

## Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере

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

### Важнейшие достижения

#### Создание комплекса региональных вложенных моделей окраинных морей Арктики.

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

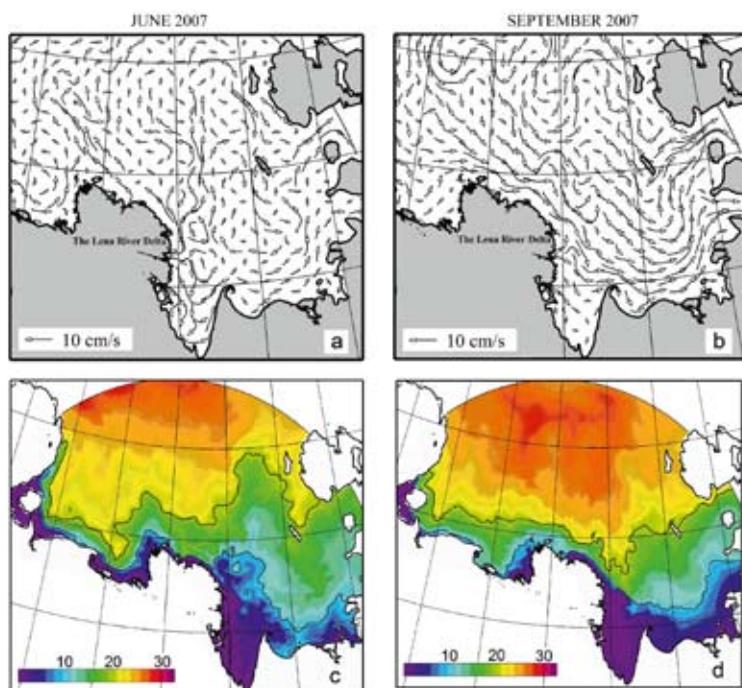


Рис. 1: Результат численного моделирования на основе комплекса региональных моделей: циркуляция вод на шельфе моря Лаптевых в летний период 2007 г. (*a* – июнь; *b* – сентябрь); соленность вод поверхностного слоя (*c*, *d*)

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

Результаты исследований опубликованы в работах:

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

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

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

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

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

Номер государственной регистрации НИР 0315-2016-0004.

