

# Оценка потока углерода между атмосферой и наземной экосистемой по измеренным на вышке вертикальным распределениям концентраций CO<sub>2</sub>

Белолипецкий В.М.

Институт вычислительного моделирования СО РАН



Осредняя трехмерные уравнения переноса примесей по объему  $\Omega$  в приближении горизонтальной однородности и учитывая граничные условия, получаем точечную модель:

$$\frac{d\varphi_k}{dt} = \frac{Q_C - Q_{CH}}{H_K}, \quad (1)$$

$\varphi_k$  – средняя концентрация в рассматриваемом объеме  $\Omega$ ,

$$\Omega = \left[ -\frac{L}{2} \leq x \leq \frac{L}{2}, \quad -\frac{L}{2} \leq y \leq \frac{L}{2}, \quad 0 \leq z \leq H_K \right],$$

$H$  – высота вышки,  $H_K$  – высота слоя конвективного перемешивания,  $Q_C$  – поток у поверхности земли ( $z=0$ ),  $Q_{CH}$  – поток на границе  $z=H_K$ .

Предполагается, что в перемешанном слое  $H \leq z \leq H_K$ ,  $C = C(t, H) = C_H(t)$ , тогда

$$\varphi = \frac{1}{H} \int_0^H C(t, z) dz, \quad (2)$$

Из (1) и (3) следует:

$$\varphi_k = \frac{1}{H_K} \int_0^{H_K} C(t, z) dz = \frac{H}{H_K} \varphi + \frac{H_K - H}{H_K} C_H. \quad (3)$$

$$Q_C = Q_{CH} + H \frac{d\varphi}{dt} + (H_K - H) \frac{dC_H}{dt} \quad (4)$$

Анализ результатов измерений на вышках показывает, что  $\frac{d\varphi}{dt} \approx \frac{dC_H}{dt}$ .

