



# **О научной школе по вычислительной и прикладной математике СВФУ**

**Васильев В.И.  
Северо-Восточный федеральный университет**

**Конференция  
"Вычислительная математика и приложения"**

**Организаторы:  
Математический центр НТУ "Сириус",  
Институт вычислительной математики РАН**

**1-5 августа 2022 г.  
Сочи, гостиница "Омега Сириус"**

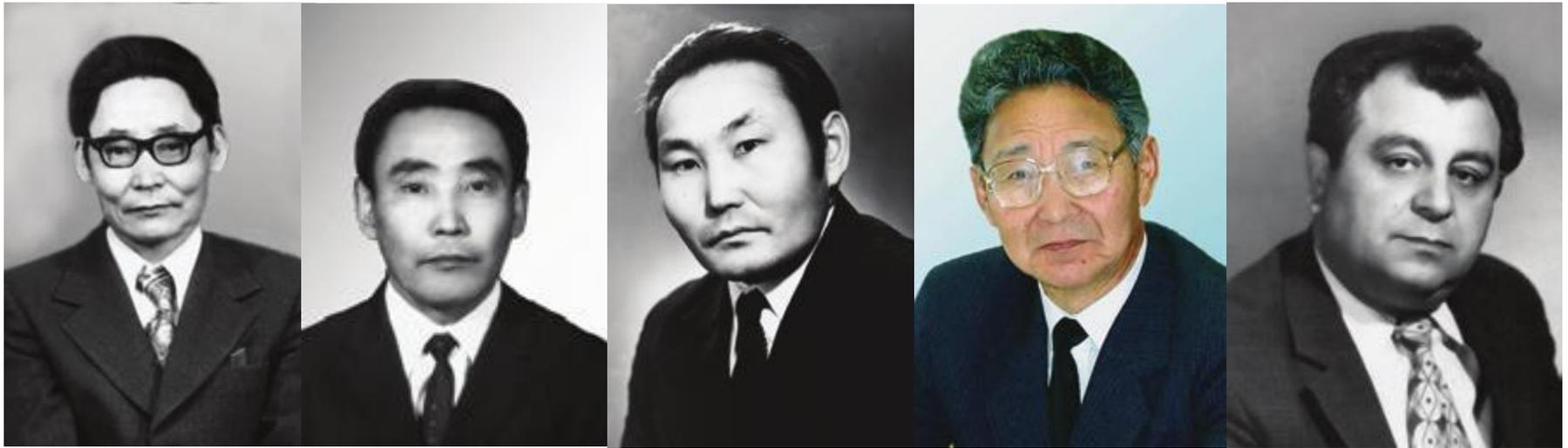
## Высшее математическое образование в Якутии

Постановлением Совета Министров СССР от 23 августа 1956 г. на базе ЯГПИ образован Якутский государственный университет. Это был 37-й университет в СССР, второй – в автономных республиках. По просьбе ректора нашего университета, д.филос. н. А.Е.Мординова ректором ЛГУ математиком и философом А.Д.Александровым к нам было направлено 8 выпускников математико-механического факультета ЛГУ имени А.А.Жданова. На улучшение преподавания математических дисциплин существенное влияние оказал А.П.Шапиро, приехавший из Ленинграда после окончания аспирантуры и защитивший диссертацию кандидата физико-математических наук в 1958 г. Руководство университета приняло решение посылать на старшие курсы центральных университетов наиболее способных студентов и молодых преподавателей с тем, чтобы они в дальнейшем учились в аспирантуре.



## Становление математической школы

Первый к.ф.-м.н. из выпускников ЯГУ Е.Т.Софронов защитил в ЛГУ диссертацию по специальности дифференциальные уравнения в 1965 г. Асекритов У.М. (ЯПИ, 1966) по геометрии защитил кандидатскую диссертацию. Первые кандидатские диссертации по вычислительной математике защитили Н.М.Охлопков (ТГУ, 1968 г.) и Павлов А.Р. (ВЦ РАН, 1972). В декабре 1971 г. И.Ш.Алиев был избран заведующим кафедрой алгебры и геометрии. Им 1972 году создан ФМШ при ЯГУ, выпускники которого поступали только в ЯГУ.



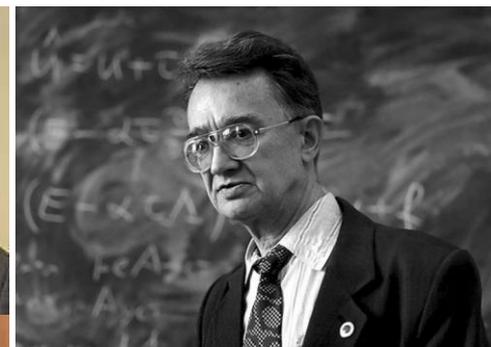
В становлении и развитии математического образования, подготовке высококвалифицированных кадров внесли существенный вклад ЛГУ (2 д.ф.-м.н., около 20 к.ф.-м.н., больше всех Л.О.Петросян), НГУ и институты СО РАН (4 д.ф.-м.н., десятки к.ф.-м.н.), МГУ, ТГУ и др. В 1977 годы физико-математический факультет ЯГУ разделился на математический и физический факультеты (И.Ш.Алиев). В 1982 г. Н.М.Охлопковым открыта кафедра прикладной математики.

## Профессоры кафедры прикладной математики



В 1993 году был создан диссертационный совет по защите кандидатских диссертаций по специальностям 05.13.18 Теоретические основы математического моделирования, численные методы и комплексы программ (физ.-мат. науки); 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела (физ.-мат. и технические науки). До 2000 г. защищены 17 диссертаций соискателями и аспирантами вузов и институтов РАН Якутии, Хабаровска и Барнаула. С 2003 года функционирует диссертационный совет по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В 1997 г. ЯГУ, ИММ РАН и ВЦ СО РАН выиграли грант ФЦП «Интеграция» на проведение «XX Всероссийской школы-семинара по математическому моделированию». Научное руководство проектом было осуществлено академиком А.А.Самарским.



## Научные руководители



Эфендиев Ялчин,  
Руководитель Мегагранта



Вабищевич Петр Николаевич



Васильев Василий Иванович

Профессора Васильев В.И. и Вабищевич П.Н. собрали коллектив из числа перспективной молодежи научный коллектив с целью создать якутскую школу по математическому моделированию. Профессора Ялчин Эфендиев — директор Института научных вычислений TA&MU (Техас, США) и Петр Вабищевич — зав. лабораторией ИБРАЭ РАН руководят молодыми научными сотрудниками двух научных лабораторий кафедры.

# Лаборатории



Международная научно-исследовательская лаборатория  
«Многомасштабное математическое моделирование и компьютерные вычисления»

<http://multiscalemr.ru/>

Заведующий лабораторией, к.ф.-м.н.  
Григорьев Александр Виссарионович



Молодежная лаборатория  
«Вычислительные технологии моделирования многофизических и многомасштабных процессов криолитозоны»

Заведующий лабораторией, к.ф.-м.н.  
Степанов Сергей Павлович

## Показатели коллектива

Наименование показателя	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Статьи</b>						
Web of Science, Scopus	27	18	43	29	35	20
Доклады на Международных конференциях	50	75	100	22	39	17
Зарегистрированные программы на ЭВМ	3	4	6	3	4	-
Монографии и учебные пособия	3	2	4	-	2	-
<b>Гранты</b>						
Мегагрант Правительства РФ № 14.Y26.31.0013 под руководством профессора TA&MU Ялчина Эфендиева	3 г.+продление на 2 г.					
Грант на создание молодежной лаборатории в рамках НОЦ мирового уровня «Север: территория устойчивого развития»	-	-	-	-	1	
Российский научный фонд	3	2	4	3	1	-
Российский фонд фундаментальных исследований	2	2	10	3	1	-
Грант Президента РФ	1	-	-	1	-	-
Основные исполнители гранта РФ проф. Ю.М.Лаевского	3	2	2	-	-	-
Стипендия Президента РФ	3	-	1	1	-	-
Действительный член Американского математического общества (Fellow AMS)	-	-	1	-	-	-

Участники	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Грант РФФИ «Аспиранты»			5		1	
Доктора физико-математических наук и phd	6	6	6	6	4	3
Кандидаты физико-математических наук	10	10	11	11	11	7
Аспиранты	9	10	11	11	9	4
Магистранты	5	5	5	5	6	6
Защита диссертаций на соискание к.ф.-м.н.	1	2	2	1	1	1+2
Постдокторантура в ведущих университетах мира	2	2	1	1	-	-
Стажировки в ведущих университетах мира	6	9	9	-	-	-
Организованы Международные конференции	1	2	3	2	2	1
Государственная Премия РС(Я) в области науки и техники	-	-	3	-	-	-
Орден Дружбы	-	-	1	-	-	-
Адъюнкт-профессор (Университет Хецзе, КНР)	-	-	1	-	-	-
Премия профессорского собрания РФ «Профессор года-2019»	-	-	1	-	-	-
Нагрудный знак МОН РФ «Молодой ученый»	-	-	-	-	-	1
Медаль МОН РФ «За безупречный труд и отличие III степени»	-	-	-	-	-	1
Почетный профессор СВФУ	-	-	1	-	-	-
Действительный член Общества по промышленной и прикладной математике (Fellow SIAM)	-	-	-	1	-	-

# International conference "Multiscale methods and Large-scale Scientific Computing", СВФУ, 30.07-04.08.2017





# Многомасштабные и высокопроизводительные вычисления для мультифизических задач, СВФУ, 8-10.08.2018



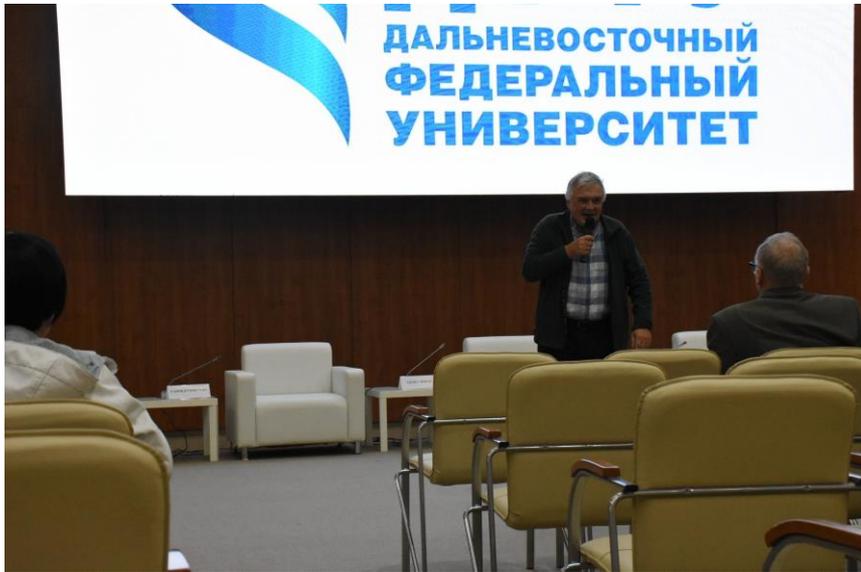


# II Международная конференция «Многомасштабные методы и высокопроизводительные научные вычисления», ИВМ РАН, 15-17.08.2018



