

Лаборатория математического моделирования гидротермодинамических процессов в природной среде

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

Важнейшие достижения

Алгоритм идентификации коэффициентов в нестационарных моделях продукции-деструкции на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений

К.ф.-м.н. Пененко А. В.

Модели продукции-деструкции применяются в широком спектре приложений, в том числе при моделировании нелинейных биологических и химических процессов. В прикладных задачах такие модели могут содержать неизвестные параметры, требующие уточнения по имеющимся данным измерений. Предлагаемый алгоритм является обобщением алгоритма на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений, разработанного для идентификации источников в моделях адвекции-диффузии-реакции и примененного для идентификации источников загрязнения атмосферы. При этом обратная задача представляется в виде семейства квазилинейных операторных уравнений, которые можно затем решать и анализировать любыми подходящими средствами, например методами сингулярного разложения. Вследствие ансамблевого характера алгоритма его выполнение можно естественно распараллелить.

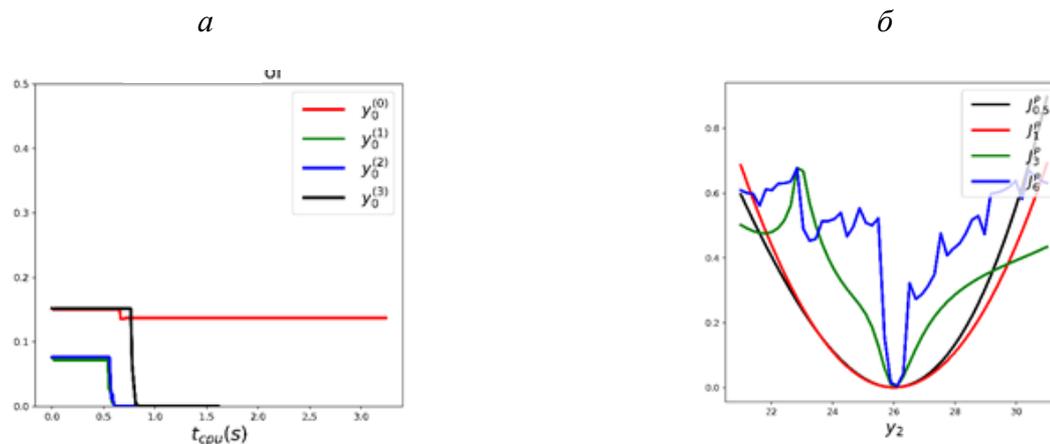


Рис. 1 – Идентификация коэффициентов модели Лоренц'63 по точечным измерениям элементов функции состояния:

a – убывание относительной ошибки итераций в зависимости от начального приближения для некоторого набора данных измерений; *б* вид функционала невязки для одного из искомых параметров в зависимости от величины ансамбля решений сопряженных уравнений (количества учитываемой информации)

На рис. 1 показано применение алгоритма к модельной задаче идентификации коэффициентов модели Лоренц'63 по точечным измерениям элементов функции состояния. Кроме того, оператор чувствительности позволяет разложить функционал невязки обратной задачи для анализа его локальных минимумов (рис. 1,б).

Результаты опубликованы в работах:

1. Penenko A. V., Mukatova Z. S., Salimova A. B. Numerical study of the coefficient identification algorithm based on ensembles of adjoint problem solutions for a production-destruction model // Intern. J. of Nonlin. Sci. and Num. Simul. [Electron. resource]. 2020. doi: 10.1515/ijnsns-2019-0088.

2. Penenko A. Convergence analysis of the adjoint ensemble method in inverse source problems for advection-diffusion-reaction models with image-type measurements // Inverse Probl. & Imaging. 2020. No. 14. P. 757–782. doi: 10.3934/ipi.2020035.

**Отчет по этапам работ, завершённым в 2020 г.
в соответствии с планом НИР института**

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

Номер государственной регистрации НИР 0315-2019-0004.

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

Построен новый алгоритм идентификации источников с использованием свойств неустойчивости, присущих обратной задаче.

Разработана модификация алгоритма решения обратных задач на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений, в которой естественная некорректность обратной задачи используется для выхода итерационного алгоритма из локальных минимумов функционала невязки.

С помощью соотношений чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений обратная задача сводится к некорректному нелинейному операторному уравнению. Для его решения применяется алгоритм типа Ньютона – Канторовича с регуляризацией операции обращения матрицы оператора чувствительности на основе усеченного сингулярного разложения. Снижение регуляризующего эффекта (путем увеличения количества рассматриваемых сингулярных чисел и сингулярных векторов при построении приближенного обратного для матрицы оператора чувствительности) происходит по мере стабилизации итераций при фиксированном значении параметра регуляризации. При этом убывание функционала невязки контролируется только на шагах, где происходит снижение регуляризующего эффекта. В результате невязка между этими шагами может возрастать, тем самым итерации имеют возможность выйти из локальных минимумов функционала невязки. Далее, если на некотором шаге алгоритма функционал невязки убывает, соответствующее приближение запоминается. При уменьшении эффекта регуляризации алгоритм продолжает решение из точки, в которой было найдено минимальное значение функционала невязки.

Такая модификация алгоритма позволила в задаче идентификации источников для модели адвекции-диффузии-реакции с данными измерений типа изображений функции состояния получить более точное решение, нежели решение алгоритма с монотонным убыванием функционала невязки.

