

Оценки потоков парниковых газов на мезоолиготрофном болоте Мэдла-Пэв-Нюр в августе 2012г.



Лапина Л.Э., Успенский И.М.,
Отдел математики Коми НЦ УрО РАН,

**International Conference
on Computational Information Technologies
for Environmental Sciences: “CITES-2015”
Tomsk, Russia, 20 – 30 June, 2015**

Объект исследования и измерительные приборы

- Исследования проводили с 1 по 31 августа 2012 г. на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр, расположенном в подзоне средней тайги на Европейском Северо-Востоке России, в 40 км на северо-запад от г. Сыктывкара (Республика Коми, 61° 56' с.ш. 56° 13' в.д.). На участке болота, где проводили измерения, преобладают растительные сообщества: 1) *Carex rostrata* Stokes – *Oxycoccus palustris* Pers. – *Carex limoza* L. – *Sphagnum* sp.; 2) *Andromeda polyfolia* L. – *Oxycoccus palustris* – *Scheuchzeria palustris* L. – *Sphagnum* sp. Незначительную площадь (до 5%) занимают олиготрофные сообщества *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench – *Oxycoccus palustris* – *Andromeda polyfolia* – *Sphagnum* sp.
- Измерительная система включала ультразвуковой анемометр (CSAT3, Campbell Scientific Inc, USA) и инфракрасный газоанализатор открытого типа (Li-7500A, Li-Cor Inc., USA). Отбор проб воздуха проводили на высоте 3.93 м. Регистрация данных производилась с частотой 10 Hz. Параметры микроклимата (температуру воздуха и почвы, интенсивность ФАР, падающей и отраженной солнечной радиации и др.) регистрировали автоматической метеостанцией с помощью регистратора CR3000 (Campbell Scientific Inc., США). Температура и объемная влажность почвы измеряются на глубинах 25 см (глубина 1) и 15 см (глубина 2).

Метод Eddy Covariance

- Этот метод достаточно широко используется для расчетов потоков в разных условиях:
 - тундра (Замолодчиков,2003, Wille et al,2008 (эмиссия метана))
 - Лесные экосистемы (Чебаковой, 2013, Feigenwinter et al, 2008.)
 - Степи (Чебакова, 2013)
- Поток любого скаляра определяется формулой:

$$F_C = \overline{wC} \quad (1)$$

- Где w - вертикальная скорость ветра, C - концентрация рассматриваемого вещества, черта сверху означает операцию осреднения. Операция осреднения предполагает не только осреднение по времени, но и осреднение по пространству, но ввиду отсутствия необходимых для этого измерений биологи ограничиваются осреднением по времени, т.е.

- $$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt, \quad (2)$$

- Некоторые теоретические вопросы данного метода рассматриваются в работе (Moncrieff et al, 2004). Фирма изготовитель оборудования регулярно выпускает книги, посвященные этому методу, например книги в авторстве и соавторстве Burba. Также издательством Springer выпущено несколько справочников, посвященных измерениям в микрометеорологии. Handbook of micrometeorology,2008. Foken Micrometeorology 2009. Практически отсутствуют книги по данному способу измерений на русском языке.

- Мгновенные значения скаляра можно представить в виде суммы двух величин, широко известных как представление Рейнольдса:

$$\begin{aligned} w &= \bar{w} + w' \\ C &= \bar{C} + C' \end{aligned} \tag{3}$$

- Подставляя (3) в (1) и учитывая свойства интегралов, получаем

$$F_C = \bar{w} \bar{C} + \overline{w' C'} \tag{4}$$

- В работе (Moncrieff et al,1997) утверждается, что среднее значение вертикальной скорости ветра равно нулю. Такое же утверждение можно встретить и в работе (Moncrieff et al.,2004). Аргументируется тем, что в условиях горизонтальной однородного потока, вертикальная скорость ветра, осредненная по периоду, стремится к нулю. Этот аргумент вызывает сомнения. В работе {Burba and Anderson, 2010} утверждается, что вертикальный поток принят незначительным в условиях горизонтально однородной территории. В работе (Moncrieff et al, 1997) предлагается формула для расчетов потока в следующем виде:

