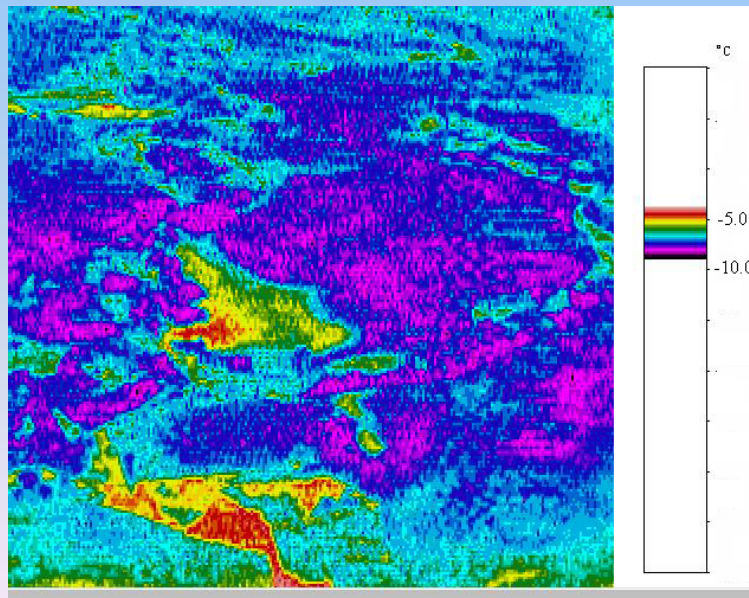
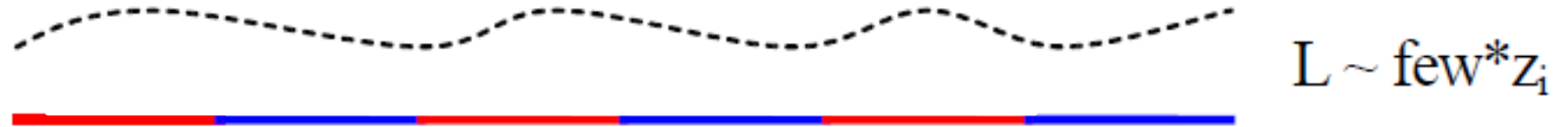
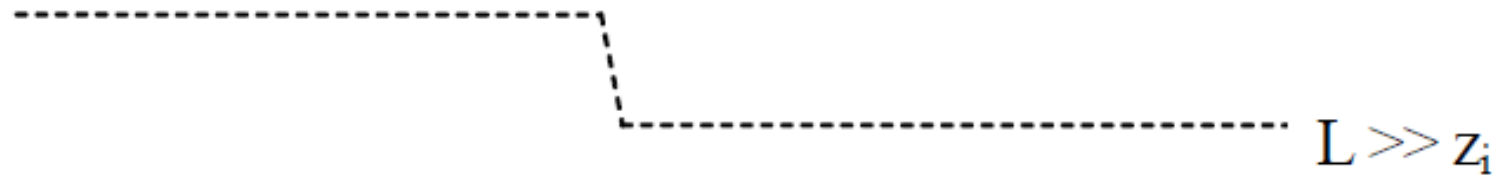


Ирина Репина

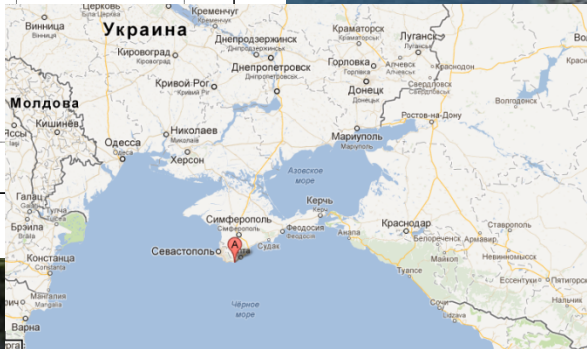
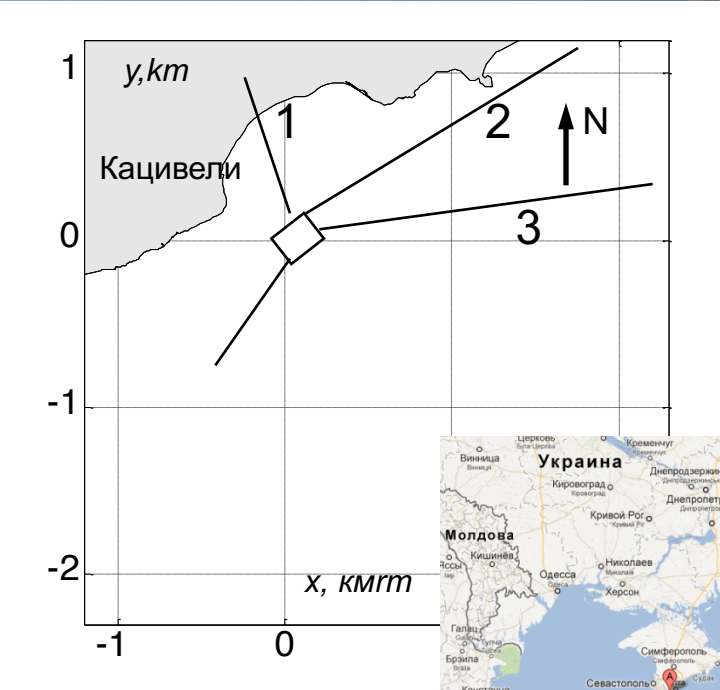
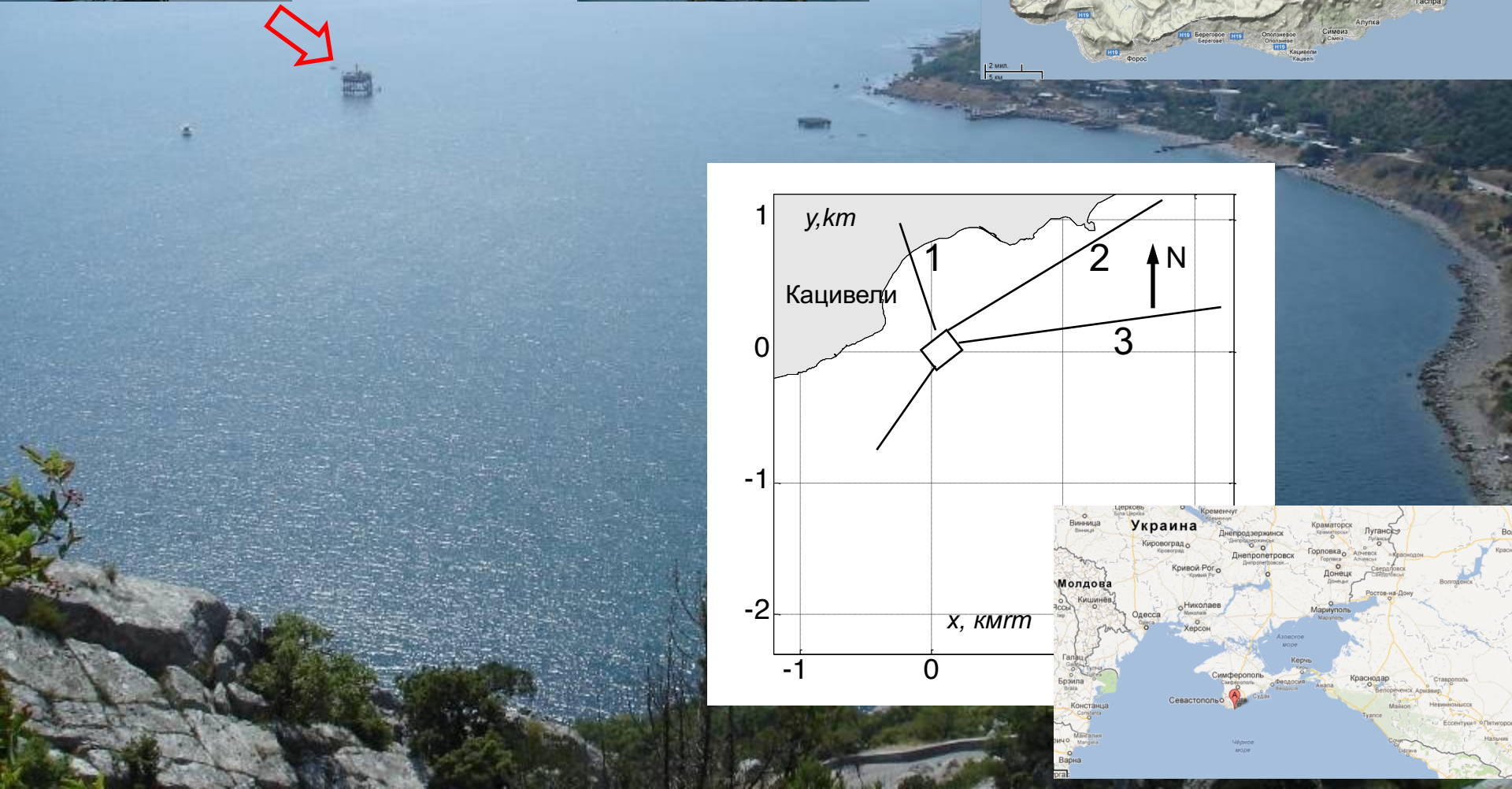
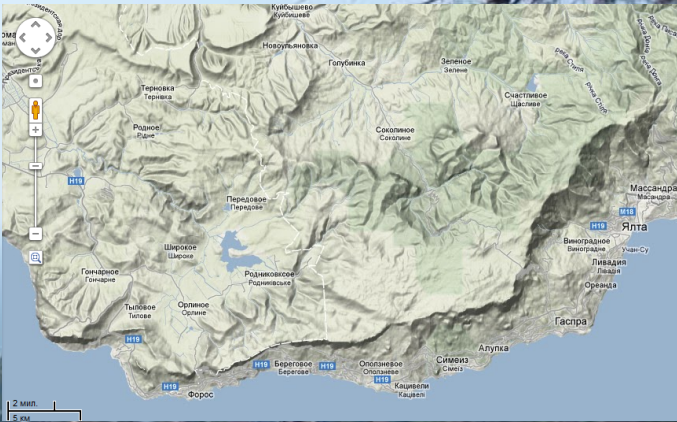
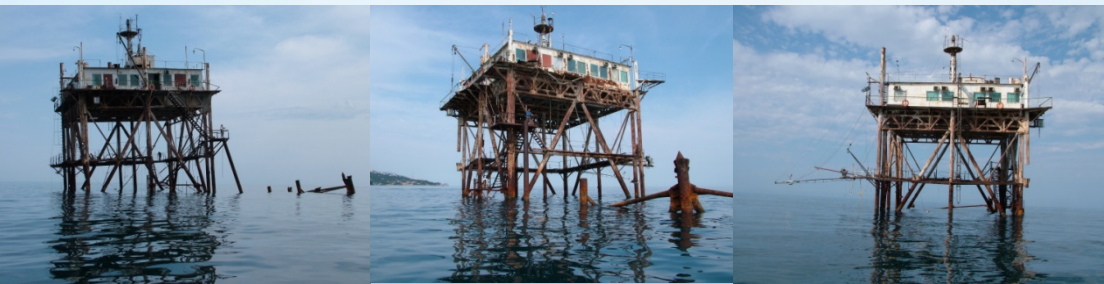
Динамика пограничного слоя над неоднородной поверхностью



