

ОБРАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ ПОЛИГОНОВ ТБО: СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ

Сабреков А.Ф.^{1,2}, Терентьева И.Е.¹, Глаголев М.В.^{1,2,3,4}, Коцюрбенко О.Р.^{2,3}

¹*Томский государственный университет, Томск, Россия*

sabrekovaf@gmail.com

²*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия*

³*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

⁴*Институт лесоведения РАН, с. Успенское (Московская обл.), Россия*

Аннотация: сравниваются два подхода к реализации метода обратной задачи для измерения удельного потока метана из полигонов ТБО: лагранжевы и эйлеровы. Сопоставление осуществляется по данным, полученным в мае 2017 года на полигонах ТБО Ханты-Мансийска и Сургута. Установлено, что подходы приводят к разным величинам удельного потока и имеют разную чувствительность к входным данным.

1. Введение

Полигоны захоронения отходов (ПЗО) выделяют в атмосферу значительные количества метана (CH_4), важного парникового газа для климатической системы Земли. При расчете для отрезка 100 лет потенциал глобального потепления для метана в 28 раз больше, чем для углекислого газа. Общий вклад ПЗО оценивается в первые десятки процентов от всего антропогенного выделения CH_4 в атмосферу. В связи с этим МГЭИК рекомендует всем странам провести оценку эмиссии метана из ПЗО, обращая особое внимание на полигоны захоронения твердых бытовых отходов (ТБО), как основной источник метана (IPCC, 2013).

В подавляющем большинстве стран мира эмиссия CH_4 из полигонов ТБО вычисляется на основе моделей, учитывающих такие характеристики поступающих отходов как масса, плотность, время захоронения, состав и т.д. Однако эти модели зачастую являются эмпирическими, откалиброванными по весьма ограниченному набору данных и/или не подвергаются валидации (Mønster et al., 2015). Помимо этого, модели не отражают того, что выход газа из тела полигона неоднороден в пространстве и времени: наибольшие количества метана выходят через трещины, борта, системы сбора жидких стоков и т.п. (Scheutz et al., 2011). В связи с этим измерение эмиссии метана из полигонов ТБО становится не только насущной, но и весьма сложной задачей. Неоднородность выделения CH_4 ограничивает применение традиционно используемого для оценки удельного потока (УП) газов из экосистем камерного метода, поскольку для надёжных оценок требуется очень большое количество измерений. На активно заполняемых свежими ТБО полигонах установка камер крайне затруднена или невозможна (см., например, (Terent'eva et al., 2017) и ссылки там). В связи с этим на полигонах ТБО разумнее применять микрометеорологические методы, с помощью которых УП газа вычисляется по данным о его концентрации в приземном слое воздуха над полигоном и о характеристиках циркуляции атмосферы в этом слое. Такой подход позволяет получить релевантную оценку УП с полигона, отражающую неоднородность выделения газа из различных его частей (Terent'eva et al., 2017).

Существует несколько видов микрометеорологических методов, из них на полигонах ТБО использовались метод турбулентных пульсаций (Lohila et al., 2007), метод распространения примеси (Mønster et al., 2015), метод вертикального зондирования шлейфа (Goldsmith et al., 2012) и ряд других методов. Все они характеризуются различными недостатками, среди которых основными считаются ограниченная применимость, высокая стоимость оборудования, отсутствие четких границ области, для которой ведется измерение и т.д. Альтернативой этим методам может быть метод обратной задачи (МОЗ). Общая суть этого микрометеорологического метода состоит в вычислении УП исходя из более подробного (чем в вышеупомянутых методах) описания транспорта газа в приземном слое

атмосферы, точного указания области измерения и условий на её границе и т.д. Реализован МОЗ может быть в двух видах, в зависимости от постановки задачи: в лагранжевом (когда характеристики транспорта привязываются к частице примеси в данный момент времени) и в эйлеровом (когда характеристики транспорта привязываются к точке пространства, в которой в данный момент находится частица). Задачей настоящей работы было сопоставить эти два вида МОЗ: оценить, насколько сопоставимы полученные с помощью них величины УП, и проанализировать, насколько каждый из методов чувствителен к входным данным.

2. Использованные модели, результаты и чувствительность

Структура входных данных (полученных в мае 2017 года) и реализация эйлеровой модели аналогичны описанным в (Sabrekov et al., 2017). Структура лагранжевой модели задана согласно (Flesch et al., 2004), сама модель реализована в программной среде MATLAB 7.8 (MathWorks, США). Концентрация метана измерялась каждые 5 минут, затем усреднялась за 15-ти минутные отрезки, для которых затем вычислялись параметры турбулентности. Каждая из восьми проведённых серий измерений (по две на двух картах полигонов ТБО в двух городах) включала 10-11 таких отрезков. УП, определяемый с помощью лагранжева подхода, вычислялся как среднее удельного потока по всем отрезкам серии. В рамках эйлерова подхода все отрезки объединяются и рассматриваются, как единый массив данных, для которого вычисляется одно значение удельного потока.

Сопоставление двух массивов УП, полученных с помощью разных подходов, показало, что использование эйлерова подхода приводит к величинам УП на 20% меньшим, чем значения, полученные посредством лагранжева подхода. Оба подхода максимально чувствительны к входным данным о концентрации, однако чувствительность УП, вычисленного с помощью эйлерова подхода, к изменению единичного значения концентрации в серии в два раза выше, чем для лагранжева подхода. Чувствительность обоих подходов к данным о турбулентности пренебрежимо мала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в рамках научного проекта № 15-45-00101 «р_урал_а». Полевые работы частично профинансированы грантом Российского Научного Фонда (проект № 17-17-01204).

Литература

- Flesch T.K., Wilson J.D., Harper L.A., Crenna B.P., Sharpe R.R. Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: a field trial // *Journal of Applied Meteorology*. 2004. V. 43. P. 487-502.
- Goldsmith Jr. C. D., Chanton J., Abichou T., Swan N., Green R., Hater, G. Methane emissions from 20 landfills across the United States using vertical radial plume mapping // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2012. V. 62. P. 183-197.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In: Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Naues, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Lohila A., Laurila T., Tuovinen J.-P., Aurela M., Hatakka J., Thum T., Pihlatie M., Rinne J., Vesala T. Micrometeorological measurements of methane and carbon dioxide fluxes at a municipal landfill // *Environmental science & technology*. 2007. V. 41. P. 2717-2722.
- Mønster J., Samuelsson J., Kjeldsen P., Scheutz C. Quantification of methane emissions from 15 Danish landfills using the mobile tracer dispersion method // *Waste Management*. 2015. V. 35. P. 177-186.
- Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Terentieva I.E., Kotsyurbenko O.R. 2017. Methane emission from landfills of Khanty-Mansiysk region // *Углеродный баланс болот Западной Сибири в контексте изменения климата: материалы междунар. конф. (Ханты-Мансийск, 19-29 июня 2017 г.)*. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. С. 25-28.
- Scheutz C., Fredenslund A.M., Chanton J., Pedersen G.B., Kjeldsen P. Mitigation of methane emission from Fakse landfill using a biowindow system // *Waste Management*. 2011. V. 31. P. 1018-1028.
- Terent'eva I.E., Sabrekov A.F., Glagolev M.V., Kotsyurbenko O.R. Methane emission from municipal solid waste landfills // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017. V. 42. P. 327-334.