$$F_C = \overline{w' C'} \tag{5}$$

- Или

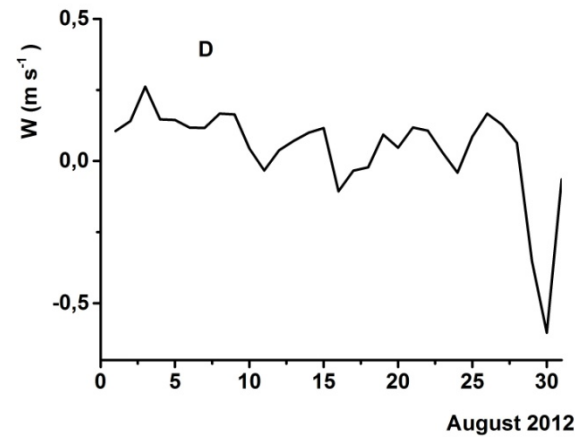
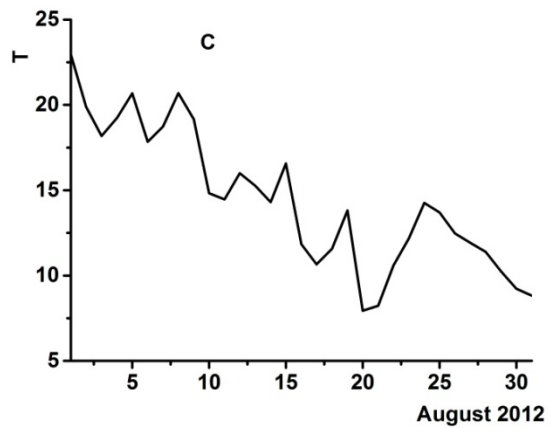
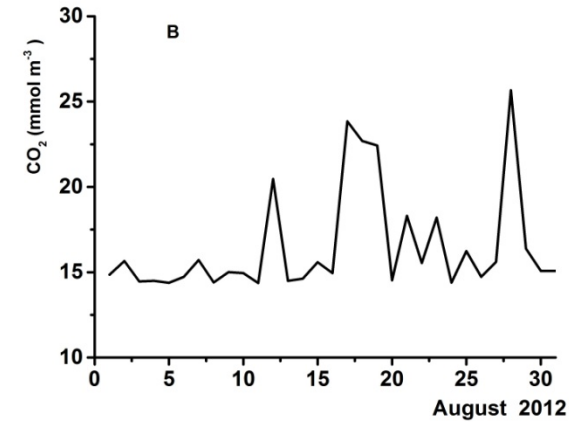
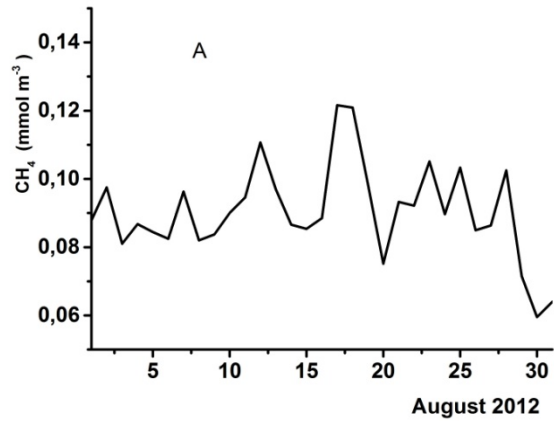
$$F_C = \overline{w' C'} + correction \tag{6}$$

- Именно формулы (5) и (6) реализованы программой EddyPro фирмы Li-Cor.
- А справедлива ли гипотеза о равенстве нулю вертикальной скорости ветра, осредненной по периоду времени?