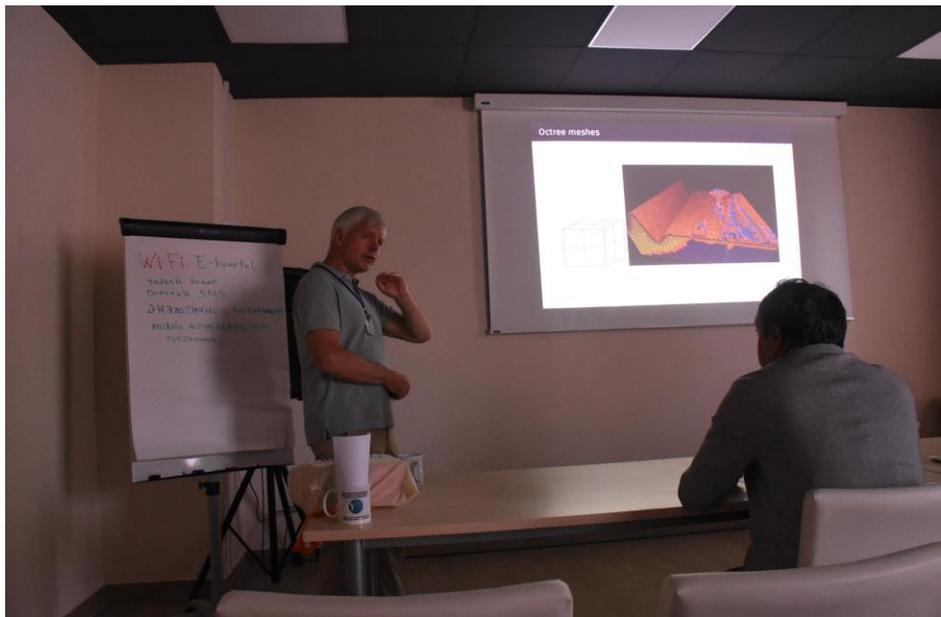
# III Международная конференция «Многомасштабные методы и высокопроизводительные научные вычисления», ДВФУ, 7-11.10.2019



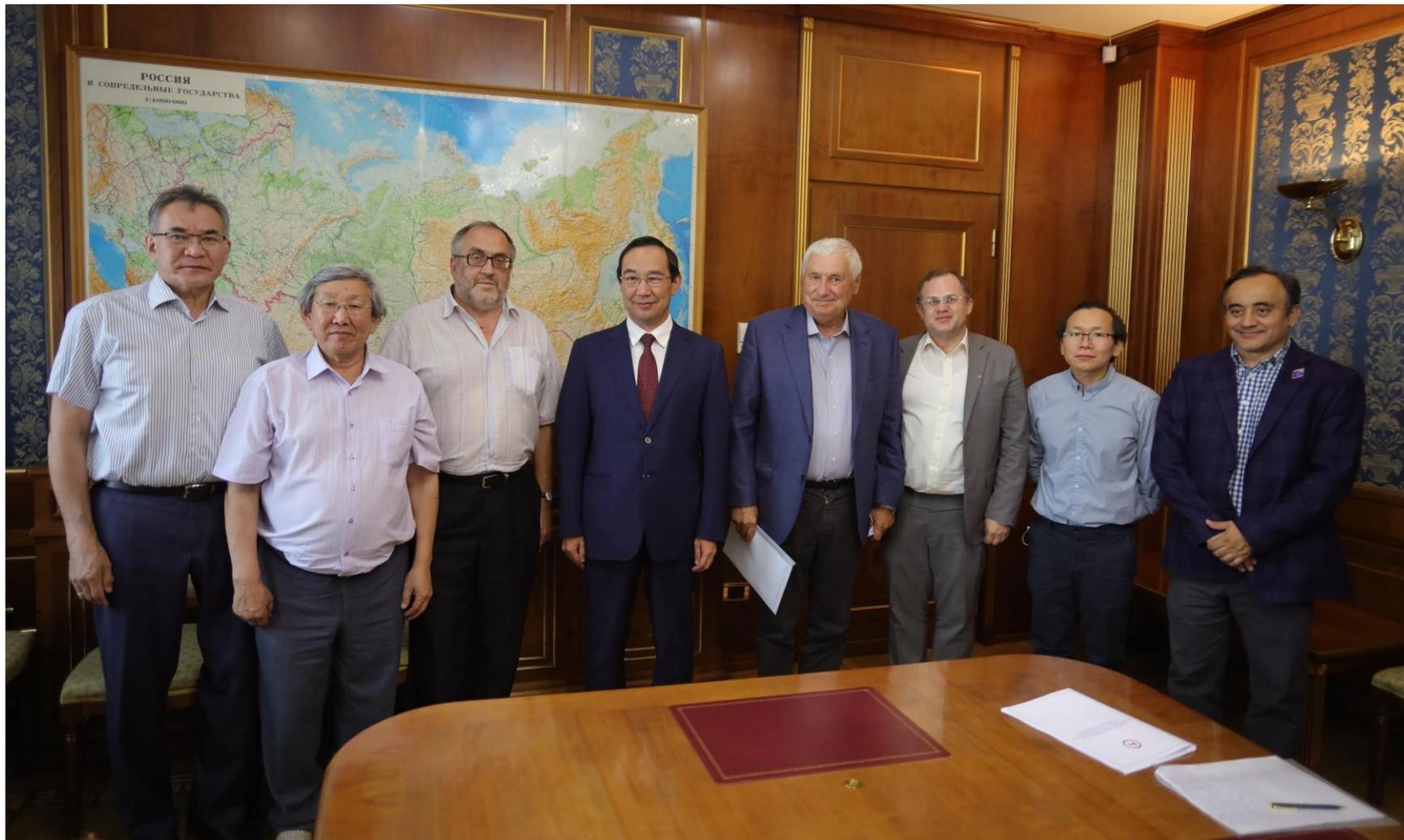


# IV Международная конференция «Многомасштабные методы и высокопроизводительные научные вычисления», Сочи, 8-13.9, 2019





# Международная конференция «Математическое моделирование, обратные задачи и большие данные», СВФУ, 18-25.7.2021





# I Суперкомпьютерные технологии математического моделирования, СВФУ, 28-30.11.2011 г.



## II Суперкомпьютерные технологии математического моделирования, СВФУ, 8-11.6.2013 г.





# III СКТеММ'16, 28-30 июня, МИ РАН им. В.А.Стеклова, Москва

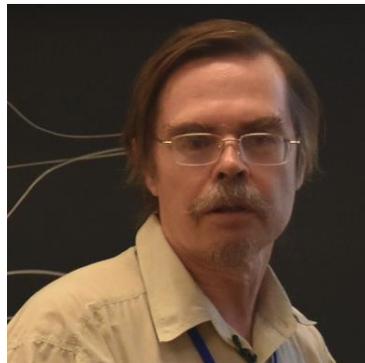


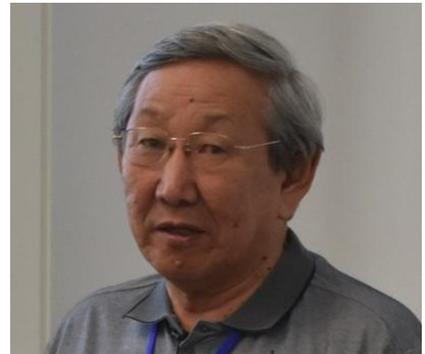
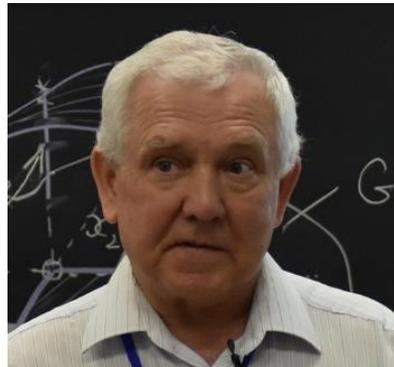
# IV SKTeMM'19, 19-21.2019, МИ РАН им. В.А.Стеклова, Москва



# V SKTeMM'22, 27-30.6.2022, МИ РАН им. В.А.Стеклова, Москва









## **Связи с ведущими российскими математическими школами**

- Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
- Санкт-Петербургского государственного университета
- Московского государственного технического университет им. Н.Э.Баумана
- Московского физико-технического университета
- Дальневосточного федерального университета
- Южного федерального университета
- Северо-Кавказского федерального университета
- Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- Математического института РАН им. В.А.Стеклова
- Института прикладной математики РАН им. М.В.Келдыша
- Института проблем механики РАН им. А.Ю.Ишлинского
- Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
- Института прикладной механики РАН им. И.Ф.Образцова
- Института системного программирования РАН им. В.П.Иванникова
- Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
- Института математики им. С.Л.Соболева СО РАН

## Международные научные связи

- Техасским агротехническим университетом (TA&MU, Техас, США),
- Китайским университетом Гонконга (СУНК (Гонконг),
- Институтом индустриальной математики (Fraunhofer ITWM, Кайзерслаутерн, Германия),
- Сеульским национальным университетом (SNU, Республика Корея)
- Сяньтанским университетом, Университетом Хецзе (КНР).





## Награды и гранты

Госпремия РС(Я) по науке и технике для молодых ученых:



Васильева М.



Антонов М.



Колесов А.



Сивцев П.



Степанов С.

Госпремия ГС РС(Я) им. В.П. Ларионова по науке и технике:



Спиридонов Д.



Тырылгин А.

Орден Дружбы  
Медаль МОН РФ  
«За безупречный труд и  
Отличие III степени»



Васильев В.И.

Нагрудный знак МОН РФ «Молодой ученый»



Степанов С.

Васильев В.И., Тырылгин А. – проведение фундаментальных научных исследований отдельными научными группами РНФ



Васильева М. - отдельные молодежные научные группы РНФ

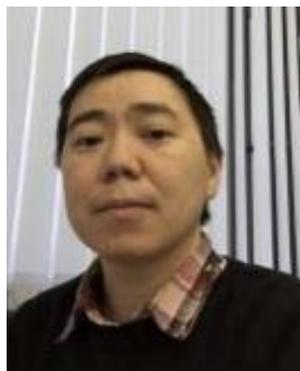


Конкурс молодых исследователей РНФ:

Григорьев А.



Васильев А.



Степанов С.



Спиридонов Д.





**Почетный профессор СВФУ,  
Действительный член AMS,  
Действительный член SIAM  
Ялчин Эфендиев**



**Грант Президента РФ:**

**Васильева М.**

**Сивцев П.**

**Стипендия Президента РФ:**



**Васильев А.**

**Степанов С.**

**Никифоров Дь.**

**Спирidonов Д.**

**Тырылгин А.**

**Алексеев В.**

Грант Россия – Вьетнам РФФИ:



Григорьев А.

Грант «Аспирант» РФФИ:



Спиридонов Д.



Тырылгин А.



Алексеев В.



Григорьев В.



Калачикова У.



Иванов И.

Грант Главы РС(Я):



Григорьев В.

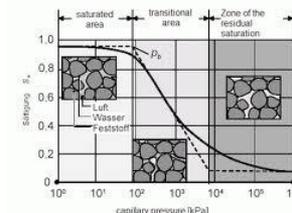
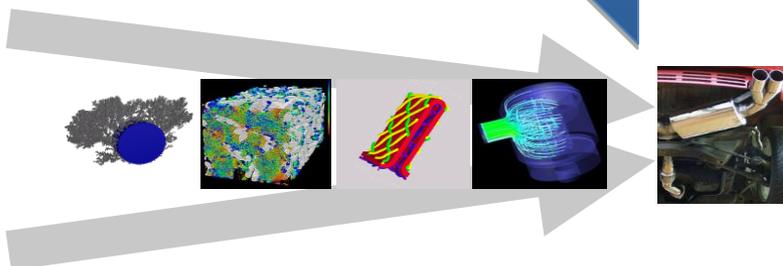
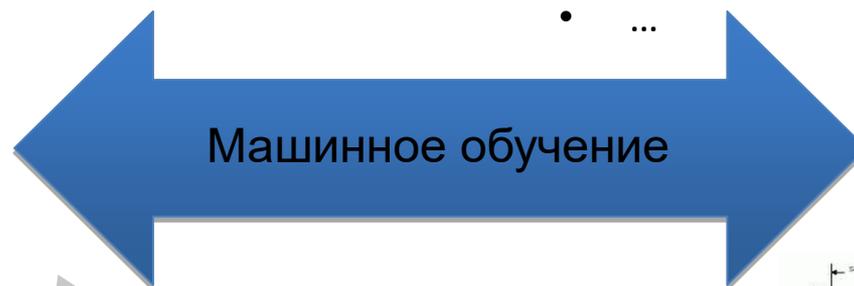
# Многомасштабность и мультифизика

## Многомасштабные методы

- Гомогенизация
- Численное усреднение
- Многомасштабные методы
- ...