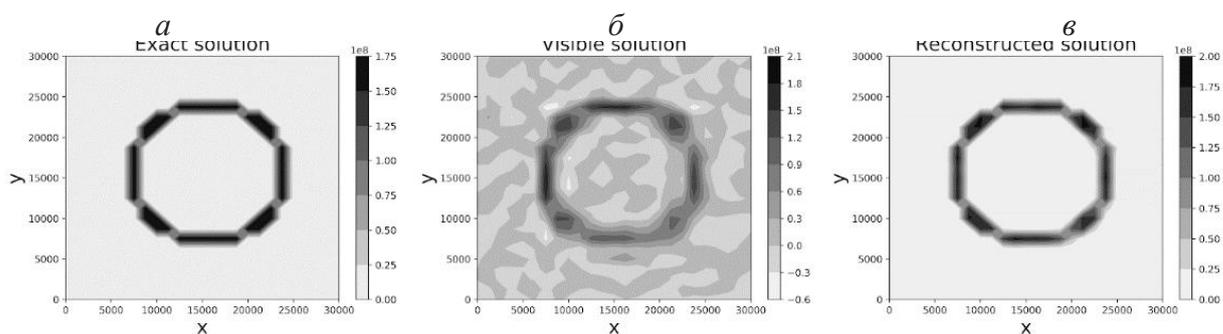


Рис. 2 – Сравнение с "точным" решением результата решения обратной задачи идентификации источников для модели адвекции-диффузии-реакции с данными измерений типа изображений функции состояния:

a – "точный источник"; б – проекция точного решения на ортогональное дополнение к ядру оператора чувствительности; в результат работы алгоритма

a

б

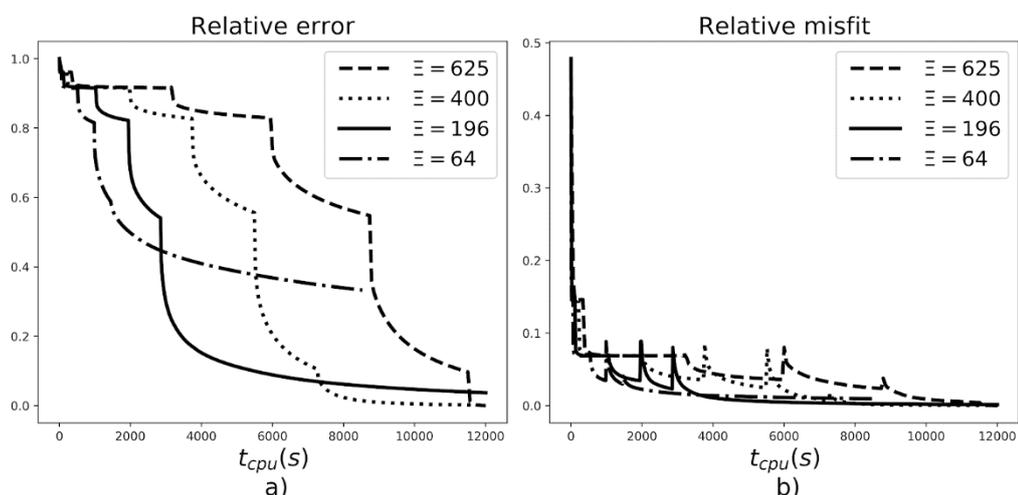


Рис. 3 – Параметры сходимости алгоритма решения обратной задачи идентификации источников для модели адвекции-диффузии-реакции с данными измерений типа изображений функции состояния для различных количеств решений сопряженных уравнений (при условии немонотонности убывания невязки):
 a – относительная ошибка; b – относительная невязка

Фильтр частиц в задачах усвоения данных

На основе фильтра частиц реализованы алгоритмы усвоения данных для моделей химии атмосферы.

Фильтры частиц относятся к динамико-стохастическим алгоритмам. Достоинством алгоритмов этого класса является то, что реализация алгоритма требует вычисления только оператора прямой задачи.

В ходе работы алгоритма в каждом окне усвоения реализуется ансамбль решений с возмущенными значениями функции неопределенности задачи. На основе данных измерений различные элементы ансамбля взвешиваются для аппроксимации функции плотности распределения вероятности решения задачи усвоения данных. Из этого распределения на следующем шаге генерируется ансамбль частиц. В тестовом примере была использована модель озон-азотного цикла в атмосфере с малым числом взаимодействующих компонентов.

3. Численное исследование трансформации вихревых потоков в устойчиво стратифицированном пограничном слое при постоянной скорости охлаждения

На основе трехпараметрического RANS-подхода с явными алгебраическими моделями для напряжений Рейнольдса и вектора потока скаляра (температуры, концентрации), полученными в приближении слаборавновесной турбулентности, численно исследовалась трансформация вертикальных вихревых потоков в устойчиво стратифицированном пограничном слое при неустановившейся скорости охлаждения поверхности. Вычисленные вертикальные распределения скорости и температуры, напряжения Рейнольдса, кинетической энергии турбулентности, турбулентного числа Прандтля, высоты пограничного слоя и других характеристик, сопоставляются с результатами, полученными на основе LES-приближения моделирования турбулентности. Чисто устойчивый АПС инициируется наложением геострофического ветра постоянной скорости при охлаждении поверхности также с постоянной скоростью. Вертикальный профиль ветра после 10 часов с начала процесса показан на **рис. 4**. Сравнение проведено с результатами, полученными LES-методом с высоким разрешением (вертикальный шаг 3,25 м). Эти данные показаны на рисунке зачерненными квадратами, а другие LES-данные отмечены отрезками горизонтальных линий с указанием стандартного отклонения от среднего значения.