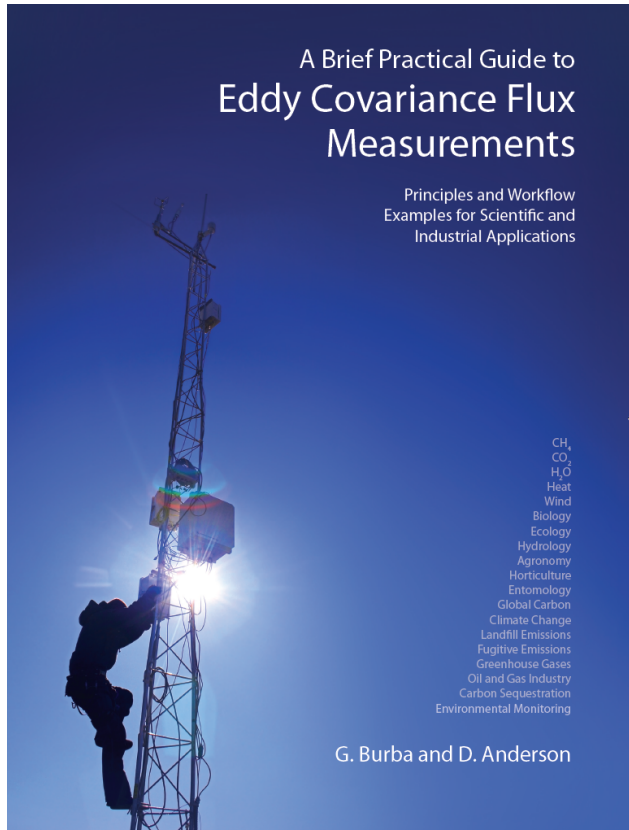
Корректировки

| Тип корректировки | Поток | Диапазон |
|----------------------------------|---|----------|
| Coordinate rotation | all | 0-25% |
| Frequency response corrections | all | 5-30% |
| Webb-Pearman-Leuning correction | H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ | 0-50% |
| Sonic temperature correction | Sensible heat | 0-10% |
| Spectroscopic effects for Lasers | Any gas | 0-30% |
| Oxygen correction | Some H ₂ O | 0-10% |

Среднесуточные значения некоторых показателей августа 2012г

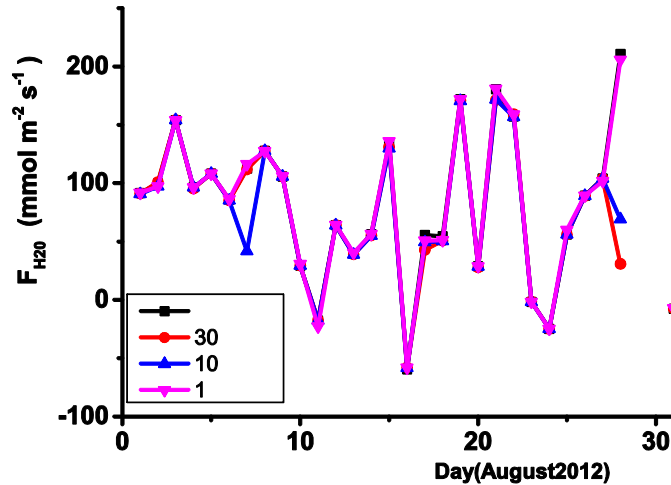
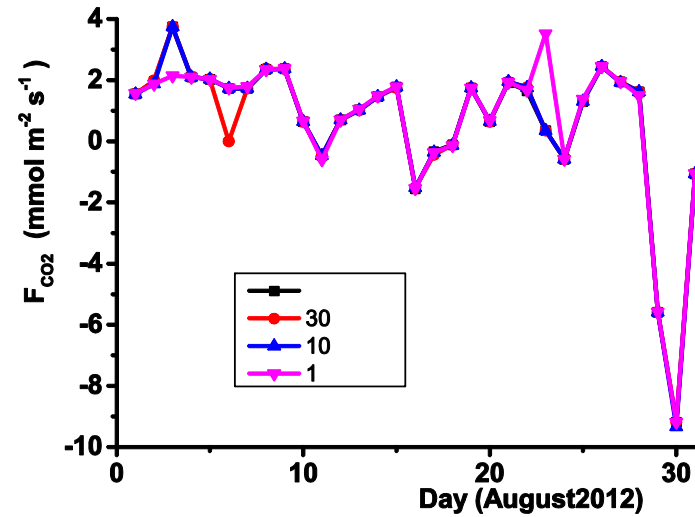
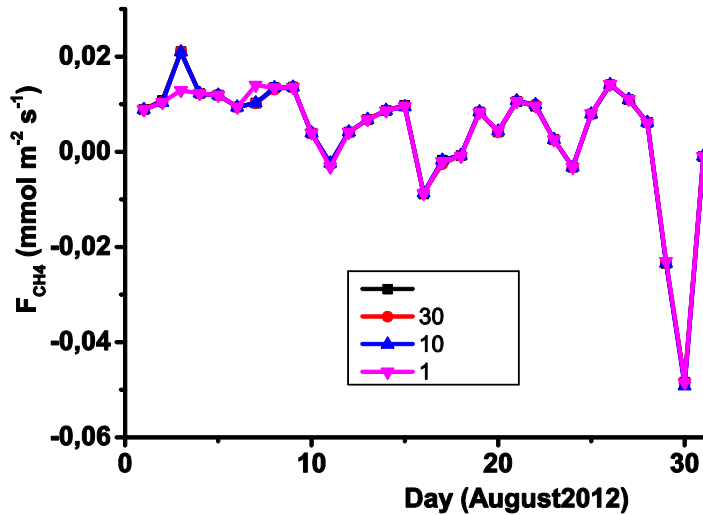


