

Моделирование турбулентного переноса примесей в планетарном пограничном слое с применением методов крупных вихрей и методов машинного обучения

Научный руководитель – Криницкий Михаил Алексеевич

Герасимов Илья Александрович

Студент (бакалавр)

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

E-mail: gerasimov.ia@phystech.edu

Планетарный пограничный слой атмосферы (ППС) играет ключевую роль в контексте переноса загрязняющих веществ, что непосредственно влияет на экологическое состояние атмосферы и подстилающей поверхности [1]. Поэтому моделирование распространения примесей в ППС является фундаментальной задачей, поскольку точное прогнозирование необходимо для оценки качества воздуха на различных масштабах.

Традиционно считается, что распространение газовых и аэрозольных примесей в ППС хорошо аппроксимируется с использованием функции плотности нормального распределения [2], как показано на рис. 1, однако существующие методы расчета ограничены вычислительными ресурсами из-за сложности моделирования турбулентных процессов, возникающих при взаимодействии воздушных масс с подстилающей поверхностью. Полуэмпирические подходы к прогнозированию переноса загрязнений, демонстрируют невысокую точность, особенно в условиях сложной топографии и неоднородной подстилающей поверхности [3]. Целью настоящего исследования является разработка методологии аппроксимации первых моментов пространственного распределения примесей в турбулентном ППС с применением методов машинного обучения (МО). Для получения референсной коллекции данных мы используем метод крупных вихрей для численного моделирования атмосферы с высоким разрешением.

В рамках исследования были проанализированы первые два центральных момента распределения примеси по вертикальной и горизонтальной осям, осредненные по времени, в условиях стационарного ППС. Для формирования коллекции обучающих данных было проведено численное моделирование распространения примесей методом крупных вихрей [4]. В качестве варьируемых входных параметров модели задавались внешние условия, такие как шероховатость подстилающей поверхности, градиент температуры над верхней границей ППС и т.д., одинаковые для всего домена. Также, для каждого источника задавались координаты и его мощность. Эти же параметры использовались для формирования признаков описания событий (вариантов распространения примесей в атмосфере при заданных внешних параметрах) при решении задачи в подходе машинного обучения. Полученные результаты численного моделирования сравнивались с аппроксимациями, рассчитанными при помощи трех различных подходов: традиционной теории на основе Гауссова распределения [3], классических алгоритмов МО и искусственных нейронных сетей (ANN). В качестве классических алгоритмов МО были использованы: линейная модель, модель случайных лесов и модель градиентного бустинга Catboost. Сравнительный анализ результатов продемонстрировал превосходство методов машинного обучения в сравнении с традиционным полуэмпирическим подходом.

В перспективе планируется расширение методологии для учета большего количества атмосферных параметров и более разнообразных условий подстилающей поверхности. Также рассматривается возможность применения методов глубокого обучения для повышения точности прогнозирования на больших временных масштабах.

Благодарности

Исследование проведено в рамках Соглашения № 075-03-2024-117 от 17.01.2024 Московского физико-технического института.

Источники и литература

- 1) Hendrik Tennekes; The atmospheric boundary layer. Physics Today 1 January 1974; 27 (1): 52-63. <https://doi.org/10.1063/1.3128397>
- 2) Sutton O. G., “A theory of eddy diffusion in the atmosphere”, Proc. Roy. Soc. London, A, 135, 1932, pp.143-165.
- 3) 3.Ražnjević, A., van Heerwaarden, C., and Krol, M.: Evaluation of two common source estimation measurement strategies using large-eddy simulation of plume dispersion under neutral atmospheric conditions, Atmos. Meas. Tech., 15, 3611–3628, <https://doi.org/10.5194/amt-15-3611-2022>, 2022.
- 4) 4.Tkachenko, E.V., Debolskiy, A.V. & Mortikov, E.V. Intercomparison of Subgrid Scale Models in Large-Eddy Simulation of Sunset Atmospheric Boundary Layer Turbulence: Computational Aspects. Lobachevskii J Math 42, 1580–1595 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1995080221070234>

Иллюстрации

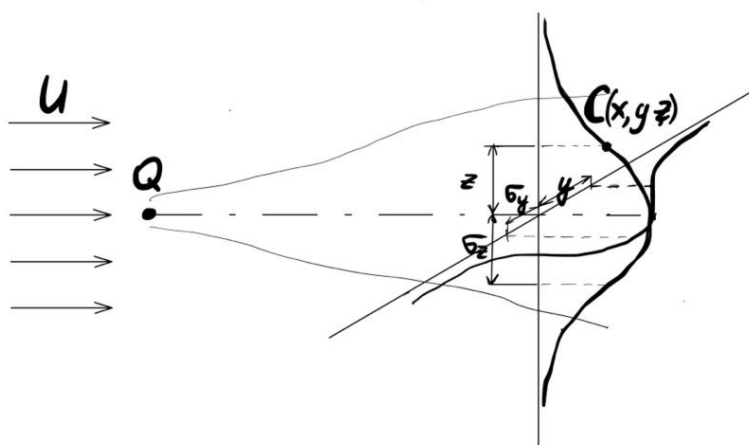


Рис. : Схематическое изображение распространение примеси. Q - источник, U - скорость ветра