## Мультифизические процессы

- Схемы расщепления
- Расщепление по пространству-времени
- Нелинейные решатели
- ...



Одним из аспектов нашей лаборатории, который делает ее "уникальной", является фокусировка внимания на фундаментальных аспектах, программном обеспечении и приложениях

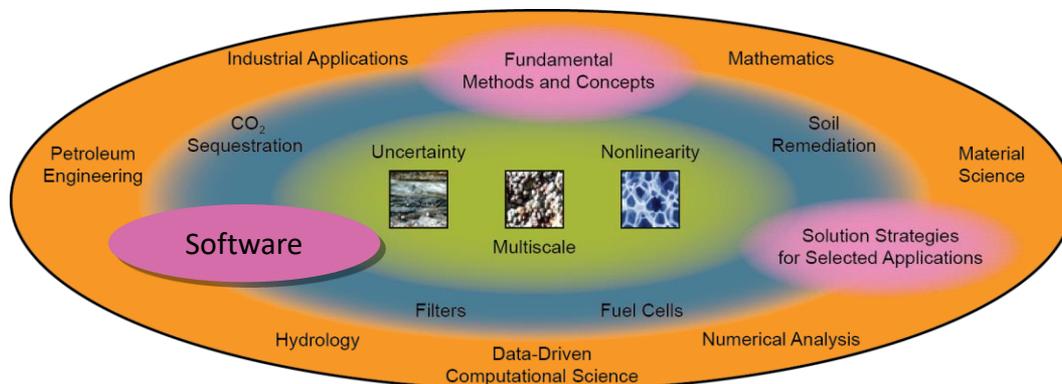
# Фундаментальные проекты

## Часть 1

- *Понижение порядка модели*
- *Анализ и передовые дискретизации*
- *Схемы расщепления для мультифизики*
- *Физико-обоснованное машинное обучение*

## Часть 2

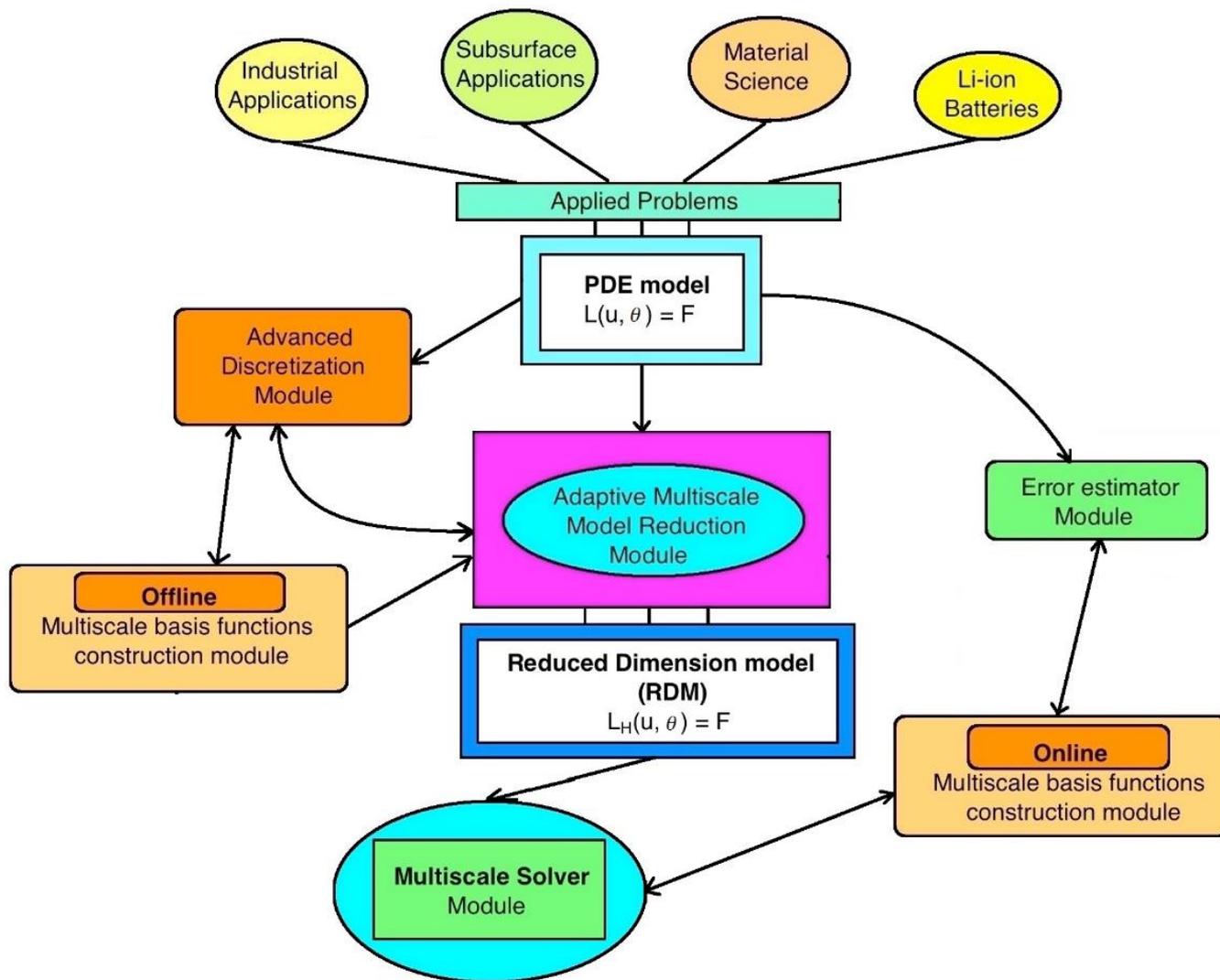
- *Механика и течения в трещиновато-пористых средах*
- *Моделирование процессов Арктической тематики*
- *Задачи тепло-массопереноса в криолитозоне*



## Часть 3

- *Параллельные решатели*
- *Инструментарий для высокопроизводительных вычислений*
- *Новые средства с использованием методов машинного обучения (искусственного интеллекта)*

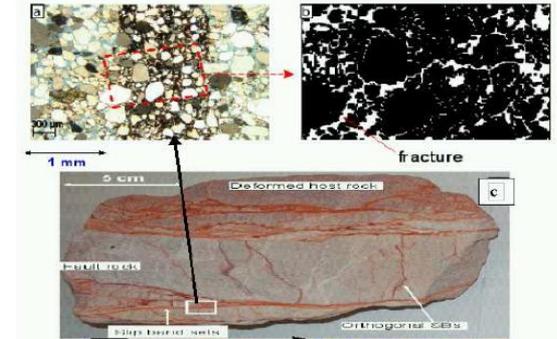
# Интегрированное ПО



# Многомасштабные методы для пористых сред

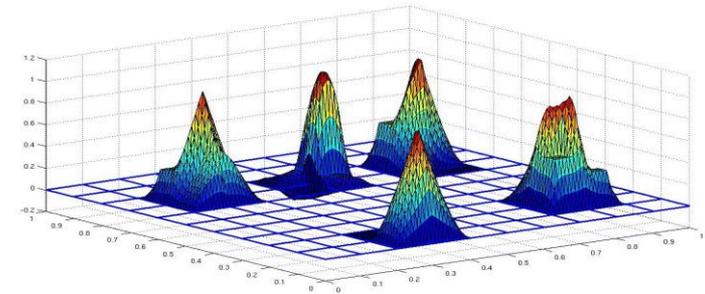
## Апскэйлинг и гомогенизация

- Апскэйлинг микро-пористой среды
- Многофазные течения и транспорт (апскэйлинг)
- Численная гомогенизация



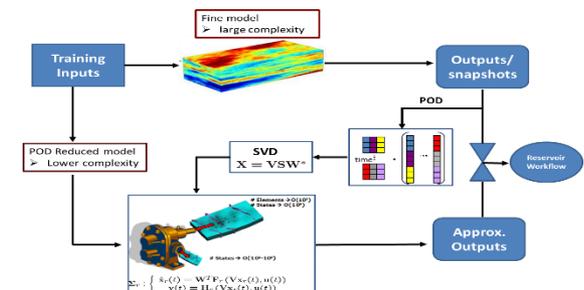
## Многомасштабные методы

- Многомасштабность для течений в пористой среде
- Многомасштабные методы для геоячеечных течений в трещиноватых средах
- Приложения



## Методы декомпозиции для мультифизики

- Схемы расщепления
- Приложения



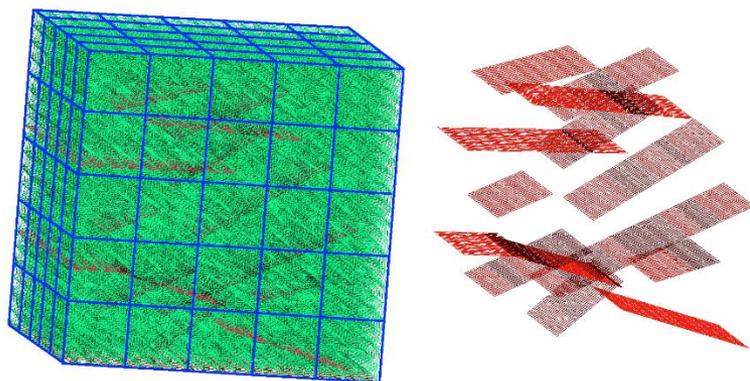
# Многомасштабное моделирование ненасыщенной фильтрации



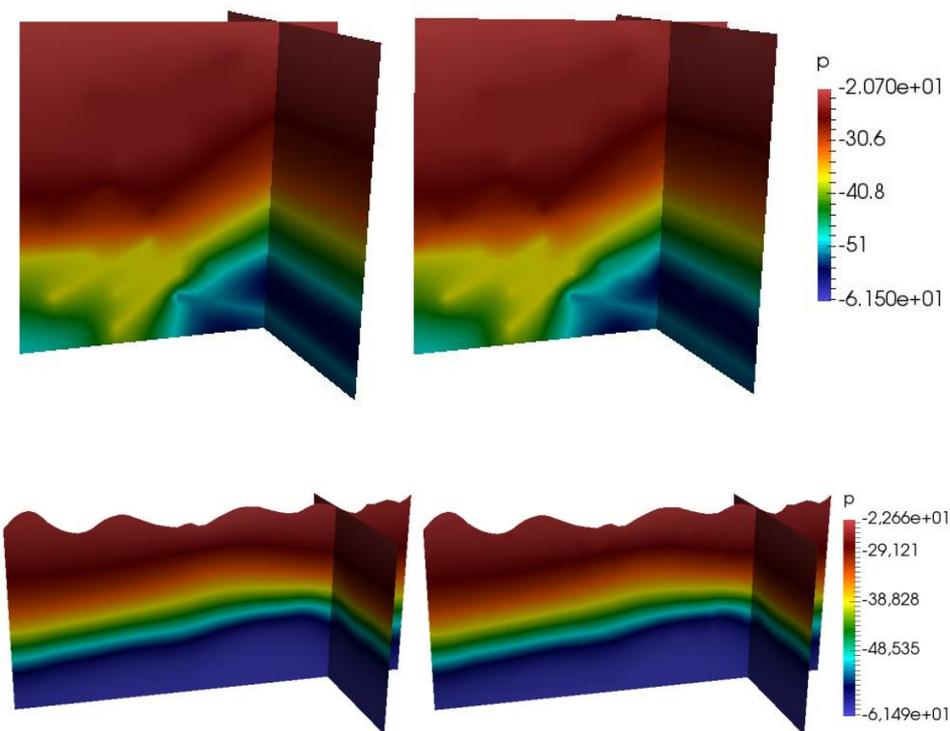
Эфендиев Ялчин



Спиридонов Денис



- Модель мультиконтинуума для ненасыщенной фильтрации
- 3D геометрия с трещинами
- Неоднородная геометрия с сильными контрастами
- Приложения в инженерии, добыче нефти и газа, подземной гидрологии
- Применение процедуры понижения порядка модели к снижению размерности системы

