инновациям Мохд Азраай Каззим /Mohd Azraai Kassim. Срок договора – с 28.11.2013 г. по 28.11.2017 г.

5. Договор об издании научных трудов между компанией "Pleiades Publishing Ltd", Британские Виргинские Острова, США и ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – директор, академик РАН, главный редактор лицензионного журнала "Сибирский журнал вычислительной математики" Б. Г. Михайленко. от "Pleiades Publishing Ltd" – президент А. Шусторович. Срок договора – с 06.08.07 г. по 06.08.14 г.

6. Договор о выполнении научно-исследовательских работ по теме "Численные методы решения обратной задачи фармакокинетики" между Акционерным обществом "Научный центр противомикробных препаратов", г. Алматы, Республика Казахстан и ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Координаторы: от ИВМиМГ СО РАН – зам. директора, член-корреспондент РАН С. И. Кабанихин; от Акционерного общества "Научный центр противомикробных препаратов" – президент А. И. Ильин. Срок договора – с 21.11.2013 г. по 25.12.2014 г.

### **Прием зарубежных ученых и представителей фирм**

В 2014 г. принят один иностранный гость – Норма Бинти Элиас – научный сотрудник Института ибн-Сины Технологического университета Малайзии. Срок визита – с 8 по 12 декабря 2014 г. Цель визита: обсуждение совместных исследований в области параллельного программирования в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия и Малазийским Технологическим университетом, г. Джохор Бару, Малайзия.

Финансирование поездки – за счет приезжающей стороны.

Результаты приема: стороны договорились о продолжении совместных работ.

### **Командировки за рубеж**

В 2014 г. за рубеж командирован 91 сотрудник института вместо 100 в 2013 г. Из них 71 командировка для участия в международных конференциях (в том числе 18 в ближнее зарубежье); 16 краткосрочных командировок, касающихся научной кооперации; с целью чтения лекций – 1, оппонирования – 2, переговоров – 1. Страны, в которые было осуществлено командирование: Германия, Австрия, Нидерланды, Франция, Великобритания, Ирландия, Дания, США, Австралия, Аргентина, Уругвай, Япония, Малайзия, Испания, Португалия, Чешская Республика, Греция, Турция, Польша, Сербия, Болгария, Китайская Народная Республика, Республика Корея, Республика Казахстан, Киргизская Республика, Республика Узбекистан.

#### **Германия**

1. Сабельфельд К. К., г.н.с., д.ф.-м.н. Научная работа по моделированию роста нанопроводников. г. Берлин, Германия, с 02.02.14 г. по 05.03.14 г.

2. Сандер И. А., ведущий программист. Проведение научных работ по использованию планшетных компьютеров и электронных книг в образовательном процессе, DOS стандарты в мультимедиа, г. Лейпциг, Германия, с 12.06.14 г. по 12.07.14 г.

3\*. Боронина М. А. к.ф.-м.н., м.н.с. Участие в международной конференции по ускорителям частиц, г. Дрезден, Германия, с 15.06.14 г. по 20.06.14 г.

4. Черных И. Г., н.с., к.ф.-м.н. Участие в международной конференции по суперкомпьютерным вычислениям, г. Лейпциг, Германия, с 22.06.14 г. по 30.06.14 г.

### **Австрия**

5. Криворотько О. И., инженер. Участие в Генеральной Ассамблее Европейского Союза наук о Земле, г. Вена, Австрия, с 25.04.14 г. по 03.05.14 г.

6. Якшина Д. Ф., м.н.с. Участие в Генеральной Ассамблее Европейского Союза наук о Земле, г. Вена, Австрия, с 25.04.14 г. по 03.05.14 г.

7. Михеева А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Европейское объединение геологических наук", г. Вена, Австрия, с 26.04.14 г. по 03.05.14 г.

8. Мартынова Ю. В., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Европейское объединение геологических наук", г. Вена, Австрия, с 26.04.14 г. по 07.05.14 г.

9. Пененко А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Европейское объединение геологических наук", г. Вена, Австрия, с 26.04.14 г. по 03.05.14 г.

10. Куликов И. М., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в рабочем совещании по использованию кода GPUPEGAS в университете г. Вены, Австрия, с 24.06.14 г. по 03.07.14 г.

### **Нидерланды**

11. Решетова Г. В., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в ежегодной конференции Европейской Ассоциации Геофизиков и Инженеров, г. Амстердам, Нидерланды, с 16.06.2014 г. по 23.06.2014 г.

12. Воронин К. В., инженер. Участие в Европейской Ассоциации Геофизиков и Инженеров, г. Амстердам, Нидерланды, с 15.06.14 г. по 18.06.14 г.

13. Каблукова Е. Г., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в международной конференции по дистанционному зондированию атмосферы, г. Амстердам, Нидерланды, с 21.09.14 г. по 27.09.14 г.

### **Франция**

14. Голубева Л. А., с.н.с. Обсуждение совместных проектов для задач математической химии, университет г. Ренн, Франция, с 04.05.14 г. по 01.06.14 г.

15. Городничев М. А., м.н.с. Обсуждение планов совместных работ по теме "Конструирование адаптивных пользовательских интерфейсов сетевой информационно-вычислительной системы", учреждение высшего образования лицей Сен-Жозеф, г. Лорьян, Франция, с 06.09.14 г. по 10.09.14 г.

16\*. Решетова Г. В., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в семинаре по численному моделированию сейсмических волн в разномасштабных средах, г. По, Франция, с 11.06.14 г. по 15.06.14 г.

### **Великобритания**

17. Кабанихин С. И., зам. директора, чл.-корр. РАН. Участие в Международной конференции "Обратные задачи", г. Бристоль, Великобритания, с 24.08.14 г. по 30.08.14 г.

### **Ирландия**

18. Малышкин В. Э., зав.лаб., д.т.н. Оппонирование кандидатской диссертации по теме "Модернизация программируемости производительных программ, основанных на статистическом анализе кода", г. Дублин, Ирландия, с 12.11.14 г. по 16.11.14 г.

### **Италия**

19\*. Лукинов В. Л., н.с., к.ф.-м.н. Участие в международной конференции по прикладной математике, имитации и моделированию, г. Флоренция, Италия, с 22.11.14 г. по 24.11.14 г.

\*Здесь и далее символом "\*" отмечено командирование за счет грантов Российского фонда фундаментальных исследований.

**Швеция**

20\*. Шахов В. В., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в международной конференции по технологиям множественного доступа, г. Хальмстад, Швеция, с 18.08.14 г. по 30.08.14 г.

**Дания**

21. Пененко А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Научная работа по программе "Европейская метеорология и химия", г. Копенгаген, Дания, с 27.02.14 г. по 28.03.14 г.

22. Пененко А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Научная работа по теме "Интегрированные системы динамики и химии атмосферы", Датский метеорологический институт, г. Копенгаген, Дания, с 16.11.14 г. по 07.12.14 г.

**США**

23. Голубева Е. Н., с.н.с., д.ф.-м.н. Участие в работе совещания по международному проекту FAMOS (Форум по арктическим моделям и синтезированным наблюдениям), г. Вудс Холл, США, с 19.10.14 г. по 27.10.14 г.

24. Платов Г. А., с.н.с., д.ф.-м.н. Участие в работе совещания по международному проекту FAMOS (Форум по арктическим моделям и синтезированным наблюдениям), г. Вудс Холл, США, с 19.10.14 г. по 27.10.14 г.

25. Гусяков В. К., зав.лаб., д.ф.-м.н. Участие в ежегодном заседании Американского Геофизического Союза, г. Сан-Франциско, США, с 20.12.14 г. по 24.12.14 г.

**Австралия**

26\*. Голубева Е. Н., с.н.с., д.ф.-м.н. Участие в заседании Рабочей группы Международного комитета по океаническим исследованиям, Атлантический Центр Исследования Климата г. Хабарт, Австралия, с 13.03.14 г. по 24.03.14 г.

**Аргентина**

27. Черных И. Г., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 3-й Международной конференции по численной и наблюдательной астрофизике, г. Буэнос Айрес, Аргентина, с 15.11.14 г. по 01.12.14 г.

28\*. Куликов И. М., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в 3-й Международной конференции по численной и наблюдательной астрофизике, г. Буэнос-Айрес, Аргентина, с 15.11.14 г. по 01.12.14 г.

**Уругвай**

29\*. Мигов Д. А., н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Основы вычислительной математики'2014", г. Монтевидео, Уругвай, с 06.12.14 г. по 19.12.14 г.

**Япония**

30. Черных И. Г., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 7-й токийской Международной конференции по продвинутым методам и технологиям в катализе, г. Киото, Япония, с 29.05.14 г. по 07.06.14 г.

31. Марчук А. Г., в.н.с., д.ф.-м.н. Проведение совместных работ по теме: "Моделирование волн цунами", университет г. Айзу, г. Айзу-Вакамацу, Япония, с 25.08.14 г. по 24.10.14 г.

32. Подколотный М. Л., с.н.с. Обсуждение задач по моделированию фармакокинетики лекарств, г. Токио, Япония, с 27.10.14 г. по 01.11.14 г.

**Малайзия**

33. Малышкин В. Э., д.т.н., зав.лаб. Участие в 13-й Международной конференции по разработке интеллектуального программного обеспечения, методов, оборудования и технологий, г. Лангави, Малайзия, с 21.09.14 г. по 27.09.14 г.

**Испания**

34. Решетова Г. В., в.н.с. Участие в Международной конференции "Сотрудничество по передовым компьютерным технологиям в Европе", г. Барселона, Испания, с 19.05.14 г. по 23.05.14 г.

35. Мартынова Ю. В., инженер, к.ф.-м.н. Участие во 2-й Европейской школе по Земной системе и климатическому моделированию, университет г. Барселоны, Испания, с 09.06.14 г. по 25.06.14 г.

36\*. Гусев С. А., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в 5-й Международной конференции по механике и аэрокосмическим приложениям, г. Мадрид, Испания, с 16.07.14 г. по 21.07.14 г.

37\*. Гусяков В. К., зав.лаб., д.ф.-м.н. Участие в Международном симпозиуме "Геориск", г. Мадрид, Испания, с 15.11.14 г. по 21.11.14 г.

**Португалия**

38. Пененко А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в школе молодых ученых "Моделирование метеорологических и химических процессов переноса", университет г. Авейро, Португалия, с 05.07.14 г. по 14.07.14 г.

39\*. Лукинов В.Л., н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по прикладной математике и моделированию, г. Лиссабон, Португалия, с 30.10.14 г. по 02.11.14 г.

**Чешская Республика**

40. Родионов А.С., зав. лаб., д.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по прикладной математике, вычислительным методам и инжинирингу, г. Прага, Чешская Республика, с 31.03.14 г. по 06.04.14 г.

**Греция**

41. Глинский Б. М., зав. лаб., д.т.н. Участие в 10-й Международной конференции "Интеллектуальная обработка информации", г. Ираклион, Греция, с 03.10.14 г. по 13.10.14 г.

42. Ковалевский В. В., зам. директора, д.т.н. Участие в 10-й Международной конференции "Интеллектуальная обработка информации", г. Ираклион, Греция, с 03.10.14 г. по 12.10.14 г.

43\*. Хайретдинов М.С., г.н.с. д.т.н. Участие в 10-й Международной конференции "Интеллектуальная обработка информации", г. Ираклион, Греция, с 03.10.14 г. по 12.10.14 г.

44. Гусяков В. К., зав.лаб., д.ф.-м.н. Участие в Международной школе-семинаре по мезогаземлетрясениям и цунами в зонах субдукции, г. Родос, Греция, с 06.10.14 г. по 08.10.14 г.

45. Родионов А.С., зав. лаб., д.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Математические методы и вычислительные технологии в науке и инженерии", г. Афины, Греция, с 27.11.14 г. по 03.12.14 г.

**Турция**

46. Кабанихин С. И., зам. директора, чл.-корр. РАН. Участие в Международной конференции "Обратные задачи", г. Фетхие, Турция, с 24.05.14 г. по 02.06.14 г.

47. Воронов Д. А., инженер. Участие в Международной конференции "Обратные задачи", г. Фетхие, Турция, с 24.05.14 г. по 02.06.14 г.

**Польша**

48\*. Воронов Д. А., инженер. Участие в Международной конференции по обратным задачам в технических науках, г. Краков, Польша, с 10.05.14 г. по 20.05.14 г.

49\*. Киреева А. Е., к.ф.-м.н., м.н.с. Участие в Международной конференции по клеточным автоматам для научных исследований и промышленности, г. Краков, Польша, с 15.09.14 г. по 12.10.14 г.

### **Сербия**

50. Шахов В. В., н.с., к.ф.-м.н. Участие в 22-ом международном форуме по телекоммуникациям, г. Белград, Сербия, с 24.11.14 г. по 29.11.14 г.

### **Болгария**

51. Суродина И. В., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Конечно-разностные методы: теория и приложения", г. Лозенец, Болгария, с 17.06.14 г. по 25.06.14 г.

52. Бобоев Кодир, ведущ. инженер. Участие в Международной конференции "Конечно-разностные методы: теория и приложения", г. Лозенец, Болгария, с 17.06.14 г. по 25.06.14 г.

53\*. Мартынов В. Н., с.н.с. Участие в Международной конференции "Конечно-разностные методы: теория и приложения", г. Лозенец, Болгария, с 17.06.14 г. по 25.06.14 г.

54\*. Воскобойникова Г. М., м.н.с. Участие в Международной конференции по геонаукам, г. Албена, Болгария, с 17.06.14 г. по 02.07.14 г.

55. Воронин К. В., инженер. Участие в Международной конференции "Конечно разностные методы: теория и приложения", г. Лозенец, Болгария, с 19.06.14 г. по 25.06.14 г.

56\*. Бурмистров А. В., н.с. Участие в Международной конференции по вероятности и статистике, г. Поморие, Болгария, с 20.06.14 г. по 27.06.14 г.

57\*. Коротченко М. А., н.с. Участие в Международной конференции по вероятности и статистике, г. Поморие, Болгария, с 20.06.14 г. по 27.06.14 г.

58\*. Лукинов В. Л., н.с., к.ф.-м.н. Участие в Международной конференции по теории вероятности и математической статистике, г. Поморие, Болгария, с 22.06.14 г. по 07.07.14 г.

### **Китайская Народная Республика**

59\*. Воскобойникова Г. М., м.н.с. Участие в международной конференции по экосистемам Земли, г. Пекин, Китай, с 12.05.14 г. по 21.05.14 г.

60. Марченко М. А., ученый секретарь, к.-ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Динамика разреженных газов", Институт механики китайской Академии наук, г. Сиань, Китайская Народная Республика, с 12.07.14 г. по 21.07.14 г.

### **Республика Корея**

61\*. Кузин В. И., д.ф.-м.н., зав.лаб. Участие в Международной конференции Тихоокеанской научной организации, г. Йосу, Республика Корея, с 18.10.14 г. по 27.10.14 г.

62. Шахов В. В., н.с., к.ф.-м.н. Участие в корейско-российском форуме по индустриальным технологиям, г. Сеул, Республика Корея, с 09.11.14 г. по 15.11.14 г.

### **Республика Казахстан**

63. Решетова Г. В., в.н.с. д.ф.-м.н.. Участие в Международной конференции Европейской Ассоциации Геофизиков и Инженеров, проведение совместных работ в области распространения сейсмических волн во флюидонасыщенных средах, г. Алматы, Республика Казахстан, с 23.02.14 г. по 26.04.14 г.

64. Городничев М. А., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Разработка системного программного обеспечения для объединения разнородных суперкомпьютеров в единую вычислительную систему", Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 25.03.14 г. по 06.04.14 г.

65. Перепелкин В. А., м.н.с. Совместная научная работа по теме: "Разработка системного программного обеспечения для объединения разнородных суперкомпьютеров в единую вычислительную систему", Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 25.03.14 г. по 06.04.14 г.

66. Кабанихин С. И., зам. директора, чл.-корр. РАН. Чтение лекций по теме: "Обратные задачи геоэлектрики", Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Республика Казахстан, с 13.04.14 г. по 27.04.14 г.

67. Решетова Г. В., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в совместном семинаре Казахского государственного университета и Казахско-британского технического университета по численному моделированию процессов вытеснения, г. Алматы, Республика Казахстан, с 08.06.14 г. по 10.06.14 г.

68. Городничев М. А., м.н.с. Проведение совместных работ по теме "Высокопроизводительные вычисления. Коммуникационное облако", университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 13.07.14 г. по 04.08.14 г.

69. Перепелкин В. А., м.н.с. Проведение совместных работ по теме "Высокопроизводительные вычисления. Коммуникационное облако", университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 13.07.14 г. по 04.08.14 г.

70\*. Хайретдинов М. С., г.н.с. д.т.н. Участие в Международной конференции "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", г. Курчатов, Республика Казахстан, с 03.08.14 г. по 09.08.14 г.

71\*. Решетова Г. В., в.н.с., д.ф.-м.н. Проведение совместных работ в области распространения сейсмических волн во флюидонасыщенных средах, Республика Казахстан, с 03.08.14 г. по 09.08.14 г.

72\*. Скопин И. Н., к.ф.-м.н., н.с. Участие в переговорах по организации обучения по использованию библиотеки "KRYLOV" в учебном процессе и организации высокопроизводительных вычислений, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 05.08.14 г. по 12.08.14 г.

73. Решетова Г. В., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в семинаре по сейсмике, г. Алматы, Республика Казахстан, с 04.09.14 г. по 08.09.14 г.

74. Пененко А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Научная работа по теме: "Разработка и применение методов природоохранных задач", г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, с 05.10.14 г. по 19.10.14 г.

75. Криворотько О. И., инженер. Участие в 6-й Международной молодежной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 07.12.14 г. по 19.12.14 г.

76. Воронов Д. А., инженер. Участие в 6-й Международной молодежной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 07.12.14 г. по 19.12.14 г.

77. Пененко А. В., м.н.с., к.ф.-м.н. Участие в 6-й Международной молодежной школе-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 08.12.14 г. по 15.12.14 г.

78. Городничев М. А., м.н.с. Проведение совместных работ по теме: "Высокопроизводительные вычисления. Коммуникационное облако", университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 18.12.14 г. по 28.12.14 г.

79. Перепелкин В. А., м.н.с. Проведение совместных работ по теме "Высокопроизводительные вычисления. Коммуникационное облако", университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, с 18.12.14 г. по 28.12.14 г.

### **Киргизская Республика**

80. Попков В. К., г.н.с., д.ф.-м.н. Организация 10-й Международной конференции "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Бишкек, Киргизская Республика, с 07.04.14 г. по 14.04.14 г.

81. Попков В. К., г.н.с., д.ф.-м.н. Организация и проведение 10-й Международной школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 21.07.14 г. по 06.08.14 г.

82. Токтошов Г. Ы., м.н.с. Организация и проведение 10-й Международной школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 20.07.14 г. по 09.08.14 г.

83. Михайленко Б. Г., академик РАН, директор. Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 06.08.14 г.

84. Свешников В. М., зав.лаб., д.ф.-м.н. Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 06.08.14 г.

85. Войтишек А. В., в.н.с., д.ф.-м.н. Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 04.08.14 г.

86. Кузин В. И., зав.лаб., д.ф.-м.н. Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 06.08.14 г.

87. Соколова О. Д., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 01.08.14 г.

88. Аверина Т. А., с.н.с., к.ф.-м.н. Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 28.07.14 г.

89\*. Скопин И. Н., к.ф.-м.н., н.с., Участие в 10-й Международной школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем", г. Чолпон-Ата, Киргизская Республика, с 25.07.14 г. по 04.08.14 г.

90. Попков В. К., г.н.с., д.ф.-м.н. Оппонирование докторской диссертации "Системный анализ и разработка алгоритмов управления информацией в гетерогенных телекоммуникационных системах", Институт автоматики и информационных технологий, г. Бишкек, Киргизская Республика, с 19.11.14 г. по 24.11.14 г.

### **Республика Узбекистан**

91. Имомназаров Х. Х., в.н.с. д.ф.-м.н. Участие в Международной конференции "Неклассические уравнения математической физики", г. Ташкент, Республика Узбекистан, с 16.10.14 г. по 27.10.14 г.

**Важнейшие результаты научных исследований в 2014 г.****Приоритетное направление 1.2 Вычислительная математика****Программа 1.2.1. "Вычислительные методы в задачах естествознания".****1. Минимизация вычислительной трудоемкости смещенных оценок метода Монте-Карло.**

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

Численное статистическое моделирование свободного пробега частицы для столкновительной модели процесса переноса с учетом ускорения внешним силовым полем реализуется шагами по времени. Построена новая конструктивная оценка соответствующей детерминированной относительной погрешности, которая позволяет выбрать подходящую величину шага. Стандартные статистические "локальные оценки" плотности потока частиц являются смещенными вследствие зануления вкладов от столкновений в "локальном шаре" малого радиуса для ограничения дисперсии. Получены практически эффективные оценки соответствующей относительной погрешности. Дополнительно осуществлена равномерная оптимизация функциональной оценки плотности распределения частиц типа гистограммы в предположении "пуассоновости" соответствующего статистического ансамбля. Оказалось, что в оптимальных (по трудоемкости) вариантах рассмотренных алгоритмов детерминированная погрешность близка к статистической.

Публикации:

1. Михайлов Г. А., Лотова Г. З. О выборе шага по времени и вероятности столкновения в численном статистическом моделировании переноса частиц с учетом ускорения внешним силовым полем // Докл. Акад. наук. 2014. Том 458, № 3. С. 272–275.

2. Лотова Г. З., Михайлов Г. А. Исследование и улучшение смещенных оценок метода Монте-Карло // Журн. вычислительной математики и математической физики. 2015. Т. 55, № 1. С. 8-19 (в печати).

Конференции:

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014". Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Пленарный доклад: Михайлов Г. А., Лотова Г. З. "Погрешности стандартных смещенных оценок метода Монте-Карло".

2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014". Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Доклад: Лотова Г. З. "Оценка плотности частиц, а также коэффициента и радиуса диффузии, при моделировании электронных лавин в газах".

3. Международный конгресс "Потоки энергии и радиационные эффекты", Томск, 21–26 сентября 2014 г. Доклад: Лотова Г. З. "Уменьшение трудоемкости моделирования методом Монте-Карло электронных лавин в газах".

**2. Численное статистическое моделирование переноса излучения терагерцового лидача в облачной аэрозольной атмосфере для решения задач дистанционного зондирования жидкокапельных облаков.**

К.ф.-м.н. Каблукова Е. Г., д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

На основе статистического моделирования получены численные оценки временного распределения интенсивности сигнала, излучаемого терагерцовым лидаром и отраженно-

го нижней кромкой облаков для различных вариантов реализаций начальных и граничных оптико-геометрических условий с учетом типа облачности и ослабления парами воды на трассе зондирования. Проанализирована структура локационного сигнала в зависимости от фона многократного рассеяния, длины волны излучения, концентрации паров воды в атмосфере.

Результаты этих исследований опубликованы в работах:

1. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г., Чесноков Е. Н. Численное статистическое моделирование распространения терагерцового излучения в облачном аэрозоле // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 11. С. 939–948.

2. Kablukova E. G., Kargin B. A., Lisenko A. A. Influence of large and supersize droplets on propagation of LIDAR radiation in cloud aerosol: numerical statistical simulation // Proc. SPIE 9242, Remote Sensing 2014. 9242-22 (in press).

3. Kablukova E., Kargin Boris. Optimizing local estimates of the Monte Carlo method for problems of laser sensing of scattering media // Topics in Statistical Simulation, Springer Proc. in Mathematics and Statistics 114, P. 307–315, DOI 10.1007/978-1-4939-2104-1\_29. Springer Science + Business Media, New York, 2014.

Конференции:

1. Каблукова Е. Г. Каргин Б. А. Дискретно-стохастическая модификация алгоритма вычисления углового распределения направлений вылета из плоского рассеивающего слоя // Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики -2014", Новосибирск, 8–11 июля 2014 г.

2. Kablukova E. G., Kargin B. A., Lisenko A. A. Influence of large and supersize droplets on propagation of Lidar radiation in cloud aerosol. Numerical statistical simulation // SPIE Remote Sensing 2014. Amsterdam (Netherland), 22–25 Sept. 2014.

3. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Статистическое моделирование распространения лидарного сигнала в облачном слое с учетом поляризации // 21-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–28 ноября 2014 г.

### **3. Метод определения производных по параметрам функционалов, содержащих время первого выхода диффузионного процесса из области.**

К.ф.-м.-н. Гусев С. А.

Разработан метод определения производных по параметрам математических ожиданий функционалов диффузионных процессов, содержащих время первого выхода случайного процесса из области. Предложенная формула для вычисления этих параметрических производных не содержит производную времени первого выхода диффузионного процесса из области и доказана (в отличие от полученной ранее автором формулы) без предварительного трудно проверяемого предположения о существовании среднеквадратических производных времени первого выхода по параметрам. Результат получен в соавторстве с Н. Г. Докучаевым (Куртинский университет, Австралия).

Публикации:

Гусев С. А., Докучаев Н. Г. О дифференцировании функционалов, содержащих время первого выхода диффузионного процесса из области // Теория вероятностей и ее применения. 2014. Т. 59, № 1. С. 159–168.

### **4. Построение и исследование потоковых схем расщепления для решения многомерных уравнений векторного теплового потока.**

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

Предложен подход к построению потоковых схем расщепления для решения задач теплопереноса. В основе подхода лежит использование известных устойчивых схем расщепления для скалярной величины, в качестве которой выступает дивергенция векторного потока. Такая конструкция носит в достаточной степени универсальный характер, в частности, были построены потоковые схемы на основе следующих схем-преобразов: схемы переменных направлений, локально-одномерной схемы, схемы предиктор-корректор, схемы Дугласа – Гана в трехмерном случае. Для двумерной потоковой схемы, полученной из схемы-преобраза переменных направлений, и трехмерной потоковой схемы, полученной из схемы-преобраза Дугласа – Гана, доказана устойчивость по начальным данным в предположениях, при которых имеет место устойчивость для указанных схем-преобразов.

Публикации:

1. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Об одном подходе к построению потоковых схем расщепления в смешанном методе конечных элементов // Математическое моделирование. 2014. Т. 26, № 12. С. 33–47.

2. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Об устойчивости некоторых потоковых схем расщепления // СибЖВМ. 2015. Т. 18, № 2 (в печати).

Конференции:

1. Воронин К. В. Априорные оценки для схем расщепления в смешанном методе конечных элементов. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН – 2014, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г. <http://www.sscs.ru/news/cfpkmu2014.pdf>.

2. Voronin K. V., Laevsky Y. M. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed FEM for heat transfer problems. The 6th Conference on Finite Difference Methods: Theory and Applications FDM-2014, Lozenetz (Bulgaria), June 18–23, 2014. <http://icm.krasn.ru/ftp/conferences/2014/72/Sixthconference2.pdf>.

3. Voronin K., Laevsky Yu. Stream splitting schemes in numerical simulation of geodynamics. The 2nd Russian – French Workshop "Computational geophysics", Berdsk, September 22–25, 2014. [http://cg2014.ipgg.sbras.ru/en/scientific\\_program](http://cg2014.ipgg.sbras.ru/en/scientific_program).

4. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Об одном подходе к построению векторных схем расщепления в смешанном МКЭ для задач теплопереноса. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июля 2014 г. [http://conf.nsc.ru/amca14/amca14\\_status](http://conf.nsc.ru/amca14/amca14_status).

### **5. Разработка и исследование высокопроизводительных методов и технологий моделирования трехмерных электромагнитных полей в частотной области.**

К.ф.-м.н. Бутюгин Д. С., д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработаны и исследованы методы расчета трехмерных электромагнитных полей в широком диапазоне частот на основе решения смешанных краевых задач для комплексного векторного уравнения Гельмгольца в областях со сложной геометрией кусочно-гладкой границы и контрастными материальными свойствами различных сред в подобластях. Аппроксимации исходных задач осуществляются методами конечных элементов на адаптивных неструктурированных сетках с использованием базисных функций вплоть до четвертого порядка и автоматического сгущения сеток в окрестности сингулярных точек. Решение получаемых систем линейных алгебраических уравнений проводится с помощью оптимальных по порядку предобусловленных итерационных методов в подпространствах Крылова. Параллельная реализация предложенных численных методов осуществлена в рамках пакета прикладных программ Helmpoltz – 3D на основе декомпозиции областей средствами

гибридного программирования с использованием систем MPI и OpenMP на многопроцессорных вычислительных системах с общей и распределенной памятью. Высокая точность и производительность разработанных алгоритмов и технологий демонстрируется на результатах решения представительного набора методических и практических задач.

Публикация:

Butyugin D. S., Il'in V. P. Solution of problems of harmonic electromagnetic field simulation in regularized and mixed formulations // RJNAMM. 2014. Vol. 29, N 1. P. 1–12.

### **6. Построение алгоритма пересчета граничных условий для бигармонического уравнения.**

Д.ф.-м.н. Сорокин С. Б.

Завершен цикл работ по построению экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин. Обоснована возможность численного решения бигармонического уравнения с краевыми условиями защемленного и свободного края посредством решения серии задач для бигармонического оператора с краевыми условиями шарнирного опирания. Для ряда специальных случаев задания краевых условий получены неулучшаемые константы энергетической эквивалентности, что позволяет применять метод Ричардсона с чебышевским набором параметров – менее затратный, чем метод сопряженных градиентов.

Публикации:

1. Сорокин С. Б. Аналитическое решение обобщенной спектральной задачи в методе пересчета граничных условий для бигармонического уравнения // СибЖВМ. 2014. Т. 16, № 3. С. 267–274.

2. Сорокин С. Б. Точные константы энергетической эквивалентности в методе пересчета граничных условий // Вестн. НГУ. Сер.: Математика, механика, информатика. 2013. Т. 13, вып. 3. С. 103–111.

3. Sorokin S. B. Analytical solution to a generalized spectral problem in a method of recalculating boundary conditions for the biharmonic equation // Num. Analysis and Applic. July 2013. Vol. 6, iss. 3. P. 229–235.

4. Сорокин С. Б. Построение экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин // Докл. Акад. наук. 2014. Т. 454, № 4. С. 392–395.

5. Sorokin S. B. Construction of economic discrete models in problems of plate theory // Doklady Mathematics. Jan. 2014. Vol. 89, iss. 1. P. 80–83. <http://link.springer.com/article/10.1134/S1064562414010232>. DOI 10.1134/S1064562414010232 (в базах Scopus, Web of Science)

Конференции:

1. 5-я Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 13–18 сент. 2010 г.

2. Всероссийская конференция по вычислительной математике "КВМ-2011", Новосибирск, 29 июня – 1 июля 2011 г.

3. "Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования", Новосибирск, 12–15 июня 2012 г.

4. 6-я Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 10–16 сент. 2012 г.

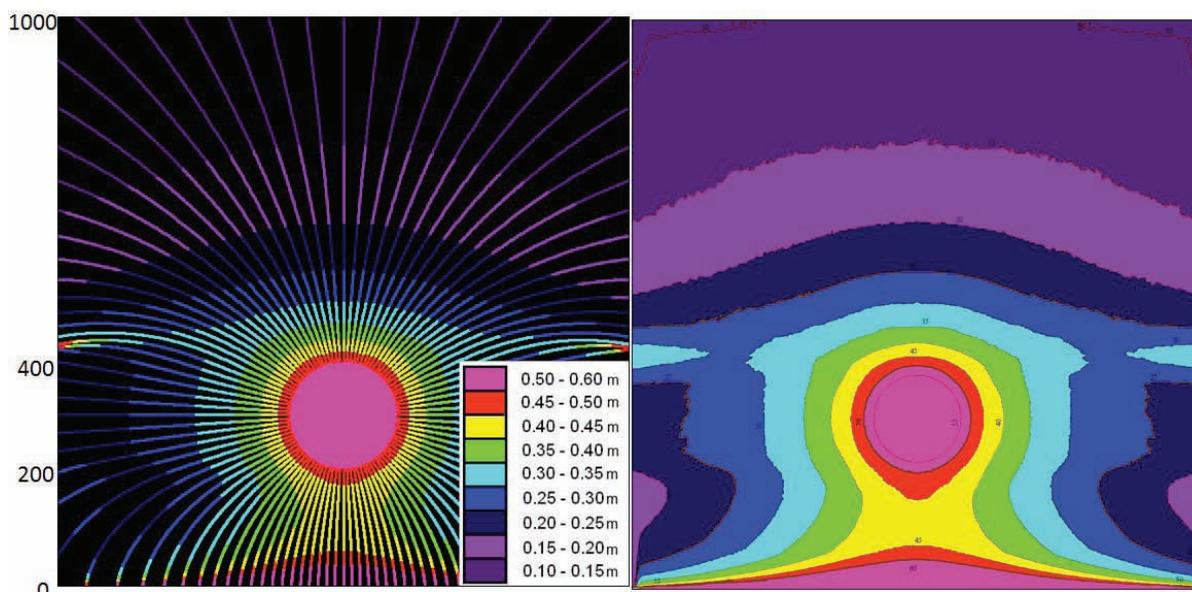
**Приоритетное направление 1.3 Математическое моделирование**

**Программа 1.3.1.** "Математическое моделирование и разработка новых численных методов в задачах геофизики, физики океана и атмосферы, и охраны окружающей среды".

**1. Разработка численного метода и создание расчетной программы для оценки амплитуды волны цунами над неровным дном в рамках лучевого приближения.**

Д.ф.-м.н. Ан. Г. Марчук.

В рамках нелинейной модели мелкой воды получены формулы, выражающие изменение высоты волны при ее движении по лучевой трубке над неровным дном. Разработан и реализован в виде расчетной программы алгоритм построения волновых фронтов и лучей при распространении цунами от заданного очага или начального положения фронта волны. Используя найденные формулы, метод позволяет быстро оценивать высоту волны в любой точке расчетной области. Проведено сравнение результатов работы этого метода с распределением максимальных амплитуд, полученных путем полного численного расчета динамики волны в рамках нелинейной модели мелкой воды. По сравнению с существующими разностными методами расчета разработанный метод требует гораздо меньше вычислительных ресурсов и машинного времени.



Распределение максимумов высоты волны цунами от круглого источника, полученное с использованием разработанного метода (слева) и численных расчетов в рамках нелинейной модели мелкой воды (справа)

**Публикация:**

1. Marchuk An. G., Vasiliev G. S. The fast method for a rough tsunami amplitude estimation // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geoph. 2014. Vol. 17. P. 21–34.

**Конференции:**

1. General Assembly of the European Geophysics Union, Vienna, Austria. April 27 – May 2, 2014. Доклад: Lavrentiev M. M., Marchuk A. G., Romanenko A. A., Vassilyev G. Fast method to calculate tsunami arrival times.

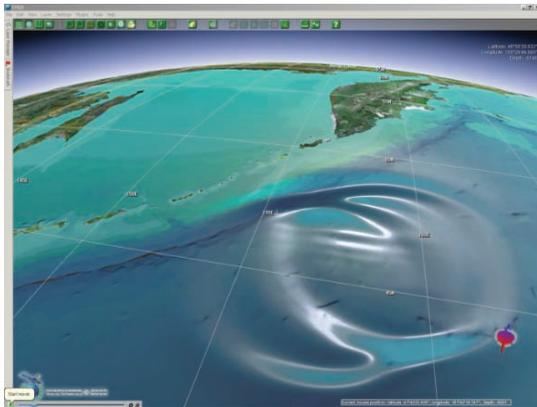
2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Доклад: Марчук Ан. Г., Васильев Г. С. Быстрый метод для приближенного вычисления высоты цунами.

3. Asia Oceania Geoscience Society – 2014, Sapporo, Japan, July 28 – August 1, 2014. Доклад: Lavrentiev M. M., Marchuk A. G., Romanenko A. A. Software solutions for fast and accurate tsunami warning system.

## 2. Комплекс алгоритмов и программ численного решения прямых и обратных задач для исследования процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере.

Член-корр. РАН Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Маринин И. В.

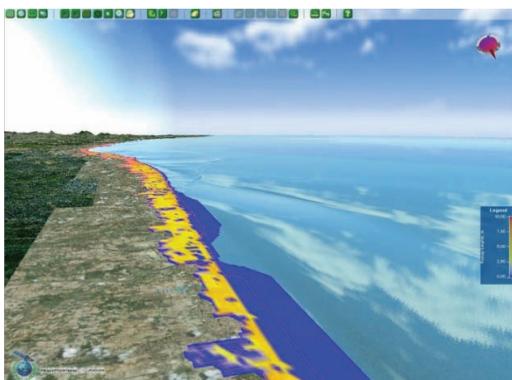
Разработан комплекс алгоритмов и программ численного моделирования и обращения волновых фронтов для оперативного решения прямых и обратных задач электродинамики, акустики и теории упругости. На основе трехмерной геоинформационной системы разработанные алгоритмы используются для моделирования, визуализации, прогнозирования и оценки рисков природных и техногенных катастроф (землетрясений, цунами, наводнений). Результатом численного моделирования прямых и обратных задач явилось создание трехмерных цифровых моделей различных регионов и Земного шара в целом с учетом взаимодействия процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере Земли с оперативным использованием сейсмических, электромагнитных, метеорологических и космических данных.



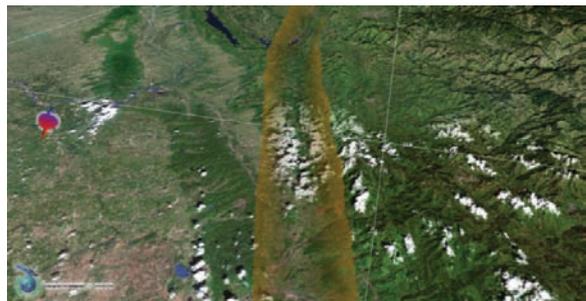
Численное моделирование Симуширского цунами 15 ноября 2006 г. (Япония)



Историческая база данных землетрясений вблизи Японии



Моделирование наката волны цунами г. Нагапаттинам (Индия)



Визуализация литосферных плит

Публикации:

1. Kabanikhin S. I., Bektemesov M. A., Nurseitov D. B., Krivorotko O. I., Alimova A. N. An optimization method in the Dirichlet problem for the wave equation // J. of Inverse and Ill-Posed Problems. 2012. V. 20, N 2. P. 193–211 (Impact Factor 0.593)

2. Kabanikhin S. I., Krivorot'ko O. I. A numerical method for determining the amplitude of a wave edge in shallow water approximation // Appl. Comput. Math. 2013. V. 12, N 1. P. 91–96 (Impact Factor 0.75)

3. Kabanikhin S. I., Hasanov A., Marinin I. V., Krivorotko O. I., Khidasheli D. A variational approach to reconstruction of an initial tsunami source perturbation // Appl. Num. Math. 2014. V. 83. P. 22–7 (Impact Factor 1.207)

4. Кабанихин С. И., Криворот'ко О. И., Маринин И. В. Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф. Предварительный оперативный анализ и оценка последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. М.: Palmarium Academic Publishing, 2013. 96 стр.

### 3. Восстановление плоской волны с треугольным носителем.

Д.ф.-м.н. Казанцев И. Г.

Один из подходов конструирования алгоритмов реконструкции в вычислительной томографии состоит в представлении восстанавливаемого изображения в виде декомпозиции плоских волн определенных ориентаций и задании носителя изображения. Затем к изображению применяется преобразование Радона и аналитически вычисляются проекции отдельных плоских волн. Такие репроекции плоских волн составляют основу аналитических и алгебраических методов томографии. При проведении формальных выкладок необходимо учитывать форму носителя изображения, определяющую отрезки просвечивающих лучей, а значит и пределы интегрирования. Большинство формул обращения преобразования Радона предполагают в качестве носителя либо всю плоскость, либо круг заданного радиуса. Для квадратного носителя известна лишь одна уникальная формула обращения. Доказана теорема: для восстановления обеих частей отдельной плоской волны  $h_\omega$  с треугольным носителем достаточно иметь две проекции  $p_{e_1}$  и  $p_{e_2}$  при условии  $\theta_1 < \omega < \theta_2$ .

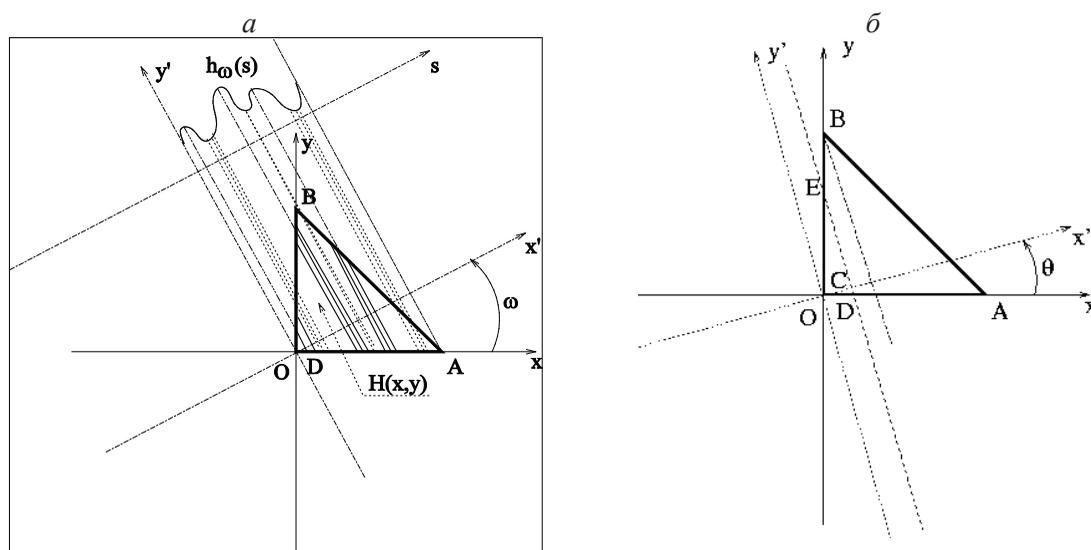


Рис. 1. Обратное проецирование функции  $h_\omega(s)$  на треугольник AOB (а); репроекция под углом  $\theta$  функции с треугольным носителем AOB (б)

Публикация:

Казанцев И. Г. Восстановление плоской волны с треугольным носителем // Труды 10-го Междунар. науч. конгр. и выставки "ИНТЕРЭКСПОГЕО-Сибирь-2014". Т. 1 "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 14–16 апр. 2014 г. С. 94–97.

Доклад на конференции:

10-й Междунар. научный конгресс и выставка "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 14–16 апр. 2014 г.

### **3. Численное решение методом конечных элементов с мультипликативным выделением особенности задач теории упругости и уравнений Максвелла.**

Д.ф.-м.н Урев М. В.

Рассмотрена начально-краевая задача для системы уравнений Максвелла в ограниченной области с гладкой границей на конечном временном интервале с новыми граничными условиями с памятью. В подходящих функциональных пространствах определен и исследован несамосопряженный оператор, порождаемый оператором Максвелла при граничном условии с памятью. Операторным методом доказана теорема существования и единственности решения начально-краевой задачи.

Изучены вопросы численного решения методом конечных элементов (МКЭ) первой краевой задачи для эллиптического уравнения с вырождением на части границы. В соответствующих задаче функциональных пространствах с согласованными весами рассмотрены слабая и сильная вариационные постановки. Используя прием мультипликативного выделения особенности для МКЭ с использованием кусочно-линейных элементов, доказана сходимость в весовой норме приближенного решения к точному решению с оценкой не хуже, чем в случае эллиптического уравнения без вырождения.

Публикации:

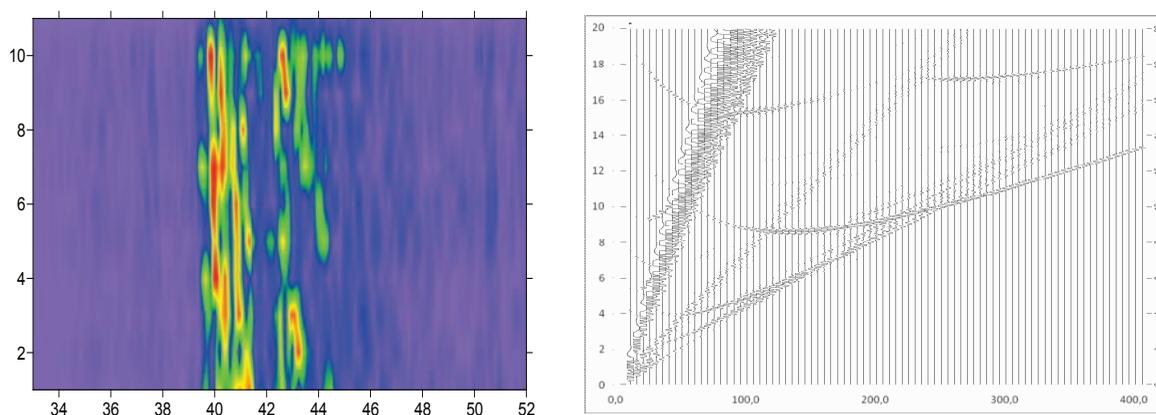
1. Urev M. V. On the Maxwell system under impedance boundary conditions with memory // Sib. Math. J. 2014. Vol. 55, № 3. P. 548–563 (в базах Scopus, Web of Science)

2. Urev M. V. Convergence of the Finite Element Method for an Elliptic Equation with Strong Degeneration // J. of Appl. and Industrial Math. 2014. Vol. 8, № 3. P. 1–13. (в базе Scopus)

### **4. Исследования и верификации скоростных моделей земной коры с применением математического моделирования и методов активной сейсмологии**

Д.т.н. Ковалевский В. В., д.ф.-м.н. Фатьянов А. Г., к.т.н. Авроров С. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., к.т.н. Якименко А. А.

Исследована скоростная модель земной коры для 500-километрового профиля Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия, построенная по результатам эксперимента BEST, выполненного по методике ГСЗ. Для моделирования полного волнового поля в слоистой модели среды применялся аналитический (без использования сеток) метод расчета сейсмических волновых полей в блоково-неоднородных средах, который позволил получить точное аналитическое решение для больших размеров расчетной области. Для верификации модели проведено сравнение рассчитанных теоретических сейсмограмм с реально регистрируемыми сейсмограммами, полученными методами активной сейсмологии, и данными вибросейсмических зондирований, выполненных ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН. Результаты сравнения теоретических и экспериментальных сейсмограмм позволили скорректировать существующую скоростную модель в нижних слоях земной коры, контактирующей с мантией.



Вибрационная сейсмограмма, группа Р волн на расстоянии 241 км от источника (слева).  
Теоретические сейсмограммы для 500-километрового профиля в пятислойной модели  
земной коры и экспериментальные данные времени вступления волн (справа)

Публикации:

1. Ковалевский В. В., Тубанов Ц. А., Фатьянов А. Г., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Базаров А. Д. Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия // Труды Всерос. Конф. "Геофизические методы исследования земной коры", посвященной 100-летию со дня рождения академика Н. Н. Пузырева, Новосибирск, 8–13 дек. 2014 г.

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

Конференция:

Ковалевский В. В., Тубанов Ц. А., Фатьянов А. Г., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Базаров А. Д. Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия // Всерос. конф. "Геофизические методы исследования земной коры", посвященная 100-летию со дня рождения академика Н. Н. Пузырева, Новосибирск, 8–13 дек. 2014 г.

## **6. Новый метод построения объединенных моделей гидротермодинамики и химии атмосферы на основе вариационных принципов со слабыми ограничениями**

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

Разработан эффективный метод построения объединенных в он-лайн режиме численных моделей динамики и химии атмосферы для решения прямых и обратных задач природоохранного прогнозирования. Концепция предлагаемой методики основана на использовании вариационных принципов со слабыми ограничениями и техники сопряженных интегрирующих множителей для построения дискретно-аналитических численных схем. Предлагаемый подход удобен для работы с разномасштабными процессами при наличии неопределенностей, как в самих моделях исследуемых процессов, так и в источниках внешних воздействий.

Публикации

1. Penenko V. V., Tsvetova E. A., Penenko A. V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies // Comput. and Math. with Applic. 2014. V. 67, iss. 12. P. 2240–2256. DOI: 10.1016/j.camwa.2014.04.004.

2. Пененко А. В., Пененко В. В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции-диффузии на основе метода расщепления // Выч. технол. 2014. Т. 19, № 4. С. 69–83.

Конференции:

1. Конгресс Европейского геофизического союза EGU – 2014, Вена. Доклад: V. Penenko, E. Tsvetova, A. Penenko. A new version of variational integrated technology for environmental modeling with assimilation of available data.

2. 20-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики", посвященная памяти К. И. Бабенко, 2014. Доклад: В. В. Пененко, Е. А. Цветова, А. В. Пененко. Технология моделирования для природоохранных задач на основе вариационного принципа и сопряженных интегрирующих множителей.

3. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВМ-2014), Новосибирск. Доклад: В. В. Пененко. Интегрированные модели динамики и химии атмосферы для решения взаимосвязанных задач экологии и климата.

## 7. Некоторые особенности общей циркуляции атмосферы в условиях глобальных изменений климата"

Д.ф.-м.н. Крупчатников В., к.ф.-м.н. Мартынова Ю. В., к.ф.-м.н. Боровко И. В.

Проведено исследование реакции тропосферы на усиление стратосферного полярного вихря. Показана роль главной моды NAO в процессах взаимодействия тропосферы и стратосферы. Изменение температурной стратификации при усилении выхолаживания в стратосфере оказывает заметное влияние только в верхней тропосфере, где стратификация определяется радиационными процессами. В нижних слоях тропосферы значительный вклад в стратификацию вносят потоки тепла бароклинных нестационарных вихрей, в которых локальный наклон изэнтропических поверхностей остается неизменным и согласуется с теоретическими оценками. Уменьшение градиента приземной температуры в результате потепления климата влечет ослабление зональной циркуляции Гадлея. Показано, что межгодовая изменчивость широты границ ЯГ в эксперименте составляет около 2 градусов, при этом происходит поднятие тропопаузы как в тропиках, так и во внетропических широтах. Широта границы ЯГ – это начало среднеширотной бароклинной зоны, где формируются шторм-треки. Получены новые результаты моделирования динамики шторм-треков в зимний период, а также их анализ при различных климатических режимах – при увеличении радиационного форсинга и дальнейшее его снижение (за счет повышения концентрации

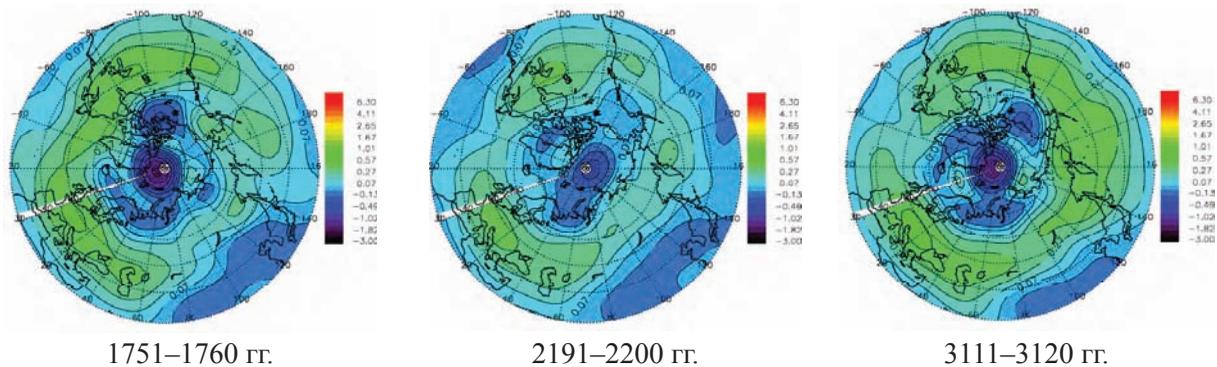


Рис. 1. Декабрь – февраль: направленный к полюсу поток явного тепла ( $v'T'$ ) на 700 mb

CO<sub>2</sub> и постепенного приведения концентрации к доиндустриальному уровню). При переходе на режим доиндустриального климата активность шторм треков, их пространственное распределение восстанавливаются не полностью (рис. 1), особенно при "быстром" переходе на режим современного климата.

Публикации:

1. Гордов Е. П., Лыкосов В. Н., Крупчатников В. Н., Окладников И. Г., Титов А. Г., Шульгина Т. М. Вычислительно-информационные технологии мониторинга и моделирования климатических изменений и их последствий. Новосибирск: Наука, 2013. 198 с.

2. Боровко И. В., Крупчатников В. Н. Математическое моделирование реакции циркуляции Гадлея и стратификации внетропической тропосферы на изменения климата с помощью спектральной модели общей циркуляции атмосферы // СибЖВМ. 2015. Т. 18, № 1. (в печати).

Конференции:

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Доклад: Krupchatnikov V., Martynova Yu., Borovko I. The general circulation of the atmosphere and climate changes.

2. Международная конференция "ENVIROMIS – 2014", 28 июня – 5 июля 2014 г. Доклад: Крупчатников В. Н., Мартынова Ю. В., Боровко И. В. Динамика общей циркуляции атмосферы и изменения климата.

3. Международная конференция EGU General Assembly. Vienna, Austria, 2014. Доклад: Some features of general circulation of the atmosphere and climate changes.

#### **8. Метод ранжирования элементов информационных систем сетевой структуры.**

К.т.н. Бредихин С. В., Щербакова Н. Г., Ляпунов В. М.

Предложен метод определения "важных" элементов информационных систем сетевой структуры, базирующийся на метрике "центральность по посредничеству" (далее,  $C_B$ ), которая показывает, насколько часто рассматриваемая вершина графа лежит на путях между другими вершинами. Для вычисления  $C_B$  на взвешенных графах разработан алгоритм, с помощью которого выполнено ранжирование коллекции периодических изданий БД *Repec*.

Публикация:

1. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Мера важности научной периодики – "центральность по посредничеству" // Проблемы информатики. 2014. №. 3. С. 53-64. (в базе РИНЦ)

#### **9. Новые модели и показатели качества функционирования беспроводных сенсорных сетей.**

К.ф.-м.н. Мигов Д. А., д.т.н. Родионов А. С., к.ф.-м.н. Шахов В. В.

Предложены новые показатели качества обслуживания в сенсорных сетях (вероятность того, что работоспособные узлы, количество которых не меньше заданного наперед порогового значения, могут передавать данные нескольким стокам, которые должны быть связаны друг с другом, и вероятность видения сенсорами заданного количества узлов сетки, покрывающей мониторируемую область). В рамках оптимизации этих и традиционно используемых показателей поставлена задача выбора оптимального соотношения между радиусом покрытия сенсоров и расписанием их рабочего цикла и предложено ее решение. Решение основано на вычислении (или оценке для заданных значений) серии полиномов надежности графа, соответствующих выбранному радиусу покрытия сенсоров и формируемой данным

радиусом топологии, с последующим их сравнением. Вычисления базируются на применении параллельной реализации метода факторизации. Для оценки остальных показателей предложено использовать подход, основанный на моделировании состояний сенсора непрерывной цепью Маркова. Для случая сенсорных сетей, оснащенных средствами получения энергии из окружающей среды (EH-WSNs), разработаны новые методы нахождения оптимальных мест для осуществления беспроводной подзарядки группы сенсоров при помощи мобильного подзаряжающего устройства, либо статических подзаряжающих устройств. Предложенные методы основаны на методах решения известных задач из теории графов – размещение  $p$ -медиан и  $p$ -центров, модифицированных для рассматриваемого случая.

Публикации:

1. Migov D. On reliability of wireless ad hoc networks with imperfect nodes // Bull. NCC. Ser.: Computer Science. 2014. Iss. 36. P. 57–64.
2. Migov D., Shakhov V. Reliability of ad hoc networks with imperfect nodes // Springer Lecture Notes in Comput. Sci. (MACOM 2014). 2014. Vol. 8715. P. 49–58.

#### Приоритетное направление 1.4. Высокпроизводительные вычисления

##### Программа 1.4.1. Математическое моделирование с использованием параллельных и распределенных вычислений.

###### 1. Моделирование динамики разлета галактик при их столкновении.

Д.ф.-м.н. Вшивков В. А., к.ф.-м.н. Куликов И. М.

В рамках работы с Институтом астрономии РАН в лице д.ф.-м.н., профессора Тутукова А. В. проведены исследования в области математического моделирования столкнове-

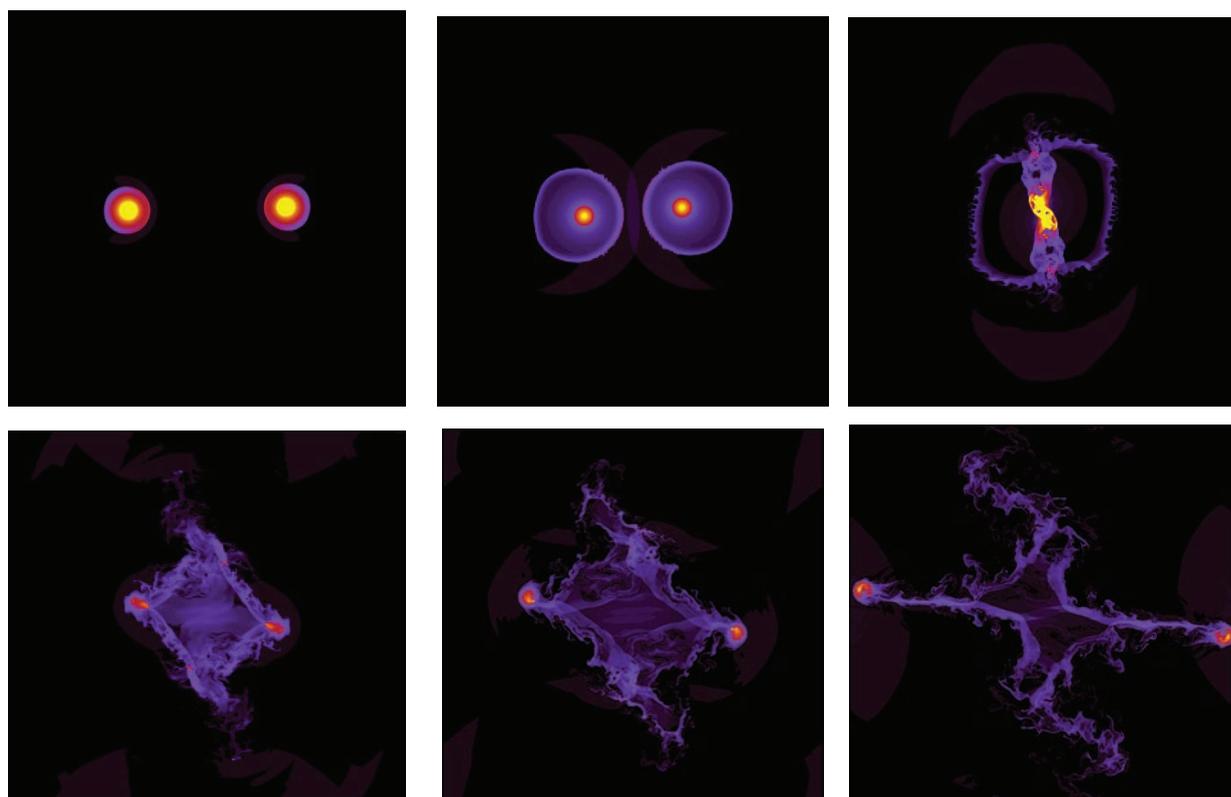


Рис. 1. Разлет галактик при центральном столкновении

ния галактик. В рамках данной работы сформулирована и реализована модель взаимодействующих галактик в виде магнитогазодинамической модели (для моделирования областей с высокой скоростью звездообразования) в трехмерной постановке. Для реализации бесстолкновительной компоненты (звезды и темная материя) использована модель, основанная на решении уравнений первых трех моментов уравнения Больцмана. Многокомпонентная магнитогазодинамическая модель взаимодействующих галактик реализована для суперЭВМ, оснащенных графическими ускорителями (в виде программного комплекса GPUPEGAS) и ускорителями Intel Xeon Phi (в виде программного комплекса AstroPhi). С помощью двухфазной модели смоделирован сценарий разлета галактик при их центральном столкновении. В рамках одного графического ускорителя получено 55-кратное ускорение и 96 % эффективность при использовании 60 графических ускорителей. В рамках одного ускорителя Intel Xeon Phi получено 27-кратное ускорение в offload режиме, 54-кратное ускорение в native режиме и 94 % эффективность при использовании 32 ускорителей Intel Xeon Phi. На конец 2014 г. программный комплекс AstroPhi – единственный в мире программный код для решения астрофизических задач на гибридных суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi.

#### Публикации:

1. Kulikov I. GPUPEGAS: A new GPU-accelerated hydrodynamic code for numerical simulations of interacting galaxies // *The Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2014. V. 214, 12. P. 1–12. DOI:10.1088/0067-0049/214/1/12.

2. Kulikov I. M., Chernykh I. G., Snytnikov A. V., Glinskiy B. M., Tutukov A. V. AstroPhi: A code for complex simulation of dynamics of astrophysical objects using hybrid supercomputers // *Comp. Phys. Commun.* 2015. V. 186. P. 71–80. DOI: 10.1016/j.cpc.2014.09.004.

3. Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Protasov V., Tutukov A., Glinsky B. Numerical modelling of astrophysical flow on hybrid architecture supercomputers // *Parallel Programming: Practical Aspects, Models and Current Limitations*. Ed. by M. Tarkov. 2014. 196 p.

#### Конференции:

1. Chernykh I., Glinskiy B., Kulikov I., Marchenko M., Rodionov A., Podkorytov D., Karavaev D. Using simulation system AGNES for modeling execution of parallel algorithms on supercomputers. International conference on systems, control, signal processing and informatics II (SCSI '14), Прага (Чешская Республика), 2–4 апр. 2014 г.

2. Куликов И. М. AstroPhi vs GPUPEGAS: two hydrodynamic codes for numerical simulation of galaxy formation by means hybrid supercomputers. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 9–11 июня 2014 г.

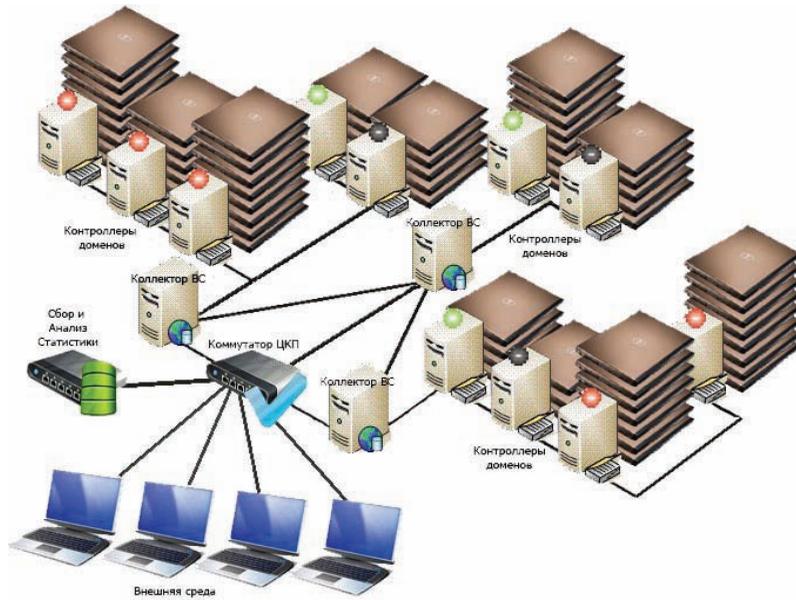
3. Kulikov I. Numerical hydrodynamics modeling of interacting galaxies at the peta- and exascale. Приглашенная лекция, 26 июня 2014 г., Вена (Австрия).

4. Kulikov I. Hydrodynamic numerical modeling of interacting galaxies at the peta- and exascale. The 3rd Workshop on Numerical and Observational Astrophysics, Буэнос-Айрес (Аргентина), 17–21 нояб. 2014 г.

5. Kulikov I. Numerical hydrodynamics modeling of interacting galaxies at the peta- and exascale. Приглашенная лекция, Буэнос-Айрес (Аргентина), 26 нояб. 2014 г.

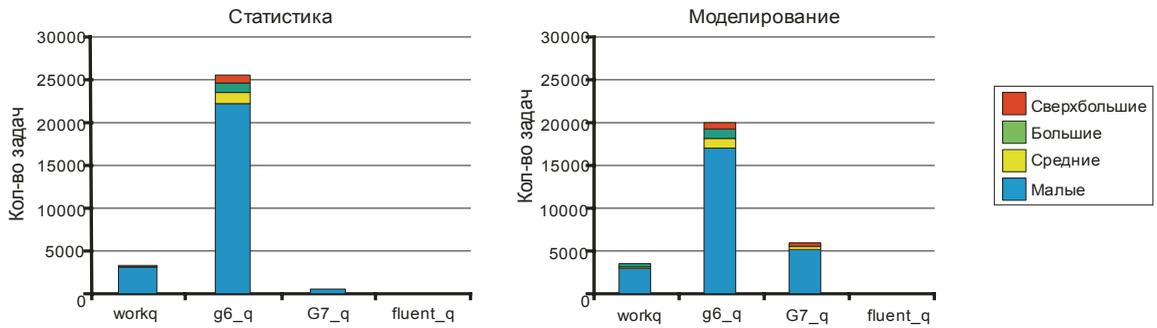
#### **2. Создание прототипа системы управления потоком параллельных заданий для ЦКП ССКЦ СО РАН на основе имитационной модели.**

Д.т.н. Глинский Б. М., д.т.н. Родионов А. С., Винс Д. В.

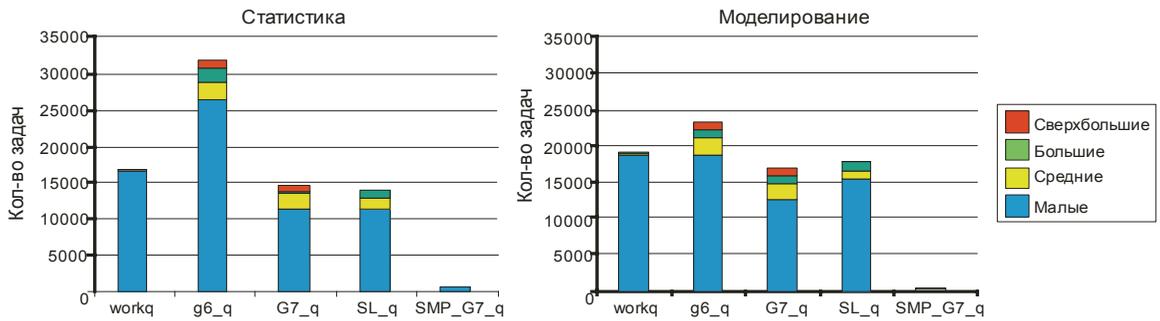


Общий вид мультиагентной модели ЦКП

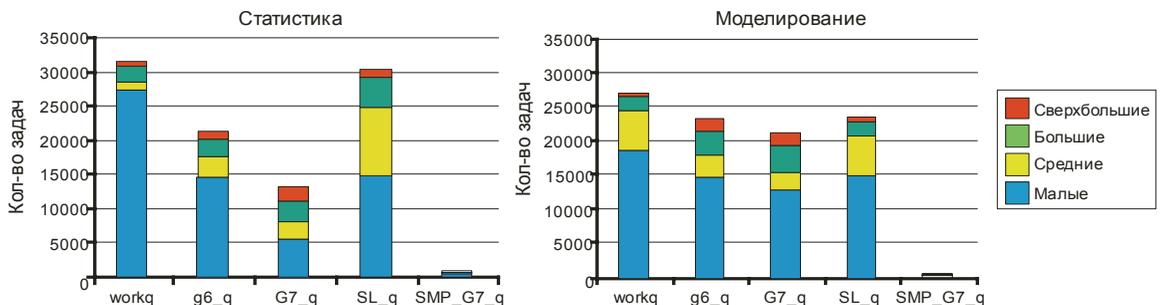
Распределение задач по очередям (2011г.)



Распределение задач по очередям (2012г.)



Распределение задач по очередям (2013г.)



В ИВМиМГ ведутся исследования эффективности использования ресурсов ВС, в частности, в зависимости от того, как организован процесс решения на ней параллельных задач пользователей. Для этого разработана имитационная мультиагентная модель распределенной системы управления потоком заданий для центров коллективного пользования (ЦКП). Также исследованы и подобраны алгоритмы синхронизации объектов, функционирующих на различных узлах ЦКП. Для данных алгоритмов подобраны оптимальные параметры.

Разработанная модель системы управления потоком задач (рис. 1) включает программные агенты, реализующие модели внешних источников задач, распределителей и контроллеров ресурсов, вычислительных систем. Модель внешней среды источников заданий представлена однотипными программными агентами, имитирующими пользователей, отправляющих задания на ЦКП.

Для тестирования и исследования модели проведены испытания на реальных данных реальной системы. Для этого использовались данные ЦКП ССКЦ СО РАН. В рамках модели воссоздана коммуникационная среда кластера НКС-30Т+GPU. В качестве заданий использовались задания, зарегистрированные системой управления кластера (PBS Pro) за 2011–2013 гг. (рис. 1). Было создано от 124 (2011 г.) до 189 (2013 г.) виртуальных пользователей, которые отправляли такие же задания и в то же время, что и реальные пользователи в указанный период.

Публикации:

1. Винс Д. В. Анализ эффективности системы управления потоком заданий для ЦКП в мультиагентной имитационной модели // Вестн. НГУ. 2014. Т. 12, вып. 2. С. 33–41.

2. Винс Д. В., Глинский Б. М., Родионов А. С. Исследование управляющих процессов в суперкомпьютерных системах на основе мультиагентного моделирования // Вестн. СибГУТИ. 2014. № 4 (28). С. 35–44.

### **3. LuNA: автоматизированная система реализации численных алгоритмов на СуперЭВМ.**

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

Разработана экспериментальная система программирования численных алгоритмов LuNA, которая позволяет исключить параллельное программирование из процесса разработки больших численных моделей. LuNA обеспечивает автоматическую генерацию параллельных программ численного моделирования с необходимыми практическими свойствами для исполнения на мультикомпьютерах с большим числом процессоров, включая неоднородные суперкомпьютеры экзафлопсного диапазона с сотнями тысяч и миллионами процессорных элементов.

Представление алгоритмов в системе LuNA осуществляется в соответствии с технологией фрагментированного программирования, которая предполагает разбиение регулярных вычислений на множество фрагментов вычислений, работающих над множеством фрагментов данных. Автоматическая динамическая миграция процессов обеспечивает равномерную нагрузку процессоров.

Программист в LuNA задает частичный порядок на множестве вычислительных фрагментов, а также формулирует "рекомендации" о том, как вычислительные фрагменты и фрагменты данных должны быть распределены по вычислительным узлам суперкомпьютера, чтобы обеспечивалось свойство локальности при работе с данными. На основе такого представления алгоритма система LuNA генерирует программу, автоматически обеспечивая

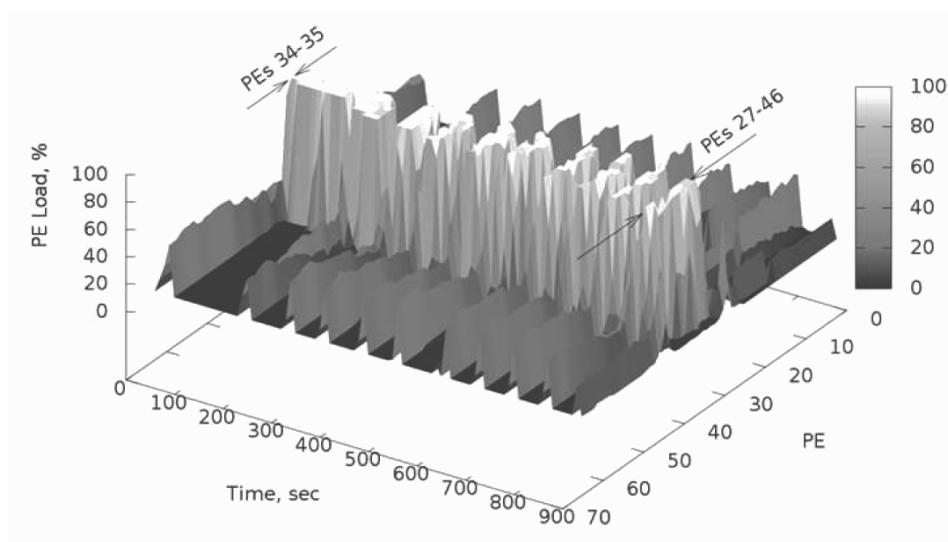


Рис. 1. Работа автоматической балансировки вычислительной нагрузки системы LuNA: с течением времени нагрузка распределяется по процессорным элементам (PE), время на обработку итерации (расстояние между гребнями по шкале Time) сокращается

коммуникации между узлами вычислительной системы, балансировку вычислительной нагрузки и другие динамические свойства.

#### Публикации:

1. Malyshkin V. E., Perepelkin V. A. The PIC implementation in LuNA system of fragmented programming // The J. of Supercomputing, Springer. 2014. Vol. 69, iss. 1. P. 89–97. DOI 10.1007/s11227-014-1216-8. *(в базе Scopus)*
2. Malyshkin V. E. Peculiarities of numerical algorithms parallel implementation for exaflops multicomputers // Intern. J. of Big Data Intelligence, Inderscience Publisher. 2014. Vol. 1, N 1/2. P. 65–73. DOI: 10.1504/IJBDI.2014.063837. *(в базе Scopus)*

#### Конференция:

Малышкин В. Э., Перепелкин В. А. Реализация метода частиц-в-ячейках в системе фрагментированного программирования LuNA // Труды Международной суперкомпьютерной конференции "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Новороссийск, 22–27 сентября 2014 г. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 328–334.

## Лаборатория методов Монте-Карло

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

### Важнейшие достижения

Численное статистическое моделирование свободного пробега частицы для столкновительной модели процесса переноса с учетом ускорения внешним силовым полем реализуется шагами по времени. Построена новая конструктивная оценка соответствующей детерминированной относительной погрешности, которая позволяет выбрать подходящую величину шага. Стандартные статистические "локальные оценки" плотности потока частиц являются смещенными вследствие зануления вкладов от столкновений в "локальном шаре" малого радиуса для ограничения дисперсии. Получены практически эффективные оценки соответствующей относительной погрешности. Дополнительно осуществлена равномерная оптимизация функциональной оценки плотности распределения частиц типа гистограммы в предположении "пуассоновости" соответствующего статистического ансамбля. Оказалось, что в оптимальных (по трудоемкости) вариантах рассмотренных алгоритмов детерминированная погрешность близка к статистической.

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

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

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

Номер государственной регистрации НИР 01201370225.

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

Разработан ряд модификаций, а также уточнений формулировок и обоснований практически эффективных алгоритмов статистического моделирования.

Предложен экономичный способ моделирования пар случайных номеров, в частности взаимодействующих молекул, для реализации стохастической эволюции разреженного газа.

Построена простая моделирующая формула для целочисленного распределения с минимальной дисперсией при фиксированном среднем значении; эту формулу можно эффективно использовать для реализации процесса размножения частиц.

Уточнены обоснование и корректирующая модификация моделирования гауссовского случайного вектора.

Разработан новый алгоритм метода мажорантного сечения для эффективного статистического моделирования переноса излучения в экспоненциально коррелированных средах с целью параметрического анализа вероятностей прохождения.

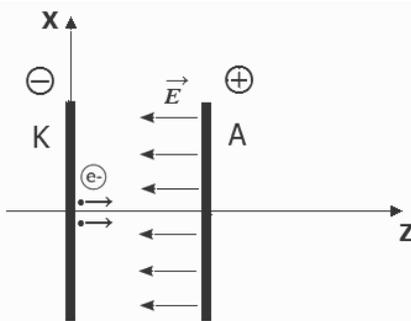
Рассмотрены некоторые важные аспекты использования и обоснования стандартного векторного алгоритма статистического моделирования переноса поляризованного излучения. В связи с тем, что соответствующие оценки могут иметь бесконечную дисперсию, построен алгоритм L-кратной поляризации, свободный от этого недостатка.

Проведено численное статистическое исследование влияния учета поляризации излучения на основные энергетические характеристики рассеянного излучения в атмосфере. На основе двойственных представлений средних квадратов векторных оценок функционалов исследован вопрос конечности их дисперсий.

Предложены алгоритмы восстановления элементов матрицы аэрозольного рассеяния по наземным наблюдениям характеристик рассеянного поляризованного излучения.

Разработан трехмерный параллельный алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе (ELSHOW). Параллельная реализация осуществляется с помощью хорошо зарекомендовавшей себя библиотеки PARMONC, что ускоряет получение таких интегральных характеристик, как число частиц в лавине, коэффициент ударной ионизации, скорость дрейфа и других, а также способов выбора подходящей величины шага по времени с использованием техники зависимых статистических испытаний. Составными частями алгоритма являются специальные методы моделирования распределений, лексикографическая схема реализации ветвления траекторий, "русская рулетка", обоснованное построение гистограммы и полигона частот и вычисление вероятностной погрешности оценок функционалов. Приводится сравнение полученных результатов для азота с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными.

Получены формулы выбора временного шага в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц под влиянием взаимодействий (столкновений) с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность (смещение) статистических оценок изучаемых интегральных характеристик. Полученные теоретические результаты относятся к общей постановке



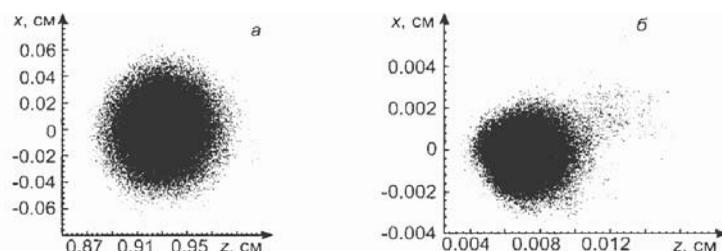
Расстояние между пластинами  
 $d = 3$  см, напряженность  
 электрического поля

$$\vec{E} = (0, 0, -15 \text{ kV/cm})$$

такой задачи, но для физической иллюстративности они формулируются для процесса развития электронных лавин в газах под влиянием взаимодействия со средой и внешнего электрического поля.

Построена смещенная оценка по столкновениям для линейного функционала от решения линейного интегрального уравнения второго рода с заведомо конечной дисперсией на основе  $n$ -кратного итерационного весового метода для некоторого приближенного решения. Получены оценка нормы смещения и интегральное уравнение для второго момента построенной смещенной оценки. На примере модельной задачи переноса излучения через оптически толстый слой показано, что применение  $n$ -кратного итерационного весового метода существенно уменьшает трудоемкость классического

метода подобных траекторий. Для уменьшения величины дисперсии весовой оценки решения линейного интегрального уравнения построены следующие модификации использования ветвления траектории для весовой оценки: только в случае, когда очередной весовой множитель  $q$  после каждого перехода больше 1; когда "полный" вес после  $n$  переходов больше 1. Представлено исследование эффективности построенных модификаций весовых оценок с ветвлением траектории. Построены новые алгоритмы статистического моделирования переноса излучения через стохастические экспоненциально коррелированные среды. Для этого разработана специальная геометрическая реализация метода максимального сечения, позволяющая учитывать поглощение излучения весовым экспоненциальным множителем. Построены асимптотические по размеру среды оценки параметров осредненной радиационной модели. Специальный распределительный способ реализации псевдослучайных чисел позволил провести сравнительный анализ результатов моделирования на основе соответствующего коррелирования статистических оценок.



Электронные лавины в азоте при  $p = 300$  Торр,  $E_z/p=50$  В/(см·Торр),  $t = 90$  нс (а) и при  $p = 300$  Торр,  $E_z/p=500$  В/(см·Торр),  $t = 0,055$  нс (б)

Разработана программа трехмерной визуализации видимого излучения с использованием модели СІЕ 1931.

Рассмотрен весовой алгоритм приближенного решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана, в котором после каждого элементарного перехода вспомогательный вес умножается на величину, учитывающую номер реализовавшей взаимодействие пары частиц. Число таких переходов растет с увеличением количества частиц в моделируемом ансамбле, при этом усиливаются флуктуации веса, которые могут привести к существенному росту дисперсии используемой весовой оценки по столкновениям. Известно, что величину такой дисперсии можно уменьшить, используя ветвление траекторий. С этой целью предложена весовая модификация с ветвлением и рандомизацией. Эффективность данной модификации подтверждена на примере численно-статистического решения задачи о релаксации смеси двух газов с сильно различающимися концентрациями. При использовании построенной модификации существенно улучшаются оценки частот молекул малой примеси.

Построены весовые алгоритмы оценки линейных функционалов от решения уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Предложены алгоритмы, позволяющие одновременно оценивать как функционалы для различных наборов параметров, так и параметрические производные. Разработаны ценностные алгоритмы и показана их эффективность для вычисления функционалов: концентрации мономеров в ансамбле в заданный момент времени и концентрации мономеров и димеров. Разработан ценностный алгоритм, являющийся обобщением предложенных ранее алгоритмов для случая постоянных и аддитивных коэффициентов коагуляции.

Рассмотрены три подхода к построению верхней границы статистической погрешности метода ПСМ для решения нелинейного уравнения Больцмана: 1) приближенные формулы для дисперсий оценок метода ПСМ, полученные на основе теории равновесной статистической физики; 2) асимптотические формулы для дисперсий оценок метода ПСМ с уменьшением размера ячеек при фиксированном полном числе частиц в области; 3) формулы для асимптотических доверительных интервалов для оценок метода ПСМ на основе центральной предельной теоремы для Марковских процессов. Проведен теоретический и численный анализ, который позволил выявить взаимосвязь, преимущества, недостатки и области корректного применения рассмотренных подходов. Проведено сравнение на примере ряда характерных задач динамики разреженного газа с различной степенью неравновесности.

Для гибридных суперкомпьютеров с графическими сопроцессорами (Nvidia GPU) разработана эффективная методика распределения независимых псевдослучайных чисел по отдельным CUDA-потокам на основе предложенного ранее параллельного 128-битного генератора.

Получены новые результаты для задачи статистического моделирования траекторий ветвящихся процессов на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами

(NVIDIA GPU). Предложен способ отображения алгоритмов статистического моделирования траекторий ветвящихся случайных процессов на архитектуру графических процессоров. Рассматривалась возможность применения известной методики "русской рулетки" для уменьшения времени моделирования и уменьшения объема оперативной памяти, требуемой для хранения элементов траектории; исследована дисперсия и вычислительная трудоемкость модифицированных оценок. Исследован вопрос оптимального выбора параметров параллельного алгоритма с целью снижения времени моделирования траекторий ветвящегося процесса на графических процессорах. Разработанная технология апробировалась путем решения задач моделирования электронных лавин в газе. Для одной и той же задачи статистического моделирования лавин проведено сравнение времени расчетов как при использовании только центральных процессоров на вычислительном узле, так и с использованием графических сопроцессоров; показан существенный выигрыш во времени моделирования в последнем случае.

Для решения пространственно неоднородных кинетических уравнений Больцмана с учетом химических реакций рассмотрен и апробирован на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами параллельный алгоритм статистического моделирования, в котором эффективно реализуется геометрия задачи.

Рассмотрена модель автотранспортного потока (АТП) с выделенным ускорением. Взаимодействия в системе проявляются в виде скачков ускорения, а не скачков скорости. Построено интегральное уравнение второго рода, описывающее эволюцию системы автомобилей, исходной вероятностной модели АТП. Предложены алгоритмы метода Монте-Карло для оценки функционалов от решения полученного уравнения. Практическая целесообразность данного подхода к решению автотранспортных задач продемонстрирована численными экспериментами по оценке распределения скорости и ускорения в пространственно однородном случае с пороговыми профилями взаимодействия, зависящими от скорости.

Рассмотрена специальная постановка задачи переноса излучения через плоский слой – граничная задача, предложенная в свое время Амбарцумяном. Для ее решения введен оператор-матрица, образованный с помощью операторов отражения и пропускания излучения для слоя. Доказана теорема "сложения слоев". Рассмотрены примеры приложения полученных результатов.

Разработан численный алгоритм "хоккейной клюшки", использующий диалог с компьютером и позволяющий аппроксимировать вечерний профиль мелатонина кривой, составленной из отрезков прямой и параболы. Точка, где прямая переходит в (касается) параболу, рассматривается как надежная точка начала роста концентрации мелатонина. Показано, что метод "хоккейной клюшки" – надежный метод оценки момента начала выработки мелатонина, не зависящий от величины порога и субъективных оценок.

Предложена модификация алгоритма конкуренции, работа которого напоминает искусственную нейронную сеть и позволяет различать любое число альтернатив. Для модифицированного алгоритма доказана теорема обучения.

### **Результаты работ по проектам РФФИ**

**Проект РФФИ № 12-01-00034-а** "Разработка "многочастичных", векторных и рандомизированных весовых алгоритмов суперкомпьютерного моделирования течений химически реагирующих газов и переноса поляризованного излучения в дисперсных средах".

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

Разработан алгоритм моделирования обобщенного экспоненциального распределения, сравнительно эффективный в случае, когда интенсивность соответствующего пуассоновского точечного потока равна сумме трудно вычисляемых "разномасштабных" элементов. Алгоритм строится на основе поэлементного мажорирования этой интенсивности путем рандомизированного "прореживания" мажорантного потока.

Построен новый специальный двухпараметрический весовой метод Монте-Карло для решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана, который, с одной стороны, обладает повышенным быстродействием, как и известный метод мажорантной частоты, с другой, применим для случая неограниченной частоты парного столкновения. Доказана ограниченность дисперсий оценок по столкновениям и по поглощениям при использовании данного метода.

Предложена весовая модификация с ветвлением и рандомизацией для приближенного решения кинетического уравнения Больцмана. Эффективность данной модификации подтверждена на примере численно-статистического решения задачи о релаксации смеси двух газов с сильно различающимися концентрациями. При использовании построенной модификации существенно улучшаются оценки частот молекул малой примеси. В предположении пуассоновости ансамбля частиц построена эффективная функциональная оценка решения уравнения Больцмана. Соответствующая оценка трудоемкости статистического алгоритма подтверждает высокую эффективность метода мажорантной частоты.

