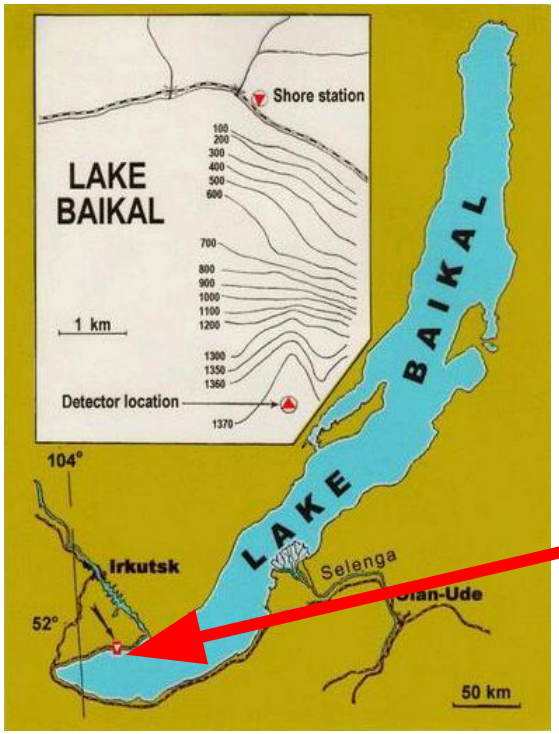
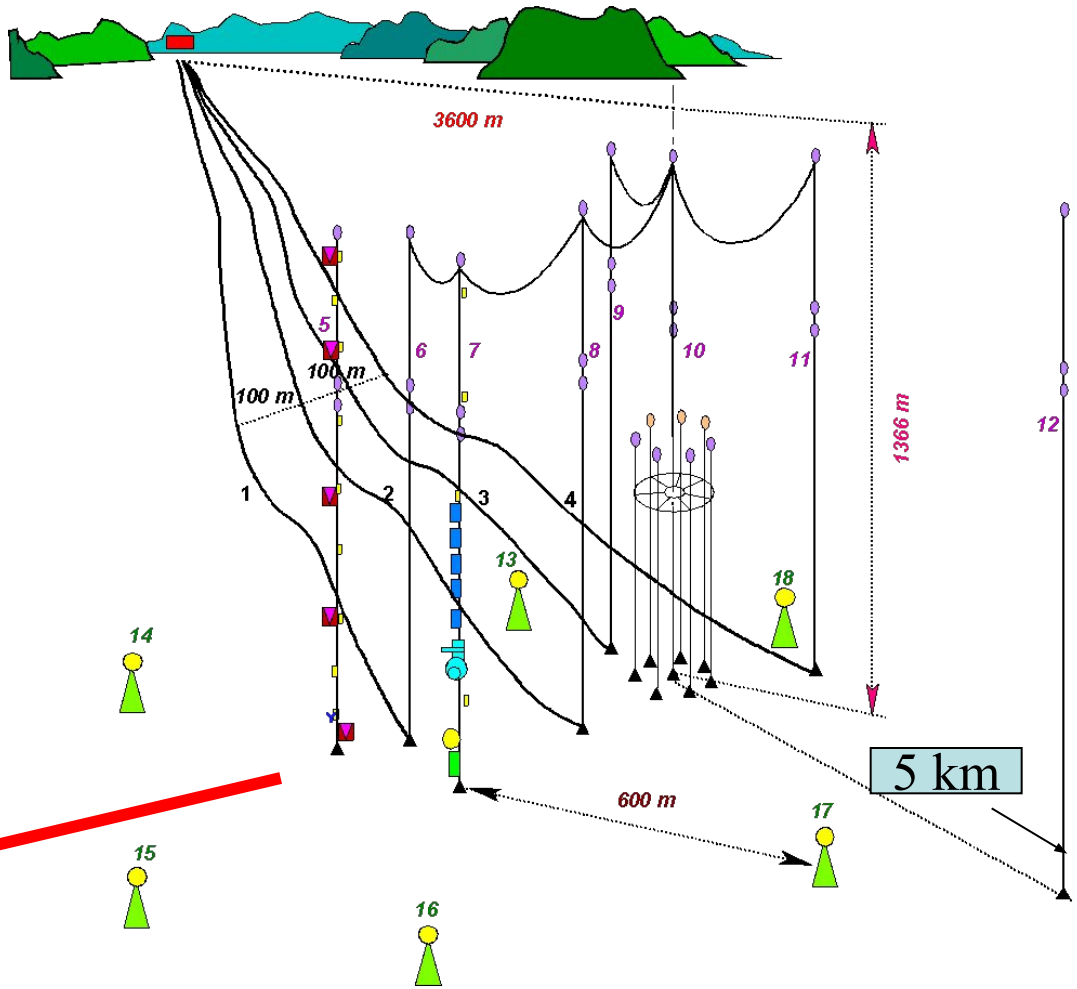
Исследования озера Байкал в рамках Байкальского нейтринного проекта

N. Budnev, Irkutsk State University.

Schematic view on the deep underwater complex of Baikal Neutrino Telescope

10-Neutrino Telescope NT-200
7-hydrophysical mooring
5-sedimentology mooring
12-geophysical mooring
13-18-acoustic transponders
1-4 cable lines



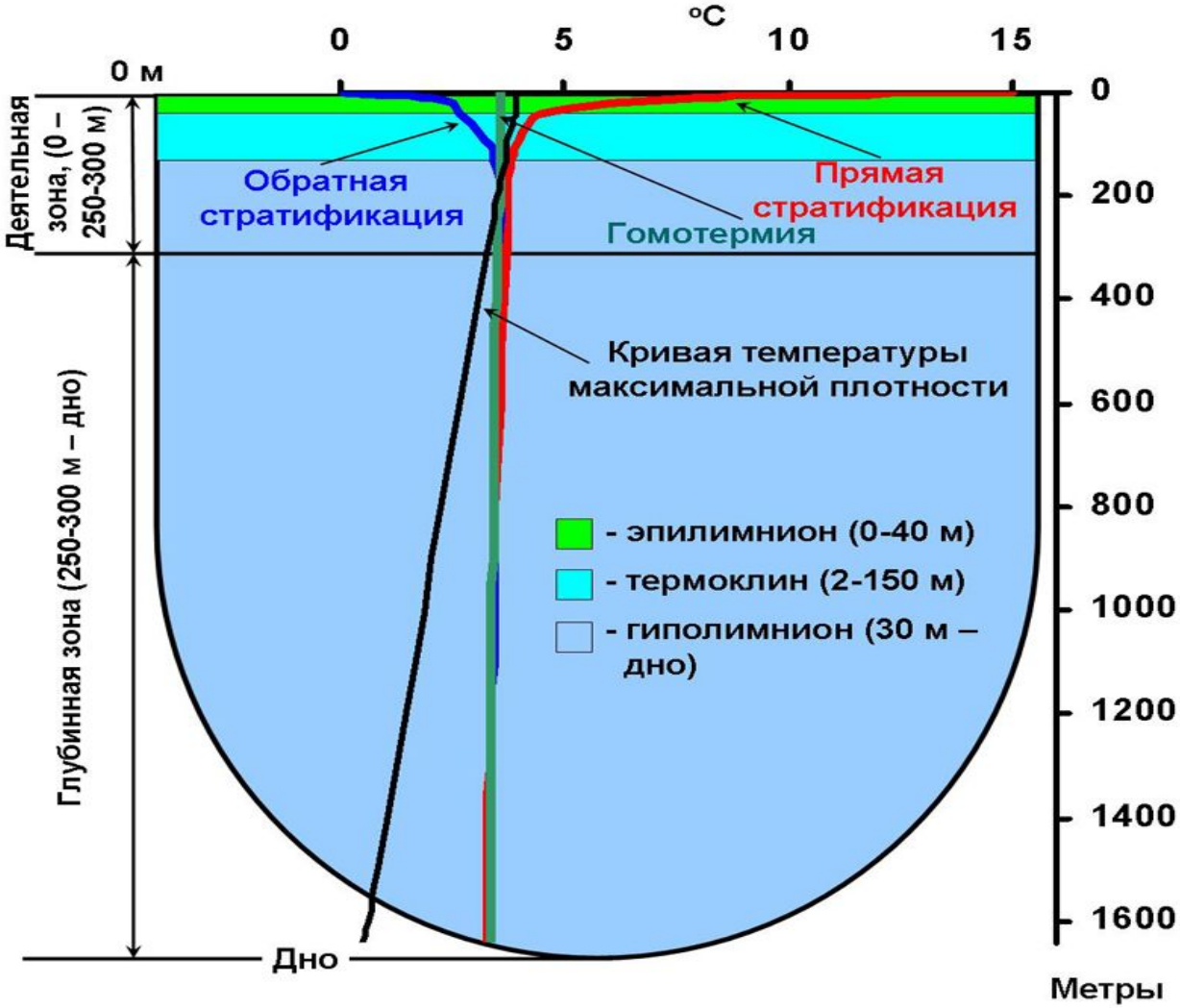


Междисциплинарные исследования озера Байкал как места обитания нейтринного телескопа

- Вертикальный и горизонтальный обмен вод
- Оптические свойства байкальской воды
- Биологические ритмы
- Глобальные изменения климата
- Геофизические исследования

