

# Обмен теплом и импульсом в приземном слое атмосферы над озером окруженным лесом по данным экспериментальных наблюдений в зимний период



Барсков К.В.<sup>1</sup>, Чернышев Р.В.<sup>2</sup>, Степаненко В.М.<sup>2</sup>, Репина И.А.<sup>1</sup>, Артамонов А.Ю.<sup>1</sup>,  
Гусева С.П.<sup>2</sup>, Гавриков А.В.<sup>3</sup>

1 – Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,

2 – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

3- Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

# Проблематика

- Маленьких озер много (54% от общей площади внутренних водоемов) -> вклад в тепло- газообмен
- Параметризация тепло- и газообмена атмосферы с озерами подсеточного масштаба
- Неоднородность ландшафта -> не выполняется теория подобия Монина-Обухова

# Методы расчета турбулентных потоков в приземном слое

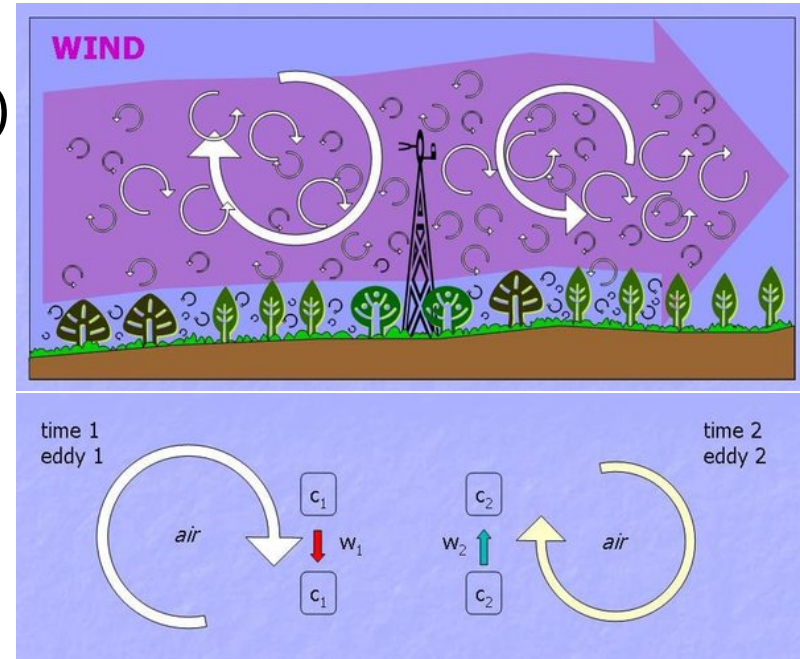
- Метод турбулентных пульсаций
- Градиентный метод
- Метод теплового баланса

# Метод турбулентных пульсаций

$$\tau = \rho_0 \left[ \overline{u'w'}^2 + \overline{v'w'}^2 \right]^{1/2} = \rho_0 u_*^2 \quad (1)$$

$$H = c_p \rho_0 \overline{w'T'} \quad (2)$$

$$L_e = \rho_0 \overline{w'q'} L_s \quad (3)$$



# Градиентный метод

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \frac{u_*}{\kappa} \left[ \ln \frac{z}{z_0} - \Psi_u(\xi) \right] \quad (1)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_* \left[ \ln \frac{z}{z_0} - \Psi_T(\xi) \right] \quad (2)$$

$$\Delta q = q_2 - q_1 = q_* \left[ \ln \frac{z}{z_0} - \Psi_q(\xi) \right] \quad (3)$$