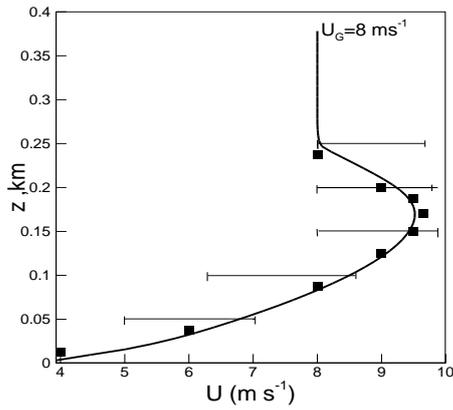


Рис. 4 – Профили скорости ветра в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое: сплошная линия – результат вычисления по трехпараметрической модели турбулентности после 10 час. интегрирования; черные квадраты – результат LES-моделирования; горизонтальные линии – другие результаты LES-моделирования с указанием для средних значений стандартного отклонения

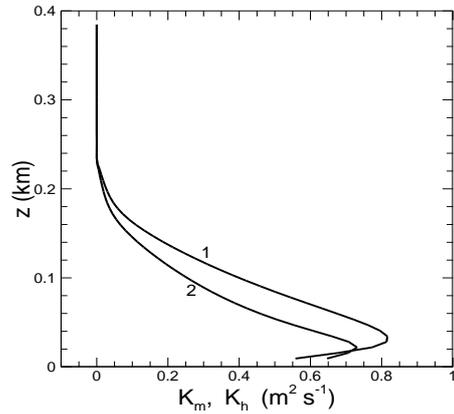


Рис. 5 – Вычисленные в ходе выполнения проекта профили коэффициентов турбулентного переноса импульса K_m и тепла K_h в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое (1 – K_m , 2 – K_h)

На рис. 4 отчетливо видно формирование струи на высоте примерно 175 м. На рис. 5 показаны вертикальные профили коэффициентов турбулентного обмена импульса K_m и тепла K_h для сформировавшегося струйного профиля скорости (рис. 4). Поскольку данных измерений профилей коэффициентов K_m и K_h не имеется, на рис. 4 представлены только результаты вычислений.

Для демонстрации состоятельности результатов, полученных с граничными условиями, используемыми в модели, на рис. 6 показана средняя скорость ветра и средняя потенциальная температура в логарифмическом масштабе. Видно, что и предлагаемая модель, и LES модель следуют тому же самому логарифмическому закону вблизи поверхности (до ≈ 5 м). Это также показывает, что граничные условия логарифмического слоя в уравнениях трехпараметрической модели турбулентности работают в рассматриваемом случае, пока шаг сетки вблизи стенки менее 5 м. Выше в пограничном слое из-за эффектов плавучести необходима коррекция в логарифмическом профиле, основанная на теории подобия Монина – Обухова. Эта коррекция является линейной функцией безразмерного параметра z/L , где $L = u_*^2 T_0 / (kg \theta_*)$ – масштаб Обухова, зависящий только от поверхностных потоков. Профили хорошо согласуются с теоретической кривой как для скорости ветра, так и для температуры.

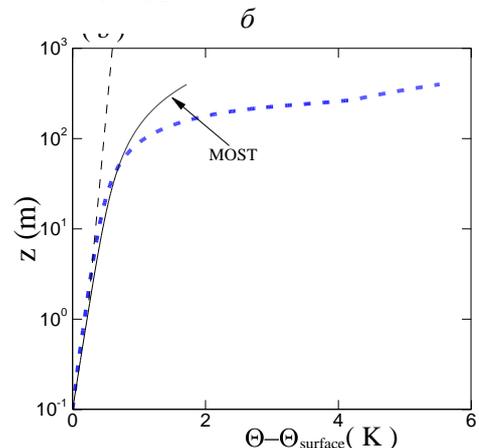
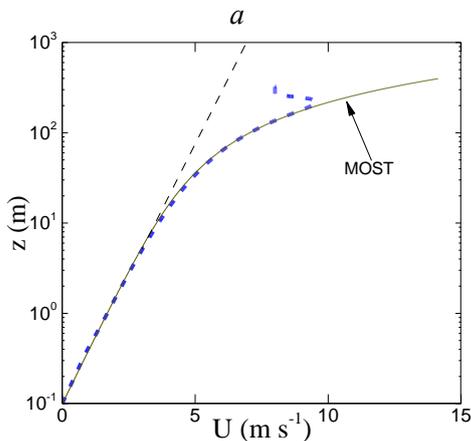


Рис. 6 – Профили средней скорости ветра (а) и средней потенциальной температуры (б) в случае GABLS1 для трехпараметрической модели турбулентности (синяя пунктирная линия); серые сплошные линии следуют из подобия Монина – Обухова с $u_* = 0.29 \text{ м с}^{-1}$; $\theta_* = 0.012/u_* \text{ К}$; $L = 149 \text{ м}$; $z_0 = 0.1 \text{ м}$; $\kappa = 0.4$ (значения взяты из работы Сухарт и др. 2006) и $Pr_T = 0.9$; серые пунктирные линии – только логарифмическая часть этих функций

Анализ результатов проведенного исследования показывает, что для моделирования структуры турбулентности устойчиво-стратифицированного пограничного слоя наряду с LES-методом можно использовать RANS-метод.

4. Эффекты стратификации и параметры атмосферных гравитационных течений над крутыми поверхностными препятствиями

Моделирование атмосферных гравитационных потоков над крутыми поверхностными препятствиями изучалось с помощью мезомасштабной метеорологической модели с аппроксимациями на конечных элементах. Модель основана на сжимаемых уравнениях Навье – Стокса. Цель исследований – изучение возможностей этой модели. Поэтому модель была подвергнута различным испытаниям. Скорость фронта, рассчитанная в нейтральной атмосфере, сравнивалась с эмпирической формулой, хорошо известной в теории атмосферных течений. В других тестах воспроизводилось обтекание крутых препятствий, таких как долина или холм. Скорость ветра до и после препятствий различной формы была рассчитана и сравнивалась с имеющимися измерениями и результатами моделирования, выполненного другими авторами. По результатам моделирования оценено влияние стратификации на различные параметры распространения фронта. Кроме того, изучалось влияние на скорость фронта введения слоя инверсии стратификации в устойчиво стратифицированную атмосферу. Инверсия изменяет характер распространения фронта путем уменьшения его скорости до и после препятствия, а также скорости распространения фронта над плоской поверхностью. Различие в поведении поверхностного давления, наблюдаемое при распространении фронта в устойчивых и нейтральных версиях атмосферной стратификации, было получено в расчетах и сравнивалось с данными наблюдений.