Приборы и методы

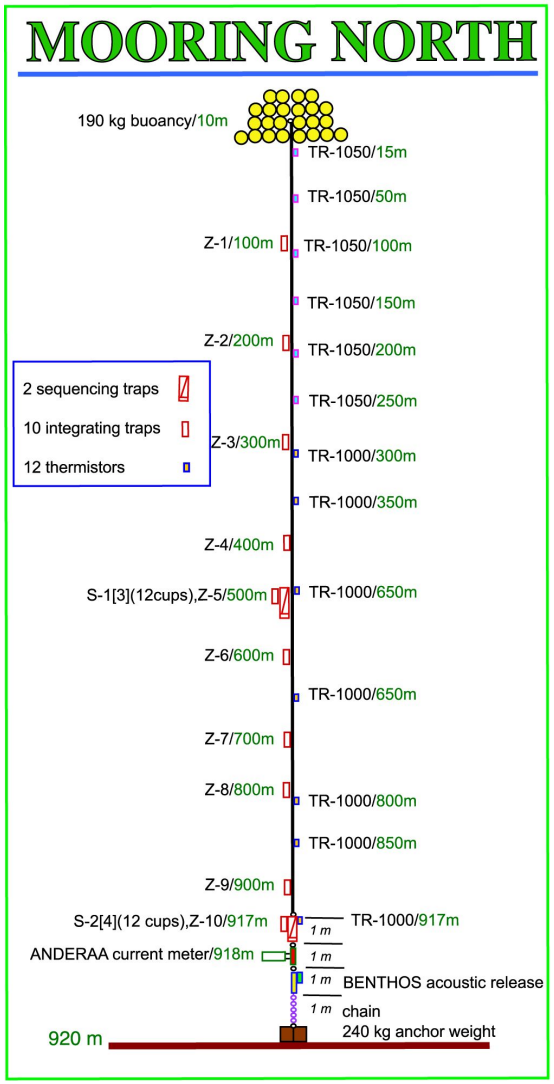
- 3 – х мерный долговременный температурный мониторинг (совместно с EAWAG, Switzerland)
- Акустическое зондирование
- 3 –х мерный мониторинг свечения водной среды
- Долговременные измерения оптических свойств среды
- Долговременные измерения геоэлектрического поля
- Исследование процесса формирования донных отложений (совместно с EAWAG, Switzerland)

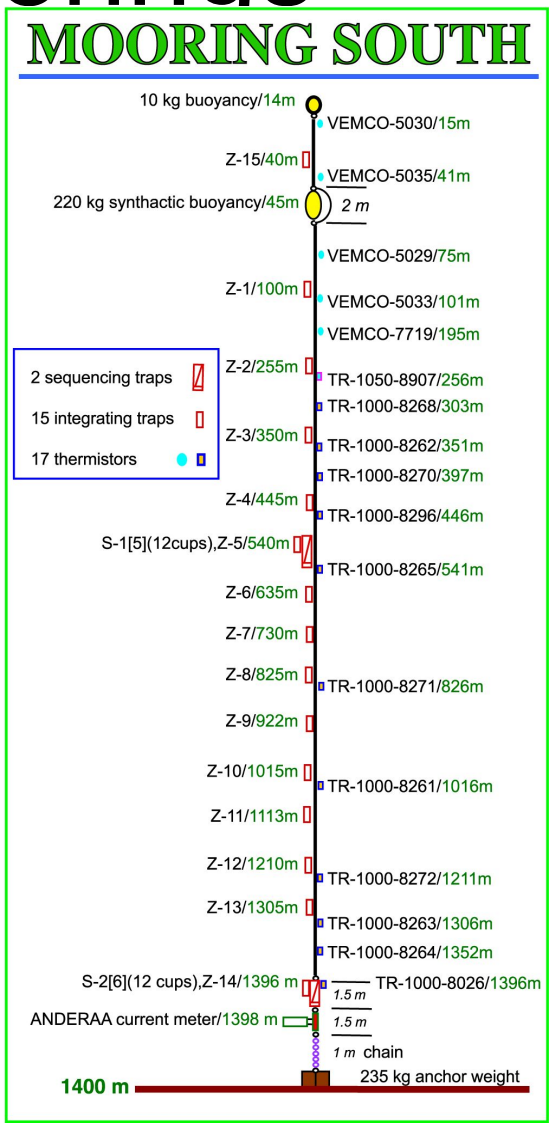


$$T_{MD} = 3.9839 - 1.9911 \cdot 10^{-2} \cdot P - 5.822 \cdot 10^{-6} \cdot P - (0.2219 + 1.106 \cdot 10^{-4} \cdot P) \cdot S$$

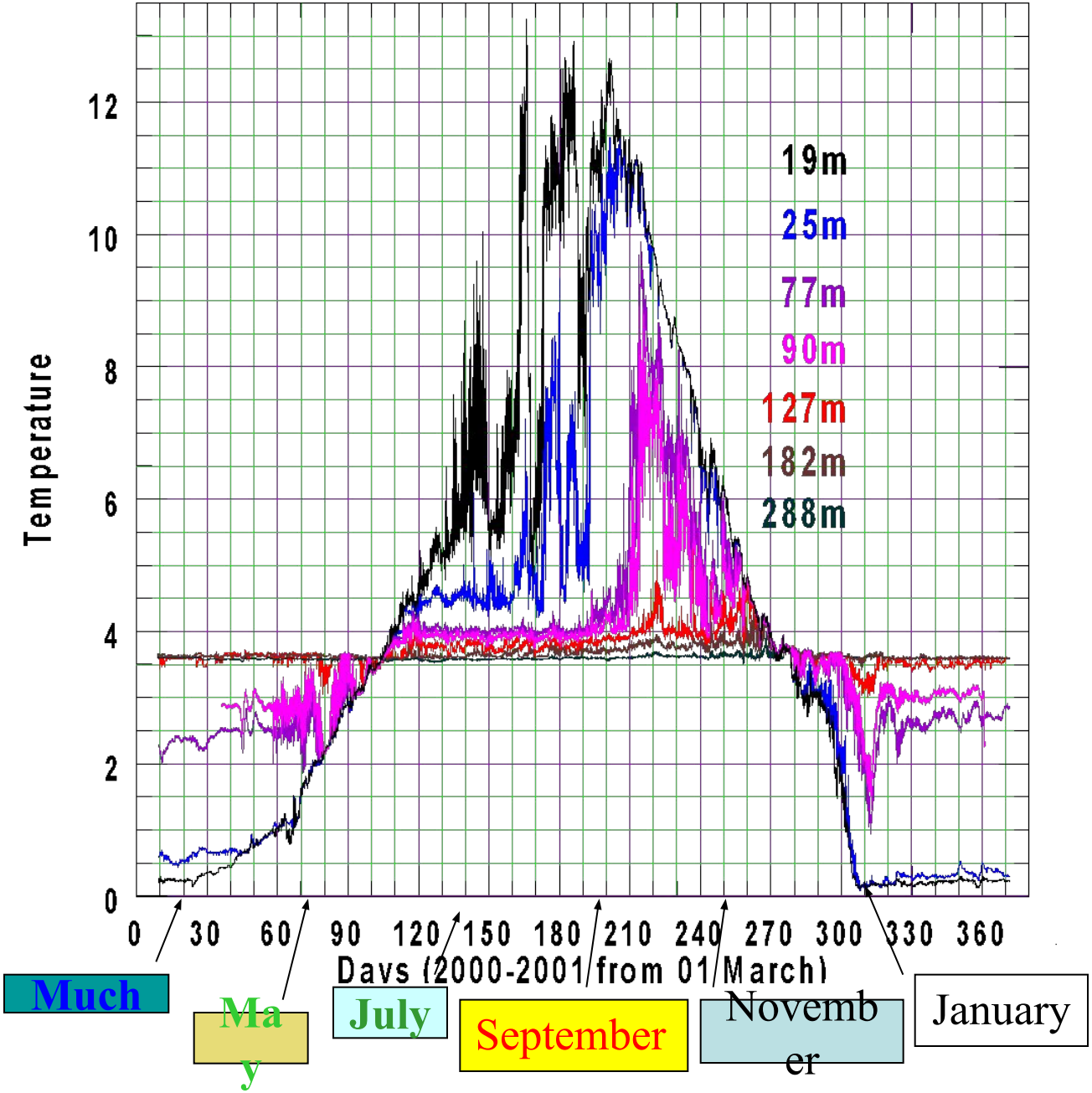
Three-dimensional long-term temperature monitoring