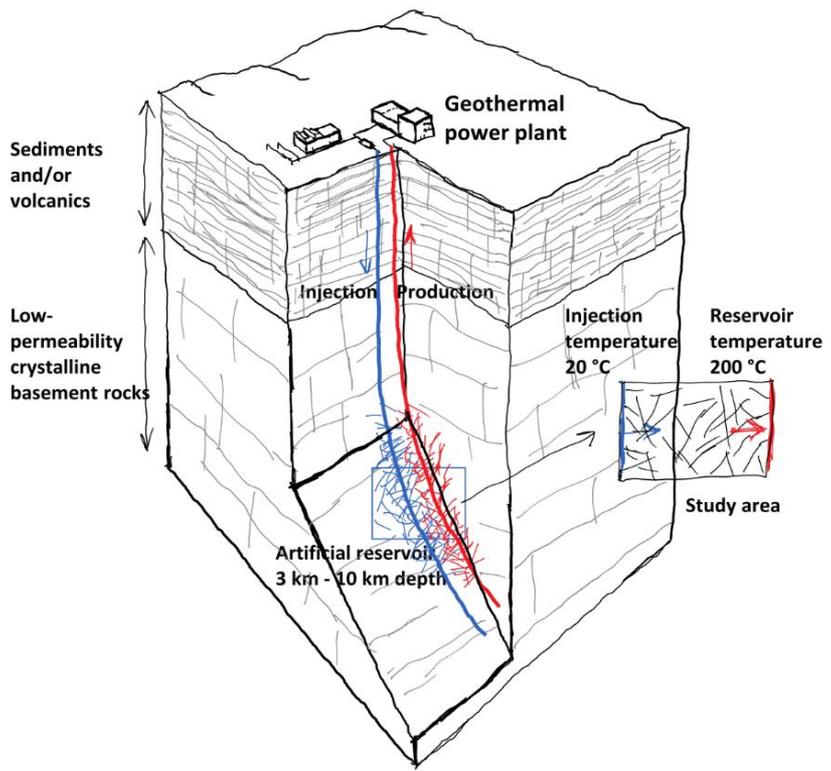


- Решение задачи на грубой сетке
- на основе GMsFEM метода
- Построение завязанных
- многомасштабных базисных функций
- для задач мультиконтинуума
- Моделирование задач в областях с неровными поверхностями
- Вариативность базисных функций
- для каждого типа геометрии

*Прогноз влагонасыщенности почвы во времени в зависимости от состава грунта, рельефа и атмосферных условий*

*Эффективные расчеты с использованием многомасштабных методов с возможностью прогнозирования в реальном времени*

# Многомасштабная поромеханика в мультиконтинуумных средах

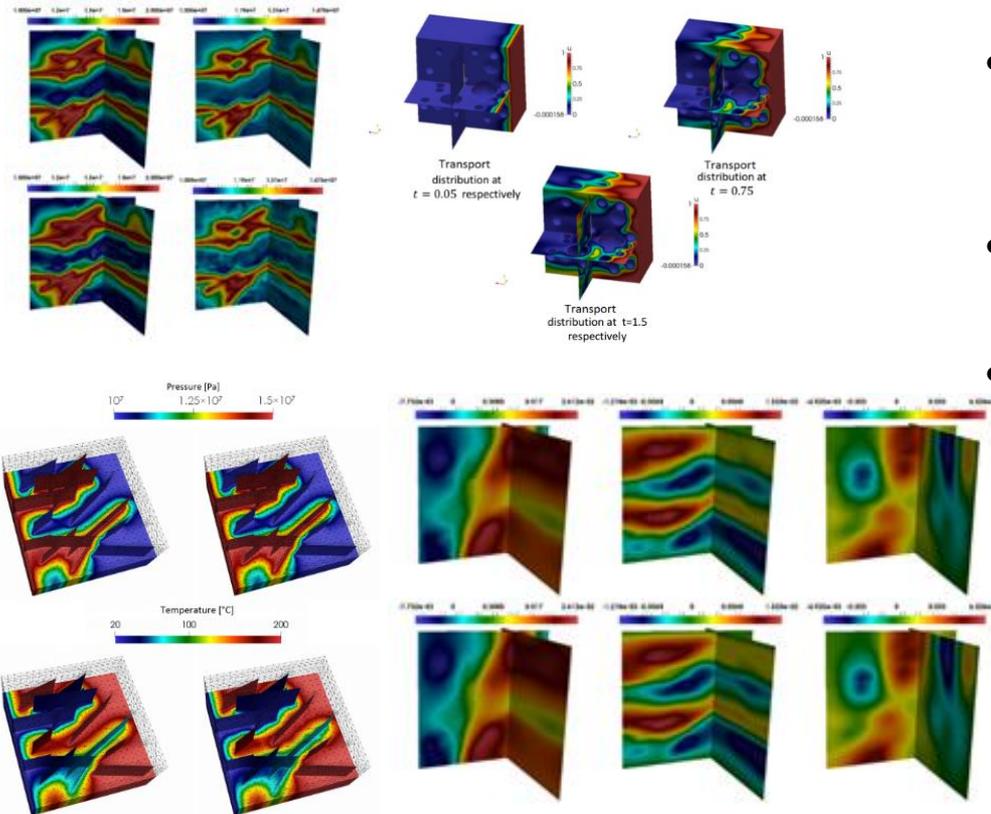


Эфендиев Ялчин



Васильева Мария

- Многомасштабное моделирование задач фильтрации
- Многомасштабная модель расширенных геотермальных систем
- Многомасштабное моделирование задач пороэластичности
- Многомасштабное моделирование процессов течения и переноса
- Моделирование в неоднородных трещиновато-пористых средах
- Понижение порядка модели для задач переноса тепла



- Обобщенный многомасштабный метод для задач пороупругости
- Смешанный GMsFEM для задач течения и переноса
- Нелокальные мультисконтинуальные техники апскейлинга для задач фильтрации

Мультифизичное моделирование неоднородных грунтов с многофазными течениями

Высокоточные модели прогнозирования с учетом процессов деформаций, течения, температур и т.д.

# Моделирование реактивных течений в микро-масштабе



Григорьев В.

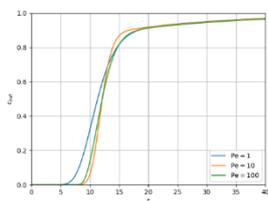


Илиев О.

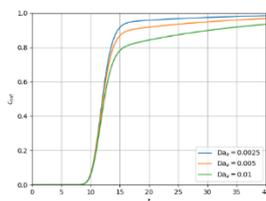


Вабищевич П.Н.

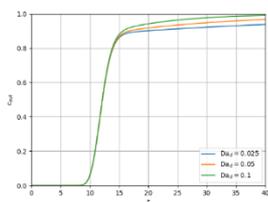
- Мультифизичная модель реактивного течения на микро-масштабе
- Предсказание эффективности и срока эксплуатации водных фильтров
- Вычислительная идентификация скоростей на поверхности реакции
- Использование детерминистических, стохастических, эвристических и статистических методов идентификации



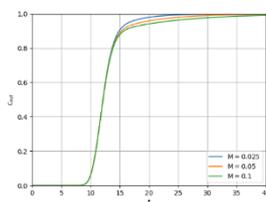
a



b

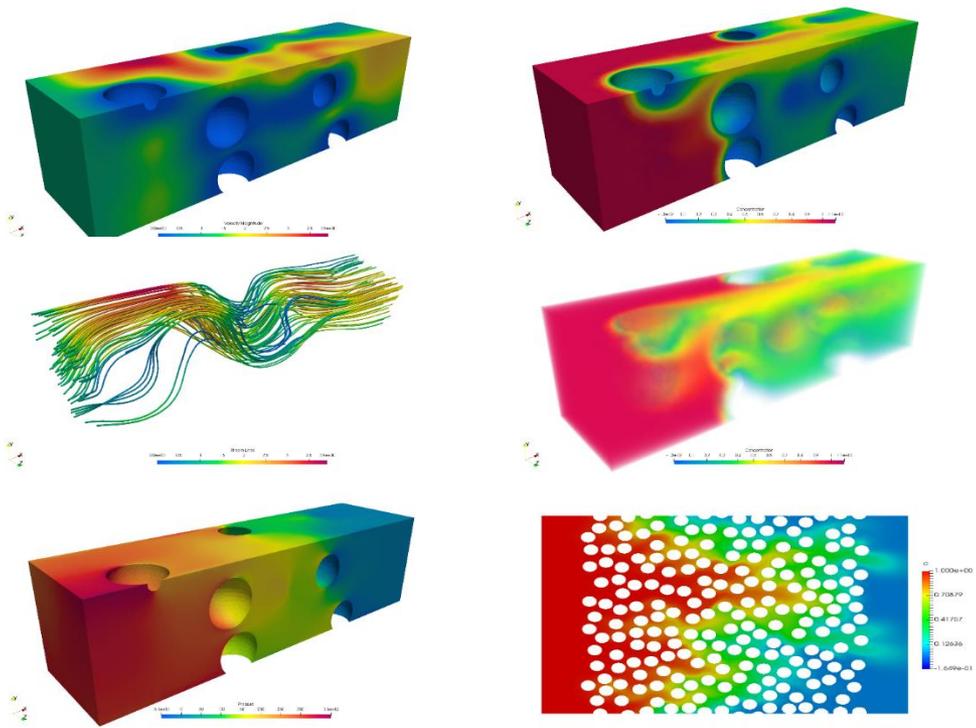


c



d

Outlet concentration: a — dependence from  $Pe$ , b — dependence from  $Da_d$ , c — dependence from  $Da_d$ , d — dependence from  $M$

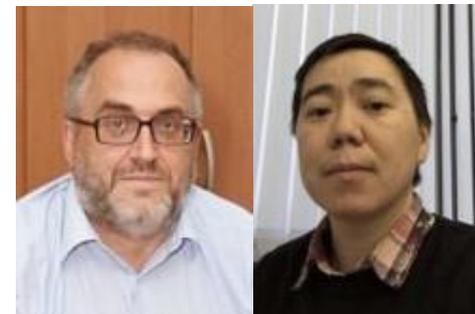


- Применяются МКЭ по пространству и схема Кранка-Николсона по времени
- Исследовано влияние «шума» на данные измерений
- Статистический подход основан на соболевских квазислучайных последовательностях
- Стохастический подход реализован на основе Марковских цепей Монте-Карло
- Эвристический подход реализующий алгоритм искусственной пчелиной колонии