5. Развитие базовой мезомасштабной модели

Для разрабатываемой в лаборатории базовой мезомасштабной модели гидротермодинамики атмосферы продолжена адаптация модели фазовых переходов влажности из работы. На данном этапе ведется отладка параллельного (OpenMP) варианта программного кода реализации модели фазовых переходов влаги.

Разработаны дополнительные блоки программного кода реализации модели динамики атмосферы, позволяющие использовать прогнозные расчеты модели COSMO в качестве начальных распределений метеополей и для задания граничных условий на верхней границе расчетной области. Необходимость привлечения моделей более крупного масштаба для выбранной области расчета диктуется физическими соображениями и необходимостью воспроизведения сценариев прямого и обратного моделирования, настроенных на конкретные даты. Расчетные метеорологические поля прогностической модели COSMO в формате NetCDF были предоставлены ФГБУН "СибНИГМИ".

Выполнены сценарии моделирования для зимних условий (расчет на 24 ч) в предположении, что фоновые крупномасштабные атмосферные поля не меняются. В этом случае на верхней границе расчетной области были зафиксированы горизонтальные потоки ветра. В итоге сценарии моделирования представляли собой подстройку фоновых крупномасштабных полей к орографическим условиям территории и суточной изменчивости температуры поверхности.

Аналогичная модификация модели выполнена и для проведения сценариев моделирования атмосферной динамики для Новосибирского региона с настройкой по модели WRF.

Сетки для выбранных доменов были согласованы таким образом, что горизонтальные узлы совпадали с горизонтальными узлами соответствующих сеток модели ИВМиМГ. При этом поля прогностических расчетов по моделям COSMO и WRF потребовали дополнительной

интерполяции по вертикали на прямоугольную сетку модели ИВМиМГ, поскольку модели COSMO и WRF используют сигма-координату по вертикали.

Все расчеты по мезомасштабной модели выполнялись с использованием параллельных алгоритмов реализации численных моделей, расчеты выполнены на вычислительных кластерах ССКЦ ИВМиМГ СО РАН.

6. Роль гидродинамики в формировании современной структуры водорослевых сообществ оз. Байкал

В последнее время мировое сообщество обеспокоено стремительными экологическими изменениями в прибрежной зоне оз. Байкал. С недавних пор зеленая нитчатая водоросль *Spirogyra* начала появляться в больших количествах и вытеснять исконные байкальские виды водорослей. Появление дурно пахнущих глыб на берегах, которые являются отмирающими остатками спирогиры, не только отрицательно влияет на восприятие этого чудесного объекта природы, но и имеет более тяжкие последствия, отражающиеся на качестве байкальской воды. Существует несколько гипотез возникновения такой ситуации. Согласно одной из них появление спирогиры связано с изменением климата. Однако большинство ученых связывают эти события еще и с ухудшением экологической обстановки вокруг Байкала, в том числе и с развитием туризма. **Существует гипотеза о том, что спирогира распространилась из первоначальных мест ее массового развития по прибрежным областям практически по всему озеру посредством системы течений.**

Одна из версий негидростатической 3D модели гидротермодинамики и распространения примесей, разработанная в лаборатории, была использована для проверки справедливости гипотезы, выдвинутой лимнологами. Из-за значительной доли неопределенности, связанной с неполнотой наших знаний о всей совокупности процессов, отвечающих за функционирование природных систем, использован сценарный подход, позволяющий выделить отдельные стороны процессов, чтобы понять их значимость. В данном случае оценивалась роль системы течений. Причем для придания общности выводам рассматривались не конкретные события, а ситуация в целом. Для этого с помощью метода Монте-Карло были построены "климатические" сценарии атмосферных воздействий, согласно которым выполнены расчеты по гипотетическому сценарию распространения примеси на фоне крупномасштабных течений от четырех участков ее первоначальной локализации. Построены поля возможного распространения примесей из этих локализаций. Исследована чисто гидродинамическая задача о распространении примеси с определенными свойствами. В качестве мест первоначальной локализации примеси выбраны четыре участка озера, подверженные существенному антропогенному воздействию. В Южном Байкале это Лиственичный залив и участок у г. Байкальска. В центральном Байкале это пролив Ольхонские ворота, через который поступает вода из Малого моря, являющегося одним из главных туристических мест озера. В Северном Байкале это район г. Северобайкальска. По условиям сценария примесь из постоянно действующих источников, расположенных на участках боковой границы озера в местах первоначальной локализации, распространяется с течениями в июле и августе. Клетки спирогиры рассматриваются как пассивная примесь, не влияющая на гидродинамические процессы.

