### Отчет по этапам работ, завершенным в 2014 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.

Продолжена работа над вариационной методикой и алгоритмами решения задач динамики и химии атмосферы на базе совместного использования математических моделей и данных наблюдений. Разработаны новые версии алгоритмов решения прямых и обратных задач в эволюционных моделях для идентификации параметров и формирования управлений при прогнозировании эволюции климато-экологических ситуаций и оценках экологических рисков.

 Разработаны новые версии базовых моделей многофункционального комплекса «Атмосфера – окружающая среда», как в части реализации программ, так и введения новых параметризаций.

В развитие методики разделения масштабов процессов и исследования чувствительности, выполнен цикл исследований по анализу влияния процессов подсеточного масштаба на формирование структуры атмосферных движений в областях над термически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью. С этой целью выполнены исследования по развитию методики параметризации турбулентных процессов. Данные прямых измерений вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла доплеровским радаром и системой радиоакустического зондирования в верхней тропосфере и нижней стратосфере использованы для оценки применимости трех RANS приближений моделирования стратифицированной турбулентности в окружающей среде: модифицированной для стратифицированных течений “стандартной”  модели турбулентности, алгебраической двухпараметрической  модели рейнольдсовых напряжений и трехпараметрической  модели турбулентности.

|  |  |
| --- | --- |
| Km-colorРис. 1. Вихревой коэффициент диффузии импульса , измеренный допплеровским радаром в сравнении со значениями коэффициента, оцененными по стандартной  модели (*2*), алгебраической модели рейнольдсовых напряжений и модифицированной трехпараметрической RANS модели турбулентности настоящего проекта (4). | Все характеристики турбулентности - кинетическая энергия, скорость ее диссипации, вертикальные профили потенциальной температуры (атмосферная устойчивость) и средней скорости ветра - взяты из данных прямых измерений для всех трех моделей турбулентности. Согласие с данными измерений вертикального профиля коэффициента вихревой диффузии импульса, вычисленного по двухпараметрическим схемам турбулентности, носит скорее качественный характер. Тогда как профиль вертикального вихревого коэффициента диффузии импульса, вычисленный по трехпараметрической RANS - модели турбулентности, хорошо согласуется с данными, полученными прямыми измерениями в верхней тропосфере и нижней стратосфере (рис. 1). |

Двумерные модели в негидростатическом и гидростатическом вариантах, с аппроксимацией по методу конечных элементов, применялись для изучения распространения атмосферного потока над подстилающей поверхностью с резкой сменой шероховатости. Расчеты проводились для нейтральной температурной стратификации. Показано, что большой градиент шероховатости и влияние динамических неоднородностей орографии приводят к эффекту, который удовлетворительно описывается только негидростатической моделью, что подтверждается сравнением с данными измерений.

Выполнен анализ эффективности параллельной реализации различных модулей программного кода негидростатической мезометеорологической модели в области со сложным рельефом при наличии термических и динамических неоднородностей. Проведены сравнительные эксперименты с разрешением модели 134х129х50 и 267х258х50 узлов. Анализ результатов расчетов показал, что использование более мелкого разрешения и соответствующих уточнений параметров моделей позволило получить более качественную картину моделируемых процессов.

 В рамках сотрудничества по проекту Европейской Комиссии COST1004 выполнено тестирование разработанных нами алгоритмов решения жестких систем кинетических уравнений атмосферной химии на цикле механизмов трансформации, используемом в Датском Метеорологическом институте. Сравнение показало общее качественное и количественное согласие с результатами, полученными другими методами. Одним из неоспоримых преимуществ разработанных нами дискретно-аналитических численных схем является их безусловная монотонность.