Instrumental moorings





The temperature at the near-surface zone



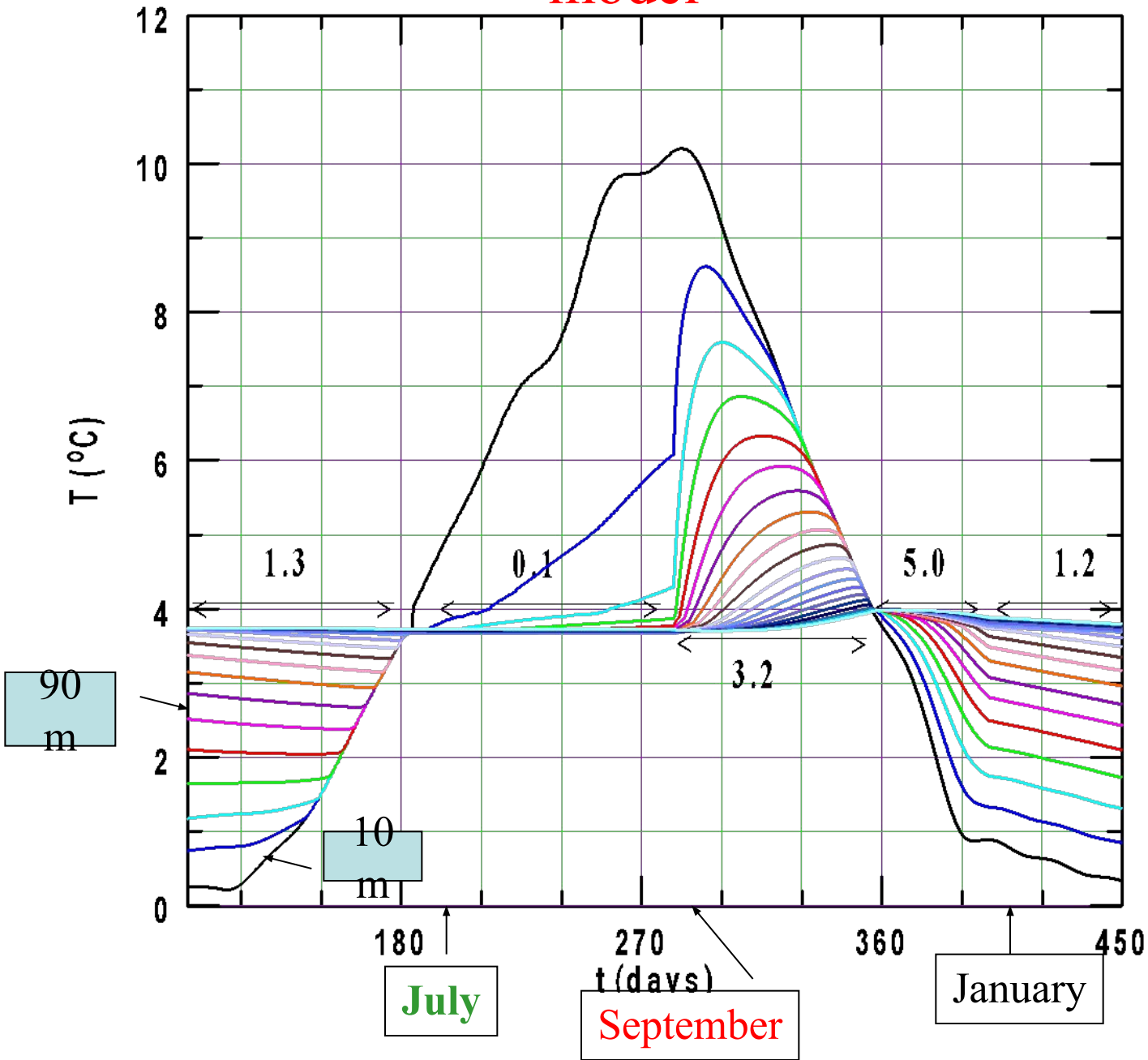
One-dimensional thermodynamic model.

- The temperature regime depend on two factors:
- intensity of solar radiation $q(A-\cos(\frac{2\pi}{\tau}t))$
- Heat exchange with atmosphere

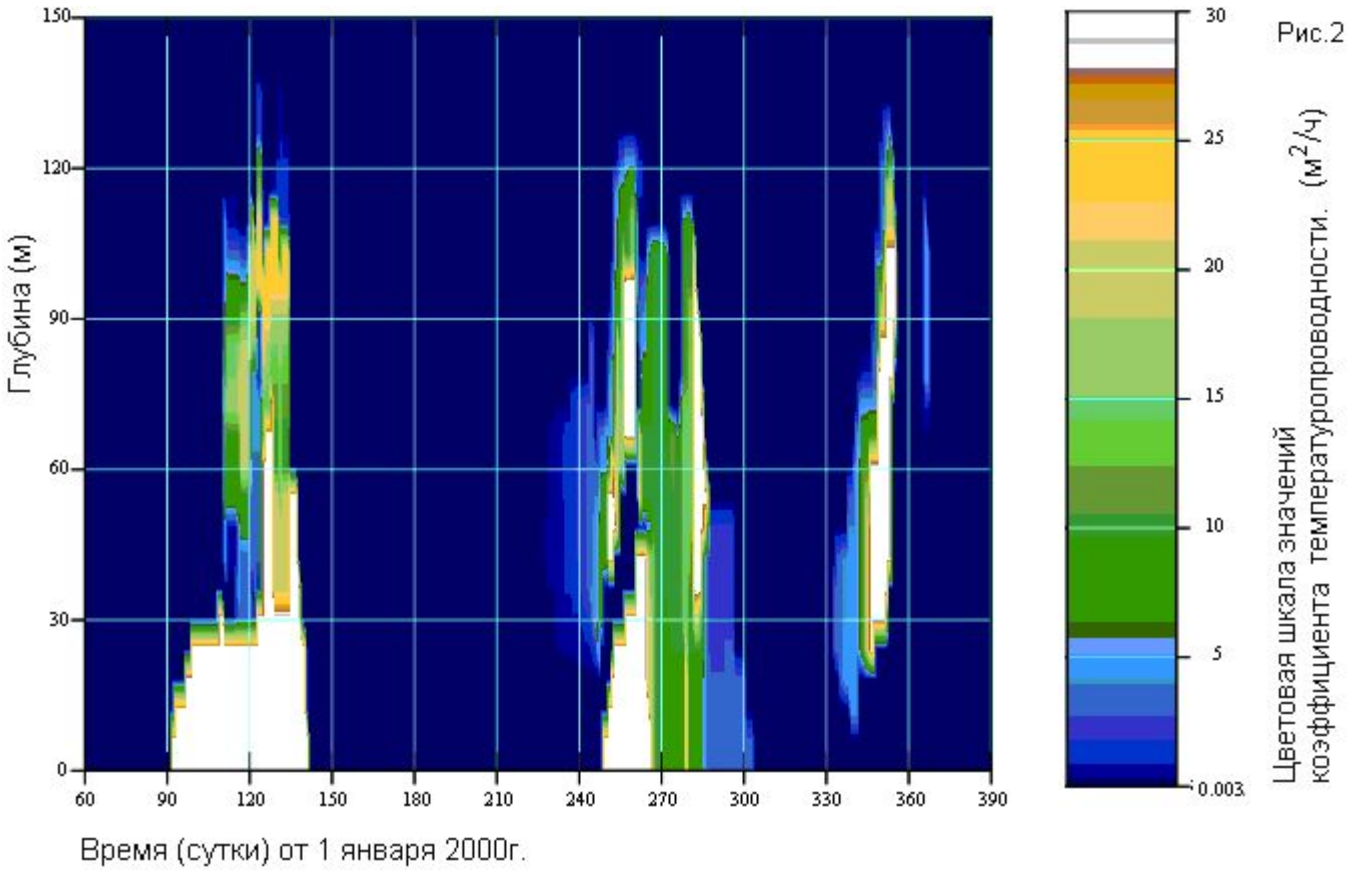
$$k\overline{T}^3(T_w(0,t)-T_{atm}(0,t))$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}-\frac{\partial}{\partial z}(\chi(z,t)\frac{\partial T}{\partial z})=q(A-\cos(\frac{2\pi}{\tau}t))e^{-\frac{z}{\lambda}}$$