Анализ системы течений, полученной в расчетах, свидетельствует о ее сильной изменчивости в зависимости от атмосферных воздействий, заданных в качестве граничных условий на поверхности озера. Следуя течениям, примесь распространяется на большие расстояния (рис. 7). Причем распространение происходит не только вдоль побережья против часовой стрелки, как это полагают в соответствии с известной схемой общей циркуляции озера, но и отклоняется к центральным участкам и даже к противоположным берегам. Таким образом, система течений вполне может быть причиной быстрого распространения водоросли в озере.

a

б

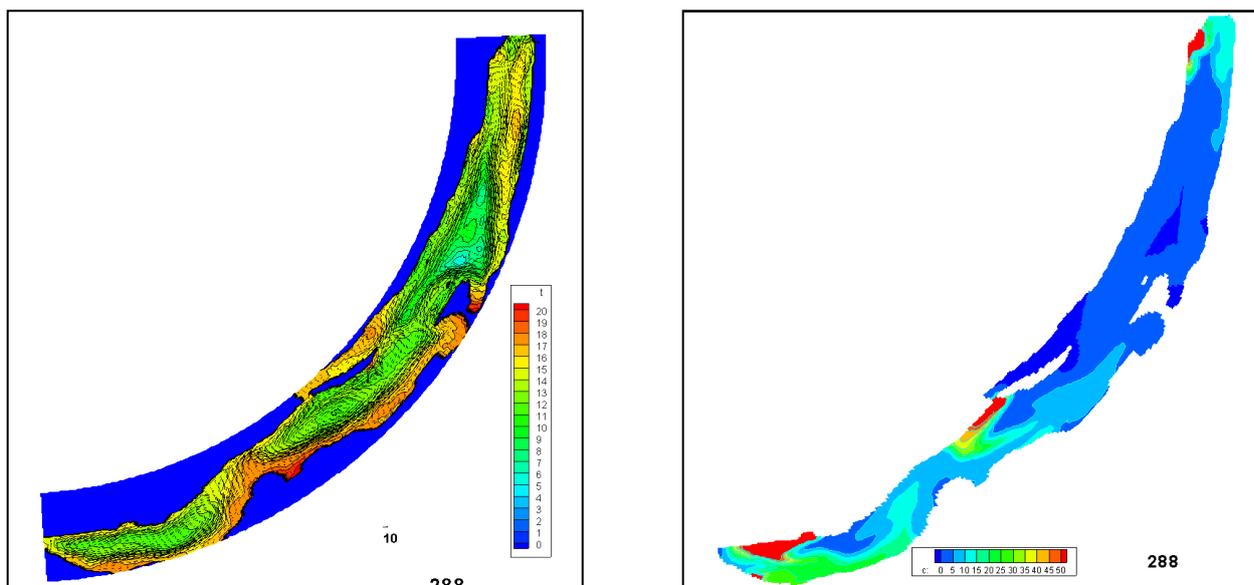


Рис. 7 – Фрагмент сценария, относящийся к концу "климатического" августа:
 а – поле течений (см/сек) и температуры (град С); б – концентрации примеси (усл.ед.)

Крупный научный проект "Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории"

Соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2020-787 от 12.10.2020

Блок 1 "Формирование концептуальных основ инструментальной, инфраструктурной и прикладных цифровых платформ экологического мониторинга и прогнозирования"

Направление исследований: Разработка и реализация алгоритмов оценки информативности гетерогенных систем мониторинга на основе операторов чувствительности обратной задачи идентификации источников.

Решение основной задачи организовано в виде решения следующих подзадач по разработке и реализации алгоритмов:

а) генерации сценариев обратного моделирования для оценки информативности систем мониторинга (подготовка численного эксперимента по решению обратной задачи идентификации источников с различными типами данных и учетом имеющейся априорной информации);

б) идентификации источников на основе объединения различных типов данных измерений (точечные, типа изображений, интегрального типа);

в) оценки информативности данных измерений на основе анализа сингулярной структуры оператора чувствительности.

Подготовлены наборы расчетных прогнозных метеорологических полей над Байкальской территорией для зимних и летних условий. Эти наборы представляют собой трехмерные массивы данных о состоянии основных метеорологических переменных (давление, температура, поля скорости ветра, компоненты влажности), записанные с дискретностью 3 час. Такие наборы данных подходят для выполнения предварительных оценок распространения загрязняющих примесей от различных источников на Байкальской природной территории. Также эти данные являются базовыми для задания начальных и граничных условий при выполнении расчетов распределения метеорологических полей для более детального описания процессов над термически и орографически сложной территорией. На основе метеорологических полей, а также информации о расположении основных источников загрязнений и систем мониторинга, построены реалистичные сценарии обратного моделирования.

Совместное использование моделей процессов и данных наблюдений позволяет решать ряд природоохранных задач, в том числе идентифицировать источники загрязнений и восстанавливать поля загрязнений в ненаблюдаемых областях. Развиваемый подход на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений дает возможность унифицировано работать с гетерогенными данными измерений с помощью моделей переноса и трансформации примесей в атмосфере. На основе методов исследования сингулярной структуры оператора чувствительности обратной задачи разработаны методы экспресс-анализа и уточненного анализа информативности систем мониторинга. Проведена серия численных экспериментов по оценке эффективности комбинации различных действующих и перспективных систем мониторинга в регионе.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 20-01-00560 "Алгоритмы последовательного продолжения с оценкой неопределенностей в задачах обратного моделирования для природоохранной тематики".

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

В проекте разрабатывается методология решения задач природоохранного прогнозирования и проектирования, которые формулируются как математические задачи продолжения. **Основная идея нашего подхода заключается в восстановлении функции состояния модели** по неполной информации с помощью специальных алгоритмов, идентифицирующих дополнительно введенные в модель функции неопределенности.

Связующим звеном между моделями процессов, записанных с учетом функций неопределенности, и данными наблюдений является вариационный принцип. Расширенный функционал вариационного принципа со слабыми ограничениями включает: модели процессов, записанных в виде интегрального тождества с использованием сопряженных функций; целевые функционалы, отвечающие за конкретные цели исследования в решаемой задаче, функционалы качества системы наблюдений функционалы для оценки неопределенностей системы моделирования. Функции чувствительности являются основой для решения обратных задач, оценки параметров моделей и источников воздействий.