Выбор интервала осреднения по времени

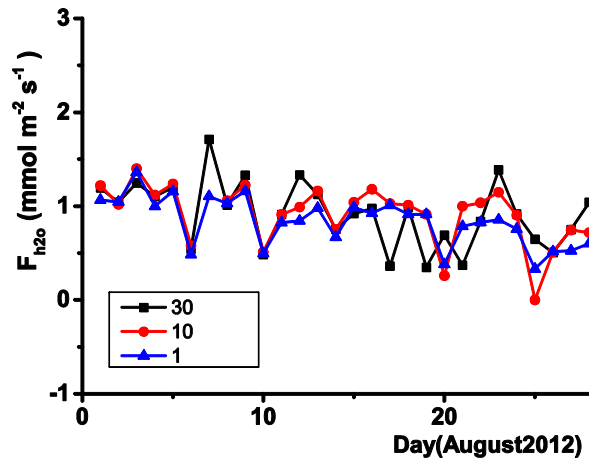
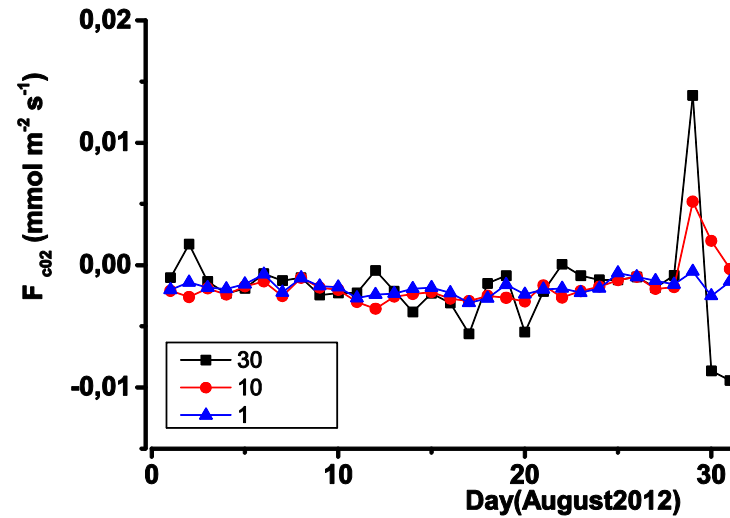
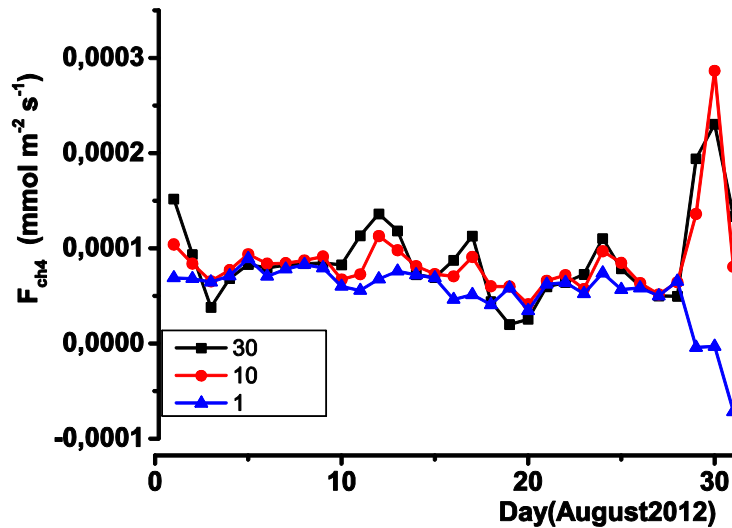