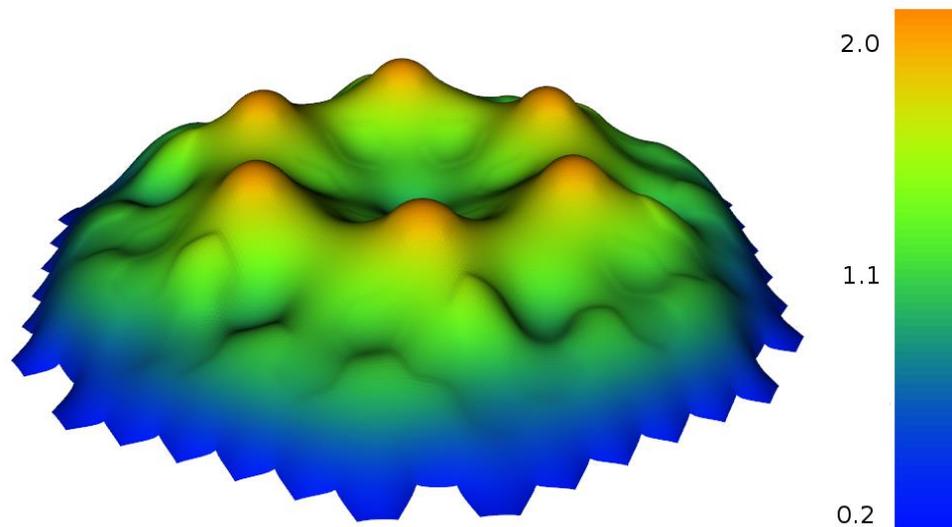
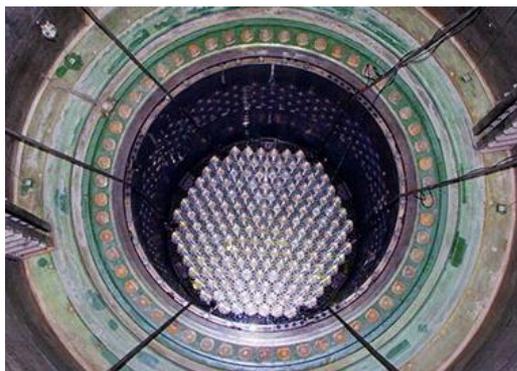
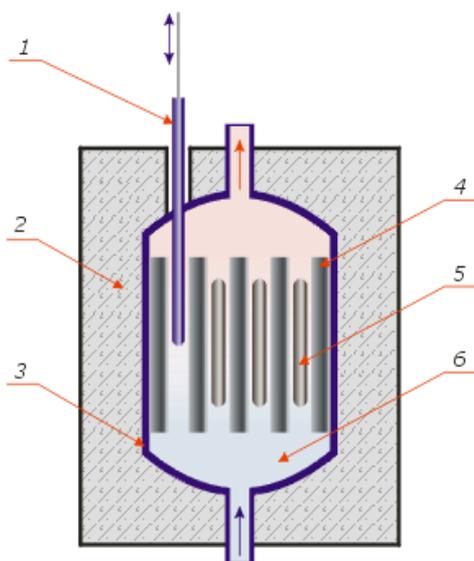
*Расчет конфигураций фильтров на основе моделирования реактивных течений*  
Оптимизация фильтров на основе передовых вычислительных алгоритмов

# Моделирование нейтронного потока в активной зоне реактора

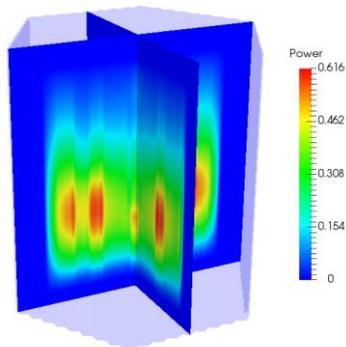
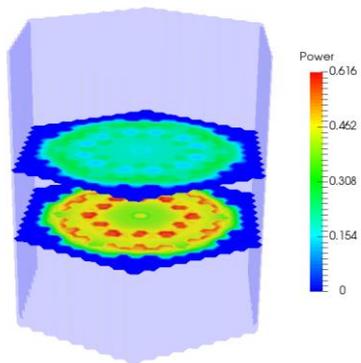
- Уравнение переноса нейтронов
- Мультигрупповое приближение
- 2D и 3D геометрии активных зон
- Спектральные свойства динамических процессов
- Численное моделирование переноса нейтронов



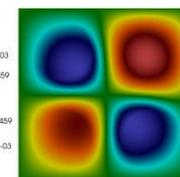
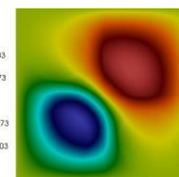
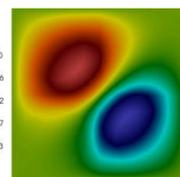
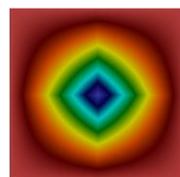
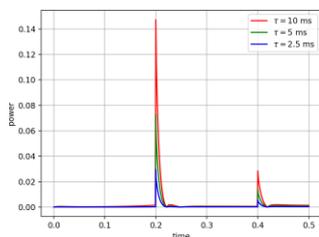
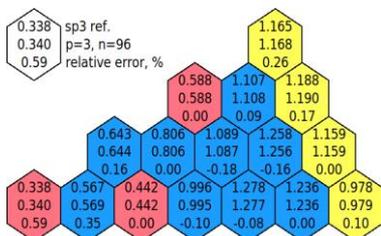
Вабищевич П.Н. Васильев А.



Плотность нейтронного потока

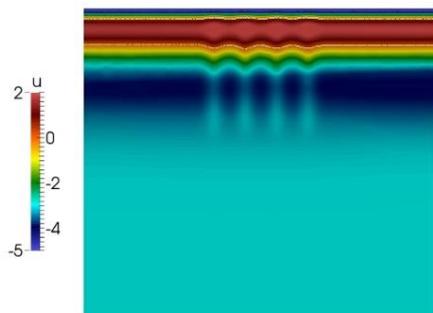
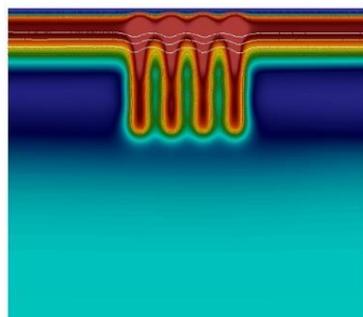
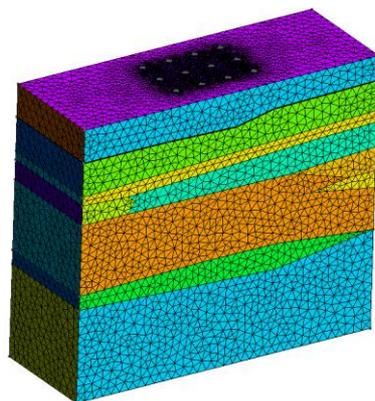
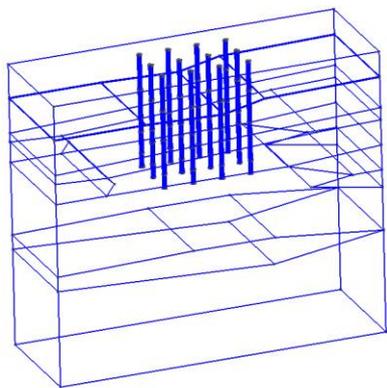


- Метод Конечных элементов хорошо подходит для моделирования сложных геометрий
- Диффузионное и SP3 приближение уравнений переноса нейтронов
- Понижение порядка модели с использованием многомасштабного метода



*Прогноз критического состояния ядерного реактора  
Апробация моделей совместно с сотрудниками Института безопасного  
развития атомной энергетики для построения точной модели*

# Моделирование потока тепла в криолитозоне



Степанов С.



Васильева М.

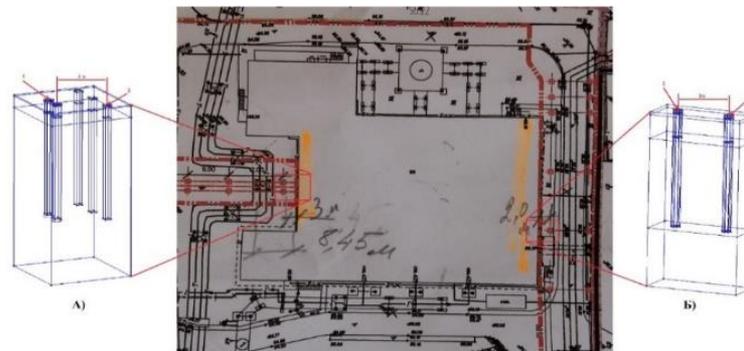


Васильев В.И.



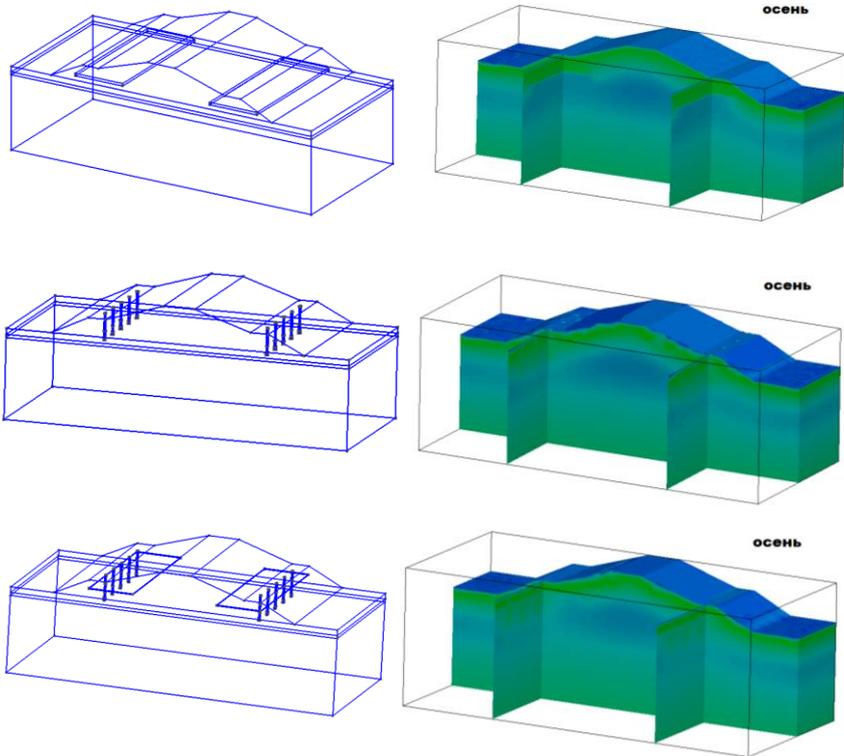
Алексеев В.