В отчетном периоде рассмотрены алгоритмы продолжения на основе методов идентификации неопределенности в источниках модели адвекции-диффузии-реакции и сравнили, как соотносятся решения задач продолжения и задачи идентификации источников. На данном этапе можно сформулировать следующий предварительный вывод по результатам расчетов: по имеющимся в реалистичных сценариях данным измерений, идентификация функции неопределенности модели (источников) получилась с некоторой ошибкой, поскольку данных оказалось недостаточно для этих целей. Однако при этом решение задачи продолжения, т. е. нахождение функции состояния, получается, по оценкам, более успешным. Это является дополнительным подтверждением перспективности постановки и решения задач продолжения природоохранной тематики.

Проект РФФИ 19-47-540011 р_а "Сценарный подход для оценки качества воздуха в Новосибирске методами прямого и обратного моделирования"

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

В проекте разрабатывается методика оценки качества воздуха в городах с использованием различных данных мониторинга на примере Новосибирска. Чтобы оценить качество атмосферы с помощью модели распространения и трансформации примесей, необходимо иметь представление об источниках этих примесей. Как правило, информация о них является неполной. Поэтому в проекте на реалистичных сценариях тестируются алгоритмы идентификации источников на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений. Разрабатываемая методика позволяет единообразно работать как с

точечными данными, так и с данными типа изображений. На данном этапе алгоритмы тестировались в сценариях с данными измерений в виде снимков полей концентраций отдельных химических веществ. Результаты сравнивались с результатами идентификации источников по временным рядам концентраций на постах мониторинга. Если рассматривать задачу идентификации источников как вспомогательную для оценки полей загрязнения, то относительная ошибка восстановления полей загрязнений в проведенных численных экспериментах оказалась меньше, чем относительная ошибка идентификации источников.

Поскольку алгоритмы решения обратных задач зачастую требуют решения множества прямых задач, необходима модель процессов переноса и трансформации примесей в атмосфере, которая, с одной стороны, адаптирована к городским условиям, а с другой, позволяет гибко настраивать сложность и время вычислений. В рамках развития такой модели проведена адаптация для нужд проекта мезомасштабной модели, создаваемой в ИВМиМГ СО РАН, и выполнено предварительное сравнение ее результатов с результатами WRF-Chem.

Проект РФФИ 19-07-01135 Разработка алгоритмов на основе ансамблей сопряженных функций для нахождения коэффициентов в моделях продукции-деструкции по данным точечных измерений

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

В рамках разрабатываемого подхода с помощью ансамблей решений сопряженных уравнений и операторов чувствительности для обратной задачи строится семейство квазилинейных операторных уравнений различных размерностей. Полученные операторные уравнения решаются алгоритмами типа Ньютона – Канторовича. В отчетном периоде численно изучалась сходимость алгоритма решения коэффициентной обратной задачи для модели продукции-деструкции по данным точечных измерений значений функции состояния. В частности, рассматривалось влияние на сходимость различных уровней шума в данных, количество искомым коэффициентов и имеющихся данных измерений. Квазилинейная структура получаемых операторных уравнений позволяет изучать свойства обратной задачи на основе анализа оператора чувствительности. В отчетном периоде изучался способ оценить возможность восстановления тех или иных коэффициентов модели на основе анализа соответствующих им элементов диагонали проектора на ортогональное дополнение к ядру оператора чувствительности. Такой подход показал свою эффективность в численных экспериментах.

Публикации

Издания, включенные в реферативную базу данных WoS

1. Penenko A. Convergence analysis of the adjoint ensemble method in inverse source problems for advection-diffusion-reaction models with image-type measurements // *Inverse Problems & Imaging*. 2020. Vol. 14. P. 757–782. DOI: 10.3934/ipi.2020035.
2. Penenko V. V., Penenko A. V. Construction of forecasts in environmental protection as a solution to the continuation problem // *Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin.* 2020, 11560, 115605N. DOI: 10.1117/12.2575646.
3. Ryanova E. A., Penenko V. V., Gochakov A. V., Faleychik L. M. Modeling the propagation of impurities from point sources in the winter atmosphere of the Baikal region // *Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin.* 2020, 11560, 1156071. DOI: 10.1117/12.2575569.
4. Tsvetova E. A. Transporting Spirogyra algae in waters of Lake Baikal: results of mathematical modeling // *Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin.* 2020, 11560, 115607H. DOI: 10.1117/12.2575644.
5. Pestunov D., Domysheva V., Shamrin A., Tsvetova E., Panchenko M. Distribution of the Barguzin River waters in the Barguzin Bay estimated by the content of dissolved methane // *Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin.* 2020, 11560, 1156050. DOI: 10.1117/12.2575629.

6. Kurbatskaya L. I. Research of a neutral and stable boundary layer of the atmosphere using an explicit algebraic model of Reynolds stresses // Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin. 2020, 11560, 115606K. DOI: 10.1117/12.2575483.

7. Yudin M. S. Calculation of stratification effects and parameters of atmospheric currents over steep surface obstacles // Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin. 2020, 11560, 1156070. DOI: 10.1117/12.2575567.

8. Penenko A. V., Gochakov A., Antokhin P. Numerical study of emission sources identification algorithm with joint use of in situ and remote sensing measurement data // Proc. SPIE. The Intern. Soc. for Opt. Engin. 2020, 11560, 1156071. DOI: 10.1117/12.2575649.

9. Penenko A. V., Salimova A. B. Source Identification for the Smoluchowski equation using an ensemble of adjoint equation solutions // Num. Analysis and Appl. 2020. Vol. 13. P. 152–164. DOI: 10.1134/s1995423920020068.