- О выборе периода осреднения пишется следующее: «Интервал осреднения не должен быть слишком длинным так, чтобы дневной цикл остался бы незамеченным или слишком маленьким. Несколько способов выбора интервала, например, обязательный – используют стандартные времена, для которых 30 минут или 1 час могут быть не лучшими, эмпирический – делают попытку различных разумных времен осреднения, например, 10 минут, 30 минут, 1 час, 2 часа, 4 часа. И выбираем тот, который с самым большим потоком потоком.
- Можно использовать метод интегральных кривых, который основан на совокупных ко-спектрах, построенных по диапазону частот. В некоторый момент поток перестает расти. Это и есть лучшее время осреднения. Это возможно самый гибкий и оправданный подход, но требует существенной обработки данных и анализа»
- Цель данной работы – оценить потоки метана, углекислого газа и водяного пара по формулам (4) и (5), выявить разницу, обусловленную использованием различных формул, а также проверить гипотезу о влиянии периода осреднения на оценки потоков и в том, и в другом случаях. Выбрано 4 варианта периода: 1 минута, 10 минут, 30 минут и сутки.

Среднесуточные потоки метана, углекислого газа и водяного пара, рассчитанных по формуле (4)



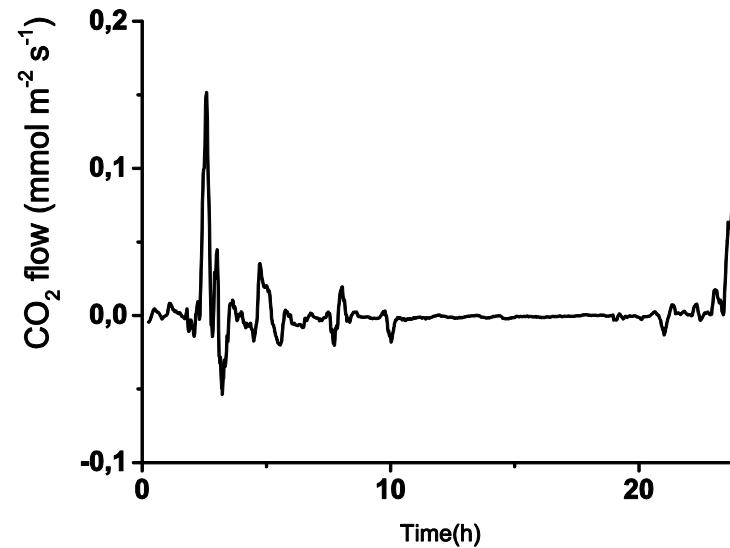
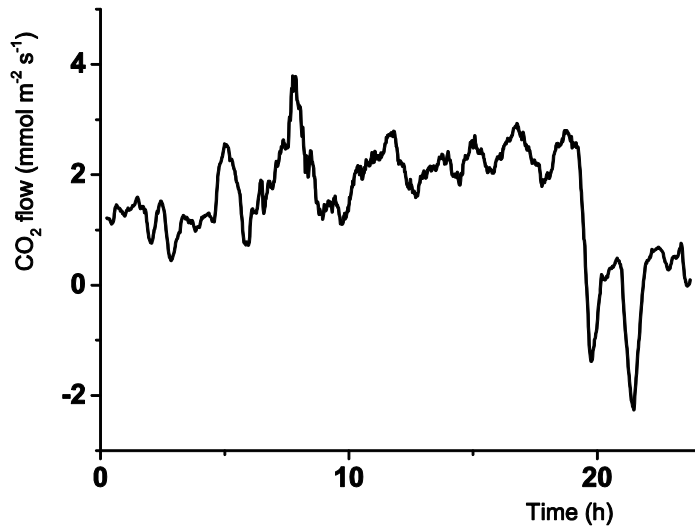
Среднесуточные потоки метана, углекислого газа и водяного пара, рассчитанных по формуле (5)