- Прогноз распределения температуры в области свайных полей
- Мультифизичная модель учета теплового режима грунта и свайных полей
- Сложная 3D геометрия



Совместная работа с АО «ЯкутПНИИС»

## Моделирование потока тепла в криолитозоне



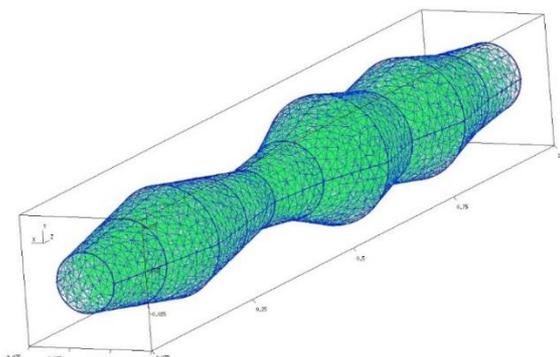
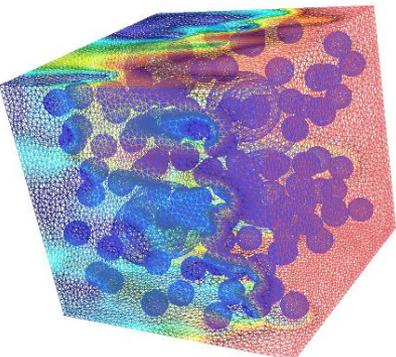
*Были рассчитаны распределения температур насыпи, для строительства Амуро-Якутской магистрали железной дороги (совместно с ИМЗ СО РАН)*

# Многомасштабное моделирование течения и переноса

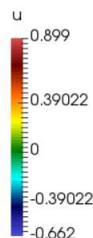
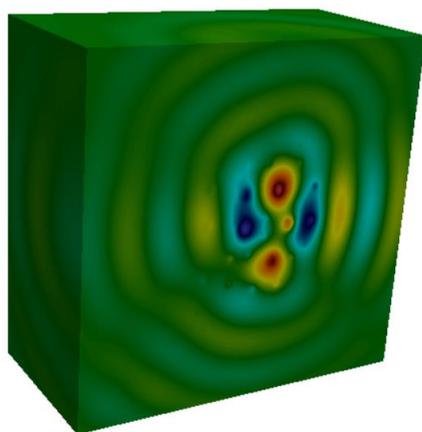


Эфендиев Ялчин    Алексеев В.    Калачикова У.    Васильева М.

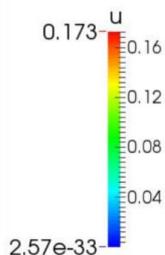
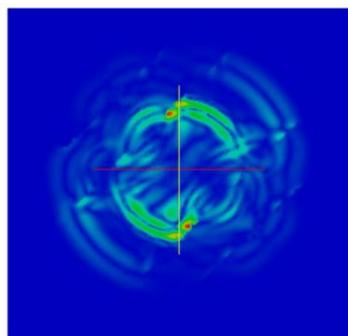
- Комплексная 3D геометрия (1) в тонких областях
- (2) перфорированных областях
- Приложения в добыче нефти и газа, теплообменниках, геотермальных месторождениях
- Различные типы неоднородных свойств
- Использование многомасштабных методов для быстрых и точных вычислений
- Экономия оперативной памяти в расчетах



# Моделирование распространения волн в неоднородных средах



- Волновые процессы: распространение, рассеяние
- Сложные неоднородные среды (перфорированные или с трещинами)
- Численная гомогенизация или многомасштабные методы для
- понижения вычислительной сложности задач
- Приложения в сейсмике, акустике газов и жидкостей, упругие волны в твердых телах, электромагнитные волны.



*Эффективный расчет распространения волн в неоднородных грунтах*

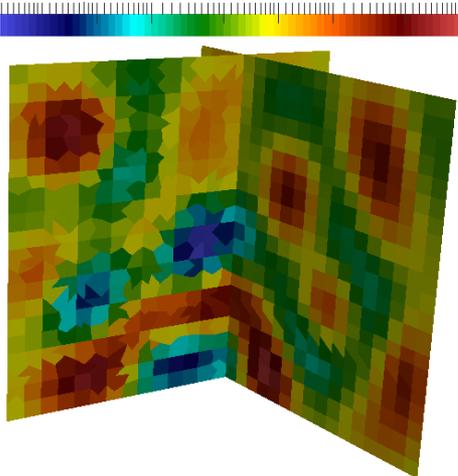
*на основе наших методов вычислений и программного кода*

Исследования могут быть задействованы в сейсморазведке,

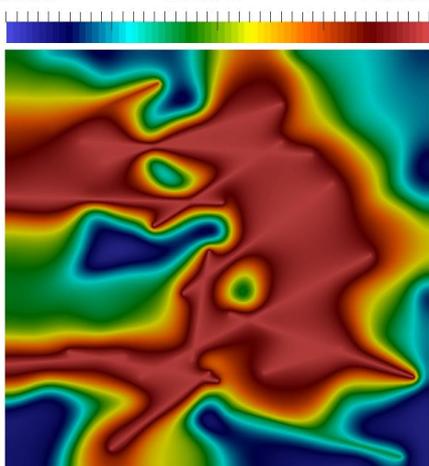
медицинской томографии и т.д.

# Многомасштабное моделирование потока жидкости и механики грунтов

2.935e-11    2e-10    2e-9    1.021e-08

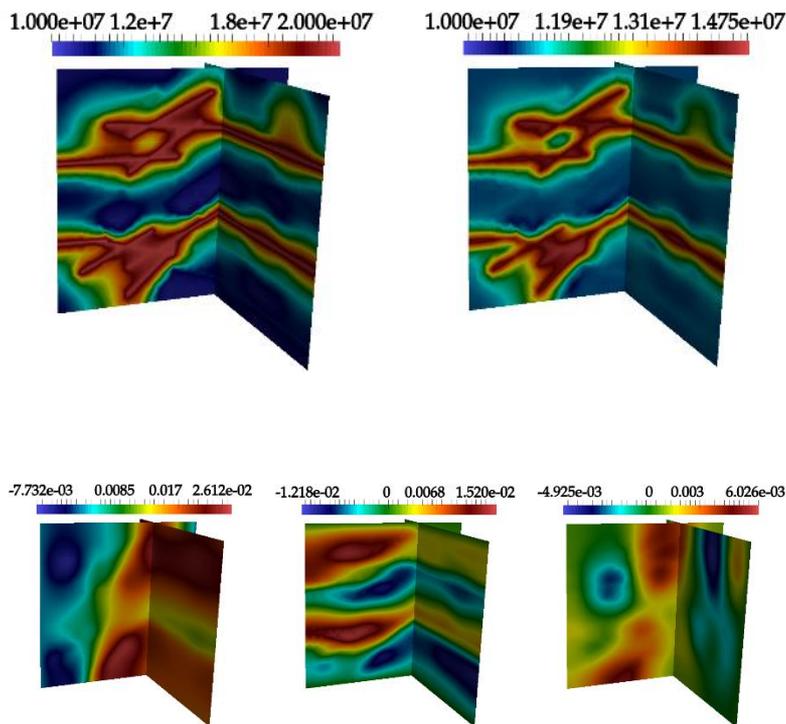


1.000e+07    1.5e+7    2.000e+07



Эфендиев Я.    Васильева М.    Тырылгин А.    Спиридонов Д.

- Задача пороупругости для мультиконтинуумных сред
- Математическая модель состоит из связанных систем уравнений для давлений в каждом континууме
- Дискретная модель трещин (DFM)



Распределения давлений и перемещений по направлениям X Y Z

- Решение локальных задач с различными граничными условиями для построения снэпшот пространств в локальных подобластях
- Генерация проекционной матрицы с использованием базисных многомасштабных функций
- Построение системы на грубой сетке с использованием проекционного подхода

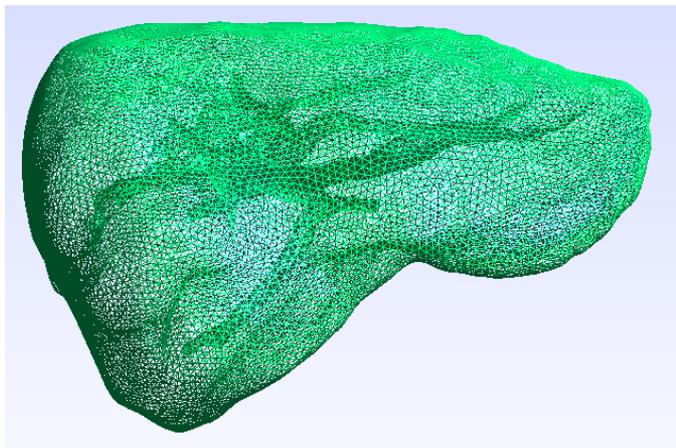
Мультифизическое моделирование неоднородных коллекторов с многофазными течениями

*Точные модели прогнозов с учетом процессов деформаций, течения и т.д.*

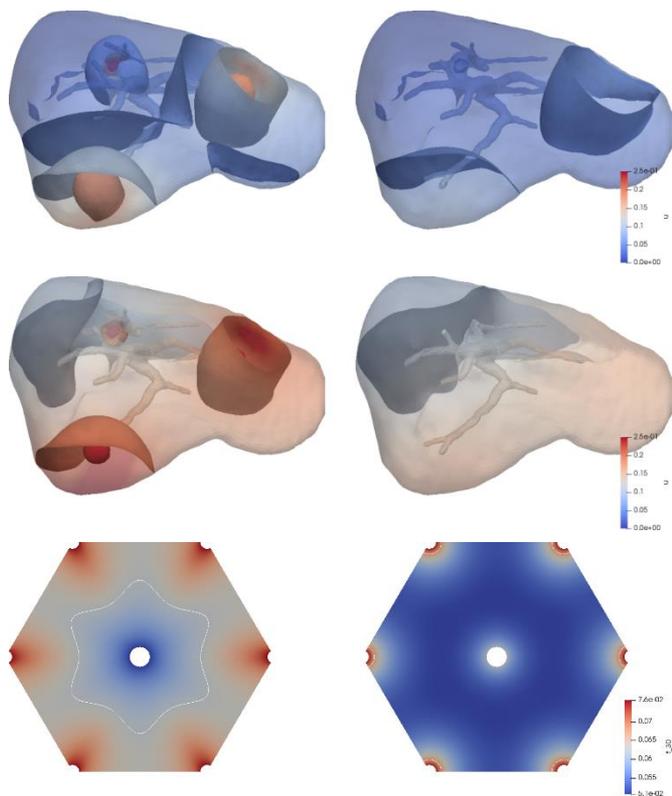
## Моделирование течения крови в печени



Вабищевич П.Н. Григорьев А. Сивцев П. Антонов М.



- Мультифизичная модель биологических процессов
- Сложная 3D геометрия печени
- Рассмотрение течения крови на микро-уровне (уровень дольки печени)
- Приложения в терапии болезней печени, хирургии и биоинженерии
- Использование нейронных сетей в научных исследования для улучшения качества



- Метод конечных элементов хорошо подходит для сложных геометрий
- Многоуровневая модель мультиконтинуума используется для учета процессов на разных масштабах
- Архитектуры нейронных сетей для задач препроцессинга
- Комплекс моделирования оформлен в виде научного ПО

*Моделирование био-механических процессов на разных уровнях на основе наших методов вычислений и программного кода*

Приложения в хирургии, терапии заболеваний печени, био-инженерии и т.д.