Temporal changes of temperature in the model



Годовой ход коэффициент температуропроводности



Годовой ход коэффициента вертикального массопереноса

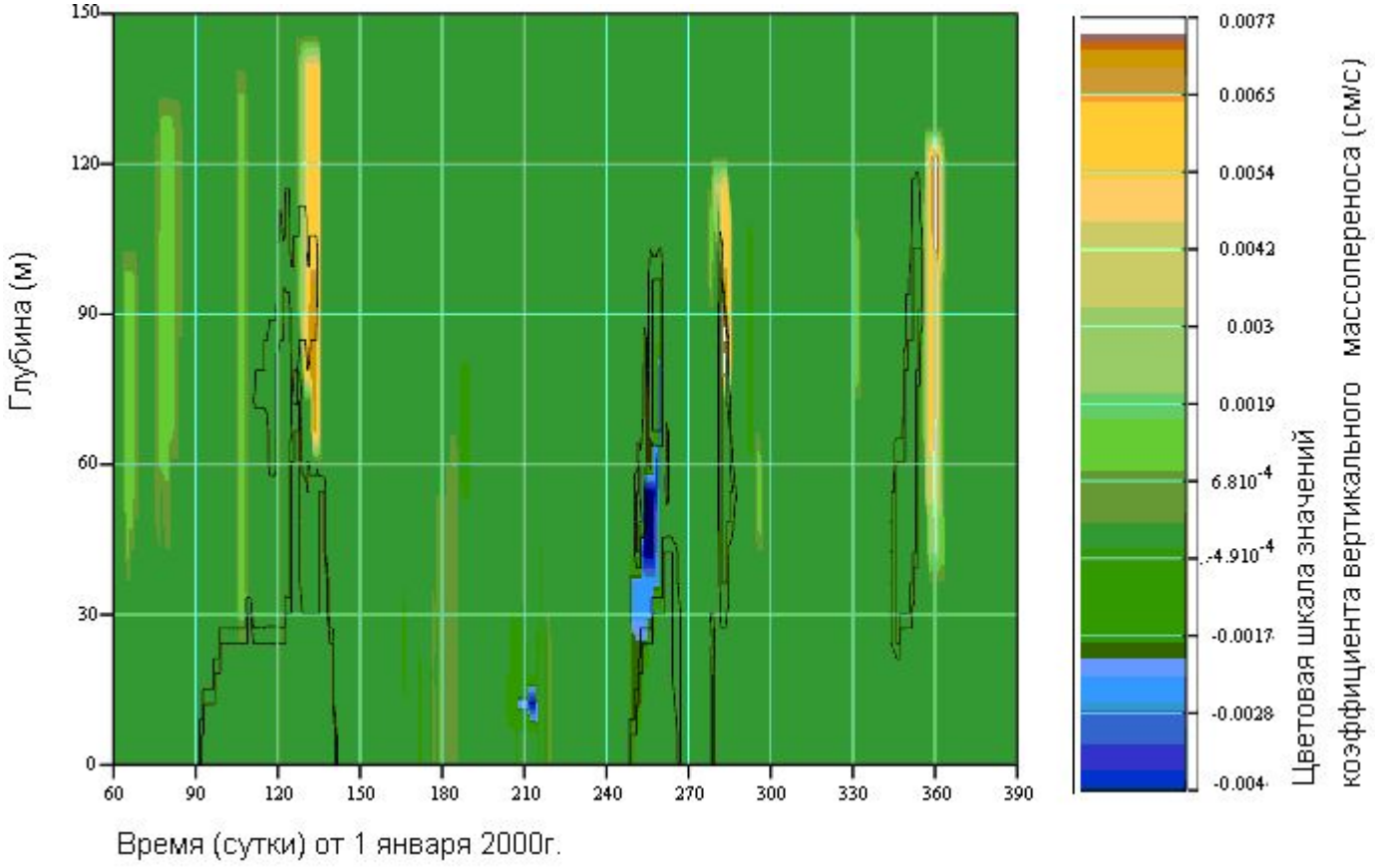
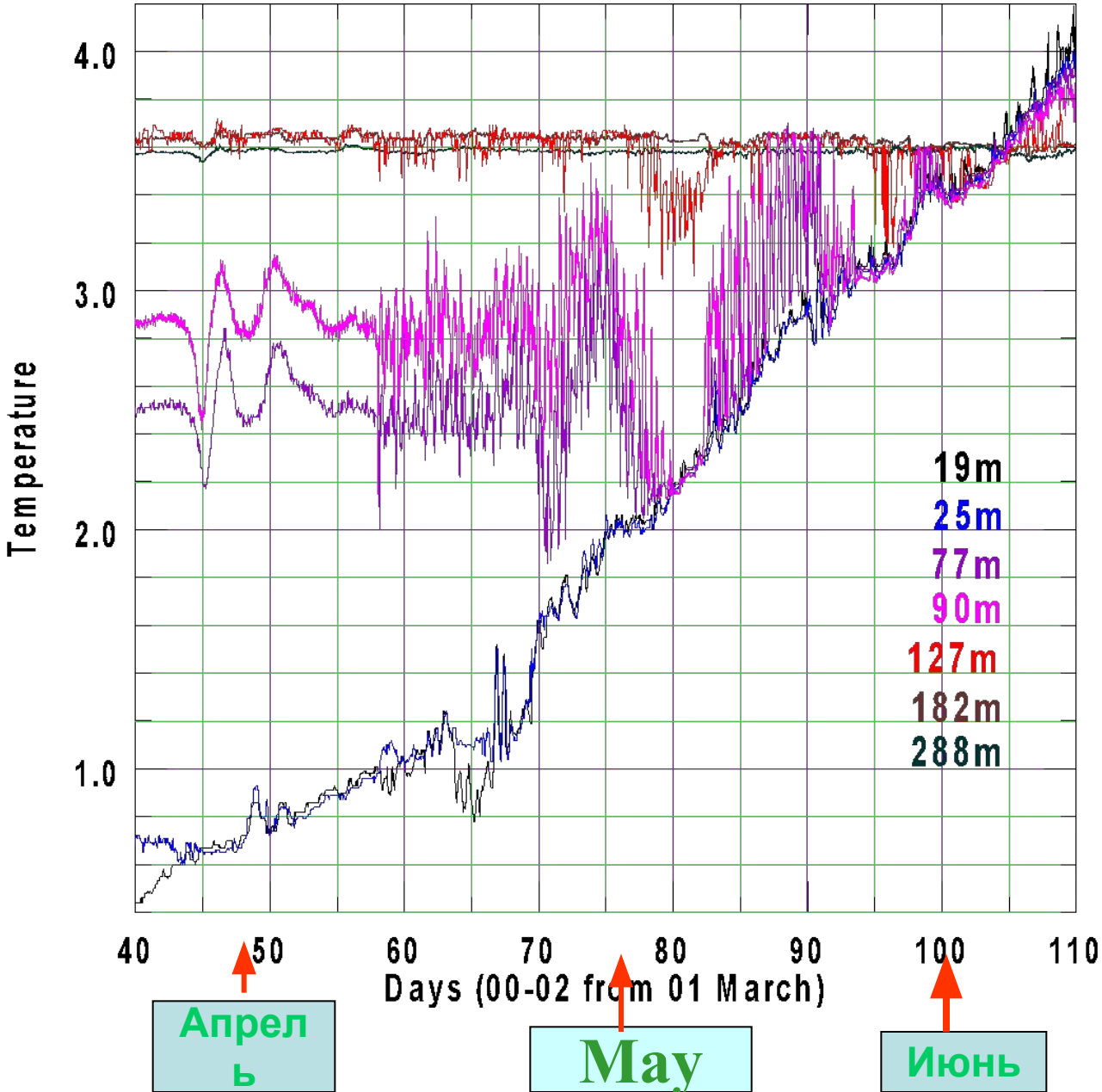
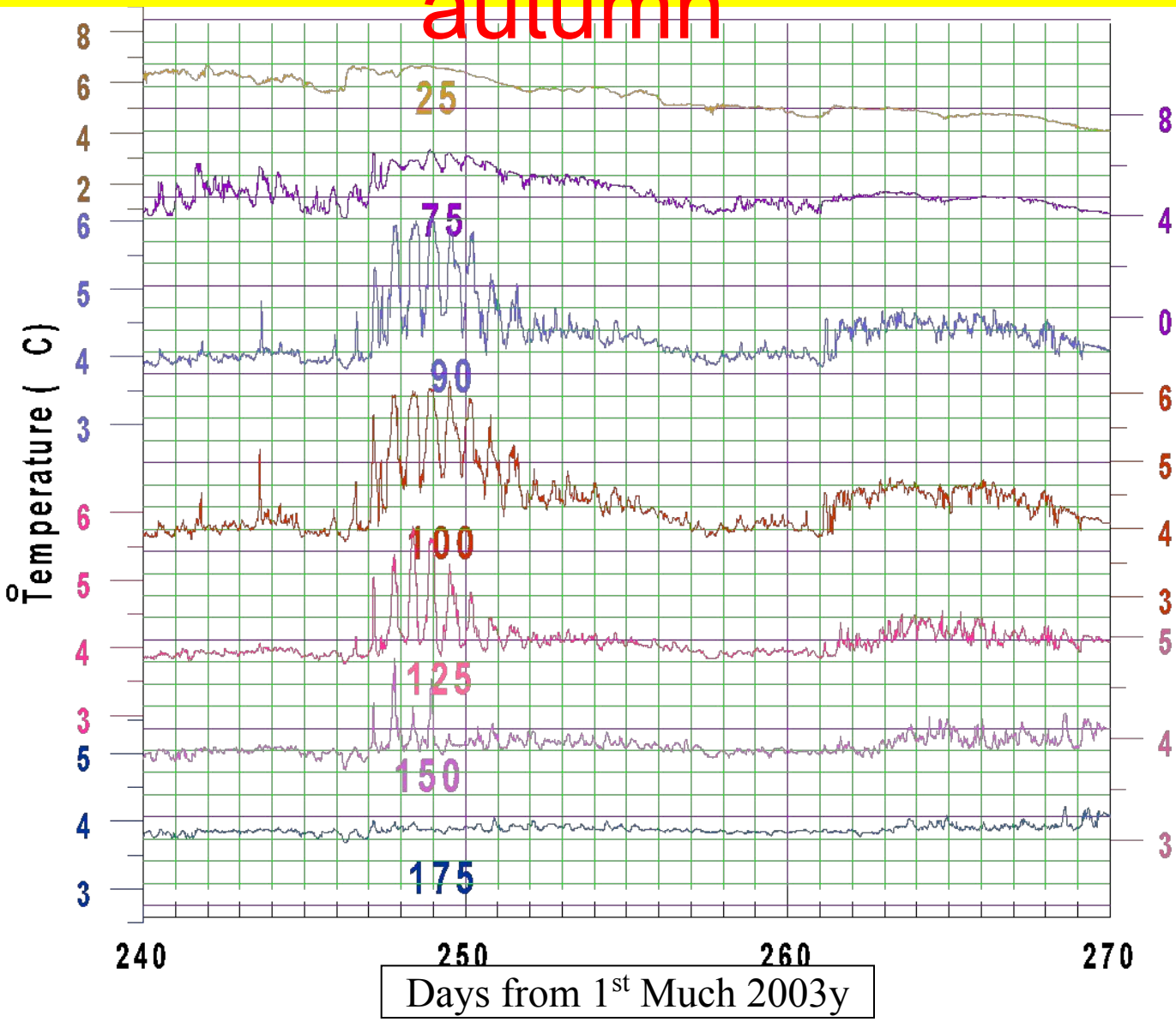