$$\tau = \rho_0 u_*^2 \quad (4)$$

$$H = -\kappa c_p \rho_0 u_* T_* \quad (5)$$

$$L_S E = -\kappa \rho_0 L_S u_* q_* \quad (6)$$

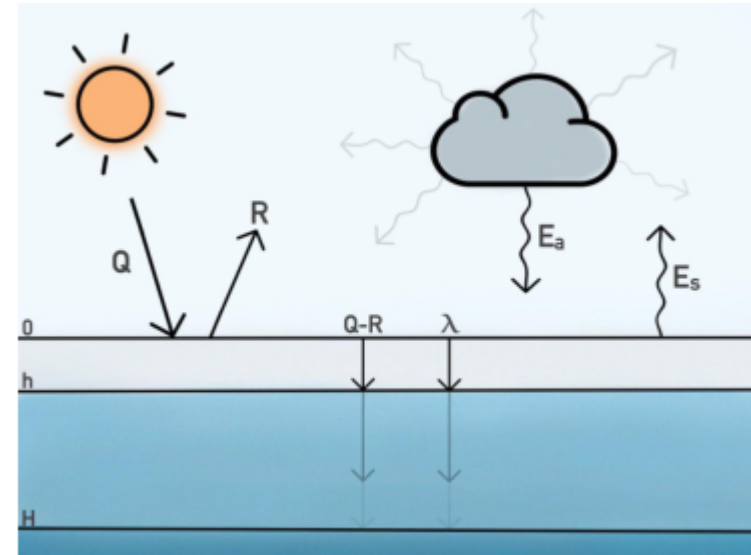
# Метод теплового баланса

$$R_n = H + L_s E + G \quad (7)$$

где  $R_n$  – радиационный баланс поверхности,  
 $G$  – поток тепла, проходящего через  
 поверхность.

$$\rho_s C_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_s \frac{\partial \theta}{\partial z} - \frac{\partial S}{\partial z} \quad (8)$$

$$\rho_i C_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_i \frac{\partial \theta}{\partial z} - \frac{\partial S}{\partial z} \quad (9)$$



Здесь  $\rho$ -плотность,  $C$ -теплоемкость,  $\lambda$ -  
 молекулярная теплопроводность,  $\theta$  -  
 температура,  $S$ -поток солнечной радиации.

$$-\lambda_s \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_0 = \rho C_i \frac{\partial}{\partial t} \int_{h_s}^{h_i} T dz + \rho C_s \frac{\partial}{\partial t} \int_0^{h_s} T dz - S \Big|_0 \quad (10)$$

# Описание эксперимента

$z=2\text{м}$ :  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $t$  (Gill, 20 Гц),  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$   
(Li-COR 7500)

$z=3\text{м}$ :  $\phi$ ,  $t$  (Davis Instrumentals)

$z=4\text{м}$ :  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $t$  (Gill, 20 Гц)

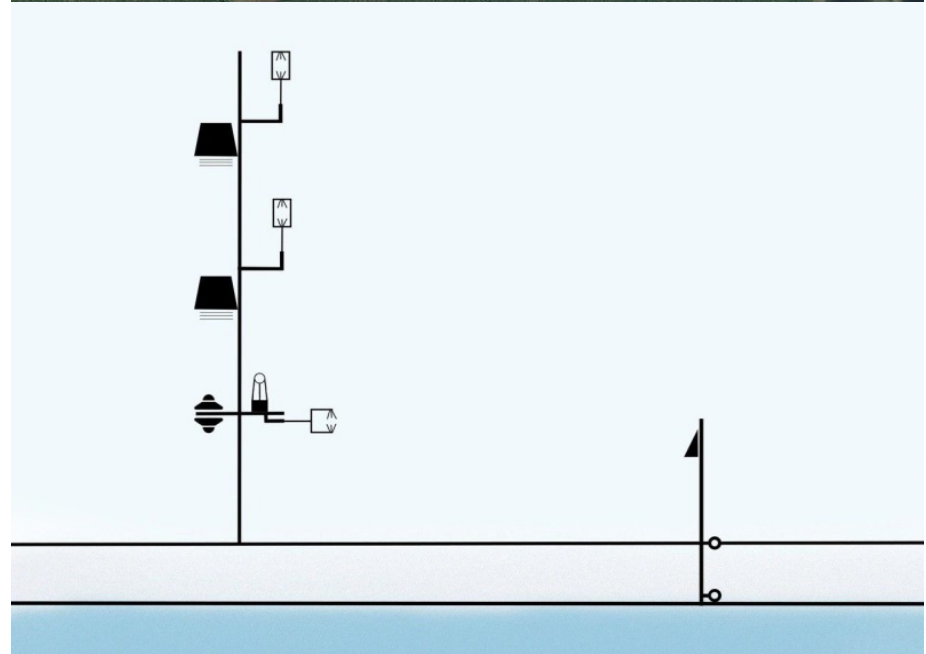
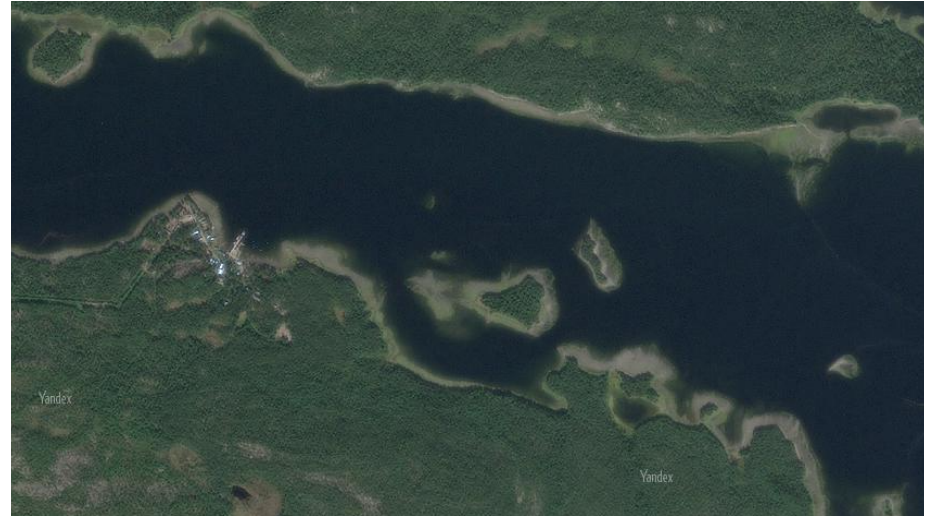
$z=5\text{м}$ :  $\phi$ ,  $t$  (Davis Instrumentals)