Потоки веществ, рассчитанных по формуле (5) с периодом осреднения 30 минут в отдельные дни августа

| Дата | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ O |
|------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1 августа | 0.00015±0.00006 | -0.0010±0.0044 | 1.194±0.411 |
| 2 августа | 0.00009±0.00005 | 0.0017±0.0037 | 1.041±0.313 |
| 3 августа | 0.00004±0.00006 | -0.0013±0.0015 | 1.247±0.396 |
| 7 августа | 0.00008±0.00006 | -0.0013±0.0075 | 1.711±1.750 |
| 11 августа | 0.00011±0.00005 | -0.0023±0.0015 | 0.912±0.307 |
| 15 августа | 0.00007±0.00001 | -0.0023±0.0018 | 0.919±0.524 |
| 19 августа | 0.00002±0.00009 | -0.0009±0.0039 | 0.347±0.974 |
| 23 августа | 0.00007±0.00005 | -0.0009±0.0060 | 1.387±0.987 |

Применение процедуры скольжения для углекислого газа по формулам (4) и (5) по данным за 1 августа



Выводы

- На данном географическом объекте гипотеза о равенстве нулю вертикальной компоненты вектора скорости не выполняется.
- Период осреднения сутки является слишком большим и неадекватно оценивающим турбулентные потоки. Так, при осреднении в течении суток все измерений по метану и с использованием приближенной формулы для расчета потока по данным за 1 августа получился отрицательное значение потока метана, то есть почва впитывает метан. Но получается, при одном периоде осреднения положительное значение потока, при другом – отрицательно. Следовательно, по одним и тем же данным можно получить совершенно разные выводы.
- Период осреднения не оказывает существенного влияния на оценку среднесуточных значений потоков, рассчитываемых по формуле (4), т.е. с учетом адвективной составляющей, но оказывают некоторое значение для оценки турбулентных потоков. Различия между периодами 1 минута, 10 минут и 30 минут для оценки среднесуточного турбулентного потока не являются значимыми, за исключением отдельных дней, по видимому связанных с использованием не совсем корректных данных, в частности это относится к водяному пару. Кроме того, период осреднения значим для расчетов доверительных интервалов для оценки среднесуточных значений потоков.
- Использование осредненных по 30 минут данные по углекислому газу и использование формулы (5) для расчетов не дает основания говорить о том, что происходит депонирование углерода, так как в доверительный интервал попадают как отрицательные значения так и положительные, например, за 1 августа. Но уменьшить длину интервала можно за счет другой организации расчетов, например, применения метода скользящего среднего.