Построены новые весовые алгоритмы оценки линейных функционалов и их параметрических производных от решения уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Разработан ценностный алгоритм, являющийся обобщением предложенных ранее алгоритмов для случая постоянных и аддитивных коэффициентов коагуляции.

Рассмотрена статистическая модель автотранспортного потока (АТП) с выделенным ускорением. Для этой модели построено интегральное уравнение второго рода, описывающей эволюцию системы автомобилей. Предложены алгоритмы метода Монте-Карло для оценки функционалов от решения полученного уравнения. Для решения пространственно неоднородных кинетических уравнений Больцмана с учетом химических реакций рассмотрен и апробирован на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами параллельно реализуемый алгоритм статистического моделирования, в котором эффективно реализуется геометрия задачи.

Рассмотрены три подхода к построению верхней границы статистической погрешности метода ПСМ для решения нелинейного уравнения Больцмана: 1) приближенные формулы для дисперсий оценок метода ПСМ, полученные на основе теории равновесной статистической физики; 2) асимптотические формулы для дисперсий оценок метода ПСМ с уменьшением размера ячеек при фиксированном полном числе частиц в области; 3) формулы для асимптотических доверительных интервалов для оценок метода ПСМ на основе центральной предельной теоремы для Марковских процессов. Проведено их сравнение на примере ряда характерных задач динамики разреженного газа с различной степенью неравновесности.

Получены формулы для выбора временного шага  $\Delta t$  в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц в газе под влиянием взаимодействий (столкновений) с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность (смещение) статистических оценок изучаемых интегральных характеристик.

Разработан трехмерный параллельно реализуемый алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газах. В этом алгоритме реализуется возможность учета влияния "маловероятных процессов", что затруднительно для других вычислительных моделей (например, при использовании диффузионного приближения). На основе двойственных представлений средних квадратов векторных оценок интенсивности поляризованного излучения исследован вопрос о конечности их дисперсий.

Построен алгоритм L-кратной поляризации, имеющий заведомо конечную дисперсию. Построены алгоритмы восстановления элементов матрицы аэрозольного рассеяния по наземным наблюдениям характеристик рассеянного поляризованного излучения. Получены численные оценки временного распределения интенсивности сигнала терагерцового лидара и отраженного нижней кромкой облаков для конкретных начальных и граничных оптико-геометрических условий с учетом типа облачности и ослабления парами воды на трассе зондирования. Проанализирована структура поляризованного локационного сигнала в зависимости от фона многократного рассеяния, длины волны излучения, концентрации паров воды в атмосфере.

Построены новые алгоритмы статистического моделирования переноса излучения через стохастические экспоненциально коррелированные среды. Для этого разработана специальная геометрическая реализация "метода максимального сечения", позволяющая учитывать поглощение излучения весовым экспоненциальным множителем. Построены асимптотические по размеру среды оценки параметров осредненной радиационной модели. Специальный распределительный способ реализации псевдослучайных чисел позволил провести сравнительный анализ результатов моделирования на основе соответствующего коррелирования статистических оценок.

Реализованы различные варианты метода подобных траекторий (МПТ) путем численно-статистического моделирования траекторий частиц – "квантов" излучения – соответственно вспомогательной радиационной модели и построения весовых оценок функционалов одновременно для различных значений физических параметров. Это дает возможность эффективной оценки изменения изучаемых функционалов при вариации параметров радиационной модели. На этой основе численно исследована параметрическая зависимость погрешности транспортного приближения для вероятностей прохождения, поглощения и альбедо частицы.

**Проект РФФИ № 13-01-00746-а** "Разработка комплекса параллельно реализуемых весовых алгоритмов статистического моделирования для численного исследования течений химически реагирующих газов, включая процессы горения и образования наночастиц".

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

Рассмотрен весовой алгоритм приближенного решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана. С целью уменьшения дисперсии оценки решения предложена весовая модификация с ветвлением и рандомизацией, эффективность которой подтверждена на примере численно-статистического решения задачи о релаксации смеси двух газов с сильно различающимися концентрациями. Получены новые результаты для задачи статистического моделирования траекторий ветвящихся процессов на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами (NVidia GPU). Предложен способ отображения соответствующих алгоритмов на архитектуру графических процессоров. Для решения пространственно неоднородных кинетических уравнений Больцмана с учетом химических реакций рассмотрен и апробирован на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами параллельный алгоритм статистического моделирования, в котором эффективно

реализуется геометрия задачи. Разработан трехмерный параллельно реализуемый алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе. Составными частями алгоритма являются специальные методы моделирования распределений, лексикографическая схема реализации ветвления траекторий, "рулетка", обоснованное построение гистограммы и полигона частот и вычисление вероятностной погрешности оценок функционалов. Численные результаты, полученные для азота, удовлетворительно согласуются с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными. Получены формулы для выбора временного шага в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц под влиянием взаимодействий с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность статистических оценок изучаемых интегральных характеристик. Полученные теоретические результаты относятся к общей постановке такой задачи. Построена смещенная оценка по столкновениям для линейного функционала от решения линейного интегрального уравнения второго рода с заведомо конечной дисперсией на основе  $n$ -кратного итерационного весового метода для некоторого приближенного решения. Получены оценка нормы смещения и интегральное уравнение для второго момента построенной смещенной оценки. Рассмотрены три подхода к построению верхней границы статистической погрешности метода ПСМ для решения нелинейного уравнения Больцмана: 1) приближенные формулы для дисперсий оценок метода ПСМ, полученные на основе теории равновесной статистической физики; 2) асимптотические формулы для дисперсий оценок метода ПСМ с уменьшением размера ячеек при фиксированном полном числе частиц в области; 3) формулы для асимптотических доверительных интервалов для оценок метода ПСМ на основе центральной предельной теоремы для Марковских процессов. Проведен их теоретический и численный анализ. Построены весовые алгоритмы для оценки линейных функционалов от решения уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Предложены алгоритмы, позволяющие одновременно оценивать как функционалы для различных наборов параметров, так и параметрические производные. Разработаны ценностные алгоритмы и показана их эффективность для вычисления необходимых функционалов.

**Проект РФФИ № 13-01-00441-а** "Разработка новых алгоритмов статистического моделирования для решения прямых и обратных задач переноса поляризованного излучения".

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

Построены новые параллельно реализуемые весовые алгоритмы метода Монте-Карло с конечной дисперсией для оценки функционалов и их параметрических производных от решения систем уравнений переноса излучения с учетом поляризации. С помощью численного статистического моделирования исследована эффективность предложенного метода  $L$ -кратной поляризации для задачи определения характеристик поляризованного излучения и для решения обратной задачи восстановления матрицы аэрозольного рассеяния.

Оказалось, что при использовании этого метода дисперсии соответствующих статистических оценок становятся значительно меньше (и конечными, если теоретически являются бесконечными), однако смещенность оценок может быть относительно большой. Особенно это проявляется при решении задачи по восстановлению второй компоненты матрицы рассеяния, когда, по-видимому, необходим полный учет поляризации.

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

**Программа Президиума РАН № 43, проект "Суперкомпьютерное статистическое моделирование переноса излучения с учетом различных трехмерных и, в том числе, стохастических функциональных характеристик радиационной модели среды".**

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

Численное статистическое моделирование свободного пробега заряженной частицы в рамках трехмерной "столкновительной" модели процесса переноса с учетом ускорения внешним силовым полем реализуется шагами по времени. Построена новая конструктивная оценка соответствующей детерминированной относительной погрешности, которая позволяет выбрать подходящую величину шага. Разработан специальный геометрический алгоритм моделирования длины пробега частицы и вычисления соответствующей оптической длины поглощения в трехмерной случайной пуассоновской экспоненциально коррелированной среде. Кроме исследования осредненной вероятности прохождения, с помощью этого алгоритма впервые достаточно точно оценены дисперсии соответствующих флуктуаций, связанных с реализациями среды. Построена конструктивная, практически близкая к точной, оценка смещения векторной локальной оценки интенсивности поляризованного излучения. Разработано также уменьшение трудоемкости локальных оценок метода Монте-Карло для решения нестационарных задач лазерного зондирования природных сред с помощью одного из вариантов метода "расщепления". С использованием теории весовых методов Монте-Карло разработаны новые, эффективно распределяемые по вычислительным процессорам, алгоритмы суперкомпьютерного моделирования распространения оптического излучения в трехмерных рассеивающих средах. Проведено численное моделирование временного распределения интенсивности излучения от лидера наземного базирования, отраженного жидко-капельным облачным слоем. Методом Монте-Карло изучались поляризация и угловые распределения солнечного излучения, отраженного облачным слоем; проверялись условия возникновения радуг, глорий и венцов. Получены новые результаты для задачи статистического моделирования случайных процессов переноса частиц с ветвлением и взаимодействием траекторий на суперЭВМ с графическими сопроцессорами (NVidia GPU). Предложен эффективный способ отображения алгоритмов статистического моделирования траекторий ветвящихся случайных процессов на архитектуру графических процессоров. Обоснована возможность применения алгоритма "рулетки" с целью уменьшения времени моделирования и требуемого объема оперативной памяти при моделировании электронных лавин в газах. Все построенные алгоритмы допускают распределение по вычислительным процессорам, т. е. эффективное использование суперкомпьютеров.

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 47.**

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

Реализован метод подобных траекторий (МПТ) путем численно-статистического моделирования траекторий частиц – "квантов" излучения – соответственно вспомогательной радиационной модели и построения весовых оценок функционалов одновременно для различных значений "физических" параметров. Решена задача выбора вспомогательной модели с целью минимизации параметрического максимума среднеквадратической погрешности весовых оценок. Уточнены ранее известные и получены новые утверждения о минимаксных алгоритмах МПТ. С помощью МПТ численно исследована параметрическая зависимость

погрешности "транспортного приближения" для вероятностей прохождения, поглощения и альbedo частицы.

Рассмотрены различные модели экспоненциально коррелированных случайных сред, связанных с пуассоновскими точечными ансамблями. Построены асимптотические оценки средней вероятности прохождения частицы (кванта излучения) через среды такого типа на основе пуассоновости потока пересечений траекторий с областями постоянства случайной плотности и с помощью центральной предельной теоремы для соответствующей оптической длины. Изучена возможность восстановления параметров радиационной модели по значению осредненной вероятности прохождения.

Рассмотрены различные аспекты использования и обоснования стандартного векторного алгоритма статистического моделирования переноса поляризованного излучения. В связи с тем, что соответствующие оценки могут иметь бесконечную дисперсию, построен алгоритм, частично учитывающий поляризацию и свободный от этого недостатка. Рассмотрены также модификации локальной оценки интенсивности поляризованного излучения и двойственное представление среднего квадрата оценки функционала, которое расширяет возможности исследования условий конечности дисперсии.

Разработан ряд модификаций, а также уточнений формулировок и обоснований практически эффективных алгоритмов статистического моделирования.

Разработан трехмерный параллельный алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе (ELSHOW). Параллельная реализация осуществляется с помощью хорошо зарекомендовавшей себя библиотеки PARMONC, что ускоряет получение таких интегральных характеристик, как число частиц в лавине, коэффициент ударной ионизации, скорость дрейфа и других, а также способов выбора подходящей величины шага по времени с использованием техники зависимых статистических испытаний. Составными частями алгоритма являются специальные методы моделирования распределений, лексикографическая схема реализации ветвления траекторий, "русская рулетка", обоснованное построение гистограммы и полигона частот и вычисление вероятностной погрешности оценок функционалов. Приводится сравнение полученных результатов для азота с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными.

Получены формулы для выбора временного шага в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц под влиянием взаимодействий (столкновений) с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность (смещение) статистических оценок изучаемых интегральных характеристик. Полученные теоретические результаты относятся к общей постановке такой задачи, но для физической иллюстративности они формулируются для процесса развития электронных лавин в газах под влиянием взаимодействия со средой и внешнего электрического поля.

Рассмотрен весовой алгоритм приближенного решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана, в котором после каждого элементарного перехода вспомогательный вес умножается на величину, учитывающую номер реализовавшей взаимодействие пары частиц. Известно, что величину дисперсии используемых оценок можно уменьшить, используя ветвление траекторий. С этой целью предложена весовая модификация с ветвлением и рандомизацией. Эффективность данной модификации подтверждена на примере численно-статистического решения задачи о релаксации смеси двух газов с сильно различающимися концентрациями. При использовании построенной модификации существенно улучшаются оценки частот молекул малой примеси.

Построены весовые алгоритмы оценки линейных функционалов от решения уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Предложены алгоритмы, позволяющие одновременно оценивать как функционалы для различных наборов параметров, так и параметрические производные. Разработаны ценностные алгоритмы и показана их эффективность для вычисления функционалов: концентрации мономеров в ансамбле в заданный момент времени и концентрации мономеров и димеров. Разработан ценностный алгоритм, являющийся обобщением предложенных ранее алгоритмов для случая постоянных и аддитивных коэффициентов коагуляции.

Для гибридных суперкомпьютеров с графическими сопроцессорами (NVidia GPU) разработана эффективная методика распределения независимых псевдослучайных чисел по отдельным CUDA-потокам на основе предложенного ранее параллельного 128-битного генератора.

Для решения пространственно неоднородных кинетических уравнений Больцмана с учетом химических реакций рассмотрен и апробирован на гибридных суперкомпьютерах с графическими сопроцессорами параллельный алгоритм статистического моделирования, в котором эффективно реализуется геометрия задачи.

### **Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 126.**

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Рогазинский С. В.

Созданы алгоритм и программа для численного анализа трехмерных течений химически реагирующих газов по методу прямого статистического моделирования. В программе используется эффективная методика аппроксимации сложных трехмерных границ расчетной области. Программа адаптирована к выполнению на высокопроизводительных суперЭВМ.

Разработан трехмерный параллельный алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе (ELSHOW). Параллельная реализация осуществляется с помощью хорошо зарекомендовавшей себя библиотеки PARMONC, что ускоряет получение таких интегральных характеристик, как число частиц в лавине, коэффициент ударной ионизации, скорость дрейфа и других, а также способов выбора подходящей величины шага по времени с использованием техники зависимых статистических испытаний. Составными частями алгоритма являются специальные методы моделирования распределений, лексикографическая схема реализации ветвления траекторий, "русская рулетка", обоснованное построение гистограммы и полигона частот и вычисление вероятностной погрешности оценок функционалов. Приводится сравнение полученных результатов для азота с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными.

Получены формулы для выбора временного шага в алгоритме численного статистического моделирования переноса заряженных частиц под влиянием взаимодействий (столкновений) с частицами среды и внешнего силового поля. Критерием выбора является подходящая детерминированная погрешность (смещение) статистических оценок изучаемых интегральных характеристик. Полученные теоретические результаты относятся к общей постановке такой задачи, но для физической иллюстративности они формулируются для процесса развития электронных лавин в газах под влиянием взаимодействия со средой и внешнего электрического поля.

### **Публикации**

#### **Монографии, главы в монографиях**

1. Marchenko M. A. Efficient computational approaches for parallel stochastic simulation on supercomputers // *Parallel Programming: Practical Aspects, Models and Current Limitations*. Ed. by Mikhail S. Tarkov. Nova Publishers inc., 2014. P. 117–142. ISBN: 978-1-60741-263-2.

**Центральные российские издания (из списка ВАК)**

1. Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Весовые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки и параметрического анализа решения кинетического уравнения коагуляции // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 2. С. 125–138. (в базе РИНЦ)
2. Михайлов Г. А. Замечания о практически эффективных алгоритмах статистического моделирования // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 2. С. 177–190. (в базе РИНЦ)
3. Лотова Г. З., Марченко М. А., Михайлов Г. А., Рогазинский С. В., Рыжов В. В., Ухин С. А., Шкляев В. А. Параллельная реализация метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе // Изв. высш. учеб. заведений. Сер.: Физика. 2014. Т. 57, № 3-2. С. 182–185. (в базе РИНЦ)
4. Михайлов Г. А., Лотова Г. З. О выборе шага по времени и вероятности столкновения в численном статистическом моделировании переноса частиц с учетом ускорения внешним силовым полем // Докл. Акад. наук. 2014. Т. 458, № 3. С. 272–275. DOI: 10.7868/S086956521427005X. (в базе РИНЦ; перевод – в базах Scopus, Web of Science)

**Зарубежные издания**

1. Ambos A. Ju., Mikhailov G. A. New algorithms of numerical-statistical modelling of radiative transfer through stochastic mediums and radiation models homogenization // Rus. J. Num. Analysis and Math. Model. 2014. Vol. 29, № 6. P. 331–339. DOI: 10.1515/rnam-2014-0027. (в базах РИНЦ, Scopus, Web of Science)
2. Antyufeev V. S. Boundary radiation transfer through a planar layer // J. Math. Sci. 2014. Vol. 1, N 1. P. 20–31. (в базе Scopus)
3. Burmistrov A. V., Korotchenko M. A. Weight Monte Carlo algorithms for estimation and parametric analysis of the solution to the kinetic coagulation equation // Num. Analysis and Appl. 2014. Vol. 7, N 2. P. 104–116. DOI: 10.1134/S1995423914020049. (в базе Scopus)
4. Danilenko K. V., Verevkin E. G., Antyufeev V. S., Wirz-Justice A., Cajochen C. The hockey-stick method to estimate evening dim light melatonin onset (DLMO) in humans // Chronobiology Intern. 2014. V. 31, N 3. P. 349–355. (в базах РИНЦ, Scopus, Web of Science)
5. Lotova G. Z., Marchenko M. A., Mikhailov G. A., Rogazinskii S. V., Ukhinov S. V., Shklyayev V. A. Numerical statistical modelling algorithms for electron avalanches in gases // Rus. J. Num. Analysis and Math. Model. 2014. Vol. 29, iss. 4. P. 251–263. DOI: 10.1515/rnam-2014-0020. (в базах РИНЦ, Scopus, Web of Science)
6. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. Theoretical and numerical analysis of approaches to evaluation of statistical error of the DSM method // Comp. and Fluids. 2014. Vol. 105. P. 251–261. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.09.032. (в базах Scopus, Web of Science)

**Материалы международных конференций и совещаний**

1. Burmistrov A., Korotchenko M. Monte Carlo algorithm for simulation of the vehicular traffic flow within the kinetic model with velocity dependent thresholds // Springer proc. in math. and statistics. Topics in Statistical Simulation / Ed. by V. B. Melas et al. 2014. Vol. 114. P. 105–113. DOI: 10.1007/978-1-4939-2104-1\_10. (в базе Scopus)
2. Chernykh I., Glinskiy B., Kulikov I., Marchenko M., Rodionov A., Podkorytov D., Karavaev D. Using simulation system AGNES for modeling execution of parallel algorithms on supercomputers // Proc. of the 2014 Intern. conf. on system, control, signal processing and informatics (SCSI'2014), Prague (Czech Republic), Apr. 2–4, 2014. P. 66–70. (в базе Scopus)

3. Medvedev I. The use of the scalar Monte Carlo estimators for the optimization of the corresponding vector weight algorithms // Springer proc. in math. and statistics. Topics in Statistical Simulation / Ed. by V. B. Melas et al. 2014. P. 371–380. DOI: 10.1007/978-1-4939-2104-1\_35.

(в базе Scopus)

4. Mikhailov G. A., Korda A. S., Ukhinov S. A. Mathematical problems of statistical simulation of the polarized radiation transfer // Springer proc. in math. and statistics. Topics in Statistical Simulation / Ed. by V. B. Melas et al. 2014. Vol. 114. P. 391–399. DOI: 10.1007/978-1-4939-2104-1\_37.

(в базе Scopus)

5. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. Approximate approach to evaluation of the DSMC statistical error // Proc. of the 29th Intern. symp. on rarefied gas dynamics, Xi'an (China), July 13–18, 2014. AIP Conference Proceedings. 2014. Vol. 1628. P. 305–312. DOI: 10.1063/1.4902607.

(в базе Web of Science)

6. Rogasinsky S. V., Marchenko M. A. Stochastic simulation of electron avalanches on supercomputers // Ibid. P. 1116–1123. DOI: 10.1063/1.4902718.

(в базе Web of Science)

### Прочие издания

1. Antyufeev V. S. Number of alternatives in the competition algorithm // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 26. ISBN 978-5-9904865-8-4.

2. Ambos A. Yu. Numerical models of homogeneous and isotropic random fields and corresponding radiative transfer problems // Ibid.

3. Burmistrov A. V., Korotchenko M. A. Simulation of the vehicular traffic flow within the kinetic model by Monte Carlo Method // Ibid. P. 27.

4. Коротченко М. А. Алгоритмы метода Монте-Карло для ценностного моделирования номера взаимодействующей пары при решении кинетического уравнения коагуляции // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2014. С. 46.

5. Korotchenko M. A. Statistical simulation of the vehicular traffic flow within the kinetic model // Abst. of the 16-th Intern. summer conference on probability and statistics (ISCPs–2014), seminar on statistical data analysis (SDA–2014), workshop on branching processes and applications (WBPA–2014), dedicated to the memory of B. A. Sevastyanov, Pomorie (Bulgaria), June 21–28, 2014. P. 18.

6. Lotova G. Z. Estimations of particles density, diffusion coefficient and diffusion radius in modeling of electron avalanches in gases // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 29. ISBN 978-5-9904865-8-4.

7. Lotova G. Z. Reducing the complexity of Monte Carlo modelling of electron avalanches in gases // Abst. of the Intern. Congr. on energy fluxes and radiation effects, Tomsk, 2014. Tomsk: IAO SB RAS, 2014. P. 152.

8. Marchenko M. A. Optimization of parallel Monte Carlo algorithm for simulation of trajectories of branching processes // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 29. ISBN 978-5-9904865-8-4.

9. Medvedev I. N. Weight "collision" estimators with a priori finite variance // Ibid. P. 29.

10. Mikhailov G. A., Rogasinsky S. V. Weight modification of direct statistical modeling with branching and randomization for the solution of the nonlinear kinetic equation // Ibid. P. 30.

11. Mikhailov G. A., Lotova G. Z. The errors of standard biased estimates in Monte Carlo method // *Ibid.* P. 6.

12. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. Approximate approach to evaluation of the DSMC statistical error // *Abst. of the 29th Intern. symp. on rarefied gas dynamics, Xi'an (China), July 13–18, 2014.* P. 60.

13. Plotnikov M. Yu., Shkarupa E. V. Approach to evaluation of time-dependence of sampled realizations in the DSMC method // *Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014.* Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 30. ISBN 978-5-9904865-8-4.

14. Rogasinsky S. V., Marchenko M. A. Stochastic simulation of electron avalanches on supercomputers // *Abst. of the 29th Intern. symp. on rarefied gas dynamics, Xi'an (China), July 13–18, 2014.* P. 272.

15. Rogasinsky S. V. About a method of majorant frequency for the solution of the nonlinear equation of Boltzmann // *Ibid.* P. 326.

16. Ukhinov S. A. Monte Carlo algorithms for reconstructing the aerosol scattering matrix from polarized radiation observations // *Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014.* Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 31. ISBN 978-5-9904865-8-4.

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. International conference "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014 – 10 докладов, из них 1 пленарный, 1 приглашенный доклад (Михайлов Г. А., Лотова Г. З., Ухинов С. А., Медведев И. Н., Амбос А. Ю., Марченко М. А., Рогазинский С. В., Шкарупа Е. В., Коротченко М. А., Антюфеев В. С.).

2. Школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", 9–13 июня 2014 г., Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН – 2 доклада (Коротченко М. А., Марченко М. А.).

3. 16th International summer conference on probability and statistics (ISCPs-2014), seminar on statistical data analysis (SDA–2014), workshop on branching processes and applications (WBPA–2014), dedicated to the memory of B. A. Sevastyanov, Pomorie (Bulgaria), June 21–28, 2014 – 1 доклад (Коротченко М. А.).

4. International congress on energy fluxes and radiation effects, Tomsk, Sept. 21–26, 2014 – 1 доклад (Лотова Г. З.).

5. 29th Intern. symp. on rarefied gas dynamics, Xi'an (China), July 13–18, 2014 – 2 доклада (Шкарупа Е. В., Марченко М. А.).

#### **Участие в оргкомитетах конференций**

1. Михайлов Г. А. – член программного комитета конференции "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014.

2. Марченко М. А.:

– член оргкомитета конференции "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014;

– член оргкомитета Международной школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.

4. Усов А. Г. – член оргкомитета конференции "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014.

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 7  
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11  
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 7  
 Монографий, глав в монографиях – 1  
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 4  
 Публикаций в зарубежных изданиях – 6  
 Публикаций в материалах международных конференций – 6  
 Публикаций в прочих изданиях – 16  
 Докладов на конференциях – 16, в том числе 2 пленарных и приглашенных.  
 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. Амбос А. Ю.	м.н.с. 0,7 ст.	
5. Ухинов С. А.	в.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. Коротченко М. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
9. Медведев И. Н.	н.с.	к.ф.-м.н.
10. Корда А. С.	м.н.с. 0,7 ст.	к.ф.-м.н.
11. Роженко С. А.	м.н.с. 0,25 ст.	к.ф.-м.н.
12. Трачева Н. В.	м.н.с. 0,5 ст.	к.ф.-м.н.
13. Гурова З. В.	техник	
14. Усов А. Г.	ведущ. программист	0,1 ст.

Амбос А. Ю., Роженко С. А., Коротченко М. А., Корда А. С., Трачева Н. В., Медведев И. Н. – 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;
Лотова Г. З.	– ст. преподаватель НГУ;
Медведев И. Н.	– ст. преподаватель НГУ;
Усов А. Г.	– ст. преподаватель НГУ.

### Руководство аспирантами

1. Амбос А. Ю. – 2-й год, НГУ, руководитель Михайлов Г. А.

### Руководство студентами

1. Монхбаатар Лхагвацэрэн – 4-й курс НГУ, руководитель Медведев И. Н.  
 2. Зайцева А. А. – магистрант, 2-й год НГУ, руководитель Медведев И. Н.

## Лаборатория численного анализа стохастических дифференциальных уравнений

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

### Важнейшие достижения

Разработан метод определения производных по параметрам математических ожиданий функционалов диффузионных процессов, содержащих время первого выхода случайного процесса из области. Предложенная формула для вычисления этих параметрических производных не содержит производной времени первого выхода диффузионного процесса из области и доказана (в отличие от полученной ранее автором формулы) без использования трудно проверяемого предположения о существовании среднеквадратических производных времени первого выхода по параметрам.

Гусев С. А. в соавторстве с Докучаевым Н. Г. (Куртинский университет, Австралия).

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

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

Номер государственной регистрации НИР 01201370225.

Научный руководитель проекта – член-корр. РАН Михайлов Г. А.

**Раздел 3.** "Численный анализ стохастических дифференциальных уравнений на суперкомпьютерах"

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

Разработан метод определения производных по параметрам математических ожиданий функционалов диффузионных процессов, содержащих время первого выхода случайного процесса из области.

Проведены исследования проблемы численного анализа стохастических дифференциальных уравнений с осциллирующими траекториями решения. Для анализа численного решения предложено использовать частотные характеристики, обобщающие интегральную кривую и фазовый портрет. Проведен анализ влияния случайных шумов на поведение траекторий случайных аттракторов и разработаны алгоритмы статистического моделирования для решений возникающих СДУ.

Методом статистического моделирования исследованы модели движения ракет и ИСЗ в космосе или атмосфере Земли. Исследовано влияние внешних и внутренних случайных шумов на поведение концентраций компонент химических реакций.

Исследованы вопросы влияния винеровских и пуассоновских случайных шумов на точность оценок первых моментов решения СДУ обобщенным методом Эйлера. Для тестового СДУ получены точные выражения математического ожидания и дисперсии решения, сравнение с которыми позволяет исследовать зависимость точности оценок от значений параметров СДУ, размеров шага интегрирования и ансамбля моделируемых траекторий решения. Численные эксперименты проведены на кластере НКС – 30Т Сибирского суперкомпьютерного центра при ИВМиМГ СО РАН.

Построена двухстадийная модификация асимптотически несмещенного численного метода решения стохастических дифференциальных уравнений. Построенная модификация

применена для решения модели формирования аморфных и кристаллических наноструктур при ионной имплантации.

С помощью построенной численной схемы, адаптированной к скачку, исследовано влияние эрланговых дельта-импульсов в задачах радиотехники. Проведено сравнение статистического алгоритма со спектральным методом.

Разработаны алгоритмы метода Монте-Карло для оценки функционалов от решения кинетического уравнения Смолуховского с линейными коэффициентами коагуляции, а также кинетического уравнения типа Больцмана, возникающего в модели автотранспортного потока. Весовые алгоритмы, разработанные для уравнения Смолуховского, позволяют на одних траекториях моделируемой цепи Маркова оценивать как функционалы для различных наборов параметров, так и параметрические производные по этим параметрам. Для модели автотранспортного потока с выделенным ускорением рассмотрены профили взаимодействия с пороговыми функциями, зависящими от скорости автомобиля. Численные эксперименты по оценке распределения скорости и ускорения в пространственно-однородном случае показали целесообразность использования моделирования многочастичных систем с помощью разработанных алгоритмов.

Построены новые оценки "блуждания по решетке с отражением от границы" для первого собственного значения и собственной функции оператора Лапласа с краевыми условиями третьего рода.

На основе метода Монте-Карло для решения систем линейных уравнений построена модификация быстрого и устойчивого алгоритма FEAST для поиска всех собственных значений и собственных функций из априорно заданного интервала для симметричной разреженной матрицы.

Созданы эффективные параллельные алгоритмы для построенных оценок "блуждания по решетке" с произвольными (разными) длинами траекторий для гетерогенных вычислений.

### **Результаты работ по проектам РФФИ**

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

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

В 2014 г. в ходе выполнения проекта получены следующие результаты.

Проведены исследования проблемы численного анализа систем СДУ с осциллирующими траекториями решений. Для анализа численного решения и параметрического анализа использовались разработанные авторами проекта частотные характеристики, обобщающие интегральную кривую (ЧИК) и фазовый портрет (ЧФП). Выполнен анализ влияния случайных шумов на поведение траекторий случайных аттракторов. Методом статистического моделирования исследованы некоторые модели движения ракет и ИСЗ в космосе или атмосфере Земли. Исследовано влияние внешних и внутренних случайных шумов на поведение концентраций компонент химических реакций. Проведен анализ влияния винеровских и пуассоновских случайных шумов на точность оценок первых моментов решения СДУ обобщенным методом Эйлера. Для тестового линейного СДУ получены точные выражения математического ожидания и дисперсии решения, сравнение с которыми позволило исследовать зависимость точности оценок от значений параметров СДУ, размеров шага интегрирования и ансамбля моделируемых траекторий решения.

Разработаны новые методы решения параболической начально-краевой задачи, описывающей колебание упругих пластин и тонких оболочек, со случайными параметрами или граничными условиями с помощью сведения к метаэллиптическим и эллиптическим краевым задачам посредством преобразования Лапласа. Требуемые оценки вероятностных характеристик решения получены с помощью методов, применяемых для решения интегральных уравнений второго рода. Построен эффективный с точки зрения оценок спектральных параметров алгоритм сопряженного "блуждания по сферам и в шарах", траектории которого являются реализациями соответствующей цепи Маркова. Построенные алгоритмы модифицированы для учета граничных условий второго и третьего рода в малой окрестности границы путем аппроксимации с требуемым порядком точности, при этом в алгоритме реализован выбор между обрывом траектории и отскоком ее внутрь области. Трудоемкость новых алгоритмов оптимизирована за счет эффективного уменьшения дисперсии оценок с помощью частичного осреднения на фиксированных траекториях соответствующих диффузионных процессов.

Для обобщения на пространственно-неоднородный случай построенной ранее кинетической модели автотранспортного потока с выделенным ускорением предложено различать два вида пространственных неоднородностей: сохраняющие поток автомобилей (таким, например, можно считать участки дорог с сужениями, крутые подъемы и спуски, искусственные неровности) и несохраняющие поток (съезды и выезды). Построено интегральное уравнение второго рода, связанное с линейной моделью эволюции многочастичной системы автомобилей. Для оценки функционалов от решения полученного уравнения разработаны новые алгоритмы метода Монте-Карло. С помощью численных экспериментов продемонстрирована практическая целесообразность и эффективность использования интегрального уравнения и моделирования соответствующих цепей Маркова при решении автотранспортных задач.

На основе численного решения СДУ разработан метод оценки решений краевых задач для линейных параболических уравнений с разрывными коэффициентами. С использованием предложенного метода решена практическая задача с реальными физическими данными для расчета теплопереноса в сотовой теплозащитной панели, каркас которой изготовлен из углепластика, а наполнителем служит воздух. Расчеты показали хорошее совпадение температуры, полученной с помощью предложенного метода для сотовой панели, рассматриваемой как неоднородный материал, со значениями температуры для этой панели, которая рассматривалась как однородная с усредненными теплофизическими характеристиками.

Доказано, что существует радиус интегрального усреднения для сглаживания коэффициентов в краевой задаче для параболического уравнения с разрывными коэффициентами, при котором максимальная погрешность получаемого обобщенного решения почти всюду в области определения задачи не превосходит заданного уровня. Разработан метод определения производных по параметрам математических ожиданий функционалов диффузионных процессов, содержащих время первого выхода случайного процесса из области. Предложенная формула для вычисления параметрических производных не содержит параметрическую производную времени первого выхода диффузионного процесса из области. Данный метод может быть использован при исследовании зависимости решений СДУ от параметров, например, в задачах финансовой математики и в краевых задачах для параболических уравнений.

Для вычислений на суперкомпьютерах разработаны высокоэффективные параллельные статистические алгоритмы и программы для оценок и анализа решений систем параболи-

ческих уравнений математической физики с учетом случайных шумов параметров уравнений, случайных внешних сил и начально-краевых условий, в том числе и в задачах с подвижной границей. Разработаны модификации алгоритмов для гетерогенных кластеров: со статическим и вариантами динамического распределения нагрузки по процессорам. Численные эксперименты проведены на гибридном кластере НКС - 30Т + GPU Сибирского Суперкомпьютерного Центра при ИВМиМГ СО РАН.

**Проект РФФИ № 14-01-31451-мол\_а** "Разработка, параллельная реализация и оптимизация весовых статистических алгоритмов для анализа и решения дифференциальных и интегральных уравнений на суперкомпьютерах".

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

В ходе выполнения проекта в 2014 г. получены следующие результаты.

Построены новые оценки "блуждания по сферам" и "блуждания по решетке с отражением от границы" для первого собственного значения и собственной функции оператора Лапласа для краевых задач с условиями первого рода и смешанными краевыми условиями.

На основе метода Монте-Карло для решения систем линейных уравнений построена модификация быстрого и устойчивого алгоритма FEAST для поиска всех собственных значений и собственных функций из априорно заданного интервала для симметричной разреженной матрицы.

Разработаны новые методы решения метаэллиптической начально-краевой задачи, описывающей колебание упругих пластин и тонких оболочек, со случайными параметрами или граничными условиями. Построен эффективный для оценок спектральных параметров алгоритм сопряженного "блуждания по сферам и в шарах", траектории которого являются реализациями соответствующей цепи Маркова. Трудоемкость новых алгоритмов оптимизирована за счет эффективного уменьшения дисперсии оценок с помощью частичного осреднение на фиксированных траекториях соответствующих диффузионных процессов.

Для обобщения на пространственно-неоднородный случай кинетической модели автотранспортного потока с выделенным ускорением предложено различать два вида пространственных неоднородностей: сохраняющие поток автомобилей (участки дорог с сужениями, с искусственными неровностями, с естественными подъемами и спусками) и несохраняющие поток (съезды и выезды). Построено интегральное уравнение второго рода, связанное с линейной моделью эволюции многочастичных систем. Для оценки функционалов от решения полученного уравнения разработаны новые статистические алгоритмы. С помощью численных экспериментов продемонстрирована практическая целесообразность и эффективность использования интегрального уравнения и моделирования соответствующих цепей Маркова при решении автотранспортных задач. Для изучения вопроса группирования автомобилей в кластеры рассматривалось кинетическое уравнение коагуляции с линейными коэффициентами, описывающими скорость взаимодействия частиц с целочисленными размерами. Разработаны новые весовые алгоритмы оценки линейных функционалов, позволяющие на одном наборе траекторий оценивать как функционалы для различных наборов параметров, так и параметрические производные по этим параметрам.

Предложены новые алгоритмы рандомизации итерационных методов решения линейных алгебраических уравнений на основе случайных разреженных матриц и специальных преобразований спектрального параметра.

Построен стохастический граничный алгоритм решения многомерных краевых задач на основе рандомизированных вариантов метода фундаментальных решений, при этом точечные источники и точки коллокации выбираются случайно распределенными, и задача сво-

дится к решению большой прямоугольной системы с помощью рандомизированного метода сингулярного разложения.

При разработке параллельных алгоритмов для расчетов на суперкомпьютерах решена задача оптимальной загрузки процессоров по независимым приближениям траекторий диффузионного процесса произвольной длины для гетерогенных вычислений.

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Аверина Т. А., Рыбаков К. А. Новые методы анализа воздействия эрланговских дельта-импульсов в задачах радиотехники // Журн. радиоэлектроники. 2014. № 11. [Электрон. ресурс]. <http://jre.cplire.ru/jre/nov14/10/text.pdf>. (в базе РИНЦ).

2. Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Весовые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки и параметрического анализа решения кинетического уравнения коагуляции // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 2. С. 125–138. (в базе РИНЦ).

3. Гусев С. А., Докучаев Н. Г. О дифференцировании функционалов, содержащих время первого выхода диффузионного процесса из области // Теор. вероятн. и ее применения. 2014. Т. 59, № 1. С. 159–168. DOI: 10.4213/tvp4555.

(в базе РИНЦ, перевод – в базах Scopus, Web of Science).

#### Зарубежные издания

1. Burmistrov A. V., Korotchenko M. A. Weight Monte Carlo algorithms for estimation and parametric analysis of the solution to the kinetic coagulation equation // Num. Analysis and Appl. Vol. 7, N 2. 2014. P. 104–116. DOI: 10.1134/S1995423914020049. (в базе Scopus).

2. Gusev S. A., Nikolaev V. N. Calculation of heat transfer in heterogeneous structures such as honeycomb by using numerical solution of stochastic differential equations // Adv. Materials Res. 2014. Vol. 1016. P. 758–763. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1016.758.

(в базах Scopus, Web of Science).

3. Lukinov V. L. Efficiency random walks algorithms for solving BVP of meta elliptic equations // WSEAS Tran. on Math. 2014. V 33. P. 101–105. Print ISSN: 1109-2769. E-ISSN: 2224-2880. (в базе Scopus).

4. Lukinov V. L. Estimates of the Monte Carlo method for the first eigenvalue of the Laplace operator with mixed boundary conditions // WSEAS WSEAS Tran. on Math. Print ISSN: 1109-2769 E-ISSN: 2224-2880, 2014, Vol. 34. P. 232–238. (в базе Scopus).

#### Материалы международных конференций и совещаний

1. Аверина Т. А. Применение численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений для решения систем со случайной структурой // Материалы 10-й Междунар. Азиат. шк.-семина. "Проблемы оптимизации сложных систем", Бишкек, (Кыргызстан), 25 июля – 5 авг. 2014 г. С. 10–15.

2. Аверина Т. А., Бондарева А. Л., Змиевская Г. И. Численное решение модели формирования аморфных и кристаллических наноструктур при ионной имплантации // Материалы 10-й Междунар. конф. "Сеточные методы для краевых задач и приложения – 2014", Казань, 24–29 сент. 2014 г. С. 17–22.

3. Артемьев С. С., Лукинов В. Л. Особенности стохастических вычислений для СДУ и краевых задач на суперкомпьютере // Материалы 14-й Междунар. конф. "Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах", Пермь, 10–12 нояб. 2014 г. С. 27–33.

4. Burmistrov A., Korotchenko M. Monte Carlo algorithm for simulation of the vehicular traffic flow within the kinetic model with velocity dependent thresholds // In: V. B. Melas et al. (eds.), Topics in Statistical Simulation. Springer Proc. in Math. & Statistics. 2014. V. 114. P. 109–117. DOI: 10.1007/978-1-4939-2104-1\_10. (в базе Scopus)

### **Свидетельства о регистрации программ и баз данных**

1. Аверина Т. А. Программа ROS для решения автономных системы стохастических дифференциальных уравнений обобщенным двух стадийным методом Розенброка // Св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615048, 2014 г. Дата регистрации 15.05.2014.

2. Аверина Т. А. Программа "Вычисление вероятностных характеристик решения систем со случайной структурой с распределенными переходами методом Монте-Карло" // Св-во о регистрации программы № PR14020, 2014 г. Дата регистрации 31.12.2014 г.

### **Прочие издания**

1. Artemiev S. S., Korneev V. D. Analysis of stochastic Navier – Stokes equations by Monte Carlo methods // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 26.

2. Averina T. A. Numerical analysis of system with random structure // Ibid.

3. Burmistrov A. V., Korotchenko M. A. Simulation of the Vehicular Traffic Flow within the Kinetic Model by Monte Carlo Method // Ibid.

4. Burmistrov A. V. Estimation of the solution to Smoluchowski equation by weight statistical modeling // Abst. of the 26th Intern. summer conf. on probability and statistics (ISCPS-2014); Seminar on statistical data analysis (SDA-2014); Workshop on branching processes and applications (WBPA-2014), dedicated to the memory of B. A. Sevastyanov, Pomorie (Bulgaria), June 21–28, 2014. P. 8–9.

5. Gusev S. A. Application of numerical solution of stochastic differential nequations to estimating solutions of parabolic equations with discontinuous coefficients // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 26.

6. Lukinov V. L. Estimates of the Monte Carlo method for the first eigenvalue of the Laplace operator with mixed boundary conditions // Ibid. P. 101.

7. Lukinov V. L. Monte Carlo method for estimating eigenvalues and eigenfunctions of the Laplace operator // Abst. of the 26-th Intern. summer conf. on probability and statistics (ISCPS-2014); Seminar on statistical data analysis (SDA-2014); Workshop on branching processes and applications (WBPA-2014). Dedicated to the memory of B. A. Sevastyanov, Pomorie (Bulgaria), 21–28 June 2014. P. 22.

8. Makhotkin O. A. Simulatyion of random variates with the Morgenstern distribution // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 29.

9. Makhotkin O. A. Nonstandard approximation of functions // Ibid.

10. Yakunin M. A. Analysis of the accuracy of estimates of the moments of solution to scalar linear SDE with Wiener and Poisson components using the statistical modeling method // Ibid. P. 115.

11. Лукинов В. Л. Методы Монте-Карло для решения краевых задач метаэллиптических уравнений // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН. С. 47.

**Сдано в печать**

1. Артемьев С. С., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Новые частотные характеристики численного решения стохастических дифференциальных уравнений // СибЖВМ. 2015. Т. 18, № 1.
2. Артемьев С. С., Иванов А. А. Анализ влияния случайных шумов на странные аттракторы методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // Там же. № 2.
3. Артемьев С. С., Иванов А. А. Анализ влияния случайных шумов на течение автоколебательных химических реакций методом Монте-Карло на суперкомпьютерах // Там же.
4. Артемьев С. С., Якунин М. А. Анализ точности оценок первых моментов решения СДУ с Винеровской и Пуассоновской составляющими методом Монте-Карло // Там же.
5. Averina T. A., Bondareva A. L., Zmievskaya G. I. Numerical solution of stochastic differential equations in the sense of Stratonovich in an amorphization crystal lattice model // Appl. Num. Math.
6. Гусев С. А. Применение СДУ к оценке решения уравнений теплопроводности с разрывными коэффициентами // СибЖВМ. 2015. Т. 18, № 2.

**Участие в конференциях и совещаниях**

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 10 докладов (Аверина Т. А., Артемьев С. С., Бурмистров А. В., Гусев С. А., Лукинов В. Л., Махоткин О. А., Якунин М. А.).
2. Международная научно-методическая конференция "Информационно-вычислительные технологии и моделирование в решении задач строительства, техники, управления и образования", Пенза, 11–18 дек. 2014 г. – 2 доклада (Артемьев С. С.).
3. 10-я Международная Азиатская школа-семинар по проблемам оптимизации сложных систем, Бишкек (Кыргызстан), 25 июля – 5 август 2014 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).
4. 10-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения – 2014", Казань, 24–29 сент. 2014 г. – 1 доклад (Аверина Т. А.).
5. 26th International Summer conference on probability and statistics (ISCPS-2014); Seminar on statistical data analysis (SDA-2014); Workshop on branching processes and applications (WBPA-2014). Dedicated to the memory of B. A. Sevastyanov, Pomorie (Bulgaria), 21–28 June 2014 – 2 доклада (Бурмистров А. В., Лукинов В. Л.).
6. 5th International conference on mechanical and aerospace engineering (ICMAE 2014), Madrid (Spain), July 18–19, 2014 – 1 доклад (Гусев С. А.).
7. 26th International conference on mathematical methods, computational techniques and intelligent systems (MAMECTIS '14), Lisbon (Portugal), Nov. 1–2, 2014 – 1 доклад (Лукинов В. А.).
8. 24-я Международная конференция "Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах", Пермь, 10–12 нояб. 2014 г. – 1 доклад (Лукинов В. Л.).
9. 8th International conference on applied mathematics, simulation, modelling (ASM'14), Florence (Italy), Nov. 22–25, 2014 – 1 доклад (Лукинов В. Л.).
10. Школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. – 1 доклад (Лукинов В. Л.).

**Участие в оргкомитетах конференций**

1. Артемьев С. С.: Международная научно-методическая конференция "Информационно-вычислительные технологии и моделирование в решении задач строительства, техники, управления и образования", Пенза, ПГУАС, 11–18 декабря 2014 г.

2. Бурмистров А. В.:

– Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН, 8–11 июня 2014 г.

– Международная школа-конференция "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН, 8–13 июня 2014 г.

### **Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 6

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 5

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 3

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 3

Публикаций в зарубежных изданиях – 4

Публикаций в материалах международных конференций – 4

Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 2

Публикаций в прочих изданиях – 11

Докладов на конференциях – 21, в том числе 1 пленарный

Участников оргкомитетов конференций – 3

### **Кадровый состав**

1. Артемьев С. С. – зав. лаб. д.ф.-м.н.

2. Аверина Т. А. – с.н.с. к.ф.-м.н.

3. Гусев С. А. – с.н.с. к.ф.-м.н.

4. Якунин М. А. – с.н.с. к.ф.-м.н.

5. Бурмистров А. В. – н.с. к.ф.-м.н.

6. Лукинов В. Л. – н.с. к.ф.-м.н.

7. Махоткин О. А. – н.с. к.ф.-м.н.

Лукинов В. Л. – молодой научный сотрудник.

### **Педагогическая деятельность**

Артемьев С. С. – профессор НГУ

Аверина Т. А. – доцент НГУ

Гусев С. А. – доцент НГТУ

Махоткин О. А. – доцент НГУ

Лукинов В. Л. – доцент СибГУТИ, ассист. НГУ.

Бурмистров А. В. – ст. преп. НГУ

### **Руководство аспирантами**

Смирнов Д. Д. – 3-й год, ММФ НГУ, руководитель Артемьев С. С.

Иванов А. А. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Артемьев С. С.

### **Руководство студентами**

Бертенева И. К. – 4 курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.

Захаров В. Д. – 4 курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.

Коршиков А. М. – 4 курс ВКИ НГУ, руководитель Лукинов В. Л.

**Лаборатория стохастических задач**

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

**Важнейшие достижения**

Численное статистическое моделирование переноса излучения терагерцового лидара в облачной аэрозольной атмосфере для решения задач дистанционного зондирования жидкокапельных облаков.

К.ф.-м.н. Каблукова Е. Г., д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

На основе статистического моделирования получены численные оценки временного распределения интенсивности сигнала, излучаемого терагерцовым лидаром и отраженного нижней кромкой облаков для различных вариантов реализаций начальных и граничных оптико-геометрических условий с учетом типа облачности и ослабления парами воды на трассе зондирования. Проанализирована структура локационного сигнала в зависимости от фона многократного рассеяния, длины волны излучения, концентрации паров воды в атмосфере.

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г., Чесноков Е. Н. Численное статистическое моделирование распространения терагерцового излучения в облачном аэрозоле // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 11. С. 939–948.

2. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Влияние крупных и сверхкрупных капель на распространение лидарного сигнала в облачном аэрозоле. Численное статистическое моделирование // Труды 24-й Всерос. науч. конф. "Распространение радиоволн", Иркутск, 29 июня – 5 июля 2014 г. Т. 1.

3. Kablukova E. G., Kargin B. A., Lisenko A. A. Influence of large and supersize droplets on propagation of LIDAR radiation in cloud aerosol: numerical statistical simulation // Proc. SPIE 9242, Remote Sensing 2014. 9242-22 (in press).

4. Kablukova E., Kargin B. Optimizing local estimates of the Monte Carlo Method for problems of laser sensing of scattering media // Topics in Statistical Simulation. Springer Proc. Math. and Stat. 114. P. 307–315. DOI 10.1007/978-1-4939-2104-1\_29. Springer Science + Business Media, New York, 2014.

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. Каблукова Е. Г. Каргин Б. А. Дискретно-стохастическая модификация алгоритма вычисления углового распределения направлений вылета из плоского рассеивающего слоя // Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июля 2014 г.

2. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Влияние крупных и сверхкрупных капель на распространение лидарного сигнала в облачном аэрозоле. Численное статистическое моделирование // Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск. 8–11 июля 2014 г.

3. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Влияние крупных и сверхкрупных капель на распространение лидарного сигнала в облачном аэрозоле. Численное статистическое моделирование // 24-я Всероссийская научная конференция "Распространение радиоволн", Иркутск, 29 июня – 5 июля 2014 г.

4. Kablukova E. G., Kargin B. A., Lisenko A. A. Influence of large and supersize droplets on propagation of Lidar radiation in cloud aerosol. Numerical statistical simulation // SPIE Remote Sensing 2014, Amsterdam (Netherland), Sept. 22–25, 2014.

5. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Статистическое моделирование распространения лидарного сигнала в облачном слое с учетом поляризации // 21-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–28 нояб. 2014 г.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г.  
в соответствии с планом НИР института**

**Проект НИР 1.2.1.2.** "Разработка методов Монте-Карло для решения задач математической физики, а также индустриальной и финансовой математики на суперкомпьютерах".

Номер государственной регистрации НИР 01201370225.

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

**Раздел 2.** "Статистическое моделирование переноса излучения и полей метеоэлементов в стохастической атмосфере, решение краевых стохастических задач математической физики на суперкомпьютерах".

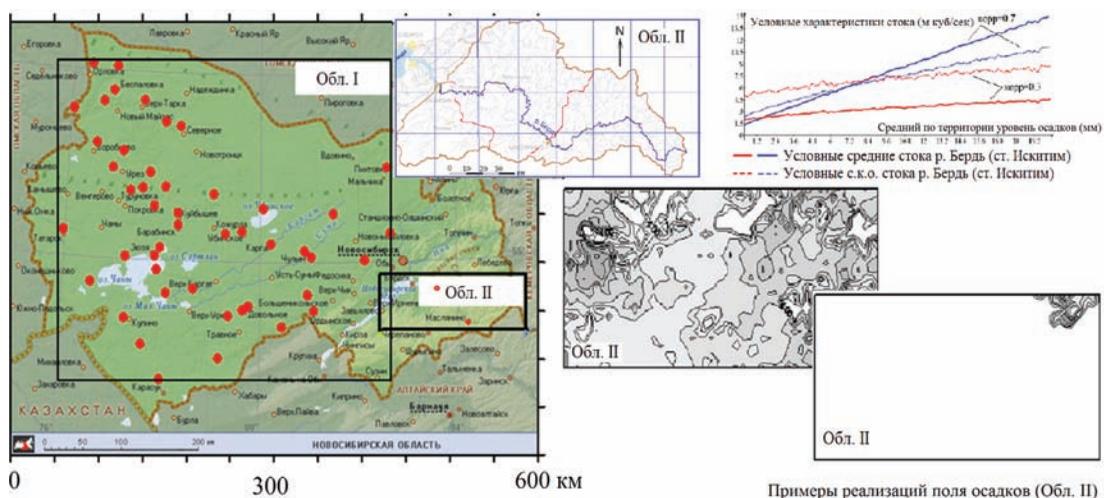
Руководитель – д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

Предложены стохастические модели коррелированных дислокаций в эпитаксиальных пленках и методы расчета дифракционных сигналов рентгеновского излучения на основе точечных случайных полей и предельных теорем для устойчивых случайных процессов. На основе данной теории описаны границы применимости ранее разработанных моделей типа Стокса – Вильсона при отсутствии дальних корреляций. Данная работа выполнялась совместно с немецкими физиками из института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин), работающими над созданием элементов оптоэлектроники на основе гетероэпитаксиальных структур.

Разработаны стохастические методы решения двух классов обратных и некорректных задач: 1) расчет спектра по размерам субмикронных частиц с помощью диффузионной батареи; 2) определение структуры ступенек роста эпитаксиальной пленки по дифракционному рентгеновскому сигналу. В основе методов лежат предложенные нами стохастические версии проекционного метода, метода сингулярного разложения и генетического алгоритма.

Построена стохастическая модель и численные методы исследования работы ветровых турбин в условиях больших флуктуаций ветра в турбулентной атмосфере с учетом температурной стратификации. На основе численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений со случайной правой частью проведено исследование устойчивости работы турбины, вероятности ее аварийного выхода из строя, влияние флуктуаций ветра на поведение выдаваемой мощности и другие функционалы от решения.

На основе численных стохастических моделей негауссовских метеорологических полей разработаны алгоритмы моделирования условных полей при различных условиях, накладываемых на значения метеорологического элемента в фиксированных точках. Алгоритмы основаны на специальных преобразованиях условных гауссовских полей. С использованием условных моделей проведены расчеты оценки различных статистических характеристик аномальных осадков для различных сценариев выпадения осадков в некоторой заданной области. Исследован подход к оценке степени неоднородности поля по корреляциям. Предложены подходы к учету неоднородности.



Совместное стохастическое моделирование суточных осадков и суточного речного стока

Построены и реализованы приближенные алгоритмы моделирования неоднородных пространственно-временных полей индикаторов осадков на регулярных сетках с использованием стохастической интерполяции значений поля со станций в узлы сетки. Предложен и реализован метод оценки качества воспроизведения в модели реальной неоднородности поля.

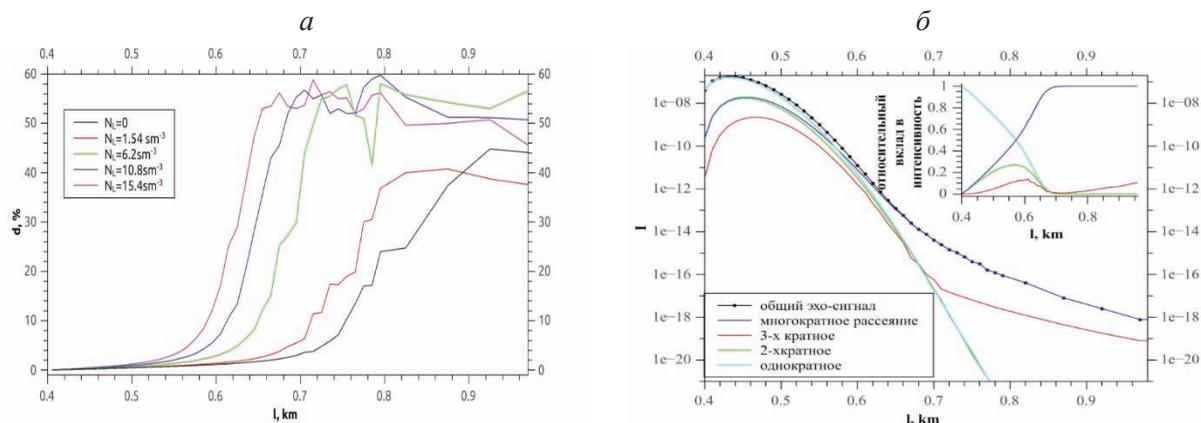
Разработаны алгоритмы численного моделирования кусочно-постоянных случайных процессов непрерывного времени с периодическими свойствами. Алгоритмы построены с использованием различных классов случайных точечных потоков и марковских неоднородных цепей с матрицей переходных вероятностей, периодически зависящей от времени. Численно исследован класс стационарных кусочно-линейных процессов. Изучен алгоритм моделирования специального класса кусочно-линейных процессов.

Разработаны алгоритмы динамико-вероятностного моделирования речного стока и осадков в условиях слабой освещенности территорий метеорологическими и гидрологическими наблюдениями (совместно с Институтом водных и экологических проблем СО РАН).

Исследованы возможности использования дискретно-стохастических алгоритмов построения адаптивных сеток для численного приближения сложно вычислимых функций. Показаны (аналитически и численно) особенности построения таких сеток для случаев неравномерного распределения узлов.

Изучены возможности применения сглаживающих численных процедур геостатистики при приближении сложно вычислимых функций. В качестве основного примера соответствующих дискретно-стохастических алгоритмов рассмотрены функциональные оценки метода Монте-Карло.

Выполнено численное моделирование распространения линейно поляризованного излучения от импульсного лидара наземного базирования. Вычислены временные распределения интенсивностей вектор-параметров Стокса для оптической модели рассеивающего слоя MED1 в окнах прозрачности атмосферы. Изучена проблема влияния изменения концентрации "крупных" капель при постоянной концентрации "мелких" в составе рассеивающего слоя на изменение поляризационных характеристик и коэффициента деполаризации принимаемого сигнала для длин волн 10, 25, 40, 87, 118, 151, 200 мкм.



Степень деполяризации эхо-сигнала для длины волны 40 мкм (а); вклад в интенсивность эхо-сигнала 1-й, 2-й, 3-й кратностей рассеяния и фона многократного рассеяния (б)

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 12-01-00635-а** "Стохастические граничные методы решения многомерных краевых задач математической физики и приложения к задачам о структуре дислокаций и транспорта экситонов в нанопроводниках".

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

В 2014 г. завершена работа над данным трехлетним проектом, в рамках которого разработан стохастический метод, основанный на рандомизации метода фундаментальных решений. Ключевым элементом подхода является использование стохастического сингулярного разложения матрицы, аппроксимирующей ядро граничного интегрального уравнения. Данный метод, позволяющий решать краевые задачи с произвольными граничными условиями, особенно эффективен, когда необходимо вычислять производные на границе, что часто встречается в практических задачах. В частности, нам удалось построить алгоритм для вычисления эффективности захвата малых частиц частицами сложной формы, а также для расчета емкости длинных полимерных цепочек. Другой вариант граничного метода, предложенный в одной из наших работ в рамках данного проекта, основан на стохастическом спектральном обращении граничных интегральных уравнений. Этот метод устойчив и позволяет решать граничные задачи для сложных областей. Отметим, что работы по случайным полям играют в наших исследованиях важную роль, они используются как при рандомизации, так и для формулировки стохастических краевых задач. В частности, разработанные моделирующие формулы для моделирования случайного поля скоростей ветра использованы нами при создании методов моделирования работы ветровых турбин. В целом, основные результаты были опубликованы в трех монографиях (одна на русском, и две на английском в зарубежных издательствах), семи статьях в высокорейтинговых международных журналах и представлены в 14 докладах на 5 международных конференциях 2012–2014 гг.

**Проект РФФИ № 12-05-00169-а** "Решение задач оптики облачной атмосферы методом Монте-Карло с учетом стохастичности и анизотропии рассеивающих сред".

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

Разработаны и реализованы новые методы и численные алгоритмы решения задач переноса излучения и лидарного зондирования в атмосфере с жидкокапельными и кристаллическими облаками с учетом многократного рассеяния и поляризации света, стохастической

неоднородности рассеивающих сред, фазового состава и оптической анизотропии облачных полей. Основные результаты получены по следующим направлениям: 1) анализ особенностей переноса излучения в облачной атмосфере; 2) разработка весовых методов Монте-Карло для решения уравнения переноса излучения; 3) численное моделирование стохастической структуры разорванной облачности и поверхности морского волнения; 4) моделирование лидарных эхо-сигналов.

Опубликованы 39 работ (среди них 1 монография и 13 статей в центральных научных изданиях). Результаты представлены на международных и российских конференциях.

**Проект РФФИ № 14-01-31425-мол\_а** "Дискретное стохастическое моделирование процессов самоорганизации в физико-химических и биологических системах".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Киреева А. Е.

Разработана и реализована двухслойная клеточно-автоматная (КА) модель реакции окисления монооксида углерода на поверхности платины для динамически изменяющейся температуры поверхности катализатора. Разработанный двухслойный КА представляет собой однонаправленную параллельную композицию основного КА, моделирующего реакцию окисления, и второго слоя, моделирующего явление теплопроводности на поверхности катализатора. С помощью реализованной КА-модели исследована динамика реакции при неоднородном начальном нагреве поверхности катализатора. Обнаружено, что изменение температуры катализатора в течение моделирования приводит к изменению режима протекания реакции. При одинаковой средней температуре катализатора динамика реакции различается при различных начальных нагревах поверхности. С помощью визуализации пространственного распределения реагентов в течение моделирования удалось пронаблюдать формирование пространственно-временных структур на участках поверхности с различной температурой.

#### **Работы по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН и Сибирского отделения РАН**

**Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект** "Методы и технологии распараллеливания алгоритмов и параллельная реализация численного моделирования на многопроцессорных системах".

Руководители: член-корр. РАН Михайлов Г. А., д.ф.-м.н. Малышкин В. Э.

**Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект** "Разработка новых численных моделей сложных многомерных геофизических и атмосферно-физических процессов".

Руководители: акад. Михайленко Б. Г., д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

**Программа ОМН РАН 1.3, проект 1.3.3, подпроект** "Вероятностные модели и алгоритмы численного статистического моделирования в задачах естествознания".

Руководители – член-корр. РАН Михайлов Г. А., д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 52** "Дистанционное зондирование микрофизических характеристик основания облачности в терагерцовом диапазоне на ЛСЭ Сибирского Центра фотохимических исследований"

Координатор – д.ф.-м.н. Каргин Б. А.

## 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".

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

Разработана стохастическая модель взаимодействия электронов и дырок посредством туннелирования и диффузии при наличии центров нерадиационной рекомбинации в полупроводниковых материалах и построен алгоритм моделирования этого процесса для вычисления интенсивности фотонного потока и люминесценции с разрешением в наносекундном интервале времени. Модель основана на вероятностной интерпретации решения нелинейного, пространственно неоднородного интегро-дифференциального уравнения Смолуховского с флуктуациями начального распределения электронов и дырок. Путем численного моделирования получен ряд новых результатов: построены кинетические кривые интенсивности фотолюминесценции на времена вплоть до  $10^{12}$  наносекунд, обнаружена сегрегация на отдельные кластеры электронов и дырок, предложена модель такого разделения на островки с помощью вероятности расстояния от электрона до ближайшей дырки, получено полное согласие теории с расчетами. Такое согласие получено и для теоретических формул для временной асимптотики спада интенсивности как в случае туннелирования, так и в случае диффузионного механизма аннигиляции. Работа поддержана экспериментальными измерениями группой физиков из института твердотельной электроники им. П. Друде (Берлин).

По данным исследованиям подготовлены три работы:

1) совместная работа. Sabelfeld K, Brandt O., Kaganer V. "Stochastic model for the fluctuation-limited reaction-diffusion kinetics in inhomogeneous media based on the nonlinear Smoluchowski equations" принята к печати в журнале *J. Math. Chemistry*, DOI: 10.1007/s10910-014-0446-6;

2) Hauswald C., Corfdir P., Zettler J. K., Kaganer V. M., Sabelfeld K. K., Flissikowski T., Grahn H. T., Geelhaar L., Brandt O. Investigating the origin of the nonradiative decay of bound excitons in GaN nanowires. *Phys. Rev. B*, 90, 165304 (2014);

3) Sabelfeld K., Levykin A., Kireeva A. Stochastic simulation of fluctuation-induced reaction-diffusion kinetics governed by Smoluchowski equations (принята к печати в журнале *Monte Carlo Methods and Applications*).

Кроме того, для исследования влияния флуктуаций начального распределения разработан вариант метода полиномиального хаоса, основанный на специальном разложении случайного поля решения в гильбертовом пространстве прямого произведения пространственных координат и параметров случайного распределения. Опубликована работа Shalimova I., K. Sabelfeld. Stochastic polynomial chaos based algorithm for solving PDS with random coefficients. *Monte Carlo Methods and Applications*. 2014. V. 20, iss. 4. P. 279–289.

## Публикации

### Монографии

1. Пригарин С. М. Модели случайных процессов и полей в методах Монте-Карло. *Palmarium Academic Publishing*, 2014, 160 с. ISBN 978-3-659-98980-3, ISBN-10: 3659989800. EAN: 9783659989803.

**Центральные российские издания (из списка ВАК)**

1. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г., Чесноков Е. Н. Численное статистическое моделирование распространения терагерцового излучения в облачном аэрозоле // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 11. С. 939–948.

(в базе РИНЦ, перевод в базе SCOPUS)

2. Каблукова Е. Г., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г., Бабченко С. В., Чесноков Е. Н. Перспективы применения терагерцового лазера на свободных электронах в задачах дистанционного зондирования атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 8. С. 746–751.

(в базе РИНЦ, перевод в базе SCOPUS)

3. Литвенко К. В., Пригарин С. М. Численные стохастические модели поверхности морского волнения и гигантских океанических волн // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 4. С. 349–361.

(в базе РИНЦ, перевод в базе Scopus)

4. Litvenko K. V., Prigarin S. M. The error analysis for spectral models of the sea surface undulation // Rus. J. of Num. Analysis and Math. Model. 2014. V. 29, N 4. P. 239–250. DOI: 10.1515/rnam-2014-0019.

(в базах РИНЦ, Scopus, Web of Science)

5. Ogorodnikov V. A., Sereseva O. V. Approximate numerical modeling of inhomogeneous stochastic fields of daily sums of liquid precipitation // Rus. J. of Num. Analysis and Math. Model. 2014. Vol. 29, N 6.

(в базах РИНЦ, Scopus, Web of Science).

**Зарубежные издания**

1. Kablukova E. G., Kargin B. A., Lisenko A. A. Influence of large and supersize droplets on propagation of LIDAR radiation in cloud aerosol: numerical statistical simulation // Proc. of the SPIE 9242, Remote Sensing 2014. 9242-22

(в базах Scopus, Web of Science)

and Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems XVII, 92420N. DOI: 10.1117/12.2067141.

(в базе Scopus)

2. Kablukova E., Kargin B. Optimizing local estimates of the Monte Carlo method for problems of laser sensing of scattering media // Topics in Statistical Simulation; Springer Proc. in Math. and Statistics 114. P. 307–315. DOI: 10.1007/978-1-4939-2104-1\_29. Springer Science + Business Media, New York, 2014.

(в базе Web of Science)

3. Kaganer V. M., Sabelfeld K. K. Strain distributions and diffraction peak profiles from crystals with dislocations // Acta Crystallographica A. 2014. Vol. 70, iss. 5. P. 457–471. DOI: 10.1107/S2053273314011139.

(в базах Scopus, Web of Science)

4. Shalimova I., Sabelfeld K. Stochastic polynomial chaos based algorithm for solving PDS with random coefficients // Monte Carlo Meth. and Appl. 2014. Vol. 20, iss. 4. P. 279–289.

(в базах Scopus)

5. Hauswald C., Corfdir P., Zettler J. K., Kaganer V. M., Sabelfeld K. K., Flissikowski T., Grahn H. T., Geelhaar L, Brandt O. Investigating the origin of the nonradiative decay of bound excitons in GaN nanowires // Phys. Rev. B. 2014. N 90, 165304.

(в базах Scopus, Web of Science)

6. Sabelfeld K. Corrigendum to "A stochastic spectral projection method for solving PDEs in domains composed by overlapping discs, spheres, and half-spaces" // Appl. Math. and Comput. 2014. Vol. 248. P. 697–701.

(в базах Scopus, Web of Science)

7. Sabelfeld K., Levykin A. A spectral method for isotropic diffusion equation with random concentration fluctuations of incoming flux of particles through the circular-shaped boundaries // Monte Carlo Meth. and Appl. 2014. Vol. 20, iss. 3. P. 173–180. DOI: 10.1515/mcma-2014-0001

(в базе Scopus)

8. Ogorodnikov V., Kargapolova N., Sereseva O. V. Numerical stochastic models of meteorological processes and fields // Topics in Stat. Simulation, Springer Proc. in Mathematics and Statistics 114. Ed. by Melas et al. DOI 10.1007/978-1-4939-2104-1\_40

(в базе Web of Science)

9. Prigarin S. M., Bazarov K. B., Oppel U. G. The effect of multiple scattering on polarization and angular distributions for radiation reflected by clouds: results of Monte Carlo simulation // Proc. of the SPIE 9292, 20th Intern. Symp. on atmosph. and ocean optics: atmospheric physics, 929201, Dec. 3, 2014. DOI: 10.1117/12.2177947.

(в базах Scopus, Web of Science)

10. Kireeva A. Two-layer CA model for simulating catalytic reaction at dynamically varying temperature // Proc. of the 11th edition of ACRI 2014 Intern. conf. "Cellular automata for research and industry", Krakow (Poland), Sept. 22–25, 2014. Ed. by J. Was, G. Ch. Sirakoulis, S. Bandini // LNCS 8751, Springer, 2014. P. 166–175. DOI: 10.1007/978-3-319-11520-7\_18.

(в базе Web of Science)

### Материалы международных конференций и совещаний

1. Огородников В. А., Сересева О. В. Приближенные модели стохастических полей сумм жидких осадков // 10-й Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2014", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Т. 1. С. 151–156.

(публикация в базе РИНЦ)

2. Войтишек А. В. Теоретические основы реализации генераторов стандартных случайных чисел, используемых в высокопроизводительных вычислениях // Труды 10-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Кыргызская Респ.), 2014 г. Ч. 1. С. 195–205.

3. Пригарин С. М., Базаров К. Б., Червинский Г., Оппель У. Влияние многократного рассеяния на поляризацию и угловые распределения излучения, отраженные облачным слоем (результаты статистического моделирования) // Материалы 20-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Томск, 2014 г. Томск: ИОА СО РАН, 2014. С. В124–В127.

4. Каблукова Е. Г., Лисенко А. А., Матвиенко Г. Г., Ошлаков В. К. Численные эксперименты по лазерному зондированию облаков в терагерцовом спектральном диапазоне // Сб. докл. Междунар. конф. "Аэрозоль и оптика атмосферы" (к 100-летию Г. В. Розенберга). [Электрон. ресурс]. 1-й CD-ROM. Москва, 2014. № 43. ISBN 978-5-89118-670-5.

### Прочие издания

1. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Влияние крупных и сверхкрупных капель на распространение лидарного сигнала в облачном аэрозоле. Численное статистическое моделирование. // Труды 24-й Всерос. науч. конф. "Распространение радиоволн", Иркутск, 29 июня – 5 июля 2014 г. Т. 1.

2. Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А. А. Влияние крупных и сверхкрупных капель на распространение лидарного сигнала в облачном аэрозоле. Численное статистическое моделирование // Тез. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. С. 27.

3. Войтишек А. В. Слово о Гурии Ивановиче Марчуке // Материалы школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики". Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2014. С. 10–12.

4. Войтишек А. В. Развитие методов численного статистического моделирования в ИВМиМГ СО РАН (научный обзор) // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные

проблемы прикладной математики и информатики". Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2014. С. 39–41.

5. Каргаполова Н. А. Об одном алгоритме моделирования случайных процессов с периодическими свойствами // Сб. статей 11-й Междунар. науч.-техн. конф. "Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем", Пенза, 28–31 окт. 2014 г. С. 20–25.

6. Каргаполова Н. А. Численное моделирование негауссовских периодически коррелированных кусочно-постоянных случайных процессов // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики". Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. С. 44.

7. Kargapolova N. A. Stochastic models of non-Gaussian piece wise constant periodically correlated continuous-time processes // Тез. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. С. 27.

8. Kireeva A. A two-layer cellular automata model of carbon monoxide oxidation reaction // Bull. NCC. Ser.: Comp. Sci. 2014. Iss. 36. P. 33–45.

*(Импакт-фактор РИНЦ 2013 – 0,158)*

9. Сабельфельд К. К. Стохастические модели для бимолекулярных реакций с определяющим действием флуктуаций: аналитический подход, моделирование и некоторые приложения // Тез. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

10. Шалимова И. А., Сабельфельд К. К. Стохастический метод коллокаций для решения дифференциальных уравнений со случайными коэффициентами // Там же.

11. Ефремов С. А., Сабельфельд К. Стохастическое моделирование работы ветровых турбин в турбулентной атмосфере // Там же.

12. Voytishchek A. V. Analytical description and optimization of adaptive discrete-stochastic algorithms for approximation of the complicatedly computable functions // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 31.

#### **Сдано в печать**

1. Sabelfeld K., Levykin A., Kireeva A. Stochastic simulation of fluctuation-induced reaction-diffusion kinetics governed by Smoluchowski equations // Monte Carlo Meth. and Appl.

2. Sabelfeld K., Brandt O., Kaganer V. Stochastic model for the fluctuation-limited reaction-diffusion kinetics in inhomogeneous media based on the nonlinear Smoluchowski equations // J. Math. Chem. DOI: 10.1007/s10910-014-0446-6.

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. 20-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 23–27 июня 2014 г. – 1 приглашенный доклад (Пригарин С. М., Базаров К. Б.).

2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 1 приглашенный доклад (Сабельфельд К. К.), 6 секционных докладов (Войтишек А. В.; Литвенко К. В., Пригарин С. М.; Каблукова Е. Г., Каргин Б. А., Лисенко А.; Каргаполова Н. А.; Огородников В. А., Сересева О. В.; Шалимова И. А., Сабельфельд К. К.), 4 стендовых доклада (Левыкин А. И.; Ефремов С. А., Сабельфельд К. К.; Каблукова Е. Г., Каргин Б. А.; Киреева А. Е.).

3. 10-й Муждународный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-СИБИРЬ-2014". Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. – 1 доклад (Огородников В. А., Сересева О. В.).

4. Школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. – 2 доклада (Каргаполова Н. А., Киреева А.).

5. 21-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–28 нояб. 2014 г. – 3 доклада (Огородников В. А., Сересева О. В.; Огородников В. А., Шлычков В. А., Каблукова Е. Г., Каргин Б. А.).

6. 11th edition of ACRI 2014 International conference "Cellular automata for research and industry", Krakow (Poland), Sept. 22–25, 2014 – доклад (Kireeva A.).

7. 24-я Всероссийская научная конференция "Распространение радиоволн", Иркутск, 29 июня – 5 июля 2014 г. – 1 доклад (Каблукова Е. Г., Каргин Б. А.).

8. SPIE remote sensing 2014, Amsterdam (Netherland), Sept. 22–25, 2014 – 1 доклад (Каблукова Е. Г., Каргин Б. А.).

9. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Кыргызская Респ.), 25 июля – 4 авг. 2014 г. – 1 пленарный доклад (лекция) (Войтишек А. В.).

Всего докладов 22, в том числе 5 пленарных и приглашенных.

#### **Участие в оргкомитетах конференций**

1. Войтишек А. В.:

– член научного комитета секции "Математика" 52-й Международной студенческой научной конференции "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 11–18 апр. 2014 г.;

– член оргкомитета конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН; Новосибирск; 7–9 апр. 2014 г.;

– председатель оргкомитета Международной школы-конференции "Современные проблемы прикладной математики и информатики", посвященной 50-летию ИВМиМГ СО РАН; Новосибирск, 9–13 июня 2014 г.

2. Огородников В. А. – член научного комитета секции "Математика" 52-й Международной студенческой научной конференции "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 11–18 апр. 2014 г.;

3. Пригарин С. М. – член научного комитета секции "Математика" 52-й Международной студенческой научной конференции "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 11–18 апр. 2014 г.;

4. Сабельфельд К. К.:

– член научного комитета секции "Математика" 52-й Международной студенческой научной конференции "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 11–18 апр. 2014 г.;

– член программного комитета Международной конференции "Advanced Mathematics, Computations and Applications (AMCA'14)"; Новосибирск, 9–11 июня 2014 г.

#### **Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 11

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 15

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 8

- Монографий, глав в монографиях – 1  
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5  
 Публикаций в зарубежных изданиях – 10  
 Публикаций в материалах международных конференций – 4  
 Публикаций в прочих изданиях – 12  
 Докладов на конференциях – 20, в том числе 5 пленарных.  
 Участников оргкомитетов конференций – 8.

### Кадровый состав

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

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

### Педагогическая деятельность

- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| Каргин Б. А.      | – профессор НГУ                  |
| Войтишек А. В.    | – профессор НГУ                  |
| Пригарин С. М.    | – профессор НГУ                  |
| Огородников В. А. | – профессор НГУ                  |
| Шалимова И. А.    | – доцент НГУ                     |
| Левыкин А. И.     | – ст. преподаватель НГУ          |
| Каргаполова Н. А. | – ст. преподаватель НГУ, СибГУТИ |
| Сересева О. В.    | – ст. преподаватель НГУ          |

### Руководство аспирантами

- |                   |  |
|-------------------|--|
| 1. Литвенко К. В. | – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Пригарин С. М. |
| 2. Че Н. К.       | – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Пригарин С. М. |
| 3. Базаров К. Б.  | – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Пригарин С. М. |
| 4. Алешина Т. В.  | – 1-й год, НГУ, руководитель Пригарин С. М.    |
| 5. Анисова М. А.  | – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Войтишек А. В. |

### Руководство студентами

- |                     |  |
|---------------------|--|
| 1. Сагоякова Е. Р.  | – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Пригарин С. М. |
| 2. Хаглеева И. М.   | – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Пригарин С. М. |
| 3. Коковьякин Д. Г. | – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Пригарин С. М. |
| 4. Репин Д. С.      | – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Пригарин С. М. |

5. Заковряшин А. В. – бакалавр НГУ, 4-й курс, руководитель Пригарин С. М.
6. Миронова Д. Э. – бакалавр НГУ, 4-й курс, руководитель Пригарин С. М.
7. Синяков И. В. – бакалавр НГУ, 4-й курс, руководитель Пригарин С. М.
8. Никушкин Н. Ю. – бакалавр НГУ, 4-й курс, руководитель Пригарин С. М.
9. Рыбдылова Г. С. – бакалавр НГУ, 4-й курс, руководитель Пригарин С. М.
10. Ефремов С. А. – магистрант НГУ, 2-й год, руководитель Сабельфельд К. К.
11. Еремеев Г. В. – магистрант НГУ, 1-й год, руководители Сабельфельд К. К., Левыкин А. И.
12. Скворцов С. С. – магистрант НГУ, 2-й год, руководитель Огородников В. А.
13. Медвяцкая А. М. – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Огородников В. А.
14. Бабичева Г. А. – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Огородников В. А.
15. Андорный Е. Н. – бакалавр НГУ, 4-й курс, руководитель Войтишек А. В.
16. Перфильева Е. Г. – магистрант НГУ, 2-й год, руководитель Войтишек А. В.
17. Тимофеева О. А. – магистрант НГУ, 1-й год, руководитель Войтишек А. В.

### **Защиты диссертаций**

Защита кандидатской диссертации: Моцартова Н. С., НГУ, научный руководитель проф. Сабельфельд К. К.

### **Защита дипломов**

1. Тимофеева О. А. – бакалавр, руководитель Войтишек А. В.
2. Бубнова А. В. – магистр, руководитель Войтишек А. В.
3. Зарукин Д. А. – магистр, руководитель Войтишек А. В.

## Лаборатория вычислительной физики

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

### Важнейшие достижения

#### **Разработка и исследование высокопроизводительных методов и технологий моделирования трехмерных электромагнитных полей в частотной области.**

Разработаны и исследованы методы расчета трехмерных электромагнитных полей в широком диапазоне частот на основе решения смешанных краевых задач для комплексного векторного уравнения Гельмгольца в областях со сложной геометрией кусочно-гладкой границы и контрастными материальными свойствами различных сред в подобластях. Аппроксимации исходных задач осуществляются методами конечных элементов на адаптивных неструктурированных сетках с использованием базисных функций вплоть до четвертого порядка и автоматического сгущения сеток в окрестности сингулярных точек. Решение получаемых систем линейных алгебраических уравнений проводится с помощью оптимальных по порядку предобусловленных итерационных методов в подпространствах Крылова. Параллельная реализация предложенных численных методов осуществлена в рамках пакета прикладных программ Helmpoltz – 3D на основе декомпозиции областей средствами гибридного программирования с использованием систем MPI и OpenMP на многопроцессорных вычислительных системах с общей и распределенной памятью. Высокая точность и производительность разработанных алгоритмов и технологий демонстрируется на результатах решения представительного набора методических и практических задач.

К.ф.-м.н. Бутюгин Д. С., д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Результаты исследований опубликованы в работе

Butyugin D. S., Il'in V. P. Solution of problems of harmonic electromagnetic field simulation in regularized and mixed formulations // Rus. J. Num. Analyses and Math. Modelling. 2014. Vol. 29, N 1. P. 1–12.

#### **Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2014 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: акад. Михайленко Б. Г., д.ф.-м.н. Вшивков В. А., д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Разработан численный метод определения векторного и градиента скалярного потенциала внутри проводника во внешнем магнитном поле, гармонически изменяющемся по времени. Задача сводится к решению уравнения Гельмгольца в проводящем теле при условии, что нормальная составляющая правой части уравнения на поверхности проводника равна нулю, а решением задачи с нулевой проводимостью тела является векторный потенциал внешнего магнитного поля. Искомый векторный потенциал находится в виде ряда, каждый член которого является решением уравнения Пуассона. Для определения правых частей уравнений Пуассона предложен итерационный метод, в котором находится распределение заряда на фиктивной поверхности, окружающей проводник, обеспечивающее выполнение граничного условия на поверхности исходного проводника. Доказано, что такое

распределение заряда на фиктивной поверхности создает градиент скалярного потенциала внутри исходного тела, равный градиенту, создаваемому распределением заряда на поверхности исходного тела. Проведены численные эксперименты, иллюстрирующие сходимость итерационного метода в зависимости от выбора фиктивной поверхности и итерационного параметра.

Разработаны, теоретически и экспериментально исследованы алгоритмы решения трехмерных смешанных краевых задач для уравнения Лапласа в неограниченных областях, основанные на комбинированном использовании методов конечных элементов (МКЭ) и интегрального представления решения в однородном пространстве.

В рамках библиотеки алгебраических решателей KRYLOV реализована и экспериментально исследована серия параллельных алгоритмов решения сверхбольших СЛАУ с разреженными матрицами, хранящимися в компактных форматах, включая методы "улучшения" автоматического построения алгебраической декомпозиции сеточных областей, а также новых типов предобусловливателей на основе сглаженной агрегации СЛАУ с использованием различных малоранговых матричных аппроксимаций.

В рамках развития средств эффективного использования графических ускорителей разработана алгебра геометрической информатики, использование которой позволяет формировать новый стиль программирования, адекватный представлению целого спектра вычислительных задач с математически обоснованной базой. Разработан подход к повышению робастности параллельных программ, выполняемых, в частности, в распределенных вычислительных средах. Подход основан на анализе опыта технологичного и надежного решения задач из различных областей информатики

Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 12-01-00076-а** "Вычислительные алгоритмы и технологии решения многомерных задач математической физики на квазиструктурированных сетках".

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

Предложенные в проекте параллельные алгоритмы, технологии и структуры данных реализованы в пакете прикладных программ для решения трехмерных краевых задач на многопроцессорных суперЭВМ.

Проведены серии численных экспериментов на НКС-30Т Сибирского суперкомпьютерного центра, показавшие эффективность разработанных подходов, в том числе и для несогласованных сеток. На рис. 1а показано ускорение вычислений при распараллеливании для согласованных сеток, на рис. 1б – для несогласованных.

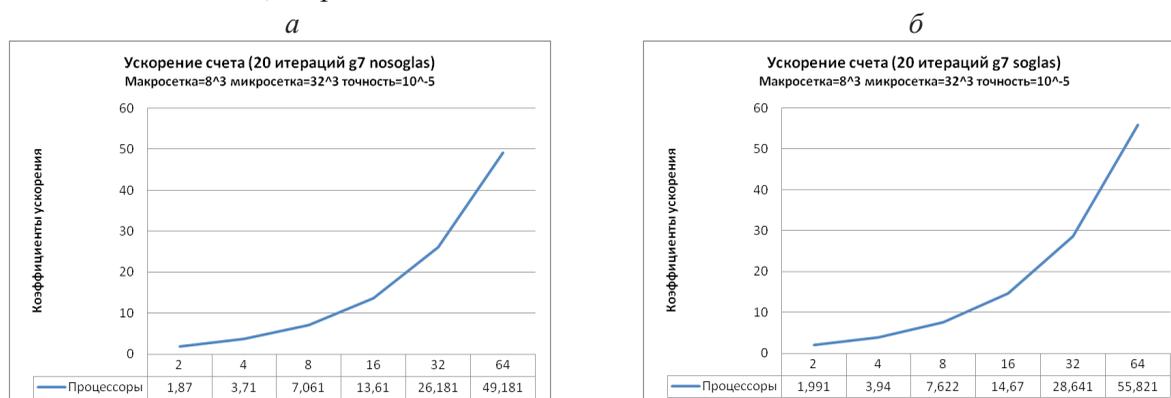


Рис. 1. Ускорение вычислений при распараллеливании:  
а – для согласованных сеток, б – для несогласованных сеток

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

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

Разработан, реализован и экспериментально исследован ряд новых параллельных алгоритмов решения сверхбольших разреженных СЛАУ, полученных из сеточных аппроксимаций многомерных краевых задач, на основе двухуровневых итерационных методов алгебраической декомпозиции в подпространствах Крылова. Предложены и апробированы различные подходы, ориентированные на ускорение внешних предобусловленных итерационных процессов, а также на быстрое синхронизированное решение вспомогательных систем в подобластях. Проведено автоматизированное двухэтапное сбалансированное построение сеточных подобластей с параметризованным пересечением, обеспечивающее применение ускоряющих приемов агрегации на внешних и внутренних итерациях. Предложены алгоритмы динамического мультипредобусловливания крыловских процессов. Разработаны адаптивные вариационные методы переменных направлений для решения СЛАУ в подобластях на многопоточковых принципах. Построены и исследованы итерационные методы решения краевых задач в неограниченных областях на основе альтернирующего комбинирования граничных интегральных уравнений и конечноэлементных аппроксимаций. Эффективность рассмотренных параллельных алгоритмов продемонстрирована на представительной серии методических сеточных систем уравнений с широким диапазоном числа степеней свободы, количества используемых процессоров и вычислительных ядер. Разработанные алгоритмы ориентированы на включение в библиотеку программ KRYLOV для решения широкого класса практических задач на многопроцессорных кластерных системах с иерархической общей и распределенной памятью.