Три режима взаимодействия неоднородной поверхности и атмосферного пограничного слоя



Океанографическая платформа (Крым, Черное море)

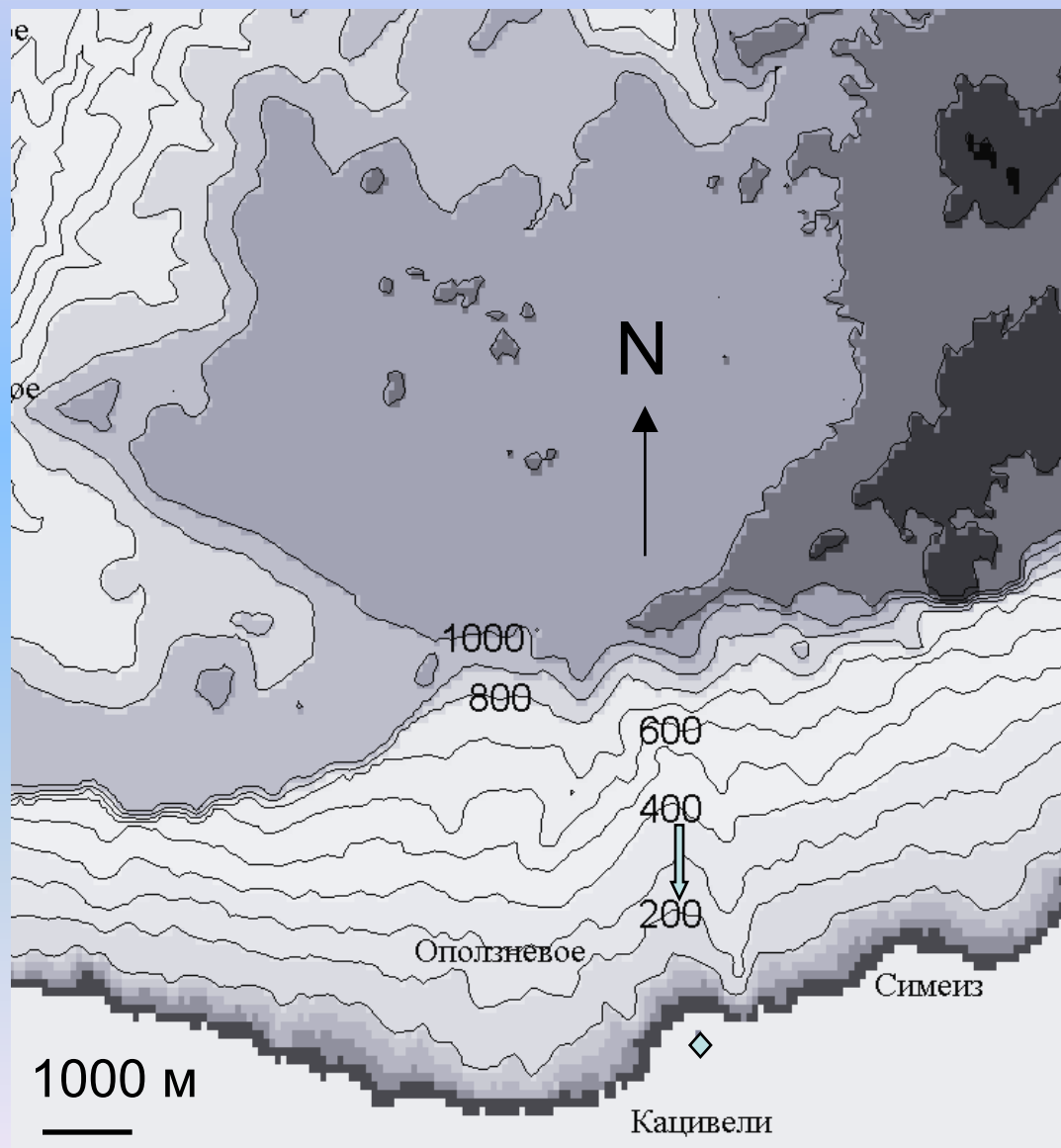


Направление ветра и разгон:

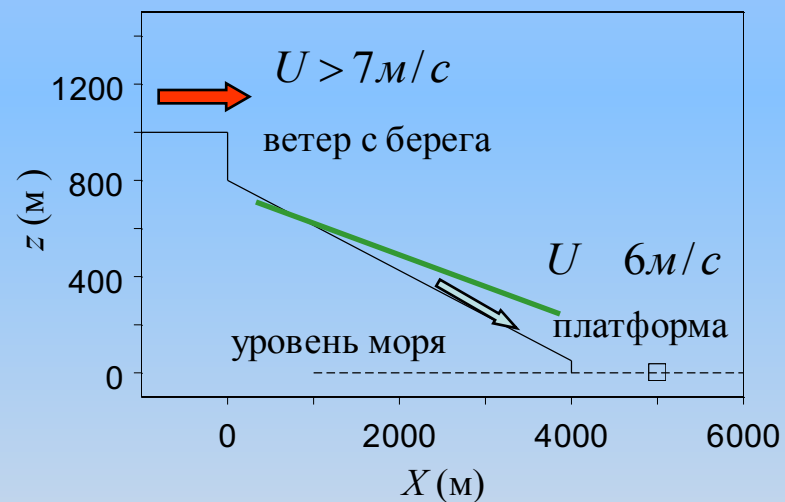
345-0-20° - 700м (650-800)