Рис.3

Inertial waves excitation in the spring

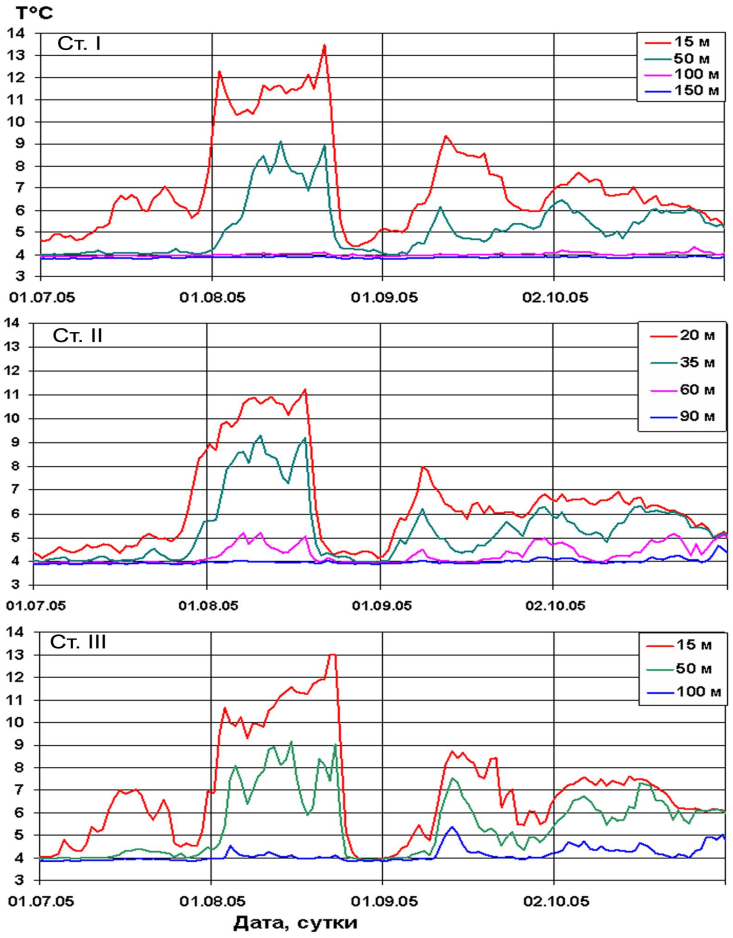


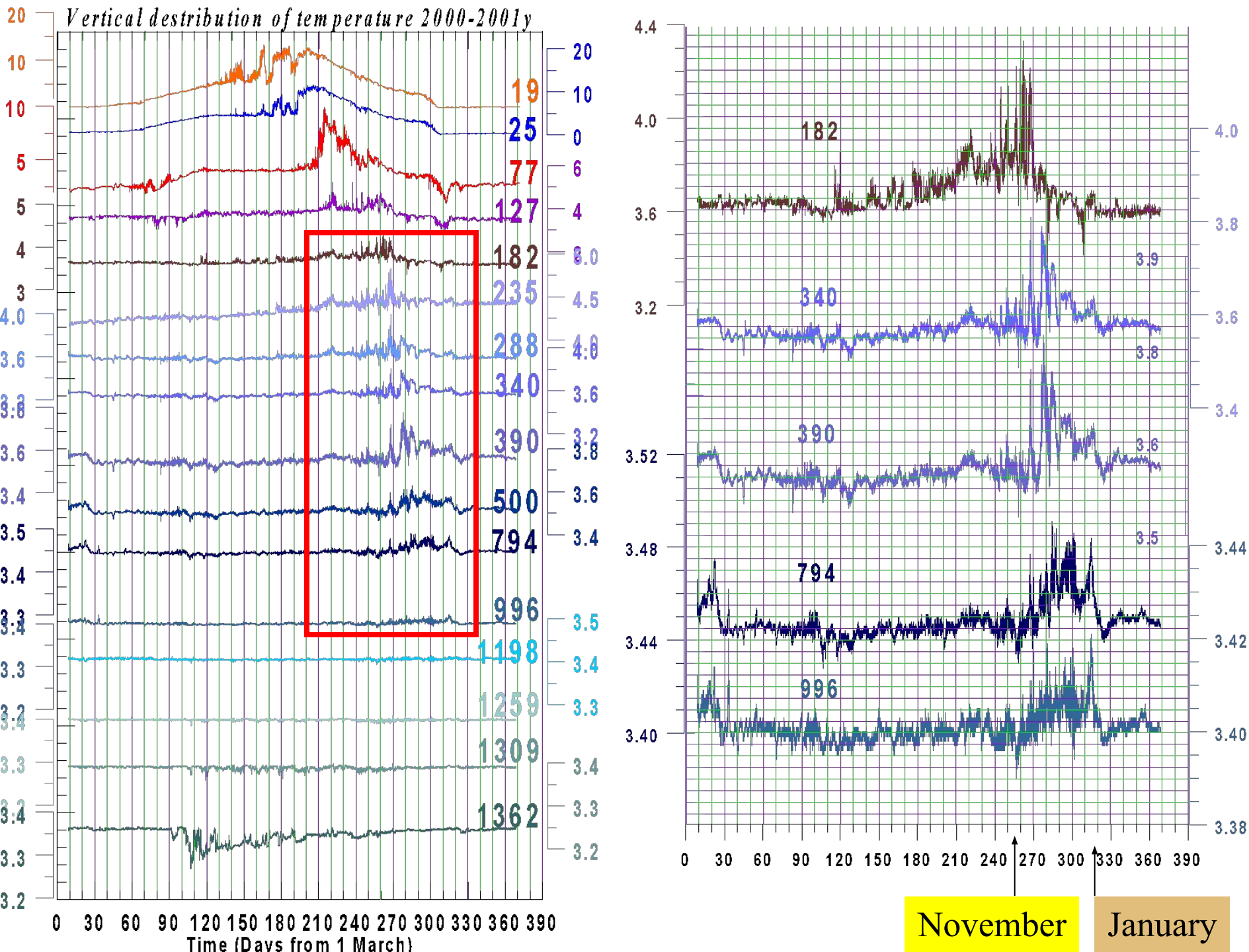
Inertial waves excitation in the autumn

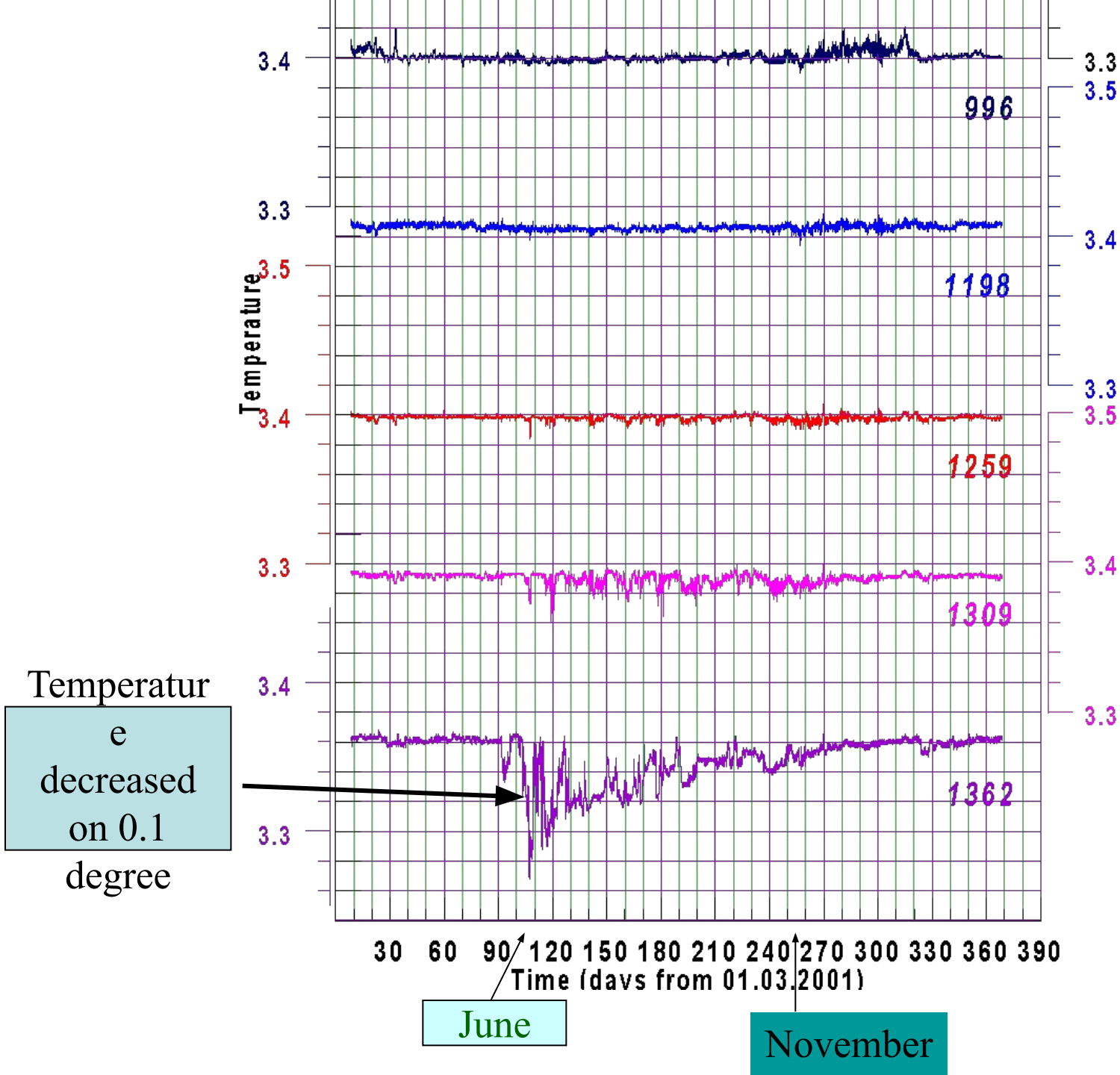


October	November

Крупномасштабный апвелинг



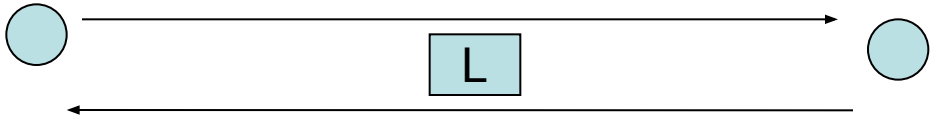

Vertical destribution of temperature 2000-2001y
19
25
77
127
182
235
288
340
390
500
794
996
1198
1259
1309
1362
Time (Days from 1 March)
182
340
390
794
996
November
January