Издания, включенные в библиографическую базу Scopus

1. Penenko A., Gochakov A., Penenko V. Algorithms based on sensitivity operators for analyzing and solving inverse modeling problems of transport and transformation of atmospheric pollutants // IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. 2020, 611(1), 012032. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012032.
2. Penenko A., Zubairova U., Bobrovskikh A., Doroshkov A. Adjoint ensemble methods for the inverse modeling of biological processes // Cognitive Sci., Genom. and Bioinform. (CSGB), IEEE, 2020. DOI: 10.1109/csgb51356.2020.9214652.

Издания, включенные в библиографическую базу данных РИНЦ

1. Пененко А. В., Салимова А. Идентификация источника в уравнении Смолуховского с использованием ансамбля решений сопряженного уравнения // СибЖВМ. 2020. Т. 23. № 2. С. 183–199.

2. Пьянова Э. А., Пененко В. В. Моделирование зимней циркуляции атмосферы над территорией Байкальского региона // Фотограмметрия и дистанционное зондирование для цифровой экономики : сб. материалов Международной конференции в рамках 16-й Международной выставки и научного конгресса "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2020", Новосибирск, 22–24 апр. 2020 г. Т. 4, № 1. С. 129–136. DOI: 10.33764/2618-981X-2020-4-1-128-136.

3. Курбацкая Л. И. Вихревые коэффициенты переноса импульса и тепла в пограничном слое атмосферы: численное исследование // Фотограмметрия и дистанционное зондирование для цифровой экономики : сб. материалов Международной конференции в рамках 16-й Международной выставки и научного конгресса "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2020", Новосибирск, 22–24 апр. 2020 г. Т. 4, № 1. С. 74–82. DOI: 10.33764/2618-981X-2020-4-1-74-82.

4. Пененко А. В., Гочаков А. В., Пененко В. В. Алгоритмы на основе операторов чувствительности для анализа и решения задач обратного моделирования переноса и трансформации примесей в атмосфере // Труды Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 6–11 июля 2020 г. С. 239–242.

5. Penenko A., Zubairova U., Doroshkov A., Bobrovskikh A. Adjoint ensemble methods for inverse modeling of biological processes // Bioinformatics of Genome Regulation and Structure/Systems Biology : Abst. 11th Intern. multiconf., Novosibirsk, July 6–10, 2020. P. 184.

6. Пененко В. В., Пененко А. В. Обратное моделирование для прогнозирования и контроля качества окружающей среды // Труды Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 6–11 июля 2020 г. С. 243–245.

7. Пененко В. В. Вариационные методы и обратные задачи последовательного продолжения с усвоением данных наблюдений // Актуальные проблемы прикладной математики и механики : тез. докл. 10-й Всерос. конф. с международным участием,

посвященной памяти акад. А. Ф. Сидорова и 100-летию УрФУ, Екатеринбург, 1–6 сент. 2020. С. 56–57.

8. Пьянова Э. А., Пененко В. В., Гочаков А. В., Фалейчик Л. М. Моделирование процессов загрязнения воздушного бассейна акватории Байкала на основе сценарного подхода // Актуальные проблемы прикладной математики и механики : тез. докл. 10-й Всерос. конф. с международным участием, посвященной памяти акад. А. Ф. Сидорова и 100-летию УрФУ, Екатеринбург, 1–6 сент. 2020. С. 62–63.

9. Tsvetova E. A. Scenario modeling of hydrodynamics and impurity propagation in Lake Baikal // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. № 4. P. 950–951. DOI:10.31951/2658-3518-2020-A-4-950.

10. Пьянова Э. А., Пененко В. В., Фалейчик Л. М. Численные сценарные исследования процессов распространения загрязняющих примесей в Южном Прибайкалье // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 96. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10353.

11. Пьянова Э. А. Сценарное моделирование динамики атмосферы над территорией Новосибирска // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 95. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10352.

12. Курбацкая Л. И. Вихревое перемешивание импульса и тепла в устойчиво стратифицированных пограничных слоях: численное исследование // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 86. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10146.

13. Пененко А. В. Алгоритмы обратного моделирования на основе ансамблей решений сопряженных уравнений // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 92. DOI:10.24411/9999-017A-2020-10351.

14. Пененко В. В. Обратные задачи продолжения на основе математических моделей и данных наблюдений исследуемых процессов // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 92–93. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10157.

15. Пененко В. В., Пененко А. В. Современные подходы в обратном моделировании на основе вариационных методов и теории чувствительности для решения задач природоохранной тематики // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 93. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10382.

16. Пененко А. В., Гочаков А. В. Анализ параллельного ускорения алгоритма идентификации источников на основе ансамблей решений сопряженных уравнений // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. 111. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10354.

17. Цветова Е. А. Оценка загрязнения Малого моря (Байкал) с помощью численного моделирования // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит.

математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10169.

18. Юдин М. С. Бифуркационный каскад в модели распределения атмосферных полей с высотой в лесном массиве // Марчуковские научные чтения 2020 : тезисы Междунар. конф., посв. 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 окт. 2020 г. / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. С. DOI: 10.24411/9999-017A-2020-10173.

19. Kurbatskaya L. I. Eddy mixing, gravity waves and the intermittent turbulence in atmospheric flows under stronger stratification // Abst. of the Intern. conf. on the methods of aerophys. research, Novosibirsk, November 1–7, 2020. Pt. 2. Novosibirsk: Parallel, 2020. P. 92–93.