**Проект РФФИ № 14-01-31304 мол-а** "Гибридное численное моделирование механизмов ускорения космических лучей высоких энергий"

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

Цель работы – исследование на основе численного моделирования фундаментальной научной проблемы – механизмов генерации космических лучей и их диффузное ускорение на фронте ударной волны. Несмотря на то, что космические лучи, представляющие собой поток высокоэнергетических частиц – электронов, протонов и ядер атомов – были обнаружены почти сто лет назад, их происхождение до сих пор точно неизвестно. Найденные значительные вариации в наблюдательных данных энергетического спектра ускоренных частиц требуют дальнейшего развития теоретической модели диффузного ускорения и проведения уточняющего моделирования на основе адекватных численных моделей высокого уровня. В данной работе построена двумерная численная модель исследуемого явления на основе кинетического описания ионной компоненты плазмы и МГД-приближения для электронов (гибридная модель). Подобный подход позволяет уменьшать вычислительные затраты относительно полного кинетического подхода, но сохранить возможность адекватного описания основных закономерностей процесса. Для решения кинетического уравнения Власова использован модифицированный метод частиц-в-ячейках.

### Результаты работ по проектам Российского научного фонда

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

В 2014 г. получены следующие основные результаты.

Разработана начальная версия пакета прикладных программ ЭРА – 3D для решения трехмерных самосогласованных задач сильноточной электроники, в результате чего:

- предложены и реализованы экономичные алгоритмы расчета напряженности электрического поля в заданной точке расчетной области на неструктурированных тетраэдральных сетках;
- разработаны программы дискретизации фронтов входа заряженных частиц в расчетную область для различных видов поверхностей;
- разработан балансный алгоритм расчета объемного заряда на 3D неструктурированных сетках;
- разработана начальная версия графического интерфейса для задания 3D геометрии расчетной области и граничных условий;
- разработаны структуры данных для расчета поля потенциалов электрического поля и расчета траекторий движения заряженных частиц;
- разработаны и реализованы технологии расчета траекторий движения заряженных частиц в электрических полях на неструктурированных тетраэдральных сетках.

Создана первая версия системы геометрического и функционального моделирования GEOMBOX, основными возможностями которой являются построение базовых геометрических объектов, таких как сфера, цилиндр и параллелепипед, а также выполнение теоретико-множественных операций над ними: вычитание, пересечение и объединение. Система позволяет задавать функциональные данные для решаемых задач, включая коэффициенты решаемых уравнений в подобластях и краевые условия на граничных поверхностных сегментах. Для решения расчетных задач существует возможность задания и генерации сеточной структуры данных. Первый способ – использование собственного специализированного сеточного построителя в формате задачи. Вторым способом является использование существующей библиотеки генератора тетраэдральных сеток Netgen. Построение квази-структурированных сеток допускается также с помощью комбинированного использования различных сеточных генераторов в разных подобластях.

Разработана база материальных свойств сред (далее БМС), предназначенная для ведения разнообразных величин материальных свойств в едином формате. Программа поддерживает разнообразные форматы данных, включая числа, векторы, таблицы, графики, функции и сплайны. Это покрывает все возможные виды обычных справочных величин, которые выражаются в виде цифр. Программа написана на языке C#. В качестве базы данных используется локализованный XML-файл. Экспорт параметров производится в этом же формате.

Разработан графический интерфейс доступа к данным и универсальный формат хранения данных БМС, представляющий собой две части: неограниченное по глубине дерево в формате XML SOAP (TreeSave.xml) и представление справочных данных для каждой вершины дерева (XMLDoc.xml). Свойства организованы в виде неограниченного иерархического дерева, которое может содержать различные типы элементов.

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

**Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Вычислительные, информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы в задачах математического моделирования".**

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

В течение 2014 г. разработан, реализован и исследован ряд оригинальных параллельных алгоритмов решения больших разреженных СЛАУ, в том числе вариационные неявные методы переменных направлений, основанные на рациональных пространствах Крылова. Рассмотренные алгоритмы могут интерпретироваться как аддитивные многосеточные методы, а на их основе формируются мультипредобусловленные итерационные процессы в подпространствах Крылова. Эффективность исследуемых подходов апробирована на серии методических тестовых задач с симметричными и несимметричными матрицами.

**Программа ОМН РАН № 1.3, проект 1.3.4., подпроект "Вычислительные методы и технологии базовой системы математического моделирования (БСМ)".**

Руководитель – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработаны принципы построения базовой системы моделирования (БСМ) на основе современных компонентных технологий (ССА – Common Component Architecture) для разработки вычислительного ядра, ориентированного на поддержку всех основных стадий крупномасштабного компьютерного эксперимента на высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных системах с общей и распределенной памятью.

Разработаны и апробированы новые двухступенчатые итерационные методы решения сверхбольших разреженных СЛАУ в рамках БСМ на основе предобусловленных алгоритмов в подпространствах Крылова с различными современными приемами ускорения. Эффективность предложенных подходов продемонстрирована на представительной серии методических экспериментов.

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 130.**

Координатор – акад. РАН Михайленко Б. Г.

Ответственный исполнитель – д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Реализованы алгоритмы и технологии распараллеливания решения краевых задач на адаптивных прямоугольных квазиструктурированных сетках. Построены алгоритмы локальной модификации данных сеток вблизи внешних границ с сохранением качества сеток с целью их адаптации. Разработаны технологии балансировки загрузки процессоров в случае несогласованных сеток, содержащих существенно различное число узлов в подобластях. Проведены широкомасштабные численные эксперименты, которые показали эффективность предлагаемых подходов.

**Партнерский интеграционный проект СО РАН 126.**

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Рогазинский С. В.

Ответственный исполнитель – д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Реализованы алгоритмы и технологии распараллеливания расчета потенциала электрического поля на квазиструктурированных сетках специальным методом декомпозиции в гибридной вычислительной среде: центральный процессор (CPU) и графические ускорители (GPU). Решение подзадач в подобластях, на которые разбивается расчетная область, осуществляется методом последовательной верхней релаксации, который обладает внутренним параллелизмом, легко отображаемым на GPU. Итерационный процесс по подобластям осуществляется методом GMRES. Проведены серии численных экспериментов на модельной задаче, показывающие эффективность предлагаемого подхода.

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 104.**

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Свешников В. М.

Проведено численное моделирование движения электронного пучка в канале транспортировки многопробочной ловушки ГОЛ-3. Геометрия расчетной области характеризуется большой разномасштабностью. Пучок движется в резко неоднородном сходящемся магнитном поле. Учитывается угловой разброс электронов на входе в расчетную область и неоднородность плотности тока по радиусу. Релятивистские уравнения движения интегрируются по балансным схемам. Разработан алгоритм выбора шага численного интегрирования. Экспериментально обоснован выбор численных параметров при моделировании виртуального катода, возникающего в плотных пучках. Проведены серии численных расчетов, согласующиеся с экспериментом и подтверждающие гипотезу о влиянии питч-углов на отражение электронов. На рис. 2 показано распределение магнитного поля по каналу транспортировки, питч-углы электронов на разных радиусах в пучке и траектории электронов.

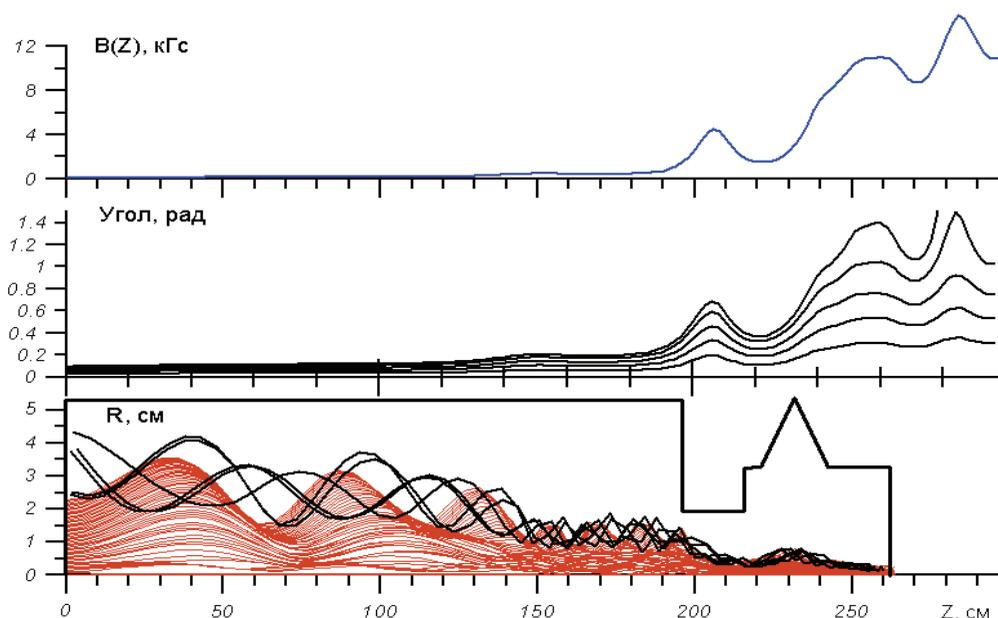


Рис. 2. Распределение магнитного поля по каналу транспортировки, питч-углы электронов на разных радиусах в пучке, траектории электронов (черным цветом показаны отраженные магнитной пробкой)

### Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 119.

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Разработаны и исследованы эффективные численные методы решения нелинейного уравнения Шредингера (НУШ), описывающие колебательные режимы динамических систем. Проведен сравнительный анализ классической конечно-разностной схемы Кранка – Николсона и симплектических алгоритмов второго порядка точности, сохраняющих инварианты искомых решений на длительных интервалах интегрирования.

Предложены и исследованы мультисимплектические методы решения интегродифференциального уравнения Кортвега – де Вриза – Бюргерса, основанные на конечно-объемных аппроксимациях и ориентированные на моделирование волновых процессов в средах с нелинейными дисперсионными и диссипативными свойствами. На основе серии методических экспериментов продемонстрирована высокая устойчивость схем на длительных временных интервалах.

**Публикации****Главы в монографиях**

1. Skopin I. N. An approach to the construction of robust systems of interacting processes // Parallel programming: Practical aspects, models and current limitations. Chap. 9. Ser.: Mathematics research developments. Ed. by M. S. Tarkov. NOVA science publishers, 2014. ISBN: 978-1-63321-957-1.
2. Skopin I. N. Early learning in parallel programming // Ibid. Chap. 10.

**Центральные российские издания (из списка ВАК)**

1. Ильин В. П. Альма-матер Сибирской вычислительной информатики // Вестн. РАН. 2014. Т. 84, № 12. С. 64–75. (в базе РИНЦ)
2. Ильин В. П. О некоторых проблемах "заоблачного" математического моделирования // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Выч. матем. и информ. 2014. Т. 3, № 1. С. 68–79. (в базе РИНЦ)
3. Будович В. Л., Ильин В. П. Измерение интенсивности источников вакуумного ультрафиолетового излучения с помощью проточной ионизационной камеры // Приборы и техника эксперимента. 2014. № 2. С. 109–113. (в базе РИНЦ)
4. Ильин В. П., Перевозкин Д. В. О некоторых вариантах метода декомпозиции областей // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Выч. матем. и информ., 2014. Т. 3, № 2. С. 5–19. (в базе РИНЦ)
5. Медведев А. В., Свешников В. М., Турчановский И. Ю. Распараллеливание решения краевых задач на квазиструктурированных сетках с использованием гибридных вычислений CPU + GPU // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технол. 2014. Т. 12, вып. 1. С. 50–54. (в базе РИНЦ)
6. Савченко А. О. Функции ортогональные к многочленам и их применение в осесимметричных задачах физики. // Теор. и матем. физ. 2014. Т. 179, № 2. С. 225–241. (в базе РИНЦ; перевод – в базах Scopus, Web of Science)
7. Савченко А. О., Савченко О. Я. Проводящее осесимметричное тело в соосном переменном магнитном поле // Журн. техн. физ. 2014. Т. 84, № 1. С. 18–27. (в базе РИНЦ; перевод – в базах Scopus, Web of Science)
8. Скопин И. Н., Трибис Д. Ю. Логические и множественные вычисления в рамках парадигмы геометрической информатики // Программирование. 2014. № 6. С. 35–46. (в базе РИНЦ)
9. Скопин И. Н. Иерархические отношения – методологическая основа изучения понятия иерархий // Вестн. РУДН. Сер.: Информ. образов. 2014. № 1. С. 56–63. (в базе РИНЦ)
10. Горбенко Н. И. Численное моделирование интегро-дифференциального уравнения Кортевега – де Вриза – Бюргерса // СибЖИМ. 2014. Т. 17, № 1(57). С. 36–45. (в базе РИНЦ)

**Зарубежные издания**

1. Savchenko A. Computation of potential and attraction force of an ellipsoid // Reliable Comput. 2014. V. 19, iss. 3. P. 318–329. (в базе Scopus)
2. Butyugin D. S., Il'in V. P. Solution of problems of harmonic electromagnetic field simulation in regularized and mixed formulations // Rus. J. Num. Analyses and Math. Modelling. 2014. Vol. 29, N 1. P. 1–12. (в базах Scopus, Web of Science)
3. Budovich V. L., Il'in V. P. Measurements of the intensities of vacuum ultraviolet radiation sources using the flow ionization chamber // Instruments and Experimental Techniques. 2014. Vol. 57, N 2. P. 196–201.
4. Skopin I. N., Tribis D. Yu. Logical and set calculations in the framework of geometrical informatics paradigm // Program. and Comp. Soft. 2014. Vol. 40, N 6. P. 346–353. (в базе Scopus)

**Материалы международных конференций и совещаний**

1. Ильин В. П., Перевозкин Д. В. Вариант распределенного метода декомпозиции областей // Труды Междунар. конф. ПАВТ'2014. Челябинск: ЮУрГУ, 2014. С. 87–98.
2. Ильин В. П. Стратегии и тактики "заоблачного" математического моделирования // Там же. С. 99–107.
3. Бутюгин Д. С., Ильин В. П. CHEBYSHEV: принципы автоматизации построения алгоритмов в интегрированной среде для сеточных аппроксимаций начально-краевых задач // Там же. С. 42–50.

**Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных**

1. Свешников В. М., Козырев А. Н. Программный комплекс для расчета интенсивных пучков заряженных частиц на квазиструктурированных сетках / Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 014618881. 2014.
2. Свешников В. М., Козырев А. Н. Программный комплекс для расчета траекторий заряженных частиц на квазиструктурированных сетках // Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014618514. 2014.

**Участие в конференциях и совещаниях**

1. 7-я Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова, пос. Дюрсо (Новороссийск), 15–20 сент. 2014 г. – 3 доклада (Ильин В. П., Петухов А. В., Вшивкова Л. В.).
2. 20-я Всероссийская молодежная школа-конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов для решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко, пос. Дюрсо (Новороссийск), 15–20 сент. 2014 г. – 3 доклада (Ильин В. П., Козырев А. Н., Свешников В. М., Савченко А. О.).
3. 15-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", Саров, 13–17 окт. 2014 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
4. 2nd russian-french workshop "Computational Geophysics", Berdsk, Sept. 22–25, 2014 – 1 доклад (Ильин В. П.).
5. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 9–11 июня 2014 г. – 11 докладов (Бутюгин Д. С., Гурьева Я. Л., Ильин В. П., Петухов А. В., Перевозкин Д. В., Пак Е. И., Свешников В. М., Козырев А. Н., Савченко А. О., Скопин И. Н., Горбенко Н. И., Вшивкова Л. В.).
6. Международная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПАВТ-2014), Ростов, 1–3 апр. 2014 г. – 2 доклада (Ильин В. П., Перевозкин Д. В.).
7. Международная конференция, посвящ. памяти Н. С. Бахвалова и В. В. Воеводина, Москва, 21 мая 2014 г. – 1 доклад (Ильин В. П.).
8. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызстан, 25 июля – 5 авг. 2014 г. – 3 доклада (Свешников В. М., Скопин И. Н.).
9. International conference "Computer technologies in physical and engineering applications (ICSTPEA), St. Petersburg, June 30 – July 4, 2014 – 1 доклад (Савченко А. О.).
10. 10-я Международная Ершовская конференция по информатике; рабочий семинар "Информатика образования", Санкт-Петербург, 24–27 июня 2014 г. – 2 доклада (Скопин И. Н.).

**Прочие издания**

1. Астрелин В. Т., Кандауров И. В., Свешников В. М. Численное моделирование транспортировки электронного пучка с предельным током и начальным угловым разбросом при

инъекции в многопробочную ловушку ГОЛ-3 // Труды 10-й Междунар. Азиат. шк.-семина. "Проблемы оптимизации сложных систем", Кыргызстан, 2014. Ч. 1. С. 73.

2. Торопова Е. Ю., Свешников В. М. Математическое моделирование в разработке критериев оценки качества почв сельскохозяйственного назначения // Там же. Ч. 2. С. 683.

### Участие в оргкомитетах

1. Ильин В. П.:

– Международная конференция ПаВТ–2014, Ростов на Дону, 31 марта – 4 апр. 2014 г.;

– Международная научная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;

– 9-я Международная научно-техническая конференция "Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем (АЧМ-2013)". Пенза, 28–31 окт. 2014 г.;

– 26-я Всероссийская конференция-школа "Современные проблемы математического моделирования", Абрау-Дюрсо, 15–20 сент. 2014 г.

2. Свешников В. М.:

– Международная научная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;

– Международная конференция по математическому моделированию МКММ-2014, Херсон (Украина), 16–20 сент. 2014 г.

3. Вшивкова Л. В.:

– Международная научная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 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 – 10

Глав в монографиях – 2

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 10

Публикаций в зарубежных изданиях – 4

Публикаций в материалах международных конференций – 10

Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 2

Публикаций в прочих изданиях – 2

Докладов на конференциях – 28, в том числе 6 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 7

### Кадровый состав

1. Свешников В. М.	зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Ильин В. П.	г.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Гурьева Я. Л.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
4. Савченко А. О.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
5. Горбенко Н. И.	н.с.	к.ф.-м.н.
6. Скопин И. Н.	н.с. 0,4 ст.	к.ф.-м.н.
7. Вшивкова Л. В.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
8. Бутюгин Д. С.	м.н.с., 0,1 ст.	к.ф.-м.н.

9. Петухов А. В. м.н.с.
10. Перевозкин Д. В. м.н.с. 0,25 ст.
11. Козырев А. Н. м.н.с. 0,25 ст.
12. Демидов Г. В. ведущ. инженер 0,5 ст. к.ф.-м.н.
13. Ицкович Е. А. ведущ. программист
14. Тарасевич Л. М. техник 1-й категории

Вшивкова Л. В., Петухов А. В., Козырев А. Н., Перевозкин Д. В., Бутюгин Д. С. – молодые научные сотрудники:

#### **Педагогическая деятельность**

- Ильин В. П. – профессор НГУ  
Свешников В. М. – профессор НГУ  
Скопин И. Н. – доцент НГУ

#### **Руководство аспирантами**

1. Рыбдылов Б. Д. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Свешников В. М.
2. Степанюк К. С. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Скопин И. Н.
3. Помелов С. В. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Скопин И. Н.

#### **Руководство студентами**

1. Климонов И. В. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Свешников В. М.
2. Самойлов Н. В. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Свешников В. М.
3. Колдаков И. В. – 3-й курс ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
4. Ляшенко В. И. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
5. Дергунов А. А. – 4-й курс ФИТ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
6. Фаршатов А. А. – 4-й курс ММФ НГУ, руководитель Скопин И. Н.
7. Кузьмин А. Г. – магистрант ММФ НГУ, 1-й год, руководитель Скопин И. Н.
8. Герасимов В. В. – магистрант ММФ НГУ, 1-й год, руководитель Скопин И. Н.

## Лаборатория математических задач химии

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

### Важнейшие достижения

Предложен подход к построению потоковых схем расщепления для решения задач теплопереноса. В основе подхода лежит использование известных устойчивых схем расщепления для скалярной величины, в качестве которой выступает дивергенция векторного потока. Такая конструкция имеет в достаточной степени универсальный характер, в частности, были построены потоковые схемы на основе следующих схем-преобразов: схемы переменных направлений, локально-одномерной схемы, схемы предиктор-корректор, схемы Дугласа – Гана в трехмерном случае. Для двумерной потоковой схемы, полученной из схемы-преобраза переменных направлений, и трехмерной потоковой схемы, полученной из схемы-преобраза Дугласа – Гана, доказана устойчивость по начальным данным в предположениях устойчивости указанных схем-преобразов.

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

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.2.1.1.** "Сеточные методы для высокопроизводительных ЭВМ и их применение в задачах естествознания".

Номер государственной регистрации НИР 0121370224.

Руководитель – акад. Коновалов А. Н.

В сеточном варианте предложен тригонометрический функциональный базис, ориентированный на аппроксимацию с высоким порядком точности гладких и кусочно-гладких функций. Дается сравнительный анализ качеств предложенного и полиномиального базисов. Показано преимущество тригонометрического варианта перед полиномиальным. Также этот базис ориентирован на решение одномерных диффузионных и диффузионно-конвективных краевых задач с разрывными коэффициентами в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. По отношению к этим задачам предложен более общий метод исследования граничных условий и условий сопряжения на принадлежность к главным или естественным. Приведен пример поиска обобщенного решения краевой задачи на основе метода сеток при произвольной сетке узлов.

Предложен новый унифицированный алгоритм поиска наилучших кубатурных формул на сфере, инвариантных относительно группы тетраэдра с инверсией. Проведены расчеты по этому алгоритму с целью определения параметров всех наилучших кубатур данного вида симметрии до 41-го порядка точности  $n$ . При этом для  $n \leq 11$  найдены точные значения параметров соответствующих кубатур, а для остальных  $n$  – приближенные, полученные путем численного решения систем нелинейных алгебраических уравнений методом ньютоновского типа. Используемый в работе численный метод не гарантирует, что были найдены все возможные решения системы нелинейных уравнений, из которой определяются параметры кубатуры. Поэтому не исключена возможность, что для некоторых  $n$  полученные в работе результаты могут быть улучшены.

Для итерационных методов решения систем линейных алгебраических уравнений с разреженными матрицами на высокопроизводительном кластере предложен ряд переобусловливателей. В качестве основных итерационных методов используются метод сопряженных

градиентов для систем с симметрическими положительно определенными матрицами и обобщенный метод минимальных невязок для прочих матриц. В качестве переобусловливателей выбраны следующие матрицы:

- блочно-трехдиагональная часть матрицы, каждый  $2 \times 2$ -блок которой обращается независимо прямым методом;
- аналогично предыдущему, с предварительной перестановкой элементов матрицы, приводящей матрицу к ленточному виду.

В рамках работ по конструированию прямых методов решения разреженных систем линейных алгебраических уравнений на кластере предложен подход, распределяющий работу и память между вычислительными узлами с помощью алгоритмов перестановок (*metis* и *minimal degree*). Решены следующие задачи:

- распределение памяти и задач по процессам (мультифронтальный подход);
- эффективная реализация LU-разложения в случае, когда весь кусок матрицы лежит на одном вычислительном процессе;
- эффективная реализация LU-разложения в случае, когда весь кусок матрицы лежит на разных вычислительных процессах;
- процедура прямого и обратного хода алгоритма решения для распределенных и нераспределенных данных.

Предложен достаточно универсальный способ построения экономичных разностных схем, аппроксимирующих уравнение теплового потока, для задачи теплопереноса в терминах "температура – вектор теплового потока". Подход основан на использовании устойчивых схем расщепления для сеточной дивергенции с указанием способа конструирования схем для теплового потока. В качестве иллюстрации подхода был рассмотрен ряд двумерных и трехмерных примеров. При этом имеет место устойчивость только в подпространстве, поскольку в качестве скалярных "прообразов" берутся устойчивые схемы расщепления. Для двумерной потоковой схемы, полученной из схемы-прообраза переменных направлений, и трехмерной потоковой схемы, полученной из схемы-прообраза Дугласа – Гана, доказана устойчивость по начальным данным в предположениях, при которых имеет место устойчивость для указанных схем-прообразов. Полученные априорные оценки также позволяют сделать вывод об устойчивости вычисления температуры и устойчивости по правой части.

Исследованы параллельные реализации векторных схем расщепления на основе технологий MPI и OpenMP для решения трехмерной задачи теплопереноса. Проведено сравнение MPI и MPI/OpenMP с выделением потока, отвечающего за выполнение обменов данными между процессами. При использовании такого подхода вычисления выполняются одновременно с обменами данными. Результаты проведенного исследования позволили заключить, что несмотря на то, что использование такого гибридного подхода значительно повышает эффективность простой гибридной реализации, такой подход для рассматриваемого класса методов уступает MPI реализации.

Продолжена работа над построением модели, описывающей фильтрацию двухфазной несжимаемой жидкости в трещиновато-пористых средах. В основе изучаемой модели лежит двухскоростная гомогенизация потока, основанная на предположении, что в каждой точке пространства находится жидкость как в порах, так и в трещинах, и за счет разницы давлений в порах и трещинах происходит перераспределение массы. Основной проблемой на сегодняшний день является определение указанных давлений через парциальные давления фаз в модели фильтрации Маскета – Леверета.

Предложена новая вычислительная модель фильтрационного горения газа в терминах "субстанция – поток субстанции". Под субстанцией понимается концентрация недостающего горючего компонента, полная газовая энтальпия, температура пористого каркаса, а под потоками субстанций – пространственные частные производные субстанций. При этом речь идет не о физических потоках, которые задаются введенными функциями, умноженными на коэффициенты диффузии и теплопроводности газа и каркаса, соответственно. Сделано это для возможности "непрерывного" перехода к моделям типа теплового взрыва. В результате рассматривается модель в виде системы уравнений первого порядка. Переход к уравнениям стационарного движения фронта позволяет выписать интеграл системы, связывающий скорость фронта с равновесной температурой. Эта связь дает устойчивый алгоритм вычисления мгновенной скорости фронта горения.

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 13-01-00019-а** "Новое поколение высокопроизводительных вычислительных моделей теплопереноса в литосфере, фильтрации жидкости и фильтрационного горения газа".

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

В 2014 г. получены следующие основные результаты:

- установлена устойчивость по начальным данным и по правой части некоторых потоковых схем расщепления;
- разработаны параллельные программы для трехмерных потоковых схем расщепления и осуществлена их кластерная реализация с использованием MPI процессов;
- разработана вычислительная модель фильтрации в трещиновато-пористых средах на основе двухпористой гомогенизации в рамках смешанной формулировки в виде системы уравнений первого порядка;
- сформулирована и численно реализована модель фильтрационного горения газа с использованием потока тепла в каркасе, потока газовой энтальпии и потока массы недостающего компонента как независимых искомым переменных.

**Проект РФФИ № 13-05-12051** "Разработка масштабируемого программного обеспечения, реализующего иерархию численных трехмерных моделей разномасштабных процессов подземной гидродинамики и геофизики. Создание технологии его применения для вычислительных систем сверхвысокой (вплоть до эксафлопсной) производительности в целях реконструкции тонкой структуры флюидонасыщенных сред, прогнозирования фильтрационно-емкостных свойств кавернозно-трещиновато-пористых коллекторов и оптимизации режима их разработки".

Руководители проекта: акад. Михайленко Б. Г., д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Ниже приведены научные результаты за 2014 г. только в той части проекта, которая выполнялась сотрудниками лаборатории.

В области разработки новых вычислительных моделей многофазной фильтрации в трещиновато-пористых средах и создания на этой основе масштабируемого программного обеспечения, ориентированного на высокопроизводительные вычислительные системы. Полностью завершена работа над анализом производительности вычислительной 3D модели фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости при наличии неоднородностей по пористости и проницаемости, описывающей процессы в трещиновато-пористых средах. Программная реализация и анализ модели осуществлены на кластере НКС-30Т Сибирского

суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН. Построена математическая модель двух-скоростной фильтрации двухфазной жидкости с учетом капиллярной диффузии (модель Маскета – Леверетта) для описания процессов вытеснения нефти водой в трещиновато-пористых средах. И, наконец, в 2014 г. разработана новая полностью балансная модель фильтрационного горения газа в терминах "субстанция – поток субстанции".

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

**Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Методы решения некоторых задач геологии (постколлизийной термохронологии и нефтегазовой геологии) на высокопроизводительных вычислительных системах".**

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

В рамках данного проекта в 2014 г. получены следующие основные результаты:

– проведено исследование разработанных ранее потоковых схем расщепления для векторных задач теплопереноса, в частности, получены результаты об устойчивости предлагаемых схем;

– построена вычислительная модель термохронологии трехмерной кривой коллизии с использованием высокопроизводительного кластера;

– разработана модель фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости в 2D и 3D трещиновато-пористых средах;

– построена новая вычислительная модель фильтрационного горения газа в виде системы уравнений первого порядка на основе введения в качестве искомым функций потока массы недостающего компонента, потока полной газовой энтальпии и потока тепла в пористом каркасе. Предложен устойчивый алгоритм вычисления мгновенной скорости фронта горения.

**Программа ОМН РАН № 1.3, проект 1.3.3, подпроект "Новое поколение параллельных алгоритмов для супер-ЭВМ на примере решения задач геологии и геофизики".**

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

В рамках данного проекта в 2014 г. получены следующие основные результаты:

– разработан универсальный подход к конструированию потоковых разностных схем расщепления, на основе которого предложены и исследованы новые потоковые схемы расщепления для двумерных и трехмерных задач теплопереноса;

– продолжена работа по созданию параллельного прямого алгоритма для решения больших систем линейных алгебраических уравнений с разреженными матрицами;

– разработаны новые программы итерационного решения больших разреженных систем линейных алгебраических уравнений, включая системы с несимметрическими матрицами, для высокопроизводительных кластеров;

– разработаны алгоритмы и программы фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости в 2D и 3D неоднородных пористых средах при наличии нагнетательных и эксплуатационных скважин.

**Интеграционный проект СО РАН № 76 "Структура и геодинамика коллизионных зон Азии по данным геолого-геофизических исследований и математического моделирования".**

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Ю.М. Лаевский

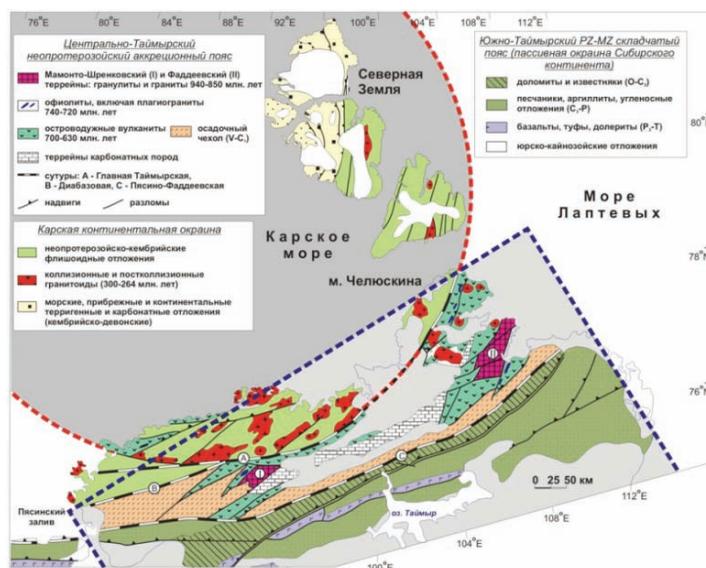


Рис. 1. Физическая карта региона

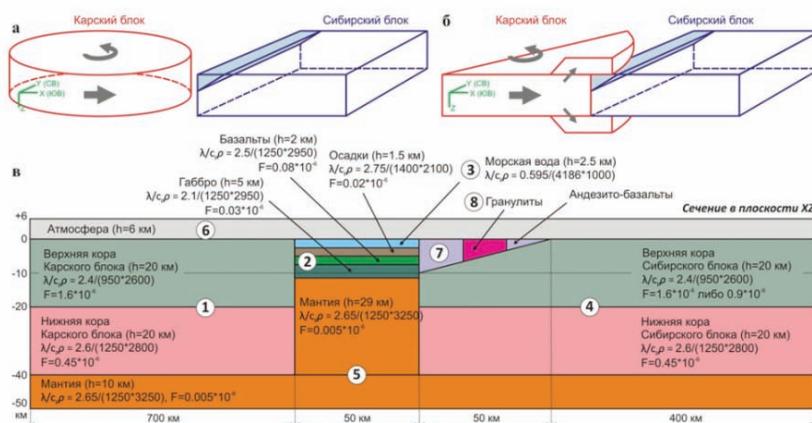


Рис. 2. Схематичное строение модели (вертикальный разрез) и заданная кинематика литосферных плит

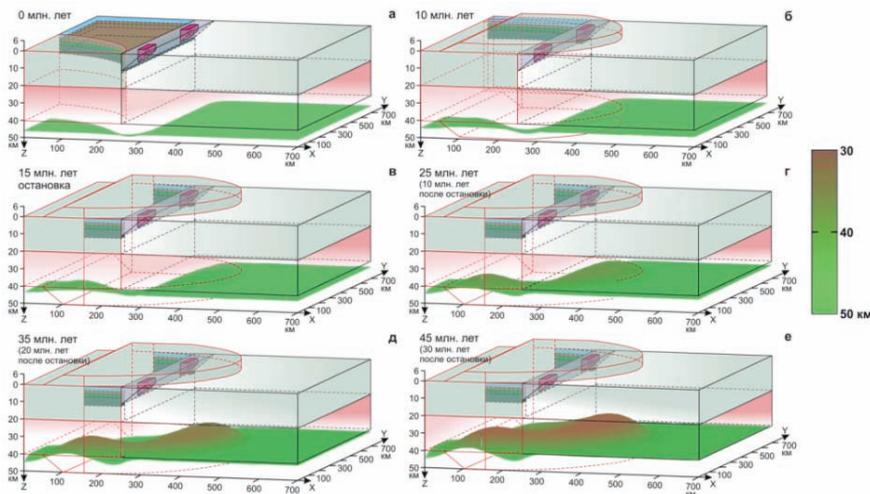


Рис. 3. Динамика изменения формы и глубины изоповерхности (650°C – температура выплавления гранитов)

Построена трехмерная вычислительная модель термохронологии коллизионного процесса основанная, во-первых, на описании косо́й коллизии, результатом которого является задание поля скоростей, во-вторых, на моделировании теплопереноса как процесса с учетом вынужденной конвекции. Математическая модель коллизии максимально упрощена и весьма условно соответствует реальным геологическим процессам, но при этом содержит главное – модель косо́й коллизии, влияние которой на тепловые процессы составляет основную цель исследования. Собственно описание косо́й коллизии задается явным образом в соответствии с геологическими представлениями о возможном движении.

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Воронин К. В. Численное исследование MPI/OpenMP реализации на основе асинхронной работы с потоками для трехмерной схемы расщепления в задачах теплопереноса // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 2. С. 41–49. (в базе РИНЦ).

2. Voronin K. V. A numerical study of an MPI/OpenMP implementation based on asynchronous threads for a three-dimensional splitting scheme in heat transfer problems // Appl. and Indust. Math. 2014. V. 8, iss. 3. P. 436–443. (в базе Scopus).

3. Кандрюкова Т. А., Лаевский Ю. М. О численном моделировании фильтрационного горения газов на многоядерных вычислительных системах // СибЖИМ. 2014. Т. 17, № 1. С. 55–64. (в базе РИНЦ).

4. Kandryukova T. A., Laevskii Yu. M. Simulating the filtration combustion of gases on multi-core computers // Appl. and Indust. Math. 2014. V. 8, iss. 2. P. 218–226. (в базе Scopus).

5. Бервено Е. В., Калинин А. А., Лаевский Ю. М. Фильтрация двухфазной жидкости в неоднородной среде на компьютерах с распределенной памятью // Вестн. ТГУ. Сер.: Математика и механика. 2014. № 4(30). С. 57–62. (в базе РИНЦ).

6. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Об одном подходе к построению потоковых схем расщепления в смешанном методе конечных элементов // Матем. моделир. 2014. Т. 26, № 12. С. 33–47. (в базе РИНЦ).

7. Смелов В. В. Сеточный вариант нестандартного тригонометрического базиса и его преимущества относительно аналогичного полиномиального базиса // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 4. С. 399–409. (в базе РИНЦ).

8. Smelov V. V. A grid version of a nonstandard trigonometric basis and its advantages over a similar polynomial basis // Num. Analysis and Appl. 2014. V. 7, N 4. P. 336–344. (в базе Scopus).

9. Смелов В. В. Об одномерных краевых задачах с разрывными коэффициентами и ориентированном на их решение специфическом сеточном базисе // Вестн. НГУ. Сер.: Математика, механика, информатика. 2014. Т. 14, № 3. (в базе РИНЦ).

10. Попов А. С. Кубатурные формулы на сфере, инвариантные относительно группы тетраэдра с инверсией // Сиб. электрон. матем. изв. 2014. Т. 11. С. 372–379. [Electron. resource]. <http://semr.math.nsc.ru> (в базе Scopus).

#### Материалы международных конференций и совещаний

1. Voronin K. V., Laevsky Y. M., Matushkin M. Y., Vernikovskaya A. E., Vernikovskiy V. A., Polyansky O. P. High-performance Computing in Thermochronological Modeling // Ext. abst. of 76th EAGE conference and exhibition, 2014, [Electron. resource]. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=76006>. (в базе Scopus).

**Прочие издания**

1. Голубева Л. А. Представления онтологии геометрических данных // Труды 19-й Байкал. Всерос. конф. "Информационные и математические технологии в науке и управлении". Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. Ч. 3. С. 125–131.

**Участие в конференциях и совещаниях**

1. 76th EAGE conference & exhibition "High-performance computing in thermochronological modeling", Amsterdam (Netherlands), June 16–19, 2014 – 1 доклад (Воронин К. В., Лаевский Ю. М.). [Electron. resource]. <http://www.eage.org/event/index.php?eventid=1000&evp=13775&ActiveMenu=&Opendivs=&act=det&prev=&ses=2535>.

2. The 6th conference on finite difference methods: theory and applications (FDM–2014), Lozenetz (Bulgaria), June 18–23, 2014 – 1 доклад (Воронин К. В., Лаевский Ю. М.). [Electron. resource]. <http://icm.krasn.ru/ftp/conferences/2014/72/Sixthconference2.pdf>.

3. Sparse days meeting 2014 at CERFACS, Toulouse (France), June 5–6, 2014 – 1 доклад (Kalinkin A. A.). [Electron. resource]. <http://www.cerfacs.fr/6-27149-Sparse-Days-2014.php>.

4. EAGE workshop on high performance computing for upstream, Grete (Greece), Sept. 7–10, 2014 – 1 доклад (Kalinkin A. A., Anders A. V., Anders R. V.). [Electron. resource]. <http://www.eage.org/events/index.php?eventid=&evp=13077&ActiveMenu=15&Opendivs=&act=det&prev=&ses=2776>.

5. 2nd Russian – French workshop "Computational geophysics", Berdsk, Sept. 22–25, 2014 – 3 доклада (Voronin K. V., Kalinkin A. A., Kandryukova T. A., Laevsky Yu. M.). [Electron. resource]. [http://cg2014.ipgg.sbras.ru/en/scientific\\_program](http://cg2014.ipgg.sbras.ru/en/scientific_program).

6. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июля 2014 г. – 4 доклада (Воронин К. В., Андерс А. В., Андерс Р. В., Калинин А. А., Лаевский Ю. М., Попов А. С.). [Electron. resource]. [http://conf.nsc.ru/amca14/amca14\\_status](http://conf.nsc.ru/amca14/amca14_status).

7. Всероссийская конференция "Информационные и математические технологии в науке и управлении", Иркутск – Байкал, 28 июня – 7 июля 2014 г. – 1 доклад (Голубева Л. А.). [Electron. resource]. [http://sei.irk.ru/sei34/arxiv14/inf\\_lett.htm](http://sei.irk.ru/sei34/arxiv14/inf_lett.htm).

8. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН – 2014, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г. – 4 доклада (Воронин К. В., Жукова М. В., Андерс А. В., Андерс Р. В.). <http://www.sccc.ru/news/cfpmu2014.pdf>.

**Участие в оргкомитетах конференций**

1. Лаевский Ю. М.:

– член программного комитета и сопредседатель оргкомитета "Second Russian-French Workshop "Computational Geophysics", Berdsk, Sept. 22–25, 2014;

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июля 2014 г.;

– член оргкомитета конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН – 2014, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г.

**Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 5.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 6.

- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 10.  
 Публикаций в материалах международных конференций – 1.  
 Публикаций в прочих изданиях – 1.  
 Докладов на конференциях – 16.  
 Участников оргкомитетов конференций – 3.

### Кадровый состав

- |                     |                      |           |
|---------------------|----------------------|-----------|
| 1. Лаевский Ю. М.   | зав. лаб,            | д.ф.-м.н. |
| 2. Смелов В. В.     | г.н.с.,              | д.ф.-м.н. |
| 3. Калинин А. 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. Кандрюкова Т. А. | м.н.с.               |           |
| 8. Сандер И. А.     | ведущ. прогр.        |           |
| 9. Юматова Л. А.    | программист 1-й кат. |           |
| 10. Воронин К. В.   | инженер.             |           |
- Калинкин А. А., Кандрюкова Т. А. – молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

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

### Руководство аспирантами

- |                  |  |
|------------------|--|
| Андерс А. В.     | – 1-й год, НГУ, руководитель Калинин А. А.     |
| Андерс Р. В.     | – 1-й год, НГУ, руководитель Калинин А. А.     |
| Зарукин Д.       | – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Лаевский Ю. М. |
| Рябова М. А.     | – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Калинин А. А.  |
| Воронин К. В.    | – 3-й год, НГУ, руководитель Лаевский Ю. М.    |
| Кандрюкова Т. А. | – 4-й год, ИВМиМГ, руководитель Лаевский Ю. М. |

### Руководство студентами

- |              |  |
|--------------|--|
| Анисимова А. | – бакалавр, 4-й курс, НГУ, руководитель Лаевский Ю. М. |
| Мухин А.     | – бакалавр, 4-й курс, НГУ, руководитель Калинин А. А.  |
| Чухно В.     | – магистрант, 1-й год, НГУ, руководитель Калинин А. А. |
| Жукова М.    | – магистрант, 2-й год, НГУ, руководитель Калинин А. А. |
| Фоменко Э.   | – магистрант, 2-й год, НГУ, руководитель Калинин А. А. |

## Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере

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

### Важнейшие достижения

#### Некоторые особенности общей циркуляции атмосферы в условиях глобальных изменений климата.

Проведено исследование реакции тропосферы на усиление стратосферного полярного вихря. Показана роль главной моды североатлантической осцилляции в процессах взаимодействия тропосферы и стратосферы. Изменение температурной стратификации при усилении выхолаживания в стратосфере оказывает заметное влияние только в верхней тропосфере, где стратификация определяется радиационными процессами. В нижних слоях тропосферы значительный вклад в стратификацию вносят потоки тепла бароклинных нестационарных вихрей. Уменьшение градиента приземной температуры в результате потепления климата влечет за собой ослабление зональной циркуляции Гадлея. Широта границы ячейки Гадлея представляет собой начало среднеширотной бароклинной зоны, где формируются шторм-треки, передающие в средних широтах потоки явного тепла к полюсу. На рис. 1 представлены результаты расчетов потоков тепла в доиндустриальный, индустриальный (потепление) и в период сокращения  $\text{CO}_2$ .

Д.ф.-м.н. Крупчатников В. Н., к.ф.-м.н. Мартынова Ю. В., к.ф.-м.н. Боровко И. В.

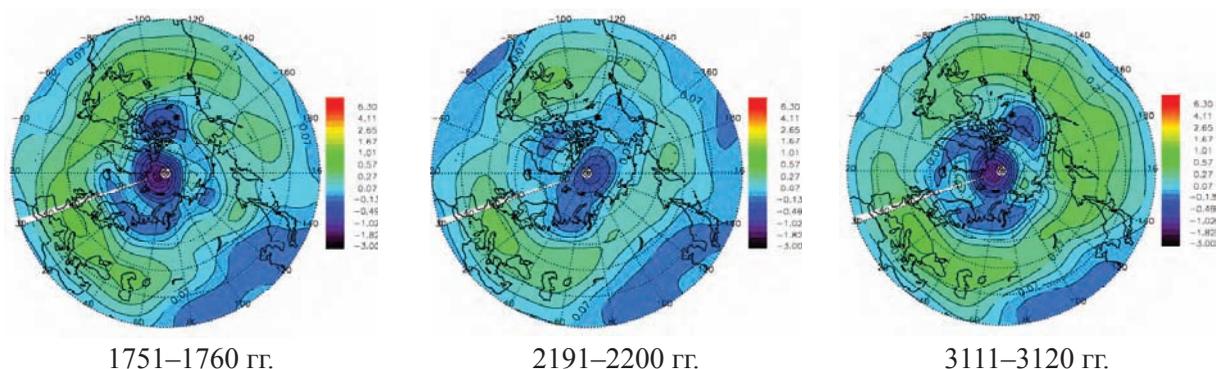


Рис. 1. Декабрь – февраль: направленный к полюсу поток явного тепла ( $v'T$ ) на 700 mb

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР I.3.1.2 "Решение задач физики атмосферы, гидросферы и окружающей среды методами математического моделирования".**

Номер государственной регистрации НИР 0120137022.

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Проведено исследование изменчивости траектории движения тихоокеанских вод в Северном Ледовитом океане (СЛО) в численных экспериментах на основе региональной

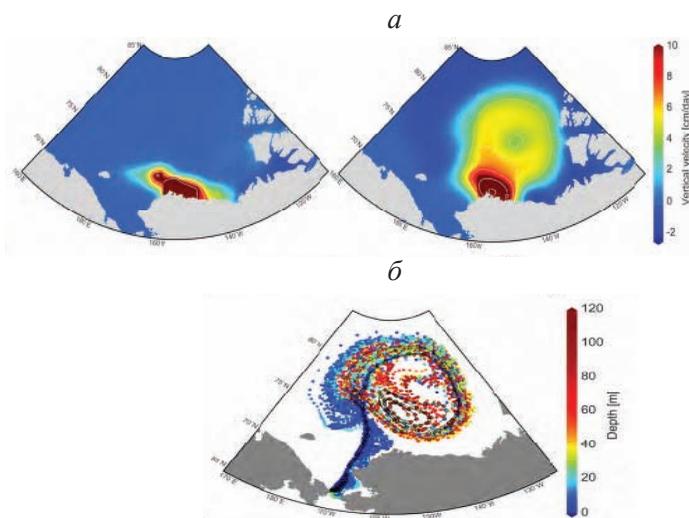


Рис. 2. Результат модельного эксперимента (после 48 месяцев) по распространению трассеров из Берингова пролива: *а* – вертикальная скорость (см/сут) при отсутствии ветра (слева) и для идеализированного антициклонического поля ветра (справа); *б* – траектория частиц для идеализированного антициклонического поля ветра

модели СЛО и Северной Атлантики с использованием данных атмосферного реанализа. Проанализированы физические механизмы, определяющих траекторию распространения вод в Канадском бассейне на основе тестовых экспериментов с океанической моделью и сравнения с данными наблюдений.

На основе анализа данных показано, что свойства летних водных масс Чукотского шельфа влияют на термохалинные свойства слоя тихоокеанских вод в центральной части Канадского бассейна. Это происходит в результате погружения вод и определяется наклоном и выклиниванием изопикн в Чукотском море.

На основе океанической модели ИВМиМГ СО РАН проведены идеализированные численные эксперименты, подтвердившие важность механизма Экмановской конвергенции для вентиляции халоклина. Траектория тихоокеанских вод, поступающих в СЛО через Берингов пролив, оценивалась на основе анализа перемещений частиц трассера в ячейках модельной сетки (рис. 2). Горизонтальные градиенты соленности интенсифицируются во фронтальной зоне за счет конвергенции пресных поверхностных вод в центральной части циркуляции моря Бофорта, а осолонение поверхностных вод Чукотского моря вызвано апвеллингом у побережья. Даунвеллинг усилен во фронтальной зоне, что способствует переносу вод вдоль изопикн в центральную часть бассейна.

Проведена серия экспериментов с совместной моделью океана и льда Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики по исследованию чувствительности модели к параметризациям потока длинноволновой и коротковолновой радиации и реологии морского льда. Проведена оценка тенденций, возникающих при долгопериодном моделировании (более 50 лет) при реализации модели с тем или иным набором указанных параметризаций.

Проведен анализ данных расчетов атмосферных характеристик по проекту CMIP-5 программы IPCC (МГЭИК) по моделям CNRM (Meteo France) и ИВМ РАН. На основе этих данных проведены расчеты стока сибирских рек в XXI веке (рис. 3). Из данных расчетов следует, что за указанный период наблюдается устойчивый положительный тренд для двух моделей. Для модели CNRM тренд более выражен, это связано с особенностями циркуляции, осадков и испарения в каждой модели.

Продолжена работа с численной моделью сложно разветвленного устья р. Лена. В результате исследования получены долевые пропорции перераспределения полного расхода по протокам, согласующиеся с широко известными оценками расходов.

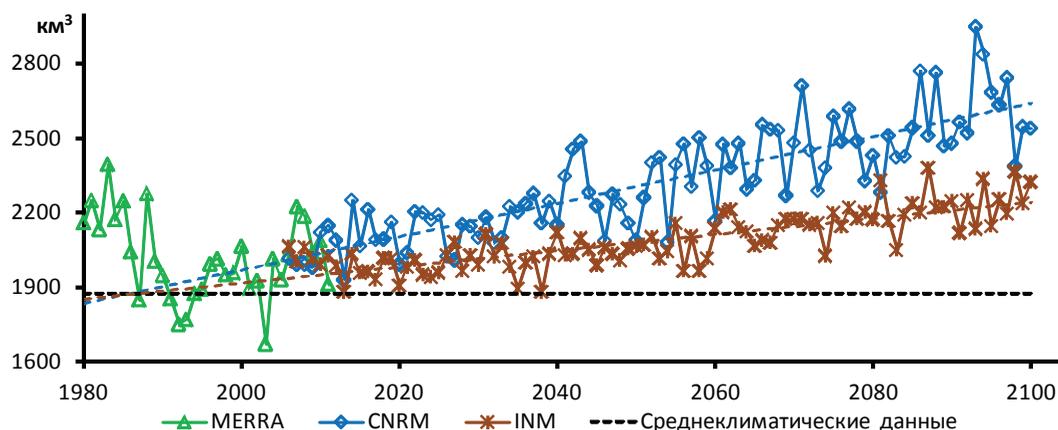


Рис. 3. Межгодовая изменчивость стока сибирских рек в бассейн СЛО в XXI в.

Проведен численный анализ данных сопряженных исследований многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова в ряде крупных городов юга Западной Сибири. В рамках линейного корреляционного анализа установлены количественные связи между концентрациями ряда компонентов примеси в снежном покрове и их газовыми и аэрозольными предшественниками в атмосфере городов, включая взвешенные вещества, сажу, бенз(а)пирен, оксиды азота и серы.

На основе решения уравнения переноса тяжелой неоднородной примеси в атмосфере разработана модель реконструкции поля поверхностной концентрации примеси по данным наблюдений. Для расчета поля ветра использована гидродинамическая модель, основанная на решении уравнений пограничного слоя атмосферы. Показана необходимость учета сведений о повторяемости направлений ветра во всем слое распространения примеси. Из проведенных исследований для Барнаула (рис. 4) следует вывод, что в зимний период доминирующий вынос бенз(а)пирена происходит в сторону города, что указывает на неудачное размещение промплощадки ТЭЦ-3, что в итоге приводит к заметному дополнительному загрязнению атмосферы Барнаула.

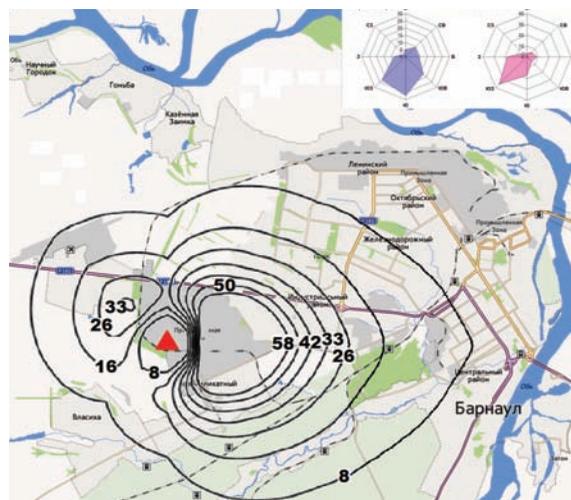


Рис. 4. Восстановленное поле концентрации бенз(а)пирена (нг/кг) в снеге за зимний сезон 2009/10 гг. Красным треугольником указано положение высотной трубы

### Результаты работ по проектам РФФИ

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

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Проведен анализ гидрологических характеристик атмосферы во второй половине XX в. на основе данных реанализов ERA40 и MERRA для верификации модели речного стока по данным наблюдений на гидропостах для сибирских рек. На основе модели речного стока

ИВМиМГ СО РАН получены зависимости стоков рек от индексов Северо-Атлантической осцилляции и Арктической осцилляции. Одно значение индексов соответствует увеличению речного стока и накоплению пресной воды в Арктическом бассейне, а противоположное значение приводит к уменьшению стока и сбросу пресных вод в Атлантику. Проведено исследование распространения распресненных тихоокеанских вод в СЛО. Включение антициклонического поля ветра приводит к интенсификации поверхностного фронта, сформированного поступающими тихоокеанскими водами. Горизонтальные градиенты солености интенсифицируются во фронтальной зоне за счет конвергенции пресных поверхностных вод в центральной части циркуляции моря Бофорта, а осолонение поверхностных вод Чукотского моря вызвано апвеллингом у побережья. Даунвеллинг усилен во фронтальной зоне, что способствует переносу вод вдоль изопикн в центральную часть бассейна. Антициклоническое распределение ветра приводит к увеличению угла наклона изопикн и заглублению перемешанного слоя на обеих сторонах фронта.

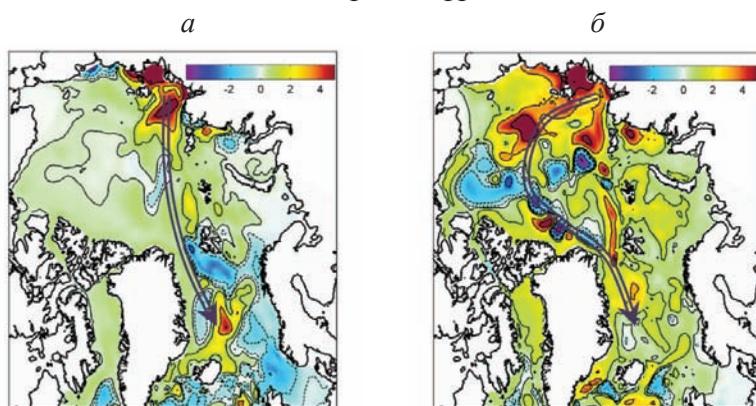


Рис. 5. Картина распространения аномалий пресной воды: *а* – в период положительного значения NAO (АО) – 2027 г.; *б* – в период отрицательного значения NAO (АО) – 2073 г., согласно прогнозу модели ИВМ РАН на период 2006–2100 гг. по сценарию RCP 8.5

На основе полученных стоков рек для XXI в. проведен ряд экспериментов, выявляющих тенденции будущих изменений в структуре вод и течений Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики. Выявлены характерные особенности формирования запаса пресных вод в Северном Ледовитом океане в текущем столетии, а также пути распространения аномалий пресных вод речного стока. Наиболее сильно проявляется зависимость этих процессов от характера общей атмосферной

циркуляции в северной части Атлантики и в Арктике, выраженной в виде индексов Северо-Атлантической осцилляции (NAO) и Арктической осцилляции (АО). В соответствии с этим выявлена двухмодальность распространения аномалий пресных вод стока сибирских рек, соответствующая фазам положительных и отрицательных значений индексов (рис. 5).

**Проект РФФИ № 13-05-00480** "Исследование динамики шторм-треков и меридионального переноса тепла и влаги в Северном полушарии в условиях изменяющегося климата с помощью моделей климатической системы".

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

На основе результатов численного моделирования динамики климата с использованием идеализированной модели климатической системы показано, что тенденция к смещению шторм-треков Северного полушария в условиях потепления климата (по сценарию RCP-8.5) к полюсам будет продолжаться. Изменение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере оказывает влияние на поведение шторм-треков и связанных с ними струйных течений. В целом области максимальной активности шторм-треков и соответствующий зональный поток (в нижней тропосфере) смещаются в меридиональном направлении к полюсу одновременно с увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере и происходит обратный сдвиг при дальнейшем уменьшении концентрации  $\text{CO}_2$ . При переходе на режим доиндустриального климата

активность шторм треков, их пространственное распределение восстанавливаются не полностью, особенно при "быстром" переходе на режим современного климата. Это же можно сказать и о распределении потоков тепла и влаги. Можно говорить о необратимости процесса перехода к современному климату и в динамике среднезональных полей температуры и скорости ветра. Качественное объяснение такого поведения в результате перехода к доиндустриальному климату состоит в том, что при "быстром" переходе, со 100-летним временем релаксации, остаются гораздо медленнее развивающиеся компоненты климатической системы (например, биосфера, морской лед). Этот процесс невозможно удалить из системы только с помощью радиационного форсинга, и влияние этой медленной компоненты остается по мере перехода к доиндустриальному значению радиационного форсинга.

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

**Программа ОМН РАН № 1.3, проект 1.3.3, подпроект "Комплексные математические модели климата Сибирского региона".**

Руководитель: д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Выполнена модификация региональной модели СЛО на основе подключения различных версий параметризации процесса вертикального перемешивания вод. Проведены численные эксперименты, направленные на исследование чувствительности численной модели СЛО к параметризации процессов, протекающих в верхнем слое океана. Исследование проводилось на основе сравнения результатов 60-летнего расчета пространственно-временной изменчивости гидрологических полей СЛО для четырех версий модели верхнего квазигорного слоя.

Проанализированы результаты численных экспериментов с тремя вариантами диффузии, воспроизводящих циркуляцию вод и морского льда в период с 1948 по 2011 гг. с использованием данных реанализа атмосферы.

Выявлено, что использование различных параметризаций диффузии в численной модели влияет на интенсивность притока воды в Арктику. Это, в свою очередь, приводит к различиям в распределении температуры и солености в Северном Ледовитом океане, а следовательно, к различиям в траектории потока.

Проведены численные эксперименты по исследованию чувствительности региональной модели Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана к параметризациям подсеточных процессов. В модели использованы три варианта параметризации диффузионных процессов: горизонтальная/вертикальная диффузия (LAT), изопикническая диффузия (ISO), вихревое перемешивание Гента – Маккуильямса (GM).

В рамках развития компонентов климатической системы продолжена разработка версии численной модели циркуляции океана с учетом уровенной поверхности. Реализован расчет уровенной поверхности через баротропные скорости с использованием неявного подхода. Включены граничные условия (реки) в алгоритм расчета уровенной поверхности. Записаны уравнения вычисления уровня и скоростей для границ, согласующиеся с условием сохранения массы. Метод апробирован на тестовой версии региональной модели Северного Ледовитого океана (рис. 6).

Выполнено исследование влияния вод р. Лена на распространение гидрофизических характеристик на шельфе моря Лаптевых в летний период. Получены значимые сигналы в полях температуры и солености в районе дельты. Значения температуры достигают от 5–15 °, значения солености в этом районе падают до значений 10–25 промилле (рис. 7).

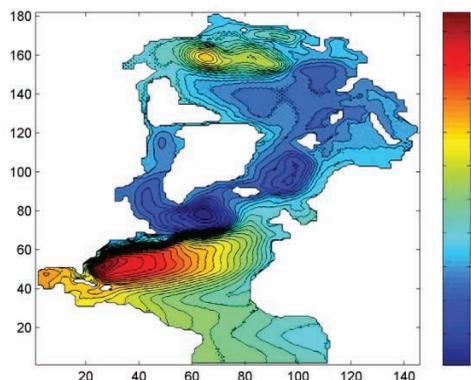


Рис. 6. Уровневая поверхность (см) полученная в результате работы тестовой версии модели Северного Ледовитого океана после 15 расчетных лет

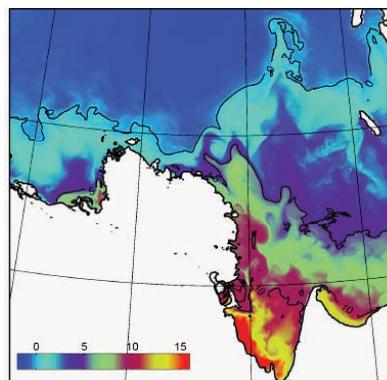


Рис. 7. Влияние речного стока на температурный режим из дельты р. Лена (лето 2008 г.).

Продолжена разработка теоретического обоснования численных схем, построенных с применением неконформных конечных элементов для решения уравнения диффузии-адвекции и двумерного нелинейного уравнения вихря.

Для прямоугольного водного бассейна с плоским дном проведены ряд расчетов для тестовых функций с соответствующей вычисляемой правой частью. Полученные в результате решения исследованы с помощью метода естественных ортогональных функций с оценкой спектра кинетической энергии.

Проводилась работа по объединению z-уровневой системы координат и системы спрямления дна ( $\sigma$ -системы) в шельфовой зоне модели Северного Ледовитого океана.

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Для оценки масштабов эмиссии метана в атмосферу на шельфе Арктики на основе транспортной модели проведены сценарные расчеты в предположении наличия диффузионных потоков метана из донных отложений с учетом оттаивания подводных мерзлых пород. По результатам численных экспериментов рост температуры придонных вод приводит к незначительному оттаиванию донных мерзлых отложений и существованию несквозных таликов глубиной до 25 м. Численные эксперименты по поступлению растворенного метана в воды шельфовой зоны Арктики из донных источников, обусловленных процессами таяния мерзлых пород, показали, что причиной скопления растворенного метана может быть как система течений данного региона, так и локализация источников непосредственно в этой части шельфа. Особенности пространственного распределения аномальных концентраций растворенного метана в этом районе могут быть объяснены также разгрузкой  $\text{CH}_4$  из донных отложений в местах образования таликов. При этом суммарный поток метана в атмосферу может составить порядка 40 кт за период открытой воды.

Проведены численные эксперименты по исследованию чувствительности региональной модели Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана к параметризациям подсеточных процессов. В модели использованы три варианта параметризации диффузионных процессов: горизонтальная/вертикальная и изопикническая диффузия, вихревое перемешивание Гента – Маккуильямса.

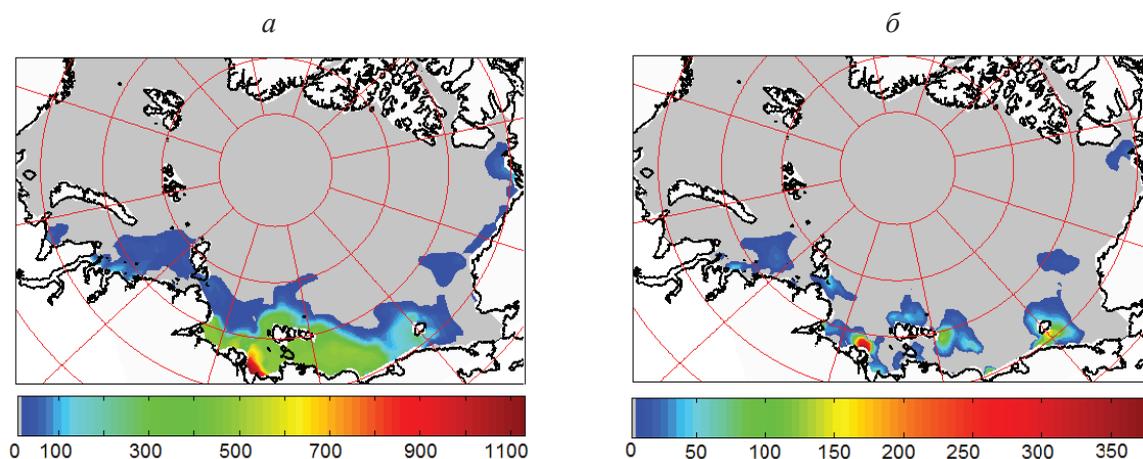


Рис. 8. Результаты численного моделирования.  
Распределение растворенного метана (нмоль/л) в воде в сентябре 2012 г:  
*a* – на глубине 20 м; *б* – в поверхностном слое воды

Выполнены численные эксперименты с климатической моделью речного стока с разрешением  $1/3$  градуса. Построены "графы" бассейнов стока северных рек. Результаты, полученные из данных реанализа ERA40 и данных реанализа MERRA, позволили моделировать сток Сибирских рек в Северный Ледовитый океан и оценить отличия в притоке пресной воды в бассейн.

Проведен ряд экспериментов по выявлению тенденций будущих изменений в структуре вод и течений Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики на основе данных сценарных расчетов, полученных в ходе реализации международного проекта CMIP-5 по моделям CNRM (Метео Франс) и INM (Институт вычислительной математики РАН).

**Программа Президиума СО РАН № 4, проект 4.9.3, подпроект "Развитие моделей и методов оптимального мониторинга загрязнения территорий Сибири в зонах катастрофического действия природных и техногенных площадных источников".**

Руководитель – д.ф.-м.н. Рапута В. Ф.

Рассмотрены задачи восстановления полей загрязнения снежного покрова от пылящих точечных, линейных и площадных источников по данным наземных и спутниковых наблюдений. Для описания динамики распространения полидисперсных примесей в приземном и пограничном слоях атмосферы от этих типов источников использованы соответствующие асимптотики решений полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии. Предложены алгоритмы численного построения оптимальных планов наземных измерений. С использованием моделей реконструкции разработаны методы совместного анализа характерных изображений ореолов загрязнения снежного покрова в окрестностях источников пыли и данных контактных наблюдений.

Апробация предложенных моделей оценивания проведена на данных натурных исследований пылевого загрязнения снежного покрова атмосферными выбросами Новосибирского электродного и Искитимского цементного заводов. На основе численного анализа данных наземного мониторинга и спутниковых снимков этих территорий выявлены устойчивые количественные закономерности между полями выпадения пыли и интенсивностью изменения тонов серого цвета по радиальным относительно основных источников направлениям. Установлено, что для точечных источников функциональная связь между этими полями в наилучшей степени описывается степенной зависимостью, для площадных – линейной

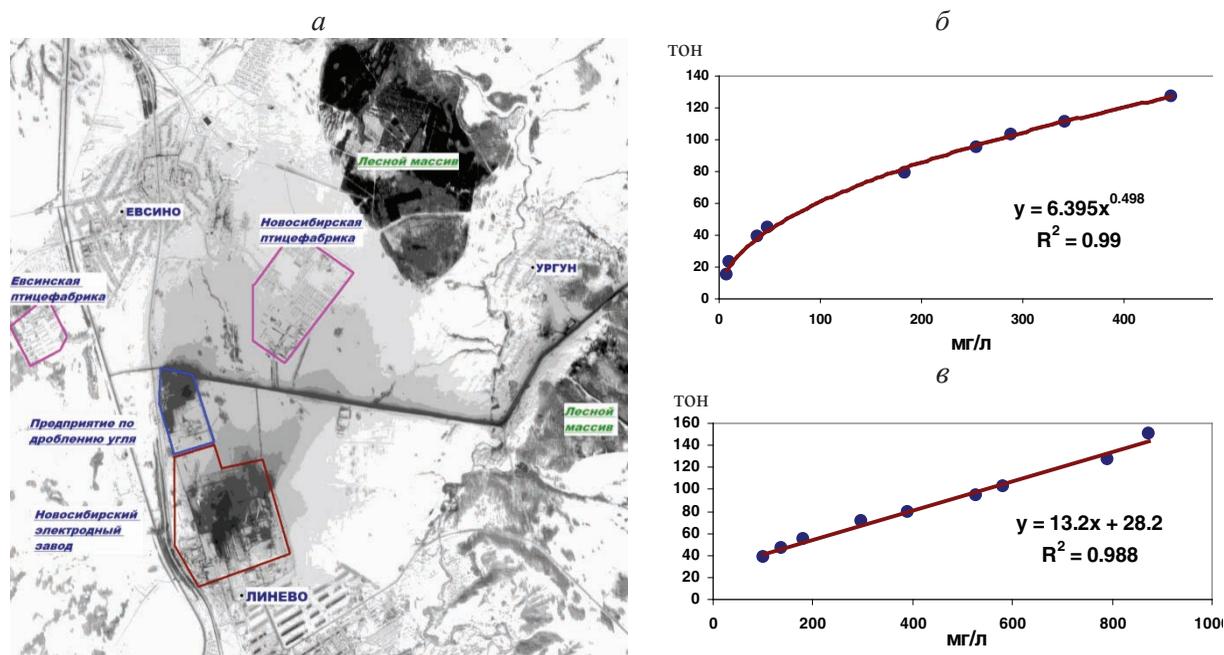


Рис. 9. Оцифрованное по спутниковому снимку от 2 марта 2011 г. в тонах серого цвета поле выпадений пыли в окрестностях Новосибирского электродного завода (НЭЗ) (а).

Функциональная связь в северо-восточном направлении между интенсивностью изменения тонов серого цвета и полями выпадения пыли от высотных труб обжигового цеха НЭЗ (б) и от площадного источника – предприятия по дроблению угля (в)

(рис. 9). Для полей выпадений пыли регионального масштаба характерна логарифмическая связь (рис. 10).

Результаты проведенных исследований позволяют существенно оптимизировать выполнение наземного мониторинга загрязнения окрестностей промышленных предприятий в зимний период. С использованием данных спутниковых наблюдений и сравнительно небольшого числа точек отбора проб снега показана возможность восстановления полей многокомпонентного загрязнения территорий и оценивания суммарного выброса примесей.

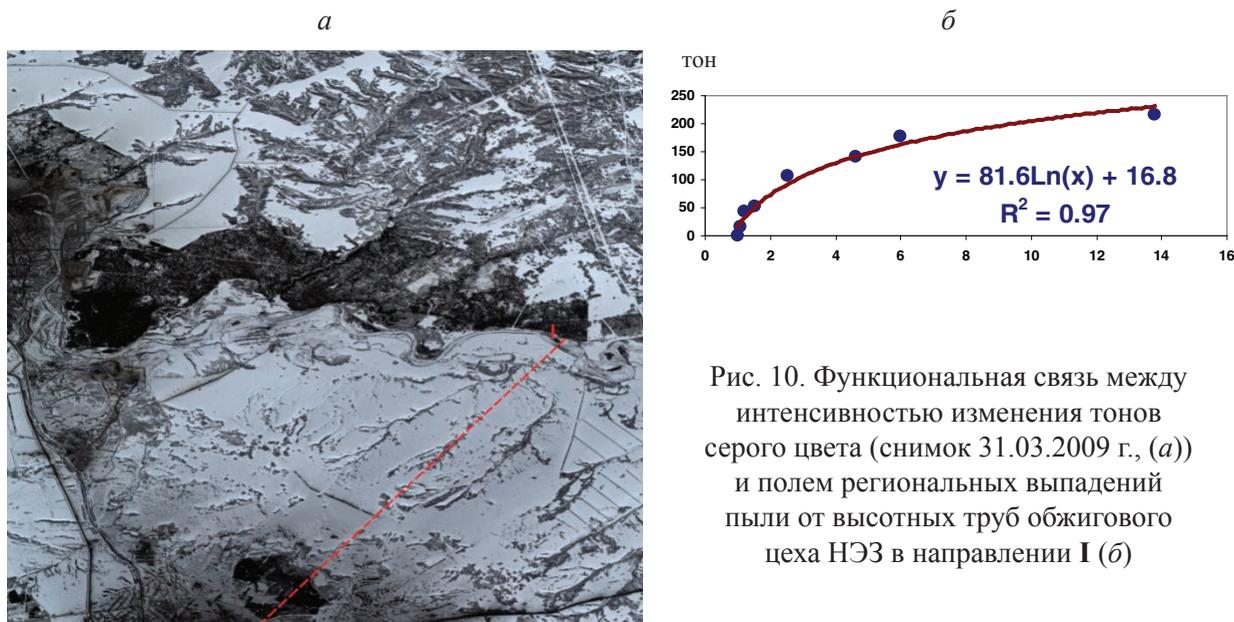


Рис. 10. Функциональная связь между интенсивностью изменения тонов серого цвета (снимок 31.03.2009 г., (а)) и полями региональных выпадений пыли от высотных труб обжигового цеха НЭЗ в направлении I (б)

## Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 69.

### Раздел 2.3. "Исследование гидрологических характеристик Западной Сибири на основе комплекса численных моделей высокого разрешения"

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

В рамках работ по проекту для верификации модели речного стока использовались данные реанализов ECMWF/ERA40 и GMAO/MERRA для Обь-Иртышского бассейна Западной Сибири. Контрольные данные о стоках рек взяты из результатов измерений на гидрологической станции Обь-Салехард. В результате расчетов по проекту получено хорошее совпадение годовых среднеклиматических стоков и годовых гидрографов для указанного бассейна. Проведен анализ данных по изменению климатических и гидрологических характеристик бассейна р. Обь на основе расчетов по модели CNRM/Франция проекта CMIP5 и ИВМ РАН сценария RCP 8.5 программы IPCC за период 2006–2100 гг. На их базе проведены численные расчеты по моделированию возможной межгодовой изменчивости стока реки в XXI в.

Для контроля использовались данные о стоках на гидропостах рек Иртыш и Обь. Для оценки правильности работы модели по русловому распределению стока проведено сравнение данных расчетов с данными на гидропостах промежуточных створов: Тюмень, Шадринск, Сергеевка, Тобольск, Барнаул, Камень-на-Оби, Новосибирск и Белогорье. Введение параметра зарегулированности стока в точках расположения ГЭС и водохранилищ на реке Иртыш показало достаточно хорошее совпадение с данными на этих гидропостах.

Среднеклиматический годовой гидрограф для данных реанализов по амплитуде и фазе наступления весеннего паводка совпадает с данными гидрографа на створе Обь-Салехард. Разница в максимальной амплитуде для XX в. составляет для ERA40 -0,03 %, для MERRA – -0,5 %, для годового стока ERA40 +0,09 %, MERRA – +8,2 %. Разница в максимальной амплитуде для XXI в. составляет для CNRM -0,25 %, для INM – 8,1 %, для годового стока CNRM – +4,3 %, INM – -14,6 %.

## Партнерский интеграционный проект СО РАН № 109.

Руководитель – д.ф.-м.н. Голубева Е. Н.

Разработан комплекс численных моделей, предназначенный для исследования гидрологических и биохимических процессов, протекающих в районе Восточно-Сибирского шельфа, и исследования их изменчивости при вариации глобальных климатических параметров. Комплекс включает: а) взаимодействующие региональные модели Северного Ледовитого океана (сеточное разрешение 10–25 км), шельфовой зоны океана (разрешение 3–4 км), окрестностей дельты р. Лены (разрешение до 400 м); б) модель речного стока на основе линейной резервуарной модели и гидродинамическая модель дельты р. Лены; в) модель осадочного слоя с многолетней мерзлотой; г) модуль усвоения данных контактных и спутниковых наблюдений.

На основе разработанного комплекса численных моделей с привлечением атмосферного форсинга современного реанализа NCEP/NCAR, CORE-II, MERRA и ERA40 и сценариев CMIP5 проведен анализ современных и прогнозируемых климатических изменений в

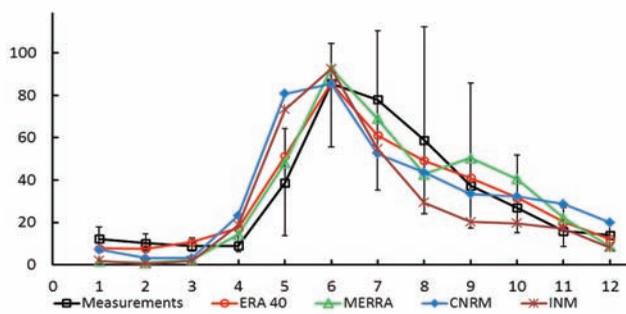


Рис. 11. Годовой гидрограф стока реки Обь (км³)

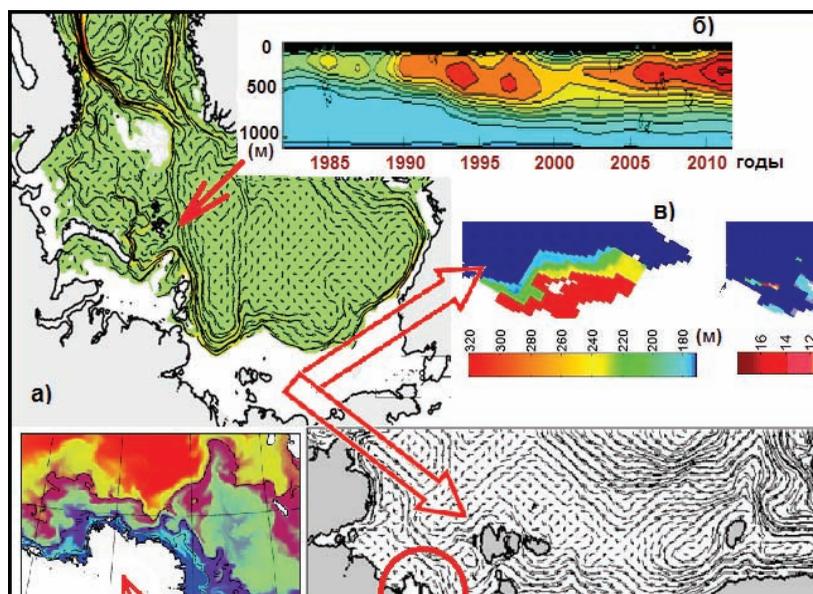


Рис. 12. Некоторые результаты исследований, проведенных на основе комплекса моделей: *а* – поле течений СЛО на глубине 200 м; явно выражен поток атлантических вод, следующий вдоль материкового склона и хребта Ломоносова; *б* – повышение температуры атлантических вод, поступающих в СЛО; пространственное положение области исследования указано стрелкой; *в* – глубина залегания нижней границы мерзлого грунта на ВСШ (м); *г* – глубина оттаивания подводной мерзлоты сверху (м); *д* – поле течений в поверхностном слое ВСШ; *е* – распространение пресных вод р. Лены в море Лаптевых в августе 2008 г.

Северном Ледовитом океане с уточнением процессов в системе вод суши и морей Восточно-Сибирского сектора Арктики.

Получена картина сезонной и межгодовой изменчивости гидрологических характеристик водных масс в СЛО и шельфовых районах, обусловленная изменчивостью поступающих в регион потоков тихоокеанских и атлантических вод и вариациями атмосферной динамики.

В численных экспериментах выявлено влияние речного стока на термохалинную структуру вод СЛО. Получена картина распространения аномалии солености, обусловленной стоком пресных вод сибирских рек. Проведено исследование переноса и трансформации потоков тепла в дельте Лены с описанием взаимодействия с водами моря Лаптевых. Проведена оценка потока тепла и пресных вод из дельты р. Лены в шельфовую зону моря Лаптевых и проанализирована изменчивость шельфовой динамики, формирующейся под их влиянием.

Предложен и использован новый подход к усвоению данных контактных и спутниковых наблюдений, основанный на использовании алгоритма ансамблевого фильтра Калмана. Показана эффективность предложенного алгоритма при исследовании гидрологических процессов в регионе моря Лаптевых.

Проведено математическое моделирование динамики толщи субаквальных мерзлых пород и зоны стабильности гидратов метана в осадочном слое Восточно-Сибирского шельфа (ВСШ). Получены оценки глубины залегания подошвы криолитозоны на шельфе на основе численного эксперимента с использованием палеогеографического сценария природы эволюции шельфа с учетом трангрессивно-регрессивных циклов на протяжении 120 тыс. лет. На основе сценарных расчетов проведены оценки масштабов возможной эмиссии метана в атмосферу на шельфе морей восточной Арктики в предположении наличия диффузионно-

го транспорта газа из донных отложений, увеличения метаногенеза в областях несквозных таликов с учетом глубины оттаивания, полученной при моделировании субквальной мерзлоты и характеристик морского льда (рис. 12).

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Климова Е. Г., Платов Г. А., Киранова Н. В. Разработка системы усвоения данных об окружающей среде на основе ансамблевого фильтра Калмана // Выч. технол. 2014. Т. 19, № 3. С. 27–37. (в базе РИНЦ)

2. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Математическое моделирование стока основных рек Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2014. Т. 27, № 6. С. 525–529. (в базе РИНЦ)

3. Мартынова Ю. В., Зарипов Р. Б., Крупчатников В. Н., Петров А. П. Оценка качества прогноза динамики атмосферы в Сибирском регионе мезомасштабной моделью WRF-ARW // Метеорол. и гидрол. 2014. № 7. С. 14–26.

(в базе РИНЦ; перевод в базах Scopus, Web of Science)

4. Рапуга В. Ф., Шлычков В. А., Леженин А. А., Романов А. Н., Ярославцева Т. В. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника // Оптика атмосфер. и океана. 2014. Т. 27. № 8. С. 713–718. (в базе РИНЦ)

5. Шлычков В. А., Крылова А. И. Численная модель плотностных течений в устьевых областях сибирских рек // СибЖВМ. 2014. Т. 17. № 3. С. 255–261.

(в базе РИНЦ; перевод в базе Scopus)

#### Зарубежные издания

1. Kuzin V. I., Lapteva N. A. Modeling of the river discharge from the Lena river basin // Proc. SPIE 9292, 20th Intern. symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric Physics, 929246, Bellingham (USA), Nov. 25, 2014. DOI: 10.1117/12.2075163.

(в базах Web of Science, Scopus)

2. Lezhenin A. A.; Rapuga V. F., Shlychkov V. A. Simulation of aerosol substance transfer in the atmospheric boundary layer // Proc. SPIE 9292, 20th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric Physics, Bellingham (USA), Nov. 25, 2014. Article CID N 57. DOI:10.1117/12.2075168

(в базах Web of Science, Scopus)

3. Malakhova V. V., Golubeva E. N. Modeling of the dynamics subsea permafrost in the East Siberian Arctic Shelf under the past and the future climate changes // Proc. SPIE 9292, 20th Intern. symp. on atmospheric and ocean optics: Atmospheric Physics, Bellingham (USA), Nov. 25, 2014. DOI: 10.1117/12.2075137

(в базах Web of Science, Scopus)

4. Timmermans M.-L., Proshutinsky A., Golubeva E., Jackson J. M., Krishfield R., McCall M., Platov G., Toole J., Williams W. Mechanisms of Pacific Summer Water variability in the Arctic's central Canada Basin // JGR, Accepted manuscript online: Oct. 20, 2014. DOI: 10.1002/2014JC010273

(в базах Web of Science, Scopus)

#### Материалы международных конференций и совещаний

1. Golubeva E. Some thoughts on the task of analyzing the role of sea ice biogeochemistry in climate simulations // 2014 Annual Report to SCOR Minutes SCOR-WG 140 (BEPSII) Meeting, Hobart (Australia), March 16-th, 2014. [Electron. resource]. [http://www.scor-int.org/Working\\_Groups/wg140.htm](http://www.scor-int.org/Working_Groups/wg140.htm).

2. Iakshina D., Golubeva E. Sensitivity studies of the Arctic-North Atlantic ice-ocean coupled model to the mixed layer parameterization // Abst. Geophysical Research. Vol. 16, EGU2014-635-1, 2014.

3. Krupchatnikov V., Martynova Yu., Borovko I. General circulation of the atmosphere and climate changes // Материалы Междунар. конф. "ENVIROMIS-2014", Томск, 28 июня – 5 июля 2014 г. SCERT, 2014. ISBN 978-5-89702-362-2. С. 49–50.

4. Martynova Y. Krupchatnikov V. Transient hysteresis of storm tracks response to anthropogenic forcing variation // European Geosciences Union General Assembly, Vienna (Austria), April 27 – May 3, 2014. Geophys. Res. Abst. Vol. 16, EGU2014-3431, 2014.

5. Девятова А. Ю., Рапуга В. Ф. Исследование многолетнего накопления химических элементов древесными мхами в зонах интенсивного влияния ТЭЦ // Материалы Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014; 10-го Междунар. науч. конгр.; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Т. 1. Новосибирск: СГГА, 2014. С. 175–180.

(в базе РИНЦ)

6. Голубева Е. Н., Климова Е. Г., Кузин В. И., Малахова В. В., Платов Г. А., Шлычков В. А. Комплексное моделирование гидродинамики Восточно-Сибирского шельфа Арктики // Zbornik radova konferencije MIT 2013, Beograd, 2014. P. 216–223.

7. Голубева Е. Н., Платов Г. А., Якшина Д. Ф. Исследование изменчивости состояния Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования // Материалы Междунар. конф. ENVIROMIS-2014, Томск, 28 июня – 5 июля 2014 г. SCERT, 2014. ISBN 978-5-89702-362-2. С. 53–55.

8. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Моделирование стока для дельты реки Лена // Труды Междунар. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 2014. Новосибирск: СГГА. Т. 1. С. 131–135.

(в базе РИНЦ)

9. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Моделирование климатического стока из бассейна реки Лена // Материалы 20-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". [Электрон. ресурс]. Томск: ИОА СО РАН, 2014. 1-й CD-ROM. С. D5–D8.

10. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Моделирование климатического речного стока для Сибирского региона в XX–XXI веках // Материалы Междунар. конф. "ENVIROMIS-2014", Томск. 28 июня – 5 июля 2014 г. С. 51–53.

11. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Моделирование речного стока для Обь-Иртышского бассейна // Труды 2-й Всерос. науч. конф. с международным участием "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии", Барнаул, 25–29 авг. 2014 г. Т. 1. С. 54–60.