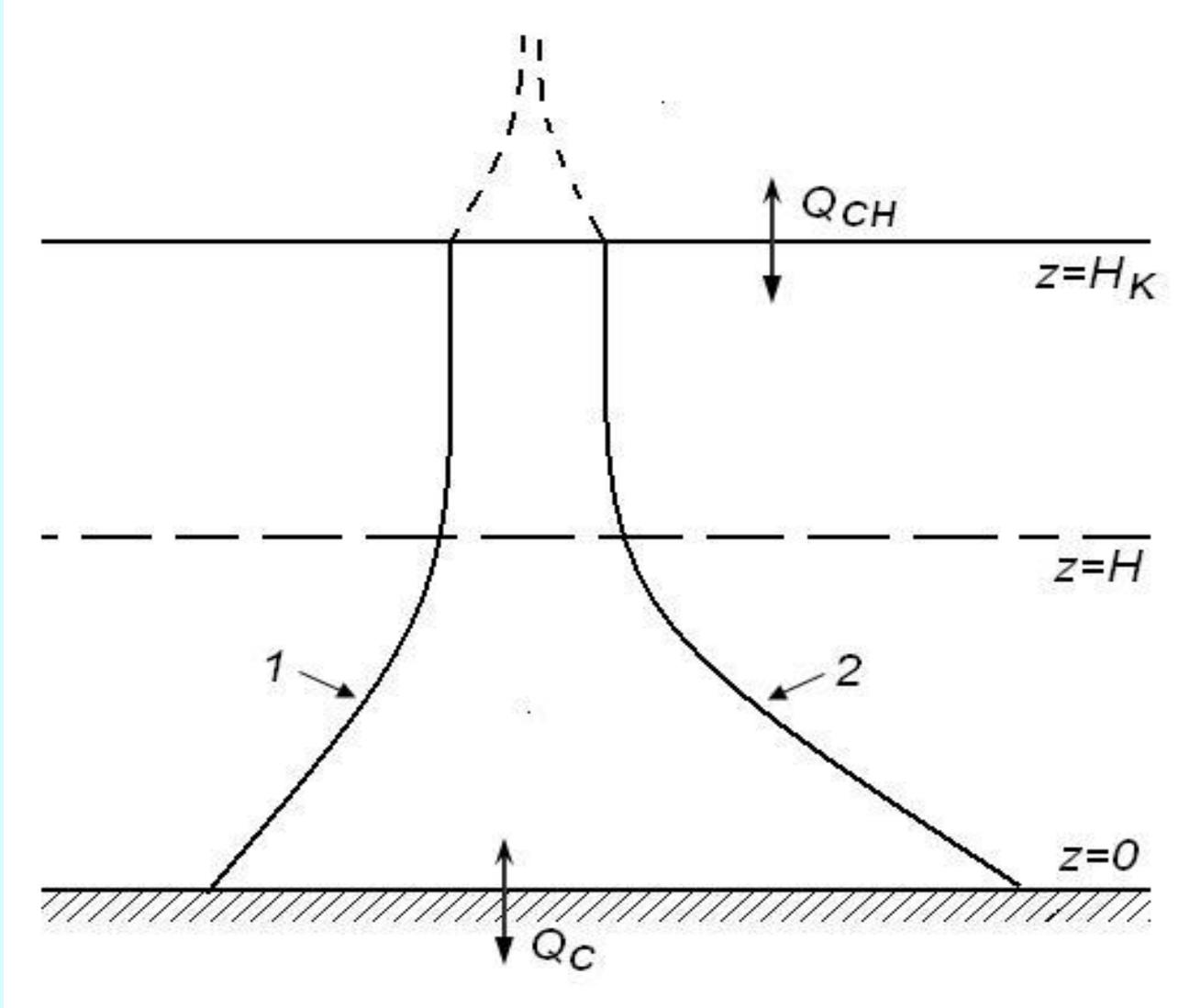


Рис.1. Среднесуточные вертикальные распределения  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

1 - «летний» период, 2 - «зимний» период.

Поэтому для оценки потока  $Q_C$  из (4) получается упрощенная формула:

$$Q_C^{упрощ} = Q_{CH} + H_K \frac{dC_H}{dt} \quad (5)$$

Предполагаем, что обмен между нижним и верхним слоями атмосферы  $Q_{CH}$  можно оценить по формуле:

$$\hat{Q}_{CH} = \alpha (\hat{C}_H - C_{mp}), \quad (6)$$

где  $\alpha$  – скорость массообмена в верхних слоях тропосферы\*,  $\hat{C}_{H_i} = \frac{1}{T} \int_0^T C_H dt$ ,  $\hat{C}_{H_i}$  – средняя концентрация  $CO_2$  на интервале  $[0, T]$ ,  $C_{mp}$  – концентрация  $CO_2$  в верхних слоях тропосферы.

Для оценки среднесуточного потока  $Q_C$  применяется следующий алгоритм. По измеренным на вышке концентрациям  $CO_2$  на различных высотах вычисляются среднесуточные значения  $\hat{\phi}_i$  и  $\hat{C}_{H_i}$ :

$$\hat{\phi}_i = \frac{1}{T} \int_0^T \phi dt, \quad \hat{C}_{H_i} = \frac{1}{T} \int_0^T C_H dt, \quad (7)$$

где  $i$  – номер суток,  $T=24$  часа. Тогда из (4), (5) следуют формулы для вычисления среднесуточных значений потока  $\hat{Q}_C$ :

$$\hat{Q}_C = \hat{Q}_{CH} + H \cdot \frac{\hat{\phi}_{i+1} - \hat{\phi}_i}{24} + (H_K - H) \cdot \frac{C_{H_{i+1}} - C_{H_i}}{24}, \quad (8)$$

$$\hat{Q}_C^{упрощ} = \hat{Q}_{CH} + H_K \frac{\hat{C}_{H_{i+1}} - \hat{C}_{H_i}}{24}, \quad (9)$$

где  $\hat{Q}_C$  – средний поток на промежутке времени между  $i$  и  $i+1$  сутками,  $\hat{Q}_{CH}$  определяется по (6). Летом в основном  $\hat{C}_H < C_{mp}$  и  $\hat{Q}_{CH} < 0$ , зимой  $\hat{C}_H > C_{mp}$  и  $\hat{Q}_{CH} > 0$ . Значения  $C_{mp}$  определялись по значениям  $\hat{C}_H$ . Для «летнего» периода  $C_{mp} \geq \hat{C}_{H \max}$ , для «зимнего» периода  $C_{mp} \leq \hat{C}_{H \min}$ .

\*/- <http://www.esrl.noaa.gov>

Результаты расчетов по формулам (8), (9) достаточно близкие, поэтому предлагается использовать упрощенную формулу (9).