Литература

- Андреев И.Д. Выбор оптимального интервала осреднения скорости ветра. –Труды ГГО, 1958, вып.83, с.20-24.
- Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л., Гидрометеиздат, 1991, 276с.
- Глаголев М.В., Филиппов И.В. 2011. Инвентаризации поглощения метана почвами //Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата, т.2, N2(4). EDCCrev0002.
- Глаголев М.В., 2013 Новое отечественное исследование потоков CO₂ в приземном слое атмосферы методом микровихревых пульсаций //Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т.4. N1(7). EDDCCbrv0004.
- Дзюба А.В., Елисеев А.В., Мохов И.И., 2012. Оценка изменений скорости стока метана из атмосферы при потеплении климата //Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2012, т.48, N3? С.372-382.
- Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей Л., Гидрометеиздат, 1979, 214с.
- Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А., 2005 Физиология растений: учебник для вузов – М., 2005, -736с.
- Р.В.Озмидов Диффузия примесей в океане Л., Гидрометеиздат, 1986.
- Чебакова Н.М., Выгодская Н.Н., Арнет А., Белелли Маркезини Л., Колле О., Курбатова Ю.А., Парфенова У.И., Валентини Р., Ваганов Е.А., Шульце Е.Д. Энерго- и массообмен и продуктивность основных экосистем Сибири (по результатам измерений методом турбулентных пульсаций).I. Структура теплового баланса за период вегетации//Известия РАН. Серия биологическая, 2013, N6, с. 728-737.

Литература (продолжение)

- Burba G., 2013 Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications; A Field Book on Measuring EcoSystem Gas Exchange and Aerial Emission Rates, Li-Cor BioSciences, Lincoln, NE, USA, 331p.
- Burba G., Schmidt A., Scott R.L., Nakai T., et al, 2012 Calculating CO₂ and H₂O eddy covariance fluxes from an enclosed gas analyzer using an instantaneous mixing ratio // Global Change Biology? 2012, 18, 385-399, doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02536.x
- G. Burba and Anderson 2010. A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications, Licor. 214pp
- EddyPro. EddyPro Express user's Guide & Reference. LI-COR, 2011. www.licor.com/env
- Feigenwinter C., Bernhofer C., Eichelmann U., Heinesch B., Hertel M., Janous D., Kolle O., Lagergren F., Lindroth A., Minerbi S., Moderow U., Mölder M., Montagnani L., Queck R., Rebmann C., Vestin P., Yernaux M., Zeri M., Ziegler W., Aubinet M. Comparison of horizontal and vertical advective CO₂ fluxes at three forest sites // Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148, p/12-24
- Foken Micrometeorology, 2009. Springer-Verlag.
- Handbook of micrometeorology: A Guide for Surface Flux Measurement and Analysis, 2008, by Lee X., Massman W., B. Law (Eds). Springer-Verlag.
- Moncrieff J.B., Massheder J.M., deBruin H., Elbers J., T. Friberg, Heusinkveld B., Kabat P., Scott S., Soegaard H., Verhoef A., 1997 A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide // J. of Hydrology, 1997, 589-611
- Moncrieff J., Clement R., Finnigan J., Meyers T., 2004. Averaging, Detrending, and filtering of eddy covariance time series // Handbook of Micrometeorology, chapter 2, pp 7-31
- g.

Литература

- Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., Ivaschenko A.I., Oechel W.C. Hastings S.J. , 2003 CO₂ flux measurements in Russian Far East tundra using eddy covariance and closed chamber techniques//Tellus, 2003, 55B, 879-892
- Webb E.K., Pearman G.I., Leuning R., 1980 Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer //Quart.J.Met.Soc., 1980, 106, pp85-100
- Wille C., Kutzbach L., Sachs T., Wagner D., Pfeiffer Methane emission from Siberian arctic polygonal tundra: eddy covariance measurements and modeling //Global Change Biology, 2008, 14(6)б зю1395-1408 doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01586.x
- Foken Micrometeorology, 2009. Springer-Verlag.

Спасибо за внимание!