20-40° - 1км

40-70° - 2-4км



Высота берега 10 - 15 м



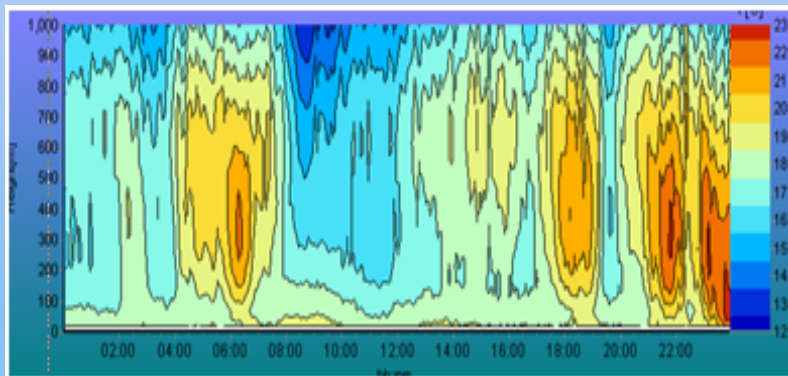
уклон $\sim 11^\circ$

Длина склона— 4 km

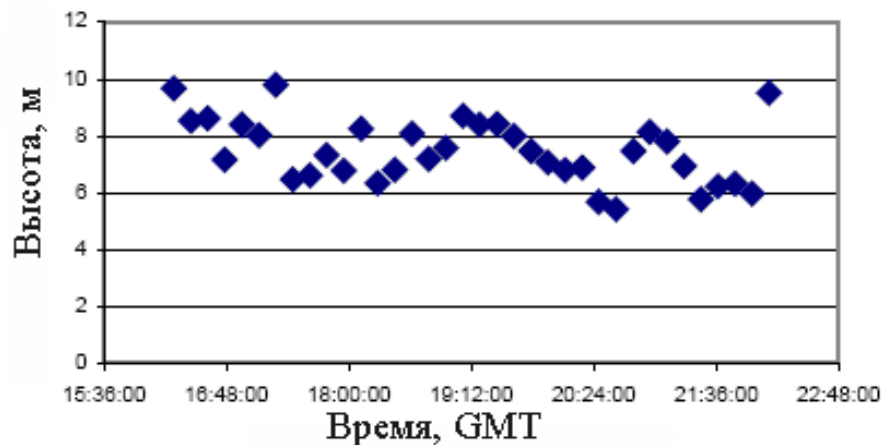
$z_0 > 0.5 \text{ м}$

Высота вытеснения $d \sim 10 \text{ м}$

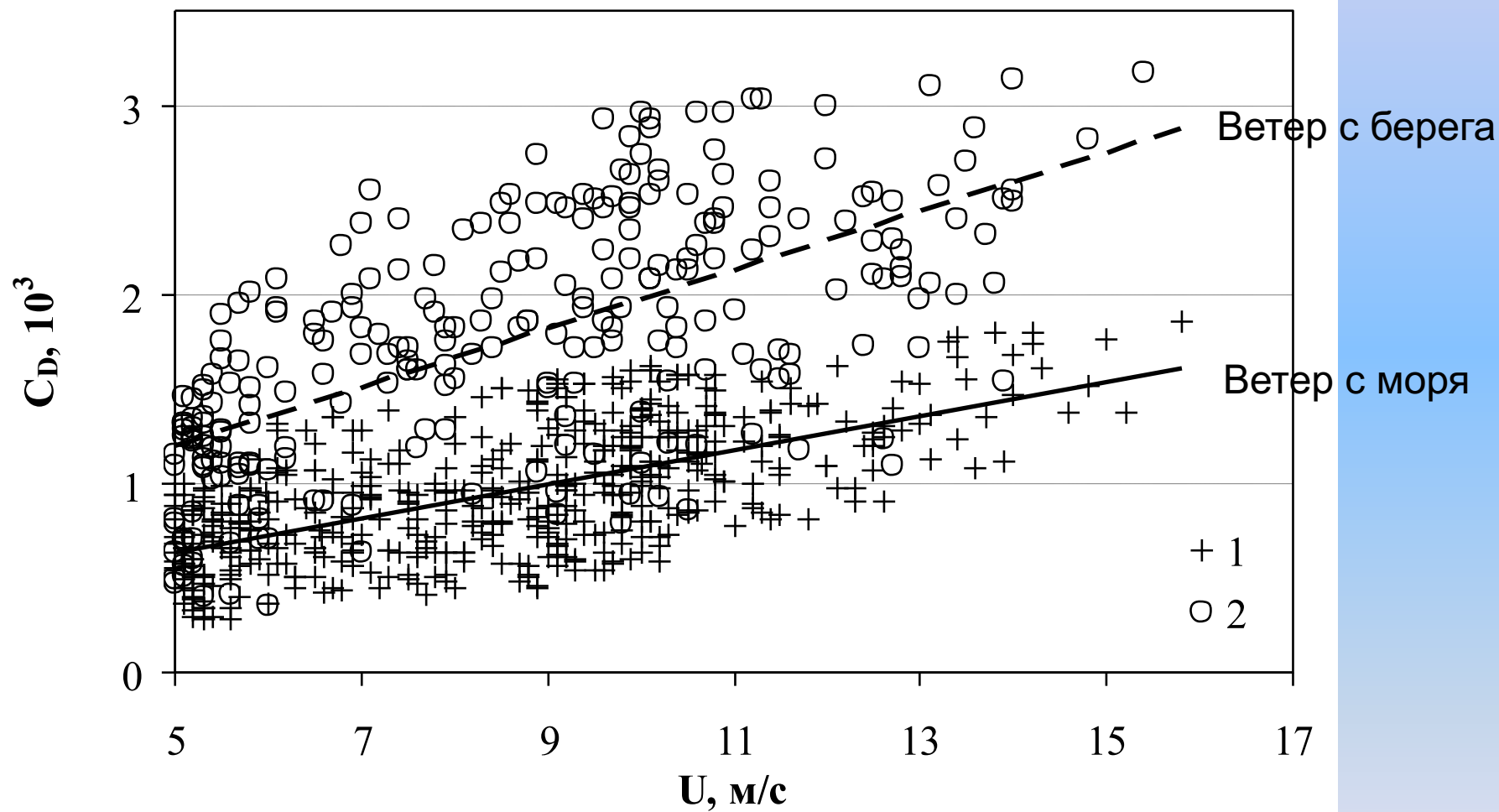
Профили температуры в пограничном слое атмосферы при береговом ветре на расстоянии 500 м. от берега

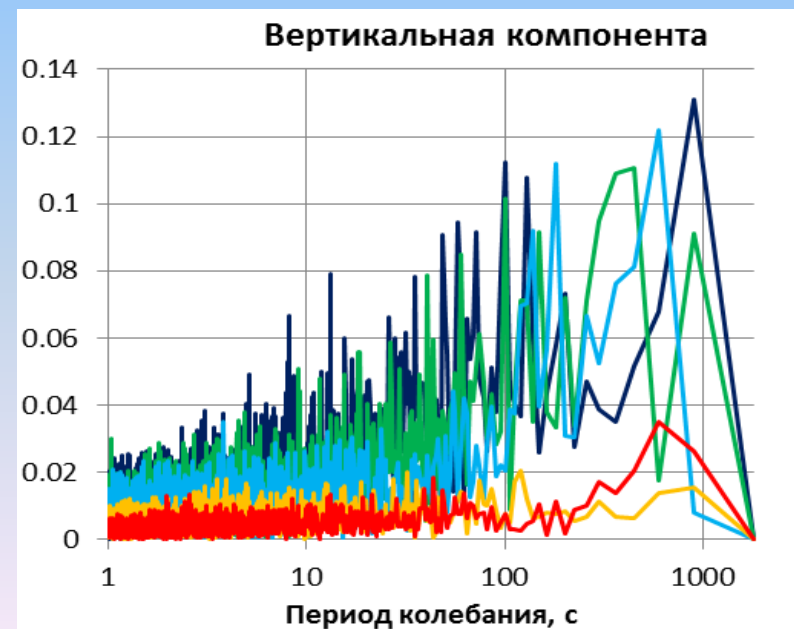
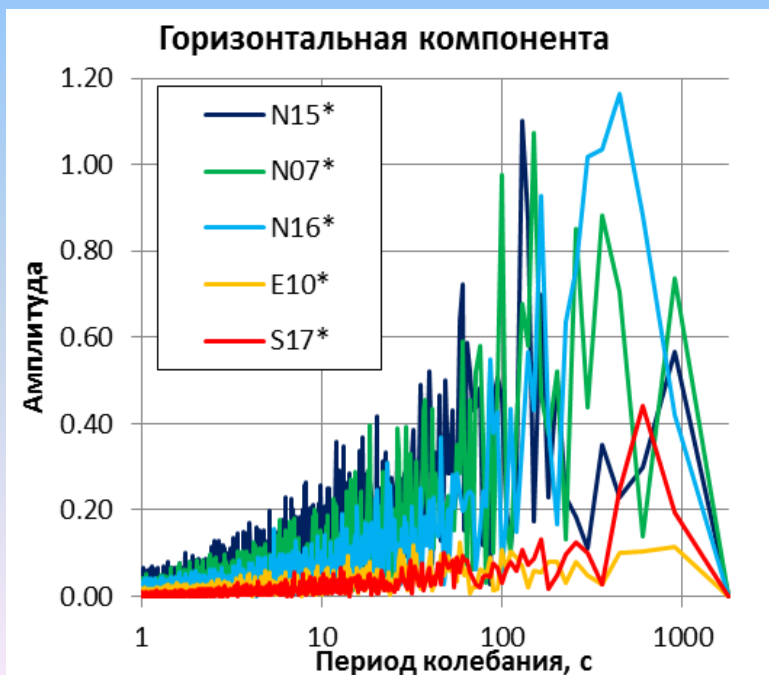
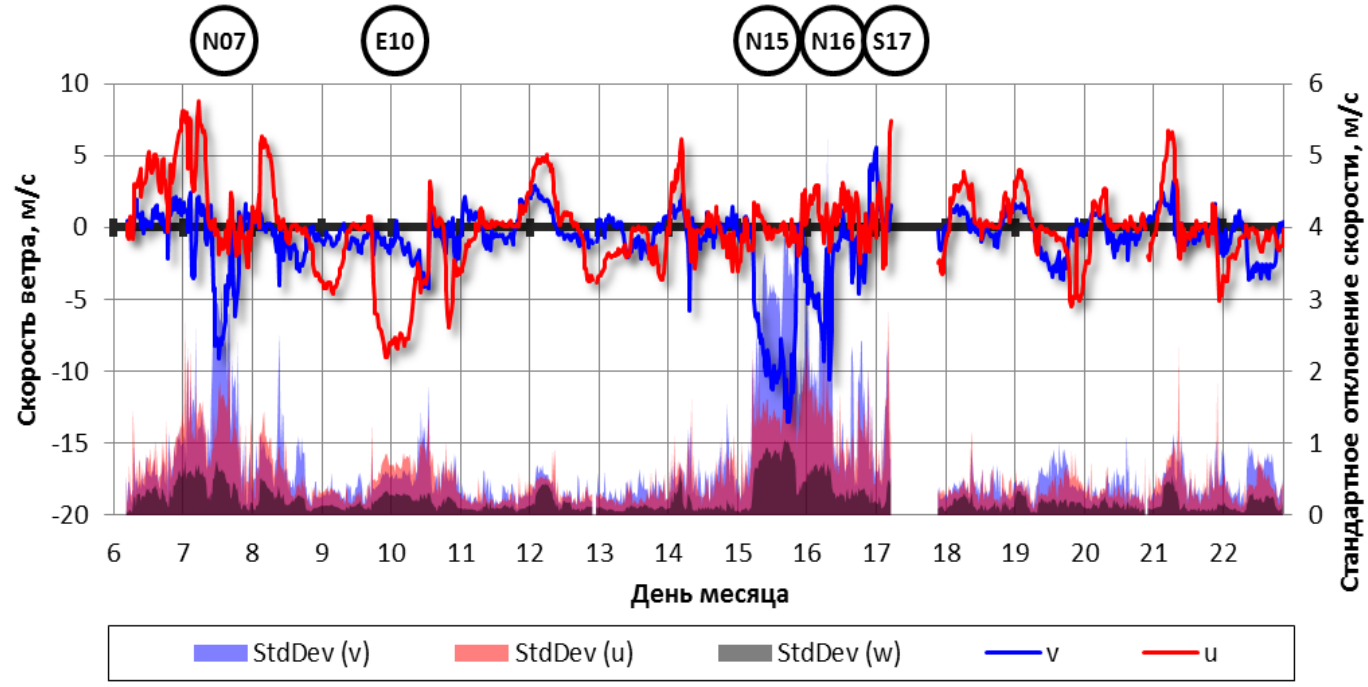


