### Отчет по этапам работ, завершенным в 2016 г. в соответствии с планом НИР института

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

Номер государственной регистрации НИР 01201370227.

Руководители: д.ф.-м.н. Кузин В.И., д.ф.-м.н. Пененко В.В.

**Раздел 2.** Развитие моделей и методов для оценок экологической перспективы».

Руководитель – д.ф.-м.н. Пененко В.В.

Разработаны теоретические основы вариационного подхода для построения корректных методов решения условно – корректных прямых, сопряженных и обратных задач. Эффект регуляризации вносят сопряженные функции, которые используются как сопряженные интегрирующие множители. В рамках вариационного принципа они получаются в результате решения корректных сопряженных уравнений. Как следствие, определяется совокупность соотношений баланса, типа законов сохранения, связывающих функции состояния исходной задачи с соответствующими сопряженными функциями. При этом порядок исходной задачи понижается на единицу, и её решение получается на основе соотношений баланса.

Разработаны и реализованы новые численные схемы усвоения данных для процессов химической трансформации примесей на основе двухстадийных дискретно-аналитических численных схем, которые согласованы, в смысле тождества типа Лагранжа, для решений прямых и сопряженных задач.

С использованием концепции сопряженных интегрирующих множителей реализована модель трансформации биоаэрозолей на основе уравнения Смолуховского. Построенные схемы обладают свойствами аппроксимации, устойчивости и безусловной монотонности. Проведены численные эксперименты по выяснению вклада различных процессов в динамику популяции биоаэрозолей.

|  |  |
| --- | --- |
| pic1 |  |
| Рис. 1. Вертикальное распределение концентрации озона, полученное 8 августа 2013 г. в ходе выполнения самолетного зондирования | Рис.2. Восстановленное вертикальное распределение мощности источника озона для данных самолетного зондирования |

На основе вариационного подхода к решению обратных задач предложен алгоритм восстановления источников субстанции (на примере озона) по данным самолетного зондирования. В схеме регуляризации по А.Н. Тихонову реализован выбор параметра регуляризации из предположения о гладкости решения. Параметр регуляризации ищется с помощью решения вспомогательной обратной задачи с параметрическим заданием искомого источника. Результаты расчетов с использованием алгоритма свидетельствуют о том, что данные измерений количественно согласуются со сценарием, когда фотохимическое образование озона в пограничном слое атмосферы преобладает над процессами его поступления из вышележащих слоев, на внутрисуточных масштабах времени в фоновом районе Западной Сибири (рис. 1,2).

Выполнено численное моделирование турбулентной структуры проникающей конвекции над островом тепла относительно малого размера в устойчиво стратифицированной покоящейся среде. Воспроизведены результаты лабораторного эксперимента. Нестационарная задача решена численно в осесимметричной постановке. RANS–модель воспроизводит тонкие структурные особенности формирования проникающей турбулентной конвекции.

|  |  |
| --- | --- |
|  | В численных экспериментах после нескольких минут от начала поступления тепла от нагревателя формировалось квазиустановившееся состояние термической циркуляции, при котором интенсивность острова тепла и поверхностный поток тепла оставались неизменными с течением времени.  Полученные результаты показывают образование в форме «шляпы» в верхней части поднимающегося термического факела, сопровождающееся возникновением стационарной волны, имеющей максимальную амплитуду на равновесной высоте 0,7 (рис. 3) при соответствующих критериях подобия. Такой эффект может возникать в реальных ночных планетарных пограничных слоях, в которых преобладают неустойчивые (конвективные) условия, обусловленные восходящим потоком тепла от урбанизированной поверхности при небольших скоростях движения окружающего воздуха. |
| Рис. 3.Нормализованная вертикальная скорость над источником тепла. Волна максимальной амплитудывидна на равновесной высоте . Здесь  - характерная высота перемешанного слоя |

Продолжены исследования по Забайкальскому краю, где на юго-востоке создается крупный горнопромышленный кластер. Цель исследований состоит в оценке последствий воздействия его объектов на окружающую среду и расположенные там особо охраняемые природные территории. Проведены сценарные расчеты для зимнего периода, моделирующие местные особенности процессов формирования температурных инверсий и вертикального переноса примесей, связанные с особенностями рельефа рассматриваемой территории. Анализ результатов сценарных расчетов показал, что в зимний период вынос «тяжелых» загрязнений от котельной горно-обогатительного комбината за его пределы будет незначительным; однако северо-западный фоновый поток будет способствовать накоплению относительно небольших концентраций загрязнений у границ Борзинского заказника ( рис.4).



Рис.4. Изолинии концентраций пассивных примесей на высоте приземного слоя через 16 ч после

начала работы источника: слева – «легкая», справа – «тяжелая» примеси.

Исследовано влияние температурной инверсии динамического происхождения на течение воздушных масс над изолированным препятствием в стратифицированной атмосфере**.** При обтекании препятствия заметно уменьшаются как наветренная, так и подветренная скорости фронта.

С помощью математической модели изучены особенности процессов естественной и вынужденной конвекции подо льдом в глубоком озере. Численные эксперименты показали, что естественная конвекция подо льдом интенсифицирует процесс обновления глубинных вод, запущенный случайными событиями всплытия и разложения метангидратов.

В соответствие с договором о сотрудничестве с Восточно-Казахстанским техническим университетом им. Д. Серикбаева, продолжались работы по созданию информационно-аналитической системы «Эко-мониторинг» в г. Усть-Каменогорске. Развиваемая нами вариационная технология моделирования использована в алгоритмах математического обеспечения системы прогнозирования качества атмосферы. В этой системе оперативно усваиваются данные с сети автоматизированных измерительных станций, расположенных в разных районах города, и используются для прогнозирования изменений качества воздуха в городе и регионе.