# Исследование напряжений в керамической подложке

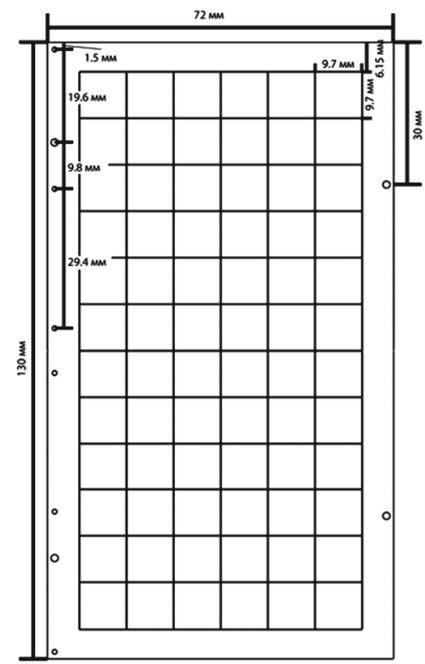
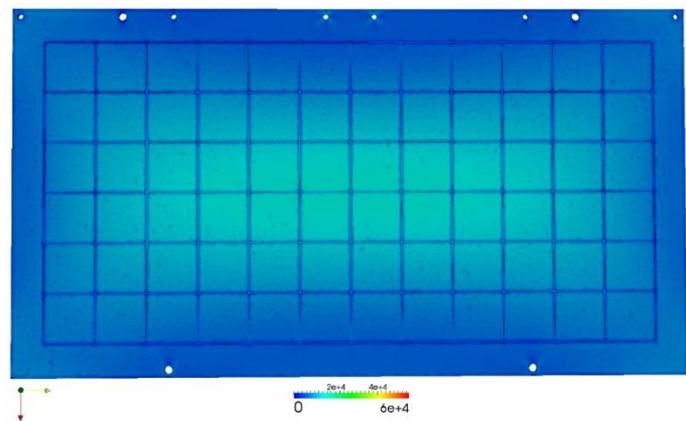
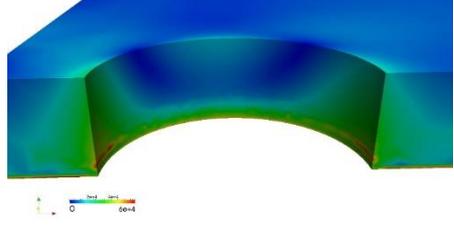
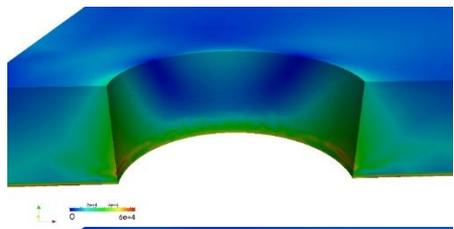
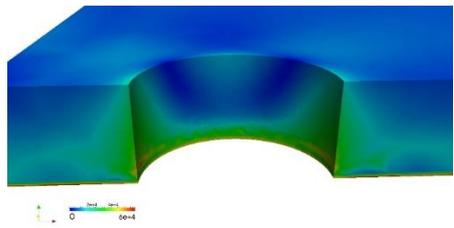
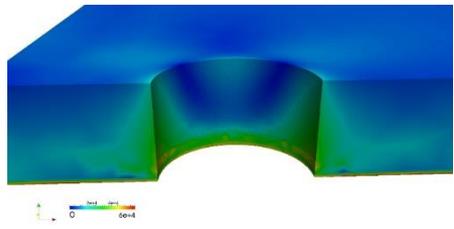
- Модель термоупругости
- Оценка температурных напряжений
- Параметрические исследования
- Моделирование примыкания разнородных материалов



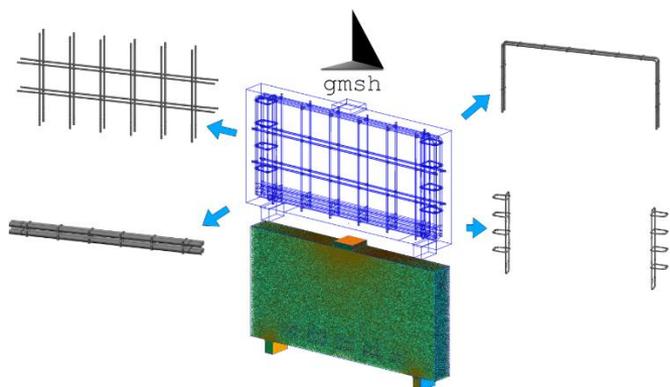
Вабищевич П.Н.



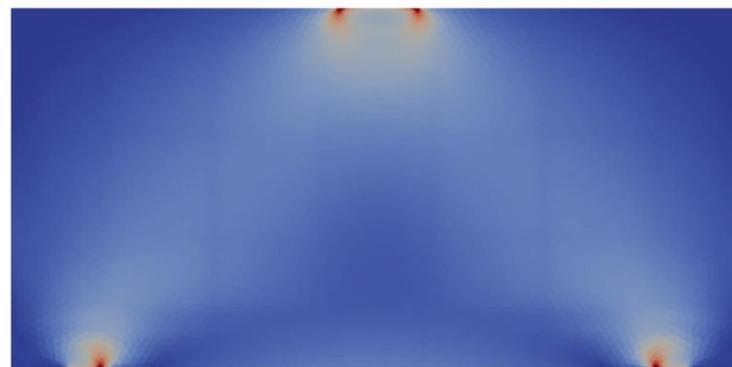
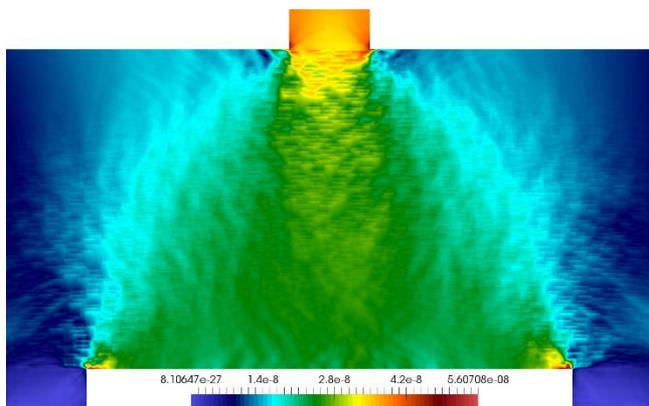
Сивцев П.



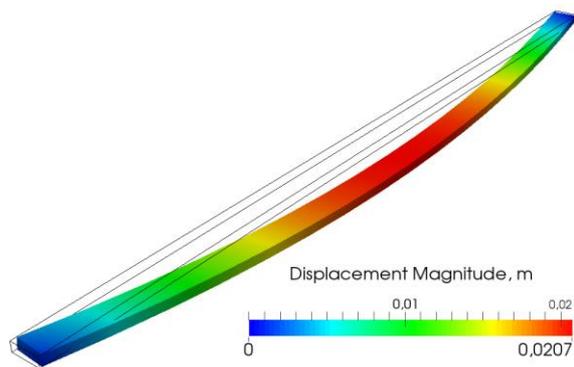
## Моделирование железобетонных конструкций



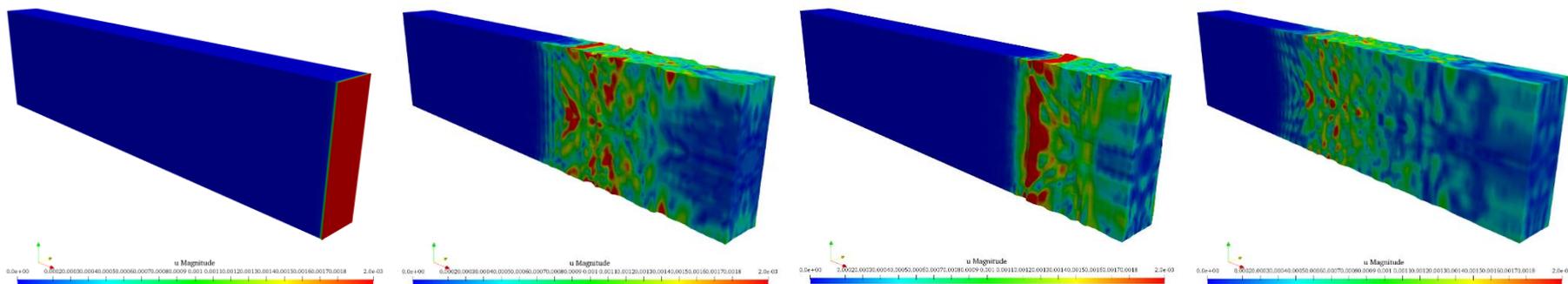
- Армированные бетонные конструкции
- Концентраторы напряжений
- Модель дискретных фибр
- Метод численного усреднения



# Моделирование деформаций древесины



- Моделирование деформаций под воздействием напряжений роста
- Моделирование упругих волн
- Модели анизотропии
- Схемы раскроя древесины



*Мультифизичное прикладное моделирование с учетом реальных параметров материалов*

# Многомасштабное моделирование упругой среды Коссера

- Упругая модель Коссера
- Дискретная макроскопическая модель с использованием GMsFEM
- Связанные и расщепленные многомасштабные базисные функции



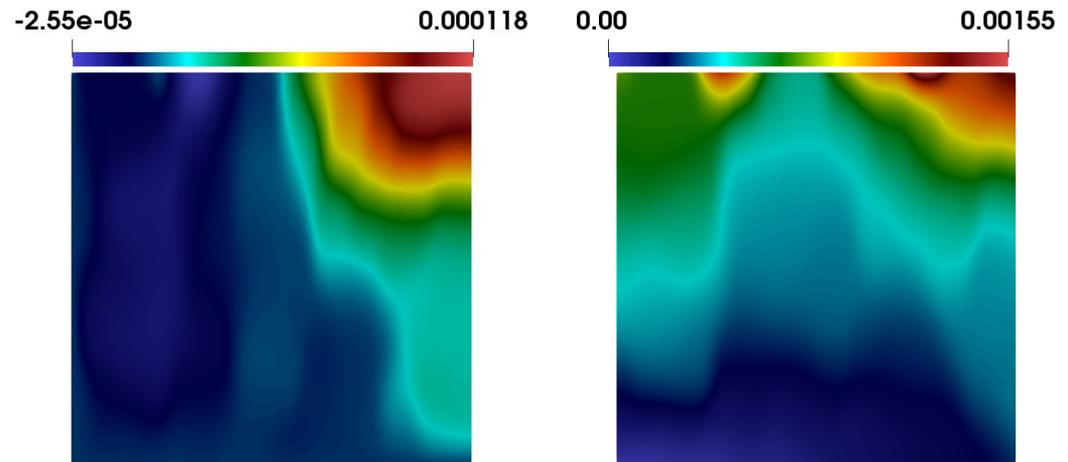
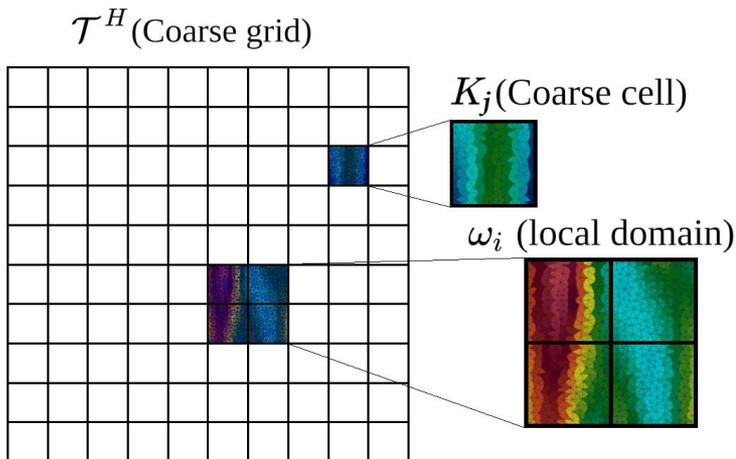
Эфендиев Я.



Васильева М.

