### Отчет по этапам работ, завершенным в 2015 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.

Выполнен цикл исследований по развитию базового комплекса моделей гидротермодинамики и химии атмосферы с оценками влияния неопределенностей для решения задач природоохранного прогнозирования. Система моделирования строится на вариационных принципах для совместного использования математических моделей процессов и данных мониторинга в реальных условиях. Различного рода неопределённости имеются во всех существующих системах прогнозирования. Наиболее существенные из них содержатся в моделях: в формулировках физических параметризаций, таких как турбулентность, динамика гидрологического цикла атмосферы, механизмы трансформации газо-аэрозольных субстанций; в задании начальных данных, а также источников эмиссии природных и техногенных воздействий. В результатах наблюдений также содержатся неопределенности за счет ошибок измерительных приборов. Еще один класс неопределённостей имеется в так называемых «моделях наблюдений», описывающих преобразование образов измеряемых величин в терминах функций состояния моделей процессов.

Разрабатываемая нами вариационная технология моделирования реализуется с использованием концепции сопряженных интегрирующих множителей. На этой основе построены численные схемы, обладающие свойствами полной аппроксимации в рамках методов расщепления для всей совокупности разномасштабных процессов, учитываемых в моделях. В результате получена совокупность локально-одномерных подсистем. Каждая их них состоит из следующих объектов: основная прямая и сопряженные задачи, алгоритмы расчета функций неопределенности и чувствительности. Они составляют основу для разработки алгоритмов реализации прямых и обратных связей в моделируемой системе. Все объекты и подсистемы получаются взаимно согласованными в структуре вариационного принципа. Окончательно их решение объединяется на основе свойств аддитивности функционалов вариационного принципа, порождающего эти подсистемы.

Проведена адаптация программного комплекса оригинальной негидростатической мезометеорологической 4D модели к условиям юго-восточного Забайкалья. Выполнены сценарные расчеты для исследования особенностей формирования локальных атмосферных циркуляций и процессов переноса примесей в зимний период в районе Быстринского месторождения полиметаллов, для освоения которого планируется строительство горно-обогатительного комбината.





Рис. Район Быстринского месторождения. Вертикальные разрезы (при Y=47.2 км) поля вектора скорости ветра и полей «легкой» примеси (сверху) и «тяжелой» примеси (снизу) за 9 часов работы источника примеси. Расчет выполнен для условий устойчивой стратификации фоновой атмосферы.

Для моделирования гравитационных течений в атмосфере разработаны и тестированы негидростатические модели, основанные на дискретных аппроксимациях конечных разностей и конечных элементов и включающие полу-Лагранжевы аппроксимации. Модели тестировались в широком спектре масштабов, от сотен метров до сотен километров.

 В рамках RANS приближения разработана новая версия параметризаций в теории турбулентного переноса импульса, тепла и примесей в стратифицированных течениях атмосферы. Коэффициенты вихревой диффузии импульса, тепла и скалярных примесей рассчитываются с учетом эффекта внутренних гравитационных волн и зависят от трех параметров: кинетической энергии турбулентности, скорости её спектрального расходования (диссипации) и дисперсии турбулентных флуктуации температуры, определяемых из решения замкнутых уравнений переноса. Параметризация предназначена для включения в модели циркуляции воздушных масс и распространения примесей в областях нижней атмосферы над термически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью.

Развиваемая в лаборатории вариационная методология моделирования для задач динамики атмосферы отрабатывается также на задачах гидротермодинамики водных объектов. Эта часть работ выполняется на примере озера Байкал, которое играет фундаментальную роль в климато-экологической системе Сибирских регионов как источник и как рецептор природных и антропогенных воздействий. Выполнены исследования по оценке влияния механизмов и продуктов трансформации метана на гидродинамические процессы в озере.

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.