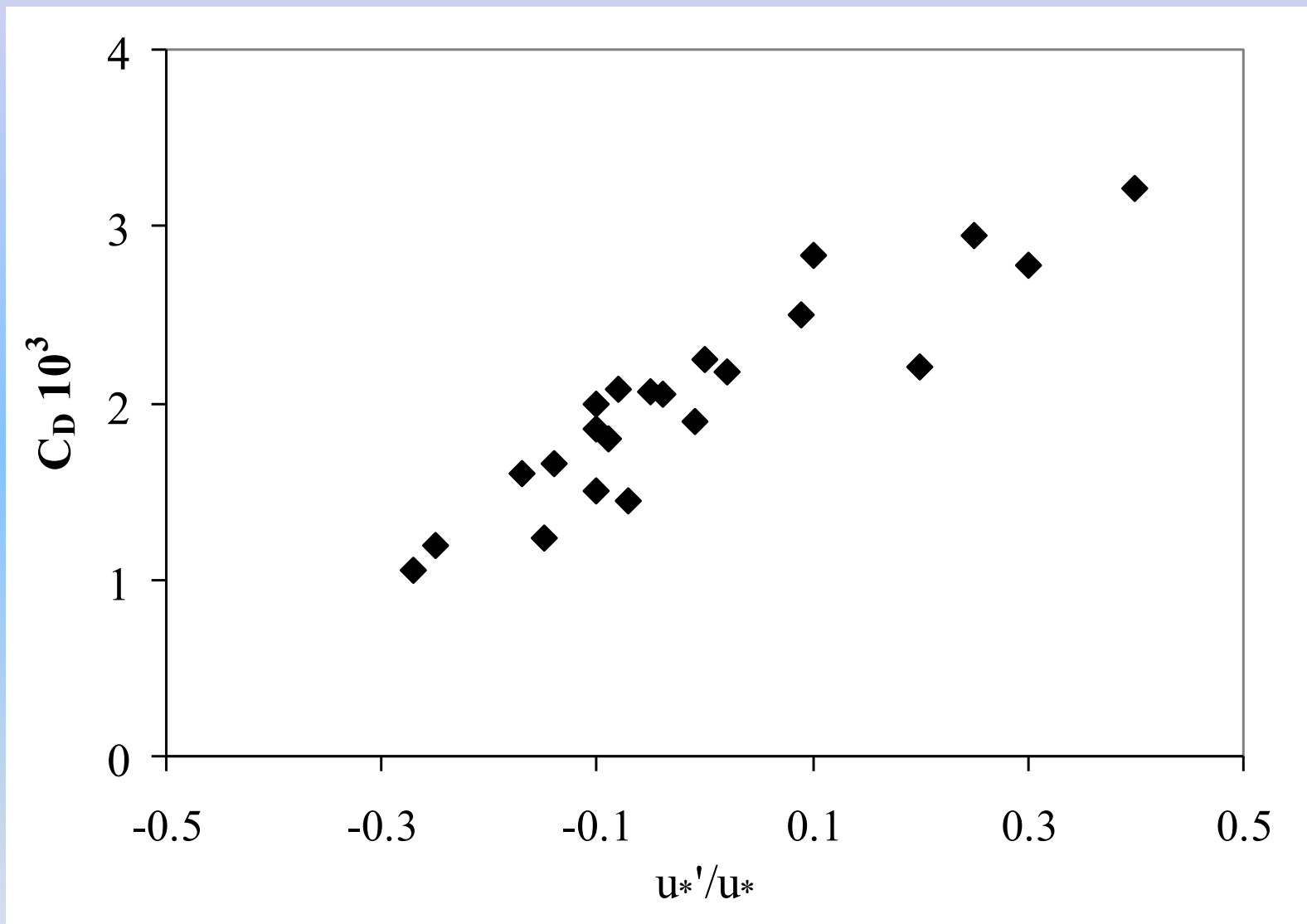
Высота внутреннего пограничного слоя по данным профильных измерений



1. Зависимость характеристик турбулентного обмена от направления ветра (образование внутренних пограничных слоев при береговых ветрах)
2. Рельеф береговой зоны в значительной степени определяет структуру пограничного слоя над морем при ветре с берега.
4. Порывистость береговых ветров
5. Различие характеристик морского волнения в открытом море и на мелководье.
6. Апвеллинги. Большая вероятность наличия экстремальных стратификаций.