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

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

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

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

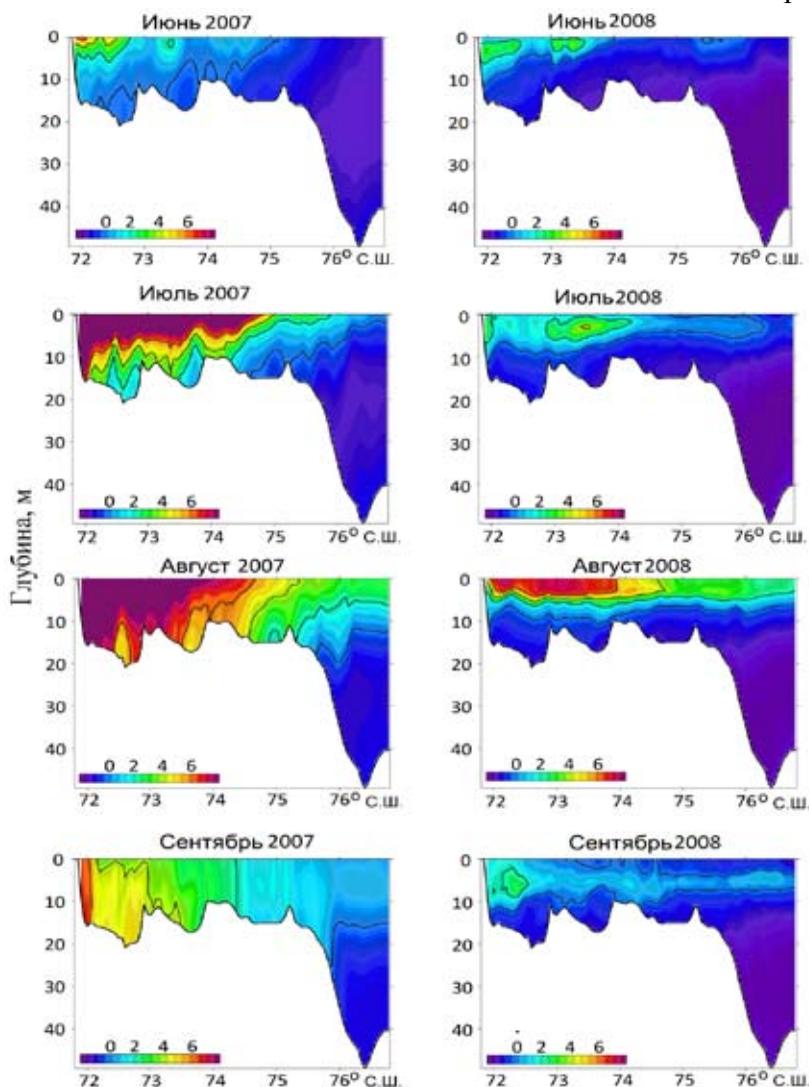


Рис. 2: Распределение температуры на шельфе моря Лаптевых при различных циркуляционных режимах атмосферы региона в летний период (вертикальное сечение, построенное на основе расчетов численной модели повышенного сеточного разрешения): 2007 г. – циклоническая, 2008 г. – антициклоническая циркуляция

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

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

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

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

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

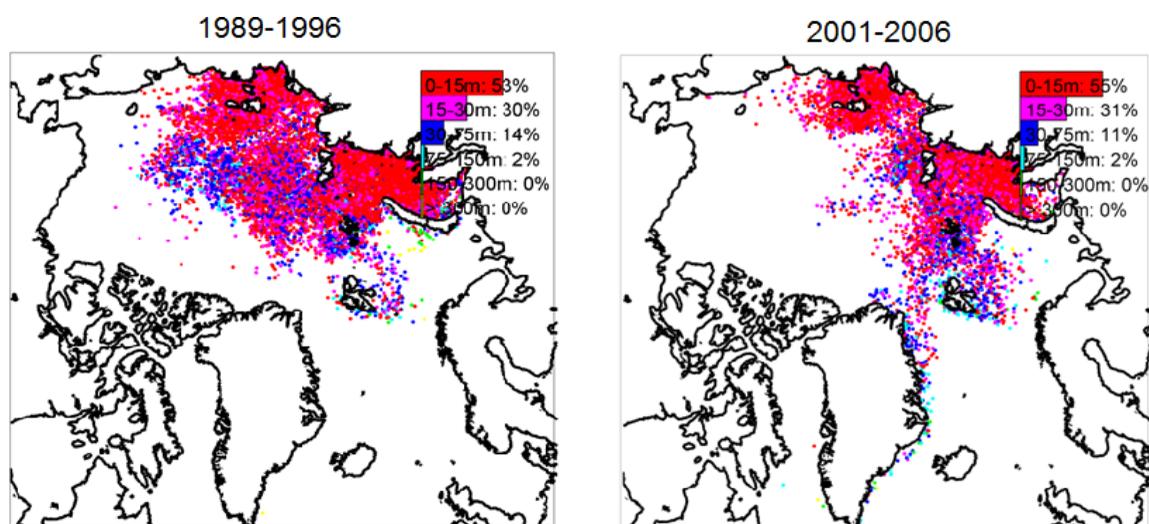


Рис. 3: Распространение трассеров сибирских рек в различные периоды атмосферной циркуляции: циклонический (1989–1996 гг.) и антициклонический (2001–2006 гг.)

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

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

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

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

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

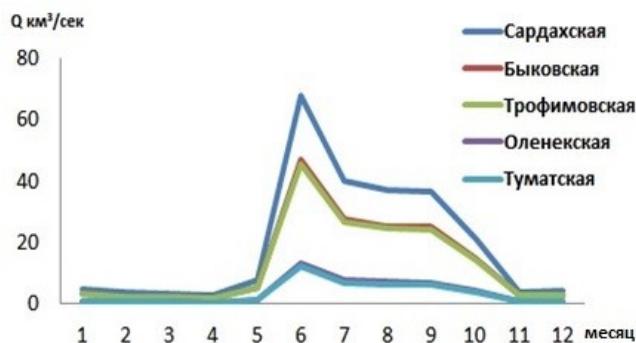


Рис. 4: Рассчитанные среднемесячные гидрографы в замыкающих створах пяти магистральных проток дельты р. Лены для 2005 г.

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

ряющий процесс деградации мерзлоты – процесс дегазации.