$z=6\text{м}$ :  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $t$  (Gill, 20 Гц)

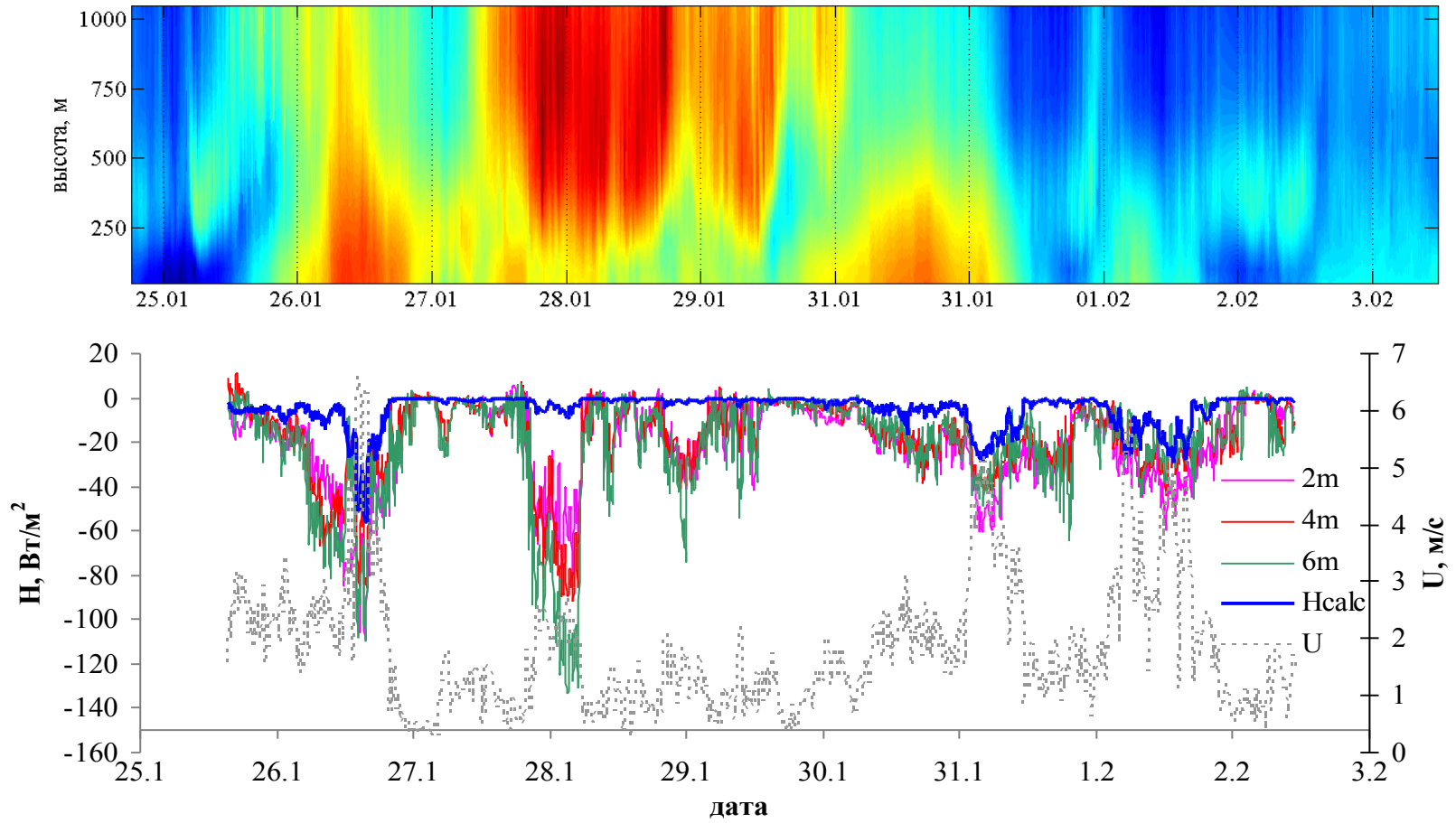
Полный радиационный баланс  
(Kipp&Zonen)