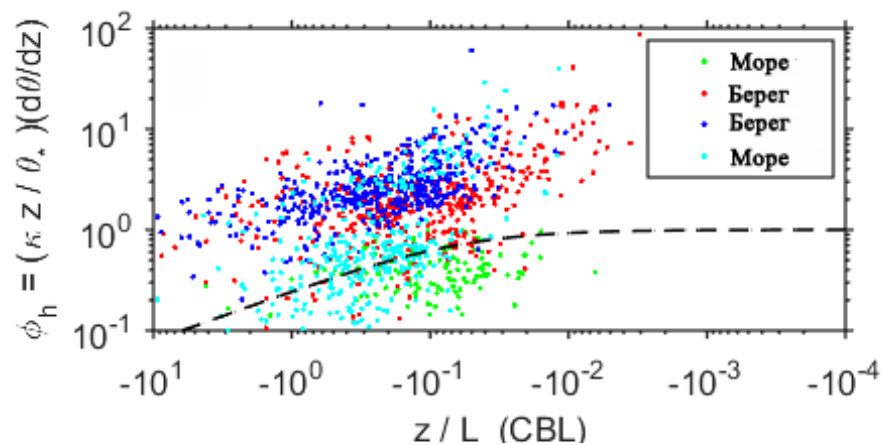




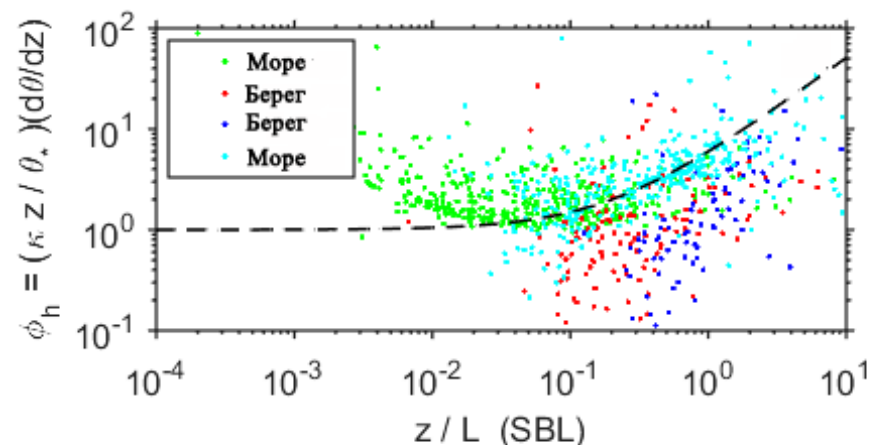


Зависимость коэффициента сопротивления от порывов ветра

$$\varphi_h = (\kappa z / \theta_*) (d\theta / dz)$$

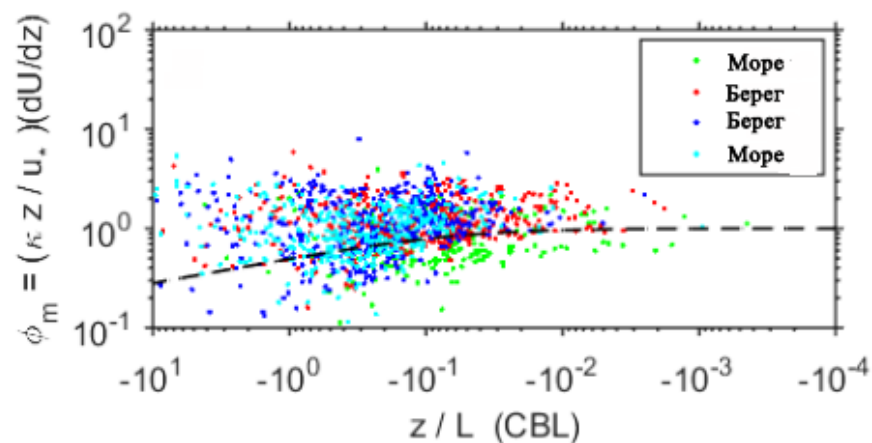


$$\varphi_h = (1 - 16\zeta)^{-1/2}$$

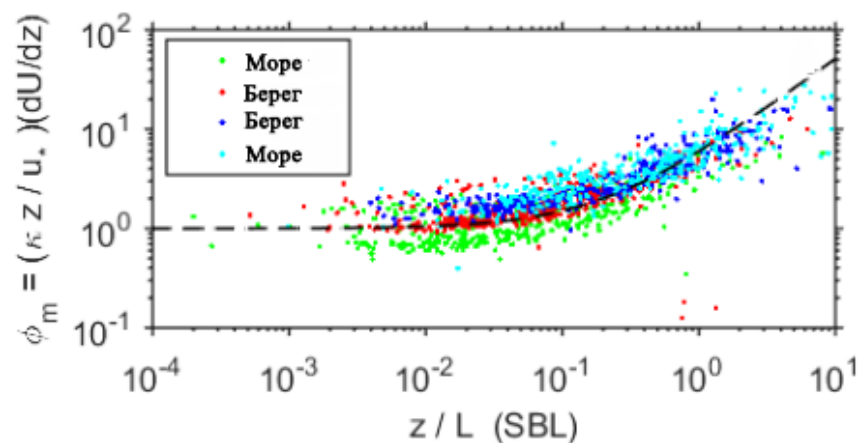


$$\varphi_h = 1 + 5\zeta$$

$$\varphi_m = (\kappa z / u_*) (dU / dz)$$



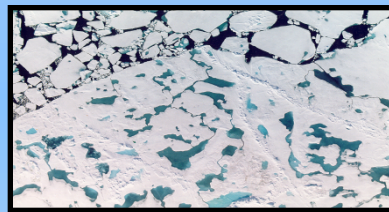
$$\varphi_m = (1 - 16\zeta)^{-1/4}$$



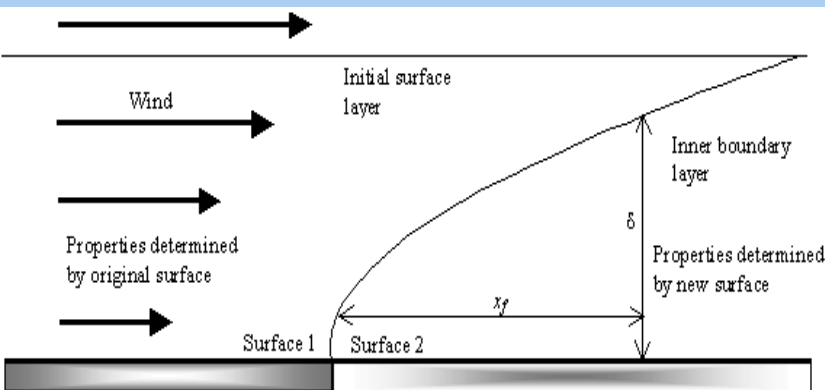
$$\varphi_m = 1 + 5\zeta$$

Характерные черты ледяного покрова

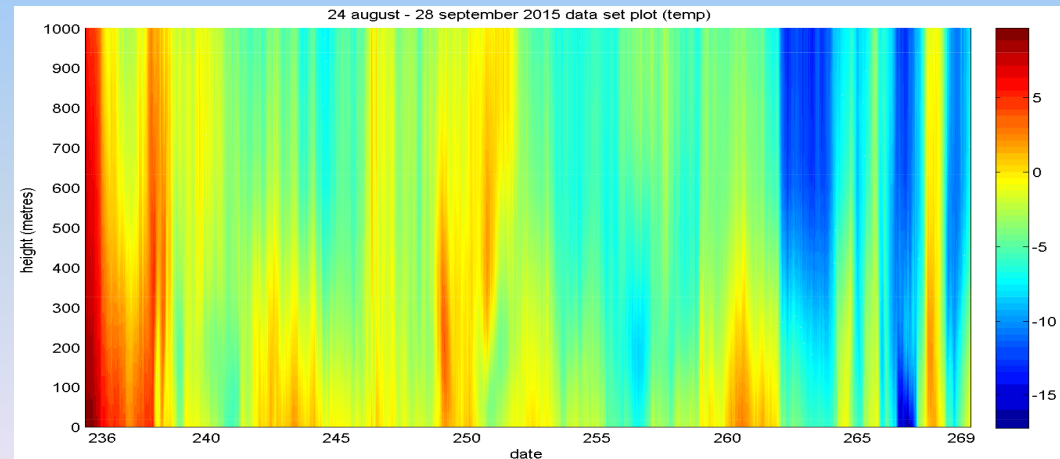
- Горизонтальная изменчивость
 - мелкомасштабная (м, км)
 - крупномасштабная (регионы)
- Вертикальная изменчивость
- Временная изменчивость
- Пространственная неоднородность