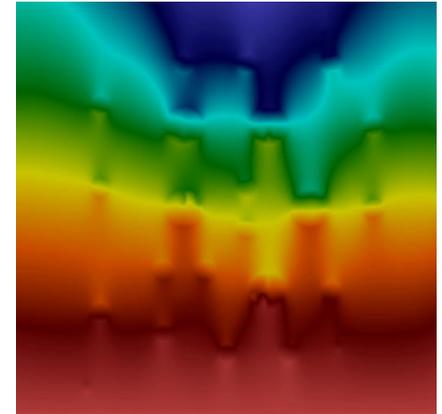
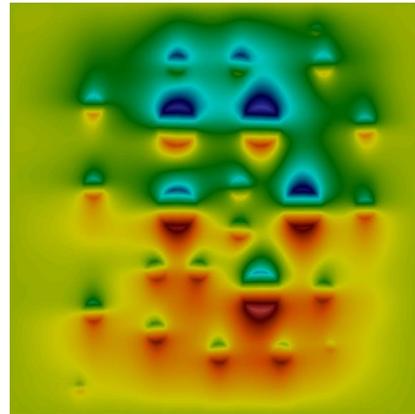


Аммосов Д.

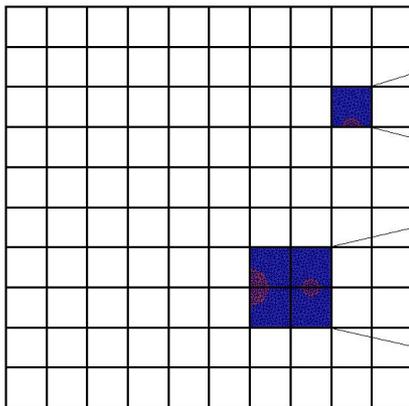


# Многомасштабное моделирование пьезоэлектрических материалов

- Пьезоэлектрическая модель
- Многомасштабный алгоритм на основе GMsFEM
- Связанные и расцепленные многомасштабные базисные функции



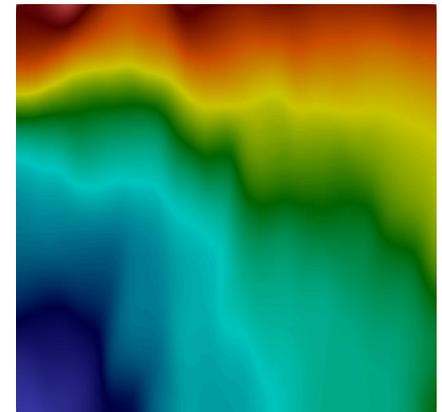
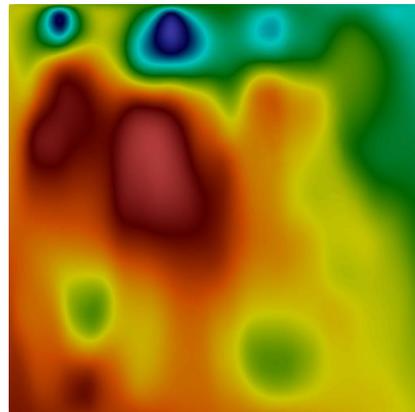
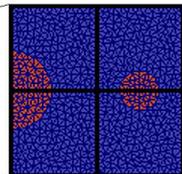
$\mathcal{T}^H$  (Coarse grid)



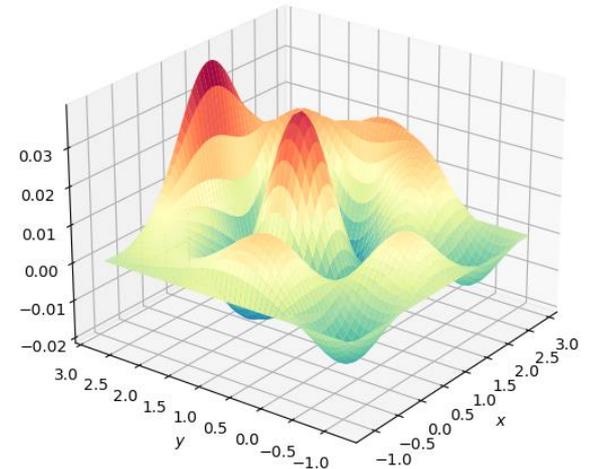
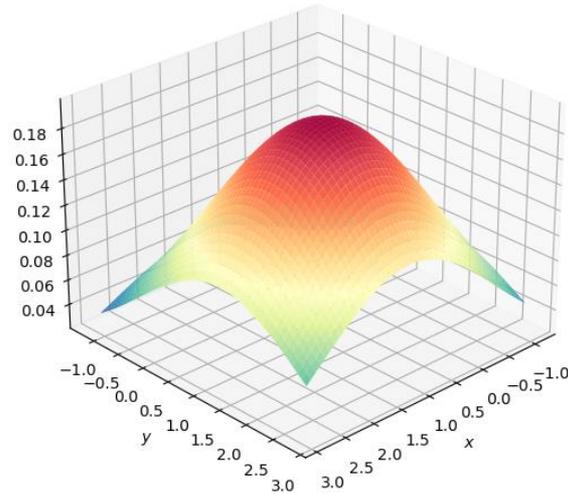
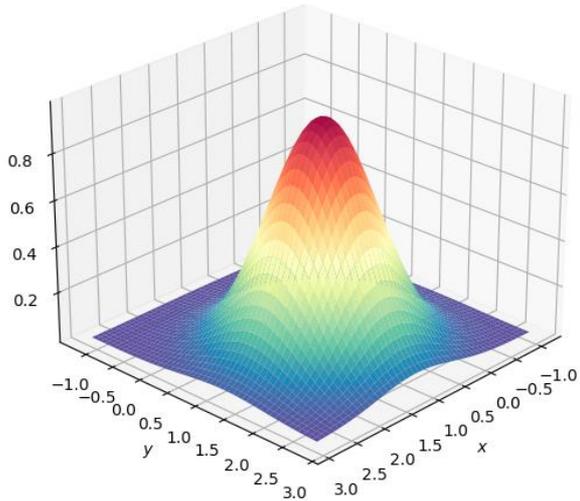
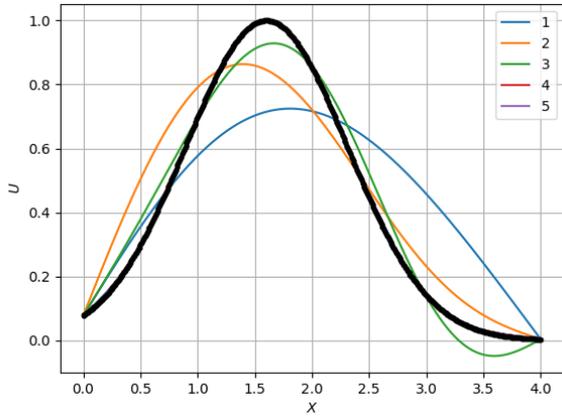
$K$  (Coarse cell)



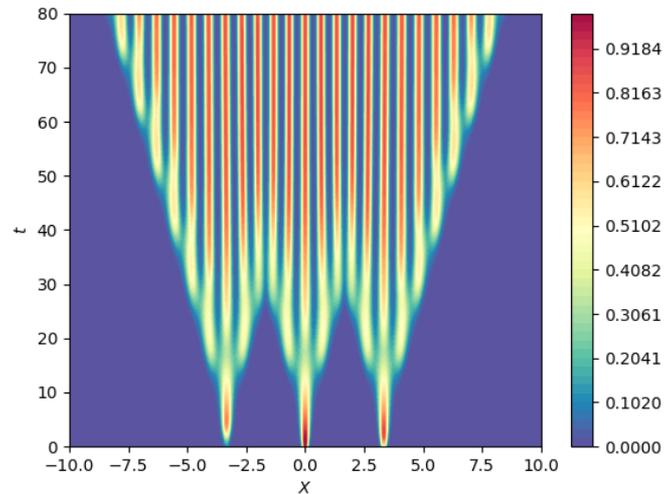
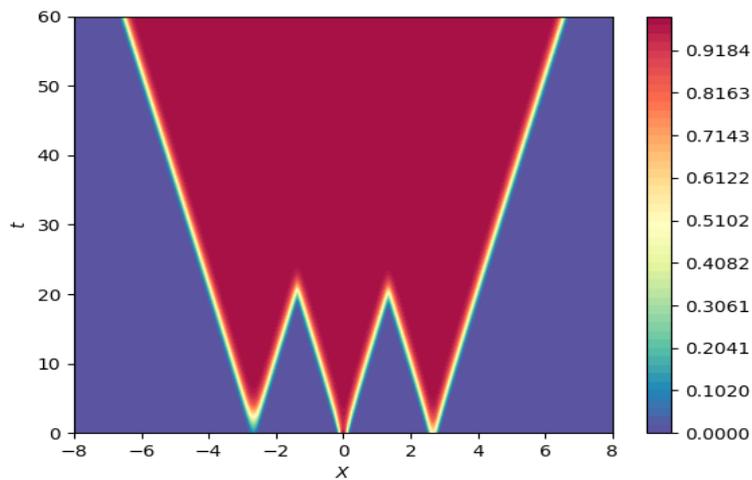
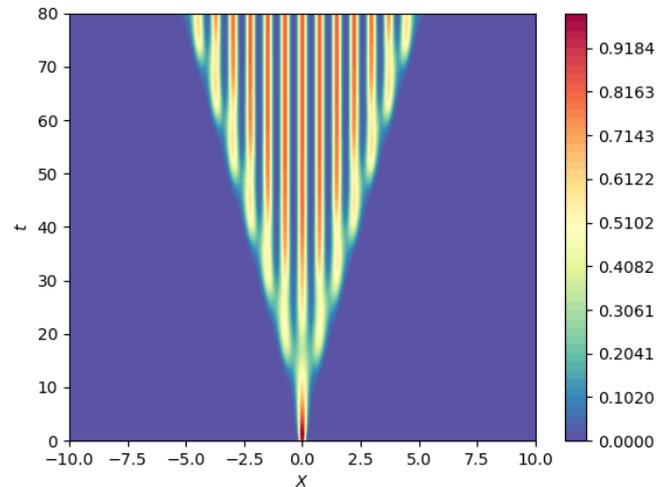
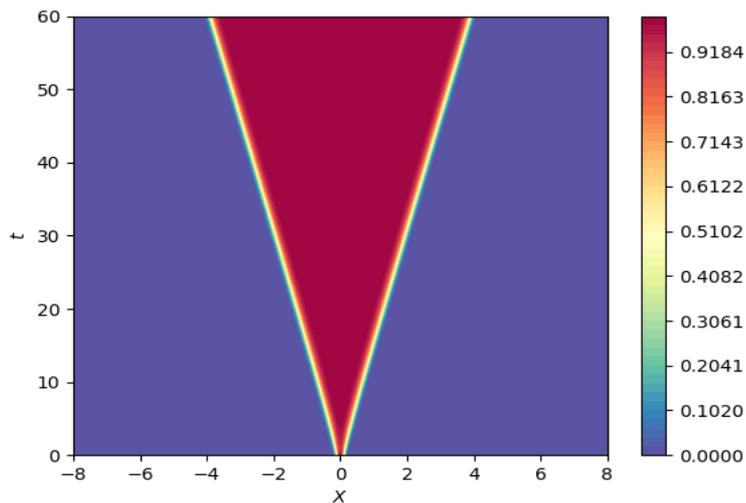
$\omega_i$  (local domain)



# Итерационное решение обратных задач на примере ретроспективной обратной задачи теплопроводности



# Численная реализация начально-краевой задачи для УЧП и ИДУ КПП-Ф



# Кватернионы и их приложения



Построены прямой и комплексный алгоритмы сохранения структуры полного рангового разложения кватернионной матрицы. Расширено применение данных алгоритмов разложения полного ранга и предложен быстрый алгоритм решения систем линейных кватернионных уравнений.



Построены разреженные представления цветных изображений:





БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!