

Идеи Г.И. Марчука и алгоритмы усвоения данных на основе ансамблей решений сопряжённых уравнений

Пененко А.В.

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, Россия

aleks@ommgp.sscs.ru

В работе [1] предложен подход к конструированию численных алгоритмов решения обратных задач, состоящий в получении для каждого элемента данных соотношения чувствительности на основе сопряженного уравнения с последующим объединением получившихся соотношений в систему. Функции чувствительности можно агрегировать в оператор чувствительности и решать полученное с его помощью семейство квазилинейных операторных уравнений алгоритмами типа Ньютона-Канторовича. Введение системы функций проектирования данных (извлечения характерных особенностей) позволяет контролировать размерность решаемых уравнений и фильтровать шум.

Мы развиваем подход на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряжённых уравнений в приложении к многокомпонентным многомерным моделям процессов адвекции-диффузии-реакции. Благодаря ансамблевой структуре, алгоритмы естественным образом распараллеливаются. Это позволяет работать с трехмерными моделями переноса и трансформации примесей в реалистичных «городских» и «региональных» сценариях оценки качества воздуха по данным измерений [2]. При использовании соответствующих сопряженных уравнений можно работать с нелинейными операторами измерений, например, для анализа данных дистанционного зондирования [3]. Разработанные алгоритмы решения обратных задач применяются в качестве основы для решения задач усвоения данных, когда новые данные измерений поступают в ходе моделирования.

Операторы чувствительности позволяют оценивать информативность данных и также разрабатывать гибридные алгоритмы уточнения решений обратных задач, включающие методы машинного обучения. Для этого можно использовать априорную информацию о структуре функции источников и свойства оператора чувствительности обратной задачи, позволяющие оценить артефакты отображения «истинного» решения на результат его восстановления с соответствующей коррекцией [4].

Список литературы

1. Марчук Г.И. О постановке некоторых обратных задач // Доклады Академии Наук СССР / Изд. Наука. 1964. Т. 156, № 3. С. 503–5064.
2. Penenko A. V., Antokhin P. N., Baklanov A. A., Penenko V. V. Using a System of Models of Various Complexity in Inverse Modeling of the Pollutant Transport and Transformation in the Atmosphere // Russian Meteorology and Hydrology. 2025. vol. 50, № 6. pp. 482–4909 p.
3. Penenko A. V., Penenko V. V., Tsvetova E. A. Data Assimilation Algorithms for Atmospheric Chemistry Models // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2025. vol. 61, № 3. pp. 378–39013 p.
4. Penenko A., Emelyanov M., Rusin E., Tsybenova E., Shablyko V. Hybrid Deep Learning and Sensitivity Operator-Based Algorithm for Identification of Localized Emission Sources // Mathematics. MDPI AG, 2024. vol. 12, № 1. p. 781 p.