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

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

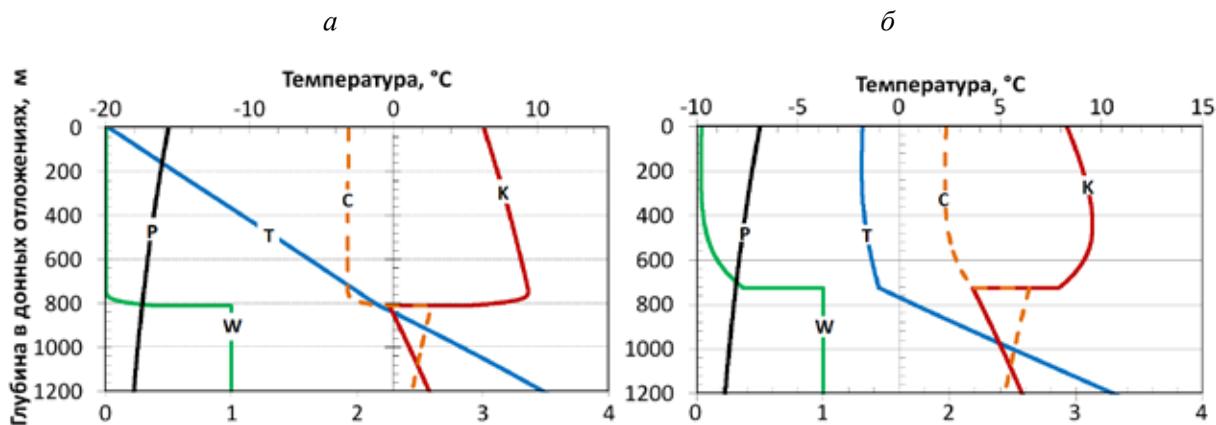


Рис. 5. Изменения теплофизических параметров донных отложений шельфа с глубиной, вычисленных в рамках моделирования динамики субаквальной мерзлоты для временных срезов:

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

*б* – для современного состояния климата, когда шельф затоплен

(*P* – пористость; *W* – незамерзшая вода; *K* – теплопроводность (Вт/м К); *C* – (МДж/м<sup>3</sup> К)

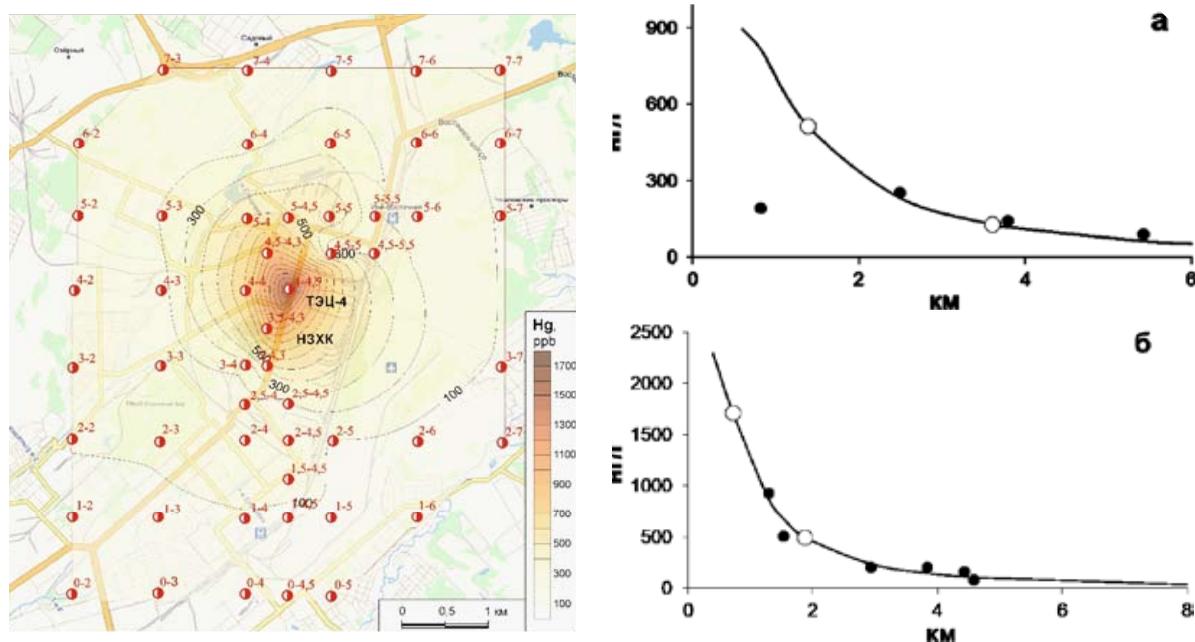


Рис. 6: Биогеохимический ореол ртути в зоне влияния промплощадки НЗХК по данным опробования листьев тополя. Численная реконструкция поля концентрации ртути (нг/г) в северном (а) и северо-западном (б) направлении от НЗХК; светлые кружки – опорные, темные – контрольные точки измерений

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

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

### Результаты работ по Программе Президиума РАН

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

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

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

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

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

### Результаты работ по проектам РФФИ

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Платов Г. А.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Руководитель – д.ф.-м.н. Рапута В. Ф.