20. Penenko V. V., Penenko A. V., Ryanova E. A., Tsvetova E. A. Direct and inverse problems for evaluating ecological situations under anthropogenic and climatic influence // Abst. of the Intern. conf. on the methods of aerophys. research, Novosibirsk, November 1–7, 2020. Pt. 2. Novosibirsk: Parallel, 2020. P. 139–140.

Свидетельства о регистрации в Роспатенте

1. Свидетельство № 2020660310. Программа для ЭВМ "Программа для идентификации источников в нестационарных моделях адвекции-диффузии-реакции на основе операторов чувствительности по данным измерений типа изображений функции состояния модели" : св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ / Пененко А. В. Дата публикации 01.09.2020.

Свидетельства о регистрации в ФАП СО РАН

1. Св-во о регистрации программы в ФАП СО РАН № PR20003. Программа для идентификации источников в нестационарных моделях адвекции-диффузии-реакции на основе операторов чувствительности по данным измерений типа изображений функции состояния модели / Пененко А. В. Дата регистрации: 2020.12.28.

Участие в конференциях и совещаниях

1. Международная конференция "Фотограмметрия и дистанционное зондирование для цифровой экономики" в рамках 16-й Международной выставки и научного конгресса "ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2020", Новосибирск – 3 доклада (Пененко А. В., Курбацкая Л. И., Пьянова Э. А., Пененко В. В.).
2. 26-й Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Москва, 6–10 июля 2020 г. – 7 докладов, из них 1 приглашенный (Пененко В. В., Курбацкая Л. И., Пененко А. В., Гочаков А. В., Антохин П. Н., Цветова Е. А.; Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М., Пестунов Д. А., Домышева В. М., Шамрин А. М., Панченко М. В., Юдин М. С.).
3. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 6–11 июля 2020 г. – 2 приглашенных доклада (Пененко В. В., Пененко А. В.; Гочаков А. В.).
4. Международная конференция "Марчуковские научные чтения 2020" (МНЧ-2020), посвященная 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября 2020 г. – 10 докладов, из них 1 пленарный (Пененко В. В., Пененко А. В., Курбацкая Л. И., Пьянова Э. А., Фалейчик Л. М., Цветова Е. А.; Юдин М. С.).
5. 12-я Международная молодежная научная школа-конференция "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 4–12 октября 2020 г. – 2 доклада (Пененко В. В., Пененко А. В.).

6. 2-я Международная конференция по методам аэрофизических исследований, Новосибирск, 1–7 ноября 2020 г., – 3 доклада (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И.).

7. 27-я Конференция "Аэрозоли Сибири", Томск, 24–27 ноября 2020 г. – 6 докладов (Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В., Гочаков А. В., Антохин П. Н., Пьянова Э. А., Курбацкая Л. И. Юдин М. С.).

8. 11th International multiconference "Bioinformatics of genome regulation and structure/systems biology" ("BGRS/SB-2020"), Новосибирск, July 6–10, 2020 – 1 доклад (Пененко А. В.).

9. Society for Mathematical Biology Annual Meeting 2020, August 20, 2020 – 1 доклад (Penenko A. V.).

10. 7-я Международная Верещагинская байкальская конференция, Иркутск, 7–13 сентября 2020 г. – 1 доклад (Цветова Е. А.).

11. 10-я Всероссийская конференция с международным участием, посвященная памяти акад. А. Ф. Сидорова и 100-летию УрФУ, Екатеринбург, 1–6 сентября 2020 г. – 1 доклад (Пьянова Э. А., Пененко В. В., Гочаков А. В., Фалейчик Л. М.).

Участие в программных и организационных комитетах

1. Пененко В. В.:

– член программного комитета Международной конференции "Марчуковские научные чтения 2020" (МНЧ-2020), посвященной 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября 2020 г.;

– член программного комитета Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2020", Томск, 7–11 сентября 2020 г.;

– член программного комитета 26-го Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", Москва, 6–10 июля 2020 г.;

– член программного комитета 27-й Конференции "Аэрозоли Сибири", Томск, 24–27 ноября 2020 г.;

– член программного комитета 12-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 4–12 октября 2020 г.

2. Пененко А. В.:

– член программного комитета Международной конференции "Марчуковские научные чтения 2020" (МНЧ-2020), посвященной 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября 2020 г.;

– член программного комитета 12-й Международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач", Новосибирск, 4–12 октября 2020 г.

3. Пьянова Э. А. – член организационного комитета Международной конференции "Марчуковские научные чтения 2020" (МНЧ-2020), посвященной 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября 2020 г.

4. Юдин М. С.:

– член организационного комитета Международной конференции "Марчуковские научные чтения 2020" (МНЧ-2020), посвященной 95-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября 2020 г.;

– член организационного комитета Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды "ENVIROMIS-2020", Томск, 7–11 сентября 2020 г.

Международные научные связи

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

Итоговые данные по лаборатории

Публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science – 10

Публикаций, индексируемых в базе данных Scopus – 12

Публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ – 9

Докладов на конференциях 34, из них 4 пленарных и приглашенных

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. с.н.с. к.ф.-м.н.
6. Пьянова Э. А. н.с. к.ф.-м.н.
7. Коноплева В. С. инж. (0,2 ст.)
8. Голенко П. С. техник (0,2 ст.)
7. Иванова Г. И. техник (0,25 ст.)

Педагогическая деятельность

Пененко В. В. – профессор НГУ

Пененко А. В. – ст. преподаватель НГУ

Защита дипломов

1. Мукатова Ж. С. – магистр НГУ, руководитель Пененко А. В.
2. Коноплева В. С. – бакалавр НГУ, руководитель Пененко А. В.
3. Латышенко У. – бакалавр НГУ, руководитель Пененко А. В.

Студенты

4. Голенко П. – 1-й курс магистратуры НГУ, руководитель Пененко А. В.