Temperature
3.4
3.3
3.5
3.4
3.3
3.4
3.3
3.4
3.3
996
1198
1259
1309
1362
3.3
3.5
3.4
3.3
3.5
3.4
3.3
30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360 390
Time (days from 01.03.2001)
Temperature decreased on 0.1 degree
June
November

Синхронное акустическое зондирование частотно-манипулированными сигналами

Время распространения $t_1 = L/[C(T,P,S) – U]$

Гидрофоны



U - скорость течения

Время распространения $t_2 = L/[C(T,P,S) + U]$

Скорость течения $U = L/2[1/t_1 - 1/t_2]$

Скорость звука $C = L/2[1/t_1 + 1/_{t2}]$

Зондирующий сигнал
$u(t) = a(t) \cos \omega t$

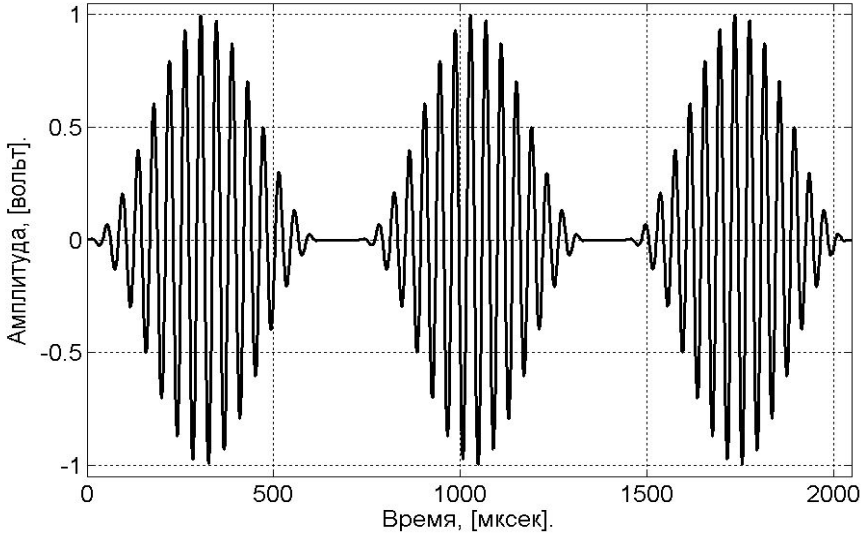
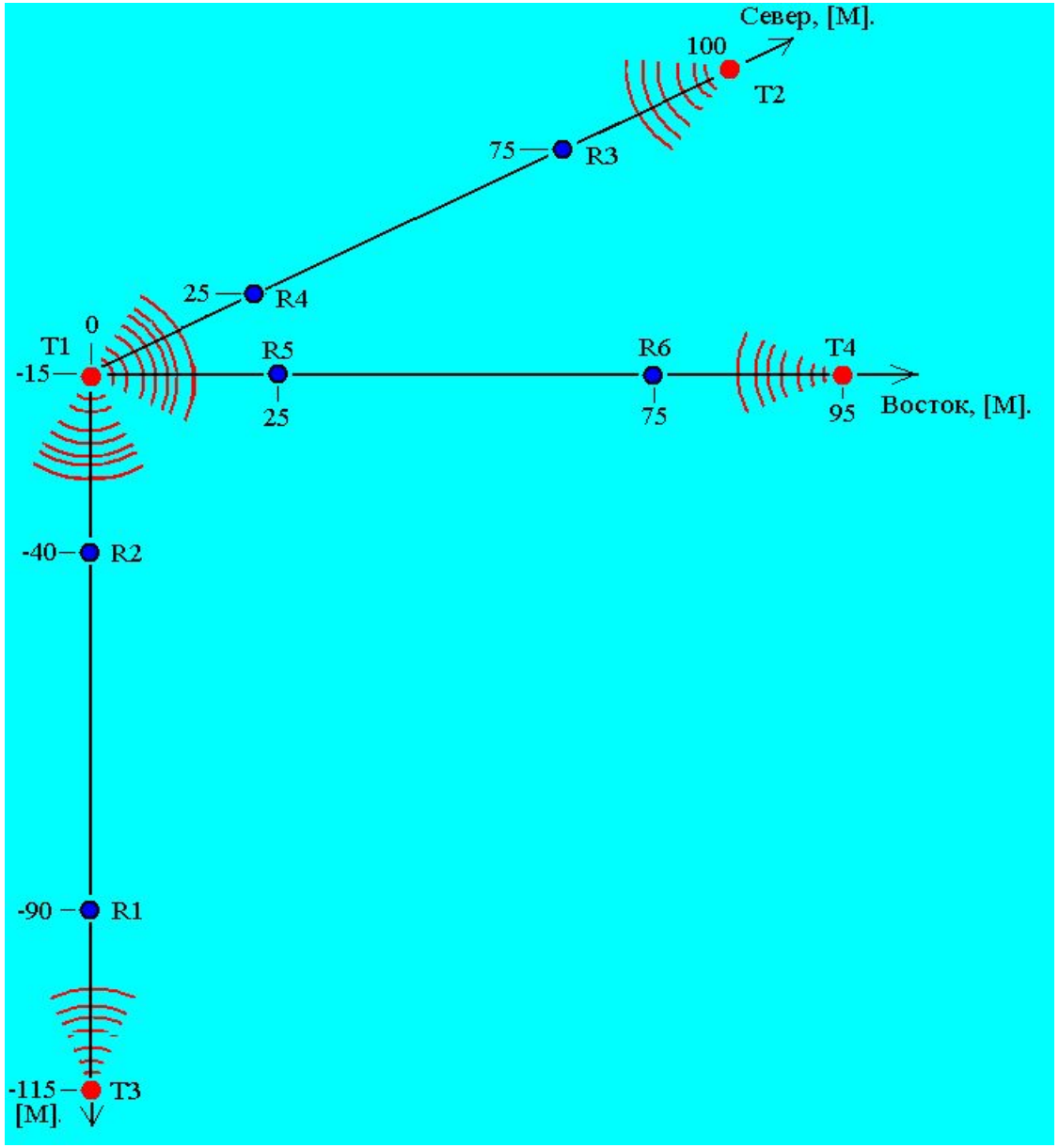
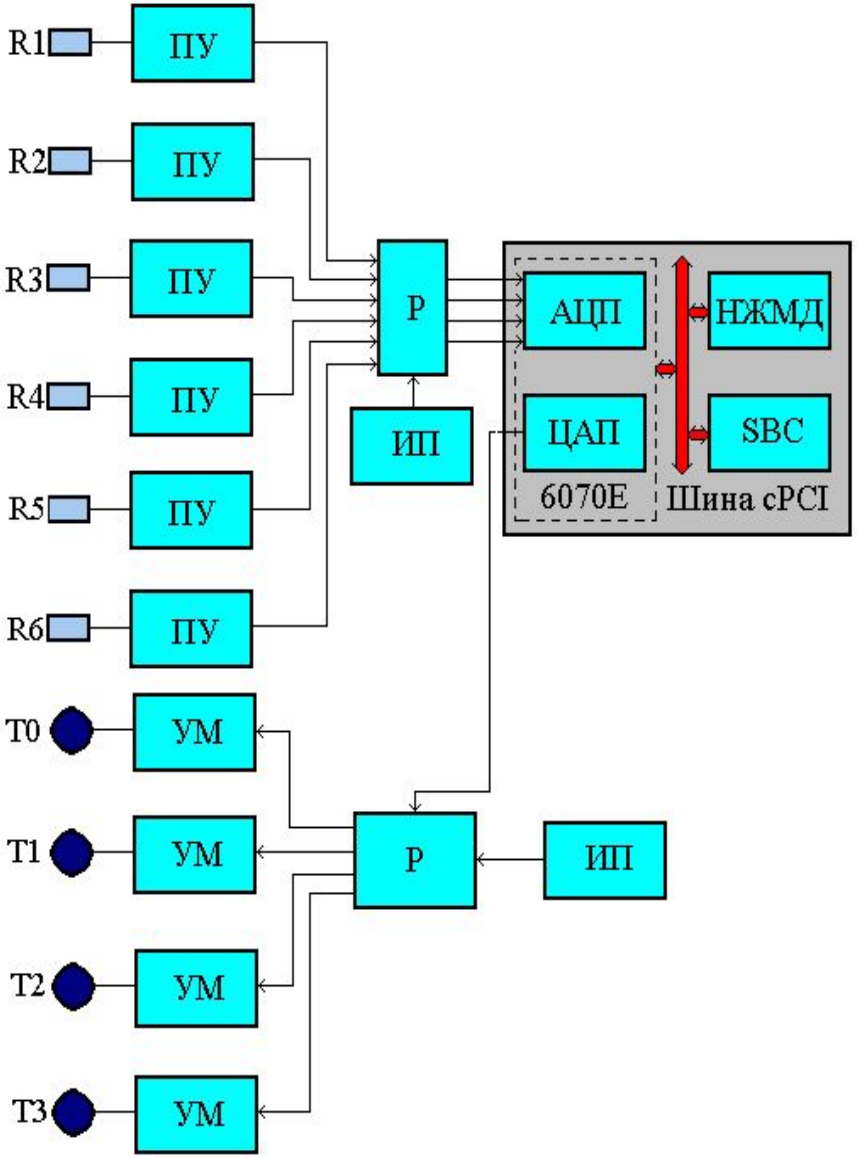
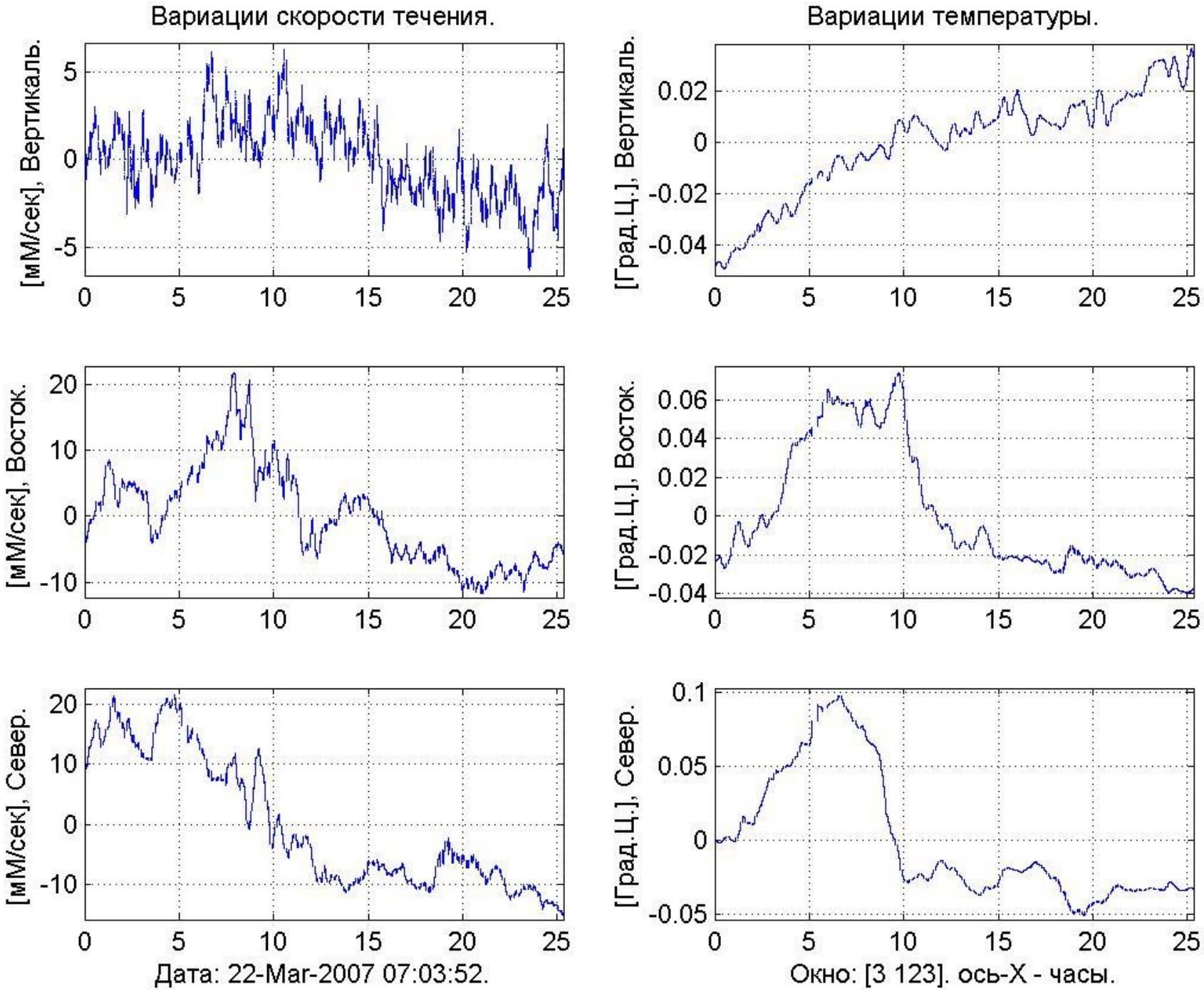