Внутренний пограничный слой



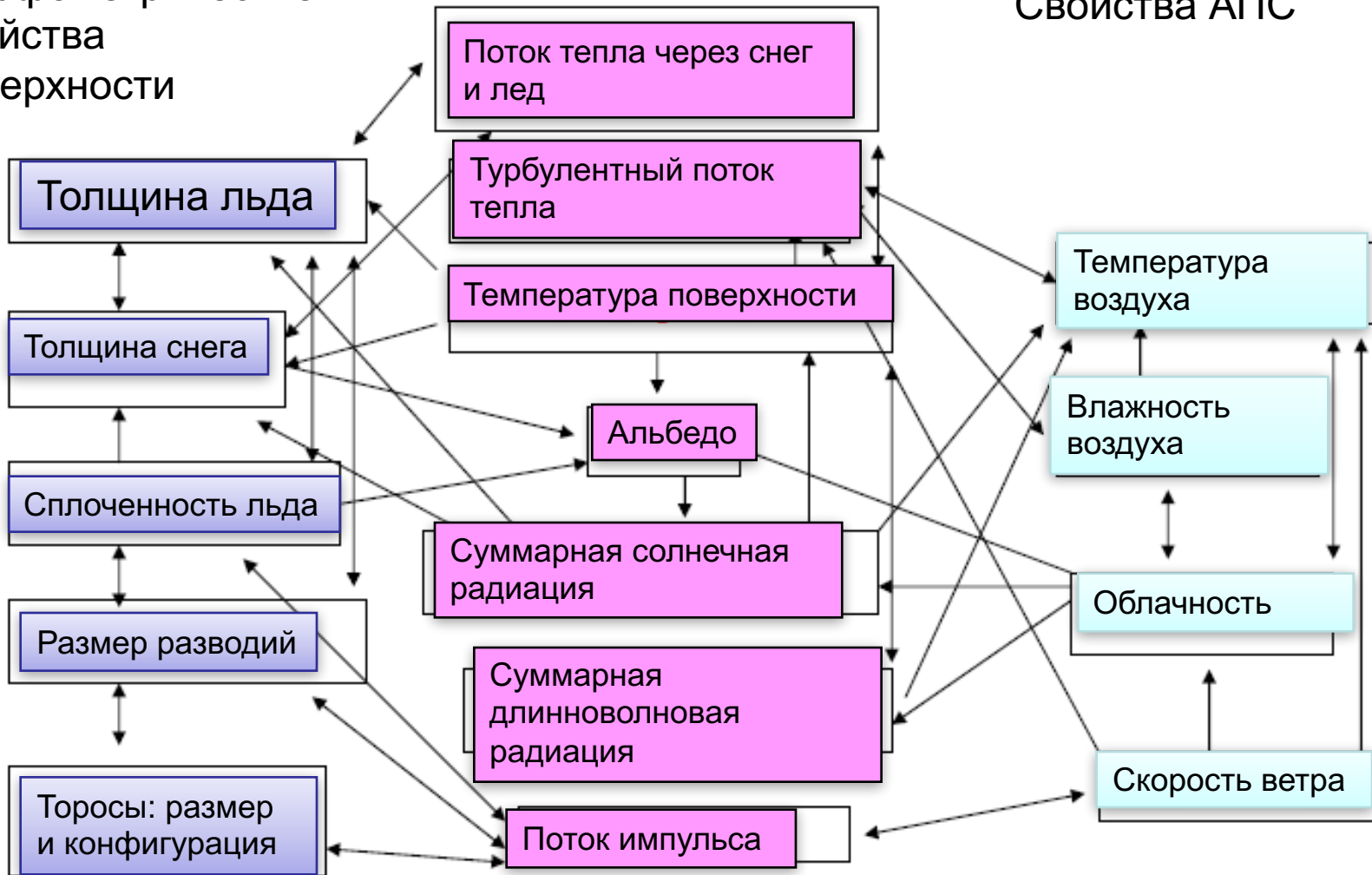
Температура АПС при пересечении кромки



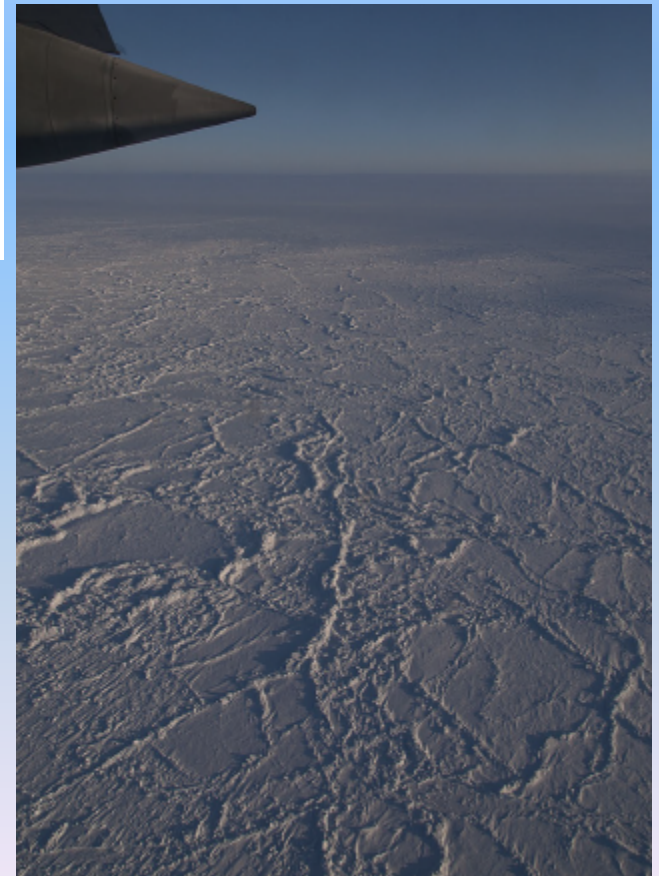
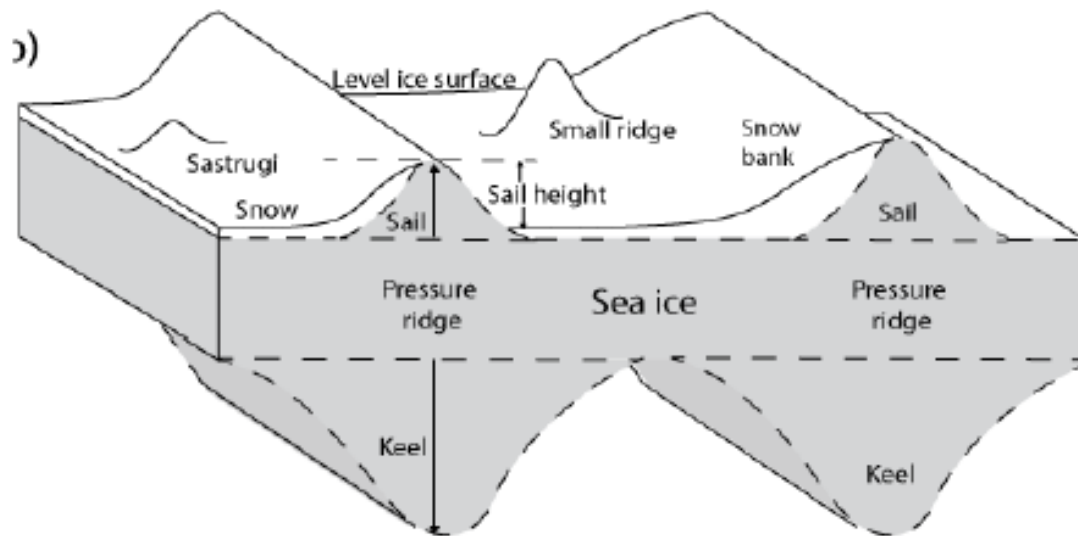
Потоки, температура и альbedo

Морфометрические
свойства
поверхности

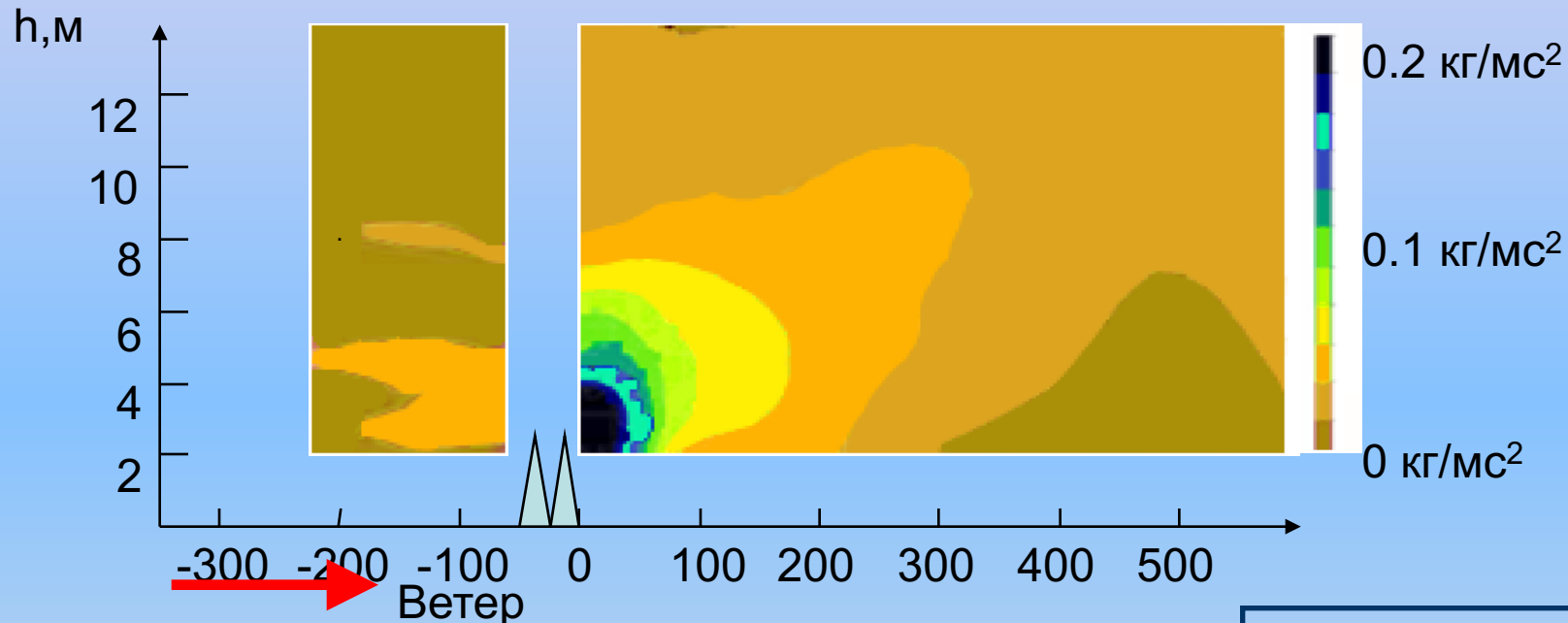
Свойства АПС



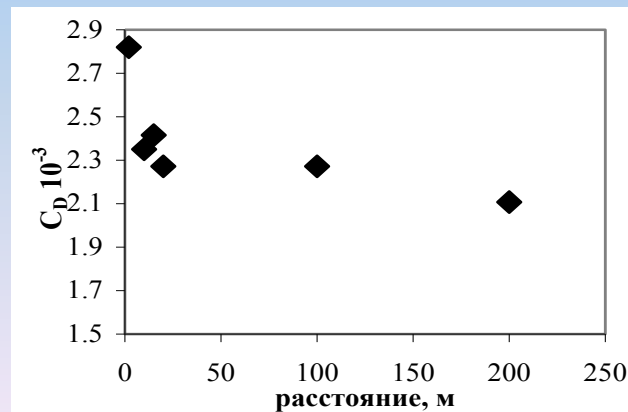
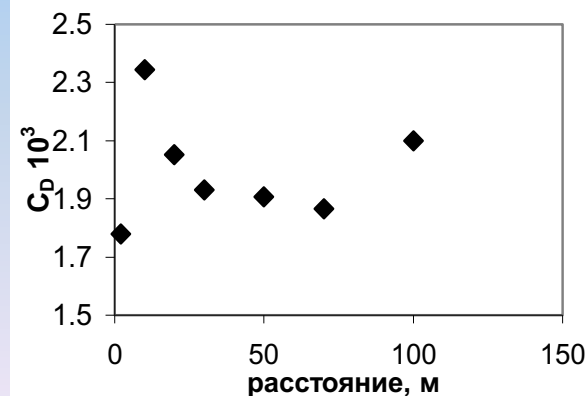
Торосы