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

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

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

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

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

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

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

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

## Публикации

### Издания, включенные в реферативную базу данных Web of Science

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

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

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

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

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

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

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

#### **Издания, включенные в реферативную базу данных Scopus**

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

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

#### **Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ**

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

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

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

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

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

6. Михайлюта С. В., Леженин А. А., Гудовский П. Г. Концентрации бенз(а)пирена в атмосфере г. Красноярска в летний и зимний периоды // Сб. материалов 14-го Междунар. науч. конгр. "Интерэкспо ГЕО-Сибирь"; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. Т. 1. С. 249–255.
7. Рапута В. Ф., Леженин А. А., Ярославцева Т. В. Оценка параметров выбросов Новосибирских ТЭЦ с использованием спутниковой информации // Там же. Т. 1. С. 137–146.
8. Рапута В. Ф., Юсупов Д. В., Ярославцева Т. В., Ляпина Е. Е., Турсуналиева Е. М. Экспериментальное исследование и численный анализ распространения ртути в окрестностях Новосибирского завода химконцентратов // Там же. Т. 2. С. 48–58.
9. Сересева О. В., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Медвяцкая А. М., Глотов П. В. Анализ данных сетевых наблюдений субмикронных аэрозолей в атмосферном воздухе г. Новосибирска // Там же. Т. 2. С. 37–47.
10. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф., Соловьева И. А. Наземный и спутниковый мониторинг атмосферного загрязнения в районе Новосибирского электродного завода // Т. 1. С. 152–157.
11. Коковкин В. В., Рапута В. Ф. Базы данных по загрязнению сельхозземель в окрестностях промпредприятий Новосибирской области // Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. "Информационные технологии, системы и приборы в АПК" (АГРОИНФО-2018), р. п. Краснообск, Новосибирская обл., 24–25 окт. 2018 г. Новосибирск: Сиб. физ.-техн. ин-т аграрных пробл., 2018. С. 66–71.
12. Рапута В. Ф., Коковкин В. В., Ярославцева Т. В., Амикишиева Р. А. Модели и методы наземного и спутникового мониторинга загрязнения земель сельскохозяйственного назначения // Там же. С. 537–542.
13. Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Модели анализа и управления процессами аэрозольных обработок сельхозполей // Там же. С. 71–75.
14. Крупчатников В. Н., Платов Г. А., Мартынова Ю. В., Якшина Д. Ф., Боровко И. В., Зарипов Р. Б., Голубева Е. Н., Исследование взаимодействия динамики атмосферы арктического региона и средних широт в условиях изменения климата // Тез. Междунар. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. А. М. Обухова. 2018. С. 81.
15. Малахова В. В. Оценка состояния субквальной мерзлоты морей восточной Арктики на основе численного моделирования // Там же. С. 83.
16. Малахова В. В., Голубева Е. Н., Елисеев А. В., Платов Г. А. Оценка влияния возможных изменений климата на состояние субквальных газовых гидратов в Арктике // Труды Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2018", Томск, 5–11 июля 2018 г. С. 94–98.
17. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Использование спутниковой информации в задачах оценивания параметров источников примеси и характеристик атмосферы // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвящ. 90-летию со дня рождения акад. А. С. Алексеева, Новосибирск, 8–12 окт. 2018 г. С. 232–237.
18. Малахова В. В. Современное состояние субквальной криолитозоны и зоны стабильности метангидратов восточного сектора Арктики // Там же. С. 248–253.
19. Сересева О. В., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В., Медвяцкая А. М. Оценка статистических параметров субмикронных аэрозолей г. Новосибирска и анализ связей с

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

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

### Прочие

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

### Участие в конференциях и совещаниях

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Участие в оргкомитетах конференций

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

2. Платов Г. А.:

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

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

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

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

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

### Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 9

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 11

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 31

Публикаций в центральных зарубежных изданиях – 2

Докладов на конференциях – 62, в том числе пленарных 3

Участников оргкомитетов конференций – 6

### Кадровый состав

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

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

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

### Педагогическая деятельность

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

### Руководство студентами

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