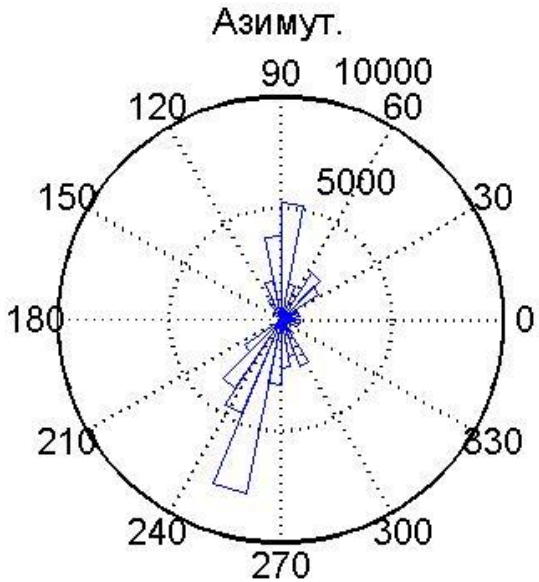
Схема расположения гидрофонов.

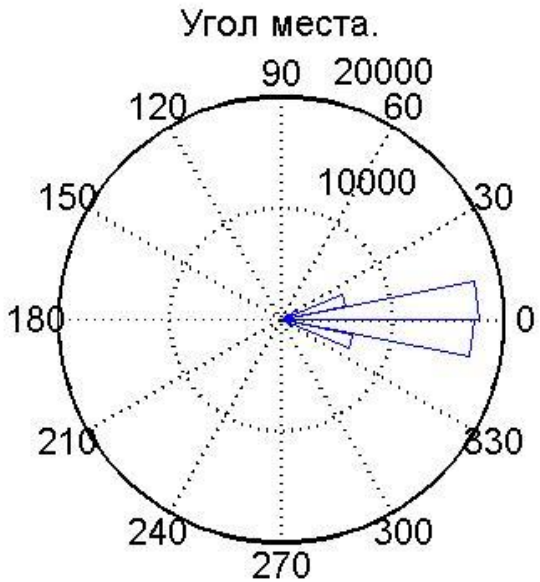


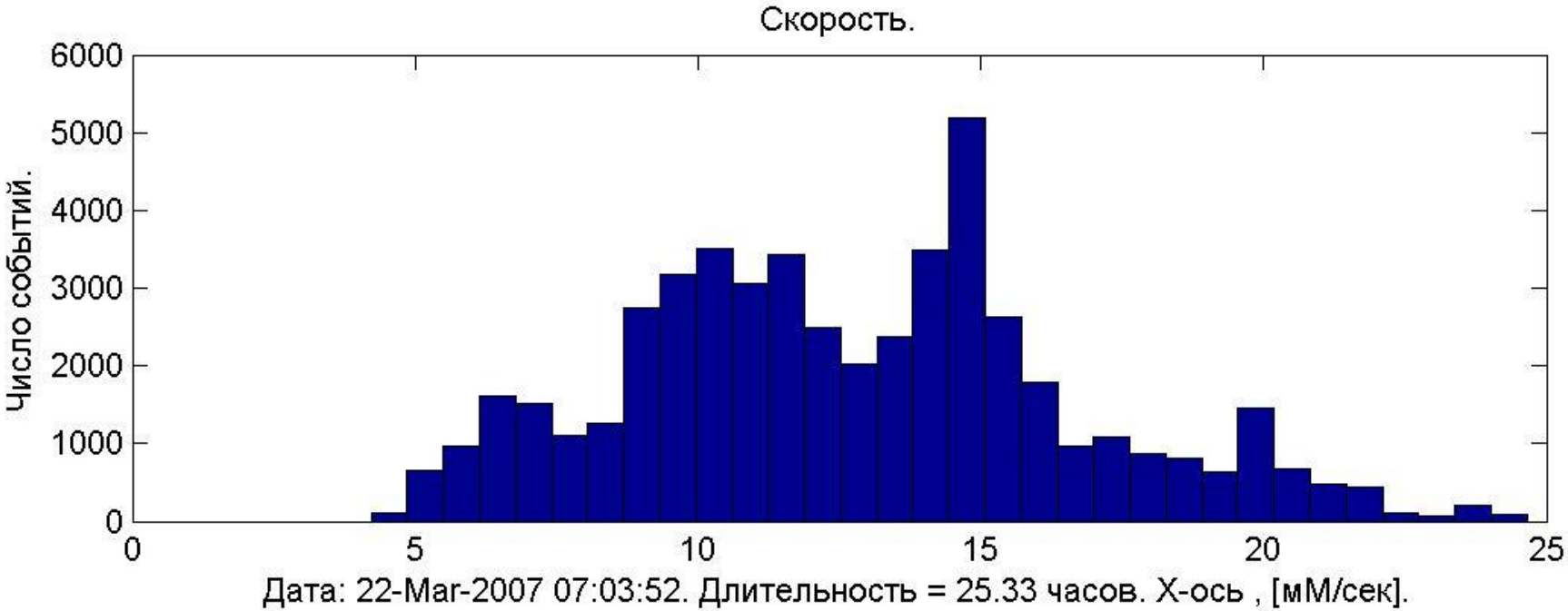
Блок-схема установки.




Вариации скорости течения.
Вариации температуры.
[мМ/сек], Вертикаль.
[Град.Ц.], Вертикаль.
[мМ/сек], Восток.
[Град.Ц.], Восток.
[мМ/сек], Север.
[Град.Ц.], Север.
Дата: 22-Mar-2007 07:03:52.
Окно: [3 123]. ось-X - часы.