Изменение потока импульса при натекании ветрового потока на гряды торосов из модельных расчетов



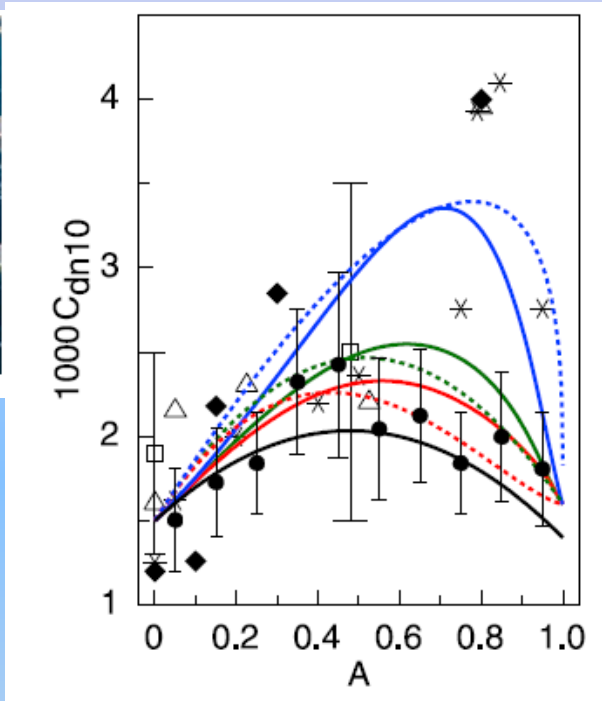
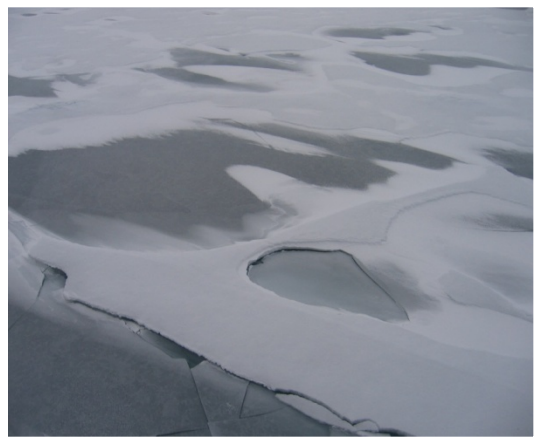
Зависимость коэффициента сопротивления, полученного из прямых измерений, от расстояния до гряды торосов.



Зависимость коэффициента сопротивления от средней высоты неровностей

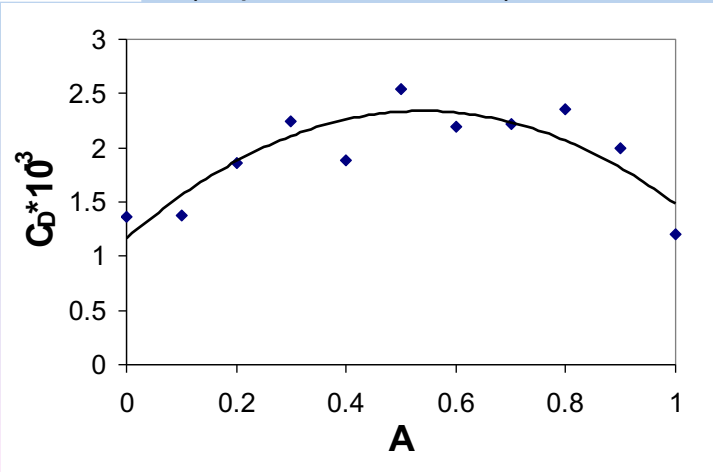
$$C_D \cdot 10^3 = 1.4 + 0.2 \ln E$$

Зависимость коэффициента сопротивления от сплоченности льда в прикромочных зонах

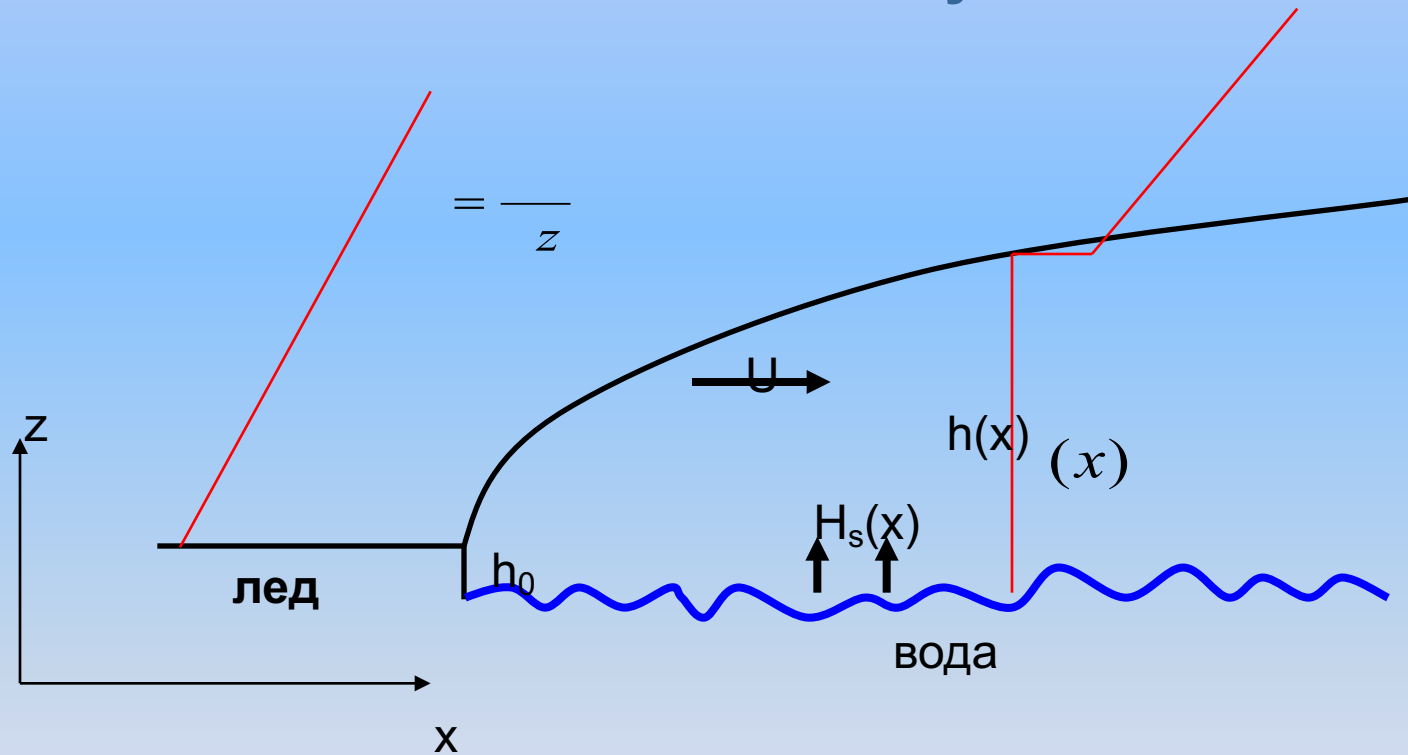


Коэффициент сопротивления как функция сплоченности льда (A) (Lüpkes et al, 2012)

