

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ
СПУТНИКОВЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ И ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ КАРТЫ**

А.К. Лукьянов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. М.Ю. Катаев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: hyena116@mail.ru

В настоящее время применяются различные наземные и космические, системы мониторинга характеристик газового состава атмосферы. За последние годы были проведены многочисленные спутниковые эксперименты, позволившие получить большое количество информации о вариациях общих содержаний (ОС) и вертикальных профилей содержания озона, водяного пара и многих других малых газовых составляющих. Основной целью систем мониторинга газового состава является получение информации для изучения пространственно-временной изменчивости климатообразующих газов в атмосфере. Результаты такого анализа, например, для различных временных и пространственных масштабов имеют большое значение, поскольку используются: а) в глобальных моделях атмосферы для прогноза климатических изменений; б) для определения интенсивностей источников и стоков; в) с целью выделения физических, климатических и т.д. факторов, являющихся причинами наблюдаемых вариаций содержаний газов.

Разнообразие методов и технических средств слежения за параметрами атмосферы и поверхности Земли обусловлено огромными пространственными масштабами и изменчивостью их во времени и пространстве. В этой связи, спутниковые методы являются единственным источником информации, способным предоставлять регулярную информацию о параметрах атмосферы в пределах всей территории планеты. Обработка данных спутникового зондирования трудоемкий процесс, состоящий из нескольких этапов предварительной и тематической обработки и анализа. Получение информации об объектах исследования, по данным измерений из космоса, невозможно без тщательного проведения численных модельных экспериментов. Обзор литературы показывает, что для решения задач моделирования и обработки спутниковой информации разработано много численных методик и программ, однако большинство из них рассчитано на моделирование или обработку для одной географически локализованной точки, либо некоторой области, либо определенной полосы широт. Учет сезонов года, географического положения точки или других изменений по трассе полета требует специальной организации вычислений. Впоследствии возникают задачи сбора расчетов в одно целое, обработки, анализа и визуализации данных, которые получаются алгоритмически затруднительными и затратными по времени. Для решения таких задач необходима разработка специальных программ, позволяющих учитывать изменение атмосферных параметров в течение, например, года и в масштабах всей планеты.

Большинство моделей определения содержания газов основаны на параметрических подходах (например, метод регуляризации Тихонова или метод оптимальных оценок), а в данной работе рассматривается подход, основанный на непараметрическом подходе, в основе которого лежит метод эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) [1]. Задачей проекта являются численные исследования метода определения газового состава при различных атмосферных условиях, в разное время года (учет различных климатических зон), для достижения максимально возможной точности. Далее, полученные результаты анализируются, и строится динамическая карта распределения содержания газов над изучаемой территорией. Изучение статистических свойств динамической карты, в сочетании с картами метеорологических параметров позволит выявить закономерности изменения содержания парниковых газов во времени и пространстве.

Предложенный метод решения обратной задачи восстановления общего содержания газов атмосферы по спутниковым данным основан на модификации метода эмпирических

ортогональных функций. Модификация заключается в использовании дополнительной априорной информации при построении ковариационной матрицы, что приводит к уточнению оценки общего содержания атмосферных газов.

В настоящий момент реализован численный метод определения содержания парниковых газов в атмосфере, по спутниковым данным, основанный на методе эмпирических ортогональных функций, который позволяет получать устойчивые оценки общего содержания атмосферных газов за счет учета дополнительной априорной информации. Планируется создание системы хранения и обработки спутниковых данных и результатов расчетов содержания атмосферных газов. А также, метода построения динамической карты распределения содержания парниковых газов над изучаемой поверхностью. Результаты расчетов для пользователей будут доступны на интернет-сайте.

Разработанный комплекс программ может найти применение для определения уровня атмосферных газов для изучаемой территории, за выбранное время. Это позволит следить за изменением содержания атмосферных газов, как во времени, так и в пространстве. Анализ выявленных изменений позволит определить степень зависимости между содержанием атмосферных газов и изменениями климата, метеорологическими параметрами. Полученные результаты могут являться основой для оценки экологического состояния территории, метеорологии и физики атмосферы.

Проект направлен на решение задачи построения динамических карт изменения содержания атмосферных газов H_2O , CO_2 и CH_4 и других над территорией Западной Сибири (как тестовой площадки) и далее над территорией России на регулярной, спутниковой пространственно-временной сетке. Содержание атмосферных газов предлагается определять по данным спутниковых спектрометров GOSAT и OCO-2 с помощью подхода, в основе которого лежит метод эмпирических ортогональных функций. Спутниковые сигналы представляют собой спектры отражения солнечного излучения от земной поверхности в ближней инфракрасной области. Для решения задачи определения газового состава атмосферы по спутниковым сигналам необходимо создание системы обработки больших объемов данных, который измеряется десятками гигабайт в день. Для их обработки и последующего анализа требуются специальные, в том числе и интеллектуальные методы и на их основе алгоритмы. Предлагаемый метод обработки (решение обратной задачи), требует разработки специализированных алгоритмов машинного обучения. Для визуализации результатов обработки необходимы алгоритмы построения динамических карт (пространственно-временного распределения содержания изучаемых газовых компонент).

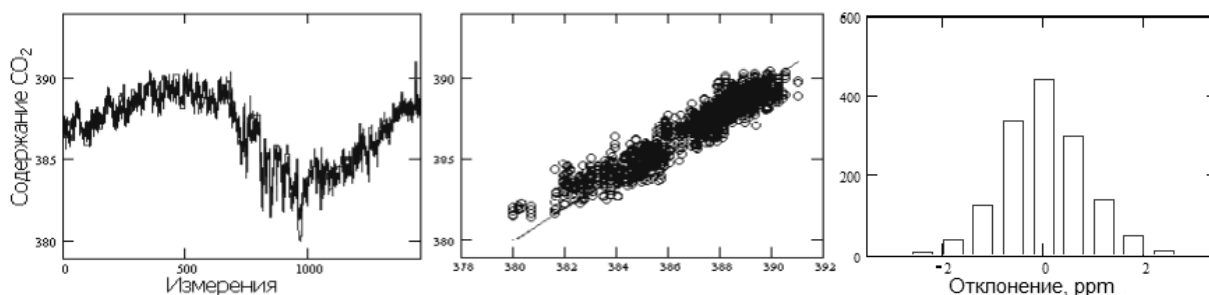


Рис. 1. Расчёт содержания углекислого газа по данным спутника GOSAT для станции Lamont (США) (1753 спутниковых сигналов) с использованием априорных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катаев М.Ю., Катаев С.Г., Андреев А.Г., Базелюк С.А., Лукьянов А.К. Непараметрические математические методы восстановления общего содержания CO_2 из данных спутникового мониторинга // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24). – Ч. 3. – С. 181–186.