12. Леженин А. А., Рапуга В. Ф., Шлычков В. А., Романов А. Н., Ярославцева Т. В. Мониторинг и оценка загрязнения снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-3 г. Барнаула // Там же. Т. 2. С. 286–292.

13. Леженин А. А., Рапуга В. Ф., Шлычков В. А. Исследование процессов переноса аэрозольных примесей в атмосферном пограничном слое // Материалы 20-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". [Электрон. ресурс]. Томск: ИОА СО РАН, 2014. 1-й CD-ROM. С. D5–D8.

14. Малахова В. В., Голубева Е. Н. Моделирование динамики подводной мерзлоты и возможной эмиссии метана на Арктическом шельфе // Труды 2-й Всерос. науч. конф. с международным участием, Барнаул, 2014. Т. 1. С. 136–143.

15. Малахова В. В. Математическое моделирование многолетней динамики подводной мерзлоты Арктического шельфа // Материалы 9-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014". Т. 4, № 1. Новосибирск: СГГА, 2014. С. 136–140. (в базе РИНЦ)

16. Малахова В. В., Голубева Е. Н. Динамика субаквальной мерзлоты Восточно-Сибирского шельфа Арктики с учетом прошлых и будущих изменений климата // Материалы

лы 20-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". [Электрон. ресурс]. Томск: ИОА СО РАН, 2014. ISBN 978-5-94458-145-7. С. D42–D45.

17. Рапута В. Ф., Шлычков В. А., Леженин А. А., Ярославцева Т. В. Восстановление поля выпадений бенз(а)пирена в окрестностях ТЭЦ-3 г. Барнаула // Материалы 10-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2014"; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Т. 1. Новосибирск: СГГА, 2014. С. 169–174.

(в базе РИНЦ)

18. Рапута В. Ф. Экспериментальные и численные исследования выпадений пыли в окрестностях Искитимского цементного завода // Труды 2-й Всерос. науч. конф. с международным участием "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии". Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2014. Т. 2. С. 280–285.

19. Щербатов А. Ф., Рапута В. Ф., Турбинский В. В., Хмелев В. А., Олькин С. Е., Ярославцева Т. В. Мониторинг загрязнения снежного покрова в районе Искитимского цементного завода // Материалы Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология" ("Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2014"). Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 163–168.

(в базе РИНЦ)

#### Патенты

1. Рапута В. Ф., Девятова А. Ю. Способ мониторинга загрязнения природных сред техногенным источником / Патент 2532365 Рос. Федерация. 2014 г.

2. Рапута В. Ф., Девятова А. Ю., Бортникова С. Б., Турова И. В. База данных по микроэлементному составу снегового покрова г. Новосибирска // Патент 2014625011 Рос. Федерация. 2014 г.

3. Рапута В. Ф., Девятова А. Ю., Морозов С. В., Турова И. В. База данных по содержанию ПАУ (полициклических ароматических углеводородов) и НУ (нефтяных углеводородов) в снеговом покрове г. Новосибирска // Патент 2014625009 Рос. Федерация. 2014 г.

#### Прочие издания

1. Iakshina D. F., Golubeva E. N. Sensivity study of a warm Atlantic layer to diffusion parametrization in the Arctic modeling // Bull. NCC. Ser.: Num. Model. In Atmosph., etc. 2014. Iss. 14. P. 1–15.

(в базе РИНЦ)

2. Kraineva M. V., Malakhova V. V., Golubeva E. N. Numerical simulation of forming temperature anomalies in the Laptev Sea // Bull. NCC. Ser.: Num. Model. In Atmosph., etc. 2014. Iss. 14. P. 27–34.

(в базе РИНЦ)

3. Kuzin V. I., Lapteva N. A. Modeling for simulation of the river runoff in the Ob-Irtysh basin // Ibid. P. 35–39.

(в базе РИНЦ)

4. Malakhova V. V. Mathematical modeling of the submarine permafrost long-term dynamics and gas hydrate stability zone in the Siberian Arctic shelf // Ibid. P. 41–54.

(в базе РИНЦ)

5. Platov G. A., Klimova E. G. The results of numerical simulation of Lena River runoff with the assimilation of satellite data: summer 2008 // Ibid. P. 55–72

(в базе РИНЦ)

6. Raputa V. F., Shlychkov V. A., Lezhenin A. A., Yaroslavtseva T. V. Numerical analysis of benzo[a]pyrene pollution data in the vicinity of power plant // Ibid. P. 73–80.

(в базе РИНЦ)

7. Shlychkov V. A., Platov G. A., Krylova A. I. A coupled hydrodynamic system of the Lena River delta and the Laptev Sea shelf zone: the model tuning and preliminary results of numerical simulation // Ibid. P. 81–103.

(в базе РИНЦ)

8. Yaroslavtseva T. V., Raputa V. F., Turbinsky V. V., Shcherbatov A. F. Monitoring of snow cover dust pollution near a cement plant // Ibid.

(в базе РИНЦ)

9. Крайнева М. В., Юсупова Д. Ф., Исследование особенностей поступления атлантических вод в Северный Ледовитый океан на основе численного моделирования в период 1990-2011 гг. // Труды конф. молодых ученых. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2014. С. 113–124.

10. Малахова В. В., Голубева Е. Н. Моделирование динамики субквальной мерзлоты арктического шельфа с учетом прошлых и будущих изменений климата // Тез. конф. "Современные тенденции природных процессов в полярных областях Земли и перспективы российских полярных исследований", Сочи, 6–8 окт. 2014 г. С. 86.

11. Турбинский В. В., Хмелев В. А., Олькин С. Е., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Щербатов А. Ф. Загрязнение снежного покрова и санитарное состояние атмосферного воздуха в районе города Искитима Новосибирской области // Сиб. науч. вестн. / Новосибирский научный центр "Ноосферные знания и технол." РАЕН. 2013. Вып. 17. С. 188–194.

(публикация в базе РИНЦ)

12. Щербатов А. Ф., Рапута В. Ф., Турбинский В. В., Ярославцева Т. В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха пылью по данным снегосъемки на основе реконструкции полей выпадений // Анализ риска здоровью. 2014. № 2. С. 42–47. (в базе РИНЦ).

13. Kravchenko V. V., Kuzin V. I. Solving 2D nonlinear vorticity equation with the help of mixed finite element and splitting methods // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Akademizdat, 2014. P. 98.

14. Kuzin V. I., Platov G. A., Golubeva E. N., Lapteva N. A. Simulation of river runoff in Eastern Siberia and the propagation of this river water in the Arctic // Annual Meeting PICES-2014, Yeosu (Korea), Oct. 16–26, 2014. P. 176.

15. Kuzin V. I. World Ocean as the part of the climatic system of the Earth // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Akademizdat, 2014. P. 40.

16. Lezhenin A. A., Shlychkov V. A., Malbakhov V. M. Numerical simulation of air flow over the city of Novosibirsk for ecological purposes // Ibid. P. 40–41.

17. Lezhenin A. A., Raputa V. F., Shlychkov V. A., Yaroslavtseva T. V. Numerical analysis of long-term substance fallout observation for a high-altitude source // Ibid. P. 100.

18. Malakhova V. V. Gas hydrates as a possible source of the methane in the Arctic Ocean // Ibid. P. 41

19. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Моделирование климатического стока из бассейна реки Лена // Тез. докл. 20-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 23–27 июня 2014 г. Томск: ИОА СО РАН, 2014. С. 103.

20. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Шлычков В. А. Исследование процессов переноса аэрозольных примесей в атмосферном пограничном слое // Там же. С. 128.

#### Участие в конференциях и совещаниях

1. Международный научный конгресс "ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. – 7 докладов (Рапута В. Ф., Леженин А. А., Малахова В. В., Голубева Е. Н., Платов Г. А., Кузин В. И., Лаптева Н. А.).

2. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ'14), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 7 докладов (Рапута В. Ф., Леженин А. А., Малахова В. В., Кузин В. И., Кравченко В. В., Крупчатников В. Н., Мартынова Ю. В., Боровко И. В.).

3. 20-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 23–27 июня 2014 г. – 5 докладов (Рапута В. Ф., Леженин А. А., Малахова В. В., Голубева Е. Н., Кузин В. И., Лаптева Н. А.).

4. 2-я Всероссийская научная конференция с международным участием "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии", Барнаул, 24–29 авг. 2014 г. – 6 докладов (Рапута В. Ф. (пленарный), Леженин А. А., Малахова В. В., Голубева Е. Н., Кузин В. И., Лаптева Н. А.).

5. 21-я Рабочая группа "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–28 нояб. 2014 г. – 8 докладов (Рапута В. Ф., Леженин А. А., Малахова В. В., Голубева Е. Н., Кузин В. И., Лаптева Н. А., Крайнева М. В.).

6. "Современные тенденции природных процессов в полярных областях Земли и перспективы российских полярных исследований", Сочи, 6–8 окт. 2014 г. – 2 доклада (Малахова В. В., Голубева Е. Н., Якшина Д. Ф.).

7. EGU General Assembly (EGU2014-3431. Vienna (Austria). Apr. 27 – May 3, 2014 – 2 доклада (Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н., Мартынова Ю. В., Крупчатников В. Н.).

8. ENVIROMIS-2014, Томск, 28 июня – 5 июля 2014 г. – 3 доклада (Кузин В. И. (пленарный), Якшина Д. Ф., Голубева Е. Н. (пленарный), Мартынова Ю. В., Крупчатников В. Н., Боровко И. В.)

9. Minutes SCOR-WG 140 (BEPSII) Meeting, Hobart (Australia), March 16, 2014 – 1 доклад (Голубева Е. Н.).

10. Летняя школа–семинар студентов и молодых ученых "Современные аспекты использования вычислительно-информационных технологий в науках об окружающей среде и климате", Барнаул, (ECS-2014), 3–8 авг. 2014 г. – 2 приглашенные лекции (Голубева Е. Н., Крупчатников В. Н.).

11. The 2014 FAMOS school and workshop #3, Woods Hole (USA), Woods Hole Oceanographic Institution, Oct. 21–24, 2014 – 2 доклада (Голубева Е. Н., Якшина Д. Ф., Платов Г. А., Крылова А. И.).

12. PICES-2014 Annual Meeting, Yeosu (Korea), **Oct. 16–26**, 2014 – 1 доклад (Кузин В. И., Платов Г. А., Голубева Е. Н., Лаптева Н. А.).

13. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Бишкек, 25 июля – 5 авг. 2014 г. – 1 приглашенный доклад (Кузин В. И.).

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Кузин В. И.:

– член программного комитета научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2014", Новосибирск, 8–20 апр. 2014 г.

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВМ'14), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

2. Леженин А. А. – член рабочего оргкомитета научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 8–20 апр. 2014 г.

3. Голубева Е. Н. – член оргкомитета SCOR WG 140 on biogeochemical exchange processes at the Sea-Ice interfaces (BEPSII), Hobart (Australia), Meeting 2: March 16, 2014.

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 5

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 6

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 20  
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5  
 Публикаций в зарубежных изданиях – 4  
 Публикаций в материалах международных конференций – 19  
 Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 3  
 Публикаций в прочих изданиях – 20  
 Докладов на конференциях – 48, в том числе 6 пленарных.  
 Участников оргкомитетов конференций – 4

### Кадровый состав

1. Кузин В. И.	зав. лаб.,	д.ф.-м.н.
2. Рапуга В. Ф.	г.н.с.,	д.ф.-м.н.
3. Голубева Е. Н.	в.н.с.,	д.ф.-м.н.
4. Платов Г. А.	в.н.с.,	д.ф.-м.н.
5. Фоменко А. А.	с.н.с.,	д.ф.-м.н.
6. Леженин А. А.	с.н.с.,	к.ф.-м.н.
7. Крылова А. И.	с.н.с.,	к.ф.-м.н.
8. Малахова В. В.	с.н.с.,	к.ф.-м.н.
9. Боровко И. В.	м.н.с.,	к.ф.-м.н.
10. Кравченко В. В.	м.н.с.	
11. Якшина Д. Ф.	м.н.с.	
12. Лаптева Н. А.	м.н.с. 0,5 ст.	
13. Лобанов А. Н.	м.н.с. 0,1 ст.	
14. Яковенко Г. Т.	программист 0,55 ст.	
15. Елепова Г. И.	инженер 0,5 ст.	
16. Мартынова Ю. В.	инженер,	к.ф.-м.н.

Лобанов А. С., Кравченко В. В., Якшина Д. Ф., Крайнева М. В. (до ноября 2014 г),  
 Мартынова Ю. В. (по проекту РФФИ) – молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

Кузин В. И. – профессор НГУ, СГГА.  
 Голубева Е. Н. – доцент НГУ, зам. зав. кафедры ММГФ ММФ НГУ, руководитель  
 Учебно-научного центра вычислительной математики и информатики ММФ НГУ.  
 Крупчатников В. Н. – профессор СибАГС, доцент НГУ.  
 Крылова А. И. – ст. преподаватель НГУ.  
 Леженин А. А. – доцент СИУ (филиал РАНХиГС).  
 Боровко И. В. – преподаватель СГУПС.

### Руководство аспирантами

Крайнева М. В. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Голубева Е. Н.  
 Ковалев С. Н. – 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Кузин В. И.

### Руководство студентами

Торгонская А. Л. – студент-магистрант, руководитель Кузин В. И.

## Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде

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

### Важнейшие достижения

Разработан эффективный метод построения объединенных в онлайн режиме численных моделей динамики и химии атмосферы для решения прямых и обратных задач природоохранного прогнозирования. Концепция предлагаемой методики основана на использовании вариационных принципов со слабыми ограничениями и техники сопряженных интегрирующих множителей для построения дискретно-аналитических численных схем. Такой подход удобен для работы с разномасштабными процессами при наличии неопределенностей как в самих моделях исследуемых процессов, так и в источниках внешних воздействий.

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

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Penenko V. V., Tsvetova E. A., Penenko A. V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies // *Comp. and Math. with Appl.* 2014. V. 67, iss. 12. P. 2240–2256. DOI: 10.1016/j.camwa.2014.04.004.

2. Пененко А. В., Пененко В. В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции-диффузии на основе метода расщепления // *Выч. технол.* 2014. Т. 19, № 4. С. 69–83.

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. Penenko V., Tsvetova E., Penenko A. A new version of variational integrated technology for environmental modeling with assimilation of available data // Конгр. Европ. геофиз. союза (EGU–2014), Вена.

2. Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В. Технология моделирования для природоохранных задач на основе вариационного принципа и сопряженных интегрирующих множителей // 20-я Всерос. конф. "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики", посвященная памяти К. И. Бабенко, 2014 г.

3. Пененко В. В. Интегрированные модели динамики и химии атмосферы для решения взаимосвязанных задач экологии и климата // Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВПМ–2014), Новосибирск.

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершенным в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.4.1.2.** "Исследование процессов в атмосфере, гидросфере и окружающей среде методами математического моделирования".

Номер государственной регистрации НИР 01201370227.

Руководители: д.ф.-м.н. Кузин В. И., д.ф.-м.н. Пененко В. В.

**Раздел 2.** "Развитие моделей и методов для оценок экологической перспективы".

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

Продолжена работа над вариационной методикой и алгоритмами решения задач динамики и химии атмосферы на базе совместного использования математических моделей и данных наблюдений. Разработаны новые версии алгоритмов решения прямых и обратных

задач в эволюционных моделях для идентификации параметров и формирования управлений при прогнозировании эволюции климато-экологических ситуаций и оценках экологических рисков.

Разработаны новые версии базовых моделей многофункционального комплекса "Атмосфера – окружающая среда", как в части реализации программ, так и введения новых параметризаций.

В развитие методики разделения масштабов процессов и исследования чувствительности выполнен цикл исследований по анализу влияния процессов подсеточного масштаба на формирование структуры атмосферных движений в областях над термически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью. С этой целью выполнены исследования возможности развития методики параметризации турбулентных процессов. Данные прямых измерений вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла доплеровским радаром и системой радиоакустического зондирования в верхней тропосфере и нижней стратосфере использованы для оценки применимости трех RANS приближений моделирования стратифицированной турбулентности в окружающей среде: модифицированной для стратифицированных течений "стандартной"  $E - \epsilon$  модели турбулентности, алгебраической двухпараметрической  $E - \epsilon$  модели рейнольдсовых напряжений и трехпараметрической  $E - \epsilon - \theta^2$  модели турбулентности.

Все характеристики турбулентности – кинетическая энергия, скорость ее диссипации, вертикальные профили потенциальной температуры (атмосферная устойчивость) и средней скорости ветра – взяты из данных прямых измерений для всех трех моделей турбулентности. Согласие с данными измерений вертикального профиля коэффициента вихревой диффузии импульса, вычисленного по двухпараметрическим схемам турбулентности, носит, скорее, качественный характер. Тогда как профиль вертикального вихревого коэффициента диффузии импульса, вычисленный по трехпараметрической RANS-модели турбулентности, хорошо согласуется с данными, полученными прямыми измерениями в верхней тропосфере и нижней стратосфере (рис. 1).

Двумерные модели в негидростатическом и гидростатическом вариантах, с аппроксимацией по методу конечных элементов, применялись для изучения распространения атмосферного потока над подстилающей поверхностью с резкой сменой шероховатости. Расчеты проводились для нейтральной температурной стратификации. Показано, что большой градиент шероховатости и влияние динамических неоднородностей орографии приводят к эффекту, который удовлетворительно описывается только негидростатической моделью, что подтверждается сравнением с данными измерений.

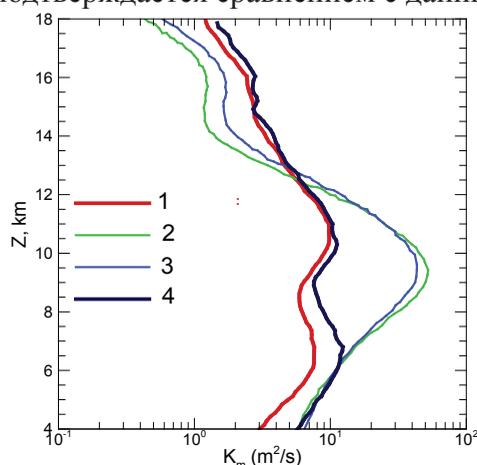


Рис. 1. Вихревой коэффициент диффузии импульса  $K_m$ , измеренный доплеровским радаром, в сравнении со значениями коэффициента, оцененными по стандартной  $k - \epsilon$  модели (2), алгебраической модели рейнольдсовых напряжений и модифицированной трехпараметрической RANS-модели турбулентности настоящего проекта (4)

Выполнен анализ эффективности параллельной реализации различных модулей программного кода негидростатической мезометеорологической модели в области со сложным рельефом при наличии термических и динамических неоднородностей. Проведены сравнительные эксперименты с разрешением модели  $134 \times 129 \times 50$  и  $267 \times 258 \times 50$  узлов. Анализ результатов расчетов показал, что использование более мелкого разрешения и соответствующих уточнений параметров моделей позволило получить более качественную картину моделируемых процессов.

В рамках сотрудничества по проекту Европейской Комиссии COST1004 выполнено тестирование разработанных нами алгоритмов решения жестких систем кинетических уравнений атмосферной химии на цикле механизмов трансформации, используемом в Датском метеорологическом институте. Сравнение показало общее качественное и количественное согласие с результатами, полученными другими методами. Одним из неоспоримых преимуществ разработанных нами дискретно-аналитических численных схем является их безусловная монотонность.

### **Результаты работ по проектам РФФИ**

**Проект РФФИ 14-01-00125** "Новые методы решения взаимосвязанных задач динамики и химии атмосферы с использованием вариационного подхода и технологии интегрирующих множителей".

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

Сформулирован вариационный принцип для решения прямых, сопряженных и обратных задач природоохранного прогнозирования и проектирования на базе объединенных моделей гидротермодинамики и химии атмосферы. Он является основой для построения численных моделей и методов для их реализации.

Разработана новая версия негидростатической модели для учета влияния источников разномасштабных воздействий. Модель включает нестационарное уравнение для изменения давления, полученное на основе первого начала термодинамики с использованием уравнений неразрывности и состояния. В это уравнение входят операторы типа конвекции-диффузии-реакции. Для его решения предложен безытерационный алгоритм, позволяющий находить как само поле давления, так и его градиенты. Численные аппроксимации этого уравнения и всей системы в целом получаются с помощью вариационного метода с сопряженными интегрирующими множителями.

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

**Программа Президиума РАН № 4, проект № 4.9, подпроект** "Прямые и обратные задачи для изучения изменений качества окружающей среды в Сибирских регионах".

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

Разработана методика моделирования для оценок экологических перспектив Сибирских регионов с учетом влияния существующих и потенциально возможных источников, расположенных как на территории регионов, так и за их пределами.

Для этих целей используется комплекс моделей, позволяющий рассчитывать процессы переноса в регионе на фоне крупномасштабных циркуляционных систем. Для организации сценариев моделирования построены информативные базисы. В частности, для мало-параметрического восстановления крупномасштабных полей рассчитаны главные факторы

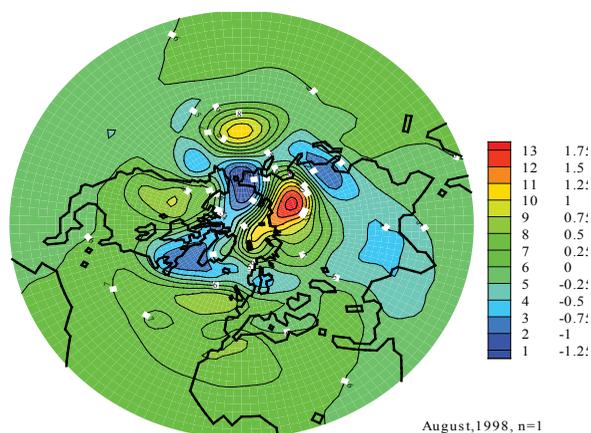


Рис. 2. Главный фактор поля геопотенциала на высоте, соответствующей уровню 500 гПа, рассчитан для анализа циркуляционных систем Северного полушария. Использованы данные реанализа. Локальные максимумы и минимумы выделяют квазистационарные центры действия климатической системы

с использованием методов сингулярных разложений прямоугольных матриц, составленных из четырехмерных полей функций состояния. Базисные подпространства такого типа применяются для организации систем направленного мониторинга и для формирования гидродинамических сценариев, на фоне которых решаются задачи прогнозирования сезонных изменений качества атмосферы.

С использованием информативных базисов выполнены сценарные расчеты по моделированию изменений качества окружающей среды в Сибирском регионе.

**Программа Президиума РАН № 23, проект № 23.9, подпроект "Исследование разномасштабных гидрофизических процессов как основных факторов, обуславливающих появление кольцевых структур на ледовом покрове озера Байкал"** (совм. с ИГиЛ, ЛИИ, ИДСТУ).

Ответственный исполнитель – к.ф.-м.н. Цветова Е. А.

Для исследования механизмов формирования локальных циркуляционных структур на базе негидростатической модели динамики вод озера и доступных данных наблюдений разработан вариационный алгоритм совместного использования модели и данных. Моделировалась конкретная ситуация, связанная с появлением кольцевой структуры на льду озера в 2009 г. В локальной негидростатической модели Южной оконечности Байкала учтены приближенные к реальным геометрия берегов и рельеф дна локальной области. Специальной процедурой локальная модель связана с крупномасштабной моделью озера.

Выполнены сценарные расчеты для выявления механизмов формирования локальных структур. Основным источником возмущений в сценариях являлось изменение плотности в заданном объеме воды за счет разложения всплывающих газогидратов. По данным наблюдений, интенсивное разложение гидратов в Байкале происходит на глубинах около 380 м. Благодаря плавучести, возникающая струя, вовлекая окружение, поднимается до определенной высоты, где ее плотность уравнивается с плотностью воды, находящейся на данной глубине. Часть водных масс начинает включаться в возвратные циркуляции вокруг струи, а часть по инерции проскакивает выше и достигает нижней границы льда (рис. 3). Вблизи поверхности под действием силы Кориолиса в горизонтальной плоскости закручивается локальная циркуляция (рис. 4). Ее длительное существование приводит к истончению льда. В результате более тонкий лед напитывается водой. Поэтому весной с больших высот (с космической станции, как это было в 2009 г., или со спутника) можно наблюдать на льду кольцевые структуры. Поскольку линейные размеры кольцевых структур довольно велики (от 4 до 7 км), с близких расстояний они незаметны. Такой схемой исполнители проекта объясняют в настоящее время феномен появления кольцевых структур на льду оз. Байкал.

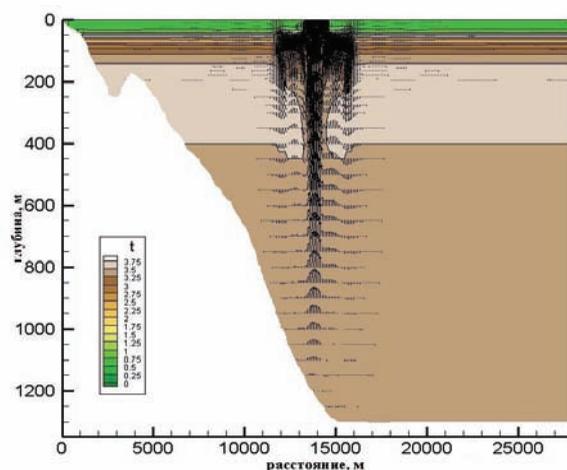


Рис. 3. Подъем струи в стратифицированной среде глубокого водоема в зимних условиях

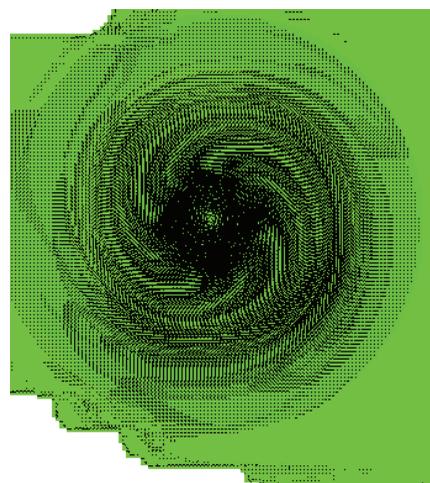


Рис. 4. Горизонтальные циркуляции в поверхностном слое озера

**Программа ОМН РАН № 1.3, проект 1.3.3, подпроект "Вариационные методы решения обратных задач для исследования динамики и качества атмосферы".**

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

Построены вычислительно эффективные численные схемы для операторов конвекции-диффузии-реакции в рамках объединенных моделей динамики и химии атмосферы, обладающие свойствами аппроксимации, устойчивости и монотонности.

Для организации технологии моделирования разномасштабных процессов использован вариационный принцип в формулировке со слабыми ограничениями. Применение такого подхода целесообразно для решения прямых и обратных задач при наличии неопределенностей как в самих моделях процессах, так и в параметрах источников воздействий.

Для разномасштабных операторов конвекции-диффузии использована концепция сопряженных интегрирующих множителей. В результате получаются дискретно-аналитические схемы, обладающие свойствами аппроксимации, устойчивости и безусловной монотонности. Для многомерных нестационарных задач эта методика применяется в рамках вариационного принципа и схем декомпозиции и расщепления последовательно на каждом шаге по времени. Существенным достоинством дискретно-аналитических схем является то, что вместе со значениями искомых функций одновременно вычисляются значения их производных на границах конечных объемов.

Для ускорения работы вычислительного комплекса, разработанного для численной реализации модели динамики атмосферы и переноса примеси, выполнена модификация программного кода. Использовался открытый стандарт OpenMP. Анализ временных затрат на реализацию различных этапов расщепления задачи динамики атмосферы в области над сложным рельефом показал, что самый трудозатратный этап вычислений – решение уравнения Пуассона. Поэтому одной из модификаций программного кода стал выбор способа хранения семидиагональной матрицы в уравнении Пуассона для давления. С этой целью был использован CSR-формат. Следующим этапом ускорения программного кода стало применение предобуславливателя при решении сеточного уравнения Пуассона. Использование метода симметричной неполной верхней релаксации в модификации Айзенштата позволило сократить число итераций более чем в три.

**Программа Президиума РАН № 43, проект "Разработка методов математического моделирования и вычислительных технологий для решения взаимосвязанных задач экологии и климата с использованием данных наземного и спутникового мониторинга"**

Руководители: д.ф.-м.н. Пененко В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

Разработана новая версия алгоритмов параллельной реализации вычислительного ядра модели конвекции-диффузии в глобальном масштабе для прямого и сопряженного варианта уравнений. Алгоритмическая реализация осуществляется по принципу декомпозиции операторов моделей и целевых функционалов на основе свойств аддитивности. В развитие широко используемых в параллельных вычислениях подходов типа spike-факторизации и divide-and-conquer-технологии предложены два новых варианта алгоритмов, основанных на идеях декомпозиции сложных систем и использовании сопряженных интегрирующих множителей.

С помощью решений обратных задач выполнены сценарные расчеты по оценке риска загрязнения атмосферы над Арктикой выбросами от действующих и потенциально возможных источников, расположенных в Северном полушарии Земли.

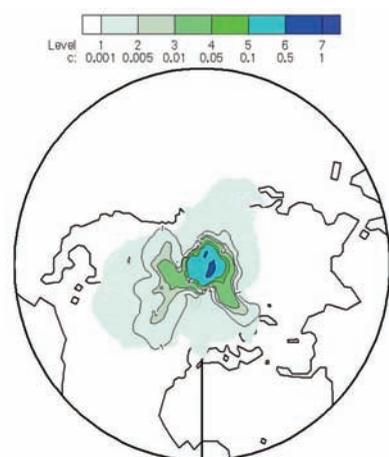


Рис. 5. Функция чувствительности (риска/уязвимости) функционала качества атмосферы в Арктическом регионе к вариациям интенсивности эмиссии примесей от источников, расположенных в приземном слое Северного полушария Земли. Изолинии показывают относительный вклад суммарного выброса из действующих и потенциально возможных источников в функционал качества атмосферы над Арктикой. Использовано решение четырехмерной обратной задачи переноса примесей на фоне глобальной атмосферной циркуляции

Разработана версия алгоритма вариационного усвоения данных наземного и спутникового мониторинга с использованием модели конвекции-диффузии в качестве ограничений и связей между функциями состояния моделей и источниками внешних воздействий. Дискретизация моделей для многомерных нестационарных задач осуществляется в рамках вариационного подхода в сочетании с методами расщепления и декомпозиции с параллельной организацией. Все построенные схемы согласованы в прямом и сопряженном вариантах через интегральное тождество вариационного принципа.

Включение в систему функций неопределенностей позволяет строить прямые вычислительно-эффективные безытерационные алгоритмы усвоения доступных данных наблюдений.

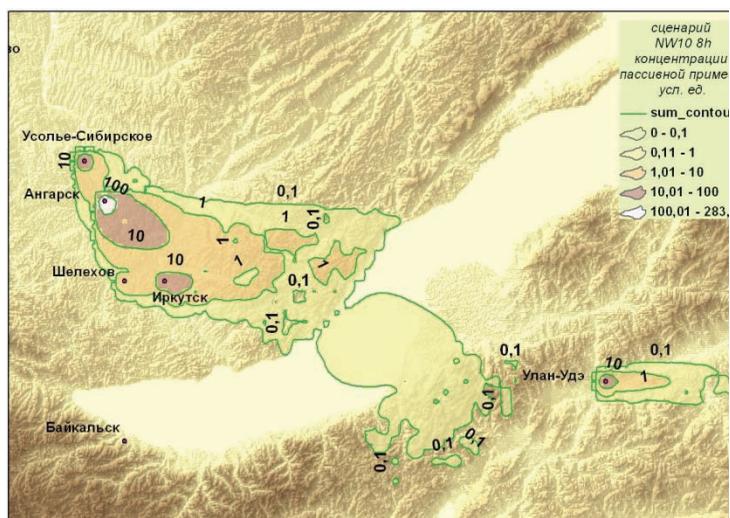
### **Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 8.**

Координатор – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Обработаны данные климатической информации за более чем 50-летний период, выявлены главные факторы глобального масштаба и специфика их проявления в Байкальском регионе с целью определения роли региона в общей климатической системе Земли. Разработаны способы построения климатических сценариев с использованием главных факторов для целей природоохранного прогнозирования.

Методами прямого моделирования на основе негидростатической модели мезо-региональных атмосферных процессов рассчитаны типичные сценарии формирования мезоклиматов и на их фоне решены задачи распространения примесей от основных агрегированных источников, расположенных в регионе. Проанализировано отличие циркуляционных систем, построенных в зимних (в условиях открытой воды) и летних сценариях.

Рис. 6. Южное Прибайлькье. Изолинии суммарной концентрации пассивной примеси (усл. ед.) на высоте 100 м над поверхностью рельефа в 8 ч. местного времени. Северо-западный фоновый ветер



С помощью математических моделей на основе методов обратного моделирования выполнена оценка климатически обусловленных рисков загрязнений от природных и антропогенных источников, расположенных в регионе и за его пределами. Построены сезонные карты рисков для двух типов функционалов качества атмосферы над акваторией озера. В первом случае территорией-рецептором получения загрязнений является столб атмосферы над акваторией от поверхности до высоты 10 гПа. Во втором случае в качестве получателя загрязнений рассматривается приводный слой атмосферы над акваторией озера.

### Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 35.

Координатор в институте – д.ф.-м.н. Пененко В. В.

Разработаны теоретические основы применения вариационных методов теории возмущений для исследования изменчивости спектральной интенсивности излучения в зависимости от газоаэрозольного состава атмосферы.

Проанализированы способы представления результатов, получаемых типичными системами измерений, в терминах функций состояния математических моделей исследуемых процессов с помощью математических моделей наблюдений.

С помощью решения обратных задач выполнены расчеты функций чувствительности и наблюдаемости территорий по данным наблюдений оптической толщи атмосферы для некоторых станций Сиб-АЭРОНЕТ.

Разработаны новые численные схемы для исследования механизмов трансформации типа газ – частица в рамках моделей переноса и трансформации примесей для специального цикла превращений с участием углеродсодержащих субстанций.

Разработана математическая модель трансформации примесей для специального цикла превращений с участием углеродсодержащих субстанций (механизм преобразований составлен в ИХКиГ СО РАН). В численной модели осуществляется декомпозиция сложных операторов трансформации субстанций по механизмам реакций с учетом их характерных масштабов по времени.

## Публикации

### Монографии, главы в монографиях

1. Володин Е. М., Аржанова Н. М., Борзенкова А. В., Варгин П. Н., Мартынова Ю. В., Монзикова А. К., Морару Е. И., Морозова П. А., Окладников И. Г., Пененко А. В., Ушаков К. В., Штабкин Ю. А., Шульгина Т. М. Практикум по моделированию изменений климата // Модели и методы в проблеме взаимодействия атмосферы и гидросферы: Учеб. пособ. Гл. 13 / Под ред. В. П. Дымникова, В. Н. Лыкосова, Е. П. Гордова. Томск: ТГУ, 2014. С. 490–515.

### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Моделирование вихревого переноса импульса и тепла: сравнение с данными прямых измерений в свободной атмосфере // Изв. РАН. Сер.: Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 4. С. 420–429.

(в базе РИНЦ; перевод в базах Scopus и Web of Science).

2. Пененко А. В., Пененко В. В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции-диффузии на основе метода расщепления // Выч. технол. 2014. Т. 19, № 4. С. 69–83.

(в базе РИНЦ).

3. Пененко А. В., Троеглазова Т. С., Зубаирова У. С., Байшибаев Д. Ж., Николаев С. В. Применение технологии CUDA для моделирования процессов реакции-диффузии на двумерном клеточном ансамбле // Матем. биол. и биоинформ. 2014. Т. 9, вып. 2. [Электрон. ресурс].

(в базе РИНЦ; перевод – в базе Scopus).

4. Зубаирова У. С., Голушко С. К., Пененко А. В., Николаев С. В. L-Система для моделирования плоских одномерно растущих растительных тканей // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2014. Т. 18, № 4/2. С. 945–952.

(в базе РИНЦ; перевод – в базе Scopus).

### Зарубежные издания

1. Penenko V. V., Tsvetova E. A., Penenko A. V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies // Comp. and Math. with Appl. 2014. V. 67, iss. 12. P. 2240–2256. DOI: 10.1016/j.camwa.2014.04.004.

(в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ).

### Материалы международных конференций и совещаний

1. Yudin M. S. Numerical simulation of gravity flows in the atmosphere over rough terrain // Proc. of the 20th International symposium on atmospheric and ocean optics: Atmospheric physics Nov. 25, 2014. SPIE. 2014. V. 9292. DOI: 10.1117/12.2074884.

(в базах Web of Science, SCOPUS).

2. Ryanova E. A., Penenko V. V., Faleyshik L. M. Simulation of atmospheric dynamics and air quality in the Baikal region // Ibid. V. 929247. DOI: 10.1117/12.2074998.

(в базах Web of Science, SCOPUS).

3. Penenko V. V., Tsvetova E. A. Methods of environmental quality assessments in conditions of climate variability // Ibid. V. 929245. DOI: 10.1117/12.2075127.

(в базах Web of Science, SCOPUS).

4. Kurbatskiy A., Kurbatskaya L. Eddy mixing in planetary boundary layer and free atmosphere // Ibid. V. 92920R. DOI: 10.1117/12.2074825.

(в базах Web of Science, SCOPUS).

5. Baklanov A., Mahura A., Penenko V., Zilitinkevich S., Kulmala M. PanEurasian experiment (PEEX): Modelling platform for Earth system observations and forecasting // Geophys. Res. Abst. Vol. 16. EGU2014-15751, 2014.

6. Penenko A., Penenko V. An algorithm for variational data assimilation of contact concentration measurements for atmospheric chemistry models // Ibid. EGU2014-806, 2014.

7. Penenko V., Tsvetova E., Penenko A. A new version of variational integrated technology for environmental modeling with assimilation of available data // Ibid. EGU2014-5620, 2014.

8. Пененко В. В., Цветова Е. А. Методы разделения масштабов и вариационные задачи для исследования изменчивости климатической системы и оценок экологических рисков // Труды Междунар. конф. памяти акад. А. М. Обухова. В сб. "Турбулентность, динамика атмосферы и климата". М.: ГЕОС, 2014. С. 371–378.

9. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Перемешивание и перемежаемость турбулентности в приземной атмосфере. Вихревые коэффициенты диффузии импульса и тепла в свободной атмосфере (приглашенный доклад) // Материалы 20-го Междунар. симп. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. [Электрон. ресурс]. 1-й CD-ROM. С. В1–В5.

10. Юдин М. С. Численное моделирование гравитационных течений в атмосфере над шероховатой поверхностью // Там же. С. D159–D162..

11. Пененко В. В., Цветова Е. А. Методы оценок экологических перспектив с учетом изменчивости климатических процессов // Там же. С. D1–D4.

12. Пененко В. В., Пьянова Э. А. Моделирование гидротермодинамики и изменений качества атмосферы в Байкальском регионе // Там же. С. D9–D13.

13. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. RANS моделирование течений окружающей среды при устойчивой стратификации // 17-я Междунар. конф. "Современные проблемы механики сплошной среды", Ростов-на-Дону, 14–17 окт. 2014 г. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2014. Т. 2. С. 70–74.

14. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. RANS моделирование атмосферных течений при устойчивой стратификации: вихревое перемешивание и глобальная перемежаемость турбулентности // Материалы Междунар. конф. "Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность", Звенигород (Моск. обл.), 25 февраля – 4 марта 2014 г. М.: МГУ, 2014. С. 140–146.

15. Kurbatskaya L. I., Kurbatskiy A. F. Eddy diffusivities for momentum and heat in the upper troposphere and lower stratosphere: modelling and simulation // 10-й Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо Гео-Сибирь" / Сб. материалов Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология". Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 141–145. (в базе РИНЦ).

16. Юдин М. С. Исследование эффектов орографии и температурной стратификации при распространении атмосферных фронтов // Там же. С. 146–150. (в базе РИНЦ).

17. Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М. Атмосферный перенос примесей в Байкальском регионе: численное моделирование некоторых сценариев // Междунар. конф. и шк. молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2014", Томск, 28 июня – 5 июля 2014 г. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2014. С. 149–152.

18. Penenko V., Tsvetova E. Direct and inverse problems based on the models of dynamics and chemistry of the atmosphere // Там же. С. 145–149.

19. Yudin M. S. Atmospheric front dynamics over steep orography: finite element model // Там же. С. 71–73.

20. Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М. Исследование процессов распространения загрязняющих примесей в Байкальском регионе на основе численной мезорегиональной модели динамики атмосферы // Сб. трудов Всерос. объедин. конф. "Экология. Экономика. Информатика", пос. Дюрсо, 7–15 сент. 2014 г. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2014. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. С. 74–78. (в базе РИНЦ).

21. Курбацкая Л. И., Курбацкий А.Ф. Дисперсия примеси в устойчиво стратифицированном городском пограничном слое // Там же. С. 51–56.

### Прочие издания

1. Penenko A., Penenko V., Nuterman R., Mahura A. Discrete-analytical algorithms for atmospheric transport and chemistry simulation and chemical data assimilation // Sci. rep. 2014. N 2. 26 p.

2. Пененко А. В. Численные методы решения обратных задач и задач усвоения данных для уравнений конвекции-диффузии-реакции // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. С. 13–17.

3. Kussainova A. T. Penenko A. V. A variational algorithm of real-time data assimilation for the convection-diffusion substances model in the atmosphere for the non-stationary two-layered discrete-analytical scheme // Ibid.

4. Kurbatskiy F., Kurbatskaya L. I. Turbulence intermittency in stably stratified boundary layers and eddy mixing in free atmosphere // Book of Abst. EFMC10 – European fluid mechanics conference 10, Technical University of Denmark, Lyngby, Sept. 15–15, 2014. P. 363.

5. Kurbatskaya L. I., Kurbatskiy A. F. Modelling and simulation of the urban-island circulation in stably stratified environment// Abst of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 39-40.

6. Penenko V. V. Integrated models of dynamics and chemistry of the atmosphere for interrelated problems of ecology and climate (invited talk) // Ibid. P.42.

7. Penenko A. V. Direct variational data assimilation algorithm for multidimensional convection-diffusion-reaction problems // Ibid. P. 42.

8. Рянова Е. А., Фалеичик Л. М. Mathematical model of mesoscale atmosphere dynamics and pollution transport for solving environmental problems // Ibid. P. 42.

9. Tsvetova E. A. On numerical implementation of Lake Baikal mathematical models // Ibid. P. 44.

10. Yudin M. S. Simulation of gravity currents in the atmosphere with FDM and FEM models // Ibid. P. 45.

11. Bublikov A. A., Penenko A. V., Rakhmetullina S. J. Integrated information system for ecological monitoring of atmospheric air of an industrial city // Ibid. P. 38.

12. Kurbatskiy F., Kurbatskaya L. I. RANS modelling of environment flows under stable stratification: eddy mixing of momentum and heat and global intermittency of turbulence // Abst. of the Intern. conf. on methods of aerophysical research, Novosibirsk, June 30 – July 6, 2014. Part. 1. P. 135–137.

13. Пьянова Э.А., Пененко В. В. Моделирование гидротермодинамики и изменений качества атмосферы в Байкальском регионе // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XX Международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. С. 103.

14. Цветова Е. А. Моделирование процессов распространения метана в водной среде с учетом фазовых превращений // Сб. трудов объедин. конф. "Экология. Экономика. Информатика", пос. Дюрсо, 7–15 сент. 2014 г. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2014. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. С. 121–122.

15. Пененко А. В. Исследование эффективности алгоритмов усвоения данных измерений для задач атмосферной химии // Там же. С. 62.

16. Пененко В.В. Математические модели для оценок изменений качества окружающей среды в условиях неопределенности // Там же. С. 63–64.
17. Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В. Технология моделирования для природоохранных задач на основе вариационного принципа и сопряженных интегрирующих множителей // Тез. докл. 200-й Всерос. конф. "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики", посвящ. памяти К. И. Бабенко, Дюрсо, 15–20 сент. 2014 г., М.: ИТМ им. Келдыша, 2014. С. 87–88.
18. Курбацкая Л. И., Курбацкий А. Ф. Численное моделирование вихревого переноса импульса и тепла в свободной атмосфере // Тез. докл. 7-й Всерос. конф., посвящ. памяти акад. А. Ф. Сидорова "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", Екатеринбург, 15–20 сент. 2014 г. Екатеринбург: ИММ УрО РАН. С. 36–37.
19. Пененко В. В. Новые вариационные методы с сопряженными интегрирующими множителями для технологий прямого и обратного моделирования // Там же. С. 47–48.
20. Цветова Е. А. Применение сопряженных интегрирующих множителей для построения аппроксимаций в моделях озера Байкал // Там же. С. 67.
21. Пененко А. В. Прямые алгоритмы вариационного усвоения данных в моделях атмосферной химии // Там же. С. 46–47.
22. Пьянова Э. А., Петухов А. В. Некоторые особенности реализации трехмерной негидростатической модели динамики атмосферы и переноса примеси // Там же. С. 50–51.
23. Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А. Новые вариационные методы для моделей переноса и трансформации газо-аэрозольных примесей в атмосфере // Материалы Междунар. конф. "Аэрозоль и оптика атмосферы" к 100-летию Розенберга, Москва, 2014. М.: ИФА РАН. С. 36.
24. Цветова Е. А. О постановках задач для моделирования гетерогенных систем с учетом фазовых превращений // Тез. 21-й Рабочей группы "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–28 нояб. 2014 г. С. 46.
25. Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А. Математическое моделирование для оценок риска загрязнения атмосферы Байкальского региона // Там же. С. 104.
26. Юдин М. С. Эффекты инверсионного слоя при распространении холодного атмосферного фронта над изолированным препятствием // Там же. С. 54.
27. Пьянова Э. А. Моделирование зимнего атмосферного переноса пассивной примеси в Байкальском регионе // Там же. С. 41.
28. Пененко В. В. Применение концепции сопряженных интегрирующих множителей в моделях динамики аэрозольных популяций // Там же. С. 48.
29. Курбацкая Л. И. Распространение пассивной примеси от поверхностного источника в устойчиво стратифицированной окружающей среде с модельным представлением острова тепла // Там же. С. 52.

#### **Сдано в печать**

1. Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М., Фалейчик А. А. Об использовании математического моделирования и геоинформационных технологий для экологической оценки проектов освоения территорий // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. "БАМ в XXI веке: природные ресурсы, проблемы и перспективы освоения Читинского участка", Чита, 7–9 окт. 2014 г.

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. Генеральная ассамблея Европейского геофизического союза (EGU 2014), Вена, 27 апр. – 2 мая 2014 г. – 3 доклада (Пененко В. В., Пененко А. В., Цветова Е. А.).

2. European fluid mechanics conference (EFMC–10), Lyngby (Denmark), Sept. 15, 2014 – 1 доклад (Курбацкая Л. И.).
3. Международная конференция "Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность", Звенигород (Моск. обл.), 25 февраля – 4 марта 2014 г. – 1 доклад (Курбацкая Л. И.).
4. The International conference "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014 – 7 докладов (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И., Юдин М. С.).
5. Международная школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г. – 2 доклада, из них 1 приглашенный (Пененко А. В.).
6. International conference on the methods of aerophysical research, Novosibirsk, June 30–July 6, 2014 – 1 доклад (Курбацкая Л. И.).
7. 20-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 23–27 июня 2014 г., – 5 докладов, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И., Юдин М. С.).
8. Всероссийская конференция "Экология, экономика, информатика" / "Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем", Дюрсо, 7–12 сент. 2014 г., – 5 докладов (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И.).
9. 7-я Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А. Ф. Сидорова "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", Дюрсо, 15–20 сент. 2014 г. – 5 докладов, из них 1 пленарный (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И.).
10. 20-я Всероссийская конференция "Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики", посвященная памяти К. И. Бабенко, Дюрсо, 15–20 сент. 2014 г. – 1 доклад (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В.).
11. 10-й Международный научный конгресс "Интерэкспо Гео-Сибирь" / Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 15–18 апр. 2014 г. – 2 доклада (Курбацкая Л. И., Юдин М. С.).
12. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2014, Томск, 28 июня – 5 июля 2014 г. – 4 доклада, из них 2 приглашенных (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И., Юдин М. С.).
13. Международная конференция "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г. – 1 доклад (Пененко А. В.).
14. Всероссийская молодежная конференция с международным участием "Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды", Барнаул, 1–8 авг. 2014 г. – 1 приглашенный доклад (Пененко В. В.).
15. Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 40-летию строительства Байкало-Амурской магистрали "БАМ в XXI веке: природные ресурсы, проблемы и перспективы освоения Читинского участка", Чита, 7–9 окт. 2014 г., – 1 доклад (Пьянова Э. А.).
16. 17-я Международная конференция "Современные проблемы механики сплошной среды", Ростов-на-Дону, 14–17 окт. 2014 г. – 1 доклад (Курбацкая Л. И.).
17. Международная конференция "Аэрозоль и оптика атмосферы", Москва, 21–25 окт. 2014 г. – 1 доклад (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В.).

18. Всероссийская конференция с международным участием "Алгоритмический анализ неустойчивых задач", Челябинск, 10–14 нояб. 2014 г. – 1 доклад (Пененко А. В.).

19. Заседание 21-й Рабочей группы "Аэрозоли Сибири", Томск, 25–28 нояб. 2014 г. – 6 докладов (Пененко В. В., Цветова Е. А., Курбацкая Л. И., Юдин М. С., Пьянова Э. А.).

20. Международная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Алматы (Казахстан), 8–14 дек. 2014 г. – 3 доклада (Пененко А. В., Пененко В. В.).

### **Участие в оргкомитетах российских и международных конференций**

1. Пененко В. В.:

– член оргкомитета конференции молодых ученых ИВМиМГ, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г.;

– член программного комитета 20-го Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Новосибирск, 23–27 июня 2014 г.;

– член программного комитета Международной школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВПМ-2014), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;

– член программного комитета Всероссийской молодежной конференции с международным участием "Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды", Барнаул, 1–8 авг. 2014 г.

– член программного комитета школы молодых ученых и Международной конференции по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде "Enviromis -2014", Томск, 28 июня – 5 июля 2014 г.

2. Пененко А. В.:

– член программного и организационного комитетов Международной школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.;

– член организационного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВПМ–2014), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;

– зам председателя организационного комитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г.;

– зам. председателя организационного комитета и член программного комитета 6-й Международной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Алматы (Казахстан), 8–14 дек. 2014 г.

### **Международные научные связи**

1. Сотрудничество с Восточно-Казахстанским государственным техническим университетом (ВКГТУ) им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогск).

2. Сотрудничество с Датским Метеорологическим институтом (DMI, Copenhagen (Denmark)).

3. Участие в COST Action ES1004 "European framework for online integrated air quality and meteorology modeling".

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 6  
 Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 4  
 Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 8  
 Монографий, глав в монографиях – 1  
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 4  
 Публикаций в зарубежных изданиях – 1  
 Публикаций в материалах международных конференций – 21  
 Публикаций в прочих изданиях – 29  
 Докладов на конференциях – 52, в том числе – 7 пленарных.  
 Участников оргкомитетов конференций – 10

### 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.	м.н.с. 0,6 ст.	к.ф.-м.н.
6. Пьянова Э. А.	м.н.с.	к.ф.-м.н.
7. Позднякова Н. С.	м.н.с. 0,1 ст.	
8. Иванова Г. И.	техник	

Пененко А. В. – молодой научный сотрудник.

### Педагогическая деятельность

Пененко В. В. – профессор НГУ  
 Пененко А. В. – ст. преподаватель НГУ

### Руководство аспирантами

Сороковая К. Е. – НГУ, руководитель Пененко В. В.

### Защита дипломов

1. Калашникова В. – магистратура ММФ НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.  
 2. Жадамбаева Р. – магистратура ММФ НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.  
 3. Моргун В. – магистратура ММФ НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.  
 4. Федорченко В. М. – бакалавр ММФ НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.  
 5. Нутикова Д. Ю. – бакалавр ММФ НГУ, руководители Пененко В. В., Пененко А. В.

### Руководство студентами

1. Ханхасаева П. Н. – 1-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пененко А. В.  
 2. Белоглазова Т. С. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пененко А. В.  
 3. Байшибаев Д. Ж. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Пененко А. В.

**Лаборатория численного анализа и машинной графики**

Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Мацокин А. М.

**Важнейшие достижения**

Завершен цикл работ по построению экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин. Обоснована возможность численного решения бигармонического уравнения с краевыми условиями защемленного и свободного края посредством решения серии задач для бигармонического оператора с краевыми условиями шарнирного опирания. Для ряда специальных случаев задания краевых условий получены неупрощаемые константы энергетической эквивалентности, что позволяет применять метод Ричардсона с чебышевским набором параметров – менее затратный, чем метод сопряженных градиентов.

Д.ф.-м.н. Сорокин С. Б.

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г.  
в соответствии с планом НИР института**

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

Номер государственной регистрации НИР 01201370224.

Руководители: акад. Коновалов А. Н., д.ф.-м.н. Мацокин А. М., д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

**Раздел 1** "Сопряжено-согласованные модели задач теории упругости и вязкой упругости применительно к задачам геофизики в сложно построенных средах (построение теоретических сейсмограмм)".

По п. 1.1 "Построение теоретических сейсмограмм для трехмерных задач динамики в сложно построенных средах (упругость)" для линейных задач динамики упругого тела в сложно построенных средах завершена разработка общей теории построения и обоснования равновесных и неравновесных дискретных моделей (разностных схем). В неравновесном случае построена явно разрешимая дискретная модель с контролируемым дисбалансом полной механической энергии, степень распараллеливания которой та же, что и у обычных явных разностных схем

По п. 1.2 "Обоснование алгоритма пересчета граничных условий для бигармонического уравнения" завершен цикл работ по построению экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин. Обоснована возможность численного решения бигармонического уравнения с краевыми условиями защемленного и свободного края посредством решения серии задач для бигармонического оператора с краевыми условиями шарнирного опирания. Для ряда специальных случаев задания краевых условий получены неупрощаемые константы энергетической эквивалентности, что позволяет применять метод Ричардсона с чебышевским набором параметров – менее затратный, чем метод сопряженных градиентов.

**Раздел 3.** "Методы декомпозиции решения эллиптических и параболических сеточных задач, методы теории аппроксимации и расчета фотореалистических изображений кристаллов для высокопроизводительных многопроцессорных ЭВМ".

По п. 3.1 "Разработка алгоритма на последовательности вложенных трехмерных сеток для сеточной задачи Дирихле в многограннике" построена структура задания вложенных симплицальных разбиений многогранника.

По п. 3.2 "Разработка программы пересчета двумерных данных методами сплайн-аппроксимации" завершена разработка алгоритма выбора параметра сглаживания для сглаживающего сплайна, основанного на приближении оператора невязки степенными рядами. Исследованы варианты приближений к параметру сглаживания снизу и сверху, предложен алгоритм уточнения приближений, использующий идею экстраполяции функции невязки по длине ряда. В программе пересчета двумерных данных методами сплайн-аппроксимации использованы новые радиальные базисные функции, обобщающие радиальные базисы сплайнов с натяжением, регуляризованных и полностью регуляризованных сплайнов. Реализация предложенных новых конструкций включена в библиотеку программ Sdm.net.

По п. 3.3 "Разработка алгоритма фотореалистического рендеринга сцен, состоящих из кристаллических агрегатов полупрозрачных оптически анизотропных сред (изотропных, одноосных и двуосных окрашенных кристаллов)" разработан робастный (надежный и устойчивый) алгоритм для систем фотореалистического рендеринга сцен и выполнена его последовательная реализация – библиотека LIAC (Light Interaction with Anisotropic Crystals) (регистрационный номер в ФАП СО РАН PR 14011), характеризующаяся:

- унифицированным описанием прозрачных кристаллических объектов и их оптических свойств, расширяемым и согласующимся с общепринятыми подходами спецификации пространственных сцен;

- спецификациями программного интерфейса, которые позволят встраивать библиотеку (алгоритм) в распространенные программные продукты рендеринга пространственных сцен.

Аналогичные разработки с таким охватом кристаллических материалов не известны авторам, особенно если учесть наличие готовой к применению библиотеки программ.

### **Результаты работ по проектам РФФИ**

**Проект РФФИ № 12-07-00386** "Разработка робастного алгоритма рендеринга прозрачных анизотропных кристаллов".

Руководитель проекта – д.т.н. Дебелов В.А.

В целом за трехлетний период работы над проектом наибольшее внимание уделялось разработке методов и алгоритмов взаимодействия неполяризованного и линейно поляризованного света с прозрачными оптически анизотропными (одноосными и двуосными) кристаллическими объектами как элементами пространственной сцены. Разработанный алгоритм позволяет физически обоснованно вычислять внешний вид оптически сложных объектов, состоящих из кристаллических агрегатов различных оптических типов (изотропные, одноосные, двуосные). В результате полученный алгоритм можно встраивать в существующие программы рендеринга, например в системах виртуальной реальности, тем самым расширяя множество реальных объектов, моделируемых в виртуальных сценах.

Даже с теоретической точки зрения для компьютерной графики новыми характеристиками моделирования распространения света являются:

- учет двулучепреломления в двуосных кристаллах;
- физически корректное моделирование взаимодействия света с кристаллическими агрегатами, а не только с монокристаллами;
- физически корректное моделирование взаимодействия света с объектами, составленными из кристаллов различных минералов.

Параллельная реализация алгоритма для графических процессоров типа GeForce фирмы NVidia в рамках технологии OptiX/CUDA существенно (на порядок) сокращает время

расчета изображения кристалла, что позволит встраивать алгоритм и в настольные приложения с интерактивным временем отклика.

Отметим, что разработанные алгоритмы применимы не только к кристаллическим объектам, но и к большинству прозрачных сред, таких как жидкости.

Интернет-ресурс [http://oapmg.sccc.ru/temp\\_crystal\\_tests/](http://oapmg.sccc.ru/temp_crystal_tests/), созданный на этапе 2012 г., дополнен тестом для проверки эффекта вращения плоскости поляризации изотропным оптически активным кристаллом.

**Проект РФФИ № 12-07-00391 "Разработка алгоритма рендеринга полупрозрачных анизотропных кристаллов и металлов с учетом поляризации луча света".**

Руководитель – д.ф.-м.н. Мацокин А. М.

В целом за трехлетний период работы над проектом наибольшее внимание уделялось разработке методов и алгоритмов расчета взаимодействия света с полупрозрачными оптически анизотропными кристаллическими объектами как элементами пространственной сцены. Разработанный алгоритм позволяет физически обоснованно вычислять внешний вид объектов 3D сцен, являющихся кристаллами окрашенных минералов различных оптических типов (изотропные, одноосные, двуосные) высших кристаллических систем, начиная с ромбической.

Видимая окраска полупрозрачных минералов существенно зависит от поляризации проходящего через них света. Оптически активные кристаллы осуществляют поворот плоскости поляризации проходящего в них света. В рамках проекта разработан и реализован алгоритм, обеспечивающий расчет взаимодействия луча поляризованного света с активными изотропными кристаллами.

В целом за время работы над проектом получены следующие важнейшие результаты.

1. Разработана структура данных для представления луча частично эллиптически поляризованного света, характеризующего все параметры, необходимые для планируемых задач рендеринга, в том числе связанные с лучом систему координат и матрицу когерентности, которая меняется внутри кристалла из-за оптической активности. Проведены численные эксперименты по расчету изображений сцен с использованием разработанной структуры.

2. Модифицирован унифицированный алгоритм расчета фотореалистических изображений кристаллических агрегатов оптически анизотропных прозрачных минералов: добавлена возможность расчета кристаллов окрашенных минералов высших кристаллических систем, начиная с ромбической, т. е. появилась возможность учитывать поглощение света средой; добавлена возможность расчета взаимодействия луча эллиптически поляризованного света с оптически активными изотропными кристаллами, т. е. появилась возможность учитывать вращение плоскости поляризации в изотропной среде.

3. За счет упомянутых выше алгоритмов модифицирована библиотека LIAC (Light interaction with anisotropic crystals – расчет взаимодействия поляризованного луча с анизотропными кристаллами), доступная в Фонде алгоритмов и программ СО РАН.

4. Разработан новый метод визуализации поляризации света, который может применяться как для отладки программ расчета фотореалистических изображений 3D сцен, использующих лучи поляризованного света, так и в системах конструирования оптических устройств.

5. Переработан и пополнен новыми тестами Интернет-ресурс [http://oapmg.sccc.ru/crystal\\_tests/](http://oapmg.sccc.ru/crystal_tests/), содержащий систему тестов для верификации алгоритмов фотореалистического рендеринга прозрачных и поглощающих кристаллов и оптически активных изотропных кристаллов.

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

**Программа ОМН РАН № 1.3, проект 1.3.3, подпроект 1.3.3-5 "Экономичные методы в стационарных сеточных задачах для многопроцессорных ЭВМ".**

Руководитель – академик Коновалов А. Н.

На произвольной неравномерной сетке для переменных (в том числе и разрывных) параметров среды построена и обоснована новая разностная схема для сопряженно-операторной модели задачи теплопроводности. В качестве опорного оператора берется оператор из определяющих соотношений. Разностная схема имеет второй порядок точности. Со вторым порядком сходятся не только скалярные сеточные функции (приближения к температуре), но и сеточные вектор-функции (приближения к потоку тепла). Исследование аппроксимации начинается с дискретного аналога опорного оператора. Аппроксимационные свойства дискретного аналога оператора из закона сохранения (однозначно определяемого по дискретному аналогу опорного оператора) вытекают из полученных для опорного оператора результатов.

**Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Математическое моделирование многомерных задач сейсмологии и сейсморазведки на многопроцессорных ЭВМ".**

Руководитель – акад. Коновалов А. Н.

Для линейных задач динамики упругого тела в сложно построенных средах (равновесная задача) построена и обоснована равновесная дискретная модель. Экономичные алгоритмы реализации равновесной дискретной модели порождают неравновесную явно разрешимую модель с дисбалансом полной механической энергии. Построена и обоснована явно разрешимая дискретная модель с управляемым дисбалансом полной механической энергии. Управляющим параметром дисбаланса является  $\omega$ -число Куранта. Например, при  $\omega = 1$  относительный дисбаланс после завершения расчета не превышает двадцати пяти процентов, а при  $\omega = 0,2$  – одного процента.

Разработана параллельная программа расчета сейсмограмм для сложно построенных трехмерных сред и вулканических структур на основе MPI-технологии. Алгоритм этой задачи имеет структуру, идентичную для всех точек пространства вычислений, а именно: в каждой точке значения функций определяются по значениям в соседних точках пространства, поэтому здесь при построении параллельной программы целесообразно использовать метод распараллеливания по данным. Одна из проблем, которую приходится решать при организации параллельных вычислений на системах с распределенной памятью, обычно состоит в выборе способа разделения обрабатываемых данных между вычислительными узлами (MPI-процессами).

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Сорокин С. Б. Построение экономичных дискретных моделей в задачах теории пластин // Докл. Акад. наук. 2014. Т. 454, № 4. С. 392–395 (в базах Scopus, Web of Science).

2. Сорокин С. Б. Обоснование дискретного аналога сопряженно-операторной задачи теплопроводности // СибЖИМ. 2014. Т. 17, № 4(60). С. 98–110. (в базе Scopus)

3. Дебелов В. А., Козлов Д. С. Алгоритм фотореалистического рендеринга окрашенных полупрозрачных кристаллов // Информ. технол. в проектировании и производстве. 2014. № 2. С. 25–30. (в базе РИНЦ)

4. Дебелов В. А. Применение NVidia OptiX для проведения численных экспериментов // Науч. визуализация. Т. 6, № 4. С. 1–10. (в базах РИНЦ, Scopus)

### **Зарубежные издания**

1. Sorokin S. V. Construction of economic discrete models in problems of plate theory // Dokl. Math. 2014. January. Vol. 89, P. 80–83. DOI 10.1134/S1064562414010232. [Electron. resource]. <http://link.springer.com/article/10.1134/S1064562414010232> (перевод с русского).

(в базах Scopus, Web of Science)

2. Rozhenko A. I. On new families of radial basis functions // Constructive Theory of Functions, Sozopol 2013 / K. Ivanov, G. Nikolov, and R. Uluchev, eds. Marin Drinov Academic Publishing House, 2014. P. 221–238. ISBN 978-954-322-811-9.

### **Материалы международных конференций и совещаний**

1. Дебелов В. А. Некоторый опыт применения Nvidia OptiX // Труды 24-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению (ГРАФИКОН'2014), Ростов-на-Дону, 30 сент. – 3 окт. 2014 г. С. 6–8.

2. Козлов Д. С., Дебелов В. А. Физически корректный рендеринг прозрачных оптически активных изотропных кристаллов // Труды 24-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению (ГРАФИКОН'2014), Ростов-на-Дону, 30 сент. – 3 окт. 2014 г. С. 23–26.

### **Свидетельства о регистрации программ и баз данных**

1. Козлов Д. С. Библиотека LIAC: расчет взаимодействия луча света с кристаллами / Регистрационный номер в ФАП СО РАН PR14011. [Электрон. ресурс]. <http://fap.sbras.ru/node/4089>.

### **Прочие издания**

1. Дебелов В. А. Некоторый опыт применения Nvidia OptiX // NVIDIA CUDA Альманах. 2014. Октябрь. С. 9. [Электрон. ресурс]. <http://www.nvidia.ru/docs/IO/141194/CUDA-%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%85-October-2014.pdf>.

2. Дебелов В. А., Козлов Д. С. Локальная модель взаимодействия света с полупрозрачными кристаллами // Тез. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. С. 47.

### **Сдано в печать**

1. Sorokin S. V. Sharp constants of the energy equivalence relation in the method of conversion of boundary conditions for biharmonic equation // J. of Math. Sci. 2015. Vol. 205, N 3 (March 7). P. 464–472. (перевод с русского).

2. Sorokin S. V. Justification of a discrete analog of the conjugate-operator model of the heat conduction problem // Ibid. Vol. 9, N 1. P. 1–15 (перевод с русского).

3. Мокшин П. В., Рожено А. И. О поиске оптимального параметра сглаживающего сплайна // Матем. труды.

### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АМСА–2014), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 6 докладов (Корнеев В. Д., Сорокин С. Б., Дебелов В. А., Козлов Д. С.), из них 1 пленарный (Коновалов А. Н.).

2. 14-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению ГРАФИКОН'2014, Ростов-на-Дону, 30 сент. – 3 окт. 2014 г. – 2 доклада (Дебелов В. А., Козлов Д. С.).

3. Международная научная конференция "Современные проблемы вычислительной математики и математической физики", посвящ. памяти А. А. Самарского, Москва, факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова совместно с ИПМ им. М. В. Келдыша, 16–17 июня 2014 г. – 1 пленарный доклад (Коновалов А. Н.).

4. 10-я Международная конференция "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 24–29 сент. 2014 г. – 1 пленарный доклад (Коновалов А. Н.).

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Коновалов А. Н.:

– член программного комитета Международной научной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

– член программного комитета Международной научной конференции "Современные проблемы вычислительной математики и математической физики", посвященной памяти А. А. Самарского, Москва, факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова совместно с Институтом прикладной математики им. М. В. Келдыша, 16–17 июня 2014 г.

– член оргкомитета 10-й Международной конференции "Сеточные методы для краевых задач и приложения", Казань, 24–29 сент. 2014 г.

2. Дебелов В. А.:

– член оргкомитета 8th International Conference on computer graphics, visualization, computer vision and image processing (CGVCVIP), Lisbon (Portugal), July 17–19, 2014;

– член оргкомитета: 14-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению (ГРАФИКОН'2014), Ростов-на-Дону, 30 сент. – 3 окт. 2014 г.;

– член организационного комитета 22nd International conference in Central Europe on computer graphics, visualization and computer vision (WSCG'2014), Pilsen (Czech Republic), 2–5 June, 2014.

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 2

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 3

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 2

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 4

Публикаций в зарубежных изданиях – 2

Публикаций в материалах международных конференций – 2

Свидетельств о регистрации программ и баз данных в ФАП СО РАН – 1

Публикаций в прочих изданиях – 2

Докладов на конференциях – 13, в том числе 3 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 6

### Кадровый состав

- |                    |               |                      |
|--------------------|---------------|----------------------|
| 1. Мацокин А. М.   | зав. лаб.,    | д.ф.-м.н.            |
| 2. Коновалов А. Н. | советник РАН, | д.ф.-м.н., акад. РАН |
| 3. Дебелов В. А.   | в.н.с.,       | д.т.н.               |

- |                  |                     |           |
|------------------|---------------------|-----------|
| 4. Корнеев В. Д. | с.н.с.,             | к.т.н.    |
| 5. Рожено А. И.  | с.н.с.,             | д.ф.-м.н. |
| 6. Сорокин С. Б. | в.н.с.,             | д.ф.-м.н. |
| 7. Хорсова Г. Е. | ведущ. программист. |           |

#### **Редакция СибЖВМ**

- |                     |                    |  |
|---------------------|--------------------|--|
| 1. Васильева Л. Ф.  | снс, к.ф.-м.н.     |  |
| 2. Козорезова Н. Е. | ведущ. программист |  |
| 3. Минакова Л. А.   | ведущ. программист |  |
| 4. Шелестова Н. И.  | ведущ. редактор    |  |
| 5. Непомнящих Г. И. | инженер.           |  |

#### **Педагогическая деятельность**

- Коновалов А. Н. – профессор НГУ  
Мацокин А. М. – профессор НГУ  
Сорокин С. Б. – профессор НГУ  
Дебелов В. А. – профессор НГУ  
Рожено А. И. – доцент НГУ.

#### **Руководство аспирантами**

1. Козлов Д. С. – 3-й год, НГУ, руководитель Дебелов В. А.

#### **Защита диссертации**

Козлов Д. С. Модель взаимодействия света с прозрачными кристаллами для фотореалистического рендеринга. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ". Защита 30 июня 2014 г.

## Лаборатория математических задач геофизики

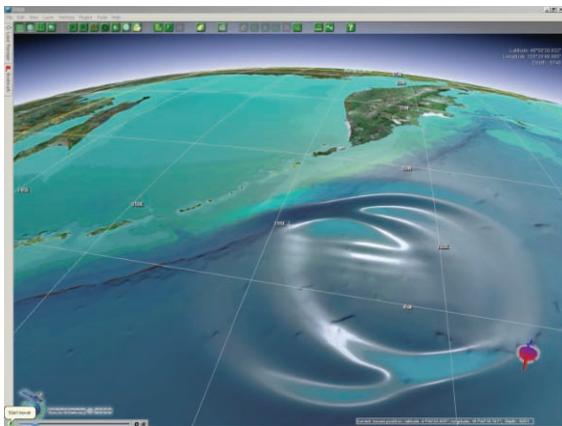
Зав. лабораторией – член-корр. РАН. Кабанихин С. И.

### Важнейшие достижения

**Комплекс алгоритмов и программ численного решения прямых и обратных задач для исследования процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере.**

Член-корр. РАН Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Маринин И. В.

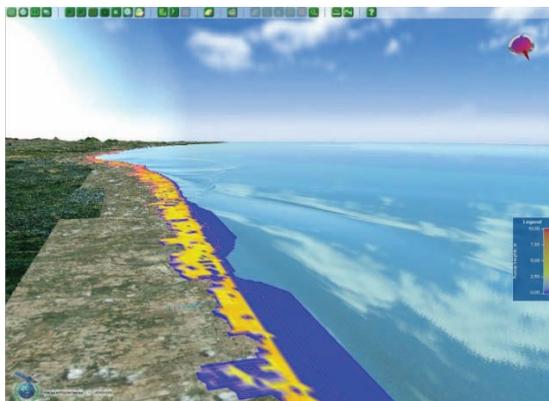
Разработан комплекс алгоритмов и программ численного моделирования и обращения волновых фронтов для оперативного решения прямых и обратных задач электродинамики, акустики и теории упругости. На основе трехмерной геоинформационной системы разработанные алгоритмы используются для моделирования, визуализации, прогнозирования и оценки рисков природных и техногенных катастроф (землетрясения, цунами, наводнения). Результатом численного моделирования прямых и обратных задач явилось создание трехмерных цифровых моделей различных регионов и Земного шара в целом с учетом взаимодействия процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере Земли с оперативным использованием сейсмических, электромагнитных, метеорологических и космических данных.



Численное моделирование Симуширского цунами 15 ноября 2006 г. (Япония)



Историческая база данных землетрясений вблизи Японии



Моделирование наката волны цунами г. Нагапаттинам (Индия)



Визуализация литосферных плит

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Kabanikhin S. I., Bektemesov M. A., Nurseitov D. B., Krivorotko O. I., Alimova A. N. An optimization method in the Dirichlet problem for the wave equation // J. Inverse and Ill-Posed Problems. 2012. V. 20, N 2. P. 193–211. (Impact Factor = 0.593).

2. Kabanikhin S. I., Krivorot'ko O. I. A numerical method for determining the amplitude of a wave edge in shallow water approximation // Appl. Comput. Math. 2013. V. 12, N 1. P. 91–96. (Impact Factor = 0.75).

3. Kabanikhin S. I., Hasanov A., Marinin I. V., Krivorotko O. I., Khidasheli D. A variational approach to reconstruction of an initial tsunami source perturbation // Appl. Num. Math. 2014. V. 83. P. 22–37. (Impact Factor 1.207).

4. Кабанихин С. И., Криворот'ко О. И., Маринин И. В. Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф. Предварительный оперативный анализ и оценка последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. М.: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 96 стр.

### **Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершнным в 2014 г. в соответствии с планом НИР института**

**Проект НИР 1.4.1.1** "Математическое моделирование природных и техногенных геофизических полей в средах сложной геометрии и реологии".

Номер государственной регистрации НИР 01201002449.

Руководитель – акад. РАН Михайленко Б. Г.

**Раздел 1** "Многодисциплинарные математические модели геофизики, теория, численные методы с приложением к практическим задачам сейсморазведки, сейсмологии, нефтедобычи".

Руководитель – член-корр. РАН Кабанихин С. И.

Разработано обоснование существования в атмосфере Земли тороидальных электромагнитных полей, источником которых являются тороидальные электрические токи в жидком ядре Земли и ионосфере.

Найдены дифференциальные законы сохранения (дивергентные тождества вида  $\operatorname{div} F = 0$ ) для семейства произвольных пространственных гладких кривых и законы сохранения для семейства произвольных гладких поверхностей. Соленоидальное векторное поле  $F$  выражается через классические характеристики кривых: базис Френе (касательный орт, главную нормаль и бинормаль), кривизну и кручение – и через классические характеристики поверхностей: нормаль, главные направления, главные кривизны, гауссову и среднюю кривизны. Все эти величины являются векторными и скалярными полями в области, которую сплошь заполняют кривые или поверхности семейства. Найдена также следующая связь между дифференциальной геометрией кривых и дифференциальной геометрией поверхностей: получены формулы, выражающие характеристики поверхностей, образующих семейство, через характеристики ортогональных к ним кривых (векторных линий векторного поля нормалей).

Рассмотрены одномерные прямая и обратная начально-краевые задачи для нелинейной системы уравнений пороупругости. Доказана теорема локальной разрешимости классического решения прямой задачи. Доказана дифференцируемость по Фреше оператора прямой задачи. Получены оценки условной устойчивости обратной задачи.

Исследованы обратные задачи определения акустических и электромагнитных параметров однородного включения в слоистую среду.

Рассмотрена совмещенная постановка обратной задачи совместного использования акустических и электромагнитных данных для определения характеристик однородного включения. Построен оптимизационный алгоритм решения.

Исследована некорректная задача продолжения для уравнения Гельмгольца и для уравнения Лапласа. Доказана корректность прямой задачи и получена оценка устойчивости. Построен метод численной регуляризации задачи продолжения. Показано, что размер области измерения является параметром регуляризации задачи продолжения. Проведен сравнительный анализ численных методов решения обратной задачи методом регуляризации А. Н. Тихонова, методом сингулярного разложения и приемом С. К. Годунова и итерационным методом Ландвебера.

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект № 12-01-00773-а** "Теория и численные методы решения совмещенных обратных задач математической физики".

Руководитель проекта – член-корр. РАН Кабанихин С. И.

Исследована совмещенная постановка прямых и обратных задач для систем уравнений сейсмоакустики, вязкоупругости, упругопластичности. Разработаны численные методы решения совмещенных прямых и обратных задач для уравнений нестационарной теории фильтрации и уравнений Максвелла, проведены серии численных расчетов совмещенной одномерной обратной задачи для уравнения Максвелла и уравнений пористых сред на основе оптимизационного подхода.

Исследована совмещенная обратная задача для проводящих пористых сред (случай поперечных волн) с учетом электрокинетического эффекта. Исследована некорректная задача продолжения для уравнения Гельмгольца и уравнения Лапласа. Доказана корректность прямой задачи и получена оценка устойчивости. Построен метод численной регуляризации задачи продолжения. Показано, что размер области измерения является параметром регуляризации задачи продолжения. Проведен сравнительный анализ численных методов решения обратной задачи методом регуляризации А. Н. Тихонова, методом сингулярного разложения и приемом С. К. Годунова и итерационным методом Ландвебера. Создан комплекс программ для моделирования и анализа геофизических данных на основе решения многомасштабных прямых и обратных совмещенных обратных задач. Решена прямая задача о распространении акустических волн в предварительно напряженной среде (в задаче сейсмической томографии) с учетом объемных и касательных предварительных деформаций, которые могут возникать на границе внутренних слоев. Модель реализована в двумерной постановке на высокопроизводительном компьютере. Исследованы новые совмещенные постановки обратных задач цунами определения источника с использованием подводной и спутниковой информации.

**Проект РФФИ № 13-01-00689** "Математическое моделирование динамики двухскоростных сред со сложной реологией: прямые и обратные задачи".

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Имомназаров Х. Х.

Создана линейная модель композитной среды, составленной из пористой и вязкоупругой компонент, описываемой системой уравнений в частных производных первого порядка в терминах скоростей смещений, давления и тензора напряжений. При отсутствии массовых сил и диссипации энергии статика пористоупругости описывается уравнениями второго порядка относительно тензора напряжений и порового давления. Для полученных систем

уравнений доказана теорема о среднем и показано, что тензор напряжений является бигармонической функцией. Для решения нелинейных прямых задач динамики пороупругости получены уравнения динамики вязкоупругой гранулированной среды, неравновесной по давлению в фазах, учитывающие конечные деформации. Проведена модификация численного алгоритма для моделирования распространения нелинейных колебаний в вязкоупругой пористой среде и исследовано распространение волн в насыщенных гранулированных средах на гидродинамическом фоне. Для решения динамических обратных задач пороупругости построены регуляризирующие алгоритмы. Установлена зависимость параметра регуляризации от ошибок входных данных. Доказана теорема о разрешимости прямой и обратной задач для одномерной нелинейной системы пороупругости. Получена оценка условной устойчивости решения обратных задач пороупругости.

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

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 122.**

Координатор – член-корр. РАН Кабанихин С. И.

**Исследование поступления наночастиц с поверхности легочного эпителия в головной мозг.**

В исследованиях 2013 г. установлено, что легкие одного из представителей норных грызунов – обыкновенной слепушонки – имеют более плотный эпителиальный слой в альвеолах по сравнению с референсным наземным видом – мышью рода *Mus*. В этой связи возникает вопрос о роли эпителиального барьера в защите организма и, прежде всего, головного мозга от твердых наноаэрозолей. Для этого обыкновенным слепушонкам и мышам линий C57BL/6j и BALB/c вводили интратрахеально коллоидный раствор наноразмерных частиц оксида марганца (НЧ). Объем раствора варьировался в соответствии с размерами животных. Слепушонкам вводили 70 мкл, мышам – 45 мкл. Через 24 ч было проведено исследование обонятельных луковиц методом магнитно-резонансной томографии (МРТ), позволяющим оценить по интенсивности T1 взвешенного изображения накопление марганца в структурах мозга (Moshkin et al., 2014).

По интенсивности позитивного контраста на T1 взвешенных изображениях обонятельных луковиц исследуемые животные распределялись следующим образом: мыши линии BALB/c, мыши линии C57BL/6J и обыкновенная слепушонка. Различия между видами и генотипами статистически достоверны (LSD тест). Использование в данной работе интратрахеального введения снимает вопрос о возможном поступлении НЧ в головной мозг по нервным путям обонятельной системы. В данном случае наиболее вероятным является прохождение НЧ через альвеолярный эпителий в кровь и далее в обонятельные луковицы, гематоэнцефалический барьер которых характеризуется более высокой проницаемостью по сравнению с другими отделами мозга.

Таким образом, у роющих передними зубами норных грызунов снижена проницаемость альвеолярного барьера, что указывает на большую плотность межклеточного матрикса. Недавно на виде с близкой экологией – голом землекопе – была установлена удивительная видовая особенность, которая заключается в увеличении молекулярной массы основного вещества межклеточного матрикса – гиалуроновой кислоты.

## 2. Геометрия носовых полостей и особенности осаждения наноразмерных аэрозолей у грызунов различной экологической специализации

В 2014 г. много внимания было уделено совершенствованию методики расчетов, выполнявшихся с помощью пакета FLUENT 12 (ANSYS). Найден прием, в котором условие для ввода субмикронных частиц ставится на поверхности входа в носовую полость при предварительном расчете течения, начиная со сферической поверхности, охватывающей ноздри. Этот прием позволил избежать искусственного выведения за пределы расчетной области значительной доли частиц вследствие броуновского движения.

Проведены расчеты течения в носовой полости для пяти моделей, построенных с помощью графического пакета GAMBIT на основе томографических снимков поперечных сечений носовых полостей трех мышей, слепушонки и хомячка. Шаг сканирования составлял 0.3–0.5 мм.

### Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 14.

Координатор в институте – член-корр. РАН Кабанихин С. И.

Рассмотрена задача рентгеновской томографии об определении функции  $f(x)$  в круге  $D$  по заданным интегралам вдоль прямых линий, соединяющих произвольные точки границы единичного круга. Предполагается, что искомая функция  $f(x)$  является непрерывно дифференцируемой функцией внутри  $D$  всюду, кроме некоторой гладкой связной (многокомпонентной) кривой  $S$ . Ставится задача: по заданным интегралам найти  $S$  и скачки  $f(x)$  на  $S$ . Получены явные формулы, решающую поставленную задачу, после чего исходная задача о построении функции  $f(x)$  сведена к задаче о построении вспомогательной функции, которая уже не имеет разрывов внутри  $D$ . Существует множество алгоритмов, позволяющих находить устойчивое решение последней задачи.

Предыдущая задача обобщена на случай задачи интегральной геометрии, когда требуется найти функцию по ее интегралам вдоль заданного регулярного семейства кривых. Ставится подобная задача об определении линии разрыва  $S$  кусочно-гладкой функции и величины ее скачков на  $S$ . И в этом случае найдены явные формулы, решающую поставленную задачу.

Исследована задача определения температуры и теплового потока на недоступной части границы по результатам измерений на доступной части поверхности исследуемого образца. В случае простой геометрии построена последовательность сингулярных чисел оператора продолжения и проведен анализ разрешающей способности задачи, а также возможности использования априорной информации при численном решении задачи продолжения. Разработан конечно-разностный алгоритм решения прямой и сопряженной задач, которые были использованы в оптимизационном методе решения задачи продолжения. Проведены численные расчеты трехмерной стационарной задачи по восстановлению распределения температуры на недоступной части границы нагреваемой фольги размером  $(10 \times 10 \times 0,1 \text{ см})$  по измеренному тепловизором потоку тепла на стенке фольги, доступной для измерения. Разработанный алгоритм обладает следующими преимуществами. Во-первых, дискретная обратная задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений с матрицей разреженного типа. Во-вторых, исследование убывания сингулярных чисел полученной матрицы позволяет определить степень некорректности дискретно обратной задачи. В-третьих, на основе метода сингулярного разложения можно построить обратную матрицу и получить фундаментальное решение, позволяющее определять распределение температуры на недо-

ступной части фольги для любых измеренных данных обратной задачи. В-четвертых, данный подход с использованием специального типа хранения разреженных матриц позволяет численно решать обратную задачу для достаточно больших сеток.

Исследована нестационарная задача определения температуры и теплового потока на недоступной части границы по результатам измерений на доступной части поверхности исследуемого образца. Задача решалась методом продолжения решения параболического уравнения с данными Коши на плоскости  $x=0$ . Исследована степень некорректности дискретной задачи, построены алгоритмы численного решения, основанные на оптимизационном подходе и методе сингулярного разложения. Разработан новый матричный метод исследования и решения дискретной задачи. Проведен анализ численных расчетов. По результатам работы подготовлена к печати статья.

Исследована задача определения свойств анизотропной упругой среды по сейсмическим данным многократного перекрытия. Разработан численный алгоритм, основанный на сведении задачи к решению уравнений Гельфанда – Левитана. Разработан новый метод решения больших систем уравнений Гельфанда – Левитана, основанный на регуляризации и методе Монте-Карло.

**Программа Президиума РАН № 4, проект 4.9, подпроект "Разработка методов локализации сейсмоопасных зон дилатансии в земной коре на основе модели сейсмических процессов в сложно-построенных (трещиноватых, флюидонасыщенных, упруго-пористых) средах".**

Руководитель – чл-корр. РАН Кабанихин С. И.

В ходе выполнения проекта построена нелинейная модель двухскоростной гидродинамики гетерофазных сред, неравновесных по давлению в фазах. Численно исследованы конвективные течения смеси сжимаемых вязких жидкостей и высокочастотное акустическое воздействие на конвективное течение гетерофазных сред в двухжидкостном приближении. Проведена серия тестовых численных экспериментов. Разработаны новые методы решения прямых и обратных задач для системы уравнений теории упругости, включая задачи определения источников волновых процессов, задачи продолжения сейсмических полей. Построены новые алгоритмы численного решения многомерных обратных задач, основанные на обобщении метода Гельфанда – Левитана – Крейна.