$$10^3 C_{D10} = 1.17 + 4.34A(1 - A^2)$$

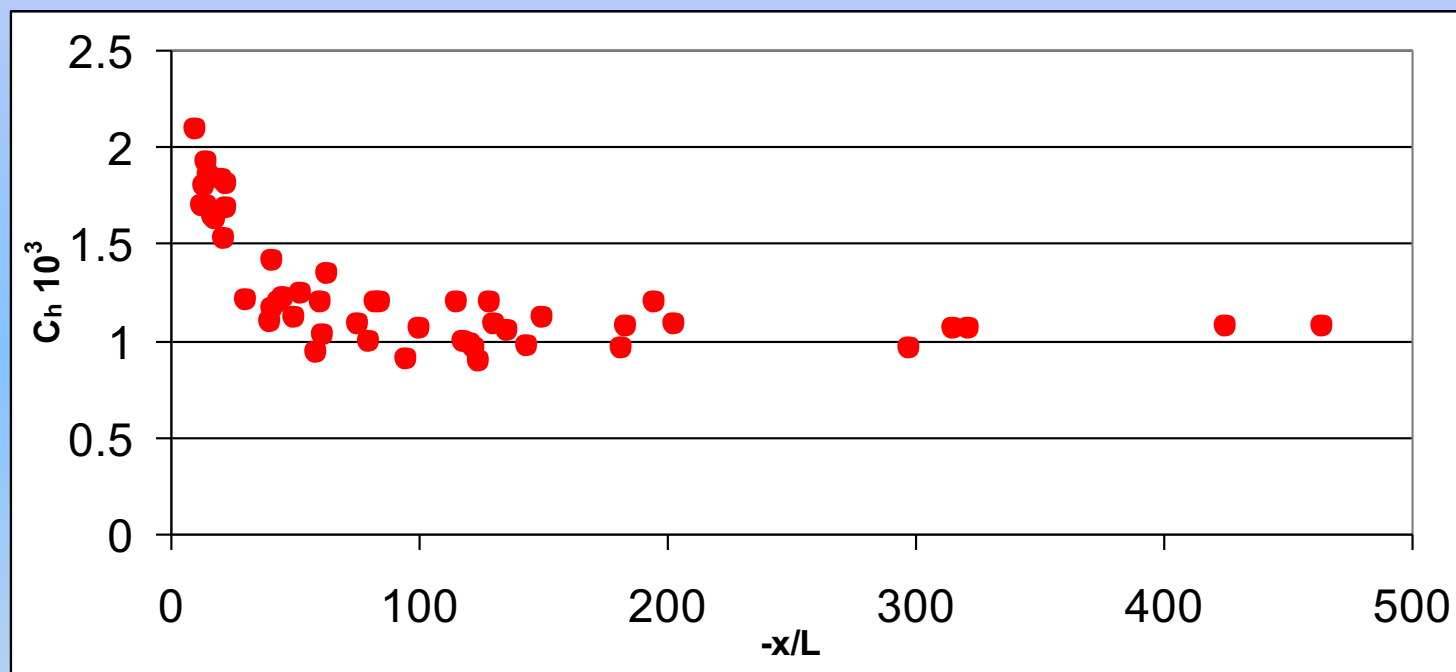


Формирование внутреннего конвективного пограничного слоя над полыньей при натекании холодного воздуха.



$$C_H = f(U, T, L, x)$$

Зависимость числа Стентона от безразмерной ширины полыньи (разводья),
L – масштаб Монина-Обухова



$$C_H = 1.1 + 0.7 \exp[0.05(X / L)]$$

Потоки в приповерхностном слое:

Поток явного тепла (H), поток скрытого тепла (LE), коротковолновая радиация (SWR), длинноволновая радиация (LWR), поток тепла через снег и лед (C)

Пусть у нас есть неоднородная поверхность с молодым тонким льдом, толстым льдом и разводьями.

→ Как посчитать средний поток с поверхности?

Потоки можно разбить на две группы:

Горизонтально однородные

- LWR
- SWR

$$\langle F \rangle = \sum_{k=1}^N f_r^k F^k$$

$$\langle LWR \downarrow \rangle = (1 - f_r) LWR^0 \downarrow f(N^i) + f_r LWR^0 \downarrow f(N^w)$$

$$\langle LWR \uparrow \rangle = (1 - f_r) \varepsilon \sigma (T_s^i)^4 + f_r \varepsilon \sigma (T_s^w)^4$$

(Vihma, 1995, JGR)

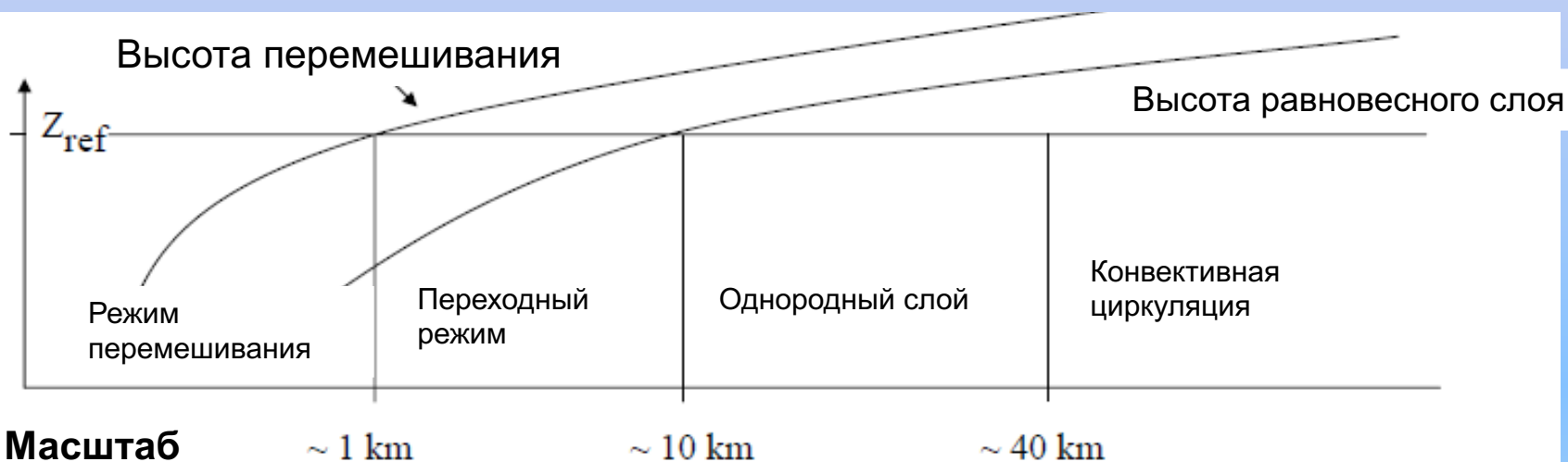
Горизонтально
неоднородные

- H
- LE
- C

$$\langle H \rangle = c_p \rho C_H^{eff} (\langle \theta_s \rangle - \langle \theta_a \rangle) \langle V \rangle$$

$$\langle H \rangle = c_p \rho \langle V \rangle \left\{ (1 - f_r) C_H^i (\theta_s^i - \langle \theta_a \rangle) + f_r C_H^w (\theta_s^w - \langle \theta_a \rangle) \right\}$$

Mahrt (1996, 2000, BLM)



----- **Разводья** -----

1) И 2) подходы

?

----- **Полыни, кромка** -----

Расширенный мозаичный
метод

Мозаичный метод +
мезомасштабное
моделирование

- ❖ Значения турбулентных потоков определяется поверхностью, над которой они формируются .

Необходимо расширение формулировки теории подобия Монина-Обухова, которая должна включать параметры, влияние которых на потоки и их градиенты возможно: например параметр Кориолиса, высоту пограничного слоя, разгон ветра, молекулярная вязкость и т.д.

Согласно Рі теореме такие параметры могут быть представлены как безразмерные группы:

$$\pi = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots)$$

$$\pi_1 = z / L$$

$$\pi_2 = h / L$$

$$\pi_3 = xg / U^2$$

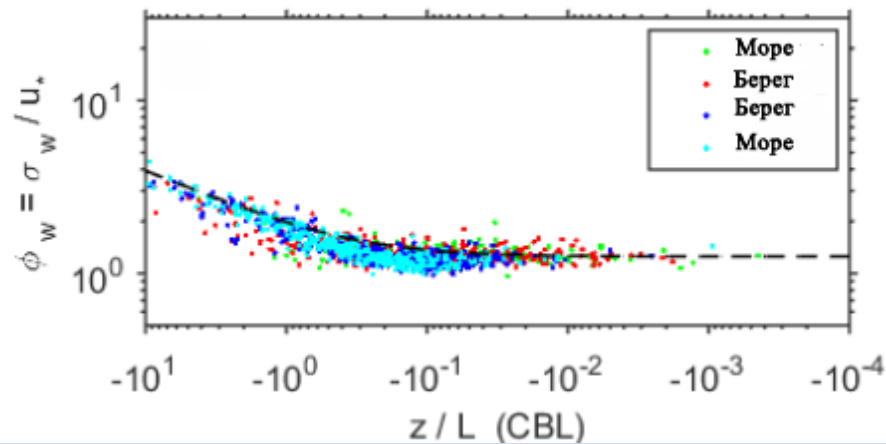
.....

Пусть

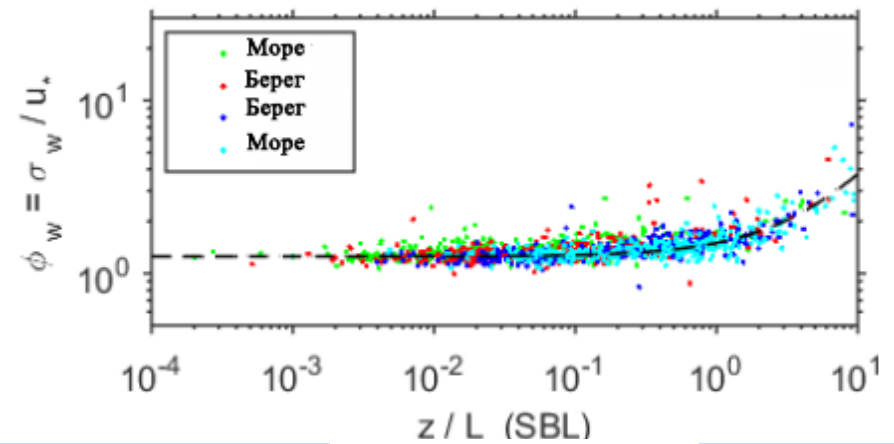
$$\pi = \varphi_w$$

$$\varphi_w = \sigma_w / u_*$$

В этом случае можно считать: $\varphi_w = f(\pi_1)$



$$\varphi_w = 1.25(1 - 3\zeta)^{1/3}$$



$$\varphi_w = 1.25(1 + 0.2\zeta)$$

Спасибо!!!

