

АНАЛИЗ КОРРЕКТНОСТИ ПОЧВЕННО-ГРАДИЕНТНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ ГАЗОВ

Моченов С.Ю.¹, Чуркина А.И.^{1,5}, Глаголев М.В.^{1,2,3,4,5}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
semenum7@gmail.com

²Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия
m_glagolev@mail.ru

³Томский государственный университет, Томск, Россия

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

⁵Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
asia_ch@mail.ru

Аннотация: проведена проверка математической корректности почвенно-градиентного метода, разработанного для измерения потока метана и ряда других величин. В исходные данные вносилась погрешность, после чего определялась погрешность рассчитываемых по ним потока метана, скоростей его продукции и потребления. Показано, что погрешность результатов возрастала на порядки больше погрешности данных, что свидетельствует о плохой обусловленности метода.

1. Введение

Метан является одним из основных газов, участвующих в глобальном изменении климата. Поскольку основным природным источником метана являются болотные почвы, большое внимание уделяется разработке методов измерения его эмиссии из почвы в атмосферу (Орлов и др., 1987; Глаголев, 2010; Baird et al., 2010). Недавно был предложен почвенно-градиентный метод оценки удельного потока метана (Шнырёв, 2016), с математической точки зрения основанный на решении краевой задачи диффузии метана в почве. Автор метода предположил, что мощность источника метана (w , $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{час}^{-1}$) в почве линейно возрастает с глубиной z по формуле 1:

$$w = k \cdot z - U \quad (1),$$

где k и U – параметры функции "сток-источник", и дал аналитическое решение краевой задачи в виде полинома 3-ей степени, коэффициенты которого содержат удельный поток на поверхности почвы (Q , $\text{мг} \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{м}^2$), а также параметры k и U . Таким образом, если аппроксимировать какой-либо профиль экспериментально измеренных концентраций метана в почве кубическим полиномом, то из его коэффициентов можно получить значение Q (а также k и U). Целью нашей работы было проверить устойчивость данного метода к погрешности данных как одной из составляющих корректности (или, точнее говоря, обусловленности) задачи.

2. Методы

Исходные данные (распределение $[\text{CH}_4]$ в почве по глубине) и методика расчета по ним Q , k и U были взяты из (Шнырёв, 2016). Чтобы установить устойчивость предложенного автором метода к погрешностям входных данных, расчет, во-первых, проводился собственно для экспериментальных данных из (Шнырёв, 2016). При этом были получены некоторые значения $Q_{\text{ш}}$, $U_{\text{ш}}$ и $k_{\text{ш}}$, которые, разумеется, совпадали с вычисленными в (Шнырёв, 2016). Во-вторых, проводились расчеты для данных, полученных из исходных путем наложения на них случайных погрешностей, удовлетворяющих нормальному распределению. При этом с зашумленными данными было выполнено 8 вычислительных экспериментов – для уровней «шума», характеризующихся коэффициентами вариации 1, 5, 7, 9, 15, 20 и 25%. Количество статистически испытаний в каждом вычислительном эксперименте составляло 10000, после чего рассчитывались средние относительные погрешности Q , U и k (относительно $Q_{\text{ш}}$, $U_{\text{ш}}$ и

к_{III}). Все расчеты проводились при помощи стандартных функций MATLAB v.2008a («MathWorks», США).

3. Результаты и обсуждение

Основные результаты представлены на рисунке 1. Из него видно, что погрешность рассчитываемых параметров растет существенно быстрее погрешности исходных данных. Причем особенно сильный рост погрешности наблюдается именно в случае вычисления Q (напомним, что метод предлагался для определения, главным образом, этого параметра). Например, при погрешности данных в 1%, удельный поток метана может иметь погрешность 134%, а с увеличением погрешности данных до 25%, погрешность Q может достичь 3405%.

Отсюда можно сделать вывод, что предложенный градиентный метод не следует рекомендовать к использованию на практике без его существенной доработки – настоящая его версия не всегда дает даже правильный знак удельного потока, не говоря уже о правильном значении. С более общей точки зрения следует отметить, что поскольку результаты полевых измерений всегда содержат некоторую погрешность, то, на наш взгляд, любой предлагаемый метод следует анализировать с позиции его устойчивости к разумному уровню погрешности.