### Публикации

#### Монографии, главы в монографиях

1. Аксенов В. В. Электродинамика тороидальных электромагнитных полей в приложениях. Новосибирск: ИВМиМГ, 2014. 152 с.
2. Кабанихин С. И., Криворотько О. И. Сингулярное разложение в некорректных задачах. Учеб. для вузов. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, НГУ, 2014. 218 с.
3. Mikheeva A. V., Marchuk An. G., Dyadkov P. G. Geoinformation systems for studying seismicity and impact cratering using remote sensing data // Geographic information systems (GIS): Techniques, applications and technologies. *Nantes: Nova Science Publishers (Nantes University)*, 2014. P. 151–216. (в базе *Web of Science*).

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Аксенов В. В. Моделирование тороидальных и полоидальных электромагнитных полей // Математическое моделирование, 2014. Т. 26, № 5. С. 3–24. (в базе *РИНЦ*).

2. Аксенов В. В. Тороидальные электрические токи спокойных солнечно суточных вариаций, применяемых в глубинной электроразведке // Изв ВУЗов. Геология и разведка. 2014. № 2. С. 45–54. (в базе РИНЦ).
3. Имомназаров Х. Х., Имомназаров Ш. Х., Коробов П. В., Холмуродов А. Э. Прямая и обратная задача для нелинейных одномерных уравнений пороупругости // Докл. АН. 2014. Т. 455, № 6. С. 640–642. DOI 10.7868/S0869565214120044. (в базах РИНЦ, Scopus, Web of Science).
4. Imomnazarov Kh. Kh., Zhabborov N. M. Mean value theorem for a system of differential equations for the stress tensor and pore pressure // Журн. СФУ. Сер. Матем. и физ. 2014. Т. 7, N 1. С. 132–138. (в базе РИНЦ).
5. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Применение спектрального метода для численного моделирования сейсмических волн в пористых средах при наличии диссипации энергии // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 2. С. 139–147. DOI 10.1134/S1995423914020050 (в базе РИНЦ, перевод – в базе Scopus)
6. Жабборов Н. М., Имомназаров Х. Х., Коробов П. В. Трехмерные вихревые течения несжимаемых двухскоростных сред в случае постоянства объемной насыщенности веществ // Вестн. НГУ. Сер.: Матем., механ., информ. 2014. № 2. С. 15–23. (в базе РИНЦ)
7. Имомназаров Х. Х., Имомназаров Ш. Х., Маматкулов М. М., Черных Г. Г. Фундаментальное решение для стационарного уравнения двухскоростной гидродинамики с одним давлением // СибЖИМ. 2014. Т. 17, № 4(60). С. 60–66. (в базе РИНЦ; перевод – в базе Scopus)
8. Михеева А. В., Хазанович-Вульф К. К. Следы гравитационного воздействия крупных болидов // Геоинформатика. 2014. № 1. С. 30–41. (в базе РИНЦ)
9. Михеева А. В., Важенин А. П., Дядьков П. Г., Марчук Ан. Г. Изучение пространственно-временного распределения сейсмичности вокруг префектуры Фукусима инструментами системы GIS-EEDB // Там же. № 2. С. 2–13. (в базе РИНЦ).
10. Новиков И. С., Дядьков П. Г., Козлова М. П., Мамедов Г. М., Михеева А. В., Черкас О. В. Неотектоника и сейсмичность западной части Алтае-Саянской горной области, Джунгарской впадины и Китайского Тянь-Шаня // Геология и геофиз. 2014. Т. 55. № 12. С. 1802–1814. (в базе РИНЦ; перевод – в базе Web of Science).
11. Михеева А. В. Изучение структур различного геологического генезиса средствами ГИС-ENDDB // Образов. ресурсы и технол. Геоинформ. в науч. исслед. Арктики. 2014. № 5(8). С. 108–118. (в базе РИНЦ).
12. Podkolodnyy N. L., Afonnikov D. A., Vaskin Yu. Yu., Bryzgalov L. O., Ivanisenko V. A., Demenkov P. S., Ponomarenko M. P., Rasskazov D. A., Gunbin K. V., Protsyuk I. V., Shutov I. Yu., Leontyev P. N., Fursov M. Yu., Bondar N. P., Antontseva E. V., Merkulova T. I., Kolchanov N. A. Program complex SNP-MED for analysis of single-nucleotide polymorphism (SNP) effects on the function of genes associated with socially significant diseases // Rus. J. of Genetics: Appl. Res. 2014. Vol. 4, N 3. P. 159–167. (в базе SCOPUS).
13. Подколотная О. А., Подколотная Н. Н., Подколотный Н. Л. Циркадные часы млекопитающих: генная сеть и компьютерный анализ // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2014. Т. 18, № 4/2. С. 928–938. (в базе РИНЦ; перевод – в базе SCOPUS).
14. Глинский Б. М., Кучин Н. В., Черных И. Г., Орлов Ю. Л., Подколотный Н. Л., Лихошвай В. А., Колчанов Н. А. Суперкомпьютерные технологии в решении задач биоинформатики // Программные системы: теория и приложения: электрон. науч. журн. 2014. [Электрон. ресурс]. [http://2014.nscf.ru/TesisAll/6\\_Supercomputerniy\\_enginiring/15\\_103\\_KuchinNV.pdf](http://2014.nscf.ru/TesisAll/6_Supercomputerniy_enginiring/15_103_KuchinNV.pdf). (в базе РИНЦ)

**Зарубежные издания**

1. Kabanikhin S. I., Hasanov A., Marinin I. V., Krivorotko O. I., Khidasheli D.. A variational approach to reconstruction of an initial tsunami source perturbation // J. Appl. Num. Math. (Elsevier). 2014. V. 83. P. 22–37. DOI 10.1016.j.upnum. 2014.04.008

(в базах Scopus, Web of Science).

2. Kabanikhin S., Shishlenin M. Regularization of continuation problems for parabolic and elliptic equations with data on the part of the boundary// Eurasian J. Math. and Comp. Appl. 2014. V. 2, N 2. P. 81–91.

3. Kabanikhin S. I., Shishlenin M. A., Nurseitov D. B., Nurseitova A. T., Kasenov S. E. Comparative analysis of methods for regularizing an initial boundary value problem for the Helmholtz equation // J. Appl. Math. 2014. V. 2014. Art. ID 786326. 7 pages. [Electron. resource]. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/786326>.

**Материалы международных конференций и совещаний**

1. Имомназаров Х. Х., Янгибоев З. Ш. О первой задаче Дарбу для одной гиперболической системы // Тез. докл. Респ. науч. конф. с участием зарубежных ученых "Неклассические уравнения математической физики и их приложения", Ташкент, 2014 г. С. 57–58.

2. Жабборов Н. М., Имомназаров Х. Х. Система уравнений типа Монжа – Ампера и двухскоростная гидродинамика // Там же. С. 273–274.

3. Имомназаров Х. Х., Холмуродов А. Э. О разрешимости одной прямой и обратной задачи для нелинейной системы уравнений пороупругости // Там же. С. 275–276.

4. Имомназаров Х. Х., Янгибоев З. Ш. О задачах определения структуры слоистой пористой среды и формы импульсного источника // Там же. С. 276–277.

5. Имомназаров Х. Х., Маматкулов М. М. Фундаментальное решение для стационарного двумерного уравнения двухскоростной гидродинамики // Там же. С. 316–317.

6. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Решение задачи распространения сейсмических волн в совмещенной модели вязкоупругой и пористой средах // Там же. С. 317–318.

7. Perepetchko Yu. V., Sorokin K. E., Imomnazarov Kh.Kh. Magma chamber dynamics under the seismic action // Материалы Междунар. конф. "Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле", Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 111–112.

8. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Моделирование распространения сейсмических волн в вязкоупругой и пористой среде с диссипацией энергии // Тез. докл. 8-й Междунар. конф. "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Курчатов (Респ. Казахстан), 2014. С. 57–58.

9. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. Optimization approach to combined inverse tsunami problem // "Inverse problems – from theory to applications" (IPTA2014), Bristol (UK), Aug. 26–28, 2014. P. 102–107.

10. Кабанихин С. И., Криворотько О. И. Об определении параметров биологических моделей, описываемых системами нелинейных дифференциальных уравнений // Труды Междунар. науч. конф. "Поиск и разработка новых противомикробных лекарственных средств", Алматы (Респ. Казахстан), 17–19 сент. 2014 г. С. 36–39.

11. Кабанихин С. И., О.И. Криворотько. Численные методы решения прямых и обратных задач иммунологии // 5-я Междунар. конф. "Математическая биология и биоинформатика", Пушкино, 19–24 окт. 2014 г. С. 144–145.

12. Ильин А. И., Кабанихин С. И., Криворотько О. И. Об определении параметров моделей, описываемых системами нелинейных дифференциальных уравнений // Труды 5-й

Междунар. молодежной науч. шк.-конф. "Теория и численные методы решения прямых и обратных задач" // Сиб. электрон. матем. изв. 2014. Т. 11. С. 4–18. (в базе Scopus).

13. Криворотко О. И., Бобоев К. С., Зятьков Н. Ю. Построение фундаментального решения системы уравнений теории упругости // Там же. (в базе Scopus).

14. Krivorotko O. I. Optimization approach to combined inverse tsunami problem // Там же. С. 86–91. (в базе Scopus).

15. Krivorotko O. I. Fast algorithm for calculation of the moving tsunami wave height // Там же. С. 92–97. (в базе Scopus).

16. Меграбов А. Г. Дифференциальные инварианты и дивергентные формулы (законы сохранения) в дифференциальной геометрии и математической физике // Тез. докл. Всерос. конф. "Новые математические модели механики сплошных сред: построение и изучение", Новосибирск, 18–22 апр. 2014 г. С. 97–98.

17. Меграбов А. Г. Дивергентные формулы и законы сохранения в дифференциальной геометрии и их приложения в математической физике. // Тез. докл. Междунар. конф. "Дни геометрии в Новосибирске", Новосибирск, 24–27 сент. 2014 г. Новосибирск: ИМ СО РАН, 2014. С. 47–48.

18. Mikheeva A. V., Khazanovitch-Wulff K. K. Gravitational large bolides influence on the Earth's surface // European Geosciences Union General Assembly EGU2014. Geophys. Res. Abst., Vienna (Austria), 2014. Vol. 16. EGU2014-2581-1. B540. (27/04-2/05/2014).

19. Mikheeva A. V. Typical structural elements of seismicity and impact crater morphology identified in GIS ENDDDB digital models // European Geosciences Union General Assembly EGU2014. Geophys. Res. Abst. Vienna (Austria), 2014. Vol. 16 EGU2014-3235-2. B541. (27/04-2/05/2014).

20. Kalinnikov I. I., Mikheeva A. V. The GIS-EEDB-system, lineaments and prospects of earthquake prediction // Proc. the of Intern. conf. "Modern information technologies in Earth sciences", Petropavlovsk-Kamchatsky, Sept. 8–13, 2014. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 82–83.

### **Свидетельства о регистрации программ и баз данных в ФАП СО РАН**

1. Криворотко О. И. Программа "Численный метод решения совмещенной обратной задачи для уравнений мелкой воды" // Св-во о регистрации в ФАП СО РАН PR14013. Новосибирск: Фонд алгоритмов и программ СО РАН, 2014.

### **Прочие издания**

1. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Моделирование распространения сейсмических волновых полей в вязкоупругой и пористой среде с диссипацией энергии // Вестн. НЯЦ РК. 2014. Вып. 2(58). С. 71–75.

2. Имомназаров Х. Х. Развитие численных методов решения прямых и обратных задач математической геофизики в ИВМиМГ СО РАН (научный обзор) // Труды шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 2014. С. 18–21.

3. Перепечко Ю. В., Сорокин К. Э., Имомназаров Х. Х. Влияние акустических колебаний на конвекцию в сжимаемой двухжидкостной среде // Труды 17-й Междунар. конф. "Современные проблемы механики сплошной среды", Ростов-на-Дону, 2014. С. 166–169.

4. Ковалевский В. В., Белоносоев А. С. Исследование параметров локализации сейсмических событий подземной сейсмической группой в Приэльбрусье // "Интерэкспо Гео-Сибирь". Новосибирск: СГГА. 2014. № 1. С. 202–206.

5. Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Авроров С. А., Якименко А. А. Локализация сейсмических событий в Приэльбрусье подземной сейсмической группой // Вестн. НЯЦ РК. 2014. Вып. 2. С. 123–128.

6. Ковалевский В. В., Белоносов А. С. Экспериментальные работы с подземной сейсмической группой в Приэльбрусье // Сб. докл. Всерос. конф. "Геофизические методы исследования земной коры", Новосибирск, 8–13 дек. 2014 г.

7. Зятьков Н. Ю., Айзенберг А. А., Ракшаева Е. Ж., Айзенберг А. М. Прототип высоко оптимизированного пакета TWSM для дифракционного моделирования сейсмических волновых полей с адаптацией под GPU-кластер // Труды 5-й Междунар. шк.-конф. "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 2014. Сиб. электрон. матем. изв. 2014. Т. 11. С. 68–74. (в базе Scopus)

8. Криворотько О. И., Бобоев К. С., Зятьков Н. Ю. Построение фундаментального решения системы уравнений теории упругости // Там же. Т. 11. С. 75–85. (в базе Scopus).

9. Ayzenberg A. A., Zyatkov N., Stovas A., Aizenberg A. M. Subsalt Illumination by the feasible Green's function of covering sediments // EAGE/SPE Workshop on Subsalt Imaging "The challenges of subsalt exploration and imaging in deep water of the Middle East and North Africa", Limassol (Cyprus), 16–19 Feb. 2014. SS09.

10. Ракшаева Е. Ж., Зятьков Н. Ю., Нефедкина Т. В., Айзенберг А. М. 3D моделирование волновых полей, отраженных от криволинейных границ, методом МНКВ с модифицированным коэффициентом отражения // 10-й Междунар. науч. конгр. Интерэкспо "ГЕО-Сибирь – 2014", Новосибирск, 16–18 апр. 2014 г. Т. 3. С. 37–42.

11. Ayzenberg A. A., Zyatkov N. Y., Stovas A., Aizenberg A. M. The feasible near-front wavefield below salt overhang in terms of cascade diffraction // Ext. Abst. of the 76th EAGE Conference & Exhibition, Amsterdam (Netherlands), 16–19 June, 2014. We P06 06.

12. Aizenberg A. M., Zyatkov N. Y., Ayzenberg A. A., Rakshaeva E. Z. New concepts of the transmission-propagation operator theory in seismic diffraction modeling and interpretation // Ibid. We P06 07.

13. Белоносов А. С., Шишленин М. А. Задача продолжения для параболического уравнения с данными на части границы // Сиб. электрон. матем. изв. 2014. Т. 11. С. 22–34. (в базе Scopus).

14. Нурсеитов Д. Б., Шишленин М. А., Шолпанбаев Б. Б. Двумерные линеаризованные обратные задачи электродинамики // Сиб. электрон. матем. изв. 2014. Т. 11. С. 145–155. (в базе Scopus).

15. Шишленин М. А. Матричный метод в задачах определения источников колебаний // Сиб. электрон. матем. изв. 2014. Т. 11. С. 161–171. (в базе Scopus).

16. Imomnazarov Kh. Kh. Aboute one combined inverse problem for the equations of porous media and Maxwell's equations // Bull. NCC. Ser.: Mathematical Modeling in Geophysics. 2014. № 17. P. 1–4. (в базе РИНЦ)

17. Imomnazarov Kh. Kh., Imomnazarov Sh. Kh., Mamatqulov M. M., Chernykh E. G. The fundamental solution of the stationary two-velocity hydrodynamics equation with one pressure // Ibid. P. 5–12. (в базе РИНЦ)

18. Imomnazarov Kh. Kh., Korobov P. V., Zhabborov N. M. Three-dimensional vortex flows of incompressible two-velocity media at constant saturation of substances // Bull. NCC. Ser.: Num. Model. in Atmosph. etc. 2014. № 14. P. 17–25. (в базе РИНЦ)

19. Megrabov A. G. On divergence representations of the Gaussian and the mean curvature of surfaces and applications // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2014. N 17. P. 35–45. (в базе РИНЦ)

20. Megrabov A. G. Divergence formulas (conservation laws) for the families of curves and surfaces and applications // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geophys. 2014. N 17. P. 47–55.  
(в базе РИНЦ)
21. Mikheeva A. V. The new tasks of structural geomorphology, resolved by the ENDDDB geoinformation system // Bull. NCC. Ser.: Comput. Center Bull. 2014. N. 17. P. 57–72.  
(в базе РИНЦ)
22. Imomnazarov Kh. Kh., Mikhailov A. A. Numerical modeling of seismic fields in viscoelastic and porous media for dissipative case // Материалы Междунар. конф. "Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле", Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 103.
23. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Численное решение динамической задачи распространения сейсмических волн в двухфазных средах с учетом диссипации энергии // Тез. докл. Междунар. конф. "Успехи механики сплошных сред" (УМСС'2014), Владивосток (о-в Русский), 2014. С. 23.
24. Перепечко Ю. В., Сорокин К. Э., Имомназаров Х. Х. Влияние акустических колебаний на конвекцию в сжимаемой двухжидкостной среде // Тез. докл. 17-й Междунар. конф. "Современные проблемы механики сплошной среды", Ростов-на-Дону, 2014 г. С. 23.
25. Михайлов А. А., Имомназаров Х. Х. Моделирование распространения сейсмических волн в вязкоупругой и пористой среде с поглощением энергии // Тез. докл. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Новосибирск: Академиздат, 2014. С. 92–93.
26. Перепечко Ю. В., Сорокин К. Э., Имомназаров Х. Х. Моделирование нелинейного движения насыщенных гранулированных сред // Там же. С. 35.
27. Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. The identification and refinement of parameters of mathematical models in immunology // Abst. of Intern. conf. "Mathematical models and high performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology", Novosibirsk, June 24–27, 2014. P. 32.
28. Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I., Voronov D. A. Inverse problems for differential equations of pharmacokinetics and immunology // Ibid. P. 33.
29. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. Combined inverse problem for linear shallow water equations // The 7th Intern. conf. "Inverse problems: modeling and simulation" (IPMS-2014), Fethiye (Turkey), May 26–31, 2014. P. 66.
30. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. Singular value decomposition in inverse problems // Ibid. P. 11.
31. Kabanikhin S., Krivorotko O., Zyatkov N. The numerical solution of the direct and inverse problems of isotropic elasticity // Ibid. P. 62.
32. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I., Boboev K. S., Zyatkov N. Y. Construction of fundamental solution of elasticity theory equations // Тез. докл. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Новосибирск: Академиздат, 2014. С. 57.
33. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. Combined inverse problem for linear shallow water equations // Там же. С. 57.
34. Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Коновалова Д. В. Локализация сейсмических событий в Приэльбрусье подземной сейсмической группой // Там же.
35. Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Авроров С. А., Якименко А. А. Локализация сейсмических событий в Приэльбрусье подземной сейсмической группой // 8-я Междунар.

конф. "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Курчатов (Респ. Казахстан), 4–8 авг. 2014 г.

36. Ковалевский В. В., Белоносов А. С. Экспериментальные работы с подземной сейсмической группой в Приэльбрусье // Всерос. конф. "Геофизические методы исследования земной коры", Новосибирск, 8–13 дек. 2014 г.

37. Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Voronov D. A. Numerical solution of inverse problem of pharmacokinetics. Identifiability of compartmental models // Abst. of the Intern. conf. "Mathematical models and high performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology", Novosibirsk, June 24–27, 2014. P. 34.

38. Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Voronov D. A. Numerical solutions of the inverse problem of pharmacokinetics // Abst. of the Intern. conf. on inverse problems in engineering, Cracow (Poland), May 12–15, 2014. P. 79.

39. Воронов Д.А., Ильин А.И., Кабанихин С.И. Численное решение обратных задач фармакокинетики. Идентифицируемость камерных моделей // Тез. докл. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Новосибирск: Академиздат, 2014.

40. Черных И., Кабанихин С. И., Воронов Д. А. Решение прямых и обратных задач фармакокинетики с помощью пакета ChemPAK // Там же.

41. Kabanikhin S. I., Voronov D. A. Mathematical modeling in pharmacokinetics. Identifiability concepts. Numerical solutions // Abst. of the Intern. sci. conf. "Discovery and development of new anti-infectious drugs", Almaty, Sept. 17–19, 2014. P. 22.

42. Voronov D. A., Chernykh I. G. Исследование и идентификация математических моделей биологии. Численное решение прямых и обратных задач фармакокинетики с использованием суперЭВМ // 5-я Междунар. конф. "Математическая биология и биоинформатика", Пущино (Московская обл.), 19–24 окт. 2014 г. С. 94.

43. Воронов Д. А. Численное решение прямых и обратных задач фармакокинетики // Междунар. конф. "Математические модели биологии и медицины: построение, исследование и идентификация", Алматы (Респ. Казахстан), 8–14 дек. 2014 г.

44. Воронов Д. А. Математические модели в фармакокинетики // Междунар. науч. конф. "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Алматы (Респ. Казахстан), 8–14 дек. 2014 г.

45. Novikov N. S. Numerical methods for solving Gel'fand-Levitan-Krein equation // The 7th Intern. conf. "Inverse problems: Modeling and simulation", 2014. P. 54.

46. Новиков Н. С. Численные методы решения уравнения Гельфанда – Левитана – Крейна // Тез. докл. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Новосибирск: Академиздат, 2014.

47. Zyatkov N., Ayzenberg A., Aizenberg A. M. Highly-optimized TWSM algorithm for seismic diffraction modeling adapted for GPU cluster // Ibid. P. 37.

48. Лужецкий В. Г. Биогенные газогидраты в донных отложениях на озерах Байкал и Телецкое // Тез. докл. конф. "Газовые гидраты в экосистеме Земли", Новосибирск, 2014. С. 70.

49. Мергябов А.Г. Дивергентные формулы и законы сохранения в дифференциальной геометрии и их приложения в математической физике // Тез. докл. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. Новосибирск: Академиздат, 2014. С. 102–103.

50. Mikheeva A. V., Dyadkov P. G. Modifications of the GIS-EEDB-system for studying a spatial-temporal distribution of seismicity in the Far East areas // Proc. of the Intern. conf. "Modern information technologies in Earth sciences", Petropavlovsk-Kamchatsky, Sept. 8–13, 2014. Владивосток: Дальнаука, 2014. P. 150.

#### **Сдано в печать**

1. Ильин А. И., Кабанихин С. И., Воронов Д. А. Универсальный подход к решению обратной задачи фармакокинетики в случае произвольного количества камер // Труды 5-й Междунар. шк.-конф. "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 2014. Сиб. электрон. матем. изв.

2. Ильин А. И., Кабанихин С. И., Воронов Д. А. Численное решение обратной задачи фармакокинетики для трехкамерной фармакокинетической модели с внутрисосудистым способом введения препарата // Там же.

3. Novikov N. S. Comparative analysis of numerical methods for solving M. G. Krein equation // Там же.

4. Novikov N. S., Shishlenin M. A. Numerical methods for solving multidimensional Gel'fand–Levitan equation // Там же.

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. Международная конференция по актуальным проблемам вычислительной и прикладной математики 2014 (АПВПМ'14), 8–11 июня 2014 г. – 11 докладов (Аксенов В. В.; Михайлов А. А., Имомназаров Х. Х.; Перепечко Ю. В., Сорокин К. Э., Имомназаров Х. Х.; Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I., Boboev K. S., Zyatkov N. Y.; Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I.; Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Коновалова Д. В.; Воронов Д. А., Ильин А. И., Кабанихин С. И.; Черных И., Кабанихин С. И., Воронов Д. А.; Новиков Н. С.; Zyatkov N., Auzenberg A., Aizenberg A. M.; Меграбов А. Г.).

2. Республиканская научная конференция с участием зарубежных ученых "Неклассические уравнения математической физики и их приложения", Ташкент, 23–25 окт. 2014 г. – 6 докладов (Имомназаров Х. Х., Янгибоев З. Ш.; Жабборов Н. М., Имомназаров Х. Х.; Имомназаров Х. Х., Холмуродов А. Э.; Имомназаров Х. Х., Янгибоев З. Ш.; Имомназаров Х. Х., Маматкулов М. М.; Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А.).

3. International conference "Modern information technologies in Earth sciences", Petropavlovsk-Kamchatsky, Sept. 8–13, 2014. – 4 доклада (Imomnazarov Kh. Kh., Mikhailov A. A.; Perepechko Yu. V., Sorokin K. E., Imomnazarov Kh. Kh.; Kalinnikov I. I., Mikheeva A. V.; Mikheeva A. V., Dyadkov P. G.).

4. Международная конференция "Успехи механики сплошных сред" (УМСС'2014), приуроченная к 75-летию акад. В. А. Левина, Владивосток (о-в. Русский), 2014, 28 сент. – 4 окт. 2014 г. – 1 доклад (Перепечко Ю. В., Сорокин К. Э., Имомназаров Х. Х.).

5. Международная конференция "Современные проблемы механики сплошной среды", посвященная 80-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации В. И. Юдовича, Ростов-на-Дону, 14–17 окт. 2014 г. – 1 доклад (Перепечко Ю. В., Сорокин К. Э., Имомназаров Х. Х.).

6. 8-я Международная конференция "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", г. Курчатов (Республика Казахстан), 4–8 авг. 2014 г. – 2 доклада (Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А.; Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Авроров С. А., Якименко А. А.).

7. International conference "Mathematical Models and High Performance Computing in Bioinformatics, Biomedicine and Biotechnology", Novosibirsk, June 24–27, 2014 – 3 доклада

(Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I.; Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I., Voronov D. A.; Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Voronov D. A.; M. Shishlenin).

8. EGU General Assembly 2014, Vienna (Austria), Apr. 27–May 2, 2014 – 2 доклада (Kabanikhin S., Krivorotko O., Marinin I.; Kabanikhin S., Krivorotko O.).

9. The 7th International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation" (IPMS-2014), Fethiye (Turkey), May 26–31, 2014 – 6 докладов (Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I.; Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I.; Kabanikhin S., Krivorotko O., Zyatkov N.; Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Voronov D. A.; Novikov N. S.; Shishlenin M.).

10. Inverse problems – from theory to applications (IPTA2014), Bristol (UK), Aug. 26–28, 2014 – 1 доклад (Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I.).

11. Международная научная конференция "Поиск и разработка новых противомикробных лекарственных средств", Алматы (Респ. Казахстан), 17–19 сент. 2014 г. – 1 доклад (Кабанихин С. И., Криворотко О. И.).

12. 5-я Международная конференция "Математическая биология и биоинформатика", г. Пущино, Россия, 19–24 окт. 2014 г. – 2 доклада (Кабанихин С. И., Криворотко О. И.; Voronov D. A., Chernykh I. G.).

13. 5-я Международная молодежная научная конференция "Теория и численные методы решения прямых и обратных задач", Алматы (Респ. Казахстан), 8–12 дек. 2014 г. – 1 доклад (Ильин А. И., Кабанихин С. И., Криворотко О. И.; Криворотко О. И., Бобоев К. С., Зятков Н. Ю.; Krivorotko O. I.; Krivorotko O. I.).

14. Юбилейный 10-й Международный научный форум "Интерэкспо Гео-Сибирь – 2014", Новосибирск, 16–18 апр. 2014 г. – 1 доклад (Ковалевский В. В., Белоносов А. С.).

15. Всероссийская конференция "Геофизические методы исследования земной коры", посвященная 100-летию со дня рождения акад. Н. Н. Пузырева, 8–13 дек. 2014 г. – 1 доклад (Ковалевский В. В., Белоносов А. С.).

16. International conference on inverse problems in engineering, Cracow (Poland), 12–15 мая 2014 г. – 1 доклад (Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Voronov D. A.).

17. Conference on discovery and development of new anti-infectious drugs, Sept. 17 –19, 2014 – 1 доклад (Kabanikhin S. I., Voronov D. A.).

18. Международная научная конференция "Бесконечномерный анализ, стохастика, математическое моделирование: новые задачи и методы". Москва, 15–18 дек. 2014 г. – 1 доклад (Воронов Д. А.).

19. Международная конференция "Математические модели биологии и медицины: построение, исследование и идентификация", Алматы (Респ. Казахстан), 8–14 дек. 2014 г. – 3 доклада (Воронов Д. А.; Imomnazarov Kh. Kh.).

20. Всероссийская научная конференция молодых ученых и студентов, посвященная 80-летию акад. А. Э. Конторовича, Новосибирск, 10–15 февр. 2014 г. – 1 доклад (Зятков Н. Ю., Айзенберг А. А., Айзенберг А. М.).

21. 15-я Международная конференция "Супервычисления и математическое моделирование", г. Саров, 13–17 окт. 2014 г. – 1 доклад (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

22. Международная конференция "Алгоритмический анализ неустойчивых задач", Челябинск, 10–14 нояб. 2014 г. – 2 доклада (Кабанихин С. И., Шишленин М. А.).

23. International conference on inverse problems and related topics, 2014, Dec 15 - Dec 19, 2014 – 1 доклад (С. И. Кабанихин, М. А. Шишленин.).

24. Росс. конф. "Газовые гидраты в экосистеме Земли", Новосибирск, 07.04-10.10.2014 – 1 доклад (Лужецкий В. Г.).

25. Всероссийская конференция "Новые математические модели механики сплошных сред: построение и изучение", приуроченная к 95-летию акад. Л. В. Овсянникова, Новосибирск, 18–22 апр. 2014 г. – 1 доклад (Меграбов А. Г.).
26. Международная конференция, посвященная 85-летию акад. Ю. Г. Решетняка, Новосибирск, 24–27 сент., 2014 г. – 1 доклад (Меграбов А. Г.).
27. European Geosciences Union General Assembly EGU2014, Vienna (Austria), Apr. 27–May 2, 2014 – 2 доклада (Kalinnikov I. I., Mikheeva A. V.; Mikheeva A. V.).
28. 2-я Международная конференция "Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования Земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов", Санкт-Петербург, 22–24 апр. 2014 г. – 1 доклад (Михеева А. В.).
29. International conference on inverse problems and related topics, Dec. 15–19, 2014 – 1 доклад (Shishlenin M.).

### Участие в оргкомитетах конференций

#### 1. Имомназаров Х. Х.:

- член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АПВПМ-2014), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;
- член оргкомитета конференции молодых ученых по вычислительной математике и информатике, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г.;
- член программного комитета Респ. науч. конф. с участием зарубежных ученых "Неклассические уравнения математической физики и их приложения", Ташкент, 23–25 окт. 2014 г.;
- член программного комитета Междунар. науч. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий" (Аль-Хорезми – 2014", Самарканд, 17–19 сент. 2014 г.;
- члены оргкомитета школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.

#### 2. Кабанихин С. И.

- член оргкомитета школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.;
- председатель программного комитета 6-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Алматы (Респ. Казахстан), 8–14 дек. 2014 г.;
- председатель программного комитета Международной конференции "Математические модели биологии и медицины: построение, исследование и идентификация", Алматы (Респ. Казахстан), 8–12 дек. 2014 г.;
- председатель программного комитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г.;
- член программного комитета школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.;
- зам. председателя программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВПМ-2014), 8–11 июня 2014 г.;

– зам. председателя оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АПВПМ-2014), 8–11 июня, 2014 г.;

– зам. председателя программного комитета Международной конференции "Inverse Problems: Modeling and Simulation" (IPMS-2014), Фетхие (Турция), 26–31 мая 2014 г.

3. Подколотный Н. Л. – зам. председателя оргкомитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г.

4. Шишленин М. А.

– зам. председателя оргкомитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г.;

– член оргкомитета Международной конференции "Inverse Problems: Modeling and Simulation" (IPMS-2014), Фетхие (Турция), 26–31 мая 2014 г.;

– председатель оргкомитета 6-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Алматы (Респ. Казахстан), 8–14 дек. 2014 г.;

– председатель оргкомитета Международной конференции "Математические модели биологии и медицины: построение, исследование и идентификация", Алматы (Респ. Казахстан), 8–12 дек. 2014 г.

5. Криворотько О. И.

– ученый секретарь оргкомитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24-27 июня 2014 года;

– член оргкомитета Международной конференции "Inverse Problems: Modeling and Simulation" (IPMS-2014), Фетхие (Турция), 26–31 мая 2014 г.;

– зам. председателя оргкомитета 6-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Алматы (Респ. Казахстан), 8–14 дек. 2014 г.;

– зам. председателя оргкомитета Международной конференции "Математические модели биологии и медицины: построение, исследование и идентификация", Алматы (Респ. Казахстан), 8–12 дек. 2014 г.

### **Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 4

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 19

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 18

Монографий, глав в монографиях – 3

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 14

Публикаций в зарубежных изданиях – 3

Публикаций в материалах международных конференций – 20

Свидетельств о регистрации программ и баз данных в ФАП СО РАН – 1

Публикаций в прочих изданиях – 50

Докладов на конференциях – 71, в том числе 12 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 15

**Кадровый состав**

- |                       |           |                     |
|-----------------------|-----------|---------------------|
| 1. Кабанихин С. И.    | зав. лаб. | чл.-корр. РАН       |
| 2. Аксенов В. В.      | г.н.с.    | д.ф.-м.н.           |
| 3. Имомназаров Х. Х.  | в.н.с.    | д.ф.-м.н.           |
| 4. Меграбов А. Г.     | в.н.с.    | д.ф.-м.н.           |
| 5. Белоносов А. С.    | с.н.с.    | к.ф.-м.н.           |
| 6. Белоносова А. В.   | с.н.с.    | 0.75 ст., к.ф.-м.н. |
| 7. Лужецкий В. Г.     | с.н.с.    | 0.5 ст., к.т.н.     |
| 8. Шишленин М. А.     | с.н.с.    | к.ф.-м.н.           |
| 9. Михеева А. В.      | н.с.      | к.ф.-м.н.           |
| 10. Подколодный Н. Л. | с.н.с.    |                     |
| 11. Виноградов С. П.  | н.с.      | 0.5 ст.             |
| 12. Криворотько О. И. | м.н.с.    |                     |
| 13. Маринин И. В.     | ведущ.    | программист         |
| 14. Чесноков В. В.    | ведущ.    | Программист         |
| 15. Юдина О. А.       | ведущ.    | программист         |
| 16. Морозов С. А.     | ведущ.    | инженер             |
| 17. Воронов Д. А.     | инженер   |                     |
| 18. Новиков Н. С.     | инженер   |                     |
| 19. Шерстюгина Л. П.  | техник    | 1-й кат.            |
- Криворотько О. И. – молодой научный сотрудник.

**Педагогическая деятельность**

- |                   |  |
|-------------------|--|
| Аксенов В. В.     | – зав. кафедрой Информатики, профессор Сиб УПК |
| Белоносов А. С.   | – доцент НГУ                                   |
| Имомназаров Х. Х. | – преподаватель НГУ                            |
| Кабанихин С. И.   | – профессор НГУ                                |
| Меграбов А. Г.    | – профессор НГТУ                               |
| Михеева А. В.     | – доцент ВКИ НГУ                               |
| Подколодный Н. Л. | – старший преподаватель НГУ                    |
| Шишленин М. А.    | – старший преподаватель НГУ                    |
| Криворотько О. И. | – преподаватель НГУ                            |

**Руководство аспирантами**

1. Васильев Г. С. – 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Имомназаров Х. Х.
2. Воронов Д. А. – 3-й год, ММФ НГУ, руководители: Кабанихин С. И., Шишленин М. А.
3. Новиков Н. С. – 3-й год, ММФ НГУ, руководители: Кабанихин С. И., Шишленин М. А.

**Руководство студентами**

1. Галактионова А. А. – 3-й курс НГУ, руководитель Белоносов А. С.
2. Кайгородцева А. А. – 3-й курс НГУ, руководитель Белоносов А. С.
3. Кириленко А. В. – 3-й курс НГУ, руководитель Белоносов А. С.
4. Леваева А. В. – 3-й курс НГУ, руководитель Белоносов А. С.
5. Максимова А. Г. – 3-й курс НГУ, руководитель Белоносов А. С.
6. Тагильцев И. И. – 3-й курс НГУ, руководитель Белоносов А. С.

## Лаборатория численного моделирования сейсмических полей

И.о зав. лабораторией д.ф.-м.н. Фатьянов А. Г.

### Важнейшие достижения

#### **Численное решение методом конечных элементов с мультипликативным выделением особенности задач теории упругости и уравнений Максвелла.**

Рассмотрена начально-краевая задача для системы уравнений Максвелла в ограниченной области с гладкой границей на конечном временном интервале с новыми граничными условиями с памятью. В подходящих функциональных пространствах определен и исследован несамосопряженный оператор, порождаемый оператором Максвелла при граничном условии с памятью. Операторным методом доказана теорема существования и единственности решения начально-краевой задачи.

Изучены вопросы численного решения методом конечных элементов (МКЭ) первой краевой задачи для эллиптического уравнения с вырождением на части границы. В соответствующих задаче функциональных пространствах с согласованными весами рассмотрены слабая и сильная вариационные постановки. Используя прием мультипликативного выделения особенности для МКЭ с использованием кусочно-линейных элементов, доказана сходимость в весовой норме приближенного решения к точному решению с оценкой не хуже, чем в случае эллиптического уравнения без вырождения.

Д.ф.-м. н. Урев М. В.

#### **Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 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 01201370299.

Руководитель – акад. Михайленко Б. Г.

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). Решение задачи на грубой и на мелкой сетках требует использования высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой. Для реализации параллельных вычислений используется трехмерная декомпозиция области: каждый элементарный объем приписывается своему процессорному элементу. Проведены численные расчеты для реалистичных моделей карбонатных резервуаров, содержащих коридоры трещиноватости. С помощью разработанного нового параллельного программного продукта удалось показать проявление ориентации этих коридоров в рассеянных волновых полях.

Рассмотрена начально-краевая задача для системы уравнений Максвелла в ограниченной области с гладкой границей на конечном временном интервале с новыми граничными условиями с памятью. В подходящих функциональных пространствах определен и исследован

дован несамосопряженный оператор, порождаемый оператором Максвелла при граничном условии с памятью. Операторным методом доказана теорема существования и единственности решения начально-краевой задачи.

Изучены вопросы численного решения методом конечных элементов (МКЭ) первой краевой задачи для эллиптического уравнения с вырождением на части границы. В соответствующих задаче функциональных пространствах с согласованными весами рассмотрены слабая и сильная вариационные постановки. Используя прием мультипликативного выделения особенности для МКЭ с использованием кусочно-линейных элементов, доказана сходимость в весовой норме приближенного решения к точному решению с оценкой не хуже, чем в случае эллиптического уравнения без вырождения.

Разработан аналитический метод расчета волновых полей в средах 2D геометрии. В итоге получен алгоритм, позволяющий моделировать волновые поля для блоковой геометрии сред. Это позволило проводить моделирование для значительных пространственно-временных масштабов, например, для модели упругой Луны, в которой имеется приповерхностная зона малых скоростей (ЗМС) в случае значительных пространственно-временных масштабов (часовые записи экспериментальных данных). Реальные лунные сейсмограммы заметно отличаются от сейсмограмм, полученных на Земле. Наиболее характерная особенность лунных сейсмограмм – значительная длительность сейсмического сигнала, превосходящая часовые записи. Результаты моделирования показывают, что при наличии в среде ЗМС возникает сейсмический "звон", что приводит к значительному увеличению длительности записи сейсмического сигнала. Таким образом, длительность сейсмического "звона" на Луне в первом приближении можно объяснить резонансными явлениями, возникающими в волновом поле при наличии тонкого низкоскоростного слоя (реголита), без привлечения эффектов рассеяния за счет высокой степени неоднородности среды.

Создан параллельный алгоритм пошагового метода Лагерра для решения динамических задач теории упругости для случая 2D моделей сред. Алгоритм основан на комплексировании конечно-разностного метода по пространственным переменным (схема Верье) и пошагового алгоритма Лагерра по времени. Выполнена программная реализация разработанного алгоритма на гибридных параллельных вычислительных системах.

Выполнена разработка параллельного спектрально-разностного алгоритма для моделирования динамики акустических и упругих волновых полей в присутствии сложного рельефа местности. Анализ результатов первых вычислительных экспериментов при моделировании акустических волновых и упругих полей показал, что применение ступенчатой аппроксимации для моделирования взаимодействий упругих волн с криволинейной границей приводит к существенному нефизическому рассеиванию P,S и особенно Релеевских волн. Поэтому используются более точные схемы для описания поведения акустических и упругих волн на границе раздела сред.

Разработан параллельный алгоритм для численного моделирования распространения волн в двумерных средах с криволинейной свободной поверхностью. Алгоритм основан на построении в исходной области постановки задачи криволинейной сетки, согласованной с геометрией границ моделируемой области, с последующим отображением ее в прямоугольную область с равномерной сеткой. Для решения задачи в прямоугольной области используется комплексирование ранее разработанного пошагового метода Лагерра по времени с конечно-разностным методом по пространственным переменным. Проведено численное моделирование распространения волн в средах с криволинейными свободными поверхностями различных типов.

Получены эффективные коэффициенты для уравнений Максвелла, если проводимость и диэлектрическая проницаемость описываются коррелированными мультипликативными стохастическими каскадами. Для решения задачи использован метод подсеточного моделирования. Создано программное обеспечение и проведены численные расчеты трехмерных задач для проверки полученных теоретических результатов

Создан анизотропный вариант 2D программы с индукционно-гальваническим возбуждением. Модифицирована предыдущая, изотропная версия программы. Проведена серия расчетов для выявления особенностей поведения электромагнитных сигналов для зондов с индукционно-гальваническим возбуждением в сильноконтрастных анизотропных средах и типичных геоэлектрических моделях пластов-коллекторов.

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

Номер государственной регистрации НИР 01201370231.

Руководители: акад. Михайленко Б. Г., д.ф.-м.н. Вшивков В. А., д.ф.-м.н. Свешников В. М.

### **Результаты работ по проектам Российского научного фонда**

**Проект РНФ "Высокопроизводительные технологии моделирования электрофизических процессов и устройств".**

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

Исполнитель – д.ф.-м.н. Урев М. В.

Рассмотрена начально-краевая задача для системы уравнений Максвелла в ограниченной области с гладкой границей на конечном временном интервале с новыми граничными условиями с памятью. В подходящих функциональных пространствах определен и исследован несамосопряженный оператор, порождаемый оператором Максвелла при граничном условии с памятью. Операторным методом доказана теорема существования и единственности решения начально-краевой задачи.

### **Результаты работ по проектам РФФИ**

**Проект РФФИ № 13-05-00076-а "Разработка иерархии вычислительных моделей и численных методов, ориентированных на супер-ЭВМ с гибридной архитектурой, для описания сейсмических волновых процессов в разномасштабных средах с флюидонасыщенной микроструктурой".**

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Решетова Г. В.

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.

**Проект РФФИ № 14-05-867 "Численное моделирование взаимодействия сейсмических и акустических волн в неоднородной модели Земля- Атмосфера с учетом стратификации ветра".**

Руководитель проекта – Мартынов В. В.

Разработаны и численно реализованы алгоритмы для исследования особенностей распространения и взаимогенерации сейсмических и акусто-гравитационных волн на границе

раздела неоднородной упругой среды и неоднородной атмосферы с учетом стратификации ветра в атмосфере в случае источников различного типа. Созданы варианты реализующих данные алгоритмы программ, позволяющих проводить численные расчеты на современных высокопроизводительных многопроцессорных системах. Проведены вычислительные эксперименты, в результате которых исследовано влияние ветра на характер распространения волн Стоунли (изменение скорости, конфигурация фронта волны, перераспределение энергии в фронте) для случаев, когда скорость звука больше или меньше скорости волн в упругой среде вблизи поверхности.

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

**Программа Президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Вычислительные, информационные управляющие и интеллектуальные технологии и системы в задачах математического моделирования"**

Руководитель – акад. РАН Михайленко Б. Г.

Разработка новых численных моделей сложных многомерных геофизических и атмосферно-физических процессов.

На основе пошагового метода Лагерра разработаны алгоритмы и созданы параллельные программы для моделирования распространения упругих волн в сложно построенных средах с криволинейной свободной поверхностью. Предполагается реализация для современных гибридных вычислительных комплексов.

**Программа Президиума РАН № 4, проект № 4.9 "Природная среда России: проблемы моделирования сейсмоопасных зон, мониторинга загрязнения окружающей среды и изменения климата"**

Руководитель – акад. РАН Михайленко Б. Г.

Разработка методов решения прямых и обратных задач для локализации сейсмоопасных зон дилатансии в земной коре на основе модели сейсмических процессов в сложно построенных средах.

Разработаны алгоритмы и программы для исследования влияния акустических волн на свободную конвекцию двухфазных сжимаемых сред

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 130.**

Руководитель – акад. РАН Михайленко Б. Г.

Исполнитель – к.ф.-м.н. Терехов А. В.

Для решения линейных уравнений с матрицей  $T$  на основе модификации алгоритма дихотомии в рамках исследования предложены и реализованы параллельные процедуры для решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональными Теплицевыми матрицами. Учет структуры Теплицевых матриц позволил значительно сократить объем подготовительных вычислений алгоритма дихотомии и эффективно решать не только серию, но и одну систему уравнений. На примере решения 2D/3D уравнения Пуассона для широкого диапазона числа процессоров (от 32 до 16384) показано, что точность расчетов сопоставима с последовательным вариантом метода прогонки.

**Проект фундаментальных исследований № 54, выполняемых совместно организациями СО РАН, ДВО РАН "Развитие методов математического моделирования геофизических**

полей и экспериментальные исследования геодинамических процессов в сейсмоопасных и вулканических зонах".

Руководитель – акад. РАН Михайленко Б. Г.

Развит алгоритм моделирования сейсмических волновых полей для значительных пространственно-временных масштабов на "обычных" компьютерах. Это позволило, например, проводить расчеты волновых полей и для источников вибрационного типа, которые характеризуются большими пространственными размерами и длиной записи экспериментальных данных.

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Бурмин В. Ю., Кравцов Д. С., Лукьянов И. В., Фатьянов А. Г. Численное моделирование SH-волны в неоднородной неупругой Земле // Геофиз. исслед. 2014. Т. 15, № 2. С. 5–14. (в базе РИНЦ)

2. Протасов М. И., Решетова Г. В., Чеверда В. А. Выявление зон трещиноватости на основе взвешенного суммирования многокомпонентных данных и спектрального анализа изображений // Технол. сейсморазведки. 2014. № 1. С. 59–66. (в базе РИНЦ)

3. Неведрова Н. Н., Санчаа А. М., Суродина И. В. Характеристики разломных структур по данным электрических зондирований. Моделирование разломов // Геофиз. исслед. 2014. Т. 15. № 3. С. 83–94. (в базе РИНЦ)

4. Соболева О. Н., Курочкина Е. П. Эффективные коэффициенты в задаче распространения акустических волн в многомасштабной изотропной среде // Вычисл. технол. 2014. Т. 19. № 6. С. 112–120. (в базе РИНЦ)

5. Перепечко Ю. В., Роменский Е. И., Решетова Г. В., Перепечко Л. Н., Малышкин В. Э., Калгин К. В., Киреев С. Е., Остапкевич М. Б. Нелинейная акустика и режимы фильтрации в пористых средах // Суперкомпьютер. технол. в науке, образ. и промышл. 2014. С. 119–126. (в базе РИНЦ)

6. Михайленко Б. Г., Фатьянов А. Г. Численно-аналитическое моделирование волновых полей для сред сложного строения и структуры // СибЖВМ. 2014. № 2. С. 163–176. (в базах РИНЦ, Scopus)

7. Михайленко Б. Г., Михайлов А. А. Численное моделирование распространения сейсмических и акусто-гравитационных волн для модели "Земля – Атмосфера" при наличии ветра в атмосфере // СибЖВМ. 2014. № 2. С. 149–162. (в базах РИНЦ, Scopus)

8. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Применение спектрального метода для численного моделирования сейсмических волн в пористых средах при наличии диссипации энергии // СибЖВМ. 2014. № 2. С. 139–147. (в базах РИНЦ, Scopus)

#### Зарубежные издания

1. Urev M. V. On the Maxwell system under impedance boundary conditions with memory // Sib. Math. J. 2014. V. 55, N 3. P. 548–563. (в базах Scopus, Web of Science)

2. Skopin I. N., Tribis D. Yu. A method for solving mass point-in-covering problems for arbitrary coverings using GPU // Progr. and comput. software. 2013. V. 39, N 3. P. 158–162. (в базе Web of Science)

3. Urev M. V. Convergence of the finite element method for an elliptic equation with strong degeneration // J. Appl. and Indust. Math. // 2014. V. 8. N. 3. P. 1–13. (в базе Scopus)

4. Kostin V., Lisitsa V., Reshetova G., Tcheverda V. Local time-space mesh refinement for simulation of elastic wave propagation in multi-scale media // J. of Comput. Phys. 2014. P. 669–689. (в базе Web of Science)

5. Soboleva O. N., Kurochkina E.P. The Calculation of Effective Electro-physical Parameters for a Multiscale Isotropic Medium. // Springer Proc. in Math. and statistics. Topics in Statistical Simulation. 2014. Vol. 114. Ed. by V. B. Melas et. al. 2014. Ch. 47. P. 475–482. N. Y.: Springer+Business Media. DOI: 10.1007/978 - 1- 4939 - 2104 - 1\_47. (в базе Scopus)

6. Vishnevsky D., Lisitsa V., Tcheverda V., Reshetova G. Numerical study of the interface errors of finite-difference simulations of seismic waves // Geophys. 2014. V. 79(4). T219–T232. DOI: 10.1190/geo2013-0299.1. (в базе Web of Science)

### Материалы международных конференций и совещаний

1. Reshetova G., Lisitsa V., Merzlikina A., Pozdnyakov V., Shilikov V. Manifestation of fluid saturation in scattered waves - numerical experiments and field study // Ext. abst. of the 76th EAGE conference and exhibition 2014, Amsterdam (Netherlands), June 16–19, 2014, DOI: 10.3997/2214-4609.20140984. (в базе Scopus)

2. Protasov M., Reshetova G. V., Tcheverda V. A. Imaging of fracture zones by weighted summation of multi-component data and image spectrum analysis // Ibid. DOI: 10.3997/2214-4609.20141259. (в базе Scopus)

3. Protasov M., Tcheverda V. A., Reshetova G. V. Fracture detection via beam imaging and image spectrum analysis // Ibid. DOI: 10.3997/2214-4609.20140526. (в базе Scopus)

4. Reshetova G. V., Khaydukov V. G., Cheverda V. Peculiarities of seismic waves in transit area in winter // Ibid. DOI: 10.3997/2214-4609.20140270. (в базе Scopus)

5. Protasov M., Tcheverda V. A., Reshetova G. V. Fracture imaging by weighted summation of multi-component data and image spectrum analysis // Ext. abst. of the 6th Saint Petersburg Intern. conf. and exhib., Saint Petersburg, Apr. 7–10, 2014. DOI: 10.3997/2214-4609.20140149. (в базе Scopus)

6. Cheverda V., Landa E., Reshetova G. Efficient numerical simulation of exploding reflectors for 3D heterogeneous multiscale media // Ibid. DOI: 10.3997/2214-4609.20140202. (в базе Scopus)

7. Perepechko Y. V., Romenski E. I., Reshetova G. V. Modeling of multiphase flows in finite-deformed porous media // Ext. abst. of the 11th World congress on computational mechanics (WCCM XI), Barselona (Spain), July 20–25, 2014. P. 4630–4641. (в базе Scopus)

8. Perepechko Y. V., Romenski E. I., Reshetova G. V. Thermodynamically consistent model of multiphase filtration through the deformed porous medium // Ext. abst. of the 76th European Association of Geoscientists and Engineers conference and exhibition 2014: Experience the Energy – Incorporating SPE EUROPEC 2014, We P07 15. P. 1–4. (в базе Scopus)

### Прочие издания

1. Горбатенко В. А., Глинских В. Н., Суродина И. В. Численные решения задач электромагнитного каротажа на графических процессорах // Сб. материалов Интерэкспо "ГЕО-Сибирь-2014"; 10-й Междунар. науч. конгр.; Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. С. 136–141.

2. Нестерова Г. В., Ельцов И. Н., Назаров Л. А., Назарова Л. А., Суродина И. В. Влияние анизотропии геомеханических параметров на диаграммы ВИКИЗ и БКЗ по данным численного моделирования // Там же. С. 181–185.

3. Суродина И. В., Нестерова Г. В. Трехмерное численное моделирование показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ на графических процессорах // 16-я науч.-практ. конф. по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа "Геомодель 2014", Геленджик, 8–11 сент. 2014 г. [Электрон. ресурс]. DOI: 10.3997/2214-4609.20142232, <http://earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=77926>.

4. Нестерова Г. В., Ельцов И. Н., Назаров Л. А., Назарова Л. А., Суродина И. В. Влияние анизотропии геомеханических параметров на диаграммы ВИКИЗ и БКЗ по данным численного моделирования // Сб. материалов Интерэкспо "ГЕО-Сибирь-2014"; 10-й Междунар. науч. конгр.; Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. С. 181–185.

5. Горбатенко В. А., Глинских В. Н., Суродина И. В. Численные решения задач электромагнитного каротажа на графических процессорах // Там же. С. 136–141.

6. Михайленко Б. Г., Михайлов А. А. Моделирование распространения акустогравитационных волн при ядерных взрывах для модели "Земля – Атмосфера" при наличии ветра в атмосфере // Вестн. НЯЦ РК. 2014. Вып. 2(58). С. 65–70.

7. Имомназаров Х. Х., Михайлов А. А. Моделирование распространения сейсмических волновых полей в вязкоупругой и пористой среде с диссипацией энергии // Там же. С. 71–75.

#### Участие в конференциях и совещаниях

1. 2nd Russian – French workshop "Computational geophysics", 22–25 сент. 2014 г., Новосибирск – 1 доклад (Решетова Г. В.).

2. The PRACE Scientific and Industrial Conference, , Barcelona (Spain), May 20–22, 2014 – 1 доклад (Решетова Г. В.).

3. SEG – 2 доклада (Решетова Г. В.).

4. ECMOR XIV – 14th European conference on the mathematics of oil recovery, Sept. 8, 2014 – 1 доклад (Решетова Г. В.).

5. EAGE Workshop on high performance computing for upstream, Chania (Crete), Sept. 7–10, 2014 – 1 доклад (Решетова Г. В.).

6. The 8th International petroleum technology conference (IPTC), Kuala Lumpur (Malaysia), Dec. 10–12, 2014 – 2 доклада (Решетова Г. В.).

7. 6th conference on finite difference methods: Theory and applications, Lozenetz (Bulgaria), June 18–23, 2014 – 2 доклада (Решетова Г. В., Мартынов В. Н., Суродина И. В., Михайлов А. А.)

8. 16-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа "Геомодель 2014", 8–11 сент. 2014 г., Геленджик – 1 доклад (Суродина И. В.).

9. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, Июнь 8–11, 2014 – 8 докладов из них 2 пленарных (Решетова Г. В., Суродина И. В., Михайленко Б. Г., Мартынов В. А., Терехов А. В., Фатьянов Г. А., Урев М. В., Михайлов А. А.).

10. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014; 10-й Международный научный конгресс, Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. – 2 доклада (Суродина И. В.).

11. Республиканская научная конференция с участием зарубежных ученых "Неклассические уравнения математической физики и их приложения", Ташкент, 23–25 окт. 2014 г. – 1 доклад (Михайлов А. А.).

12. "Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле", Петропавловск-Камчатский, 2014 г. – 1 доклад (Михайлов А. А.)

13. "Успехи механики сплошных сред" (УМСС'2014), приуроченная к 75-летию академика В. А. Левина, Владивосток, 28 сент. – 4 окт. 2014 г. – 1 доклад (Михайлов А. А.).

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Михайленко Б. Г.:

– председатель программного комитета конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;

– председатель программного комитета Международной школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.;

– член программного комитета 10-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Кыргызская Респ.), 25 июля – 5 авг. 2014 г.

2. Решетова Г. В. . – член оргкомитета 2nd Russian – French workshop "Computational geophysics", Новосибирск, 22–25 сен. 2014 г.

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 4

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 12

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 5

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 8

Публикаций в зарубежных изданиях – 6

Публикаций в материалах международных конференций – 8

Публикаций в прочих изданиях – 7

Докладов на конференциях – 23, в том числе 2 пленарных

Участников оргкомитетов конференций – 4.

### Кадровый состав

1. Фатьянов А.Г.	и.о. зав. лаб.	д.ф.-м.н.
2. Урев М. В..	в.н.с.	д.ф.-м.н.
3. Решетова Г.В	в.н.с.	д.ф.-м.н.
4. Мартынов В.Н.	с.н.с.	
5. Мастрюков А.Ф.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
6. Соболева О.Н.	с.н.с.	д.ф.-м.н.
7. Суродина И. В.	с.н.с.	к.ф.-м.н.
8. Михайлов А. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
9. Терехов А. В.	н.с.	к.ф.-м.н.
10. Куликов А. И.	ведущ. программист	
11. Чимаева Е. В.	ведущ. программист	
12. Трибис Д. Ю.	программист	
13. Гулина М. А.	инженер 1-й кат.	
14. Кабанихина Е. С.	инженер 1-й кат	

Терехов А. В. – молодой научный сотрудник.

---

**Педагогическая деятельность**

Урев М. В. – доцент НГУ, профессор СибАГС,  
Соболева О. Н. – профессор НГТУ.

**Руководство аспирантами**

Титов П. А. – 2-й курс, ИВМиМГ, руководители: Глинский Б. М., Мартынов В. Н.  
Сапетина А. Ф. – 1-й курс ИВМиМГ, руководители: Глинский Б. М., Мартынов В. Н.

**Руководство студентами**

Шишенина Э. А. – магистратура НГУ, 2-й курс, руководители: Фатьянов А. Г.,  
Мартынов В. Н.

## Лаборатория математического моделирования волн цунами

Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Гусяков В. К.

### Отчет по этапам работ, завершаемым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.3.1.3** "Методы создания, исследования и идентификация математических моделей в науках о Земле".

Номер государственной регистрации НИР 01201370229.

Руководители: акад. Михайленко Б. Г., д.ф.-м.н. Гусяков В. К., д.ф.-м.н. Кабанихин С. И.

#### 1. Краткая аннотация выполненных работ по проекту

На основе анализа содержания полного параметрического каталога дальневосточных цунами создан электронный атлас очагов цунами, проведены оценки положения и формы очагов. Показано, что основной вклад в цунамиопасность побережья вносят очаги предельно сильных субдукционных землетрясений (магнитуды 9 и выше), высоты волн от которых могут достигать 15–20 м. Ожидаемый период повторяемости таких землетрясений (по геологическим данным) на каждом отдельном участке зоны субдукции составляет от 200–300 до 1000 лет. Совместно с ИВТ СО РАН созданы численные модели сильнейших цунами последнего десятилетия (2004 г. в Индонезии и 2011 г. в Японии). Сравнение расчетных и наблюдаемых данных показывает адекватность использованных математических моделей возбуждения и распространения цунами и корректность их численной реализации. Показано, что созданная расчетная методология может быть использована для получения долгосрочных оценок цунамиопасности и картирования цунамириска на участках морских побережий РФ, подверженных воздействию цунами.

#### 2. Наименования этапа 2014 г.

Создание электронного атласа очагов дальневосточных цунами с получением их основных параметров (на основе экспертных оценок либо прямых измерений). Создание численных моделей сильнейших цунами Тихоокеанского региона. Изучение кинематики волновых фронтов на модельных данных и записях реальных цунами. Разработка алгоритмов интеграции моделей, описывающих волновые процессы в океане в различных пространственно-временных масштабах. Уточнение каталога известных и предполагаемых импактных структур плейстоцен-голоценового возраста по диаметру и возрасту структур.

#### 3. Основные результаты работ

На основе анализа содержания полного параметрического каталога дальневосточных цунами создан электронный атлас очагов цунами, проведены оценки положения и формы очагов. Показано, что основной вклад в цунамиопасность побережья вносят очаги предельно сильных субдукционных землетрясений (магнитуды 9 и выше), высоты волн от которых могут достигать 15–20 м. Ожидаемый период повторяемости таких землетрясений (по геологическим данным) на каждом отдельном участке зоны субдукции составляет от 200–300 до 1000 лет. Совместно с ИВТ СО РАН созданы численные модели сильнейших цунами последнего десятилетия (2004 г. в Индонезии и 2011 г. в Японии). Сравнение расчетных и наблюдаемых данных показывает адекватность использованных математических моделей возбуждения и распространения цунами и корректность их численной реализации. Показано, что созданная расчетная методология может быть использована для получения

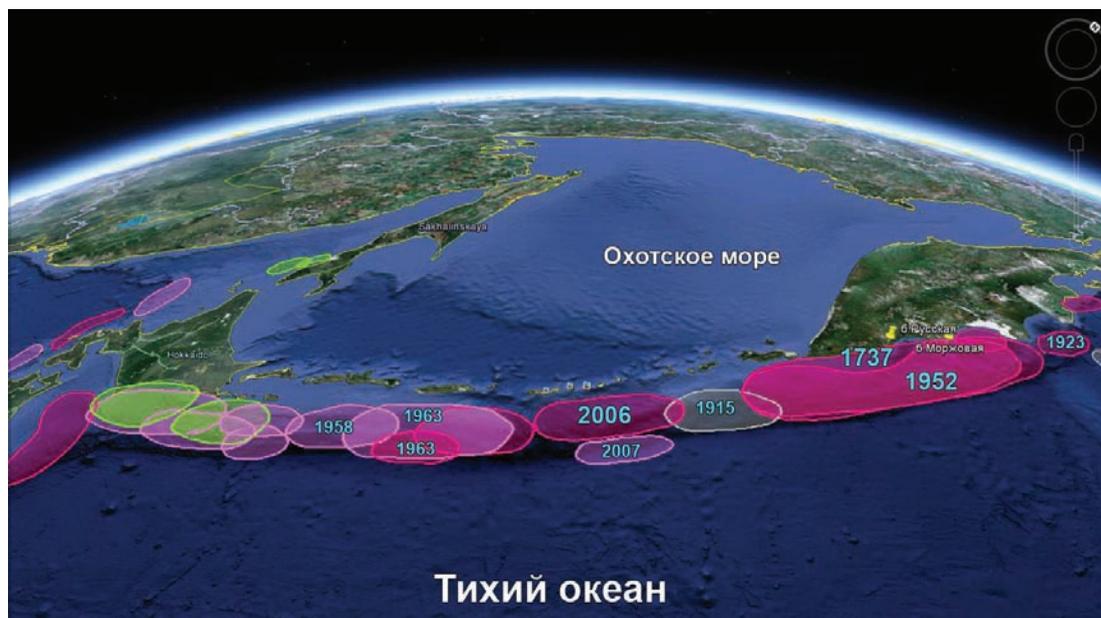


Рис. 1. Карта очагов сильнейших дальневосточных цунами

долгосрочных оценок цунамиопасности и картирования цунамириска на участках морских побережий РФ, подверженных воздействию цунами.

В рамках нелинейной модели мелкой воды получены формулы, выражающие изменение высоты волны при ее движении по лучевой трубке над неровным дном. Разработан и реализован в виде расчетной программы алгоритм построения волновых фронтов и лучей при распространении цунами от заданного очага или начального положения фронта волны. Метод, основанный на использовании найденных формул, позволяет быстро оценивать высоту волны в любой точке расчетной области. Проведено сравнение результатов работы

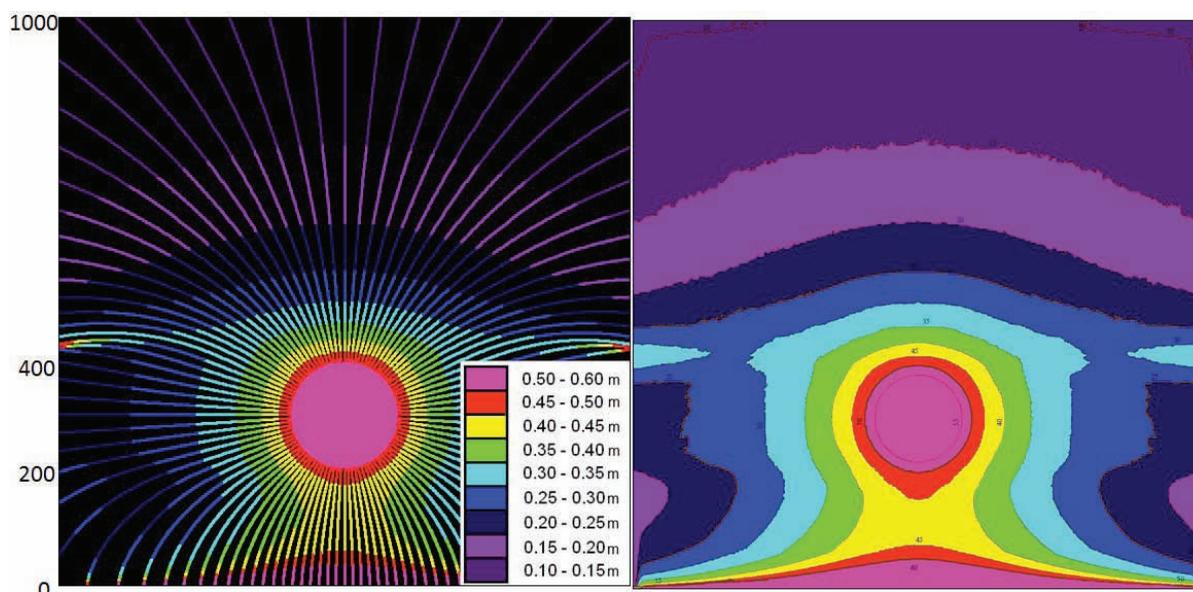


Рис. 2. Распределение максимумов высоты волны цунами от круглого источника, полученное с использованием разработанного метода (слева) и численных расчетов в рамках нелинейной модели мелкой воды (справа)

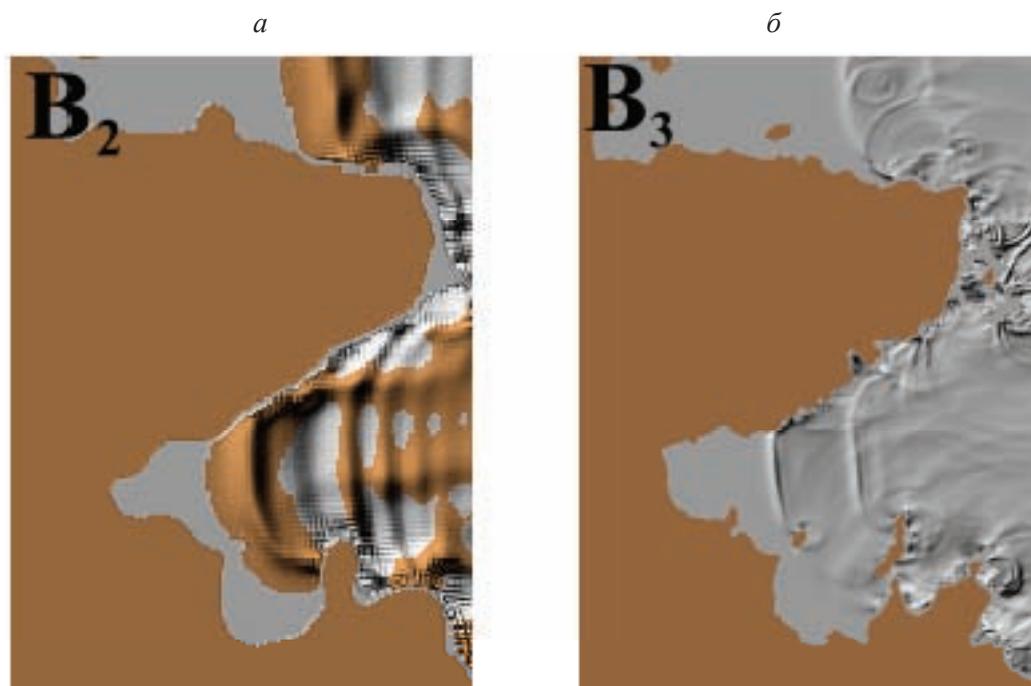


Рис. 3. Сравнение волновой поверхности в одной из бухт побережья Японии в результате двухэтапного расчета с переходом в подобласти В2 на сетку с шагом 70 м (слева) и в результате трехэтапного расчета в подобласти В3 на сетке детальностью 17 м (справа)

этого метода с распределением максимальных амплитуд, полученных путем полного численного расчета динамики волны в рамках нелинейной модели мелкой воды (рис. 2). По сравнению с существующими разностными методами разработанный метод требует гораздо меньше вычислительных ресурсов и машинного времени.

Разработан алгоритм численного расчета распространения цунами от очага до берега, использующий последовательность расчетных сеток с все более малым пространственным шагом. При этом параметры волны передаются во вложенную подобласть посредством граничных условий. При моделировании цунами у северо-восточного побережья Японии исследовано влияние детальности расчетной сетки на высоту волны у побережья (рис. 3).

Создано новое программное обеспечение для численного решения задачи распространения цунами на реальной батиметрии на основе конечно-разностного подхода. Для численного решения обратной задач цунами применен оригинальный подход на основе метода наименьших квадратов и регуляризации с использованием усеченного сингулярного разложения и метода  $r$ -решений. Предложенная методика позволяет избежать неустойчивости решения рассматриваемой некорректной задачи и позволяет оценить эффективность используемой системы регистрации с точки зрения восстановления первоначальной формы волны цунами. Проведено тестирование программного комплекса для реальной батиметрии и синтетических зашумленных данных для акватории района Соломоновых островов. Опробованы различные методы фильтрации данных глубоководных мареографов. Произведено восстановление реального источника цунами, произошедшего 2 февраля 2012 г. в районе Соломоновых островов на синтетических и реальных данных с предварительной их фильтрацией (рис. 4).

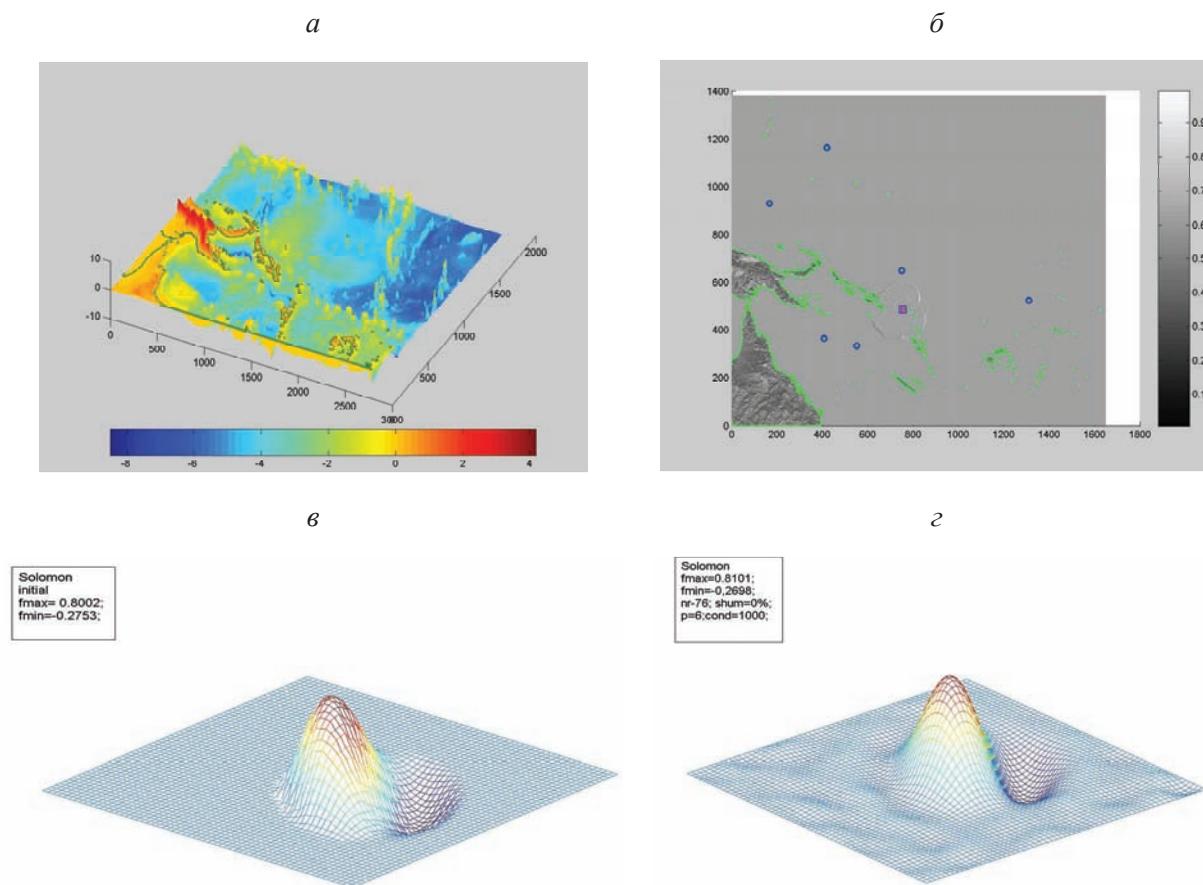


Рис. 4. Рельеф дна в районе соломоновых островов (а); регистрирующие станции обозначены синими кружками, район источника цунами – розовым квадратом, линия суши – зелеными линиями (б); теоретический источник: максимальное значение – 0,8 м, минимальное – 0,2753 м (в); восстановленный на данном рельефе по шести синтетическим мареограммам источник: максимальное значение – 0,81 м; минимальное – 0,2698 м (г)

На основе данных о кинематике волновых фронтов цунами решена задача о восстановлении рельефа океанского дна во всех точках, пройденных волной цунами, для случая, когда семейство фронтов есть семейство окружностей с подвижным центром и переменным радиусом. Подход, развитый при решении этой задачи, может быть распространен и на другие семейства фронтов. Изучена возможность его применения для получения аналитического описания фронта волны цунами в градиентной среде с немонотонной зависимостью скорости от координаты. Точных решений для данного случая в настоящий момент не существует.

Рассмотрены и дополнены модели тектоники литосферных плит и спрогнозированы зоны Земли, модели которых являются сейсмологически и цунамигенно потенциально опасными, в частности, в бассейне Тихого океана. Обоснована возможность и степень опасности ураганов как источника волн цунами, особенно в Тихом и Атлантическом океанах. Для различных источников природных и социальных глобальных и региональных катастроф выделены этапы их развития и указаны меры по минимизации ущерба. Построены цепочки причинно-следственных связей геокатастрофики.

Проводилась работа по дальнейшему пополнению и верификации Экспертной базы данных по импактным структурам Земли (EDEIS). По состоянию на октябрь 2014 г. база содержит данные о 1127 структурах, 3736 фотографий, 924 текстовых описания, 1609 ссылок.

За текущий год добавлены 8 новых событий, 53 фото, 25 текстовых описаний, 60 библиографических ссылок. Объем базы данных – 535 МБ.

Среди новых событий пять отмечены на территории России: Уян, Омельдин, Нижняя бальза, Белое озеро\_2, Святое озеро\_2, а также в базу данных включены крупный достоверный погребенный кратер Декора в США диаметром 5,5 км, возраст – 470 млн лет и воронка диаметром 12 м, глубиной 5 м, обнаруженная в районе Манагуа в Никарагуа после падения метеорита 8 сентября 2014 г. Собрана информация о крупном метеорите, упавшем на территорию Хабаровского края в 1993 г.

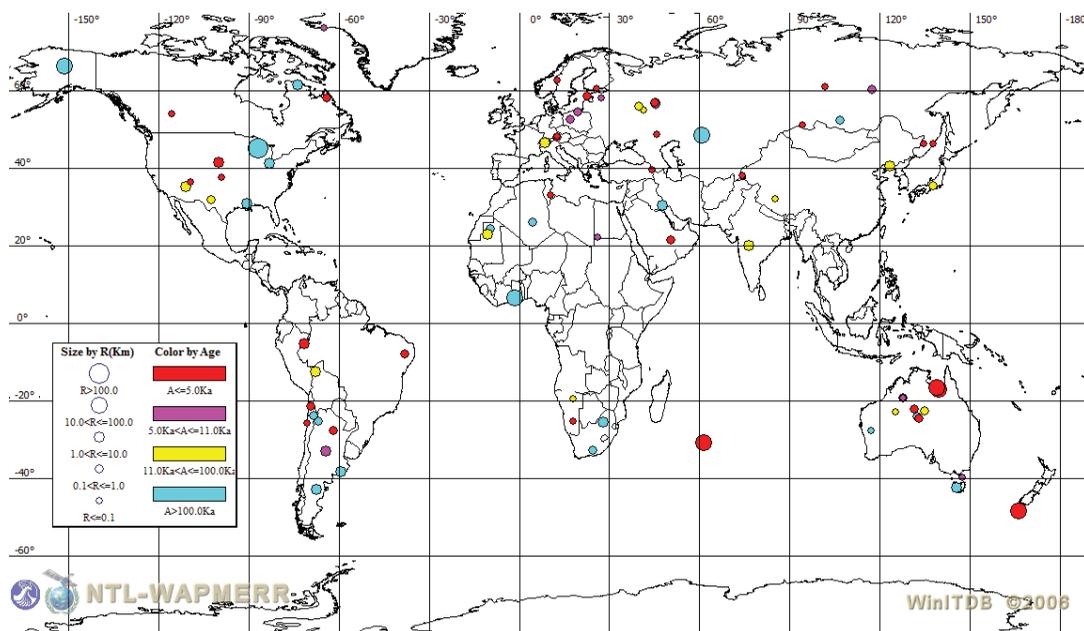


Рис. 5. Карта расположения достоверных и предполагаемых импактных структур голоцен-плейстоценового возраста (менее 2,5 млн лет) по данным EDEIS

На лабораторном сервере поддерживается в актуальном состоянии Web-энциклопедия природных катастроф, содержащая глобальные параметрические базы данных о землетрясениях, цунами, вулканических извержениях, импактных структурах, опасных метеорологических явлениях (<http://tsun/sscc/ru/nh>).

#### 4. Актуальность выполненных исследований

Людские потери и непрерывно возрастающий ущерб от природных катастроф ложатся все более тяжелым бременем на экономики всех стран мира. Главной причиной этого является рост плотности народонаселения и все возрастающая концентрация материальных ресурсов в рамках инфраструктуры агломераций и отдельных высокотехнологичных инженерных сооружений (АЭС, электростанций, морских добывающих платформ, крупных транспортных узлов и т. п.). Территория Российской Федерации расположена в различных климатических и сеймотектонических зонах и подвержена риску возникновения самых различных природных катастроф. Поскольку прямое противодействие таким природным опасностям, как землетрясения, вулканические извержения, цунами, паводки и ураганы, является невозможным, на первый план выходит задача получения адекватных оценок риска природных катастроф и районирование территории по степени опасности. Такое районирование дает научную основу для разработки инженерных мер защиты и создания служб раннего оповещения о стихийных бедствиях, что позволяет значительно сократить число людских потерь и снизить материальный ущерб.

### 5. Научная новизна результатов и их значимость

Все полученные результаты являются новыми и находятся на современном мировом уровне в данной отрасли знаний, что подтверждается докладами (в том числе, приглашенными) на крупнейших международных конференциях (Генеральных Ассамблеях МГТС, МСГН, МАСФЗ и др.), публикациями в ведущих отечественных и зарубежных журналах и наличием ссылок на опубликованные работы.

### 6. Возможность практического применения

Предложенные критерии прогнозирования цунами и разработанные методики моделирования используются в работе службы оперативного предупреждения о цунами на Дальневосточном побережье РФ. Полученные оценки цунамиопасности будут использованы при создании обзорной карты цунамирайонирования Дальневосточного побережья РФ.

### 7. Задание на этап 2015 г.

- Создание численных моделей и атласа очагов сильнейших дальневосточных цунами;
- Исследование влияния детальности расчетной сетки на результаты численного расчета высоты цунами у берега и степень затопления сухого берега;
- Разработка методики определения размеров и профиля очага по записям глубоководных регистраторов цунами;
- Исследование особенностей распространения фронта волны цунами в среде с немонотонной зависимостью глубины океана от координат;
- Уточнение и верификация основных характеристик (диаметр, возраст, координаты) вероятных импактных структур Земли;
- Анализ существующих систем шкал наблюдений и измерений природных и техногенных катастроф.

## Публикации

### Монографии, главы в монографиях

1. Марчук Ан. Г. Кинематика цунами. Методы расчета и особенности поведения над неровным дном. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 204 стр.
2. Mikheeva A. V., Marchuk An. G., Dyadkov P. G. Geoinformation systems for studying seismicity and impact cratering using remote sensing data. Chap. of monograph "Geographic information systems" (GIS). Techniques, applications and technologies. Ed. by D. Nielson. N. Y.: Nova Science Publishers Inc. P. 151–216. (в базе *Web of Science*)
3. Gusiakov V. K. Tsunami impact on the African continent: historical cases and hazard evaluation // Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications. Editors: A. Ismail-Zadeh, J. Fucugaugh, A. Kijko, K. Takeuchi, I. Zaliapin. Cambridge University Press, 2014. P. 225–233. DOI: 10.1017/CBO9781139523905.021.

### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Гусяков В. К. Сильнейшие цунами мирового океана и проблема безопасности морских побережий // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 90, № 5. С. 496–507. (в базе *Scopus*).
2. Бейзель С. А., Гусяков В. К., Чубаров Л. Б., Шокин Ю. И. Оценка воздействия удаленных цунами на Дальневосточное побережье России на основе результатов математического моделирования // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 90, № 5. С. 578–590. (в базе *Scopus*)

3. Марчук А. Г., Мошкалев П. С. Численное моделирование наката волн цунами на берег произвольного профиля // Вестн. НГУ. Сер.: "Информационные технологии". 2014. Т. 12, вып. 2. С. 55–63.

4. Москаленский Е. Д. О нахождении точных решений двумерного уравнения эйконала для случая, когда фронт волны, распространяющейся в среде, является окружностью // СибЖВМ. 2014. Т 17, № 4. С. 363–372. (в базе Scopus).

5. Voronina T. A., Tcheverda V. A., Voronin V. V. Some properties of the inverse operator for a tsunami source recovery // Sib. Electron. Math. Rep. 2014. N 11. P. 532–547. [Electron. resource]. <http://semr.math.nsc.ru>. ISSN 1813-3304. (в базе Scopus).

### Материалы международных конференций и совещаний

1. Hayashi K., Vazhenin A., Marchuk An. Application engines in VMVC-based tsunami modeling environment // New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Ser.: Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2014. Vol. 265. Proc. of the 13th SoMeT\_14. Editors: H. Fujita, A. Selamat, H. Haron. P. 464–475. ISBN 978-1-61499-433-6. DOI 10.3233/978-1-61499-434-3-464. (в базе Scopus).

2. Амелин И. И., Ляпидевская З. А., Гусяков В. К. Импактные структуры Сибири и Дальнего Востока // Материалы 10-го Междунар. научн. конгр. "Интерэкспо-ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г. Т. 1. Новосибирск: СГГА, 2014. С. 114–118.

3. Amelin I., Gusiakov V., Abbott D., Kiselev A., Breger D., MacCafferty P. New evidence of impact origin of Smerdyachee lake (Russia, Moscow region) // Proc. of the Intern. conf. "Paleolimnology of Northern Eurasia", Petrozavodsk, Sept. 21–25, 2014. P. 124–125.

4. Sergeev V. A. Analysis of hurricanes as one a source of tsunami // Proc. of the 5th Intern. conf. "Applied and fundamental studies", St. Louis (USA), Apr. 29–30, 2014. Publishing House Science and Innovation Center, Ltd., 2014. P. 49–53.

5. Сергеев В. А. Модельно-системное обоснование плитной цунамигенной тектоники // Сб. трудов Международной науч.-практ. конф. "Образование и наука: современное состояние и перспективы развития", 31 июля 2014 г. Ч. 3. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2014. С. 111–115.

6. Сергеев В. А. Аналитика геокатастрофики и противодействия ущербу цунами // Там же. С. 106–111.

7. Сергеев В. А. Причинно-следственные связи процессов геокатастрофики // Материалы 32-й Междунар. науч.-практ. конф. "Наука и современность – 2014", Новосибирск, 8 окт. 2014 г. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. С. 28–30.

### Прочие публикации

1. Бейзель С. А., Гусяков В. К., Чубаров Л. Б., Шокин Ю. И. Некоторые оценки поведения волн цунами в акватории Охотского моря по материалам численного моделирования и анализа исторических сведений // Труды 12-й Всерос. конф. "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики" (ГА-2014), Санкт-Петербург, 2014. СПб.: Нестор-История, 2014. С. 225–227.

2. Бейзель С. А., Гусяков В. К., Рычков А. Д., Чубаров Л. Б., Шокин Ю. И. Алгоритмы и методики численного моделирования наката волн цунами на берег в приложении к оценке характеристик заплеска на Дальневосточное побережье России // Там же. 228–230.

3. Marchuk An. G., Vasiliev G. S. The fast method for a rough tsunami amplitude estimation // Bull. NCC. Ser.: Math. Model. in Geoph. 2014. N. 17. P. 21–34.

4. Voronina T. A., Voronin V. V. Properties of the inverse problem operator for reconstructing uje tsunami source // Bull. NCC. Ser.: Math. Model.in Geophys. ISSN 1680-6980. 2014. N 17. P. 73–84.

5. Гусяков В. К. Загадки российских озер // Совет директоров Сиб. 2014. № 5. С. 28–29.

6. Voronina T. A. Tsunami waveform inversion by a truncated SVD approach // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014 (АМСА'14), Новосибирск, 8–11 июня.

### **Сдано в печать**

1. Гусяков В. К., Бейзель С. А., Чубаров Л. Б. Оценка цунамиопасности Охотского моря от региональных и удаленных источников // Вулканология и сейсмология. 2015.

### **Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 5.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 6.

Монографий, глав в монографиях – 3.

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5.

Публикаций в материалах международных конференций – 7.

Публикаций в прочих изданиях – 6.

Докладов на конференциях – 16.

Участников оргкомитетов конференций – 3.

### **Кадровый состав лаборатории**

1. Гусяков В. К. зав. лаб. д.ф.-м.н.

2. Марчук А. Г. в.н.с. д.ф.-м.н.

3. Воронина Т. А. с.н.с. к.ф.-м.н.

4. Амелин И. И. м.н.с. к.ф.-м.н.

5. Сергеев В. А. н.с.

6. Москаленский Е. Д. м.н.с. 0,5 ст.

7. Лысковская Е. В. ведущ. инженер.