Почвенная станция (Davis  
Instrumentals):  $t_s$ .  $t_{s10}$

Профиль температуры атмосферы  
(микроволновый профилемер МТР-  
5)



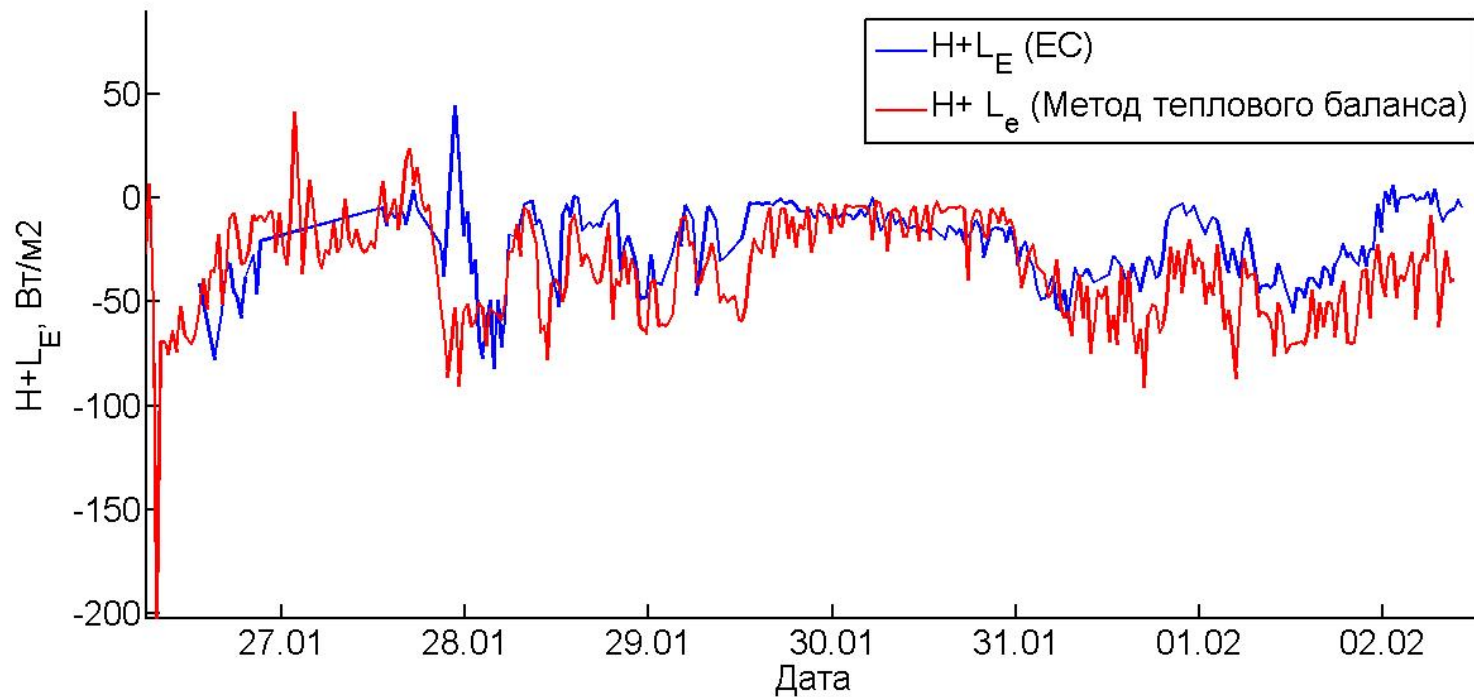
# Сравнение прямого и градиентного метода