Были выделены «летний» и «зимний» периоды. В «летние» месяцы  $\hat{Q}_C < 0$ , в «зимние»  $\hat{Q}_C > 0$ .

Таблица 2. Среднемесячные потоки  $Q_C$  в «летний» период.

Летние месяцы	Дни	$\hat{Q}_C^{упрощ}$ , $г \cdot с / м^2 \cdot сут$	$\hat{Q}_C^{упрощ}$ , $г \cdot с / м^2 \cdot мес$	$\hat{Q}_C^H$ , $г \cdot с / м^2 \cdot сут$	$\hat{Q}_C^H$ , $г \cdot с / м^2 \cdot мес$
Май	31	0,462451523	14,33599721	0,2	6,2
Июнь	30	-1,246355148	-37,3906544	-2,35	-70,5
Июль	31	-2,482676102	-76,9629592	-2,35	-72,85
Август	31	-2,117790042	-65,6514913	-1,22	-37,82
Сентябрь	30	-0,656384293	-19,6915288	0,15	4,5
Всего			-185,360636		-170,47

Таблица 3. Среднемесячные потоки  $\hat{Q}_C$  в «зимний» период.

Зимние месяцы	Дни	$\hat{Q}_C^{упрощ}$ , $г \cdot с / м^2 \cdot сут$	$\hat{Q}_C^{упрощ}$ , $г \cdot с / м^2 \cdot мес$	$\hat{Q}_C^H$ , $г \cdot с / м^2 \cdot сут$	$\hat{Q}_C^H$ , $г \cdot с / м^2 \cdot мес$
Январь	31	0,66762044	20,6962336	0,39	12,09
Февраль	29	0,59586959	17,2802181	0,39	11,31
Март	31	0,58868861	18,2493469	0,39	12,09
Апрель	30	0,70117962	21,0353886	0,39	11,7
Октябрь	31	0,07700343	2,38710645	0,96	29,76
Ноябрь	30	0,81039116	24,3117348	0,96	28,8
Декабрь	31	0,73937128	22,9205097	0,39	12,09
Всего			126,880538		117,84

Суммарные потоки  $\hat{Q}_C$  за «летний» и «зимний» периоды:

$$\hat{Q}_C^{\text{летний}} \approx -185,36 \text{ г} \cdot \text{с} / \text{м}^2 \cdot \text{лето}, \quad \hat{Q}_C^{\text{зимний}} \approx 126,88 \text{ г} \cdot \text{с} / \text{м}^2 \cdot \text{зима},$$

общий годовой баланс углерода  $\hat{Q}_C^{\text{годовой}} \approx -58,48 \text{ г} \cdot \text{с} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$ .

Итак, суммарный годовой поток отрицательный, т.е. преобладает поглощение углерода наземными экосистемами.

Разработан метод оценки потока углерода на подстилающей поверхности с использованием точечной модели и измеренных на вышке вертикальных распределений концентраций CO<sub>2</sub>.

Выполнены оценки потока углерода по известным измерениям на вышке. Показано, что можно применять упрощенную формулу для потока, использующую измерения только на уровне вышки.

Выполнены расчеты для данных измерений на высоте 396м и на высоте 244м. Результаты отличаются незначительно, поэтому можно применять предлагаемый метод и для вышек меньшей высоты.

Рассчитаны среднемесячные и годовой потоки. Суммарный годовой поток отрицательный, т.е. в годовом балансе преобладает поглощение углерода наземными экосистемами.

## Публикации

Белолипецкий В.М., Белолипецкий П.В. Об оценке потока углекислого газа на земной поверхности по измеренным вертикальным профилям  $CO_2$  в приземном слое атмосферы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. Т. 17, № 12. - С. 153-157.

Белолипецкий В.М., Белолипецкий П.В., Мартынова А.А. О методе оценки потока углерода между атмосферой и наземной экосистемой по измеренным на вышке вертикальным распределениям  $CO_2$  // Тезисы докладов международной конференции «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике», 2010 г. – Новосибирск, 2010. - С. 79.

## План на 2011 год

Разработать способ подготовки данных измерений концентраций CO<sub>2</sub> на вышке для оценки среднемесячных потоков углекислого газа на поверхности земли. Оценить вклад бореальных лесов в изменение концентрации углекислого газа в атмосфере.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**