8. Калашникова Т. В. ведущ. инженер

9. Ляпидевская З. А. ведущ. программист

10. Зиновьев П. С. инженер

Амелин И. И. – молодой научный сотрудник.

### **Педагогическая деятельность**

Воронина Т. А. – преподаватель СУНЦ НГУ.

## Лаборатория геофизической информатики

Зав. лабораторией д.т.н. Ковалевский В. В.

### Важнейшие достижения

Исследована скоростная модель земной коры для 500-километрового профиля Бабушкин, Байкал – Улан-Батор (Монголия), построенная по результатам эксперимента BEST, выполненного по методике ГСЗ. Для моделирования полного волнового поля в слоистой модели среды применялся аналитический (без использования сеток) метод расчета сейсмических волновых полей в блоково-неоднородных средах, который позволил получить точное аналитическое решение для больших размеров расчетной области. Для верификации модели проведено сравнение рассчитанных теоретических сейсмограмм с реально регистрируемыми, полученными методами активной сейсмологии, и данными вибросейсмических зондирований, выполненных ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН. Результаты сравнения теоретических и экспериментальных сейсмограмм позволили скорректировать существующую скоростную модель в нижних слоях земной коры, контактирующих с мантией.

Д.т.н. Ковалевский В. В., д.ф.-м.н. Фатьянов А. Г., к.т.н. Авроров С. А., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., к.т.н. Якименко А. А.

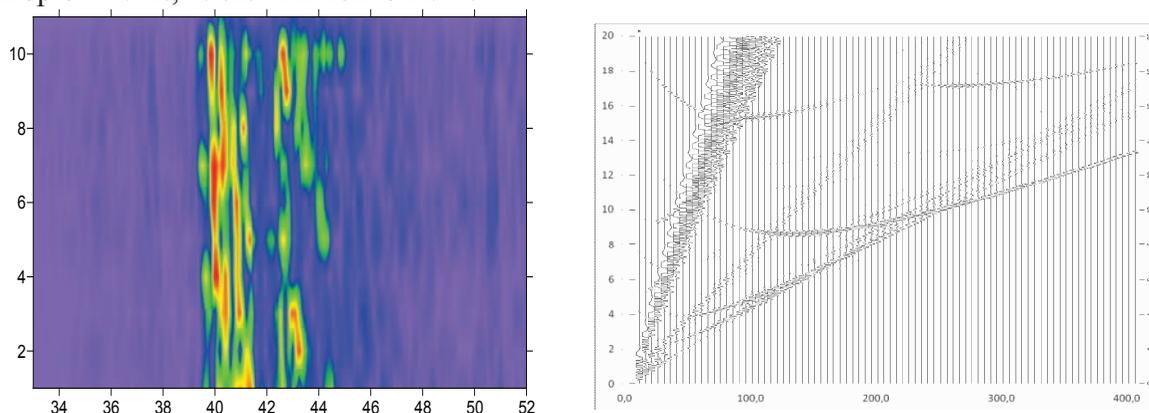


Рис. 1. Вибрационная сейсмограмма, группа P волн на расстоянии 241 км от источника (слева). Теоретические сейсмограммы для 500-километрового профиля в пятислойной модели земной коры и экспериментальные данные времени вступления волн (справа)

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.4.1.3.** "Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ для задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования".

Номер государственной регистрации 01201370226.

Научные руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

**Раздел 1.** "Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ в задачах активной сейсмологии, экспериментальные исследования по вибросейсмическому зондированию и вибромониторингу среды. Моделирование и исследование взаимодействия сейсмических и акустических волновых полей вибрационных и взрывных источников с целью оценивания экологических рисков. Разработка новых алгоритмов и программ обработки данных вибромониторинга на основе регистрации малыми

сейсмическими группами. Исследования волновых виброрейсмических полей и их связи с геодинамическими процессами в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне, сопредельных районах Монголии и в зонах вулканических структур. Развитие научной информационно-аналитической системы на базе интернет-технологий для задач активной сейсмологии".

Руководитель – д.т.н. Ковалевский В. В.

Исследована скоростная модель земной коры для 500 км профиля Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия, построенная по результатам эксперимента BEST (Baikal Explosion Seismic Transect), выполненного по методике ГСЗ. Для моделирования полного волнового поля в слоистой модели среды применялся аналитический (без использования сеток) метод расчета сейсмических волновых полей в блоково-неоднородных средах, который позволил получить точное аналитическое решение для больших размеров расчетной области. Получены теоретические сейсмограммы вдоль 500 км профиля в точках, совпадающих с точками регистрации виброрейсмического поля от вибратора Южнобайкальского полигона и проведено их сравнение с реально регистрируемыми вибрационными сейсмограммами.

Для определения целевых объектов, выделяемых с учетом разрешающей способности сейсмических наблюдений, построена модель зоны подземного ядерного взрыва, включающая следующие зоны: камуфлетная полость; зона смятия горных пород; зона дробления горных пород; зона интенсивной трещиноватости; зона блоковых подвижек; зона откольного разрушения; вмещающая среда (рис. 2). Выполнено численное 3D/2D моделирование с адаптированными и усовершенствованными численными алгоритмами и программным обеспечением для многоядерных гибридных архитектур. Получены синтетические сейсмограммы виброрейсмического зондирования для полной модели среды.

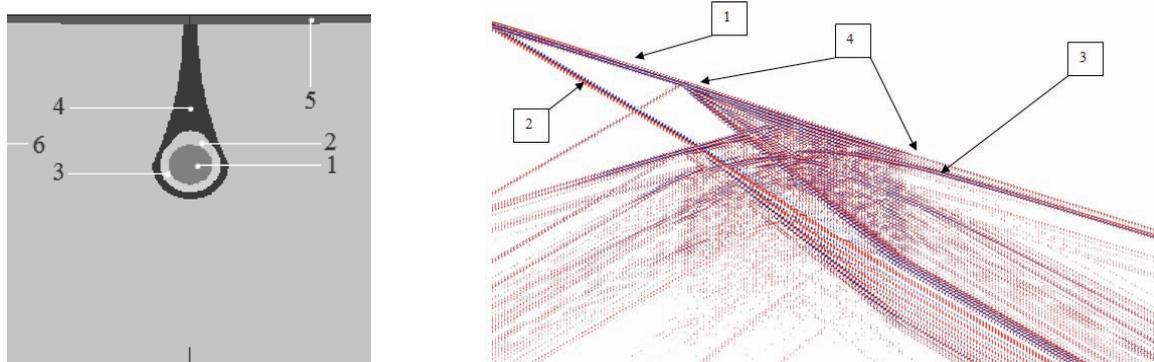


Рис. 2. Фрагмент изучаемой модели ПЯВ с подземной полостью ядерного взрыва и синтетическая сейсмограмма для полной модели среды: 1 – прямая Р-волна; 2 – поверхностная волна Рэлея; 3 – Р-волна, отраженная от каверны; 4 – эффекты, вызванные присутствием зоны откола

Разработан алгоритм и программа для двумерной пространственно-временной фильтрации (f-k-фильтрации) сигналов, зарегистрированных малыми сейсмическими группами. Программа рассчитана на работу как с импульсными (взрывными), так и широкополосными вибрационными сейсмограммами. Фильтрация в области f-k (частота – волновое число) позволяет ослабить вклад шумовой составляющей сигнала, связанной с приходом волн-помех по направлениям, не совпадающим с направлением прихода основных волн, и повысить точность измерения информативных параметров при низких отношениях сигнал/шум.

Выполнено программное расширение распределенной вычислительной системы дистанционного сбора, хранения и обработки данных на прикладном и системном уровнях.

На прикладном уровне разработан программный инструментарий для обработки геофизических данных методом вейвлет-фильтрации, функционирующий в составе сетевой распределенной вычислительной системы реального времени в качестве одного из модулей. На системном уровне реализован функционал безопасного завершения работы модулей без потери данных за счет переопределения стандартных обработчиков POSIX-сигналов процессов. Расширены возможности модуля визуализации потоковых данных: добавлены настройки частоты обновления кадров, длины окна визуализации, названия диаграмм, автоматическое масштабирование.

В 2014 г. проведены работы по вибросейсмическому просвечиванию и мониторингу сейсмических полей на продолжении профиля Байкал – Улан-Батор (Монголия) в северном направлении с пересечением Байкала и регистрацией на удалении от источника 123 км и 168 км. Это позволило получить данные о формировании волнового поля вибратора Южнобайкальского полигона в зоне сочленения Байкальской рифтовой зоны и складчатого обрамления юга Сибирской платформы, а также исследовать прохождение сейсмических волн через водную толщу Байкала. Также исследованы возможности вибросейсмического зондирования сейсмоактивной зоны центрального Байкала с регистрацией сейсмосигналов вибратора Южнобайкальского полигона на северном берегу Байкала с удалением от источника от 123 до 213 км с азимутами от 0 до 35 °.

На основе анализа многолетних данных вибросейсмического мониторинга Байкальской рифтовой зоны с использованием виброисточника ЦВО-100 исследованы сезонные вариации характеристик сигналов, излучаемых вибратором, и характеристик вибрационных сейсмограмм, регистрируемых сейсмостанциями локальной и региональной сети. Для анализа сезонных вариаций в ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН обработаны записи колебаний грунта в ближней зоне вибратора и записи с сейсмостанций Хурумша и Тырган при излучении свип-сигналов за период с августа 2003 г. по март 2006 г. Для коррекции вибрационных сейсмограмм, полученных в различные месяцы, и приведения их к единому виду предложен алгоритм коррекции их спектров, позволяющий компенсировать сезонные вариации и выделять медленные тренды, связанные с геодинамикой среды.

Проведены работы по моделированию и исследованию взаимодействия сейсмического и акустического излучений вибратора Быстровского полигона и влияния метеоусловий. Исследовано экологическое воздействие взрывов на окружающую среду, оцениваемое удельной плотностью энергии, зависящей от акустического давления и акустического сопротивления воздуха. Зависимости давления от метеопараметров – температуры, плотности и влажности воздуха – вытекают из обобщенного выражения состояния газа, связывающего давление, плотность и температуру воздуха. В случае наличия ветра в атмосфере возникает дрейф скорости звука, с учетом которого скорость звука будет векторно складываться из скорости звука в невозмущенной атмосфере и скорости ветра. Последнее обстоятельство определяет существенный вклад в акустическое давление и определяет явление пространственной фокусировки инфразвука в зависимости от азимута точки наблюдения. Расчеты показали, что при силе ветра 4 м/с и радиусе расстановки точек наблюдения 6 км ширина ДН составила 60 °, что свидетельствует о резко выраженной пространственной селективности распространения инфразвука вследствие эффекта перераспределения акустической энергии в пространстве. При этом соотношение максимального и минимального значений акустического давления по данным экспериментов может достигать 50. Сравнимые результаты были получены и от полигонных взрывов. Показано, что из-за метеозависимого перераспределения акустической энергии по пространству даже маломощные взрывы могут

становиться экологически опасными вследствие многократного увеличения потока энергии в определенном азимутальном направлении.

Разработан модуль анализа синтетических сейсмограмм для научной информационно-аналитической системы "Активная сейсмология". Синтетические сейсмограммы для трассы Бабушкин – Улан-Удэ получены с помощью математического моделирования полных вибросейсмических полей на основе разработанных в ИВМиМГ СО РАН алгоритмов и программ расчета распространения упругих волн в сложнопостроенных средах. В электронную библиотеку НИС "Активная сейсмология" включены разделы: "Вибросейсмические технологии", "Технические средства", "Математическое моделирование". "Исследования вулканической активности вулкана Эльбрус", "Сейсмические антенны", "Информационные технологии в науках о Земле". Раздел "Эксперименты" информационно-вычислительной системы (ИВС) "Вибросейсмическое просвечивание Земли" пополнен данными эксперимента с линейной сейсмической группой апертурой 2,5 км во вспомогательной штольне БНО. Раздел включает структурированный файловый архив зарегистрированных в ходе эксперимента сейсмических сигналов, базы метаданных эксперимента.

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 12-05-00786** "Исследование сеймовулканических процессов Эльбрусской вулканической области на основе комплексного наблюдения геофизических полей и регистрации низкоэнергетических сейсмических событий".

Руководитель — д.т.н. В.В. Ковалевский

При выполнении проекта проведен анализ существующих данных по исследованию сеймовулканических процессов Эльбрусской вулканической области, выполнена обработка данных регистрации сейсмических событий подземной сейсмической группой из 6 сейсморегистраторов с площадной апертурой 2,5 на 0,5 км, развернутой во вспомогательной штольне БНО. Созданы алгоритмы локализации слабых сейсмических событий, регистрируемых группой с использованием пространственной фильтрации, поляризованного анализа на основе метода главных компонент, корреляционного метода определения времен вступлений волн и методов минимизации целевых функций. Исследованы энергетические характеристики регистрируемых сейсмических событий, их пространственное распределение. Показано, что по уровню микросейсмических шумов, уровню регистрируемых сигналов от локальных и региональных сейсмических событий группа имеет характеристики, сравнимые с характеристиками современных сейсмических групп, работающих в Международной системе мониторинга. Подготовлено техническое предложение построения телеметрической системы для подземной сейсмической группы с апертурой до 3,5 км на основе регистраторов "Байкал-8" с протоколом Ethernet при соединении нескольких регистраторов в сеть на основе оптоволоконного канала, а также при использовании беспроводных Ethernet роутеров, программных средств FTP и SeedLink для удаленного извлечения данных.

**Проект РФФИ №14-07-00518** "Создание и проведение исследований лазерно-информационной технологии дальней регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с применением прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий".

Руководитель – д.т.н. Хайретдинов М. С.

Исполнители: д.т.н. Хайретдинов М. С., к.т.н. Авроров С. А., к.т.н. Бритвин А. В., к.т.н. Воскобойникова Г. М., н.с. Седухина Г. Ф., к.т.н. Якименко А. А.

Основную часть проекта составляет решение фундаментальной проблемы взаимосвязи волновых полей различной природы. Проектом предусматривается проведение теоретических и экспериментальных исследований, ориентированных на создание лазерно-информационной технологии регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с использованием прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий. В основе регистрации лежат процессы, связанные с волновым возмущением лазерных световых колебаний внешним акустическим полем, сквозь которое в атмосфере распространяется лазерный луч. Возмущенная атмосфера в локальных точках пространства вызывает изменение параметров распространения лазерного излучения, включая характеристики поглощения и рассеяния. Следствием этого могут быть вариации скорости распространения измерительных световых волн, их фазо-частотные преобразования, определяющие возможности "лучевого приема" акустических колебаний. Проведен анализ условий осуществимости такого приема на основе соотношений параметров внешнего акустического поля и измерительных колебаний, предложена двулучевая схема лазерного излучения для повышения чувствительности "лучевого приема". В соответствии с целями проекта в части подготовки и проведения экспериментальных исследований разработан стенд для лазерной измерительной линии в составе полупроводниковых излучателей с длиной волны 940 нм и импульсной мощностью излучения до 200 мВт. В качестве приемника предусматривается использование кремниевого фотодиода КДФ113 с чувствительной площадкой 0,8 мм<sup>2</sup>, имеющего монохроматическую чувствительность на рабочей длине волны 0,45 А/Вт. С целью одновременной прямой регистрации акустических колебаний от сейсмического вибратора ЦВ-40 совместно с лучевым приемом создан макет 16-канальной комплексированной сейсмо-акусто-лучевой приемной системы в составе сейсмических и акустических датчиков с усилителями, измерительной линии и автономных цифровых станций. Разработаны методика и программы проведения экспериментов, методы и устройства удаленного сетевого сбора данных с датчиков с использованием каналов Интернет и сотовой связи. Выбраны трассы протяженностью 42 и 50 км для изучения условий удаленного приема инфразвука от вибратора в месте базирования лазерного стенда. С помощью указанного оборудования выполнена предварительная серия экспериментов по изучению особенностей распространения инфразвука в приземной атмосфере.

**Проект РФФИ № 14-07-00832-а** "Научная информационная система для теоретических и экспериментальных исследований волновых полей в активной сейсмологии".

Руководитель – Григорюк А. П.

Основной задачей научной информационной системы (НИС) для теоретических и экспериментальных исследований волновых полей в активной сейсмологии является представление данных и знаний в интересах фундаментальных научных исследований физики сейсмического процесса, изучения глубинного строения геологической среды, мониторинга природных сейсмических и вулканических процессов. Задачей интеграции знаний по активной сейсмологии является как полнота представления предметной области во всем интернет-пространстве, так и удобство навигации и поиска внутри собственных информационных ресурсов НИС. В проекте предложен онтологический подход к интеграции знаний в предметной области. В онтологии активной сейсмологии выделены основные понятия и связи между ними для представления результатов, объектов и методов исследований, а

также характерных для этой области знаний понятий, описывающих сейсмические воздействия, отклик среды, источники, сенсоры и их географическое местоположение.

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

**Программа Президиума РАН № 4, проект № 4.9, подпроект "Исследования строения земной коры и геодинамических процессов в южной части Байкальской рифтовой зоны и северной Монголии вибросейсмическими методами"**

Руководитель – д.т.н. Ковалевский В. В.

Выполнены работы по вибросейсмическому мониторингу геодинамических процессов в Байкальской рифтовой зоне. Исследована возможность вибросейсмического просвечивания зоны очагов землетрясений под центральной частью Байкала под различными азимутами от вибратора ЦВО-100 Южнобайкальского полигона. Проведена регистрация вибросейсмического поля на продолжении профиля Байкал-Улан-Батор (Монголия) в северном направлении от вибратора с пересечением Байкала, а также в северо-восточном направлении вдоль северного берега Байкала и острова Ольхон. Исследованы характеристики волнового поля вибратора и спектральные характеристики микросейсмических шумов на трассах распространения. Продолжены работы по моделированию полных волновых полей от вибросейсмического источника и верификации существующих скоростных моделей земной коры региона.

**Партнерский интеграционный проект СО РАН № 54.**

Координатор – акад. Михайленко Б. Г.

Проведена работа по развитию методов математического моделирования упругих и электромагнитных волн в сложно построенных неоднородных средах как на основе высокоточных численно-аналитических, так и конечно-разностных методов, применительно к задачам мониторинга сейсмоопасных и вулканических зон. Созданы новые методы, основанные на комбинации преобразований Лагерра по времени и конечно-разностных методов, позволяющие проводить точные расчеты на больших интервалах времени. Развита методика численного моделирования волновых полей в упругих средах с включением областей с повышенной диссипацией энергии волн применительно к задачам вибросейсмического зондирования и сейсмической томографии вулканических структур. Выполнена реализация разрабатываемых алгоритмов на современных многопроцессорных вычислительных машинах, в том числе при использовании гибридных вычислительных систем.

Развит метод аналитического (без использования сеток) расчета сейсмических волновых полей в блоково-неоднородных средах, который позволяет проводить безартефактное сейсмическое моделирование. Метод основан на использовании интегральных преобразований, приводящих к многопараметрической системе матричных обыкновенных дифференциальных уравнений, допускающих аналитическое решение.

Выполнено построение математической модели распространения сейсмических волн в насыщенных вязкой жидкостью вязкопористых средах, учитывающей процессы поглощения и рассеивания, связанные с диссипативными явлениями в твердой фазе или в жидкости и др., на основе введения операторов последовательности. Разработан алгоритм решения динамической задачи сейсмологии для вязко-пористой модели среды на основе спектрально-разностного метода и алгоритма решения динамической задачи для совмещенной модели пористой и вязкоупругой сред.

Выполнены экспериментальные исследования геодинамических процессов Байкальской рифтовой зоны на основе изучения сейсмичности и данных активного вибросейсмического мониторинга на сети стационарных и временных станций в южной части Байкала и прилегающих районах Монголии. Исследованы характеристики стационарного поля 100-тонного вибратора Южнобайкальского полигона (пос. Бабушкин (Байкал)) с регистрацией излучаемых волн мобильными малыми сейсмическими группами на региональном профиле длиной до 500 км в южном направлении на территории Монголии. Результаты работы использованы для уточнения структуры земной коры и положения границы Мохо в пределах Монголо-Сибирского региона.

Развита информационно-вычислительная система вибросейсмических исследований сейсмоопасных зон Байкальского и Алтае-Саянского регионов и вулканической деятельности в Таманской грязевулканической провинции и на Камчатке, базы алгоритмов и программ обработки геофизических данных, математического моделирования на базе Сибирского Суперкомпьютерного Центра (ИВМиМГ СО РАН).

**Совместный проект № С1-20 НГТУ – СОРАН (в рамках партнерского интеграционного проекта СО РАН № 54)** "Разработка и проведение теоретических и экспериментальных исследований геоинформационной технологии оценивания экологического риска для окружающей социальной инфраструктуры от техногенных и природных катастроф

Руководитель от ИВМиМГ СО РАН – д.т.н. Хайретдинов М. С.

Рассмотрена проблема прогнозирования геоэкологических рисков для окружающей социальной и природной среды, которые порождают мощные техногенные взрывы (ядерные, карьерные и др.) и природные события (землетрясения, извержения вулканов). Основные геоэкологические эффекты от них связаны с образованием ударных воздушных и подземных сейсмических волн. Разрушительное воздействие волн может многократно усиливаться под действием внешних факторов: – направления и силы ветра, температуры и влажности воздуха, состояния атмосферы, – а также рельефа и ландшафта окружающей местности. Это определяет многофакторность математической постановки решаемой задачи. С учетом этого возникает необходимость проведения специальных исследований по оцениванию воздействия факторов на распространение акустических колебаний. Для этих целей предложена и разработана новая оригинальная технология проведения исследований, которая базируется на применении сейсмических вибраторов в качестве источников, имитирующих взрывы, но обладающих намного меньшей мощностью в сравнении ними. При этом достигаются высокие экологическая чистота, повторяемость экспериментов и возможность одновременного использования сейсмических и акустических колебаний. В рамках проекта выполнен численный анализ эффекта ветрозависимой фокусировки акустических волн, определяющей возможности их дальнего распространения, проведены натурные эксперименты по регистрации сейсмических и акустических колебаний от сейсмического вибратора ЦВ-40, а также полигонных и карьерных взрывов, проанализированы экспериментальные результаты, подтверждающие теоретические выводы.

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 14.**

Координатор в институте – чл.-корр. РАН Кабанихин С. И.

Предложен и исследуется новый подход к решению задачи активного геофизического мониторинга природной среды. Многие проблемы связаны с оперативным обнаружением природных и техногенных событий с последующим решением обратной задачи восстановления параметров событий, а также предшествующих им геодинамических процессов.

Предложенный подход предназначен для решения задачи обнаружения и выделения волновых форм, порождаемых в земле и приземной атмосфере рассматриваемыми событиями. Решение осуществляется в едином процессе дискретной оптимизации, основанной на методе динамического программирования Белмана. Эффективность подхода иллюстрируется рядом численных экспериментов, показывающих более высокую точность решения задачи в сравнении с традиционно используемыми методами.

**Экспедиционный грант СО РАН "Экспериментальные работы по изучению неоднородности строения земной коры, геодинамических процессов и проведение вибросейсмического мониторинга Байкальской сейсмоопасной зоны и Алтае-Саянского региона с использованием низкочастотных вибраторов, регистрация сейсмических и акустических полей от взрывов и вибраторов"**

Руководитель — д.т.н. Ковалевский В. В.

В полевой сезон 2014 г. проведены работы по вибросейсмическому просвечиванию и мониторингу сейсмических полей на продолжении профиля Байкал – Улан-Батор (Монголия) в северном направлении с пересечением Байкала и регистрацией на удалении от источника 123 и 168 км. Также исследованы возможности вибросейсмического зондирования сейсмоактивной зоны центрального Байкала с регистрацией сейсмосигналов вибратора Южнобайкальского полигона на северном берегу Байкала с удалением от источника 123 км, азимут  $0^\circ$ , 126 км; азимут  $17^\circ$ , 168 км; азимут  $27^\circ$  и 213 км, азимут  $35^\circ$ . Регистрация вибросейсмических сигналов осуществлялась малыми группами из шести сейсмоприемников СК1-П с цифровыми регистраторами "Байкал" с координатной привязкой по GPS. Работы выполнялись совместно ИВМиМГ СО РАН (Новосибирск), ГИНТ СО РАН, БурФГС СО РАН (Улан-Удэ). Проведены работы по исследованию взаимодействия сейсмического и акустического излучений вибратора Быстровского полигона и влияния метеоусловий. Начаты работы с Институтом лазерной физики СО РАН по исследованию эффектов модуляции лазерного излучения слабыми вибросейсмическими колебаниями в акустической среде.

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Губарев В. В., Ковалевский В. В., Хайретдинов М. С., Авроров С. А., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Якименко А. А. Прогнозирование экологических рисков от взрывов по совокупности сопряженных геофизических полей. // *Автометрия*. 2014. № 4. С. 3–13.

(в базе РИНЦ)

2. Якименко А. А., Гунбин К. В., Хайретдинов М. С. Поиск перепредставленных характеристик генов: опыт реализации перестановочного теста с использованием графических процессоров // *Автометрия*. 2014. № 1. С. 123–129.

(в базе РИНЦ)

#### Зарубежные издания

1. Yakymenko A. A., Gunbin K. V., Khairtadinov M. S. Search for the overrepresented gene characteristics: The experience of implementation of permutation tests using GPU // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2014. Vol. 50, N 1. P. 123–129. (в базе Scopus).

2. Gubarev V. V., Kovalevskii V. V., Khairtadinov M. S., Avrorov S. A., Voskoboinikova G. M., Sedukhina G. F., Yakimenko A. A. Prediction of environmental risks from explosions based on a set of coupled geophysical fields // *Ibid*, N 4. P. 3–13. (в базе Scopus).

3. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В., Павлов А. Ф. Изучение метеозависимой фокусировки акустических волн с помощью сейсмического вибратора и взрывов // Вестн. НЯЦ РК. 2014. Вып. 2. С. 129–137.

4. Хайретдинов М. С., Якименко А. А., Караваев Д. А. Численное моделирование волнового поля в зонах подземных ядерных взрывов // Там же. С. 76–81.

5. Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Авроров С. А., Якименко А. А. Локализация сейсмических событий в Приэльбрусье подземной сейсмической группой // Там же. С. 123–128.

### Материалы международных конференций и совещаний

1. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В. vibroseismoacoustic method in studying of geophysical fields interaction in ground atmosphere // Proc. of the 14th Intern. multidisciplinary scientific geoconference "Informatics, geoinformatics and remote sensing" ("SGEM-2014"), Albena (Bulgaria), June 17–26, 2014. V. 1. P. 925–931.

(в базе Scopus).

2. Znak V. I. Some Questions of the Adapting the Order Filters to the Signal Form and Character of Noise. // Proc. of the 6th Saint Petersburg Intern. conf. and exhib. "Geosciences – Investing in the Future", Saint Petersburg, Apr. 7–10, 2014. P. 750–755. [Electron. resource]. www.earthdoc.org. ISBN: 978-90-73834-00-2, ISSN: 2214-4609.

(в базе Scopus).

3. Якименко А. А., Караваев Д. А. Численное моделирование сейсмического поля в задаче зондирования последствий ядерных испытаний // Сб. материалов 10-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014". Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 193–198.

(в базе РИНЦ).

4. Ковалевский В. В., Белоносов А. С. Исследование параметров локализации сейсмических событий подземной сейсмической группой в Приэльбрусье // Там же. С. 202–206.

(в базе РИНЦ).

5. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф. Вибросейсмоакустический метод в изучении взаимодействия геофизических полей в приземной атмосфере // Там же. С. 181–187.

(в базе РИНЦ).

6. Караваев Д. А., Караваев Н. А. Численное моделирование в геофизике на гибридных суперЭВМ // Там же. С. 198–201.

(в базе РИНЦ).

7. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Кратов С. В. Интеграция научных знаний по активной сейсмологии // Там же. С. 188–192.

(в базе РИНЦ).

8. Ковалевский В. В., Григорюк А. П. Повышение эффективности направленного приема сигналов при вибросейсмическом мониторинге. // Там же. С. 211–214.

(в базе РИНЦ).

9. Авроров С. А. Программный комплекс сбора, обработки и анализа геофизических данных в условиях мобильных и стационарных сейсмических групп // Там же. С. 207–210.

(в базе РИНЦ).

10. Хайретдинов М. С. Многофакторные задачи в проблеме экологоохранного прогнозирования. // Материалы 10-й Междунар. Азиат. шк.-семина. "Проблемы оптимизации сложных систем", Булан-Соготту (Кыргызская Респ.), 25 июля – 5 авг. 2014 г. Алматы: НЦ НТИ, 2014. С. 758–764.

11. Якименко А. А. Проблемы и подходы к выполнению перестановочного теста на гибридных архитектурах // Там же. С. 758–764.

12. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Кратов С. В. Научная информационная система для теоретических и экспериментальных исследований в активной сейсмологии // Труды

Междунар. суперкомп. конф. "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров". М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 406–409.

13. Губарев В. В., Хайретдинов М. С., Авроров С. А., Воскобойникова Г. М., Якименко А. А. Геоинформационная технология прогнозирования экологических рисков. // Труды 12-й Междунар. науч.-техн. конф. "Актуальные проблемы электронного приборостроения" (АПЭП-2014), Новосибирск, 2–4 окт. 2014 г. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. Т. 6. С. 292–298.

14. Якименко А. А., Хайретдинов М. С. Авроров С. А. Разработка параллельной программы для выполнения перестановочного теста с использованием GPU // Там же. Т. 7. С. 112–116.

15. А.П. Григорюк, С.В. Кратов Управление данными экспериментов с использованием Web-технологий // Там же. Т. 3. С. 156–159.

16. Voskoboinikova G. M. Dynamics of mud volcanoes and their impact to land and atmosphere // Abst. of the 4th iLEAPS sci. conf. "Terrestrial ecosystems, atmosphere, and people in the Earth system", Nanjing (China), May 12–16, 2014. [Electron. resource]. <http://www.ileaps-sc2014.org>.

### Прочие издания

1. Khairetdinov M. S., Avrorov S. A., Voskoboinikova G. M., Sedukhina G. F., Yakimenko A. A. A geoinformation technology for assessment of ecological risk of powerful technogenic and natural explosions // Bull. of NCC. Ser.: Math. modeling in geophys. 2014. Iss. 17. P. 13–20.

2. Ефимов С. А. Исследование сейсмического шума как фактора деформации земной поверхности // Res. J. Intern. Studies. 2014. № 10.

3. Ефимов С. А. Новый метод обработки вибросейсмических данных // Ibid.

4. Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Тубанов Ц. А., Базаров А. Д. Коррекция сезонных изменений вибрационных сейсмограмм при вибросейсмическом мониторинге Южнобайкальского региона // Материалы Всерос. конф. "Геофизические методы исследования земной коры", Новосибирск, 8–13 дек. 2014 г. С. 106–110.

5. Ковалевский В. В., Белоносов А. С. Экспериментальные работы с подземной сейсмической группой в Приэльбрусье // Там же. С. 111–115.

6. Григорюк А. П., Брагинская Л. П., Ковалевский В. В. Интеграция информационных ресурсов в области активной сейсмологии // Там же. С. 202–206.

7. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В., Павлов А. Ф. Изучение метеозависимой фокусировки акустических волн с помощью сейсмического вибратора и взрывов // Тез. докл. 8-й Междунар. конф. "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Курчатов (Респ. Казахстан), 4–8 авг. 2014 г. Курчатов: НЯЦ РК, 2014. С. 39.

8. Хайретдинов М. С., Якименко А. А., Караваев Д. А. Численное моделирование волнового поля в зонах подземных ядерных взрывов // Там же. С. 52.

9. Ковалевский В. В., Белоносов А. С., Авроров С. А., Якименко А. А. Локализация сейсмических событий в Приэльбрусье подземной сейсмической группой // Там же. С. 20.

10. Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Кельманов А. В. Апостериорные алгоритмы в проблеме геофизического мониторинга // Тез. докл. 10-й Междунар. конф. "Интеллектуализация обработки информации" ("ИОИ-10"), о-в Крит (Греция), 4–11 окт. 2014 г. Москва: Торус Пресс, 2014. С. 218.

11. Глинский Б. М., Марченко М. А., Родионов А. С., Караваев Д. А., Подкорытов Д. И. Отображения параллельных алгоритмов на суперкомпьютеры эксафлопсной производительности на основе имитационного моделирования // Тез. докл. 10-й Междунар. конф.

"Интеллектуализация обработки информации" ("ИОИ-10"), о-в Крит (Греция), 4–11 окт. 2014 г. Москва: Торус Пресс, 2014. С. 82.

12. Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Кратов С. В. Научная информационная система "Активная сейсмология" для комплексных геофизических исследований // Там же. С. 221.

13. Губарев В. В., Хайретдинов М. С., Абалов Н. В., Альсова О. К., Таиров Т. В., Мельников Г. А. Concorrelation and singular spectrum analysis of seismic signals // Abst. of the Intern. conf. "Advanced Mathematics, Computations & Applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 91.

14. Znak V.I. Some questions of the adapting the order filters to the signal form and character of noise // Ibid. P. 71.

15. Voskoboinikova G. M. Fractal analysis in the problem of the seismic waves selection // Ibid/ P. 114.

16. Хайретдинов М. С. Numerical interaction characteristics of geophysical fields on border "Lithosphere – atmosphere – hydrosphere" // Ibid. P. 33.

17. Yakimenko A.A. Advantage and problem of using GPU implementation permutation test // Ibid. P. 115.

18. Kazantsev I. G., Pyatkin V. P., Kovalevsky V. V., Braginskaya L. P., Karavayev D. A. Tomographic reconstruction of mud volcano structure // Ibid. P. 58.

19. Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P., Kratov S. V. Complex information support of scientific research in active seismology // Ibid. P. 87.

20. Kovalevsky V. V., Belonosov A.S. Mathematical modeling for studying underground seismic array characteristics // Ibid. P. 97.

21. Karavaev D. A. Researches of parallel algorithm work for 3D seismic field simulation on hybrid clusters // Ibid. P. 95.

22. Braginskaya L. P., Kovalevsky V. V., Grigoruk A. P. Web-oriented information system "Active seismology" // Abst. of the Intern. conf. "Modern Information Technologies in Earth Sciences", Petropavlovsk-Kamchatsky, Sept. 8–13, 2014. P. 143.

### **Сдано в печать**

1. Знач В. К. статистической адаптации порядковых фильтров к обработке периодических и частотно-модулированных сигналов с привлечением графического интерфейса // Patt. Recogn. and Image Analysis.

### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. 8-я Международная конференция "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Курчатов (Респ. Казахстан), 4–8 авг. 2014 г. – 3 доклада (Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В., Якименко А. А., Караваев Д. А., Авроров С. А.).

2. The 14th International multidisciplinary scientific geoconference "Informatics, geoinformatics and remote sensing" "SGEM – 2014", Albena (Bulgaria), June 17–26, 2014. – 1 доклад (Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Ковалевский В. В.).

3. The 6th Saint Petersburg International conference & exhibition "Geosciences – Investing in the Future", Saint Petersburg, April 7–10, 2014. – 1 доклад (Знач В. И.).

4. 10-й Международный научный конгресс "Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2014": Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. –

7 докладов (Ковалевский В. В., Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Седухина Г. Ф., Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Караваев Д. А., Авроров С. А., Якименко А. А.).

5. The 4th iLEAPS Science conference "Terrestrial ecosystems, atmosphere, and people in the Earth system", Nanjing (China), May 12–16, 2014. – 1 доклад (Воскобойникова Г. М.).

6. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Булан-Соготту (Кыргызская Республика), 25 июля – 5 августа 2014 г. – 2 доклада (Хайретдинов М. С., Якименко А. А.).

7. Международная суперкомпьютерная конференция "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Новороссийск, 22–27 сент. 2014 г. – 1 доклад (Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

8. 12-я Международная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы электронного приборостроения" (АПЭП – 2014), Новосибирск, 2–4 окт. 2014 г. – 3 доклада (Хайретдинов М. С., Авроров С. А., Якименко А. А., Григорюк А. П.).

9. 10-я Международная конференция "Интеллектуализация обработки информации" (ИОИ-10), о-в Крит (Греция), 4–11 окт. 2014 г. – 3 доклада (Хайретдинов М. С., Воскобойникова Г. М., Караваев Д. А., Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

10. Всероссийская конференция "Геофизические методы исследования земной коры" посвященная 100-летию со дня рождения акад. Н. Н. Пузырева, Новосибирск, 8–13 дек. 2014 г. – 3 доклада (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

11. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, июнь 8–11, 2014 г. – 9 докладов (Хайретдинов М. С., Знак В. И., Воскобойникова Г. М., Якименко А. А., Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Караваев Д. А., Григорюк А. П.).

12. Международная конференция "Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле", Петропавловск-Камчатский, 8–13 сент. 2014 г. – 1 доклад (Ковалевский В. В., Брагинская Л. П., Григорюк А. П.).

### **Участие в оргкомитетах конференций**

1. Ковалевский В. В.:

– член оргкомитета 8-й Международной конференции "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", Курчатов (Респ. Казахстан), 4–8 авг. 2014 г.;

– член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

2. Иванова И. Н. – член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики – 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

### **Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 4.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 9.

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 2.

Публикаций в зарубежных изданиях – 5.

Публикаций в материалах международных конференций – 16.

Публикаций в прочих изданиях – 22.

Докладов на конференциях – 35.

Участников оргкомитетов конференций – 3.

### Кадровый состав

1. Ковалевский В. В.	и.о. зав. лаб.	д.т.н.
2. Хайретдинов М. С.	г.н.с.	д.т.н.
3. Знак В. И.	с.н.с. 0.5 ст.,	к.т.н.
4. Григорюк А. П.	н.с.	
5. Ефимов С. А.	н.с., 0.5 ст.	
6. Кайсина Н. В.	н.с., 0.5 ст.	
7. Седухина Г. Ф.	н.с.	
8. Авроров С. А.	мн.с.,	к.т.н.
9. Воскобойникова Г. М.	мн.с.,	к.т.н.
10. Караваев Д. А.	мн.с.,	к.ф.-м.н.
11. Якименко А. А.	мн.с.,	к.т.н.
12. Борисов В. В.	вед. инженер	
13. Иванова И. Н.	вед. инженер	
14. Макаров В. А.	вед. инженер-электроник	
15. Брагинская Л. П.	вед. программист	

Авроров С. А., Караваев Д. А., Якименко А. А. — молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

1. Хайретдинов М. С. – зав. кафедрой СИТ, профессор НГТУ.
2. Авроров С. А. – доцент кафедры СИТ НГТУ.
3. Воскобойникова Г. М. – ассистент кафедры СИТ НГТУ.

### Руководство студентами

1. Иванов Н. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
2. Молдахметова С. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
3. Матвеев И. Н. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
4. Кокинос А. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.
5. Еремин А. В. – 1-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Хайретдинов М. С.

### Защита диссертаций

1. Воскобойникова Г. М. Апостериорные вычислительные алгоритмы и программы в задачах геофизического мониторинга. Дис. на соискание ... канд. техн. наук: специальность 05.13.17 (теоретические основы информатики). Защита состоялась 14.03.2014 г. Научный руководитель – д.ф.-м.н. Кельманов А. В.

2. Якименко А. А. Алгоритмы и программный инструментарий для гибридных супер-ЭВМ в задачах обнаружения подземных полостей и анализа генетических данных. Дис. на соискание ... канд. техн. наук: специальность 05.13.11 (математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей). Защита состоялась 28.01.2014 г. Научный руководитель – д.т.н. Хайретдинов М. С.

## Лаборатория обработки изображений

Зав. лабораторией д.т.н. Пяткин В. П.

### Важнейшие достижения

#### Восстановление плоской волны с треугольным носителем

Д.ф.-м.н. Казанцев И. Г.

Один из подходов к конструированию алгоритмов реконструкции в вычислительной томографии состоит в представлении восстанавливаемого изображения в виде декомпозиции плоских волн определенных ориентаций и задании носителя изображения. Затем к изображению применяется преобразование Радона и аналитически вычисляются проекции отдельных плоских волн. Такие репроекции плоских волн составляют основу аналитических и алгебраических методов томографии. При проведении формальных выкладок необходимо учитывать форму носителя изображения, определяющую отрезки просвечивающих лучей, а значит, и пределы интегрирования. Большинство формул обращения преобразования Радона предполагают в качестве носителя либо всю плоскость, либо круг заданного радиуса. Для квадратного носителя известна лишь одна уникальная формула обращения, имеющая теоретико-числовую природу и отличная от большинства формул, выведенных для обратного преобразования Радона (Введенская Н. Д., Гиндикин С. Г. // Докл. АН. 1984. Т. 279, № 4. С. 780–784). В работе авторов Kazantsev I. G., Lemahieu I. (Inverse Problems. 2000. Vol. 16, No. 6. P. 505–517) показано, что плоская волна с круговым носителем не может быть точно восстановлена по одной проекции, за исключением проекции в собственном направлении. Более того, нет точного восстановления и по конечному набору проекций, так как при проецировании некоторые пространственные частоты безвозвратно теряются. Ситуация меняется в случае с треугольными носителями. Доказана теорема: для восстановления обеих частей отдельной плоской волны  $h_\omega$  с треугольным носителем достаточно иметь две проекции  $p_{\theta_1}$  и  $p_{\theta_2}$  при условии  $\theta_1 < \omega < \theta_2$ .

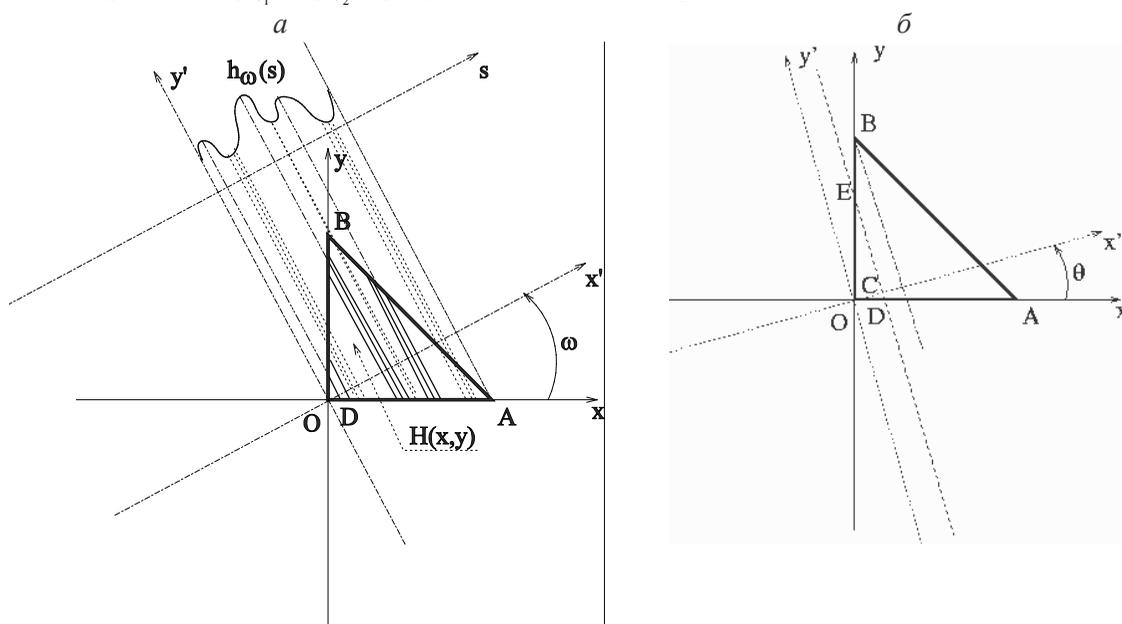


Рис. 1. Обратное проецирование функции  $h_\omega(s)$  на треугольник AOB (а); репроекция под углом  $\theta$  функции с треугольным носителем AOB (б)

Результаты исследований опубликованы в работе

Казанцев И. Г. Восстановление плоской волны с треугольным носителем // Труды 10-го Междунар. науч. конгр. и выставки "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 14–16 апр. 2014 г. Т. 1. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология". С. 94–97.

Результаты исследований докладывались на 10-м Международном научном конгрессе и выставке "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 14–16 апр. 2014 г.

### **Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г. в соответствии с темой плана НИР института**

**Проект НИР 1.3.1.1.** "Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ для задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования".

Номер государственной регистрации НИР 01201370226.

Руководители: д.т.н. Ковалевский В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

**Блок 2.** "Математическое моделирование, исследование и разработка новых численных методов, алгоритмов и программ обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на основе современных аппаратно-программных платформ с использованием распределенных и параллельных вычислений. Разработка распределенных высокопроизводительных технологий решения задач моделирования, обработки и интерпретации данных ДЗЗ с использованием удаленных многопроцессорных ЭВМ различной архитектуры. Исследование, обоснование и реализация параллельных версий алгоритмов обработки данных ДЗЗ. Алгоритмы решения конкретных прикладных задач дистанционного зондирования. Представление результатов проекта для экспертной проверки на лабораторном Web-сервере".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Исследовались вопросы применимости современных вычислительных библиотек к решению задач моделирования и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на гибридных высокопроизводительных кластерах, оснащенных GPU. Актуальность выполненных исследований определяется отсутствием алгоритмов и программ автоматизированной обработки данных ДЗЗ в программном обеспечении ССКЦ и других суперкомпьютерных центров.

1. Исследованы свободно распространяемые вычислительные библиотеки для GPU на предмет реализации алгоритмов моделирования данных ДЗЗ. Сделан вывод о том, что данные библиотеки хорошо подходят для высокопроизводительного выполнения операций, типичных для решения задач моделирования.

2. Исследована архитектура программного кода библиотеки точного моделирования данных ДЗЗ LBLRTM и библиотеки ускоренного моделирования данных ДЗЗ RTTOV на предмет возможности ускорения вычислений посредством использования GPU. Сделан вывод о нецелесообразности попыток ускорения кода LBLRTM и большой трудоемкости ускорения кода RTTOV.

3. Выполнено распараллеливание вычислений библиотеки ускоренного моделирования данных ДЗЗ RTTOV посредством использования директив OpenMP. Сделан вывод о низкой эффективности данной оптимизации.

Данные результаты предполагается использовать при разработке высокопроизводительных технологий моделирования, обработки и анализа данных ДЗЗ на гетерогенных кластерах с GPU.

Выполнены работы, связанные с использованием нечеткой кластеризации расширенными алгоритмами С-средних (Fuzzy C-means, FCM) и Густафсона – Кесселя (Gustafson – Kessel, GK) в обработке данных ДЗЗ. В алгоритме FCM выбранная метрика одинакова для всех кластеров и не меняется в процессе работы. Принципиальное отличие алгоритма GK от алгоритма FCM состоит в том, что каждый кластер имеет индивидуальную метрику, основанную на нечеткой ковариационной матрице кластера. Эта метрика динамически меняется в процессе выполнения итераций алгоритма. Расширение алгоритмов FCM и GK (соответственно, получаются алгоритмы E-FCM и E-GK) состоит в следующем:

1. В качестве прототипов кластеров используются объемные прототипы. Например, если в алгоритме E-FCM используется евклидова метрика, то таким прототипом будет гипершар. В алгоритме E-GK объемным прототипом кластера является гиперэллипсоид. Размеры объемных прототипов определяются на основе объемов кластеров. Такие прототипы менее чувствительны к отклонениям в распределении данных.

2. Вводится понятие "сходства" кластеров. Начиная с заведомо большего числа кластеров в данных, кластеры, степень сходства которых превышает заданный порог, объединяются в процессе кластеризации для того, чтобы получить подходящее разбиение данных.

а



б

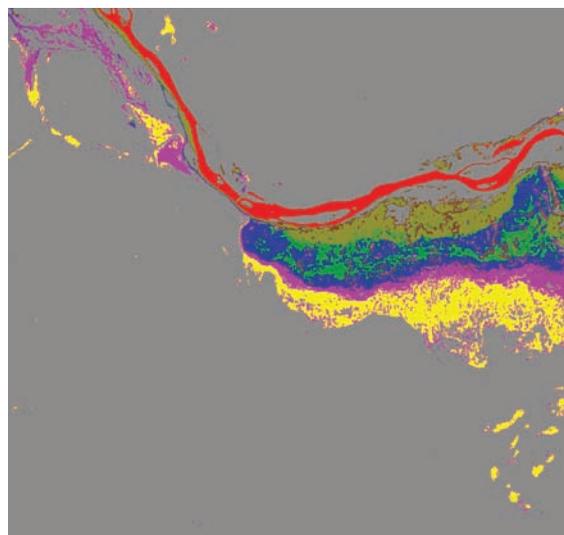


Рис. 2. Паводковая ситуация в районе Горно-Алтайска в мае 2011 года, изображение ИСЗ "SPOT-5" (разрешение 20 м) (а); результат нечеткой С-кластеризации, выделено 7 классов водной среды (б)

Включение алгоритмов E-FCM и E-GK в состав программного комплекса PlanetaMonitoring позволяет расширить возможности системы кластеризации комплекса по построению разбиения, наиболее полно соответствующего внутренней структуре данных ДЗЗ. Программный комплекс PlanetaMonitoring, предназначенный для обработки информации как с низкоорбитальных, так и с геостационарных спутников Земли, рекомендуется для внедрения в практику научной и производственной деятельности центров приема и обработки спутниковых данных. В настоящее время комплекс внедрен в ФГБУ "НИЦ "Планета"" (Москва).

Найдены условия восстановления плоской волны с треугольным носителем по двум проекциям. Результат планируется использовать для конструирования новых алгоритмов реконструкции в вычислительной томографии.

Для решения задачи обнаружения протяженных объектов заданной формы (следов траекторий, кольцевых структур) на зашумленных изображениях получен непараметрический статистический критерий, превышающий по эффективности все описанные ранее.

Если в поле зрения наблюдателя кроме важного для него протяженного объекта не может присутствовать другой ("мешающий") объект, то для обнаружения важного объекта используют двухвыборочный непараметрический статистический критерий Вилкоксона или эквивалентный ему критерий Манна – Уитни. Если же, напротив, в поле зрения наблюдателя вместо важного протяженного объекта может попасть часть окрестности контура мешающего объекта, то использование критерия Вилкоксона – Манна – Уитни (WMW) легко может привести к ложному обнаружению. Уменьшить вероятность ложного обнаружения можно путем использования трехвыборочного статистического критерия Уитни, который основан на двух критериях Манна – Уитни. Таким образом, отыскание лучшего критерия, чем критерий Уитни, дало бы и более эффективное решение упомянутой важной задачи обнаружения. Насколько нам известно, возможность получения более эффективного критерия, чем критерий Уитни, до сих пор не реализована в литературе. Ранее в коллективе разработан критерий, часто более мощный, чем критерий WMW. Критерий, разработанный в отчетном году на основе двух этих критериев, оказался заметно более мощным, чем критерий Уитни. Установлено еще одно замечательное свойство нового критерия: вероятность ложного обнаружения с его помощью оказалась меньше вероятности ложного обнаружения с помощью критерия Уитни.

Предложен критерий выбора числа главных компонент собственного пространства ковариационной матрицы признаков данных ДЗЗ, позволяющий сократить размерность пространства признаков в зависимости от детальности представления данных.

Гистограммный алгоритм кластеризации с использованием делимости кластеров, предложенный на предыдущих этапах проекта, находит максимальную детальность представления данных, обеспечивающую заданную минимальную отделимость кластера. Детальность в нем определяется размерами ячейки квантования векторного пространства признаков. Ранее закон вычисления размеров задавался числом уровней квантования, одинаковым для всех измерений пространства признаков. Нами рассмотрен другой способ задания числа уровней квантования, зависящий от формы реального пространства данных и обеспечивающий существенно меньшую потерю информации при квантовании. Этот способ предполагает преобразование пространства в собственное пространство ковариационной матрицы признаков и рассмотрение ячейки квантования как гиперкуба, для чего число уровней квантования в направлении признака должно быть пропорционально значению собственного числа. Таким образом, определяется соотношение между числом уровней по каждому признаку, а их абсолютные значения можно связать, например, с детальностью, необходимой для достижения заданной минимальной отделимости кластера. Предложен критерий выбора числа главных компонент для конкретной задачи кластеризации дискретного пространства признаков, связанный с делимостью кластеров. Критерий применялся при кластеризации изображений леса на аэрофотоснимках с помощью системы текстурных признаков CONTEXT, использующих быстро вычисляемые значения гистограмм в окрестности пикселей. Результаты кластеризации оказались сравнимыми с результатами наземной таксации, предоставленными лесоводами Института леса СО РАН.

Разработаны параллельные алгоритмы построения масштабируемой модели гиперрельефа в четырехмерном пространстве. Высокий конструктивный потенциал развиваемой в коллективе масштабируемой модели рельефа позволил расширить область применения модели на четырехмерное пространство, что особенно актуально в связи с увеличивающимся потоком многоспектральных данных ДЗЗ.

Поддерживался сервер лаборатории, адрес в сети Интернет: <http://loi.sssc.ru>.

### **Результаты работ по грантам РФФИ**

**Проект РФФИ № 13-07-00068** "Исследование и разработка алгоритмического и программного обеспечения обработки данных дистанционного зондирования Земли на основе современных аппаратно-программных платформ с использованием распределенных, параллельных и облачных вычислений".

Руководитель проекта – д.т.н. Пяткин В. П.

Разработаны алгоритмы агрегирования семантики сложно структурированных геоданных. Исследованы вычислительные библиотеки для GPU на предмет их применимости к решению задач обработки данных ДЗЗ. Реализован алгоритм явной нечеткой контролируемой классификации данных ДЗЗ, включая параллельную версию. Разработан и реализован трехмерный алгоритм реконструкции для специализированных эмиссионных томографов в виде пары параллельных панелей с детекторами. Разработан новый последовательный непараметрический статистический критерий для скорейшего обнаружения на единичном зашумленном изображении следов объектов, движущихся к заданной точке. Разработаны алгоритмы построения масштабируемой модели гиперрельефа в четырехмерном пространстве. Построен и апробирован на реальных данных ДЗЗ алгоритм кластеризации, основанный на контексте с автоматическим выбором размера окрестности для расчета контекста. Поддерживался Web-сайт проекта по адресу: <http://loi.sssc.ru/lab/RFFI2013/RU/main13.htm>. Представлен промежуточный отчет по этапу 2014 г.

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

**Программа Президиума РАН № 43, проект № 32** "Разработка методов математического моделирования и вычислительных технологий для решения взаимосвязанных задач экологии и климата с использованием данных наземного и спутникового мониторинга".

Руководители: д.ф.-м.н. Пененко В. В., д.т.н. Пяткин В. П.

**Раздел 2 "Вычислительные технологии решения задач спутникового мониторинга Арктики"**.

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Предложен новый непараметрический статистический критерий для задач с тремя выборками более мощный, чем ранее опубликованные. Он может успешно использоваться при решении актуальной задачи анализа изображений ледяного покрова, например, для обнаружения трещиноватости льдов.

Разработаны высокопроизводительные технологии:

– картирования параметров состояния морской среды Сибирского региона Арктики по данным дистанционного зондирования Земли;

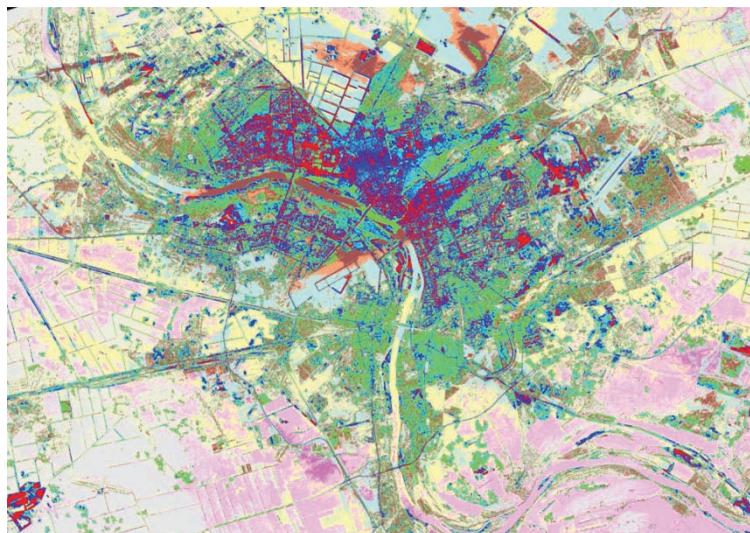


Рис 3. Кластеризация фрагмента семиспектрального изображения ИСЗ "Landsat-8" (разрешение 15 м). Синий и коричневый кластеры соответствуют загрязнению территории дымами

– определения пространственных перемещений водных масс и ледяных полей по разновременным спутниковым изображениям;

– обнаружения кольцевых структур на космических изображениях.

Разработана технология выделения и анализа территорий, загрязненных отходами производств, по спутниковым данным дистанционного зондирования.

Представлен полный итоговый отчет по проекту (этап 2014 г).

### Госконтракты

**ФЦП "Федеральная космическая программа России на 2006–2015 годы"**. Проект в рамках хоздоговорных работ с ФГБУ "НИЦ "Планета" (Москва) "Адаптация программного комплекса получения быстрых радиационных моделей для длинноволновых ИК каналов сканера МСУ-МР КА "Метеор-М" № 2".

Руководитель – д.т.н. Пяткин В. П.

Выполнялись работы по развитию созданного ранее ПО для быстрого моделирования спутниковых измерений: выполнено обновление библиотеки RTTOV подсистемы быстрого моделирования до версии 11.1 (май 2014 г); исследованы причины превышения ошибкой моделирования измерений ИКФС-2 значения аппаратного шума в полосе  $1023\text{--}1065\text{ см}^{-1}$ ; построена быстрая радиационная модель инфракрасных каналов сканера МСУ-МР; добавлена поддержка формата атмосферных данных Росгидромета; добавлена возможность задания типа подстилающей поверхности при выполнении операции моделирования измерений.

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Салов Г. И. О мощности одного нового статистического критерия и двухвыборочного критерия Вилкоксона // Автометрия. 2014. Т. 50, № 1. С. 44–59 (в базе РИНЦ).

2. Салов Г. И. Новый непараметрический статистический критерий для задач с тремя выборками, частный случай которого эквивалентен критерию Уитни // СибЖВМ. 2014. Т. 17, № 4. С. 389–397 (в базе РИНЦ).

**Зарубежные издания**

1. Kazantsev I. G., Schmidt S. A spherical x-ray transform and hypercube sections // J. Inverse and Ill-posed Probl. 2014. Vol. 22, N 4. P. 471–483 (в базе Scopus, Web of Science).
2. Sidorova V. S. Detecting Clusters of Specified Separability for Multispectral Data on Various Hierarchical Levels // Pattern Recogn. and Image Analysis. 2014. Vol. 24, N 1. P. 151–155. (в базе РИНЦ, Scopus).
3. Buchnev A. A., Pyatkin V. P. Statistical tests and software technologies for the detection of impact craters on satellite images // Ibid. Vol. 24, N 4. P. 1–5. (в базе РИНЦ, Scopus).
4. Uspensky A. B., Rublev A. N., Rusin E. V., Pyatkin V. P. A fast radiative transfer model for the "Meteor-M" satellite-based hyperspectral IR sounders // Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Phys. 2014. Vol. 50, N 9. P. 968–977 (в базе Scopus, Web of Science).

**Материалы международных конференций и совещаний**

1. Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П., Салов Г. И. Программный комплекс распознавания природных объектов по многоспектральным спутниковым изображениям и его использование при решении задач в интересах северных регионов // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием "Применение космических технологий для развития арктических регионов", Архангельск, 2014. С. 3–14.
2. Асмус В. В., Бучнев А. А., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П., Салов Г. И. Технологии обработки спутниковых данных в программном комплексе PLANETAMONITORING // Труды 10-го Междунар. науч. конгр. и выставки "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014", Новосибирск, 14–16 апр. 2014 г. Т. 1. С. 22–31 (в базе РИНЦ).
3. Sidorova V. S. Иерархический гистограммный алгоритм для поиска кластеров с делимостью ниже заданной по текстурным данным // Там же. С. 8–12 (в базе РИНЦ).
4. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Нечеткая кластеризация данных дистанционного зондирования Земли // Там же. С. 89–93 (в базе РИНЦ).
5. Казанцев И. Г. Восстановление плоской волны с треугольным носителем // Там же. С. 94–97 (в базе РИНЦ).
6. Пяткин В. П., Русин Е. В. Развитие программного обеспечения быстрого моделирования измерений спутниковых инфракрасных зондировщиков // Там же. С. 98–103 (в базе РИНЦ).
7. Пяткин В. П., Салов Г. И. Непараметрические статистические критерии для обнаружения импактных кратеров по единичному изображению и по совокупности изображений // Там же. С. 104–110 (в базе РИНЦ).
8. Ким П. А. Векторы нормали поверхности земного рельефа // Там же. С. 111–113 (в базе РИНЦ).
9. Ким П. А., Федоровых О. П. Еще один взгляд на применимость метода "естественной кластеризации" в экономических задачах // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. "Двадцатые апрельские экономические чтения". Омск, 22 апр. 2014 г. С. 69–72.
10. Диденко А. А., Ким П. А., Федоровых О. П. Естественная кластеризация коммуникационного потенциала территории // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. "Современное коммуникационное пространство: анализ состояния и тенденции развития", Новосибирск, 22–24 апр. 2014 г. С. 69–74.
11. Пяткин В. П., Русин Е. В. Технология быстрого моделирования измерений инфракрасных зондировщиков // Труды 42-й Междунар. конф. "Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе" (IT+SE-2014), майская сессия, Ялта – Гурзуф, 22 мая – 1 июня 2014 г. С. 131–135.

12. Ким П. А. 4D камера-обскура // Труды 15-й Российско-корейской науч.-техн. конф. Екатеринбург, 4–5 июля 2014 г. С. 128–132.

13. Getling A., Ishikawa R., Buchnev A. Formation of sunspot groups: Do we see manifestations of the rising-tube mechanism? // 40th COSPAR scientific assembly. Moscow, Aug. 2–10, 2014. Abst. E2.2-21-14.

14. Getling A. V., Ishikawa R., Buchnev A. A. Hydrodynamic aspects of sunspot-group formation: rising flux tube and magnetoconvection versus the observed pattern // Progr. and abst. book of the 14th Europ. Solar Phys. Meet. Dublin (Ireland), Sept. 8–12, 2014. P. 62.

15. Асмус В. В., Кровотынцев В. А., Пяткин В. П. Программные технологии в космическом мониторинге ледяного покрова Арктики // Материалы Междунар. конф. "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 23–26 сент. 2014 г. С. 15–19.

16. Бучнев А. А., Пяткин В. П. Построение полей перемещений природных объектов по данным космических спутников // Там же. С. 274–276.

### Патенты

1. Ким П. А. Универсальный блок наращивания полидуги / Пат. 2523988 РФ. Патентообладатель Новосибирский государственный педагогический университет. 2014.

2. Ким П. А. Устройство моделирования минимальной поверхности / Пат. 2524474 РФ. Патентообладатель Новосибирский государственный педагогический университет. 2014.

3. Ким П. А. Устройство моделирования поверхности полидугами / Пат. 2524882 РФ. Патентообладатель Новосибирский государственный педагогический университет. 2014.

### Свидетельства о регистрации в ФАП СО РАН

1. Сидорова В. С. Вычисление текстурных признаков изображения, основанных на статистике разностей Харалика / Свидетельство о регистрации в ФАП СО РАН PR13043 от 19.12.2013 (ранее в отчет не включалось).

2. Сидорова В. С. Обработка изображения эквализацией / Свидетельство о регистрации в ФАП СО РАН PR13044 от 19.12.2013 (ранее в отчет не включалось).

3. Сидорова В. С. Гистограммный иерархический алгоритм поиска кластеров с отделимостью ниже заданной по текстурным признакам / Свидетельство о регистрации в ФАП СО РАН PR13051 от 25.12.2013 (ранее в отчет не включалось).

4. Сидорова В. С. Программа сегментации изображения с предварительным выделением связанных областей, однородных по спектральным или текстурным признакам / Свидетельство о регистрации в ФАП СО РАН PR13052 от 25.12.2013 (ранее в отчет не включалось).

5. Сидорова В. С. Квантование векторного пространства спектральных признаков с сохранением ячейки квантования в форме гиперкуба / Свидетельство о регистрации в ФАП СО РАН PR14019 от 31.12.2014.

6. Сидорова В. С. Вычисление статистических текстурных признаков изображения системы CONTEXT / Свидетельство о регистрации в ФАП СО РАН PR14018 от 31.12.2014.

### Прочие издания

1. Пяткин В. П., Русин Е. В. Технология быстрого моделирования измерений инфракрасных зондировщиков // Образов. ресурсы и технол. Информ. технол. в образов. и науч. исслед. 2014, № 2 (5). С. 149–153. [Электрон. ресурс]. [http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot\\_2014\\_2\\_149-153.pdf](http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_2_149-153.pdf). (в базе РИНЦ)

2. Казанцев И. Г. Численные и геометрические методы математического моделирования в многомерных задачах томографии и обработки изображений. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Новосибирск, 2014.

3. Ким П. А. Проектный подход в курсе по выбору "Информационные основы интегральных роботов" // Междунар. электрон. журн. "Образовательные технологии и общество". 2014. Т. 17, № 3. С. 603–614. [Электрон. ресурс]. (<http://cyberleninka.ru/article/n/proektnyy-podhod-v-kurse-po-vyboru-informatsionnye-osnovy-integralnyh-robotov>) (в базе РИИЦ)
4. Ким П. А. Устройство моделирования поверхности полидугами / Заявка 2012148824/12 РФ. Заявл. 16.11.2012. Оpubл. 27.05.2014. Бюл. № 15.
5. Ким П. А. Универсальный блок наращивания полидуги / Патент (19) RU (11) 2012152294(13) А РФ. Заявл. 06.12.2012. Оpubл. 20.06.2014. Бюл. № 17.
6. Ким П. А. Устройство моделирования минимальной поверхности / Патент (19) RU (11) 2012155254(13) А (22) РФ. Заявл. 19.12.2012 (43). Оpubл. 27.06.2014. Бюл. № 18.
7. Ким П. А. Универсальный блок наращивания полидуги / Патент (19) RU (11) 2 523 988 (13) С1 (51) МПК G09В 23/00 (2006.01) (12).. Оpubл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
8. Ким П. А. Устройство моделирования минимальной поверхности / Патент (19) RU (11) 2 524 474(13) С1 (51) МПК G09В 23/06 (2006.01) (12). Оpubл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
9. Ким П. А. Устройство моделирования поверхности полидугами / Патент (19) RU (11) 2524882 (13) С2 (51) МПК G09В23/00 (2006.01) (12). Оpubл. 10.08.2014. Бюл. № 22. Официальный бюллетень "Изобретения. Полезные модели" (ISSN 2313-7436).
10. Pyatkin V. P., Salov G. I. On nonparametric statistical tests for the detection of craters in set of images // Тез. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014" (АМСА-2014), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. С. 47.
11. Salov G. I. A new nonparametric test for the problem of small object detection on a noisy image // Там же. С. 50.
12. Kazantsev I. G. Reconstruction of images with triangular support // Ibid. P. 58.
13. Kazantsev I. G., Pyatkin V. P., Kovalevsky V. V., Braginskaya L. P., Karavayev D. A. Tomographic reconstruction of mud volcano structure // Ibid. P. 59.
14. Buchnev A. A., Pyatkin V. P. The automatic classification of the Earth Remote Sensing Data // Ibid. P. 87.
15. Sidorova V. S. Contextual clustering multispectral data of remote sensing the Earth // Ibid. P. 108.

### **Сдано в печать**

1. Салов Г. И. Новый непараметрический статистический критерий для задач с тремя выборками, более эффективный, чем критерий Уитни // Автометрия.
2. Пяткин В. П., Рублев А. Н., Русин Е. В., Успенский А. Б. Быстрая модель измерений спутниковых гиперспектральных инфракрасных зондировщиков // Pattern Recogn. and Image Analysis.
3. Сидорова В. С. Глобальная сегментация текстурных изображений на основе иерархической кластеризации по заданной отделимости кластеров // Ibid.
4. Getling A. V., Ishikawa R., Buchnev A. A. Doubts about the crucial role of the rising-tube mechanism in the formation of sunspot groups // J. Adv. Space Res.

### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. 10-й Международный научный конгресс и выставка "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2014". Новосибирск, 15–26 апр. 2014 г. – 7 докладов (Пяткин В. П. (плeнарный), Бучнев А. А., Казанцев И. Г., Ким П. А., Русин Е. В., Салов Г. И., Сидорова В. С.).

2. Международная научно-практическая конференция: "Двадцатые апрельские экономические чтения". Омск, 22 апреля 2014 г. – 1 доклад (Ким П. А.).
3. Международная научно-практическая конференция: "Современное коммуникационное пространство: анализ состояния и тенденции развития", Новосибирск, 22–24 апр. 2014 г. – 1 доклад (Ким П. А.).
4. Международная конференция "Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе" (IT+SE'2014), Ялта – Гурзуф, 22 мая – 1 июня 2014 г. – 1 доклад (Пяткин В. П.).
5. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АМСА–2014), Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 6 докладов (Салов Г. И. (2 доклада), Казанцев И. Г. (2 доклада), Бучнев А. А., Сидорова В. С.).
6. 15-я Российско-корейская научно-техническая конференция, Екатеринбург, 4–5 июля 2014 г. – 1 доклад (Ким П. А.).
7. 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, Aug. 2–10, 2014. – 1 доклад (Бучнев А. А.).
8. 14th European Solar Physics Meeting, Dublin (Ireland), Sept. 8–12, 2014. – 1 доклад (Бучнев А. А.).
9. Международная конференция "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли", Красноярск, 23–26 сент. 2014 г. – 2 доклада (Пяткин В. П. (пленарный), Бучнев А. А.).
10. Международная научно-практическая конференция: "Актуальные вопросы развития экономики", Омск, 4 дек. 2013 г. – 1 доклад (Ким П. А., не вошла в отчет 2013 г.).

#### **Участие в оргкомитетах российских и международных конференций**

1. Пяткин В. П.
  - руководитель секции Международного конгресса "ГЕО-Сибирь-2014".
  - член программного комитета Международной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли РПДЗЗ-2014".
  - член программного комитета 9-th Open German-Russian Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding (OGRW-9-2014).
2. Русин Е. В. – секретарь секции Международного конгресса "ГЕО-Сибирь-2014".

#### **Итоговые данные по лаборатории**

- Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 2
- Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 4
- Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 13
- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 2
- Публикаций в зарубежных изданиях – 4
- Публикаций в материалах международных конференций – 16
- Патентов – 3
- Свидетельств о регистрации программ и баз данных в ФАП СО РАН – 6
- Публикаций в прочих изданиях – 15
- Докладов на конференциях – 22, в том числе пленарных – 2
- Участников оргкомитетов конференций – 4

**Международные научные связи**

1. Казанцев И. Г. – научная работа на факультете прикладной математики и информатики Датского технического университета в группе томографии и обработки изображений Копенгаген (Дания), июнь – декабрь 2014 г.

**Кадровый состав лаборатории**

1. Пяткин Валерий Павлович	зав. лаб.,	д.т.н.
2. Бучнев Алексей Александрович	с.н.с.,	к.т.н.
3. Казанцев Иван Гаврилович	с.н.с.,	д.ф.-м.н.
4. Ким Павел Алексеевич	с.н.с.,	к.ф.-м.н.
5. Русин Евгений Владимирович	с.н.с.,	к.т.н.
6. Салов Геннадий Иосифович	с.н.с.,	к.т.н.
7. Сидорова Валерия Сергеевна	н.с.	
8. Калашникова Елена Геннадьевна	ведущ. инженер	
9. Карогодина Татьяна Ивановна	ведущ. инженер	
10. Сидоренко Марина Алексеевна	ведущ. инженер	
11. Соколов Андрей Михайлович	инженер-программист	

Соколов А. М. – молодой научный сотрудник.

**Педагогическая деятельность**

Пяткин В. П. – профессор СГУГиТ.

Ким П. А. – доцент НГПУ.

**Руководство студентами и аспирантами**

Соколов А.М. – 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Ким П.А.

**Защита диссертаций**

Казанцев И. Г. Численные и геометрические методы математического моделирования в многомерных задачах томографии и обработки изображений. Дис. на соискание ученой ст. д-р физ.-мат. наук по специальности 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ". Защита 17.10.2014 г. на заседании диссертационного совета Д 003.061.01 при ИВМиМГ СО РАН.

**Премии и награды**

Пяткин В. П. награжден Федерацией космонавтики России орденом Ю. А. Гагарина.

## Лаборатория системного моделирования

Зав. лабораторией к.т.н. Забияко Г. И.

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.3.1.4.** "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации инфокоммуникационных систем".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Руководители: д.ф.-м.н. Попков В. К., к.т.н. Бредихин С. В., к.т.н. Забияко Г. И., д.т.н. Родионов А. С.

Рассмотрено аналитическое решение задачи о максимально достижимом числе вершин при заданных размерности и диаметре неориентированных циркулянтных сетевых структур (графов). Циркулянтные сети имеют практический интерес как топологии надежных сетей связи параллельных суперкомпьютерных систем и как структуры в нейронных и оптических сетях. Получены новые данные и скорректирована таблица максимально достижимых порядков циркулянтов размерности четыре.

Предложен и реализован новый подход к решению оптимизационной проблемы построения семейств оптимальных по диаметру двумерных циркулянтных сетей. Данный подход использует эволюционные алгоритмы для автоматического порождения аналитических (описываемых формулами) параметрических описаний семейств циркулянтных сетей. Представлены новые семейства (более 70) оптимальных циркулянтов, полученные посредством эволюционного алгоритма (Монахова Э. А., к.т.н. Монахов О. Г.).

Разработка модели и параллельного алгоритма решения задачи календарного планирования производства для практического использования. Программный комплекс предназначен для составления объемно-календарных планов предприятий дискретно-непрерывного производства большой размерности (до 300 тыс. операций в портфеле заказов (Ляхов О. А.).

Предложены разработки алгоритмов и программного обеспечения для задач математического программирования. Предложен алгоритм решения задачи минимизации квадратичной функции на шаре, на каждой итерации которого решается двумерная задача минимизации. Проведены численные исследования, сравнение с некоторыми другими алгоритмами методов доверительной области.

Закончена разработка программ симплекс-метода с использованием техники двойного базиса. В этом случае не требуется выполнять на итерациях метода обновление LU, полученного на этапе перепостроения. Полученные решения по прямым и двойственным переменным на основе фиксированных LU-разложений корректируются с использованием вспомогательных матриц небольших размеров. На этапе перепостроения LU-разложения ведущие элементы определяются из решения задачи назначения для матрицы, специальным образом построенной, из элементов текущей базисной матрицы.

Для уменьшения заполненности мультипликативного представления симметричные перестановки определяются с помощью процедур пакета METIS. В результате достигаются быстроедействие и численная устойчивость (к.т.н. Забияко Г. И., Котельников Е. А.).

**Результаты работ по грантам РФФИ**

**Проект РФФИ № 14-01-00031** "Разработка и исследование методов эволюционного синтеза нелинейных математических моделей на основе темплейтов с реализацией на суперЭВМ".

Руководитель проекта – к.т.н. Монахов О. Г.

Разработан метод эволюционного многовариантного синтеза нелинейных математических моделей природных процессов, описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений на основе темплейтов и экспериментальных данных. Разрабатываемый подход применен для синтеза уравнений модели динамики популяций Лотки – Вольтерры, уравнений осциллятора Ван дер Поля для двумерного случая. Получены оценки влияния характеристик темплейтов, таких как степень специализации темплейта на показатели эффективности эволюционного алгоритма синтеза рассматриваемого типа моделей. Предложенный подход с использованием темплейтов позволил получить существенное сокращение времени поиска аналитических описаний нелинейных математических моделей по экспериментальным данным в зависимости от степени специализации темплейта.

Метод эволюционного синтеза позволил получить также оптимальные описания для введенного исполнителями проекта класса гиперциркулянтных графов (сетей). Проведен сравнительный анализ структурных характеристик гиперциркулянтных, тороидальных, циркулянтных сетей и iVT-сетей, предложенных ранее зарубежными авторами. Показано преимущество полученных оптимальных гиперциркулянтных сетей по таким структурным характеристикам, как диаметр, средний диаметр и ширина бисекции при соизмеримых затратах на число узлов и число связей системы.

**Проект РФФИ № 14-01-92694-инд.** "Гибридные биоинспирированные алгоритмы для оптимизационных задач в финансовой математике".

Руководитель – к.т.н. Монахов О. Г.

Разработан подход к оптимизации торговых стратегий, основанный на индикаторах финансовых и товарных рынков и эволюционных вычислениях. Представлен алгоритм дифференциальной эволюции с использованием темплейтов, который был применен для автоматизации поиска оптимальных параметров торговых стратегий с точки зрения максимизации показателей доходности. Предложена модификация операции мутации для алгоритма дифференциальной эволюции, экспериментально показана ее эффективность.

**Публикации****Центральные российские издания (из списка ВАК)**

1. Котельников Е. А. Минимизация квадратичной функции на шаре // СибЖВМ. 2014. Т 17, № 4. С. 329–338. (в базах *scopus*, *РИНЦ*).
2. Монахова Э. А., Монахов О. Г. К вопросу о максимально достижимом числе вершин циркулянтных графов при любом диаметре // Прикл. дискр. матем. 2014. № 3 (25). С. 81–85 (в базе *РИНЦ*).
3. Монахов О. Г., Монахова Э. А. Улучшение характеристик класса регулярных сетей с помощью алгоритма эволюционного синтеза // Наука и образование. 2014. № 10. С. 273–283. DOI: 10.7463/1014.0728878. (в базе *РИНЦ*).
4. Монахова Э. А., Монахов О. Г. Эволюционный синтез семейств оптимальных двумерных циркулянтных сетей // Вестн. СибГУТИ. 2014. № 2. С. 72–82. (в базе *РИНЦ*).

**Материалы международных конференций**

1. Монахов О. Г., Монахова Э. А., Токтошов Г. Ы. Об одном подходе к эволюционному синтезу регулярных сетей // Труды 10-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем". Иссык-Куль (Кыргызская Респ.), 25 июля – 5 авг. 2014 г. Ч. 2. С. 505–509.

2. Монахов О. Г., Монахова Э. А. Эволюционный синтез нелинейных моделей на основе темплейтов // Труды 11-й Междунар. науч.-техн. конф. "Искусственный интеллект в XXI в.", Пенза, 27–30 нояб. 2014 г. Пенза: ПДЗ-ПГТУ, 2014. С. 75–80.

3. Monakhov O. G., Monakhova E. A., Pant M. Application of differential evolution algorithm for optimization of trading strategies // Proc. of the conf. "Academic science – problems and achievements V". Vol. 2. North Charleston (USA), Dec. 1–2, 2014. P. 137–140.

4. Монахов О. Г., Монахова Э. А., Пант М. Оптимизация финансовых стратегий на основе дифференциальной эволюции // Труды 11-й Междунар. науч.-техн. конф. "Искусственный интеллект в XXI в.", Пенза, 27–30 нояб. 2014 г. Пенза: ПДЗ-ПГТУ, 2014. С. 80–84.

5. Ляхов О. А. Ошибки агрегирования в календарном планировании проектов // Труды 10-й Междунар. Азиат. школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Кыргызская Респ.), 25 июля – 5 авг. 2014 г. Ч. 2. С. 474–479.

**Прочие публикации**

1. Монахов О. Г., Токтошов Г. Ы. Применение алгоритма муравьиной колонии для построения оптимальной гиперсети // Пробл. информ. 2014. № 3 (24). С. 3–12.

*(в базе РИНЦ).*

2. Zabinyako G. I. (Invited talk) Implementation of the simplex method admitting vectorization // Proc. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications" (AMCA'14), Novosibirsk, June 8–11, 2014. P. 63.

3. Lyakhov O. A. The problem of irradiation doses minimization at maintenance service of an atomic power station // Ibid. P. 59.

4. Monakhov O. G., Monakhova E. A. Evolutionary synthesis of families of circulant networks // Ibid. P. 67–68.

**Участие в конференциях**

1. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Кыргызская Республика), 25 июля – 5 августа 2014 г. – 1 доклад (Монахов О. Г., Монахова Э. А., Токтошов Г. Ы.).

2. International conference "Advanced mathematics, computations and applications" (AMCA'14), Novosibirsk, June 8–11, 2014. – 1 доклад (Монахов О. Г., Монахова Э. А.).

**Участие в оргкомитетах российских и международных конференций**

1. Токтошов Г. Ы. – сопредседатель оргкомитета 10-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Кыргызская Республика), 25 июля – 5 авг. 2014 г.

**Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 1.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 5.

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 4.

Публикаций в материалах международных конференций – 5.

Публикаций в прочих изданиях – 4.

Докладов на конференциях – 2.

Участников оргкомитетов конференций – 1.

**Кадровый состав**

1. Забиняко Г. И. – зав. лаб. к.т.н.
2. Монахов О. Г. – в.н.с к.т.н.
3. Монахова Э. А. – с.н.с к.т.н.
4. Ляхов О. А. – н.с. к.э.н.
5. Котельников Е. А. – с.н.с.
6. Токтошов Г. Ы. – м.н.с. к.т.н.
7. Марусина О. А. – техник

## Лаборатория прикладных систем

Зав. лабораторией – к.т.н. Бредихин С. В.

### Важнейшие достижения

Предложен метод определения "важных" элементов информационных систем сетевой структуры, базирующийся на метрике "центральность по посредничеству" (далее,  $C_B$ ), которая показывает, насколько часто рассматриваемая вершина графа лежит на кратчайших путях между другими вершинами. Для вычисления  $C_B$  на взвешенных графах разработан алгоритм, с помощью которого выполнено ранжирование коллекции периодических изданий БД Ререс.

Результаты опубликованы в журнале "Проблемы информатики".

К.т.н. Бредихин С. В., с.н.с. Щербакова Н. Г., ведущ. инж. Ляпунов В. М.

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР I.3.1.4** "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации систем сетевой структуры".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Руководитель – д.ф.-м.н. Попков В. К.

**Раздел 1** "Исследование и разработка математического аппарата и программной среды для решения задач анализа и синтеза систем информатики".

Руководитель – к.т.н. Бредихин С. В.

Продолжена разработка теории S-гиперсетей, исследована ее применимость к вопросам проектирования транспортных сетей электросвязи на больших территориях. Предложены алгоритмы решения задач размещения коммуникационного оборудования на сетях абонентского доступа с учетом чрезвычайных ситуаций. Рассмотрены и систематизированы вопросы по моделям и методам повышения живучести сетей связи различного назначения.

Для задачи моделирования современных сетей передачи данных проведен сравнительный анализ моделей: гиперграфов, гиперсетей, различных видов геометрических графов, безмасштабных сетей и др. Опубликовано обзорная статья. Продолжены исследования использования модели UDG-графа для решения оптимизационных задач функционирования сенсорных сетей. Разработаны два эффективных генератора псевдослучайных UDG-графов с наперед заданными свойствами, характерными для топологии сенсорных сетей: связность графа, распределение вершин на плоскости близкое к равномерному, ограничение на степень вершин и диаметр. Решены подзадачи: генерация случайных UDG-графов с созданием вспомогательной сетки (размер ячейки  $R$ ,  $R \times 2^{-1/2}$ ,  $R \times 5^{-1/2}$ ); генерация структуры дерева на основе случайного графа; генерация случайного дерева с учетом, что вершины могут иметь разные радиусы передачи пакетов (рис. 1).

Исследована проблема синтеза гиперсети – вложение вторичной сети в заданную первичную сеть. Применен "муравьиный" алгоритм, разработан программный модуль, реализующий этот алгоритм.

Продолжены исследования по моделированию транспортных сетей. Для сети, заданной ориентированным графом  $G=(V,E)$ , где каждое ребро  $(u,v)$  из  $E$  имеет неотрицательную целочисленную пропускную способность  $c(u,v) \geq 0$  и заданы вершины, источник  $s$  и сток  $t$ , такие что любая другая вершина сети лежит на пути из  $s$  в  $t$ , требуется найти поток  $f$ , такой

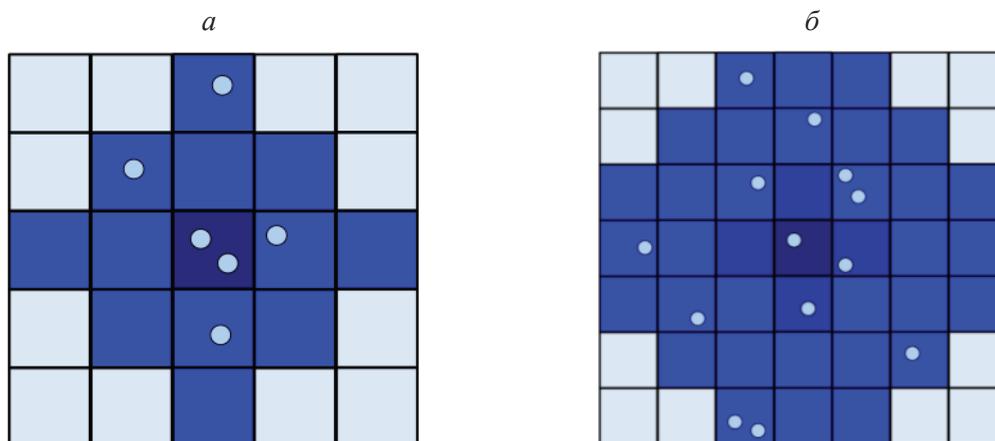


Рис. 1. Пример работы генератора UDG-графа для шага решетки размером  $R \times 2^{-1/2}$  (а) и  $R \times 5^{-1/2}$  (б)

что величина потока (сумма потоков из источника) будет максимальна. В качестве примера рассматривается дорожная сеть Новосибирской области. Первый этап: получение данных из проекта OpenStreetMap, извлечение данных, приведение их в формат XML для дальнейшей загрузки в СУБД PostgreSQL. На втором этапе выполнено представление графа в виде таблицы "ways" и построена транспортная сеть. Граф  $G$  представляется в виде таблицы следующего вида: номер ребра, тип ребра (автомагистраль, многополосная дорога, однополосная дорога), длина ребра, название ребра (возможно, название улицы и т. д.), координаты начала и конца ребра в проекции EPSG:4326, стоимость проезда по ребру, максимальная скорость движения по ребру, информация о геометрии ребра для отображения на карте. Для решения задачи определения максимального потока применены алгоритмы Эдмондса – Карпа и Диница.