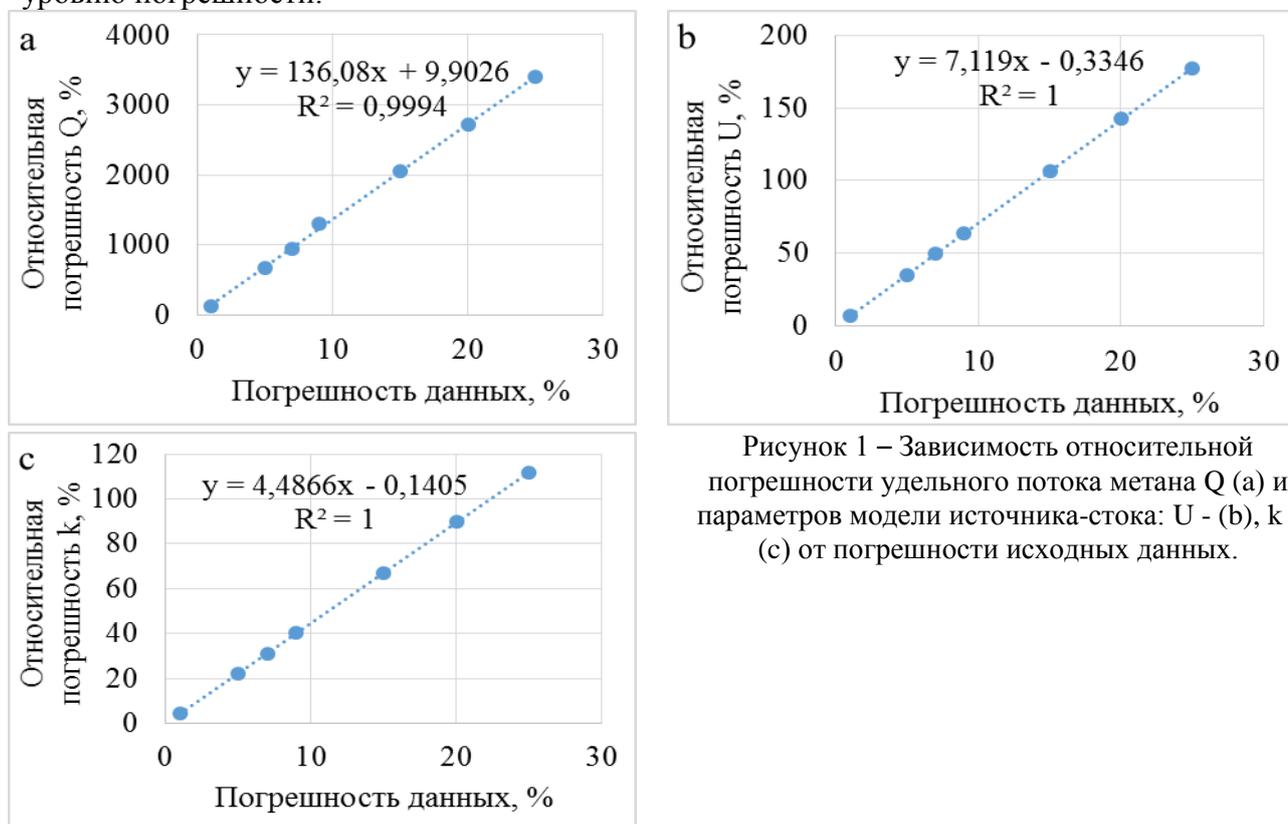


Рисунок 1 – Зависимость относительной погрешности удельного потока метана Q (а) и параметров модели источника-стока: U - (б), k - (с) от погрешности исходных данных.

Литература

- Глаголев М.В. К методу «обратной задачи» для определения поверхностной плотности потока газа из почвы // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Т. 1. № 1. С. 17-36.
- Орлов Д.С., Минько О.И., Аммосова Я.М., Каспаров С.В., Глаголев М.В. Методы исследования газовой функции почвы // Современные физические и химические методы исследования почв. Ред. Воронин А.Д., Орлов Д.С. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 118-156.
- Шнырев Н.А. Режимные наблюдения и оценка газообмена на границе почвы и атмосферы (на примере потоков метана болотного стационара средне-таежной зоны Западной Сибири «Мухрино»). Дис. ... канд. биол. наук. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), 2016. 184 с. URL: <https://istina.msu.ru/dissertations/18838290/> (дата обращения 03.06.2017).
- Baird A.J., Stamp I., Heppell C.M., Green S.M. CH₄ flux from peatlands: a new measurement method // Ecohydrology. 2010. V. 3. P. 360-367.