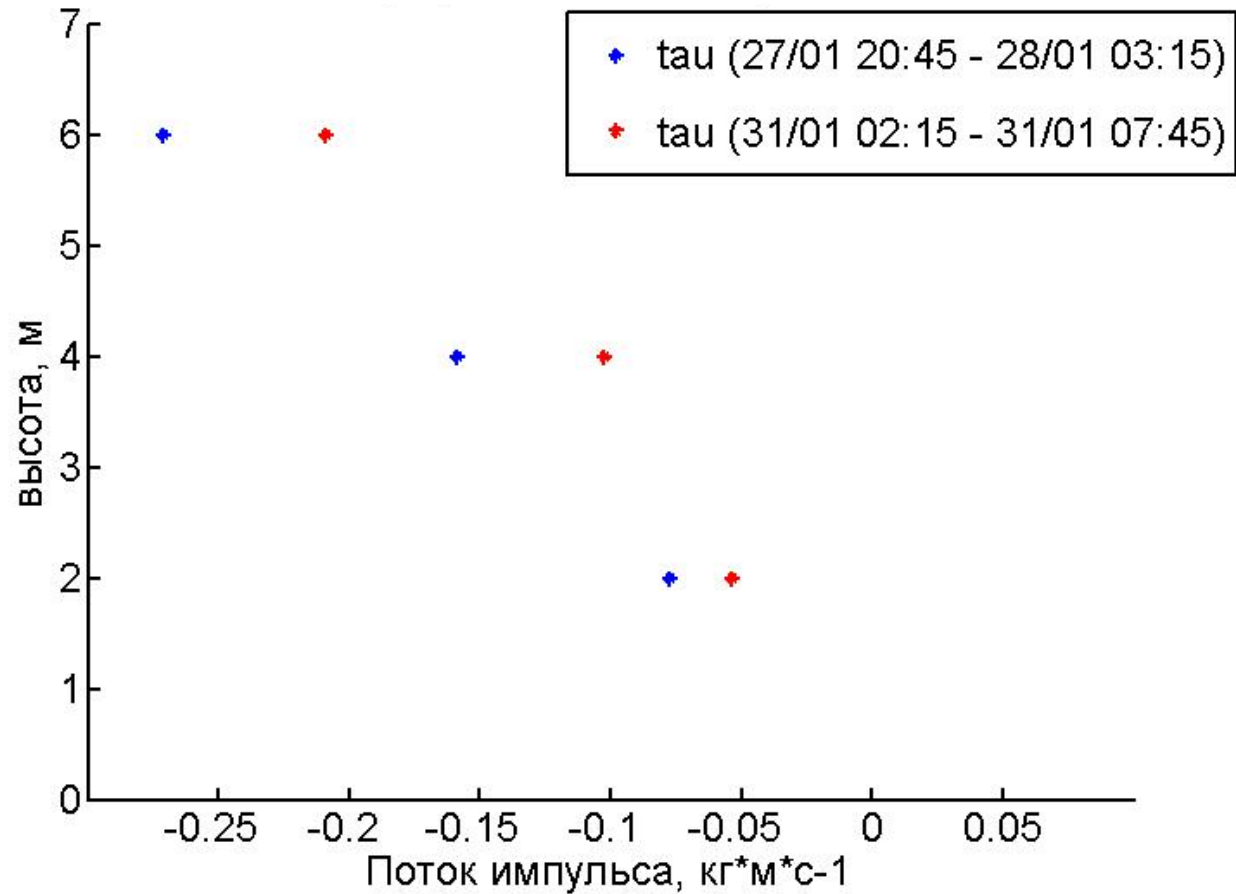


# Тепловой баланс

Полный поток тепла с поверхности



# Профиль потока импульса



# Выводы

- Представленные примеры показывают, что расчет характеристик энергообмена над неоднородной поверхностью по традиционным методам, включая выводы теории подобия, затруднены. Из-за несоответствия небольшой скорости ветрового потока и степени его турбулизации, расчеты по теории Монина-Обухова дают сильно заниженные по модулю значения потоков. Когда турбулизация атмосферы значительна, сильное вертикальное перемешивание приводит к сильному потоку тепла, направленному из атмосферы к поверхности (отрицательный поток). Из-за неоднородного перемешивания слой постоянных потоков в этом случае отсутствует, что затрудняет использование теории подобия для расчета потоков. При этом балансовый метод дает более приемлемые результаты.

Спасибо!