Исследована задача создания специализированной сервис-ориентированной информационной среды в Интернет/Инtranет, обеспечивающей информационно-технологическую и организационную поддержку совместной работы виртуальным командам специалистов. Рассмотрен комплекс реализованных программно-технологических решений, направленных на создание предлагаемой информационной среды в виде виртуальной технологической площадки (ВТП). При разработке и анализе проектных решений ВТП для спецификации функциональной модели ВТП использован аппарат сетей Петри; получены количественные оценки параметров разрабатываемой системы. Результаты численных экспериментов на модели позволяют рекомендовать ее в качестве рабочего инструмента решения задачи масштабируемости ВТП.

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

**Программа № 15, проект 15.9. "Вычислительные, информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы в задачах математического моделирования".**

Руководитель – д.ф.-м.н. Попков В. К.

Рассмотрена задача разработки моделей и методов оптимизации транспортных сетей связи. Предложена математическая модель перспективной единой транспортной сети связи (ЕТСС), проектируемой на больших территориях. В рамках предложенной модели разработаны алгоритмы для оптимизационных задач, решаемых на этапе проектирования ЕТСС.

Разработаны оригинальные алгоритмы и модифицированы известные алгоритмы решения задач размещения сетевых узлов, сетевых станций на выделенной территории. Предложены эффективные алгоритмы решения задач выбора ситуационных трасс прокладки телефонной канализации в мегаполисах. Для решения оптимизационных задач применен модифицированный математический аппарат NS-гиперсетей. Данный аппарат оптимально приспособлен для приближенных решений оптимизационных задач на сетевых структурах.

**Междисциплинарный интеграционный проект Президиума СО РАН "Изучение механизмов формирования и распространения общественного мнения в социальных сетях: информационные и когнитивные подходы"**

Координатор в институте – к.т.н. Зыбарев Ю. М.

В интеграционном проекте роль группы исполнителей из ИВМиМГ СО РАН заключалась в исследовании современных интернет-технологий и интернет-ресурсов в качестве инструментария изучения механизмов формирования и распространения общественного мнения. Предложена концепция создания информационного ресурса, который реализован в виде специализированного интернет-портала ("Академгородок", <http://academcity.org/>). В процессе создания интернет-портала с учетом его целевого назначения разработана и реализована базовая функциональность. Основной упор сделан на модульность архитектуры, предоставление доступа к API, к которому могут обращаться сторонние разработчики при создании дополнительных функциональных блоков. Важные качества разработанной информационной системы: единая категоризация всех видов содержимого, разграничение доступа пользователей к отдельным функциям системы на основе ролей, поддержка XML-форматов (вывод документов в RDF, агрегация материалов из внешних источников), авторизация через OAuth/OpenID, механизм ограничения нагрузки на систему (кэширование, автоматическое отключение информационных блоков и модулей в зависимости от нагрузки на систему). Особое внимание уделено повышению интерактивности системы, ее удобству для пользователей. Организован процесс сбора массива статистической информации. На территории ССКЦ СО РАН развернут программно-технический комплекс с обеспечением доступа к сети Интернет.

## Публикации

### Монографии, главы в монографиях

1. Величко В. В., Попков В. К., Попков Г. В. Модели и методы повышения живучести современных систем связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 256 с.

### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Бухтияров И. В., Зыбарев Ю. М. Сервис-ориентированная среда для организации виртуального предприятия по производству программных продуктов // Прогр. инженерия. 2014. № 10. С. 11–18. (в базе РИНЦ)

2. Бухтияров И. В. Спецификация функциональной модели сервис-ориентированной среды для организации производства программных продуктов // Совр. пробл. науки и образов. 2014. № 4. С. 622. [Электрон. ресурс]. URL: [www.science-education.ru/118-14413](http://www.science-education.ru/118-14413).

(в базе РИНЦ)

3. Бухтияров И. В. Сети Петри как инструмент спецификации специализированной сервис-ориентированной информационной среды для производства программных продуктов // Докл. ТУСУР. 2014. № 4. (в базе РИНЦ)

4. Попков Г. В. Модель перспективной транспортной сети связи российской федерации // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Вып. "Математика, информатика". 2014. 9(1). С. 57–63.

(в базе РИНЦ)

5. Попков Г. В. Программно-алгоритмическое обеспечение для реализации нового подхода к построению единой транспортной сети связи // Прогр. продукты и системы. 2014. № 4. С. 242–246.

(в базе РИНЦ)

#### **Материалы международных конференций и совещаний**

1. Shakhov V. V., Sokolova O. D., Yurgenson A. N. A fast method for network topology generating // 8th Intern. workshop on multiple access communications (MACOM–2014), Sweden. Lect. Notes in Comput. Sci. 2014. V. 1875. P. 96–101.

(в базе Scopus)

2. Попков В. К. Структурные модели многослойных нестационарных систем // Труды 10-й Междунар. Азиат. шк.-семина. "Проблемы оптимизации сложных систем", Бишкек (Киргизия), 2014 г. С. 562–573.

3. Shakhov V., Sokolova O. Fault tolerant analysis of autonomous networks nodes // 12th Intern. conf. on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2014), Novosibirsk. P. 648–650.

(в базе Scopus)

4. Sokolova O., Yurgenson A., Shakhov V. Data transmission problem for modern data networks // Ibid. P. 660–662.

(в базе Scopus)

5. Grigoryuk A. P., Kratov S. V. Data experiments management on web-technologies basis // Ibid. V. 1. P. 259–261.

(в базе Scopus)

6. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Кратов С. В. Интеграция научных знаний по активной сейсмологии // Материалы Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 188–192.

7. Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Кратов С. В. Научная информационная система для теоретических и экспериментальных исследований в активной сейсмологии // Труды Междунар. суперкомп. конф. "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Новороссийск, 22–27 сент. 2014 г. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 406–409.

8. Зыбарев Ю. М. Развитие программной индустрии и шестой технологической уклад // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. "Фундаментальная информатика, информационные технологии и системы управления: реалии и перспективы" (ФИПТМ-2014), Красноярск, 25–27 нояб. 2014 г. С. 183–185.

9. Соколова О. Д., Кратов С. В. Фонд алгоритмов и программ СО РАН – средство популяризации научных разработок // Там же. С. 355–360.

10. Попков В. К., Правоторов Г. В. Об одной структурной модели биосферы Средней Азии // Труды Междунар. науч.-практ. конф. "Центральная Азия в исследованиях XIX–XXI вв. К 175-летию со дня рождения Н. М. Пржевальского", Бишкек, 2014 г. С. 222–225.

#### **Прочие издания**

1. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Ранжирование коллекции периодических изданий базы данных RePec на основе метрик Eigenfactors // Пробл. информ. 2014. № 1. С. 36–42.

(в базе РИНЦ)

2. Бредихин С. В., Щербакова Н. Г. Формализация индекса Хирша. Обзор // Там же. № 2. С. 17–27.

(в базе РИНЦ)

3. Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г. Мера важности научной периодики – "центральность по посредничеству" // Там же. С. 53–64.

(в базе РИНЦ)

4. Величко В. В., Попков Г. В. Об одной задаче создания сети передачи коротких сообщений в случае возникновения разрушающих воздействий // Пробл. информ. 2014. № 1. (в базе РИНЦ)
5. Кравченко П. С., Омарова Г. А. Микроскопические математические модели транспортных потоков. Аналитический обзор // Там же. С. 71–78. (в базе РИНЦ)
6. Омарова Г. А., Чернов К. Ю. Построение и исследование алгоритмических моделей управления транспортными потоками // Там же. № 3. С. 27–37. (в базе РИНЦ)
7. Попков В. К., Легкий Д. С. О нестационарностях в связных структурах // Там же. № 2. С. 9–16. (в базе РИНЦ)
8. Соколова О. Д. Графовые модели для задач функционирования современных сетей передачи данных // Там же. № 4. (в базе РИНЦ)
9. Шахов В. В., Мигов Д. А., Соколова О. Д. Беспроводные сенсорные сети, оснащенные средствами получения энергии из окружающей среды // Там же. С. 69–79. (в базе РИНЦ)
10. Попков В. К. Моделирование систем, "нарисованных" на системах // Proc. of the Intern. conf. on advanced mathematics, computations and applications (AMCA'14), Novosibirsk, June 8–11, 2014. P. 68–69.
11. Popkov G. V. About conception of modification of a transport communication network of the Russian federation // Ibid. P. 69
12. Sokolova O. D. Models and optimization algorithms for some modern networks problems // Ibid. P. 70

#### **Сдано в печать**

1. Попков Г. В. О проблеме живучести телекоммуникационных сетей // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Вып. "Математика, информатика".

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. Международная научно-практическая конференция "Центральная Азия в исследованиях XIX–XXI вв. К 175-летию со дня рождения Н. М. Пржевальского", Бишкек (Киргизия), 10–12 апр. 2014 г. – 1 пленарный доклад (Попков В. К.).
2. 6-й форум "Сибирская индустрия информационных систем", Новосибирск, 24–25 апр. 2014 г. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Зыбарев Ю. М.).
3. Международный салон "Комплексная безопасность – 2014". Москва, 20–21 мая 2014 г. – 1 доклад (Зыбарев Ю. М.).
4. International conference advanced mathematics, computations and applications, Novosibirsk, June 8–11, 2014. – 3 доклада, из них 1 пленарный (Попков В. К., Соколова О. Д., Попков Г. В.).
5. 10-я международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Киргизия), 25 июля – 5 авг. 2014 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Попков В. К., Соколова О. Д.).
6. 8th International workshop on multiple access communications (MACOM–2014), Sweden, Sept. 25–27, 2014 – 1 доклад (Соколова О. Д., Юргенсон А. Н.).
7. 12th IEEE International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014), Novosibirsk, 1–3 Oct. 2014 – 3 доклада (Соколова О. Д., Юргенсон А. Н., Кратов С. В.).
8. Международная суперкомпьютерная конференция "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Новороссийск, 22–27 сент. 2014 г. – 1 доклад (Кратов С. В.).

9. Международная научно-практическая конференция "Фундаментальная информатика, информационные технологии и системы управления: реалии и перспективы" (ФИПТМ–2014), Красноярск, 25–27 нояб. 2014 г. – 2 доклада, из них 1 пленарный (Зыбарев Ю. М., Соколова О. Д., Кратов С. В.).

10. Международная научная конференция "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г. – 1 доклад (Кратов С. В.).

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Попков В. К.:

– член программного комитета 10-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Киргизия), 25 июля – 4 авг. 2014 г.;

– член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

2. Зыбарев Ю. М.:

– член программного комитета 6-го форума "Сибирская индустрия информационных систем", Новосибирск, 23–25 апр. 2014 г.;

– член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.;

– член оргкомитета Международной научно-практической конференции "Фундаментальная информатика, информационные технологии и системы управления: реалии и перспективы", Красноярск, 25–27 нояб. 2014 г.

3. Попков Г. В. – член оргкомитета 10-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Киргизия), 25 июля – 4 авг. 2014 г.

4. Соколова О. Д. – член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г.

5. Юргенсон А. Н. – член оргкомитета 10-й Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Киргизия), 25 июля – 4 авг. 2014 г.

### Проведение международных конференций

10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Иссык-Куль (Киргизия), 25 июля – 4 авг. 2014 г.; 140 участников из России, Казахстана, Киргизии, Узбекистана.

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 4

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 14

Монографий, глав в монографиях – 1

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

Публикаций в материалах международных конференций – 10

Публикаций в прочих изданиях – 12

Докладов на конференциях – 18, в том числе 5 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 8

### Кадровый состав

1. Бредихин С.В.

зав. лаб.

к.т.н.

2. Попков В. К.

г.н.с.

д.ф.-м.н.

3. Зыбарев Ю. М.	зам. директора	к.т.н.
4. Соколова О. Д.	с.н.с.	к.т.н.
5. Попков Г. В.	с.н.с.	к.т.н.
6. Щербакова Н. Г.	с.н.с.	
7. Омарова Г. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
8. Юргенсон А. Н.	н.с.	к.ф.-м.н.
9. Кратов С. В.	м.н.с.	
10. Бухтияров И. В.	м.н.с. 0,25 ст.	
11. Ляпунов В. М.	ведущ. инженер	
12. Трофимова Л. В.	ведущ. инженер	
13. Решетинская М. С.	инженер 0,5 ст.	
14. Куликовская Н. К.	инженер 0,5 ст.	
15. Лазуткин Д. В.	инженер 0,5 ст.	
16. Климов М. А.	техник 0,1 ст.	

Бухтияров И. В., Кратов С.В., Юргенсон А. Н.– молодые научные сотрудники

#### Педагогическая деятельность

Попков В. К.	– профессор СибГУТИ, НГУ, НГТУ
Попков Г. В.	– доцент СибГУТИ, НГУЭиУ
Омарова Г. А.	– доцент НГУ

#### Руководство аспирантами

Поросятников В. И.	– 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Попков В. К.
Конин М. В.	– 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Попков В. К.
Кригер В. В.	– 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Попков В. К.
Лепнер Э. Ю.	– 2-й год, ИВМиМГ, руководитель Попков В. К.
Кравченко П. С.	– 3-й год, ИВМиМГ, руководитель Омарова Г. А.

## Лаборатория моделирования динамических процессов в информационных сетях

Зав. лабораторией – д.т.н. Родионов А. С.

### Важнейшие достижения

Предложены новые показатели качества обслуживания в сенсорных сетях: вероятность того, что работоспособные узлы, количество которых не меньше заданного наперед порогового значения, могут передавать данные нескольким стокам, которые должны быть связаны друг с другом, и вероятность видения сенсорами заданного количества узлов сетки, покрывающей мониторируемую область. В рамках оптимизации этих и традиционно используемых показателей поставлена задача выбора оптимального соотношения между радиусом покрытия сенсоров и расписанием их рабочего цикла, предложено ее решение на основе вычисления (или оценки для заданных значений) серии полиномов надежности графа, соответствующих выбранному радиусу покрытия сенсоров и формируемой данным радиусом топологии, с последующим их сравнением. Вычисления базируются на применении параллельной реализации метода факторизации. Для оценки остальных показателей предложено использовать подход, основанный на моделировании состояний сенсора непрерывной цепью Маркова. Для случая сенсорных сетей, оснащенных средствами получения энергии из окружающей среды (EH-WSNs), разработаны новые методы нахождения оптимальных мест для осуществления беспроводной подзарядки группы сенсоров при помощи мобильного подзаряжающего устройства либо статических подзаряжающих устройств. Предложенные методы основаны на методах решения известных задач из теории графов – размещение  $p$ -медиан и  $p$ -центров – модифицированных для рассматриваемого случая.

К.ф.-м.н. Мигов Д. А., д.т.н. Родионов А. С., к.ф.-м.н. Шахов В. В.

### Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершаемым в 2014 г. в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.3.1.4** "Развитие теории и разработка математических моделей и методов мониторинга, анализа и оптимизации систем сетевой структуры".

Номер государственной регистрации НИР 01201370228.

Руководители: д.ф.-м.н. Попков В. К., к.т.н. Бредихин С. В., к.т.н. Забиняко Г. И., д.т.н. Родионов А. С.

Продолжены работы по исследованию показателей качества функционирования сетей с ненадежными элементами, их анализу и оптимизации. Исследовались кумулятивные оценки средней вероятности связности пары узлов (парной связности). Исследованы различные методы применения бионических алгоритмов к задачам на графах-деревьях. Рассмотрены различные представления этих графов, разработаны модифицированные операторы скрещивания и мутации для каждого типа представления, оставляющие решения в классе деревьев. Найдено удобное представление графов-деревьев для работы с бионическими алгоритмами.

Разработан комбинаторный алгоритм эффективного кодирования при неизвестной статистике сообщений, обеспечивающий минимальную избыточность. Проведено сравнение экспериментальных результатов, показывающее, что предложенный метод позволяет сократить время кодирования на 5–6 % по сравнению с ранее известными при сохранении хорошего коэффициента сжатия. Областью применения алгоритма универсального комби-



факторизации расчета показателей связности случайных графов с ненадежными ребрами. Построена и реализована параллельная схема генетического алгоритма нахождения наилучшего (с точки зрения вероятности доступа) расположения зеркал информационного ресурса в сети с ненадежными каналами, использующая параллельный расчет кумулятивных оценок вероятности доступа.

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 14-07-00769-а** "Математические методы и программные средства анализа отказоустойчивости беспроводных сенсорных сетей".

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

Проведены предварительные работы по созданию теоретических и программных средств анализа отказоустойчивости беспроводных сенсорных сетей (БСС). Проанализирована существующая таксономия атак в БСС, выявлены ее проблемы, проведена модификация. Исследованы модели функционирования сенсора в условиях разрушающего воздействия с учетом специфики взаимодействия сенсора с окружающей средой. Рассмотрены некоторые критерии живучести беспроводной сенсорной сети, предполагающие, в отличие от традиционного подхода, возможность отказа группы сенсоров без значимой потери функциональности сети. С учетом нового критерия отказоустойчивости БСС исследовалась эффективность протоколов маршрутизации и агрегирования трафика, задача оптимальной расстановки базовых станций, оценка характеристик БСС. Исследована проблема ускорения имитационного прогона за счет разработки нового генератора псевдослучайных топологий БСС. Получены следующие результаты. Предложена улучшенная таксономия разрушающих воздействий в беспроводных сенсорных сетях, в которой учтен новый вид атак на батарею сенсора (Depletion of Battery) и непреднамеренные сбои сетевых протоколов. Разработаны новые математические модели функционирования узла беспроводных сенсорных сетей с учетом специфики противодействия сенсоров атакующим воздействиям. Получены новые постановки задач оптимизации отказоустойчивости сети, предложено их решение, в частности, метод оптимизации размещения базовых станций. Разработан быстрый генератор псевдослучайных UDG-графов, используемых для моделирования топологии БСС.

**Проект РФФИ № 14-07-31069-мол-а** "Разработка эффективных алгоритмов анализа надежности сетей различного назначения".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Мигов Д. А.

В рамках проекта получен ряд важных результатов в области разработки методов анализа сетей различного назначения с точки зрения их надежности. Разработаны методы кумулятивного уточнения верхней и нижней границ для двух показателей надежности сети: вероятности связности выделенного множества узлов сети (терминалов) и вероятности связности сети с ограничением на диаметр. Данные методы позволяют принимать решение о достаточности надежности сети по отношению к наперед заданному порогу без исчерпывающего расчета. Предлагается использовать редукцию ребер и упорядочивать ребра при расчете надежности сети с ограничением на диаметр, а также при кумулятивном уточнении границ данного показателя. Как показали численные эксперименты, для некоторых структур время расчета надежности сократилось на порядки. Разработан ряд параллельных алгоритмов расчета различных показателей сетевой надежности, в том числе математического ожидания числа несвязных пар вершин.

Разработаны модифицированные операторы мутации и скрещивания для задач структурной оптимизации сети, позволяющие прекратить подсчет значения надежности сети за счет кумулятивных оценок вероятности связности сети и отбросить непригодные индивидуумы на более раннем этапе работы алгоритма. Таким образом, улучшено время работы генетического алгоритма для вышеупомянутых задач оптимизации с модифицированными операторами. Предложенная модификация алгоритма реализована, проведены расчеты, показавшие, что время работы алгоритма сокращается не менее чем на 10–15 %.

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

**Программа Президиума РАН "Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности", проект "Фундаментальные основы функционирования беспроводных сенсорных сетей, оснащенных средствами получения энергии из окружающей среды".**

Руководитель – д.т.н. Родионов А. С.

Изучались основные показатели качества (QoS) обслуживания в EH-WSNs для исследования на математических и имитационных моделях в рамках проекта: задержка пакетов (время между отправкой сообщения сенсором и получением данного сообщения стоком), потеря пакетов и качество информации (QoI), доля покрытия мониторируемой области. Кроме того, исследуются следующие специфичные для EH-WSNs характеристики, существенно влияющие на основные показатели: стратегии обеспечения наиболее надежного функционирования сети; рабочий цикл сенсора с учетом не только спящего режима, но и режима подзарядки; минимальные требования к снабжению внешней энергией; запас энергии, требуемый в узлах для обеспечения работы приложений; компоненты системы, потребляющие больше всего энергии.

В части задачи выбора стратегии и рабочего цикла использована модель сети, основанная на случайных графах с ненадежными вершинами. Предложено новое решение задачи выбора оптимального соотношения между радиусом покрытия сенсоров и расписанием их рабочего цикла. Решение основано на вычислении (или оценке для заданных значений) серии полиномов надежности графа, соответствующих выбранному радиусу покрытия сенсоров и формируемой данным радиусом топологии, с последующим их сравнением. Для оценки остальных показателей предложено использовать подход, основанный на моделировании состояний сенсора непрерывной цепью Маркова.

Разработаны новые методы нахождения оптимальных мест размещения для осуществления беспроводной подзарядки группы сенсоров при помощи мобильного подзаряжающего устройства, а также для оптимального размещения статических подзаряжающих

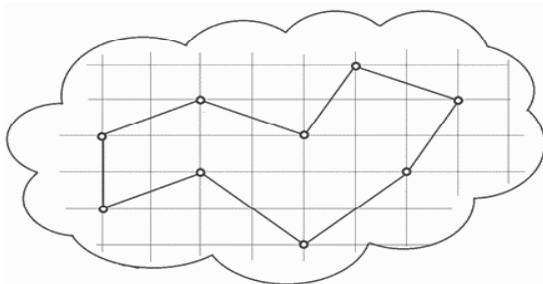


Рис. 1

устройств. Для сужения области поиска предлагается перейти к дискретному аналогу области наложением координатной сетки. На рисунке приведен пример дискретизации области и выбор мест для осуществления беспроводной подзарядки (мобильным или статическим подзаряжающим устройством), а также вариант маршрута для обхода этих мест мобильным подзаряжающим устройством. Предложенные методы основаны на методах решения известных задачах из теории

графов – размещение  $p$ -медиан и  $p$ -центров, – модифицированных для рассматриваемого случая. Целевая функция для оптимизации – сумма расстояний от каждого сенсора до ближайшего места, откуда может осуществляться беспроводная подзарядка, как с помощью мобильного, так и с помощью статического подзаряжающего устройства, в зависимости от того, какой тип подзаряжающих устройств используется в рассматриваемой сети.

На основе обобщенной декомпозиции сенсорной сети предложена концепция имитационной модели для исследования, тестирования и поддержки параметризуемых сенсорных сетей. Построен прототип имитационной модели, позволяющей визуально экспериментировать с сенсорной сетью, размещенной в пространстве, посредством задания различных способов обработки сигнала в этих сетях и допускающий различные расширения.

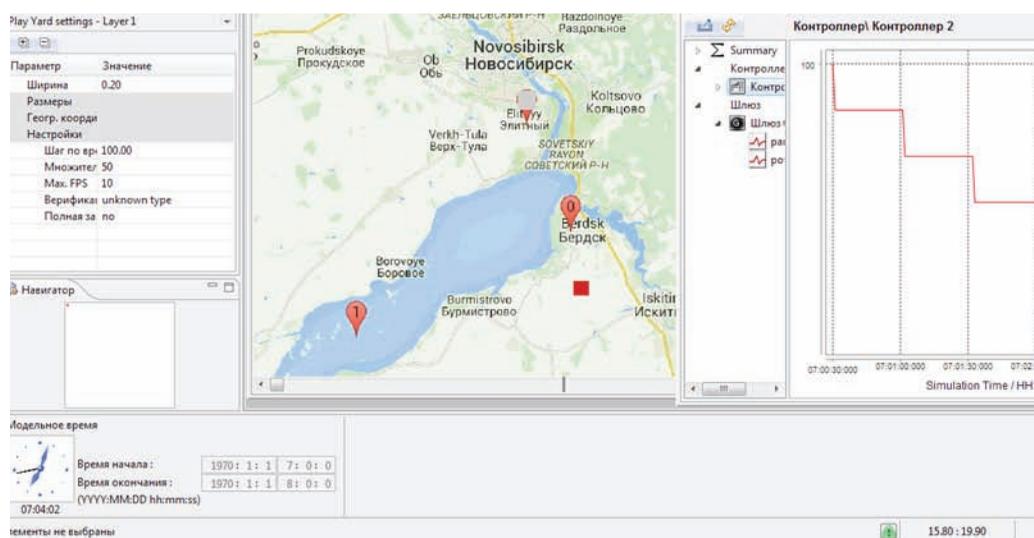


Рис. 2. Начальная версия интерфейса имитационной модели

Данная версия основана на подходе и инструментарии, предлагаемом средой MTSS. Имитационная модель конкретной сенсорной сети собирается визуально из экземпляров имитационной модели узла сенсорной сети, среды (карты), шлюза (одного или нескольких). Продуктом в имитационной модели являются данные-результаты "измерений" модели сенсора, прикрепленного к модели узла сети. Данные порождаются имитационной моделью среды. В дальнейшем данные усредняются и с некоторым интервалом передаются в шлюз. Имитационная модель шлюза ведет учет принятых пакетов, а также пакетов-дублей (результат ретрансляции). Каждый узел на любое действие расходует энергию. Данный фактор также учитывается в алгоритме работы модели узла сенсорной сети и доступен в виде статистических данных.

**Грант Мэри Новосибирска** "Разработка комплекса программ для анализа надежности электроэнергетических сетей".

Руководитель – к.ф.-м.н. Мигов Д. А.

В ходе работы над проектом предложено осуществлять анализ надежности с помощью нескольких стохастических характеристик в условиях зависимых отказов: вероятность того, случайный отказ некоторых элементов системы приведет к каскадному отключению значительной части сети и вероятность исправной работы электроэнергетической сети для обеспечения наперед заданного уровня функционирования. Исследованы различные варианты глубины каскадного отключения. Основными результатами работ по проекту являются мо-

дели зависимых отказов элементов в сетях (в том числе каскадных отказов в электроэнергетических сетях), разработанные математические методы для расчета и оценивания надежности сетей при описанных сценариях зависимых отказов и разработанный на их основе программный комплекс.

### Публикации

#### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Окольнішников В. В., Родионов А. С., Рудометов С. В. Моделирование системы распределенной обработки данных // Вычисл. технол. 2013. Т. 18 (спецвыпуск). С. 129–135. (не вошло в отчет за 2013 г.) (в базе РИНЦ).
2. Мигов Д. А., Нестеров С. Н., Родионов А. С. Методы ускорения расчета надежности сетей с ограничением на диаметр // Вестн. СибГУТИ. 2014. № 1. С. 49–56. (в базе РИНЦ).
3. Родионов А. С., Сакерин А. В., Мигов Д. А. Некоторые вопросы параллельной реализации полного перебора // Там же. № 4 (28). С. 79–84. (в базе РИНЦ).
4. Бакулина М. П. Эффективный метод универсального комбинаторного кодирования // Ползуновский вестн. 2014. № 2. С. 58–61. (в базе РИНЦ).
5. Мигов Д. А. Показатель надежности для беспроводных самоорганизующихся сетей // Вестн. СибГУТИ. 2014. № 3. С. 3–12. (в базе РИНЦ).
6. Винс Д. В., Глинский Б. М., Родионов А. С. Исследование управляющих процессов в суперкомпьютерных системах на основе мультиагентного моделирования // Там же. № 4. С. 37–46. (в базе РИНЦ).

#### Зарубежные издания

1. Migov D. A., Rodionov A. S. Parallel implementation of the factoring method for network reliability calculation // ICCSA 2014. Ed. by B. Murgante et al. P. VI, LNCS 8584. P. 654–664. DOI: 10.1007/978-3-319-09153-2\_49. (в базах Scopus, Web of Science).
2. Migov D. A., Shakhov V. V. Reliability of ad hoc networks with imperfect nodes // Springer Lecture Notes in Comp. Sci. (in MACOM 2014). 2014. Vol. 8715. P. 49–58. (в базах Scopus, Web of Science).
3. Shakhov V. V., Sokolova O. D., Yurgenson A. N. A fast method for network topology generating // Ibid. P. 96–101. (в базах Scopus, Web of Science).

#### Материалы международных конференций и совещаний

1. Shakhov V. V. Tradeoff between energy harvesting duration and reliability in wireless sensor networks // Proc. of the 22nd Telecommunications forum TELFOR 2014, Belgrade (Serbia), Nov. 25–27, 2014. P. 292–295. (в базе Scopus).
2. Chernykh I., Glinskiy B., Kulikov I., Marchenko M., Rodionov A., Podkorytov D., Karavaev D. Using simulation system AGNES for modeling execution of parallel algorithms on supercomputers // Proc. of the 2014 Intern. conf. on systems, control, signal processing and informatics II (SCSI '14), Prague (Czech Republic), Apr. 2–4, 2014. Recent Advances in Electrical Engineering Series – 33. ISSN: 1790-5117. ISBN: 978-1-61804-233-0. P. 66–70.
3. Каневский В. И., Мигов Д. А., Родионов А. С. Параллельный алгоритм расчета математического ожидания числа несвязных пар вершин в графе // Труды 10-й Междунар. Азиат. шк.-семина. "Проблемы оптимизации сложных систем", с. Булан-Соготту (Киргизия), 25–5 авг. 2014 г. / Под ред. М. Н. Калимолдаева. Алматы: Ин-т проблем информатики и управления, 2014. С. 188–194.

4. Rodionov A., Rodionova O. Using random hypernets for reliability analysis of multilevel networks // Proc. of the 1st Intern. conf. on mathematical methods and computational techniques in science and engineering (MMCTSE 2014), Athens, Nov. 28–30, 2014. P. 119–121.

(в базе Scopus)

5. Migov D. Methods for reliability analysis of diameter constrained networks // Proc. of the Intern. conf. on foundations of computational mathematics, 2014 (FoCM 2014), Montevideo (Uruguay). P. 47–48.

### Свидетельства о регистрации программ и баз данных

1. Мигов Д. А. Программный комплекс для расчета надежности сетей // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614091. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Дата регистрации 16.04.2014.

### Прочие издания

1. Шахов В. В., Стрельников В. Е., Нгуен В. Д. К вопросу об эффективности беспроводных сенсорных сетей // Пробл. информ. № 2 (23). 2014. С. 28–38. (в базе РИНЦ).

2. Мигов Д. А., Родионов А. С. Параллельная реализация метода факторизации для расчета надежности сети // Материалы 10-й Рос. конф. с междунар. участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур" ICAM'2014, пос. Катунь, 2014. Томск: ТГУ, 2014. С. 82. (в базе РИНЦ).

3. Мигов Д. А. Оптимальное размещение подзаряжающих устройств в беспроводных сенсорных сетях // Тез. докл. 15-й Всерос. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Тюмень, 2014. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2014. С. 71–72.

4. Мигов Д. А. Показатели надежности для электроэнергетических сетей // Там же. С. 71.

5. Сакерин А., Родионов А., Мигов Д. Параллельные алгоритмы в расчете показателей надежности сетей // Труды 11-й Междунар. науч.-техн. конф. "Новые информационные технологии и системы" (НИТиС–2014), Пенза, 25–27 нояб. 2014 г.

6. Шахов В. В., Мигов Д. А., Соколова О. Д. Беспроводные сенсорные сети, оснащенные средствами получения энергии из окружающей среды // Пробл. информ. 2014. № 4 (25). С. 69–79. (в базе РИНЦ).

7. Моисеенко В. В. Имитационное моделирование научного процесса академического института // Там же. С. 80–88. (в базе РИНЦ).

8. Migov D. On reliability of wireless ad hoc networks with imperfect nodes // Bull. of NCC. Ser.: Comput. Sci. 2014. Iss. 36. P. 57–64. (в базе РИНЦ).

9. Glinsky V. M., Marchenko M. A., Rodionov A. S., Karavaev D. A., Podkorytov D. I. Mappings of parallel algorithms on supercomputers with exaflops performance on the basis of simulation // Machine Learning and Data Analysis. Springer. 2014. V. 1, № 10. P. 1451–1465.

10. Bakulina M. P. An efficient block coding method of binary images / Тез. докладов Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 2014. С. 65.

11. Нестеров С. Н. Параллельный метод вычисления надежности сети с ограничением на диаметр // Тез. докл. Междунар. шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики 2014", Новосибирск, 2014. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2014. С. 64.

12. Migov D. A parallel method for network probabilistic connectivity calculation // Тез. докл. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 2014. С. 103.
13. Rodionov A. Using structural peculiarities of random graphs for faster estimation of an average pairwise connectivity // Там же. С. 69–70.
14. Nechunaeva K. A. Using modified and original genetic algorithms for reliability-based structural network optimization // Там же. С. 68.
15. Shakhov V. V. An efficient method for QoS parameter estimating // Там же. С. 70.

#### **Сдано в печать**

1. Нестеров С. Н. Методы оценки надежности сетей с ограничением на диаметр // Труды 14-й конф. молодых ученых ИВМиМГ СО РАН. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2014.

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. 4th International conference on computational science and applications (ICCSA 2014), Guimaraes (Portugal), June 30–July 3, 2014 – 1 доклад (Мигов Д. А., Родионов А. С.).
2. 7th International workshop on multiple access communication (MACOM 2014), Halmstad (Sweden), Aug. 27–28, 2014 – 2 доклада (Шахов В. В., Мигов Д. А.).
3. 22nd telecommunications forum TELFOR 2014, Belgrade (Serbia), Nov. 25–27, 2014. – 1 доклад (Шахов В. В.)
4. Korea-Eurasia industrial technology innovation & commercialization forum (KEITICF-2014), Seoul (Korea), Nov. 11, 2014. – 1 пленарный доклад (Шахов В. В.).
5. International conference on systems, control, signal processing and informatics II (SCSI '14), Prague (Czech Republic), Apr. 2–4, 2014. – 1 доклад (Родионов А. С.).
6. 1st International conference on mathematical methods & computational techniques in science & engineering (MMCTSE 2014), Athens, Nov. 28–30, 2014. – 1 доклад (Родионов А. С.).
7. Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 5 докладов (Бакулина М. П., Мигов Д. А., Нечунаева К. А., Родионов А. С., Шахов В. В.).
8. Международная школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики 2014", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г. – 1 доклад (Нестеров С. Н.).
9. International conference on foundations of computational mathematics 2014 (FoCM 2014), Montevideo (Uruguay), Dec. 11–20, 2014. – 1 доклад (Мигов Д. А.).
10. 10-я Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", с. Булан-Соготту (Киргизия), 25 июля – 5 авг. 2014 г. – 1 доклад (Каневский В. И., Мигов Д. А., Родионов А. С.).
11. 10-я Российская конференция с международным участием "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур" (ISAM'2014), пос. Катунь, 9–11 июня 2014 г. – 1 доклад (Мигов Д. А., Родионов А. С.).
12. 15-я Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Тюмень, 15–17 окт. 2014 г. – 2 доклада (Мигов Д. А.).
13. 1-я Международная научно-техническая конференция "Новые информационные технологии и системы" (НИТиС-2014), Пенза, 25–27 нояб. 2014 г. – 1 доклад (Сакерин А., Родионов А., Мигов Д.).

14. 14-я конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г. – 1 доклад (Нестеров С. Н.).

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Родионов А. С. – член программных, организационных или научных комитетов:
  - the 8th International conference on ubiquitous information management and communication (ICUIMC 2014), Jan. 9–11, 2014, Siem Reap (Cambodia);
  - workshop on mobile communications 2014 (MC 2014), Guimaraes (Portugal), June 30 – July 3, 2014;
  - Международная школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.;
  - International conference on multimedia technology for intelligent computing, Gangwon-do (South Korea), Dec. 5–8, 2014;
  - the 8th International conference on advanced engineering computing and applications in sciences, Rome (Italy), Aug. 24–28. 2014;
  - председатель оргкомитета ежегодной конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН
2. Мигов Д. А.:
  - член оргкомитета Международной школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики";
  - член программного комитета Международной школы-конференции молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики".
3. Шахов В. В. – член программного или организационного комитетов:
  - The 8th International conference on ubiquitous information management and communication (ICUIMC 2014), Jan. 9–11, 2014, Siem Reap (Cambodia).
  - Международная школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г.
  - Workshop on mobile communications 2014 (MC 2014), Guimaraes (Portugal), June 30 – July 3, 2014. <http://monet.skku.ac.kr/~mc2014>.

### 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 – 11  
Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 6  
Публикаций в зарубежных изданиях – 3  
Публикаций в материалах международных конференций – 5  
Свидетельств о регистрации программ и баз данных в Роспатенте – 1  
Публикаций в прочих изданиях – 15  
Докладов на конференциях – 19, в том числе – 1 пленарный и 1 приглашенный.  
Участников оргкомитетов конференций – 12,

### Кадровый состав

- |                   |           |           |
|-------------------|-----------|-----------|
| 1. Родионов А. С. | зав. лаб. | д.т.н.    |
| 2. Шахов В. В.    | с.н.с.    | к.ф.-м.н. |

3. Мигов Д. А.	н.с.	к.ф.-м.н.
4. Бакулина М. П.	н.с.	к.ф.-м.
5. Метляев Ю. В.	н.с.	к.т.н.
6. Моисеенко В. В.	н.с.	
8. Подкорытов Д. И.	н.с. 0,5 ст.	к.т.н.
9. Капустина Г. А.	ведущ. инженер 0,5 ст.	
10. Нечунаева К. А.	м.н.с. 0,2 ст.	
11. Пазников А. А.	н.с. 0,5 ст.	к.т.н.
12. Рудометов С. В.	н.с. 0,5 ст.	к.т.н.

Мигов Д. А., Подкорытов Д. И., Нечунаева К. А. – молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

Родионов А. С.	– профессор НГУ, СибГУТИ, НГТУ
Бакулина М. П.	– доцент НГУ
Нечунаева К. А.	– ст. преподаватель ВКИ НГУ
Шахов В. В.	– доцент НГТУ и СибУПК
Пазников А. А.	– и.о. доцента СибГУТИ

### Руководство аспирантами

Забрудских А. Е.	– 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
Каневский В. И.	– 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
Скиба А. И.	– 1-й год, ИВМиМГ, руководитель Родионов А. С.
Сакерин А. В.	– 3-й год, СибГУТИ, руководитель Родионов А. С.

### Руководство студентами

Немов С. Н.,	– магистратура НГУ, 2-й курс, руководитель Родионов А. С.
Артюха О. А.	– магистратура НГУ, 2-й курс, руководитель Родионов А. С.
Гарбузов К. Е.,	– магистратура НГУ, 1-й курс, руководитель Родионов А. С.
Ткачев К. В.	– магистратура НГУ, 1-й курс, руководитель Родионов А. С.
Алхимова Л. О.	– ФИТ НГУ, 4-й курс, руководитель Нечунаева К.А.
Саменко И. А.	– ФИТ НГУ, 4-й курс, руководитель Нечунаева К.А.
Нестеров С. Н.	– магистратура НГУ, 1-й год, руководитель Мигов Д. А.

### Премии и награды

Нестеров С. Н. — лауреат Конференции молодых ученых Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г.

## Лаборатория синтеза параллельных программ

Зав. лабораторией д.т.н. Малышкин В. Э.

### Важнейшие достижения

#### **LuNA – автоматизированная система параллельной реализации численных алгоритмов на СуперЭВМ.**

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

Разработана экспериментальная система программирования численных алгоритмов LuNA, позволяющая исключить параллельное программирование из процесса разработки больших численных моделей. LuNA обеспечивает автоматическую генерацию параллельных программ численного моделирования с необходимыми практическими свойствами для исполнения на мультикомпьютерах с большим числом процессоров, включая неоднородные суперкомпьютеры экзафлопсного диапазона с сотнями тысяч и миллионами процессорных элементов.

Представление алгоритмов в системе LuNA осуществляется в соответствии с технологией фрагментированного программирования, которая предполагает разбиение регулярных вычислений на множество фрагментов вычислений, работающих над множеством фрагментов данных. Автоматическая динамическая миграция процессов обеспечивает равномерную нагрузку процессоров.

Программист в LuNA задает частичный порядок на множестве вычислительных фрагментов, а также формулирует "рекомендации" по распределению вычислительных фрагментов и фрагментов данных по вычислительным узлам суперкомпьютера, чтобы обеспечивалось свойство локальности при работе с данными. На основе такого представления алгоритма система LuNA генерирует программу, автоматически обеспечивая коммуникации между узлами вычислительной системы, балансировку вычислительной нагрузки и другие динамические свойства.

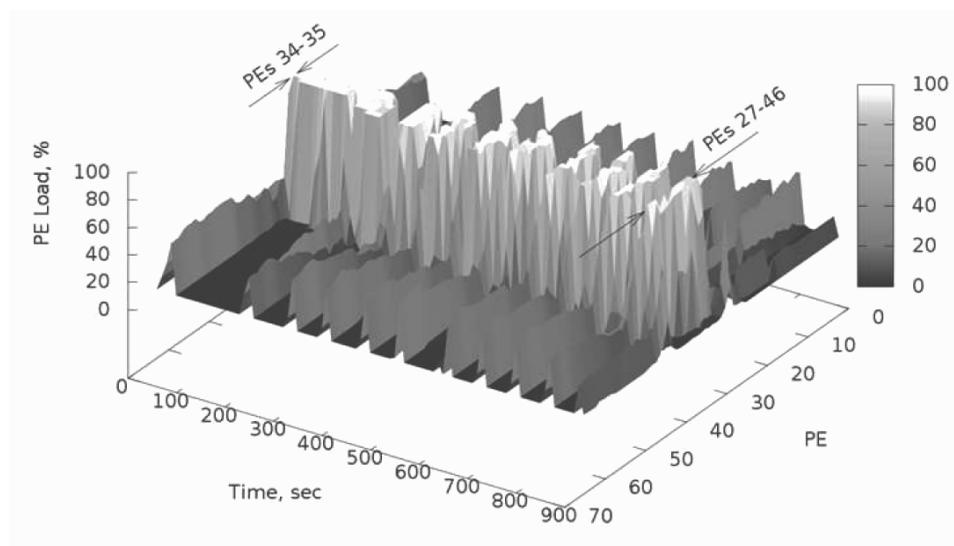


Рис. 1. Работа автоматической балансировки вычислительной нагрузки системы LuNA: с течением времени нагрузка распределяется по процессорным элементам (PE), время на обработку итерации (расстояние между гребнями по шкале Time) сокращается

Результаты исследований опубликованы в работах:

1. Malyshkin V. E., Perepelkin V. A. The PIC implementation in LuNA system of fragmented programming // J. Super-Computing. 2014. Vol. 69, iss. 1. P. 89–97. DOI 10.1007/s11227-014-1216-8.

2. Malyshkin V. E. Peculiarities of numerical algorithms parallel implementation for exaflops multicomputers // Intern. J. Big Data Intelligence. 2014. Vol. 1, N 1/2. P. 65–73. DOI: 10.1504/IJBDI.2014.063837.

Результаты исследований докладывались на конференциях:

1. Малышкин В. Э., Перепелкин В. А. Реализация метода частиц-в-ячейках в системе фрагментированного программирования LuNA. // Труды Междунар. суперкомпьютерной конференции "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Новороссийск, 22–27 сент. 2014 г. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 328–334.

### **Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г. в соответствии с темой плана НИР института**

**Программа НИР 1.4.1** "Математическое моделирование с использованием параллельных и распределённых вычислений".

**1.4.1.1** "Технологии, языки высокого уровня и средства параллельной реализации задач численного моделирования на пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 01201370230.

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

**Раздел 1** "Разработка методов, алгоритмов и средств конструирования параллельных программ численного моделирования для пета- и эксафлопсных суперкомпьютеров".

Руководитель – д.т.н. Малышкин В. Э.

**Этап 2014 г.** "Разработка языка высокого уровня для описания поведения и распределения ресурсов прикладной параллельной фрагментированной программы и системных алгоритмов, реализующих это описание".

Разработано расширение языка LuNA (Language for Numerical Algorithms) для описания поведения и распределения ресурсов прикладной параллельной фрагментированной программы. Для управления поведением фрагментированной программы добавлены средства, позволяющие задавать прямое управление на части программы, задавать параметры освобождения ненужной более памяти ("сборки мусора"). Для описания распределения ресурсов при выполнении фрагментированной программы добавлены средства, позволяющие представлять соседство фрагментов данных через введение метрики.

С помощью разработанных языковых средств можно увеличивать эффективность выполнения прикладной параллельной фрагментированной программы по времени и расходу ресурсов. Также эти средства служат основой для автоматической оптимизации фрагментированных программ с использованием статического анализа и профилирования.

Расширение языка является экспериментальным и покрывает лишь частично потенциальные возможности описания желаемого поведения и распределения ресурсов фрагментированной программы. Тема требует дальнейшего развития.

Разработаны системные алгоритмы, поддерживающие новые языковые средства. С ними работают алгоритмы компилятора и исполнительной run-time системы. Для этапа компиляции фрагментированных программ разработаны алгоритмы генерации управляющей под-

программы прямого управления запуском фрагментов вычислений в двух вариантах: для последовательного случая и на базе управляющей сети Петри. Испытание разработанных алгоритмов показало ускорение выполнения фрагментированных программ (в разы) для ряда тестовых задач, в числе которых решение уравнения Пуассона неявным итерационным волновым методом на трехмерной регулярной решетке.

Для этапа исполнения фрагментированных программ разработаны алгоритмы хранения, поиска и обеспечения доступа к распределенным данным, основанные только на локальных взаимодействиях и реализующие заданное соседство на множестве фрагментов данных. Переработан алгоритм динамической балансировки нагрузки на процессоры таким образом, чтобы он сохранял заданное соседство на множестве фрагментов данных. Разработанные системные алгоритмы учитывают требования неограниченной масштабируемости с целью применения их на пета- и эксафлопсных суперкомпьютерах. Для обеспечения масштабируемости алгоритмы исключают нелокальные коммуникации (между дальними вычислительными узлами с точки зрения сетевой топологии) и расходуют константное количество ресурсов на каждом вычислительном узле (накладные расходы не зависят от размера вычислителя). Масштабируемость системных алгоритмов не отменяет необходимость масштабируемости прикладного алгоритма. Если прикладной алгоритм плохо масштабируется (например, содержит нелокальные связи), то и общая масштабируемость системы прикладной алгоритм – исполнительная система также будет неудовлетворительной.

Разработанные алгоритмы реализованы в составе компилятора и исполнительной run-time системы LuNA и заменили соответствующие алгоритмы предыдущей версии системы. Теоретический анализ алгоритмов и тестовые испытания показали качественно требуемую масштабируемость. Тем не менее, требуется дальнейшее совершенствование алгоритмов и создание новых средств управления поведением фрагментированной программы и распределением ресурсов для достижения высокой производительности системы в целом.

Создана методика разработки программ для неоднородных распределенных вычислительных систем на основе фрагментированного представления алгоритмов. Методика предусматривает применение следующих принципиальных приемов программирования:

- разбиение вычислений на фрагменты в количестве, значительно превышающем число процессорных элементов;
- планирование первоначального распределения вычислительной программы таким образом, чтобы обеспечить минимизацию простоев процессорных элементов из-за ожидания данных от других процессорных элементов; вычислительная нагрузка должна быть пропорциональна производительности процессорных элементов;
- обеспечение динамической балансировки вычислений на основе перемещения блоков вычислений и данных;
- организация асинхронной передачи данных для зависимых от этих данных блоков вычислений на фоне выполнения операций других блоков, для которых данные готовы.

Для разработки параллельных программ в соответствии с этой методикой используется система программирования LuNA. Программист в LuNA задает частичный порядок на множестве вычислительных фрагментов, а также формулирует "рекомендации" относительно распределения вычислительных фрагментов и фрагментов данных по вычислительным узлам суперкомпьютера, чтобы обеспечивалось свойство локальности при работе с данными. На основе такого представления алгоритма система LuNA генерирует программу, автоматически обеспечивая коммуникации между узлами вычислительной системы, балансировку вычислительной нагрузки и другие динамические свойства.

**Раздел 2.** "Разработка и исследование клеточно-автоматных моделей нелинейной пространственной динамики с использованием технологии параллельного программирования".

Руководитель – д.т.н. Бандман О. Л.

**Этап 2014 г.** "Разработка и исследование клеточно-автоматных моделей процессов самоорганизации".

Разработаны асинхронные двумерная и трехмерная версии клеточных автоматов, моделирующих формирование устойчивых структур, которые являются оцифрованным представлением пористых материалов. Для эффективной параллельной реализации трудоемкого алгоритма моделирования выполнены преобразования асинхронного клеточного автомата к блочно-синхронному виду и получены сравнительные оценки совпадения результатов моделирования. Сравнения производились по следующим численным характеристикам: перколяция вдоль трех плоскостей, число компонент связности, размеры компонент связности, пористость. Для численных характеристик рассчитывались математические ожидания, дисперсии, доверительные интервалы и среднеквадратичные разности. С помощью проведения сравнительного анализа значений статистик, полученных для численных характеристик эволюции для различных размеров блока, установлено, что при увеличении блока разница между значениями статистик уменьшается, и эволюция блочно-синхронного клеточного автомата сходится к эволюции асинхронного клеточного автомата.

На основе параллельной композиции клеточных автоматов, в которой каждый компонент клеточного автомата моделировал поведение соответствующего организма, создана модель динамики популяции восьми организмов оз. Байкал. Верификация модели показала хорошее (10 %) совпадение результатов моделирования с известными из литературы величинами биомасс моделируемых организмов. Проведено моделирование влияния локального загрязнения на изменение популяции, и найдены критические значения интенсивности загрязнения для сохранения популяций.

### **Результаты работ по проектам РФФИ**

**Проект № 14-07-00381-а** "Локальные системные алгоритмы для параллельной реализации больших численных моделей на пета- и эксафлопсных мультикомпьютерах".

Руководитель проекта – д.т.н. Малышкин В. Э.

Проведен сравнительный анализ методов реализации крупномасштабных численных моделей с большим объемом используемых при моделировании данных. Выделены и сформулированы проблемы параллельной реализации таких моделей, предложены и обоснованы подходы к автоматизации создания параллельных программ численного моделирования. Сформулирована задача разработки системы параллельного программирования крупномасштабных численных моделей, сформулированы первоочередные задачи и предложены решения, которые позволяют полностью исключить параллельное программирование из процесса создания модели. Рассмотрение показывает, что для решения задачи необходимо, в первую очередь, разработать новые распределенные системные алгоритмы с локальными взаимодействиями, без чего решение задачи создания языка и системы параллельного программирования нового поколения невозможно. Разработан распределенный с локальными взаимодействиями алгоритм начального распределения ресурсов мультикомпьютера.

**Проект № 14-01-31328 мол\_а** "Разработка алгоритмов отображения фрагментированных программ на ресурсы неоднородных распределенных вычислительных систем".

Руководитель проекта – Перепелкин В. А.

Целью проекта является разработка алгоритмов автоматизации отображения фрагментированных программ на ресурсы неоднородного мультикомпьютера. Суть работы заключается в следующем. Имеется некоторый прикладной численный алгоритм, предназначенный для реализации на неоднородном мультикомпьютере, представленный во фрагментированном виде, т. е. в виде потенциально бесконечного двудольного графа агрегированных операций и переменных. Требуется построить отображение этого графа на процессорные элементы мультикомпьютера таким образом, чтобы реализация фрагментированного алгоритма в соответствии с таким отображением была эффективна (по равномерности нагрузки на вычислительные узлы, общему времени реализации алгоритма и т. п.).

Разработан алгоритм автоматизации конструирования статического отображения фрагментированного алгоритма на мультикомпьютер, т. е. определяемого до реализации алгоритма и не изменяемого в процессе счета. Алгоритм удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, а именно: учитывает структуру данных прикладного алгоритма и неоднородность вычислителя. Алгоритм был испытан на ряде прикладных задач: моделирование эволюции пылевого самогравитирующего протопланетного диска методом частиц-в-ячейках, решение одномерной задачи фильтрации неявным методом, решение одномерного уравнения теплопроводности явным методом, умножение плотных матриц.

В 2015 г. запланирована разработка алгоритма динамического отображения фрагментированных алгоритмов на неоднородный мультикомпьютер.

### **Результаты работ по грантам Президента РФ для молодых кандидатов наук**

**Проект № МК-3644.2014.9** "Моделирование производительности параллельных программ".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Калгин К. В.

Разработаны программные реализации алгоритмов/моделей: модели многочастичного газа FHP-MP, модели распространения радиационного теплообмена в атмосферном пограничном слое, модели распространения волны в жидкости с пузырьками и другие явные разностные схемы как представители класса трафаретных вычислений.

Построена кусочно-линейная модель производительности трафаретных вычислений на мультипроцессоре с NUMA архитектурой. Предложен и реализован алгоритм определения коэффициентов модели. Достигнутая точность оценки времени работы программы составляет 2 %, если домен помещается в L1-L2 кэши, и 5 %, если домен помещается в L3 кэш. Коэффициенты делятся на две группы: зависящие только от архитектуры процессора и зависящие как от архитектуры, так и от алгоритма вычислений.

Барьерная синхронизация – один из этапов параллельной реализации трафаретных вычислений. Проанализирована реализация барьерной синхронизации Intel OpenMP, предложена реализация барьера, работающая в два раза быстрее в общем случае и в четыре раза быстрее, если модифицировать ее для особенностей трафаретных вычислений. Полученная модель позволила сформулировать рекомендации по делению области на домены для достижения наилучшей производительности и более глубокого понимания влияния архитектуры вычислителя на продолжительность вычислений.

Получены реализации алгоритмов определения компонент связности и построения минимального остовного дерева в графе. Задачи на графах характеризуются частыми нерегулярными обращениями в память. Следовательно, для достижения максимальной производительности необходимо учитывать способы работы с подсистемой памяти (структуры

данных, работы кэшей, распределение данных и вычислений между потоками). Разработан инструментарий для анализа обращений в память многопоточной программы. Проведено тестирование инструментария на пакете тестов NASA Parallel Benchmarks. Инструментарий находит места в программе с низкими показателями локализации обращения к данным, вычисляет значения временной и пространственной локализации и использует их для оценки времени работы программы.

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

**Программа Президиума РАН № 14, проект № 14.9, подпроект "Конструирование адаптивных пользовательских интерфейсов сетевой информационно-вычислительной системы для обеспечения кроссплатформенной и параллельной реализаций математических моделей на кластерах и грид-системах".**

Руководитель – д.т.н., Малышкин В. Э.

Разработана модель программного комплекса HPC Community Cloud (HPC2C), предназначенного для обеспечения унифицированного доступа программных систем к разнородным высокопроизводительным вычислительным системам (ВВС), накопления и повторного использования программ для решения прикладных задач на ВВС, повышения уровня интерфейсов взаимодействия пользователей с ВВС. Модель предполагает организацию комплекса в составе сервера и веб-приложения. Роль сервера состоит в обеспечении учета пользователей, вычислительных ресурсов, управлении хранением данных и прохождением заданий в вычислительных системах и предоставлении услуг внешним программным системам через программный интерфейс. Веб-приложение является методическим примером внешней программной системы и реализует высокоуровневый пользовательский интерфейс для удаленной работы с высокопроизводительными вычислительными ресурсами, включающий интегрированную среду разработки программ. Модель предусматривает возможность встраивания прикладных программных систем, интерактивных обучающих материалов в единый интерфейс взаимодействия с высокопроизводительными вычислительными ресурсами. Разработаны алгоритмы для реализации модели HPC2C, на основе веб-технологий реализован прототип программного комплекса HPC2C.

**Программа президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Методы и технологии распараллеливания алгоритмов и параллельная реализация численного моделирования на многопроцессорных системах".**

Руководитель д.т.н. Малышкин В. Э.

Разработаны системные алгоритмы и расширение функциональности системы фрагментированного программирования (ФП) LuNA. Проведено моделирование различных физических процессов и разработаны распределенные алгоритмы статистического моделирования. Выполнена фрагментация алгоритма моделирования эволюции самогравитирующего пылевого протопланетного диска методом частиц-в-ячейках. Разработанный алгоритм записан в виде фрагментированной программы на языке LuNA. Проведено испытание работоспособности фрагментированной программы в сравнении с "эталонной" последовательной программой, реализующей исходный алгоритм. Проведено испытание характеристик алгоритма при параллельной реализации на мультикомпьютере.

Результаты могут использоваться для разработки программ численного моделирования для суперкомпьютеров, включая вычислительные системы эксафлопсного диапазона. При

промышленной реализации системы LuNA можно добиться полного исключения параллельного программирования из процесса разработки крупномасштабных численных моделей.

На базе текущей версии языка ФП LuNA создан прототип библиотеки фрагментированных базовых операций линейной алгебры FBLAS, реализующей функциональность библиотеки BLAS. Выполнена фрагментация явного метода решения уравнения Пуассона при одномерной и трехмерной декомпозиции области. Проведено сравнительное тестирование производительности фрагментированной программы в системе LuNA с использованием только базового алгоритма исполнения ФП и совместно с разработанным модулем прямого управления в общей памяти и на кластере. Тестирование показало, что использование прямого управления позволяет значительно уменьшить время работы программы.

Проведены работы по обеспечению возможности выполнения фрагментированных программ LuNA в среде NumGRID (объединение высокопроизводительных кластеров) и разработки и запуска программ из среды HPC Community Cloud (HPC2C, развитие интерфейса NumGRID). Программный комплекс NumGRID-MPI предназначен для объединения разнородных вычислительных кластеров в единый вычислительный ресурс на основе частичной реализации стандарта MPI-3.0. NumGRID обеспечивает возможность запуска MPI приложения так, чтобы процессы приложения были распределены по рабочим узлам нескольких кластеров. При этом процессы составляют один коммунитор MPI и имеют возможность обмениваться данными между собой средствами MPI. Обеспечена поддержка выполнения в NumGRID программ, разработанных в системе параллельного программирования LuNA.

**Программа президиума РАН № 15, проект № 15.9, подпроект "Клеточно-автоматное моделирование физико-химических процессов в дискретных пространствах микро- и наноразмерности".**

Отв. исполнитель – д.т.н. Бандман О. Л.

Предложены три способа композиции локальных операторов асинхронных клеточных автоматов (КА). Путем проведения серии вычислительных экспериментов показано качественное совпадение эволюций клеточных автоматов, что полезно знать при синтезе КА-моделей сложных физико-химических процессов. Разработаны две новые КА-модели, основанные на композиции клеточных автоматов: модель каталитической химической реакции при динамическом изменении температуры и модель роста и деления биотканей растения.

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 39.**

Координатор в институте – д.т.н. Глинский Б. М.

Программный комплекс NumGRID-MPI предназначен для объединения разнородных вычислительных кластеров в единый вычислительный ресурс на основе частичной реализации стандарта MPI-3.0. Обеспечена поддержка выполнения в NumGRID программ, разработанных в пилотной системе программирования LuNA. Работа системы проверена на наборе тестовых программ LuNA, включая решение 3-d уравнения Пуассона неявным волновым методом. Максимальное число использованных для NumGrid-задач процессов – 200, тестирование проведено на оборудовании Сибирского суперкомпьютерного центра (ССКЦ).

В составе системы LuNA разработаны средства и алгоритмы автоматизации распределения ресурсов, позволяющие учесть неоднородность вычислителя при запуске задач на NumGRID. В частности, расширен язык LuNA средствами, позволяющими описывать требуемое распределение ресурсов в виде отображения множеств фрагментов данных и вычислений, составляющих LuNA-программу, на абстрактный вычислитель. На данном этапе отображение задается пользователем путем определения интерфейсной процедуры на языке

ке C++. В будущем возможность определения отображения будет поддержана компилятором как часть языка LuNA. Кроме того, разработан системный алгоритм, осуществляющий привязку абстрактного вычислителя к конкретному, на котором выполняется программа. Привязка осуществляется динамически и автоматически исполнительной системой LuNA. В случае возникновения дисбалансов нагрузки на вычислительные узлы алгоритмы динамической балансировки выравнивают указанные нагрузки. Динамическая балансировка также корректирует начальное распределение ресурсов, если начальная привязка абстрактного вычислителя к конкретному была выполнена неточно.

Разработанные средства и алгоритмы автоматизации распределения ресурсов работают в приближении, при котором считается, что неоднородный вычислитель имеет топологию 1D-решетка или 1D-тор (кольцо), вычислительные узлы которого обладают различной производительностью, а соединяющие их коммуникационные каналы – различной пропускной способностью и латентностью.

Для отладки и контроля нефункциональных требований к разрабатываемой системе программирования разработаны и реализованы алгоритмы профилирования и трассировки выполнения программ. Результаты профилирования и трассировки могут быть использованы для анализа человеком или системой программирования автоматически (на этапе компиляции или исполнения). В отличие от традиционных профилирования и трассировки разработанные и реализованные алгоритмы сохраняют информацию о характеристиках выполнения отдельных фрагментов данных и вычислений, составляющих фрагментированную программу.

## Публикации

### Монографии, главы в монографиях

1. Хрестоматия по истории информатики Автор-составитель Я. И. Фет. Отв. редактор Б. Г. Михайленко. СО РАН, ИВМиМГ. Новосибирск: Акад. изд-во "ГЕО", 2014. 560 с.
2. Medvedev Yu. G. Lattice gas cellular automata for a flow simulation and their parallel implementation // Parallel programming: Practical aspects, models and current limitations. Ser.: Mathematics research developments / Ed. Tarkov M. S. Hauppauge, N. Y.: Nova Science Publishers Inc., 2014. P. 143–158.

### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Ачасова С. М. Моделирование искусственной биологической клетки в мелкозернистой структуре // Программирование. 2014. Т. 40, № 6. С. 3–11. DOI: 10.1134/S0361768814060115. (в базе РИНЦ, перевод в базах Scopus, Web of Science).
2. Калгин К. В. Влияние регулярных системных прерываний на производительность параллельных трафаретных вычислений // Там же. № 5. С. 28–33. DOI: 10.1134/S0361768814050053. (в базе РИНЦ, перевод в базах Scopus, Web of Science).
3. Афанасьев И. В. Применение КА-модели для исследования влияния загрязнения на динамику популяций голомянок и макрогектопуса в озере Байкал // Прикл. дискр. матем. 2014. № 1. С. 114–123. (в базе РИНЦ).
4. Афанасьев И. В. Клеточно-автоматная модель динамики популяций трех видов организмов озера Байкал // СибЖВМ. 2014. № 3. С. 217–227. (в базе РИНЦ, перевод в базе Scopus).
5. Витвицкий А. А. Клеточные автоматы с динамически меняющейся структурой клеток на примере роста апикальной меристемы побега *Arabidopsis thaliana* // Там же. № 4. С. 315–327. (в базе РИНЦ, перевод в базе Scopus).

**Зарубежные издания**

1. Malyshkin V. E., Perepelkin V. A. The PIC implementation in LuNA system of fragmented programming // J. Super-Comput. 2014. V. 69, iss. 1. P. 89–97. DOI: 10.1007/s11227-014-1216-8. (в базах РИНЦ, Scopus).
2. Malyshkin V. E. Peculiarities of numerical algorithms parallel implementation for exaflops multicomputers // Intern. J. Big Data Intell. 2014. V. 1, N 1/2. P. 65–73. DOI: 10.1504/IJBDI.2014.063837. (в базе Scopus).
3. Achasova S. M. Self-replicating structure as an artificial multicellular organism // Cybern. and Syst. Analysis. 2014. V. 50, iss 2. P. 316–323. DOI: 10.1007/s10559-014-9619-3. (в базах РИНЦ, Scopus).
4. Golomolzina D., Gorodnichev M., Levin E., Savostyanov A., Yablokova E., Tsai A. C., Zaleshin M., Budakova A., Saprygin A., Remnev M., Smirnov N. Advanced electroencephalogram processing: automatic clustering of EEG components // Intern. J. E-Health and Medical Communications. 2014. V. 5, iss. 2. P. 49–69. DOI: 10.4018/ijehmc.2014040103 (в базах РИНЦ, Scopus).

**Материалы международных конференций и совещаний**

1. Malyshkin V. E. Literacy for oncoming centuries // Proc. of the 11th Intern. conf. on new trends in software methodologies, tools and techniques, Langkawi (Malaysia), Sept. 2014. IOS Press. V. 246. P. 899–905.
2. Fet Ya. History of computer science as an instrument of enlightenment // Proc. of Intern. conf. "НС 2014", IFIP AICT 416. P. 207–212.
3. Elokhin V. I., Kalgin K. V., Kovalyov E. V., Matveev A. V. Peculiarities of the oscillatory behavior in the catalytic reaction of CO oxidation over the supported palladium nanoparticles with the dynamically changing surface morphology: Monte Carlo model // Proc. of the 12th Intern. conf. on fundamental and applied aspects of physical chemistry. V. 1. P. 344–347.
4. Kireev S. E., Komarov V. Yu. Parallel implementation of polymer chains conformation enumeration for crystal engineering // Ibid. P. 96.
5. Tkacheva A. A. A way to define the control flow of the fragmented program // Ibid. P. 112.
6. Herega A., Ostapkevich M. Computer simulation mesostructure of cluster systems // Proc. of the Intern. conf. on physical mesomechanics of multilevel systems, 2014. AIP Publishing LLC 978-0-7354-1260-6. 2014. V. 1623. P. 209–212. DOI: 10.1063/1.4898919.
7. Городничев М. А., Вайцель С. А.. Организация доступа к высокопроизводительным вычислительным ресурсам в HPC Community Cloud // Труды Междунар. конф. "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Новороссийск, сент. 2014 г. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 205–210. (Статья индексирована в РИНЦ).
8. Фет Я. И. Норберт Винер в Москве // Труды 3-й Междунар. конф. "Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР. История и перспективы" (SORUCOM–2014), Казань, окт. 2014. С. 376–378.

**Прочие публикации**

1. Bandman O. Cellular automata diffusion models for multicomputer implementation // Bull. NCC, Ser: Computer Science. 2014. Iss. 36. P. 21–31. (в базе РИНЦ).
2. Achasova S. Modeling an artificial biological cell in fine-grain structure // Ibid. P. 1–10. (в базе РИНЦ).
3. Markova V. Designing a collision matrix for a cellular automaton with rest particles for simulation of wave processes // Ibid. P. 47–56. (в базе РИНЦ).
4. Nepomniaschaya A. S. Constructions used in associative parallel algorithms for undirected graphs. P. 2. // Ibid. P. 65–78. (в базе РИНЦ).

5. Afanasyev I. A CA-model of population dynamics of organisms living in Baikal. Verification and investigation of pollution influence // Bull. NCC, Ser: Computer Science. 2014. Iss. 36. P. 11–20. (в базе РИНЦ).
6. Vitvitsky A. The computer simulation of self-organization in the Bacterial MinCDE System by cellular automata // Ibid. P. 103–113. (в базе РИНЦ).
7. Городничев М. А., Вайцель С. А. Организация доступа к высокопроизводительным вычислительным ресурсам в HPC Community Cloud // Вестн. Юж.-Ур. гос. ун-та. Сер.: Вычислительная математика и информатика. 2014. Т. 3, № 4. С. 85–95. (в базе РИНЦ).
8. Перепечко Ю. В., Роменский Е. И., Решетова Г. В., Перепечко Н. Л., Малышкин В. Э., Калгин К. В., Киреев С. Е., Остапкевич М. Б. Нелинейная акустика и режимы фильтрации в пористых средах // Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности: Альманах под редакцией акад. В. А. Садовниченко, акад. Г.И. Савина, чл.-корр. РАН Воеводина Вл. В. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 119–126.
9. Маркова В. П. Построение таблицы переходов клеточного автомата, моделирующего процесс // Труды 7-й Сиб. конф. по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. Под ред. проф. А. В. Старченко. Томск: Изд-во ТГУ, 2014. С. 34–41.
10. Ткачева А. А. Средства для задания императивного управления во фрагментированных программах на примере задачи моделирования самогравитирующегося вещества методом "частиц в ячейках" // Там же. С. 68–75.
11. Маркова В. П. Синтез клеточных автоматов, моделирующих волновой процесс // Труды 10-й Рос. конф. "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур". Томск: Изд-во ТГУ. 2014. С. 8.
12. Медведев Ю. Г. Методы осреднения в клеточно-автоматной модели FHP-GP // Там же. С. 9.
13. Киреев С. Е. Параллельная реализация задачи моделирования нелинейной многофазовой фильтрации в деформируемых пористых средах на кластере с ускорителями Xeon Phi // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, июнь 2014 г. С. 62.
14. Ткачева А. А. Оптимизация выполнения фрагментированной программы решения уравнения Пуассона явным методом в системе фрагментированного программирования средствами прямого управления // Там же. С. 67.
15. Kalgin K. V., Kireev S. E. Simulation of multiphase flow in deforming porous media on clusters with GPU and Xeon Phi // Proc. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June, 2014. Novosibirsk: Akademizdat, 2014. P. 94.

#### Участие в конференциях и совещаниях

1. 11-th Intern. conf. on new trends in software methodologies, tools and techniques, Langkawi (Malaysia), 2014 г. – 1 доклад (Малышкин В. Э.).
2. Междунар. суперкомп. конф. "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров", Абрау-Дюрсо, 2014 – 1 доклад (Городничев М. А., Вайцель С. А.).
3. Intern. conf. on comp. technologies in physical and engineering applications, Петербург, 2014 – 1 доклад (Остапкевич М. Б.).
4. Междунар. конф. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики" (АМСА-2014), Новосибирск, 2014 – 4 доклада (Бандман О. Л., Афанасьев И. В., Витвицкий А. А., Остапкевич М. Б.).

5. 9th Intern. conf. on bioinformatics of genome regulation and structure biology. Новосибирск, 2014 – 1 доклад (Витвицкий А. А.).
6. 12th International conference on fundamental and applied aspects of physical chemistry, Новосибирск, 2014 – 3 доклад (Калгин К. В., Киреев С. Е., Ткачева А. А.).
7. Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014". Новосибирск, 2014 – 3 доклада (Калгин К. В., Киреев С. Е., Ткачева А. А.).
8. Седьмая Сиб. конф. по параллельным и вы-сокопроизводительным вычислениям. Томск, 2014 – 2 доклада (Маркова В. П., Ткачева А. А.).
9. 10-я Росс. конф. "Новые информационные техно-логии в исследовании сложных структур", Томск, 2014 – 2 доклада (Маркова В. П., Медведев Ю. Г.).
10. Школа-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 2014 – 2 доклада (Киреев С. Е., Ткачева А. А.).
11. Intern. conf. НС 2014 – 1 доклад (Фет Я. И.).
12. 3-я Междунар. конф. "Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР. История и перспективы" (SORUCOM–2014), окт. 2014 – 1 доклад (Фет Я. И.).
13. Intern. conf. on physical mesomechanics of multilevel systems, Томск, 2014 – 1 доклад (Остапкевич М. Б.).

#### **Участие в программных и организационных комитетах конференций**

1. Бандман О. Л.
  - член программного комитета 11th International conference on cellular automata for research and industry (ACRI 2014), Krakow (Poland), Sept. 22–25, 2014.
  - член программного комитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики (АМСА–2014), Новосибирск, 7–14 июня 2014 г.
  - член оргкомитета 10-й Российской конференции "Новые информационные технологии в исследовании сложных структур", Томск, 2014.
2. Малышкин В. Э.
  - член прогр. комитета 11th IFIP International conference on network and parallel computing, Hsin (Taiwan), Sept. 18–20, 2014.
  - член прогр. комитета 8th International conference on mobile ubiquitous computing, systems, services and technologies (UBICOMM–2014), Rome (Italy), Aug. 24–28, 2014.
  - член прогр. комитета 13th International conference on intelligent software methodologies tools and techniques (SoMeT–2014.), Sarawak (Malaysia), Sept. 22–24, 2014.
  - член прогр. комитета International conference on high performance computing & simulation (HPCS 2014), July 21–25, 2014.

#### **Международные научные связи**

1. Малышкин В. Э. – член редколлегии журнала The International Journal of Computational Science and Engineering; приглашенный редактор журнала The Journal of Supercomputing.
2. Фет Я. И. – член редколлегии журналов Parallel and Distributed Computing Practice и Scalable Computing: Practice and Experience.

#### **Итоговые данные по лаборатории**

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 2  
Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 7

- Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 15  
 Монографий, глав в монографиях – 2  
 Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 5  
 Публикаций в зарубежных изданиях – 4  
 Публикаций в материалах международных конференций – 8  
 Публикаций в прочих изданиях – 15  
 Докладов на конференциях – 23  
 Участников оргкомитетов конференций – 7

### Кадровый состав

- |                      |                 |           |
|----------------------|-----------------|-----------|
| 1. Малышкин В. Э.    | зав. лаб.       | д.т.н.    |
| 2. Бандман О. Л.     | г.н.с.,         | д.т.н.    |
| 3. Фет Я. И.         | г.н.с.          | д.т.н.    |
| 4. Ачасова С. М.     | с.н.с.          | к.т.н.    |
| 5. Маркова В. П.     | с.н.с.          | к.т.н.    |
| 6. Медведев Ю. Г.    | с.н.с.          | к.т.н.    |
| 7. Непомнящая А. Ш.  | с.н.с.          | к.ф.-м.н. |
| 8. Арыков С. Б.      | м.н.с.          | к.ф.-м.н. |
| 9. Калгин К. В.      | м.н.с.          | к.ф.-м.н. |
| 10. Киреев С. Е.     | н.с.            |           |
| 11. Городничев М. А. | м.н.с.          |           |
| 12. Остапкевич М. Б. | м.н.с.          |           |
| 13. Ткачева А. А.    | м.н.с.          |           |
| 14. Перепелкин В. А. | м.н.с.          |           |
| 15. Щукин Г. А.      | м.н.с.          |           |
| 16. Савукова В. А.   | техник 1-й кат. |           |

Арыков С. Б., Городничев М. А., Калгин К. В., Киреев С. Е., Перепелкин В. А., Ткачева А. А., Щукин Г. А. – молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

- |                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| Малышкин В. Э.   | – профессор, зав. каф. НГУ и НГТУ |
| Фет Я. И.        | – профессор НГУ                   |
| Маркова В. П.    | – доцент НГУ и НГТУ               |
| Арыков С. Б.     | – ст. преподаватель НГУ           |
| Киреев С. Е.     | – ст. преподаватель НГУ           |
| Медведев Ю. Г.   | – ст. преподаватель ВКИ НГУ       |
| Городничев М. А. | – ассистент НГУ и НГТУ            |
| Калгин К. В.     | – ассистент НГУ                   |
| Остапкевич М. Б. | – ассистент НГУ и НГТУ            |
| Перепелкин В. А. | – ассистент НГУ                   |
| Щукин Г. А.      | – ассистент НГУ                   |
| Ткачева А. А.    | – ассистент НГУ                   |

### Руководство аспирантами

- |                 |   |
|-----------------|---|
| Витвицкий А. А. | – 3-й год, ИВМ и МГ, руководитель Бандман О. Л. |
| Ткачева А. А.   | – 1-й год ИВМиМГ, руководитель Малышкин В. Э.   |

**Защита дипломов**

- Волков А. С. – магистрант, НГУ, руководитель Малышкин В.Э.  
Подстригайло А. С. – магистрант, НГУ, руководитель Калгин К. В.  
Дуплищев И. К. – бакалавр, НГУ, руководитель Перепелкин В. А.  
Комаров С. О. – бакалавр, НГУ, руководитель Калгин К. В.  
Матвеев А. С. – бакалавр, НГУ, руководитель Городничев М. А.  
Токарев А. А. – бакалавр, НГУ, руководитель Остапкевич М. Б.  
Сарычев В. Г. – бакалавр, НГТУ, руководитель Городничев М. А.  
Вайцель С. А. – бакалавр, НГТУ, руководитель Городничев М. А.

**Руководство студентами**

- Зайцев В. Е. – 6-й курс, НГУ, руководитель Калгин К. В.  
Мачульский С. В. – 6-й курс, НГУ, руководитель Малышкин В. Э.  
Пашкин Т. И. – 6-й курс, НГУ, руководитель Маркова В. П.  
Сафин А. Р. – 6-й курс, НГУ, руководитель Маркова В. П.  
Сумбатьянц И. И. – 6-й курс, НГУ, руководитель Малышкин В. Э.  
Комаров С. О. – 5-й курс, НГУ, руководитель Калгин К. В.  
Черешнев Е. С. – 5-й курс, НГУ, руководитель Калгин К. В.  
Соколов А. В. – 5-й курс, НГУ, руководитель Малышкин В. Э.  
Вайцель С. А. – 5-й курс, НГТУ, руководитель Малышкин В. Э.  
Сарычев В. Г. – 5-й курс, НГТУ, руководитель Маркова В. П.

**Защита кандидатской диссертации**

Афанасьев И. В. Клеточно-автоматное моделирование пространственной самоорганизации популяций организмов в озере Байкал. Дис. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук по специальности 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ". Защита 15.10.2014 г. Руководитель – д.т.н. О. Л. Бандман

## Лаборатория параллельных алгоритмов решения больших задач

Зав. лабораторией д.ф.-м.н. Вшивков В. А.

### Важнейшие достижения

В рамках работы с Институтом Астрономии РАН в лице д.ф.-м.н. проф. А. В. Тутукова проведены исследования в области математического моделирования столкновения галактик: сформулирована и реализована модель взаимодействующих галактик в виде магнитогазодинамической модели (для моделирования областей с высокой скоростью звездообразования) в трехмерной постановке. Для реализации бесстолкновительной компоненты (звезды и темная материя) использована модель, основанная на решении уравнений первых трех моментов уравнения Больцмана. Многокомпонентная магнитогазодинамическая модель взаимодействующих галактик реализована для суперЭВМ, оснащенных графическими ускорителями (программный комплекс GPUPEGAS) и ускорителями Intel Xeon Phi (программный комплекс AstroPhi). С помощью двухфазной модели смоделирован сценарий разлета галактик при центральном столкновении. В рамках одного графического ускорителя получено 55-кратное ускорение и эффективность 96 % при использовании 60 графических ускорителей. В рамках одного ускорителя Intel Xeon Phi получено 27-кратное ускорение в offload режиме, 54-кратное ускорение в native режиме и эффективность 94 % при использовании 32 ускорителей Intel Xeon Phi. На конец 2014 г. программный комплекс AstroPhi – единственный в мире программный код для решения астрофизических задач на гибридных суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi.

К.ф.-м.н. Куликов И. М.

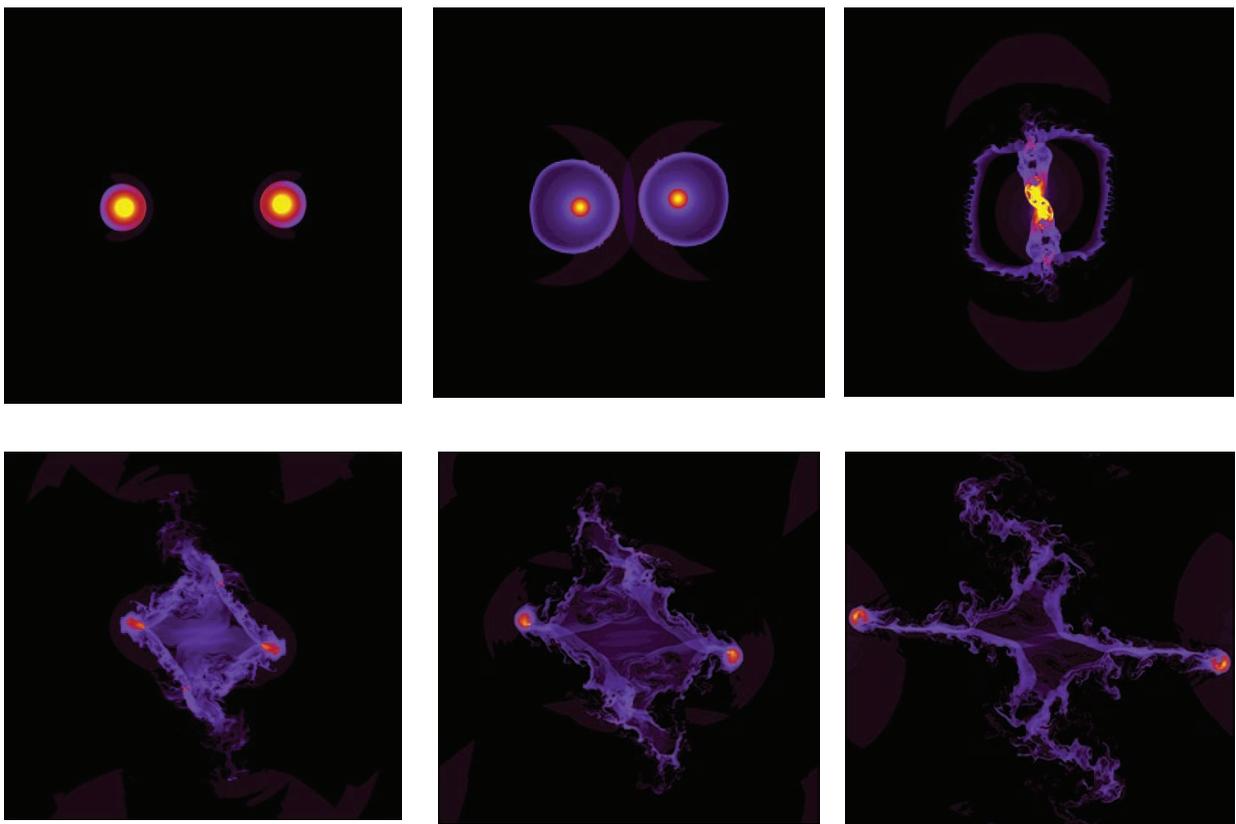


Рис. 1. Разлет галактик при центральном столкновении

**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г.  
в соответствии с планом НИР института**

**Проект НИР I.4.1.2.** "Математическое моделирование сложных природных процессов с использованием параллельных и распределенных вычислений".

Номер государственной регистрации НИР 01201370231.

Руководители проекта: акад. Михайленко Б. Г., д.ф.-м.н. Вшивков В. А.

На основе метода частиц-в-ячейках создана параллельная трехмерная численная модель, позволяющая моделировать процессы релаксации теплого электронного пучка в плазме. Данный код позволяет моделировать эволюцию и неустойчивость электронного пучка в плазме в трех разных режимах неустойчивости. Проведена большая серия расчетов при различных численных (шаг сетки по пространству, количество частиц в ячейке) и физических (плотность и температура пучка, размер области) параметрах модели. Исследовано насыщение роста отдельно взятой неустойчивой моды. Исследована точность получаемого решения при различных счетных параметрах. Найдена зависимость точности полученных результатов от количества модельных частиц. Определено минимальное необходимое количество модельных частиц для корректного воспроизведения инкремента неустойчивости.

Проведенные исследования показали, что определяющим при моделировании является полное число частиц в области резонанса волны (под областью резонанса понимается один период волны в направлении  $x$ , полный волновой пакет в направлении  $(y,z)$  и интервал по скорости ( $\delta v_z \approx 14\gamma/k_s$ ). Необходимое условие для количественно корректного трехмерного моделирования кинетической двухпоточковой неустойчивости методом частиц-в-ячейках выглядит следующим образом: число частиц пучка на волновой пакет, вступающих в резонанс с волной, должно быть больше  $10^5$ . В этом случае, помимо качественного воспроизведения картины развития неустойчивости, имеется еще и совпадение значений физических величин с результатами теоретических оценок. Такое количество частиц позволяет вычислять величину инкремента неустойчивости с точностью 20 %. В терминах количества частиц в ячейке данный вывод имеет следующий вид. Для типичной сетки из 100 ячеек на период волны в случае, когда все частицы вступают в резонансное взаимодействие, для количественно корректного моделирования достаточно 10 частиц в ячейках. Если же неустойчивость развивается в кинетическом режиме, и только малая часть частиц пучка ( $\epsilon$ ) взаимодействует с волновым пакетом, то необходимое число частиц в ячейке при трехмерном моделировании приблизительно равно  $10/\epsilon$ .

На рис. 2 представлен график амплитуда главной волны электрического поля для переходного режима развития неустойчивости при достаточном и малом числе частиц в ячейке. При недостаточном числе частиц максимум значительно меньше, и инкремент неустойчивости (на графике – темп нарастания амплитуды) также очень разнится. На рис. 3 показано поведение электронов пучка на фазовой плоскости  $(x, V_x)$  для кинетического режима при достаточном и малом числе частиц в ячейке. Видно, что в случае малого числа частиц в ячейке образующаяся структура не имеет четкой формы, а ее характеристики не соответствуют аналитическим.

Таким образом, показано, что при моделировании взаимодействия электронного пучка с плазмой в переходном и кинетическом режимах развития неустойчивости данный код требует использования больших вычислительных ресурсов для обеспечения требуемой точности моделирования. При точном расчете инкремента двухпоточковой неустойчиво-



Рис. 2. Электроны пучка на фазовой плоскости  $(x, V_x)$  для кинетического режима при достаточном и малом числе частиц в ячейке:  
 а – 2500 частиц в ячейке, б – 500 частиц в ячейке

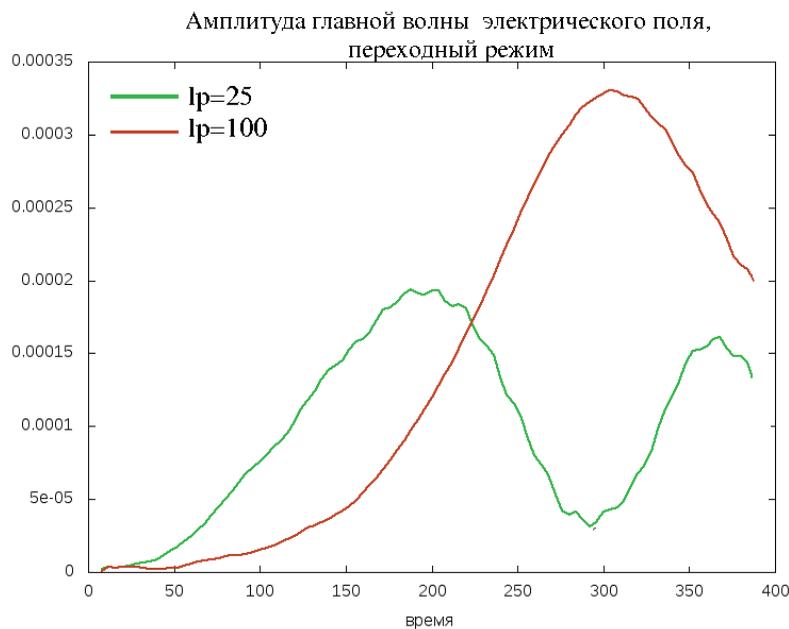


Рис. 3. Амплитуда главной волны электрического поля для переходного режима развития неустойчивости. Достаточное ( $l_p=100$ ) и малое ( $l_p=25$ ) число частиц в ячейке

сти в квазиодномерном случае минимальной удовлетворительной сеткой считается сетка  $120 \times 4 \times 4$ , размер области 1.2 (в безразмерных единицах), а длина области в дебаевских радиусах – 134.8. При этом в трехмерном случае потребуются сетка размером  $2156 \times 2156 \times 2156$  при 1000 модельных частиц каждого типа в ячейке. Это означает, что потребуются объем памяти 1.4 Петабайт, вычислительная нагрузка составит примерно 1.5 PetaFLOPs в течение одного временного шага. Поэтому для решения рассматриваемой задачи во всей полноте необходимо применение машин с производительностью более 1 PetaFLOPs, т. е. перспективных эксафлопс-компьютеров. Для метода частиц с характерным для него большим числом независимо обрабатываемых элементов (модельных частиц) использование технологии CUDA является очень эффективным: на рис. 4 показано ускорение двух основных частей вычислительного алгоритма на графическом ускорителе Nvidia Tesla и на новом ускорителе Nvidia Kepler (это одна из первых расчетных программ на основе метода частиц) по сравнению с 4-ядерным процессором Intel Xeon. На рисунке видно, что расчет движения модельных частиц выполняется быстрее в 40 раз, а решение уравнений Максвелла – в 25 раз (для Kepler).

На рис. 5 показано, как изменяется время выполнения одного временного шага при использовании нескольких ускорителей Nvidia Kepler.

Выполнена доработка параллельного вычислительного алгоритма с учетом архитектуры графических ускорителей. В этом случае частицы распределены по ячейкам, и расчет происходит в варианте "одна ячейка сетки – один потоковый блок GPU". Реализован более эффективный вариант "группа соседних ячеек сетки – один потоковый блок GPU".

На рис. 6 показана эффективность распараллеливания при использовании большого числа процессоров (или, что в данном случае то же самое, графических ускорителей) для задачи квазиодномерного моделирования. Данный тест показывает, насколько велика при расчете на большом количестве процессоров доля времени, затрачиваемого на вычисления, по сравнению с остальным временем (например, затрачиваемым на пересылку данных).

Проведено исследование эффективности генерации электромагнитного излучения в различных нелинейных процессах, возникающих при инжекции в плазму электронного пучка. Данная задача актуальна как для лабораторных экспериментов по турбулентному нагреву плазмы в открытых ловушках, так и для интерпретации различных явлений в космической плазме (солнечные и гамма вспышки, излучения в магнитосферах планет, генерация высокоэнергетических космических лучей). Открытые магнитные ловушки являются одним из направлений в решении проблемы управляемого термоядерного синтеза, и одно из преимуществ этих систем перед замкнутыми конфигурациями состоит в возможности ввода в плазму электронных пучков большой

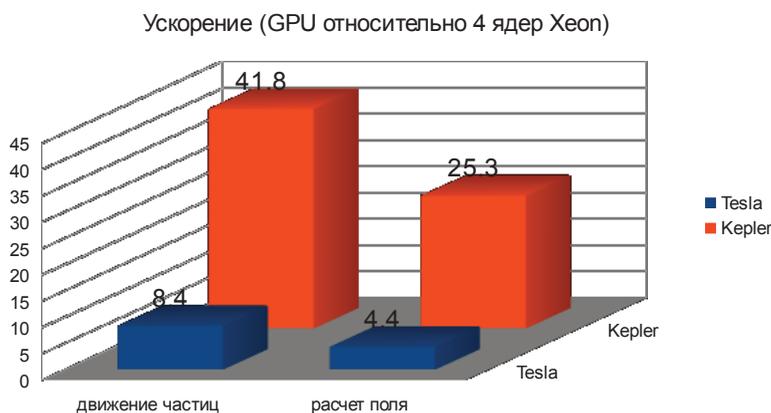


Рис. 4. Ускорение программы при использовании GPU

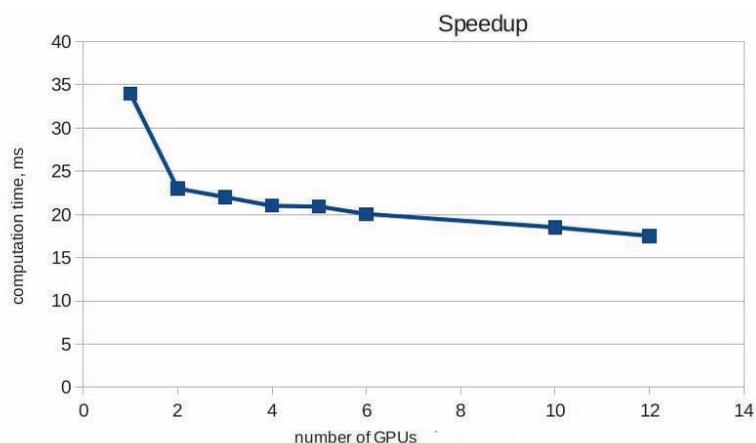


Рис. 5. Ускорение программы при использовании кластера на GPU. Показано время выполнения одного шага в миллисекундах

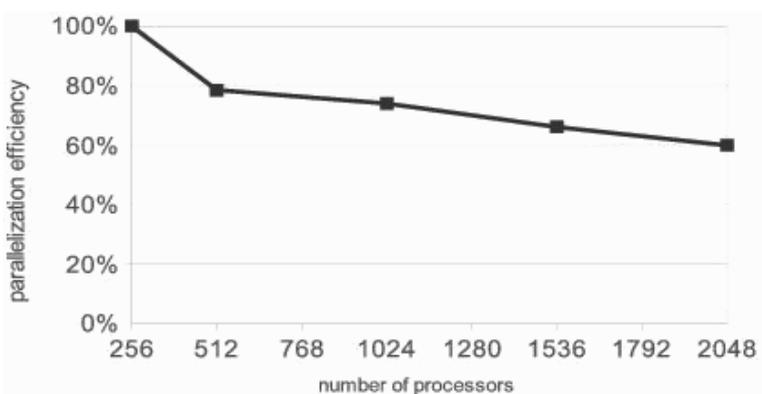


Рис. 6. Эффективность распараллеливания

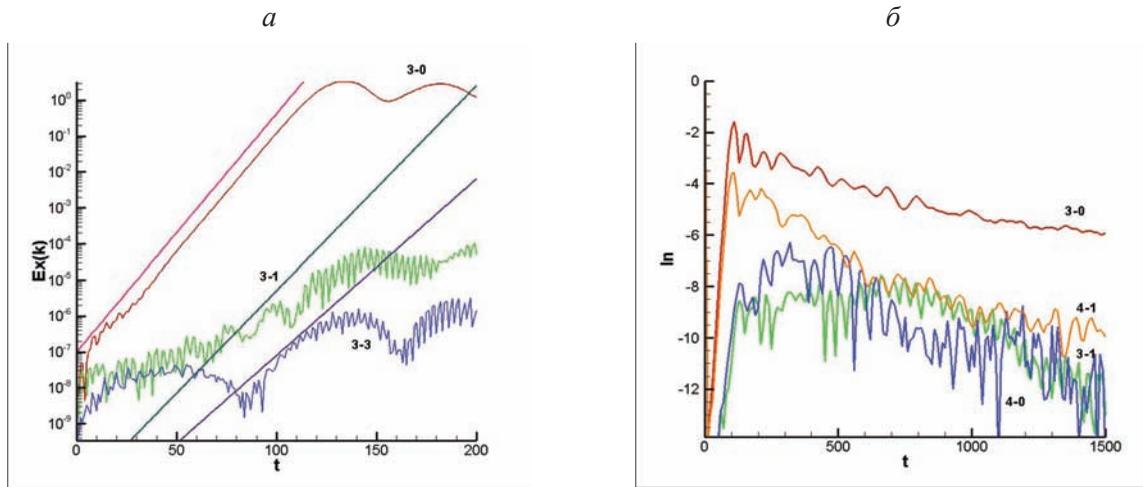


Рис. 7. Зависимости фурье-гармоник напряженности поля  $E_x$  от времени в логарифмической шкале. Прямые линии – точные значения инкремента

мощности. В численных расчетах параметры пучка и плазмы выбирались характерными для экспериментов по нагреву плазмы в открытой ловушке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН).

Исследованы различные сценарии нелинейной эволюции в системе пучок – плазма в случае пучка малой плотности, показано, как эти сценарии изменяются под действием внешнего магнитного поля. Для определения инкремента нарастания амплитуды поля проведен двумерный дисперсионный анализ задачи.

Рис. 7,а демонстрирует хорошее соответствие расчетных и аналитических результатов для инкремента нарастания амплитуды поля, значения которых приведены в таблице.

Рис. 7,б показывает, что если на начальном этапе ( $t < 200 \omega_p^{-1}$ ), который соответствует нарастанию амплитуды поля, основной вклад в решение вносит одна определенная гармоника (3-0), то со временем происходит перекачка энергии из основной неустойчивой моды в другие. Аналогичные результаты демонстрирует рис. 8, на котором приведены результаты Фурье-анализа для напряженности электрического поля  $500 \omega_p^{-1}$ .

Решение данной ресурсоемкой задачи потребовало разработки эффективного алгоритма распараллеливания. Была использована смешанная эйлерово-лагранжевая декомпозиция области, при которой область разделяется на несколько подобластей вдоль одного измерения. Характерные параметры расчетов на суперкомпьютере "НКС-30Т" (ССКЦ СО РАН): 4 подобласти, 128 процессорных ядер, сетка  $360 \times 384$ , число частиц в ячейке 250, число шагов по времени от  $10^5$  до  $8 \times 10^5$ .

Таблица аналитических значений показателей  $\gamma$  для некоторых мод

Мода	$\gamma$
3-0	0.0763
3-1	0.0657
3-3	0.0565

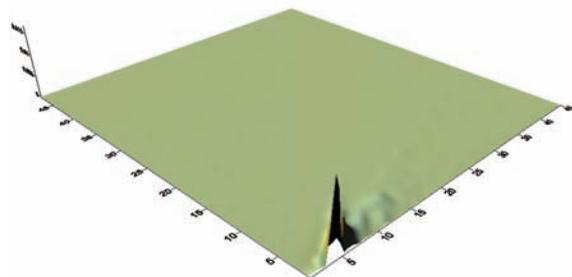


Рис. 8. Фурье-гармоники напряженности электрического поля  $E_x$  в момент времени  $t=500 \omega_p^{-1}$

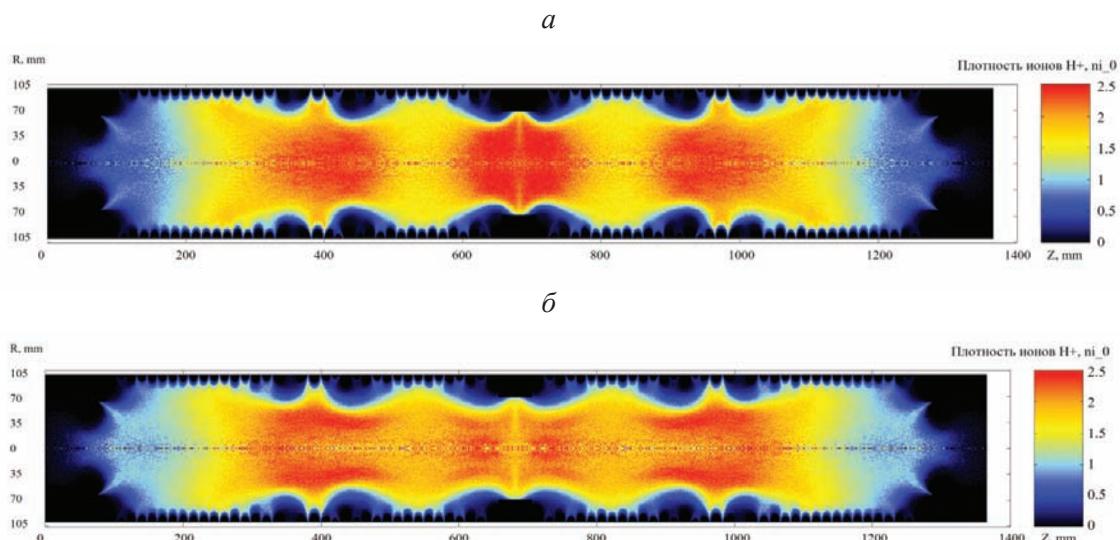


Рис. 9. Плотность ионов  $H^+$ ,  $n_{i_0} = 572 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ :  
 а – момент времени  $T = 2 \cdot 10^{-7}$  сек.; б – момент времени  $T = 4 \cdot 10^{-7}$  сек.

Также рассмотрена задача оценки потерь мишенной плазмы из магнитной ловушки-мишени, разработанной в ИЯФ СО РАН. Еще до проведения физических экспериментов необходимо оценить потери плазмы через широкие проходные апертурные отверстия в торцах ловушки, в которых находятся инверсные магнитные пробки, а также через цилиндрические мультипольные магнитные стенки ловушки на ее вакуумную камеру.

С помощью вычислительных экспериментов установлено распределение плотности ионов плазмы в цилиндрической ловушке в различные моменты времени после начала ионизации (рис. 9). Как видно на рис. 9, ионы заполняют практически всю ловушку, при этом основная часть плазмы удерживается еще до апертурных отверстий на торцах, что говорит о высокой эффективности магнитной системы ловушки.

В рамках сотрудничества с ИЯФ СО РАН создан алгоритм трехмерного моделирования динамики пучков заряженных частиц в современных ускорителях. Особенности таких пучков являются существенно нелинейно распределение плотности (по Гауссу с условием фокусировки), значительное изменение формы пучка при пролете через область (форма песочных часов), высокие значения релятивистского фактора ( $\gamma \sim 10^5$ ). Учет указанных особенностей динамики пучков требует проведения расчетов на сетках с числом узлов  $\sim 10^8$  с количеством частиц в пучке  $\sim 10^9$ , но расчеты с такими параметрами не могут быть проведены на однопроцессорных ЭВМ. В качестве примера на рис. 10 приведены координаты  $(z, x)$  встречных пучков при смещении  $\Delta y = 10^{-5}$  см и релятивистскими факторами частиц  $\gamma = 4 \times 10^5$ , при данных параметрах наблюдается винтовая неустойчивость. В расчетах использовано  $10^7$  частиц на сетке  $100 \times 100 \times 100$ , 64 процессора были распределены между 20 группами, при этом максимальное количество процессоров в группе составило 14 шт.

Разработан параллельный алгоритм численного моделирования динамики бесстолкновительных гравитирующих систем, описываемых уравнением Власова для функции распределения вещества и уравнением Пуассона для гравитационного потенциала. В частности, разработана параллельная версия метода частиц-в-ячейках, основанная на декомпозиции области решения и динамической балансировке загрузки процессоров. Для решения уравнения Пуассона используется новый метод декомпозиции, основанный на построении иерархии подобластей в виде двоичного дерева (рис. 11). С помощью тестовых эксперимен-

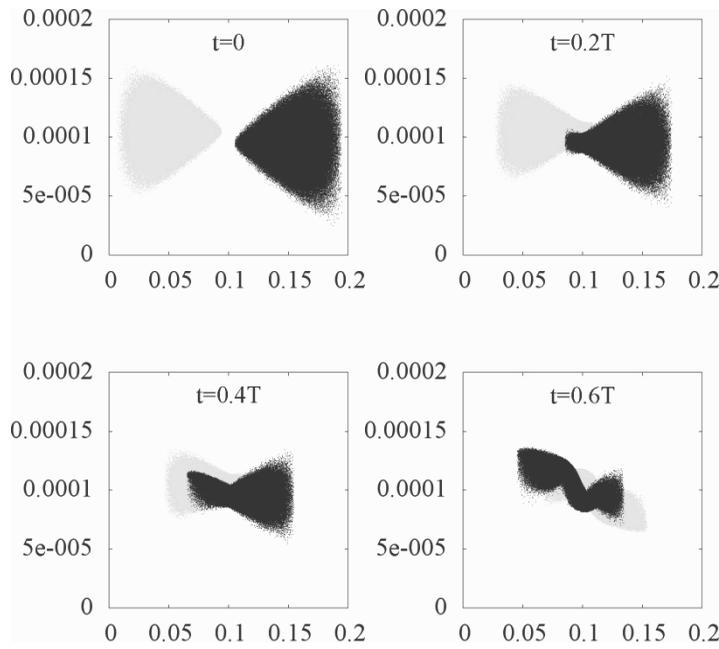


Рис. 10. Координаты  $(z,x)$  встречных пучков в различные моменты времени

тов, проведенных на суперкомпьютерах ССКЦ и МСКЦ, показано, что алгоритм является хорошо масштабируемым вплоть до нескольких тысяч процессоров для двумерной задачи. Сделаны оценки его масштабируемости до миллиона процессоров при использовании сетки с 8 триллионами узлов.

В рамках совместной работы с Институтом Катализа СОРАН (к.ф.-м.н. Стояновская О. П., к.ф.-м.н. Снытников В. Н.) реализован специальный метод вычисления гравитационного потенциала на основе метода свертки (Хокни). Показано, что данный метод является оптимальным по производительности и возможностям обеспечения пространственного разрешения для случаев численного моделирования тонких дисков (без учета вертикального движения вещества). Метод добавлен в программный комплекс для численного моделирования гравитационной газовой динамики околозвездных дисков (рис. 12).

В рамках совместных исследований лаборатории ПАРБЗ и акад. С. К. Годунова проводились исследования численной модели процесса волнообразования при сварке взрывом. Разработан и реализован алгоритм образования кумулятивной струи при сварке пластин при малом угле между ними, исследовано гибридное (гидродинамическое/упруго-пластическое)

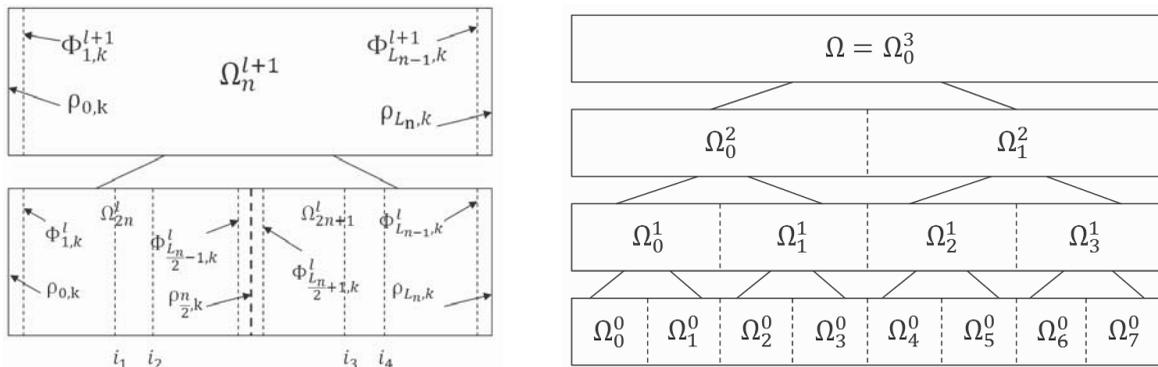


Рис. 11. Слева схематично показан шаг прохода по дереву подобластей на один уровень вверх, справа – двоичное дерево подобластей, в котором корнем является область решения, а листьями –  $N$  подобластей, каждая из которых назначается для решения своему процессору

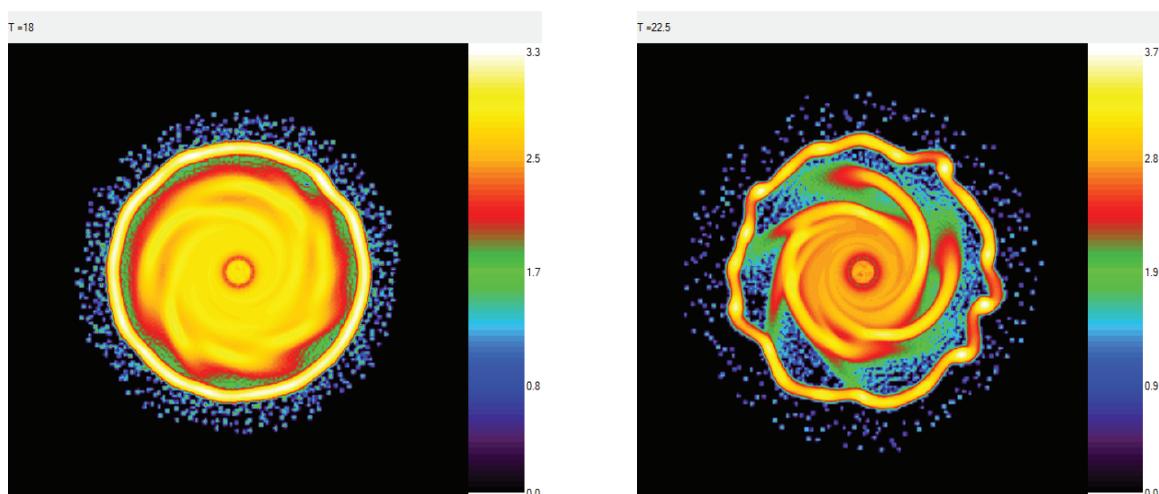


Рис. 12. Тестовые расчеты по моделированию динамики массивного околозвездного диска вокруг протозвезды с использованием бессеточного метода сглаженных частиц SPH для решения уравнений газовой динамики и сеточного метода свертки для вычисления самосогласованного гравитационного поля

уравнение состояния, которое позволило смоделировать переход упруго-пластической среды к гидродинамической модели.

Численно исследовано нелинейное вырождающееся уравнение диффузии для феноменологического описания турбулентности, ассоциированное с моделью Лейта. Дано аналитическое обоснование существования автомодельного режима для спектральной плотности энергии турбулентности  $E(k,t)$  в пространстве волновых чисел  $k$ , проведено численное исследование поведения траекторий в фазовом пространстве соответствующей динамической системы. Автомодельный режим модели реализуется как автомодельное решение второго рода, для которого формирование спектра на больших волновых числах происходит за конечное время, что было показано ранее в результате численных экспериментов в случае исчезающей вязкости и отсутствия внешних сил воздействия.

### Результаты работы по проектам РФФИ

**Проект РФФИ № 14-01-00392** "Создание эффективных параллельных алгоритмов для моделирования процессов в релятивистской физике плазмы".

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

В рамках работы над проектом реализованы двумерные и трехмерные параллельные алгоритмы решения уравнения Больцмана – Максвелла на основе метода частиц и методов Монте-Карло для моделирования поведения плазмы в открытых магнитных ловушках, инжекции релятивистского электронного пучка в плазму, а также эффектов встречи заряженных ультрарелятивистских пучков.

Методы решения данных задач основаны на методе частиц-в-ячейках с применением схемы с перешагиванием. Для каждой частицы уравнения движения совпадают с уравнениями характеристик кинетического уравнения Власова, поэтому соответствующие уравнения для каждой модельной частицы можно решать независимо с высокой эффективностью. Для распараллеливания алгоритмов выбран метод декомпозиции по пространству и частицам. Это позволяет существенно сократить затраты ресурсов ЭВМ за счет использования большего количества процессоров в областях большей плотности пучка или большего маг-

нитного поля, что дает возможность проводить численные эксперименты с параметрами, недостижимыми при распараллеливании только по сеточной области.

Созданная двумерная численная модель инжекции в плазму релятивистского электронного пучка позволяет количественно интерпретировать эксперименты в открытой ловушке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН), а также дает возможность исследовать новую схему генерации субтерагерцового и терагерцового излучения в системе со встречными электронными пучками. Решение первой задачи является важным шагом на пути к детальной проработке концепции термоядерного реактора на основе открытых магнитных систем, а исследование новой схемы генерации электромагнитных волн заложит основу для создания новых источников мощного терагерцового излучения с легко перестраиваемой частотой.

Полностью трехмерная модель и созданный параллельный алгоритм для моделирования встречных пучков заряженных частиц с высокими релятивистскими факторами позволили провести численные эксперименты для сфокусированных пучков с малыми фазовыми объемами и начальным смещением в поперечном направлении. В этом случае возникает винтовая неустойчивость, что соответствует физике явления. Условия устойчивости метода накладывают жесткие ограничения на соотношение поперечных размеров пучка, тем не менее,

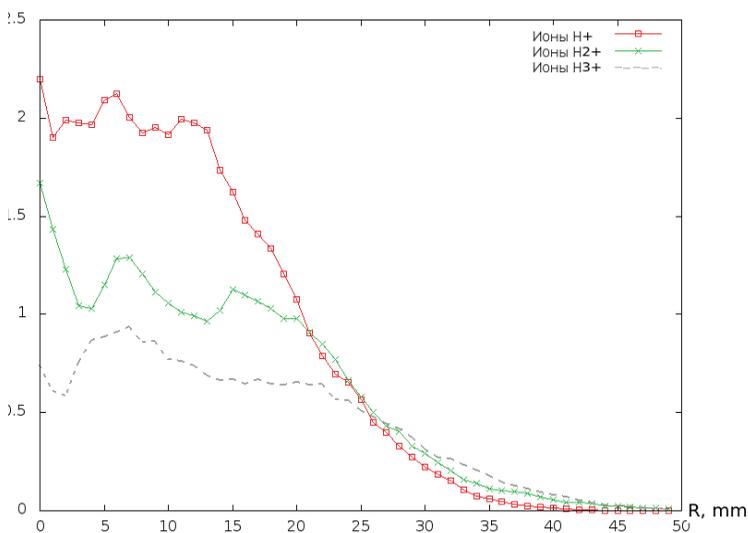


Рис. 13. плотность ионов H<sup>+</sup>, H<sup>2+</sup>, H<sup>3+</sup>,  $n_i = 572 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$

проведены расчеты для различных конфигураций пучков с малым фазовым объемом и соотношением поперечных размеров 1:10. В качестве примера открытой магнитной ловушки рассмотрена плазменная ловушка-мишень для получения мощных атомарных пучков. В этом случае расчет траекторий частиц производится в цилиндрической системе координат. С использованием статистических методов, скорости и координаты частиц корректируются с учетом процессов столкновения частиц. Рассчитан ионный ток через магнитную пробку ловушки. При ионизации катодами с током 150 А ток ионов со временем стабилизируется на уровне 0.5 А. Поток плазмы на стенки ловушки, согласно расчетам, достигает 9.5 А. На рис. 13 приведен радиальный профиль плотности ионов различных типов в области магнитной пробки ловушки к моменту стабилизации потока плазмы. Как видно на рисунке, ионы удерживаются магнитным полем в основном у оси ловушки, что обеспечивает относительно небольшой поток плазмы через торцы плазменной мишени. Расстояние до центра ловушки составляет 600 мм, что соответствует положению центра инверсии магнитного поля.

**Проект РФФИ № 13-07-00589 "Разработка методов имитационного моделирования поведения сверхмасштабируемых алгоритмов на суперЭВМ экзафлопсной производительности".**

Руководитель проекта – д.т.н. Глинский Б. М.

Исполнители: к.ф.-м.н. Куликов И. М., к.ф.-м.н. Снытников А. В., к.ф.-м.н. Снытников Н. В.

В рамках работы по гранту разработана модификация программного комплекса AstroPhi с целью использования native-режима работы ускорителя Intel Xeon Phi. Использование данного режима позволило получить 54-кратное ускорение в рамках одного ускорителя Intel Xeon Phi и, как следствие, возможность произвести расчет на сетке  $1024 \times 1024 \times 1024$  в пределах одного узла.

**Проект РФФИ № 14-01-31199** "Разработка эффективных параллельных алгоритмов для моделирования влияния химических процессов на эволюцию астрофизических объектов с использованием гибридных высокопроизводительных суперкомпьютеров".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Исполнитель – к.ф.-м.н. Куликов И. М.

В рамках работы по гранту разработана модификация оригинального численного метода решения уравнений гравитационной газовой динамики, которая позволила получать решение с гарантией неубывания энтропии. Это качество численного решения особенно важно при моделировании химической эволюции астрофизических объектов.

**Проект РФФИ № 14-01-31220 мол\_а** "Математическое моделирование на суперЭВМ динамики плазмы в ловушке-мишени для получения атомарных пучков высокой энергии".

Руководитель проекта – Берендеев Е. А.

На основе комбинации метода частиц-в-ячейках и методов Монте-Карло разработана математическая модель, описывающая динамику плазмы в магнитной ловушке-мишени. Для расчета траекторий частиц в сильных магнитных полях разработан метод адаптивного шага по времени, позволяющий существенно сократить время вычислений. Использование современных суперЭВМ (Ломоносов МГУ, НКС-30Т ССКЦ СО РАН) позволяет проводить расчеты с использованием нескольких тысяч вычислительных ядер и определить динамику частиц во всей области ловушки.

**Проект РФФИ № 14-01-31088 мол\_а** "Разработка масштабируемого параллельного алгоритма для моделирования динамики гравитирующих систем на суперкомпьютерах экзафлопсного класса".

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

Разработана архитектура программного комплекса для решения системы уравнений Власова – Пуассона с возможностью применения на гибридных суперкомпьютерах с различными аппаратными архитектурами (ia32/amd64 CPU, NVIDIA GPU, Intel Phi). Разработан набор тестов для проверки работоспособности численного метода, к которым относятся тесты на развитие гравитационной неустойчивости, устойчивость вращающегося диска в соответствии с критерием Тумре, устойчивость сферического распределения с анизотропным распределением скоростей. Реализован параллельный метод частиц-в-ячейках, основанный на декомпозиции области решения и динамической балансировке частиц между процессорами. Параллельный метод для решения уравнения Пуассона основан на методе декомпозиции области и построении иерархии подобластей в виде двоичного дерева. Для случая тонкого вращающегося изолированного диска был реализован специальный метод вычисления гравитационного потенциала, основанный на методе свертки (Хокни).

**Проект РФФИ № РФФИ 14-07-00241** "Параметризованная реализация метода частиц-в-ячейках для решения задач физики плазмы на суперЭВМ гибридной архитектуры".

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Снытников А.В.

Создан шаблон реализации метода частиц-в-ячейках на основе программы моделирования релаксации электронного пучка в плазме, оптимизированный для GPU. Проведена параллельная реализация шаблона для расчета на гибридных кластерах. Проведено GPU-моделирование длительной инжекции электронного пучка в замагниченную плазму и идентифицированы количественные характеристики процесса, допускающие сравнение с теоретическими моделями или экспериментальными наблюдениями и могущие служить индикаторами корректности вычислений. Верифицирован существующий трехмерный электромагнитный PIC-код, создан интерфейс для задания начальных данных, также будут собраны количественные характеристики процесса, допускающие сравнение с теоретическими моделями и могущие служить индикаторами корректности вычислений.

### **Результаты работ по проектам РНФ**

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

Руководитель д.ф.-м.н. Ильин В. П.

Исполнители: Берендеев Е. А., к.ф.-м.н. Боронина М. А., д.ф.-м.н. Вшивков В. А., Ефимова А. А., к.ф.-м.н. Снытников Н. В.

Разработан алгоритм декомпозиции области для решения задачи Дирихле для двумерного и трехмерного уравнения Пуассона, возникающего при решении нестационарных задач электрофизики. Проведено сравнение с традиционным алгоритмом декомпозиции области, основанным на быстром преобразовании Фурье и транспозиции подобластей. Создана двумерная численная модель и алгоритм для математического моделирования инжекции электронного пучка в плазму, основанная на кинетическом приближении. Проведены расчеты динамики многокомпонентной плазмы в магнитной ловушке с инверсным магнитным полем. Удалось найти профили плотности в области магнитной пробки и качественно оценить ток плазменных ионов из ловушки. Создан параллельный алгоритм исследования нестационарной динамики пучков заряженных частиц в самосогласованных электромагнитных полях коллайдеров нового поколения, движение частиц в которых носит ультрарелятивистский характер, а плотности сгустков достигают критических значений.

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

**Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 130.**

Координатор – акад. РАН Михайленко Б. Г.

В рамках проекта рассмотрены различные задачи физики плазмы, в частности динамика заряженных частиц в плазменной ловушке-мишени, сценарии нелинейной эволюции в системе пучок-плазма, а также динамика встречных пучков заряженных частиц в ускорителях с учетом высоких значений релятивистского фактора.

Для данных задач реализованы параллельные алгоритмы с балансировкой вычислительной нагрузки для движения частиц, что позволило рассчитывать траектории миллиардов модельных частиц. Создан параметризованный программный комплекс, способный интегрировать в себя новые алгоритмы, обеспечивающие возможность увеличения числа ПЭ, реализующие новые технологии метода частиц-в-ячейках и создающие привязку алгоритма к архитектуре гибридной суперЭВМ. Производительность, достигнутая на конкретных задачах, составляет 3.05 Gflop/s (один ускоритель Nvidia Kepler, ССКЦ) или 1.57 Tflop/s

(МСЦ, Москва, MVS-100K, 2048 ядер Intel Xeon). Эффективность в слабом смысле составляет 80 % до 2000 ПЭ.

С помощью математического моделирования удалось предсказать такие параметры плазменной ловушки-мишени, как ток заряженных частиц через магнитные пробки ловушки, а также распределение плотности ионов. Численно воспроизведены различные нелинейные процессы, возникающие в замагниченной плазме под действием электронного пучка.

Также разработана и эффективно реализована двухфазная модель взаимодействующих галактик. Для описания бесстолкновительной компоненты использовалась модель первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана. Такая модель позволила использовать единый численный метод для моделирования газовой и бесстолкновительной компоненты, что позволило получить потенциально бесконечную масштабируемость программной реализации. Разработана программа для моделирования задач звездной динамики (системы уравнений Власова-Пуассона) на гибридных суперЭВМ. Разработан масштабируемый параллельный метод для решения двумерного и трехмерного уравнения Пуассона в контексте нестационарных задач.

### Прочие граниты

**Грант Президента Российской Федерации** для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук.

#### Грант МК-4183.2013.9

Руководитель – к.ф.м.н. Куликов И. М.

На основе комбинации метода крупных частиц, метода Годунова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне разработан и реализован новый численный метод решения уравнений гравитационной газовой динамики, обладающий следующими свойствами: высокий порядок точности на гладких решениях и малая диссипация в случае разрывных решений; отсутствие необходимости введения члена искусственной вязкости или ограничителей, инвариантность получаемого численного решения относительно поворота и отсутствие карбункул-эффектов, гарантированное неубывание энтропии, возможность расширения на более сложные гидродинамические модели, простота программной реализации, потенциально бесконечная масштабируемость.

**Договор №3/2013 от 02.10.2013** на выполнение научно-исследовательской работы "Создание математической модели, описывающей изменения, происходящие в горных породах газонефтяных месторождений при термогазохимическом способе воздействия".

Руководитель – д.ф.м.н. Лазарева Г. Г.

Созданы подробные гидродинамические математические модели и основанный на них модуль для расчета распределения давлений в многофазном потоке продуктов термохимического разложения в удаленной и призабойной зонах продуктивного пласта газонефтяного месторождения. Реализован модуль для выполнения расчетов технологическими службами сервисного предприятия, проводящими обработки скважин методом ТГХВ. Использование результатов лабораторных работ и математического моделирования позволит заказчику обосновать технологическую возможность реализации данного метода стимуляции пласта в нефтяной промышленности, произвести патентную защиту разработанного математического и программного инструмента, созданного для моделирования процесса воздействия термогазохимических составов на продуктивные пласты.

## Публикации

### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Гребенев В. Н., Назаренко С. В., Шваб И. В., Чиркунов Ю. А., Лазарева Г. Г., Штырина О. В., Медведев С. Б. Автомодельное решение нелинейного уравнения диффузии для спектральной плотности энергии турбулентности // Выч. технол. 2014. Т. 19, № 1. С. 63–73.
2. Лотов К. В., Месяц Е. А., Снытников А. В. Моделирование кинетической неустойчивости электронного пучка в плазме методом частиц-в-ячейках // Матем. моделир. 2014. Т. 26, № 11. С. 45–50. (в базе РИНЦ)
3. Боронина М. А., Вшивков В. А., Дудникова Г. И. Неявная схема для решения уравнений Максвелла в областях с различными масштабами // Докл. Акад. наук. 2014. № 1(22). С. 69–79. (в базе РИНЦ)

### Зарубежные издания

1. Kulikov I. GPUPEGAS: A New GPU-accelerated Hydrodynamic Code for Numerical Simulations of Interacting Galaxies // The Astrophys. J. Suppl. Ser. 2014. V. 214, N 12. P. 1–12. DOI: 10.1088/0067-0049/214/1/12. (в базах Scopus, Web of Science)
2. Godunov S. K., Kulikov I. M. Computation of discontinuous solutions of fluid dynamics equations with entropy nondecrease guarantee // Comput. Math. and Math. Phys. 2014. V. 54, N 6. P. 1012–1024. DOI: 10.1134/S0965542514060086. (в базах Scopus, Web of Science)
3. Kulikov I. M., Chernykh I. G., Snytnikov A. V., Glinskiy B. M., Tutukov A. V. AstroPhi: A code for complex simulation of dynamics of astrophysical objects using hybrid supercomputers // Comput. Phys. Commun. 2015. V. 186. P. 71–80. DOI: 10.1016/j.cpc.2014.09.004. (в базах Scopus, Web of Science)

### Материалы международных конференции и совещаний

1. Boronina M. A., Korneev V. D., Vshivkov V. A. Parallel three-dimensional PIC code for beam-beam simulation in linear colliders // Proc. of the IPAC2014, Dresden (Germany). [Electron. resource]. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2014/papers/mopme027.pdf>.
2. Берендеев Е. А., Боронина М. А., Корнеев В. Д. Параллельный алгоритм решения задач динамики заряженных частиц с учетом балансировки вычислительной нагрузки // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2014). С. 213–224.
3. Куликов И. М., Черных И. Г., Глинский Б. М., Тутуков А. В. Моделирование астрофизических процессов с учетом химической кинетики на гибридных суперЭВМ с ускорителями Intel Xeon Phi // Там же. С. 118–130.
4. Glinskiy B. M., Karavayev D. A., Kulikov I. M., Kuchin N. V., Snytnikov N. V. High scalable computing using hybrid architecture supercomputer // Zbornik radova konferencije MIT 2013, 2014. P. 208–215.
5. Chernykh I., Glinskiy B., Kulikov I., Marchenko M., Rodionov A., Podkorytov D., Karavaev D. Using simulation system AGNES for modeling execution of parallel algorithms on supercomputers // The 2014 Intern. conf. on applied mathematics and computational methods in engineering computers "Automatic Control, Signal Processing and Systems Science". 2014. P. 66–70.
6. Берендеев Е. А., Боронина М. А., Корнеев В. Д. Параллельный алгоритм решения задач динамики заряженных частиц с учетом балансировки вычислительной нагрузки // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПаВТ'2014), Ростов-на-Дону, 1–3 апр. 2014 г. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. С. 213–224.

7. Глинский Б. М., Караваев Д. А., Куликов И. М., Кучин Н. В., Снытников Н. В. Масштабируемые вычисления с применением гибридного кластера // Сб. избр. докл. Междунар. конф. "Математические и информационные технологии" (MIT-2013). С. 208–215. (2014).

### Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

1. AstroPhi: a code for complex simulation of dynamics of astrophysical objects using hybrid supercomputers // Computer Physics Communications Program Library. 2014. ID AEUM\_v1\_0.

### Прочие издания

1. Берендеев Е. А., Боронина М. А., Корнеев В. Д. Параллельный алгоритм решения задач динамики заряженных частиц с учетом балансировки вычислительной нагрузки // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Вычислительная математика и информатика. 2014. № 1. С. 97–112.

(в базе РИНЦ)

2. Snytnikov A. V., Romanenko A. A. Parallel template implementation of Particle-In-Cell method for hybrid supercomputers // Bull. of NCC. 2014. V. 3. P. 79–88.

3. Boronina M. A., Korneev V. D., Vshivkov V. A. Parallel three-dimensional PIC code for beam-beam simulation in linear colliders // Abst. of the 5th Intern. particle accelerator conf. (IPAC2014). [Electron. resource]. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2014/html/clas050.htm>,

4. Берендеев Е. А., Ефимова А. А. Численное моделирование нелинейных процессов в замагниченной плазме под действием мощного электронного пучка // Тез. докл. 7-й Всерос. конф. "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященной памяти академика А. Ф. Сидорова, Абрау-Дюрсо, 15–20 сент. 2014 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. С. 13–14.

5. Берендеев Е. А., Ефимова А. А. Численное моделирование потерь плазмы через инверсные пробки магнитной ловушки-мишени // Там же. С. 14–15.

6. Боронина М. А. Параллельный алгоритм для численного моделирования динамики пучков заряженных частиц // Материалы шк.-конф. молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 9–13 июня 2014 г. С. 23.

7. Ефимова А. А. Численное моделирование нелинейных эффектов в плазме под действием электронного пучка // Там же. С. 25.

8. Берендеев Е. А. Особенности моделирования потерь плазмы в открытой ловушке-мишени // Там же. С. 22.

9. Куликов И. М. Моделирование динамики взаимодействующих галактик на супер-ЭВМ // Там же. С. 50–52.

10. Месяц Е. А. Моделирование взаимодействия теплого электронного пучка малой плотности в плазме методом частиц-в-ячейках // Там же. С. 27.

11. Снытников Н. В. Масштабируемый параллельный алгоритм для решения трехмерного уравнения Пуассона в задачах звездной динамики // Там же. С. 29.

12. Берендеев Е. А. "Численное моделирование динамики плазмы в открытой ловушке-мишени" // Материалы 52-й Междунар. науч. студ. конф. "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 2014 г. Сер.: Математика. Новосибирск: НГУ, 2014. С. 119.

13. Берендеев Е. А. "Численное моделирование сценария нелинейной эволюции системы плазма-пучок в случае малой плотности пучка" // Там же. С. 120.

14. Snytnikova T. V., Dudnikova G. I., Vshivkov V. A. Modification of PIC method with adaptive mass: results for 2D problems // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 110.

15. Vshivkov V. A., Kedrinsky V. K. Modeling of the bubble fluid dynamics // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Academizdat, 2014. P. 114–115.
16. Boronina M. A., Korneev V. D., Vshivkov V. A. Parallel algorithm for solution of problems of charged particle dynamics in ultrarelativistic case // Ibid. P. 86.
17. Efimova A. A., Berendeev E. A. Numerical simulation of the nonlinear evolution scenario of a beam-plasma system in the case of low density beam // Ibid. P. 89–90.
18. Kulikov I. M. AstroPhi vs GPUPEGAS: two hydrodynamic codes for numerical simulation of galaxy formation by means hybrid supercomputers // Ibid. P. 99.
19. Mesyats E. A., Snytnikov A. V. Particle-in-Cell simulation of low density electron beam kinetic instability in plasma // Ibid. P. 103.
20. Lazareva G. G. Radial inflow model in the bottom zone of exploitation wells // Ibid. P. 99.
21. Snytnikov A. V. Plasma instability simulation with hybrid supercomputers. // Ibid. P. 84.
22. Snytnikov N. V. Parallel algorithm for solving Vlasov – Poisson equations on CPU/GPU hybrid Supercomputers // Ibid. P. 109–110.

#### **Сдано в печать**

1. Берендеев Е. А., Димов Г. И., Иванов А. В., Лазарева Г. Г., Федорук М. П. Моделирование низкотемпературной многокомпонентной плазмы в ловушке-мишени // Докл. Акад. наук. Сер.: Физика.
2. Глинский Б. М., Куликов И. М., Вшивков В. А., Черных И. Г., Снытников А. В. Со-дизайн параллельных численных методов в задачах физики плазмы и астрофизики // Вестн. Юж.-Урал. ун-та.
3. Glinskiy B., Romanenko A., Snytnikov A., Kulikov I., Chernykh I., Vshivkov V. Co-design of parallel numerical methods for plasma physics and astrophysics // Supercomputers: Frontiers and Innovations.
4. Вшивков В. А., Берендеев Е. А., Ефимова А. А., Месяц Е. А. Численное моделирование развития турбулентности при взаимодействии электронного пучка с плазмой // Вычислительные методы и программирование.
5. Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Protasov V., Tutukov A., Glinsky B. Numerical modelling of astrophysical flow on hybrid architecture supercomputers // Parall. Program.: Pract. Aspects, Models and Cur. Limit. Ed. by M. Tarkov. 2014. 196 p.
6. Lotov K. V., Timofeev I., Mesyats E., Snytnikov A., Vshivkov V. Note on quantitatively correct simulations of the kinetic beam-plasma instability // Phys. of Plasmas. [Electron. resource]. <http://pop.peerx-press.org/cgi-bin/main.plex?el=A6I5EaDs2A7ESXD5F5A9ftdEtxHuCL5thiaJAGfUHAXrQY>.

#### **Участие в конференциях и совещаниях**

1. Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ) 2014, Ростов-на-Дону, 31 марта – 4 апр. 2014 г. – 2 пленарных доклада (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Куликов И. М.).
2. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г. – 2 доклада (Берендеев Е. А., Куликов И. М.).
3. Всероссийская конференция "Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии", Новосибирск, 23–25 апр. 2014 г. – 1 доклад (Куликов И. М.).
4. Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, 8–11 июня 2014 г. – 9 докладов (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Вшивков В. А., Ефимова А. А., Куликов И. М., Лазарева Г. Г., Месяц Е. А., Снытников А. В., Снытников Н. В.)

5. Школа-конференция "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г. – 6 докладов (Берендеев Е. А., Боронина М. А., Ефимова А. А., Куликов И. М., Месяц Е. А., Снытников Н. В.).
6. 5th International particle accelerator conference (IPAC'14), Дрезден (Германия), 15–20 июня 2014 г. – 1 доклад (Боронина М. А.).
7. 7-я Всероссийская конференция "Актуальные проблемы прикладной математики и механики", посвященная памяти акад. А. Ф. Сидорова, и Школа-конференция молодых исследователей, Абрау-Дюрсо; Новороссийск, 15–20 сент. 2014 г. – 2 доклада (Берендеев Е. А., Ефимова А. А.).
8. 52-я Международная научная студенческая конференция "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 11–18 апр. 2014 г. – 1 доклад (Берендеев Е. А.).
9. Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров, Абрау-Дюрсо, 22–27 сент. 2014 г. – 3 доклада (1 доклад пленарный) (Куликов И. М., Снытников А. В.).
10. Third workshop on numerical and observational astrophysics, Буэнос-Айрес (Аргентина), 17–21 нояб. 2014 г. – 1 доклад (Куликов И. М.).
11. International conference on systems, control, signal processing and informatics II (SCSI '14), Прага (Чешская Респ.), 2–4 апр. 2014 г. – 1 доклад (Куликов И. М.).
12. Numerical hydrodynamics modeling of interacting galaxies at the peta- and exascale, Вена (Австрия), 26 июня 2014 г. – приглашенная лекция (Куликов И. М.).
13. Numerical hydrodynamics modeling of interacting galaxies at the peta- and exascale, Буэнос-Айрес (Аргентина), 26 нояб. 2014 г. – приглашенная лекция (Куликов И. М.).

#### **Участие в программных и организационных комитетах конференций**

1. Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 7–9 апр. 2014 г. (Куликов И. М.).
2. 52-я Международная научная студенческая конференция "Студент и научно-технический прогресс", Новосибирск, 11–18 апр. 2014 г. (Берендеев Е. А.).
3. Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014", Новосибирск, 8–11 июня, 2014 г. (Вшивков В. А., Боронина М. А., Ефимова А. Е., Куликов И. М., Месяц Е. А.).
4. Школа-конференция "Современные проблемы прикладной математики и информатики", Новосибирск, 8–13 июня 2014 г. (Месяц Е. А., Куликов И. М.).
5. Всероссийская научная конференция студентов и молодых ученых "Наука. Технологии. Инновации", Новосибирск, 2–6 дек. 2014 г. (Куликов И. М.).

#### **Итоговые данные по лаборатории**

- Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 4
- Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 4
- Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 4
- Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 3
- Публикаций в зарубежных изданиях – 3
- Публикаций в материалах международных конференций – 7
- Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ – 1
- Публикаций в прочих изданиях – 22
- Докладов на конференциях – 33, в том числе 3 пленарных.
- Участников оргкомитетов конференций – 6.

### Кадровый состав

1. Вшивков В. А. зав. лаб. д.ф.-м.н.
2. Лазарева Г. Г. с.н.с. д.ф.-м.н.
3. Снытников А. В. н.с. к.ф.-м.н.
4. Снытников Н. В. н.с. к.ф.-м.н.
5. Куликов И. М. м.н.с. к.ф.-м.н.
6. Боронина М. А. м.н.с. к.ф.-м.н.
7. Месяц Е. А. м.н.с. к.ф.-м.н.
8. Ефимова А. А. м.н.с.
9. Берендеев Е. А. аспирант.

Снытников Н. В., Куликов И. М., Боронина М. А., Ефимова А. А., Месяц Е. А., Берендеев Е. А. – молодые научные сотрудники.

### Педагогическая деятельность

- Вшивков В. А. – профессор НГУ, НГТУ  
 Куликов И. Г. – доцент НГТУ  
 Лазарева Г. Г. – доцент НГУ.

### Руководство аспирантами

Берендеев Е. А. – аспирант ИВМиМГ, руководитель Вшивков В. А.

### Руководство студентами

- Горшунов В. С. – 5-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.  
 Эрдыниев Э. Б. – 5-й курс НГУ, руководитель Вшивков В. А.  
 Протасов В. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Серенко А. А. – 2-й курс магистратуры НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Катышева Е. В. – 5-й курс НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Ненашев В. Е. – 5-й курс НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Морозов А. С. – 5-й курс НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Попов Д. Н. – 4-й курс НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Пугачев В. В. – 4-й курс НГТУ, руководитель Куликов И. М.  
 Баландис Е. А. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Лазарева Г. Г.

### Стипендия Президента Российской Федерации

Берендеев Е.А., приказ 1209 от 08.09.2014

### Защита диссертаций

Месяц Е. А. – кандидатская диссертация, руководитель Вшивков В. А.

## Лаборатория Сибирский суперкомпьютерный центр

Зав. лабораторией д.т.н. Глинский Б. М.

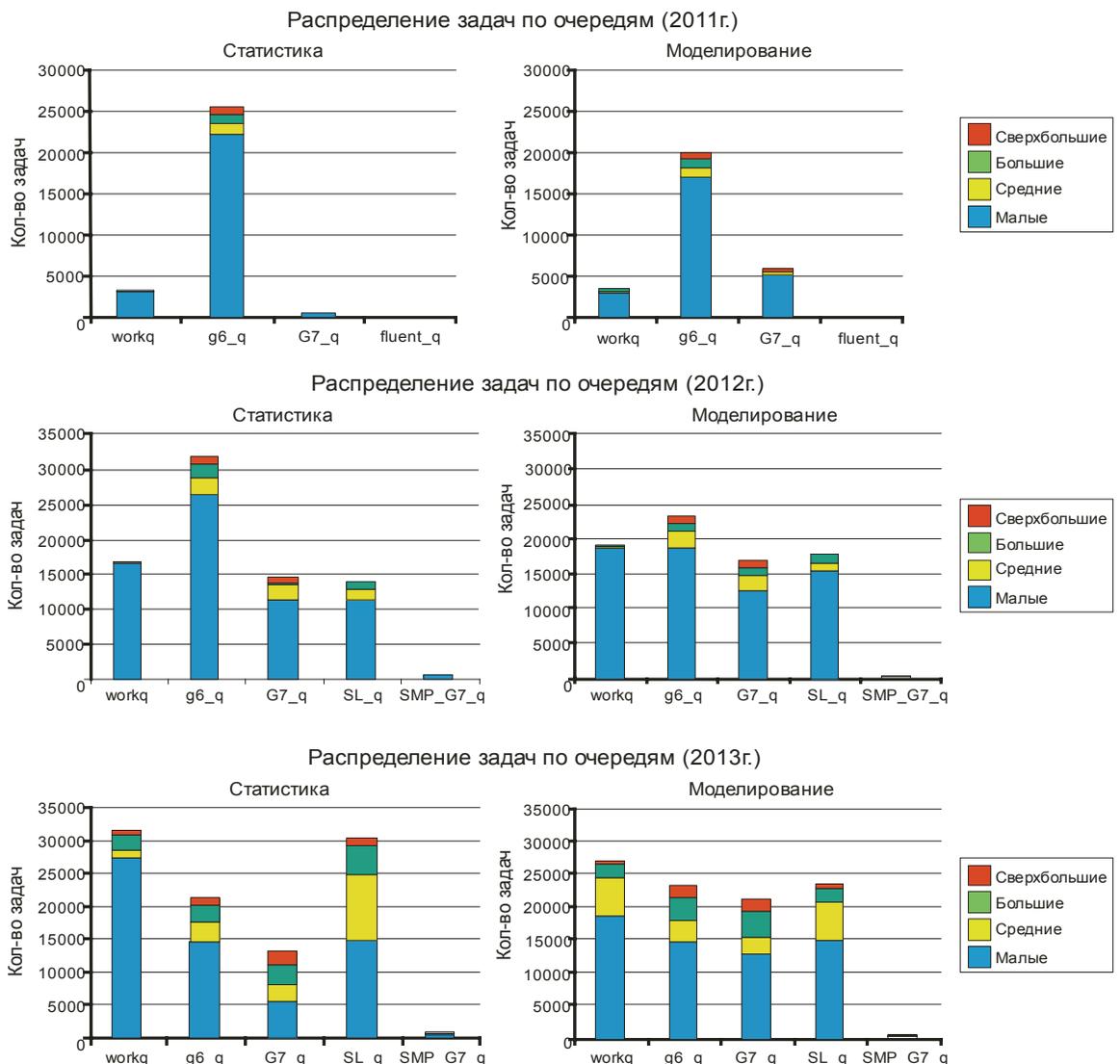
### Важнейшие достижения

Создан прототип системы управления потоком параллельных заданий для ЦКП ССКЦ СО РАН на основе имитационной модели.

При тестировании модели ЦКП подобраны оптимальные параметры алгоритмов планирования. Запуски модели, в которой моделируемый поток заданий был заменен на реальный (статистика работы ЦКП ССКЦ СО РАН за 2011–2013 гг.), показали:

1. Принимаемые управленческие решения позволяют сократить среднее время ожидания начала выполнения задания на 1–10 %;
2. Задания отправляются на менее загруженный из подходящих кластеров;
3. Нагрузка распределяется сбалансированно, так как при выделении ресурсов учитывается карта связи.

Д.т.н. Глинский Б. М., д.т.н. Родионов А. С., м.н.с. Винс Д. В.



**Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2014 г.  
в соответствии с планом НИР института**

**Проект НИР 1.4.1.3** "Развитие суперкомпьютерных технологий и методов моделирования архитектур и алгоритмов для пета- и эксафлопсных суперЭВМ".

Номер государственной регистрации НИР 01201370232.

Руководители: д.т.н. Глинский Б. М., д.т.н. Родионов А. С.

Продолжена работа по использованию суперкомпьютерных технологий для решения широкого круга фундаментальных задач институтами Сибирского отделения в различных направлениях: астрофизика, аэротермодинамика, биоинформатика, биология, вычислительная математика, вычислительная гидродинамика, вычислительная техника, геология, геофизика, глобальные климатические изменения, квантовая химия, комплексное освоение и сохранение недр Земли, математика, параллельные вычислительные технологии, системы виртуальной реальности, структура и свойства полимеров, физика, физика высоких энергий (ФВЭ), химия. Ниже приведена таблица использования услуг ЦКП ССКЦ в 2014 году, составленная по отчетам пользователей.

<p>Всего пользователей – <b>155</b>          Всего организаций – <b>29</b>           Академических организаций – <b>24</b>          Университетов – <b>3</b>          (СФУ (Красноярск), НГУ, НГТУ)          Другие организации – <b>2</b>          (СибНИА им. Чаплыгина,          СибНИГМИ)</p>	<p>Всего грантов, программ,          проектов, тем – <b>176</b>           Из них Российских – <b>171</b>          Международных – <b>5</b>           Грантов РФФИ – <b>67</b>          Программ РАН – <b>22</b>          Проектов СО РАН – <b>30</b>          Программ Минобнауки – <b>18</b>          Другие – <b>34</b></p>	<p>Всего публикаций – <b>158</b>           Российских – <b>88</b>          Зарубежных – <b>70</b>           Докторских диссертаций – <b>1</b>          Канд. диссертаций – <b>5</b>          Дипломов – <b>7</b>          Патентов – <b>2</b></p>
---	---	---

Продолжалось наращивание технических и программных средств ЦКП:

– Закуплены (ИЦиГ СО РАН) три дисковые полки HP D2700 с более быстрыми и надежными дисками HP 1.2 TB 6G 10K SAS. Одна полка HP D2700 подключена к серверу HP DL980, две – к IBRIX (BIOIFS). При этом добавились примерно 47 Тбайт внешней памяти, размер сегментов IBRIX на новых дисках составляет 5.9 Тбайт. Локальный дисковый массив на сервере HP DL980 позволяет частично снять нагрузку с файловой системы IBRIX. Эти решения позволили снять остроту проблемы.

– Закуплен сервер hp ProLiant DL380 G8, который будет использоваться для работы с NVIDIA Kepler K40.

– В 2014 году закуплена академическая лицензия на ANSYS CFD (без лицензий HPC); коммерческая поддержка по этой лицензии заканчивается 14.12.2015.

– Установлена версия IBRIX 6.1 вместо 5.6.

– В январе 2014 г. установлен коммерческий пакет Gaussian g09 Rev D.01 w/LINDA.

– Для программирования на GPU Nvidia установлен CUDA Toolkit 6.5 и PGI Accelerator версии 14.9.

Для выбора пути развития архитектуры суперкомпьютеров ЦКП ССКЦ был использован программный код AstroPhi, разработанный в ИВМиМГ СО РАН. AstroPhi предназначен для численного моделирования астрофизических процессов на гибридных суперЭВМ, оснащенных ускорителями Intel Xeon Phi. Задачи динамики астрофизических объектов являются одними из наиболее требовательных к аппаратным ресурсам и могут быть использованы для тестов с целью определения вектора развития суперкомпьютерной техники, на которой будут разрабатываться алгоритмы и программное обеспечение для пета- и эксафлопсных суперЭВМ.

Для тестовых запусков использованы кластеры МСЦ СО РАН и инженерные версии суперкомпьютеров с архитектурой PetaStream ЗАО РСК. В рамках запуска на одном ускорителе вычислений Intel Xeon Phi получено 27-кратное ускорение в offload режиме и 53-кратное ускорение в режиме native. При тестовых запусках на 32 ускорителях Intel Xeon Phi получена 94-процентная эффективность масштабирования кода. С помощью тестов показана высокая эффективность сверхплотной архитектуры RSC PetaStream, основанной на использовании ускорителей вычислений Intel Xeon Phi для построения сверхмасштабируемых приложений.

По результатам проведенных исследований совместно с ЗАО "Российская суперкомпьютерная компания" разработана первая очередь расширения вычислительных мощностей ССКЦ. Разработаны технические предложения по созданию нового кластера на современных компонентах (серверные процессоры Intel Xeon E5v3 (Haswell) и сопроцессоры Intel Xeon Phi 7120D, оперативная память 128 Гбайт DDR4) с водяным охлаждением. Производительность кластера составит 300 Тфлопс.

Разработана и исследуется имитационная модель системы управления потоком заданий для центров коллективного пользования (ЦКП) на основе мультиагентного подхода. Разработанная модель системы управления потоком задач включает программные агенты, реализующие модели внешних источников задач, распределителей и контроллеров ресурсов, вычислительных систем.

Исследование модели проводится на реальных данных, для этого использовались данные ЦКП ССКЦ СО РАН. Воссоздана коммуникационная среда кластера НКС-30T+GPU. На вход имитационной модели пускались задания, зарегистрированные системой управления кластера (PBS Pro) за 2011–2013 гг.

Для демонстрации работы имитационной модели системы управления потоками заданий и подобранных алгоритмов планирования на основе данных статистики произведены три опыта:

1. Моделирование загрузки ЦКП в случае, когда задания в очереди, по желанию пользователей, без использования генетического алгоритма формирования расписаний;
2. В тех же условиях, но в работу включился генетический алгоритм.
3. В тех же условиях, но модель системы самостоятельно распределяла задания по очередям.

Запуски модели с данными параметрами показали, что:

- принимаемые управленческие решения позволяют сократить среднее время ожидания начала выполнения задания на 1–10 % (рис. 1);
- задания отправляются на наименее загруженный из подходящих кластеров;
- задания располагаются в вычислительной системе более рационально, так как при постановке их на выполнение учитывается карта сети связи.

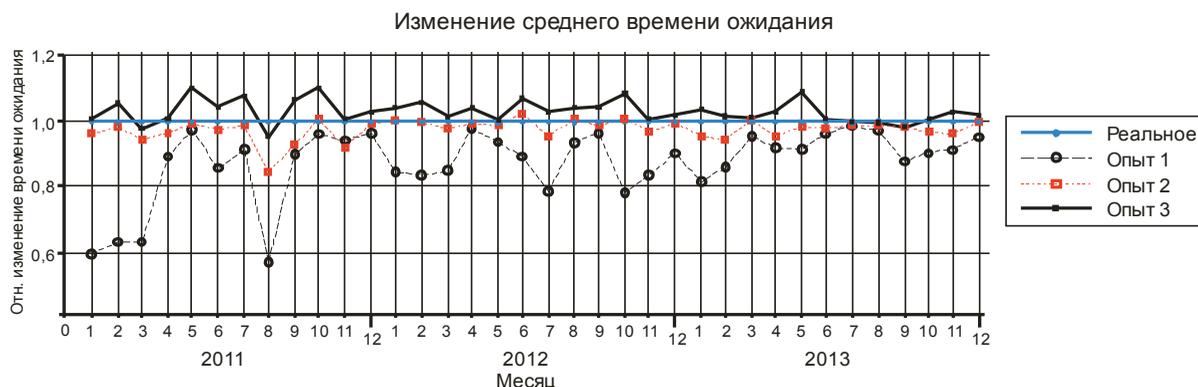


Рис. 1. Результаты запуска модели ЦКП: изменение среднего времени ожидания в очереди заданий для различных опытов

В результате тестирования реализованного на предыдущем этапе работ ФДН-метода построена имитационная модель решателя. В результате анализа модели и обработки литературных данных принято решение об оптимизации решателя для задач, в которых жесткая система ОДУ низко связана. Благодаря разреженности матриц многие операции, такие как вычисление правых частиц, матриц Якоби, LU-разложение и прямые/обратные подстановки могут быть выполнены параллельно. Также было принято решение развивать параллельно две версии: для решателей GPU и ускорителей Intel Xeon Phi.

Доработка ФДН-метода с целью оптимизации вычислений на суперЭВМ сверхвысокой производительности касалась переноса кода на Intel Xeon Phi и проведения необходимых тестов с целью отладки решателя и оптимизации скорости работы. В качестве первого этапа был использован offload режим работы ускорителя вычислений Intel Xeon Phi. Показан трехкратный рост производительности на одном Intel Xeon Phi по сравнению с одним ускорителем NVIDIA Tesla M2090.

Для реализации обратного метода решения кинетических задач разработана спецификация входных/выходных данных решателей пакета ChemPAK. С учетом спецификации начата разработка метода на основе статьи Ilyin A. I., Kabanikhin S. I., Nurseitov D. B., Nurseitova A. T., Asmanova N. A., Voronov D. A., Bakytov D. Analysis of ill-posedness and numerical methods of solving a nonlinear inverse problem in pharmacokinetics for the two-compartmental model with extravascular drug administration // J. of Inverse and Ill-Posed Problems. 2012. 20 (1): 3964. Начата работа по изменению интерфейса пакета ChemPAK с целью автоматизации итерационного решения прямых и обратных задач химической кинетики.

### Результаты работ по проектам РФФИ

**Проект РФФИ 13-07-00589** "Разработка методов имитационного моделирования поведения сверхмасштабируемых алгоритмов на суперЭВМ экзафлопсной производительности".

Руководитель проекта – д.т.н. Глинский Б. М.

Проект направлен на фундаментальные исследования в области создания и функционирования экзафлопсных суперЭВМ. В частности, на разработку и исследование масштабируемых распределенных алгоритмов и программ статистического моделирования, дискретной оптимизации, численного моделирования 3D сейсмических полей, алгоритмов решения задач химической кинетики, астрофизики на имитационных моделях экзафлопсных суперЭВМ.

Предложен комплекс параллельных алгоритмов и программ для гибридного кластера с графическими ускорителями, реализующий построение сеточной модели среды, характерной для магматических вулканов, и решающий задачу распространения упругих волн в 2D и 3D средах.

Преимущество разработанной реализации заключается в возможности провести предварительные расчеты для характерных 2D сечений исходной 3D модели всего на одном вычислительном узле во время расчета 3D задачи и получить результаты, не уступающие первоначальным. Комбинирование расчетов 2D и 3D задач позволяет наиболее эффективно использовать архитектуру гибридного кластера, а также перспективно для будущих экзафлопсных систем.

**Проект РФФИ 14-01-31199 мол\_а "Разработка эффективных параллельных алгоритмов для моделирования влияния химических процессов на эволюцию астрофизических объектов с использованием гибридных высокопроизводительных суперкомпьютеров".**

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Черных И. Г.

Проект включает разработку и реализацию эффективных параллельных алгоритмов моделирования химических процессов на ранних стадиях формирования Вселенной на гибридных суперЭВМ, оснащенных графическими ускорителями и ускорителями Intel Xeon Phi.

Одним из важнейших процессов, влияющих на формирование Вселенной, является процесс эволюции молекулярного водорода. В качестве базовой задачи выбрана задача образования молекулярного водорода в газовом облаке при его прохождении через разреженный галактический газ. Данная постановка учитывает большое число физико-химических процессов, при этом сводится к решению нелинейного дифференциального уравнения.

В рамках данной постановки задачи смоделирован процесс образования молекулярных облаков, которые играют ключевую роль в процессе звездообразования. В общем случае постановка задачи моделирования процесса химодинамики астрофизических объектов заключается в совместном решении уравнений односкоростной гравитационной газовой динамики с переменным показателем адиабаты и системы ОДУ для моделирования химических реакций. Такие системы ОДУ являются жесткими системами, поэтому для их решения в рамках расширения кода ChemPAK создана специальная процедура решения системы ОДУ с помощью неявного метода Рунге – Кутты на основе процедур вычислительной линейной алгебры с гарантированной оценкой точности из авторского кода ACCUNA.

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

**Программа Президиума РАН № 14, проект № 14.6 "Развитие интегрированной вычислительной среды (GRID сегмента) на базе вычислительных ресурсов ССКЦ".**

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

В течение 2014 г. продолжены работы по поддержанию и развитию виртуализированной вычислительной ГРИД-среды ННЦ, основанной на суперкомпьютерной 10-Гбитной сети ННЦ и включающей вычислительные ресурсы ССКЦ, ИЯФ и НГУ. Для использования исключительно в составе ГРИД из числа вычислительных ресурсов ССКЦ выделены: 32 двойных блейд-сервера HP BL2x220 G5 на процессорах Intel Xeon E5450 (суммарно 512 ядер, 1024 Гбайт памяти). В 2014 г. произведено обновление системы управления виртуальными машинами, устранены некоторые технические ограничения и повышена стабильность



Рис. 2. Схема сети виртуального кластера Академпарк – ССКЦ

задачах обработки данных трафика.

На рис. 2 приведена схема сети виртуального кластера Академпарк – ССКЦ.

**Программа Президиума РАН № 4.9 "Моделирование и экспериментальные исследования вулканических структур методами активной и пассивной сейсмологии".**

Руководитель – д.т.н. Глинский Б. М.

На основе анализа литературных данных создана геофизическая модель стратовулкана Эльбрус. Модель описывается восьмислойной плоскопараллельной средой с двумя эллиптическими включениями, соответствующими верхней магматической камере и нижнему материнскому очагу. Верхний слой представлен слоем с криволинейной границей.

$$\text{Слой II} - V_p = 2,85 \text{ км/сек}; V_s = 1,65 \text{ км/сек}; \rho = 2,4 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой I} - V_p = 3,1 \text{ км/сек}; V_s = 1,79 \text{ км/сек}; \rho = 2,66 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой I} - V_p = 3,2 \text{ км/сек}; V_s = 1,82 \text{ км/сек}; \rho = 2,7 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой II} - V_p = 5,9 \text{ км/сек}; V_s = 3,42 \text{ км/сек}; \rho = 2,85 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой III} - V_p = 6,22 \text{ км/сек}; V_s = 3,59 \text{ км/сек}; \rho = 2,62 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой IV} - V_p = 5,82 \text{ км/сек}; V_s = 3,37 \text{ км/сек}; \rho = 2,7 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой V} - V_p = 5,97 \text{ км/сек}; V_s = 3,45 \text{ км/сек}; \rho = 2,75 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой VI} - V_p = 6,43 \text{ км/сек}; V_s = 3,72 \text{ км/сек}; \rho = 2,78 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой VII} - V_p = 6,95 \text{ км/сек}; V_s = 4,03 \text{ км/сек}; \rho = 2,81 \text{ г/см}^3$$

$$\text{Слой VIII} - V_p = 8,1 \text{ км/сек}; V_s = 4,68 \text{ км/сек}; \rho = 2,85 \text{ г/см}^3$$

Создан инструментарий для численного моделирования распространения упругих волн в сложно построенных средах магматических вулканов при вибросейсмическом зондировании. В том числе разработан построитель моделей неоднородных упругих сред и комплекс параллельных программ для решения задачи численного моделирования распространения упругих волн в 3D и 2D средах на гибридном кластере.

работы системы виртуализации. ГРИД-среда активно используется для обработки данных экспериментов в области физики высоких энергий, осуществляемых в ИЯФ СО РАН как на собственных ускорителях, так и на Большом адронном коллайдере.

Развернуты работы по созданию виртуального кластера Академпарк – ССКЦ, основанного на Суперкомпьютерной сети ННЦ 10 Гбит/с. Кластер включает вычислительные ресурсы Академпарка и ССКЦ и создается для решения задач, возникающих в наукоемких предприятиях, использующих распределенные вычисления, главным образом, для обработки больших объемов данных (геофизические данные, медицинские базы данных, базы данных финансового сектора экономики и др.).

Совместно с Академпарком разработана программно-аппаратная конфигурация вычислительной среды, предназначенная для решения задач Big Data. В 2014 г. виртуальный кластер прошел апробацию на

Предложен параллельный алгоритм и создана программа численного моделирования пространства волновых полей в однородных 2D-средах с криволинейной свободой поверхностью. Использован метод отображений, включающий построение в физической области криволинейной сетки, согласованной с геометрией свободной поверхности, и дальнейший "перенос" задачи на "расчетную" область простой геометрической формы (прямоугольник), в которой задача может решаться уже известными методами. Для решения задачи в "расчетной" области используется комплексирование пошагового метода преобразований Лагерра по времени и конечно-разностного метода по пространственным переменным.

Проведены численные расчеты на многопроцессорной системе (в том числе с использованием Intel Xeon Phi) для различных форм свободной поверхности. Расчеты показали эффективность использования криволинейных сеток для моделирования волновых полей.

### **Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 130.**

Координатор – акад. Михайленко Б. Г.,

В период выполнения проекта оказывались вычислительные и консалтинговые услуги ЦКП ССКЦ СО РАН всем участникам МИП № 130. В интересах пользователей проведено расширение сервера с общей памятью (до 80 ядер Intel E7-4870, ОП – 1 Тбайт), расширена кластерная файловая система IBRIX для НКС-30Т до 79 Тбайт, установлена версия IBRIX 6.1 (вместо 5.6), закуплен сервер hp ProLiant DL380 G8, который будет использоваться для работы с NVIDIA Kepler K40. В 2014 г. закуплена академическая лицензия на ANSYS CFD (без лицензий HPC); коммерческая поддержка по этой лицензии заканчивается 14.12.2015. В январе 2014 г. установлен коммерческий пакет Gaussian g09 Rev D.01 w/LINDA. Для программирования на GPU Nvidia установлен CUDA Toolkit 6.5 и PGI Accelerator версии 14.9.

### **Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 39.**

Координатор в институте – д.т.н. Глинский Б. М.

Разработаны параллельный алгоритм и программы для решения задачи 3D численного моделирования распространения сейсмических волн в неоднородных упругих средах. Программа разработана с использованием технологий параллельного программирования для проведения расчетов на многопроцессорных вычислительных системах с гибридной архитектурой. Параллельная реализация численного алгоритма моделирования сейсмических полей ориентирована на использование гибридных кластеров на основе узлов с CPU и GPU. Для этого использовалась комбинация MPI (для организации взаимодействия между несколькими GPU) и CUDA и 3D декомпозиция расчетной области. Для организации расчета на GPU применялась технология CUDA. Каждая из подобластей рассчитывается независимо на выделенном GPU. С помощью тестовых примеров показано сравнение параллельных реализаций данного алгоритма на вычислительных узлах кластера. Результаты сравнения времени расчета двух реализаций алгоритма на кластере показали перспективность и эффективность использования графических процессоров для реализации сеточных алгоритмов численного моделирования.

Для сравнения программных реализаций использовался гибридный кластер НКС-30Т+GPU: 40 серверов SL390s G7, каждый из которых оснащен двумя 6-ядерными CPU Xeon X5670 (2,93 ГГц), 96 Гбайт ОЗУ, тремя картами NVIDIA Tesla M2090 на архитектуре Fermi (compute capability 2.0), у каждой по одному GPU с 512 ядрами и 6 Гбайт памяти GDDR5.

Результаты расчетов показывают возможность масштабируемости алгоритма на большое число ядер и его использования для решения задачи на распределенной вычислительной системе.

## Публикации

### Монографии, главы в монографиях

1. Kulikov I., Chernykh I., Snytnikov A., Protasov V., Tutukov A., Glinsky B. Num. modelling of astrophysical flow on hybrid architecture supercomputers / Parallel programming: Practical aspects, models and current limitations. Ed. by M. S. Tarkov. Ch. 4. Nova Science Publishers, 2014.

### Центральные российские издания (из списка ВАК)

1. Винс Д. В., Глинский Б. М., Родионов А. С. Исследование управляющих процессов в суперкомпьютерных системах на основе мультиагентного моделирования // Вестн. СибГУ-ТИ. 2014. № 4 (28). С. 35–44. (в базе РИНЦ).

2. Винс Д. В. Анализ эффективности системы управления потоком заданий для ЦКП в мультиагентной имитационной модели // Вест. НГУ. 2014. Т. 12, вып. 2. С.33–41. (в базе РИНЦ).

3. Сапетина А. Ф. Численное моделирование распространения сейсмических волн в сложно построенных средах на гибридном кластере // Проблемы прочности и пластичности. 2014. Т. 76, № 4. С. 288–296. (в базе РИНЦ).

### Зарубежные издания

1. Snytnikov V. N., Mischenko T. I., Snytnikov V. N., Chernykh I. G. Autocatalytic dehydrogenation of propane // Res. on Chem. Intermediates. 2014. Vol. 40, iss. 1. P. 345–356. (Impact Factor 0.88, в базах Scopus, Web of Science).

### Материалы международных конференций и совещаний

1. Chernykh G., Kulikov I. M., Glinskiy B. M. Development of algorithms and high performance computing software for modeling of the astrophysical objects evolution subject to the chemical processes // Abst. of the 3rd Workshop on numerical and observational astrophysics: Linking the Local Universe to the Early One Instituto de Astronomia y Fisica del Espacio, Buenos Aires (Argentina) 2014.

2. Глинский Б. М., Караваев Д. А., Куликов И. М., Кучин Н. В., Снытников Н.В. Масштабируемые вычисления с применением гибридного кластера // Сб. избр. докл. Международной конференции "Математические и информационные технологии" (MIT-2013), Сербия, Черногория, 5–14 сент 2014 г. С. 208–215. [Электрон. ресурс]. (<http://conf.nsc.ru/files/conferences/MIT-2013/224768/zbornik-2013.pdf>).

3. Куликов И. М., Черных И. Г., Глинский Б. М. Моделирование астрофизических процессов с учетом химической кинетики на гибридных суперЭВМ с ускорителями Intel Xeon Phi // Труды Междунар. науч. конф. "Параллельные вычислительные технологии" (ПАВТ'2014), Ростов-на-Дону, 31 марта – 4 апр. 2014 г. С. 118–130.

4. Титов П. А. Алгоритм и программа для моделирования 2D-волновых полей в областях с криволинейной свободной поверхностью // Материалы конф. "Научный сервис в сети Интернет – 2014", Новороссийск, Абрау Дюрсо, 21–26 сент. 2014 г. С. 446–455.

5. Глинский Б. М., Куликов И. М., Снытников А. В., Черных И. Г., Вшивков В. А. Содизайн параллельных численных методов в задачах физики плазмы и астрофизики // Труды Междунар. конф. "Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров". Новороссийск, 22–27 сент. 2014 г. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 339–343.

**Прочие издания**

1. Михайленко Б. Г., Глинский Б. М., Черных И. Г. Суперкомпьютерные технологии решения больших задач в Сибирском суперкомпьютерном центре // Суперкомпьютерные технологии математического моделирования / Под ред. В. И. Васильева. Якутск: Изд. дом СВФУ, 2014. С. 78–88.

2. Glinsky B. M., Marchenko M. A., Rodionov A. S., Karavaev D. A., Podkorytov D. I. Mappings of parallel algorithms on supercomputers with exaflops performance on the basis of simulation // Machine Learning and Data Analysis. Springer. 2014. V. 1, № 10. P. 1451–1465.

3. Глинский Б. М., Марченко М. А., Родионов А. С., Караваев Д. А., Подкорытов Д. И. Отображение параллельных алгоритмов на суперкомпьютеры экзафлопсной производительности на основе имитационного моделирования. Интеллектуализация обработки информации // Тез. докл. 10-й Междунар. конф., о-в Крит (Греция), 4–11 окт. 2014 г. М.: Торус Пресс, 2014. С. 82.

4. Chernykh I, Antonova M., Kulikov I. Reactors engineering with using of supercomputers // Abst. of the 7-th Tokyo conf. on advanced catalytic science and technology, Kyoto (Japan), June 1–6, 2014. P. 115.

5. Mikhailenko B. G., Glinskiy B. M., Kuchin N. V., Chernykh I. G. The Siberian Supercomputer center for collective use: current state and development trends // AMCA'14, Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Akademizdat, 2014. P. 67.

6. Demidov G. V., Martynov V. N., Titov P. A. Numerical simulation of wave propagation in media with curved free surface // Ibid. P. 33.

7. Сапетина А. Ф. Разработка алгоритмического и программного обеспечения для моделирования вулканических структур на гибридном кластере // Материалы 52-й Междунар. науч. студ. конф. "МНСК-2014", Новосибирск, 8–14 апр. Новосибирск: НГУ, 2014. С. 149.

8. Sapetina A. F. Development of algorithms and software for modeling volcanic structures on the hybrid cluster // Abst. of the Intern. conf. "Advanced mathematics, computations and applications – 2014", Novosibirsk, June 8–11, 2014. Novosibirsk: Akademizdat, 2014. P. 36.

**Сдано в печать**

1. Glinsky B. M., Kulikov I. M., Snytnikov A. V., Romanenko A. A., Chernykh I. G., Vshivkov V. A. Codesign of parallel numerical methods for plasma physics and astrophysics // Supercomputing frontiers and innovations. 2014.

**Участие в конференциях и совещаниях**

1. Международная научная конференция "Параллельные вычислительные технологии" (ПАВТ, 2014), Ростов-на-Дону, 31 марта – 4 апр. 2014 г. – 1 доклад (Черных И. Г., Глинский Б. М.).

2. The 7th Tokyo conference on advanced catalytic science and technology, Kyoto (Japan), June 1–6, 2014 – 1 доклад (Черных И. Г., Глинский Б. М.).

3. 3rd Workshop on numerical and observational astrophysics: Linking the local Universe to the Early One Instituto de Astronomia y Fisica del Espacio, Buenos Aires (Argentina), November, 2014 – 3 доклада (Черных И. Г., Глинский Б. М.), 1 пленарный (Черных И. Г.).

4. International supercomputing conference ISC'14, June 22–26, 2014, Leipzig (Germany) – 1 доклад пленарный (И. Г. Черных).

5. The International conference "Advanced mathematics, computations and applications", Novosibirsk, June 8–11, 2014 – 3 доклада (Глинский Б. М., Черных И. Г.; Титов П. А.; Сапетина А. Ф.).

6. Международная конференция "Научный сервис в сети Интернет, многообразие суперкомпьютерных миров", Абрау – Дюрсо, 22–27 сент. 2014 г. – 2 доклада (Глинский Б. М., Черных И. Г., Титов П. А.).

7. 10-я Междунар. конф., о-в Крит (Греция), 4–11 окт. 2014 г. – 1 доклад (Глинский Б. М., Родионов А. С., Марченко М. А. Караваев Д. А., Подкорытов Д. И.).

8. International conference "Mathematical modeling and high-performance computing in bioinformatics, biomedicine and biotechnology" (MM&HPC-2014), Новосибирск, 24–27 июня 2014 г. – 1 пленарный доклад (Кучин Н. В., Глинский Б. М. Черных И. Г.).

9. Национальный суперкомпьютерный форум – 2014 (НСКФ-2014), Переславль-Залесский, 25–27 нояб. 2014 г. – 1 доклад (Кучин Н. В., Глинский Б. М., Черных И. Г.)

10. Школа-конференция молодых ученых "Современные проблемы прикладной математики и информатики – 2014". Новосибирск, 8–13 июня 2014 г. – 1 доклад (Сапетина А. Ф.)

### Участие в оргкомитетах конференций

1. Глинский Б. М.:

– член программного и организационного комитетов Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", 8–11 июня 2014 г., Новосибирск;

– член программного комитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г.;

2. Черных И. Г.:

– член оргкомитета Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", 8–11 июня 2014 г., Новосибирск.

– зам. председателя программного комитета, член оргкомитета Международной конференции "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления в биоинформатике, биомедицине и биотехнологии", Новосибирск, 24–27 июня 2014 г.

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 1.

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 1.

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 3.

Монографий, глав в монографиях – 1.

Публикаций в центральных российских изданиях (из списка ВАК) – 3.

Публикаций в зарубежных изданиях – 1.

Публикаций в материалах международных конференций – 5.

Публикаций в прочих изданиях – 8.

Докладов на конференциях – 14, в том числе 3 пленарных.

Участников оргкомитетов конференций – 4.

### Кадровый состав

1. Глинский Б. М. зав. лаб.,

д.т.н.

2. Черных И. Г. н.с.

к.ф.-м.н.

3. Кучин Н. В. гл. спец. по СПО
4. Ломакин С. В. м.н.с.
5. Винс Д. В. м.н.с., 0.5 ст.
6. Макаров И. Н. ведущ. программист
7. Зернова Л. В. ведущ. программист, 0.75 ст.
8. Кононов А. А. инженер-электроник, 0.5 ст.
9. Сапетина А. Ф. инженер, 0.1 ст., аспирант
10. Титов П. А. аспирант

Черных И. Г., Ломакин С. В., Винс Д. В., Сапетина А. Ф., Титов П. А. – молодые научные сотрудники и аспиранты.

### **Педагогическая деятельность**

- Глинский Б. М. – профессор НГУ  
Черных И. Г. – зав. ЛВВС Интел-НГУ

### **Руководство аспирантами**

- Титов П. А. – 1-й год, ИВМиМГ СО РАН, руководитель Глинский Б. М.  
Сапетина А. Ф. – 1-й год, ИВМиМГ СО РАН, руководитель Глинский Б. М.

### **Руководство студентами**

- Сапетина А. Ф. – 2-й курс магистратуры ММФ НГУ, руководитель Глинский Б. М.

### **Защиты дипломов**

- Сапетина А. Ф. – магистр ММФ НГУ, руководитель – Глинский Б. М.

### **Премии и награды**

1. Титов П. А. – 1-я премия за работу "Алгоритм и программа моделирования распространения волн в однородных средах с криволинейной свободной поверхностью" на Конференции молодых ученых ИВМиМГ СО РАН 7–9 апреля 2014 г., секция "Математическое моделирование. Математические методы исследования динамики атмосферы и океана. Математическая геофизика. Обратные задачи", Новосибирск (научный руководитель Глинский Б. М.).

2. Сапетина А. Ф. – 3-я премия Лаврентьевского конкурса студенческих и аспирантских работ по математике и механике 2014 г. за цикл работ "Моделирование распространения сейсмических волн в сложно построенных средах, исследование масштабируемости алгоритма" (научный руководитель Глинский Б. М.).

## СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Таблица 1

Краткая информация о кадровом составе института,  
его финансовой и научно-организационной деятельности в 2014 г. по сравнению с 2013 г.

№	Показатели	На 31.12.13 г.	На 31.12.14 г.
1	Общее кол-во штатных работников	301	298
2	Общее кол-во штатных научных работников	167	166
3	Общее кол-во штатных молодых научных работников (до 35 лет)	46	47
4	Общее кол-во аспирантов (очников/заочников)	29 (27/2)	27 (25/2)
4.1.	Кол-во докторантов	1	
5	Общее число вышедших публикаций (см. табл.2), в том числе	357	480
5.1.	монографий	7	5
5.2.	в центральных и зарубежных изданиях	193	308
5.3.	материалы международных конференций	157	167
6	Общее количество охранных документов (патентов и т. п.) полученных институтом (см. табл.2), в том числе	7	5
6.1.	патентов	0	-
6.2.	программ зарегистрировано	7	5
6.3.	баз данных	0	

В 2014 г. проводились работы по 9 базовым проектам фундаментальных научных исследований; 18 интеграционным проектам СО РАН (из них в 6 институт выступает головной организацией); 22 проектам по программам Президиума РАН и ОМН РАН; 3 проектам по программам Президиума РАН по стратегическим направлениям развития науки; 43 инициативным проектам РФФИ (из них 10 молодежные); 2 проектам РНФ.