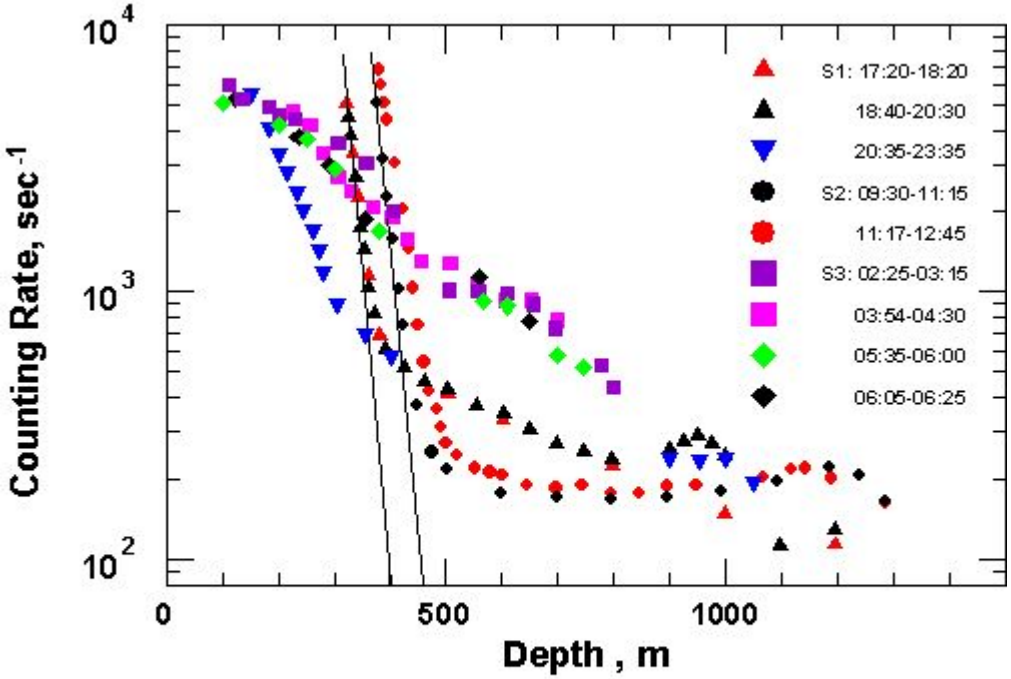

Азимут.
90
10000
120
60
5000
150
30
180
0
210
330
240
300
270


Угол места.
90
20000
120
60
10000
150
30
180
0
210
330
240
300
270


Скорость.
Число событий.
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0
5
10
15
20
25
Дата: 22-Mar-2007 07:03:52. Длительность = 25.33 часов. X-ось , [мМ/сек].

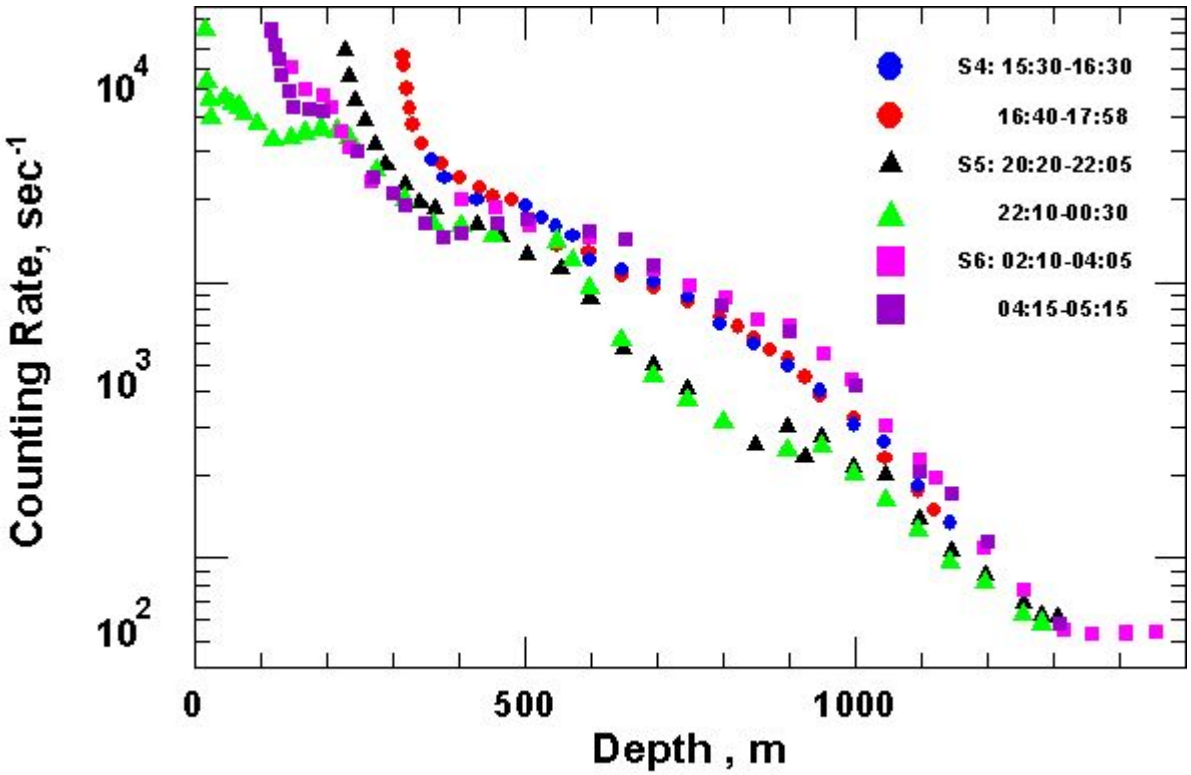
Свечение байкальской воды – инструмент для исследования динамики озера

Свечение байкальской воды в зависимости от глубины (Южный Байкал)

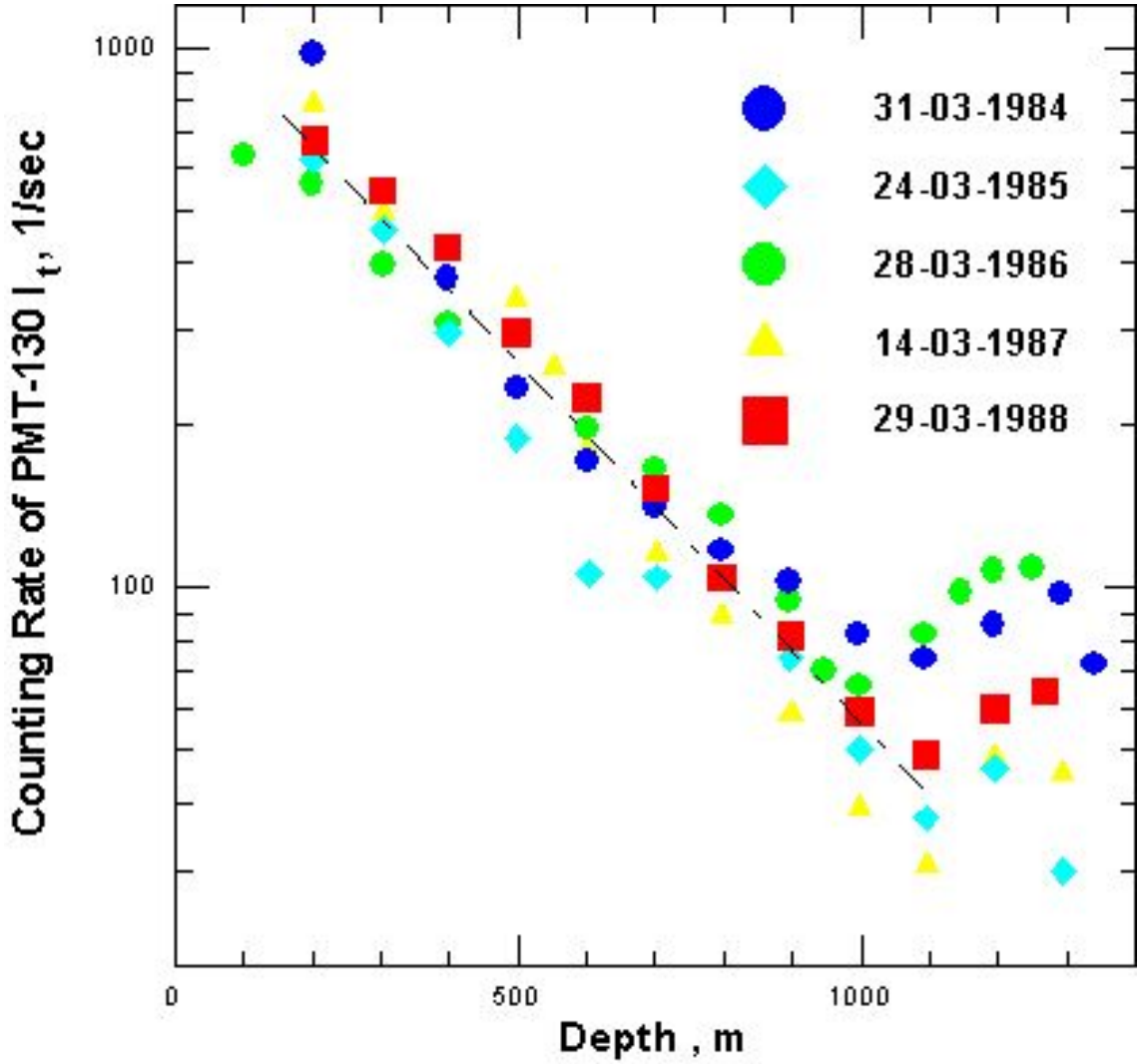


•(photon cm-2 s-1) = (3.5+/- 1) N

Свечение байкальской воды в зависимости от глубины (Средний Байкал).

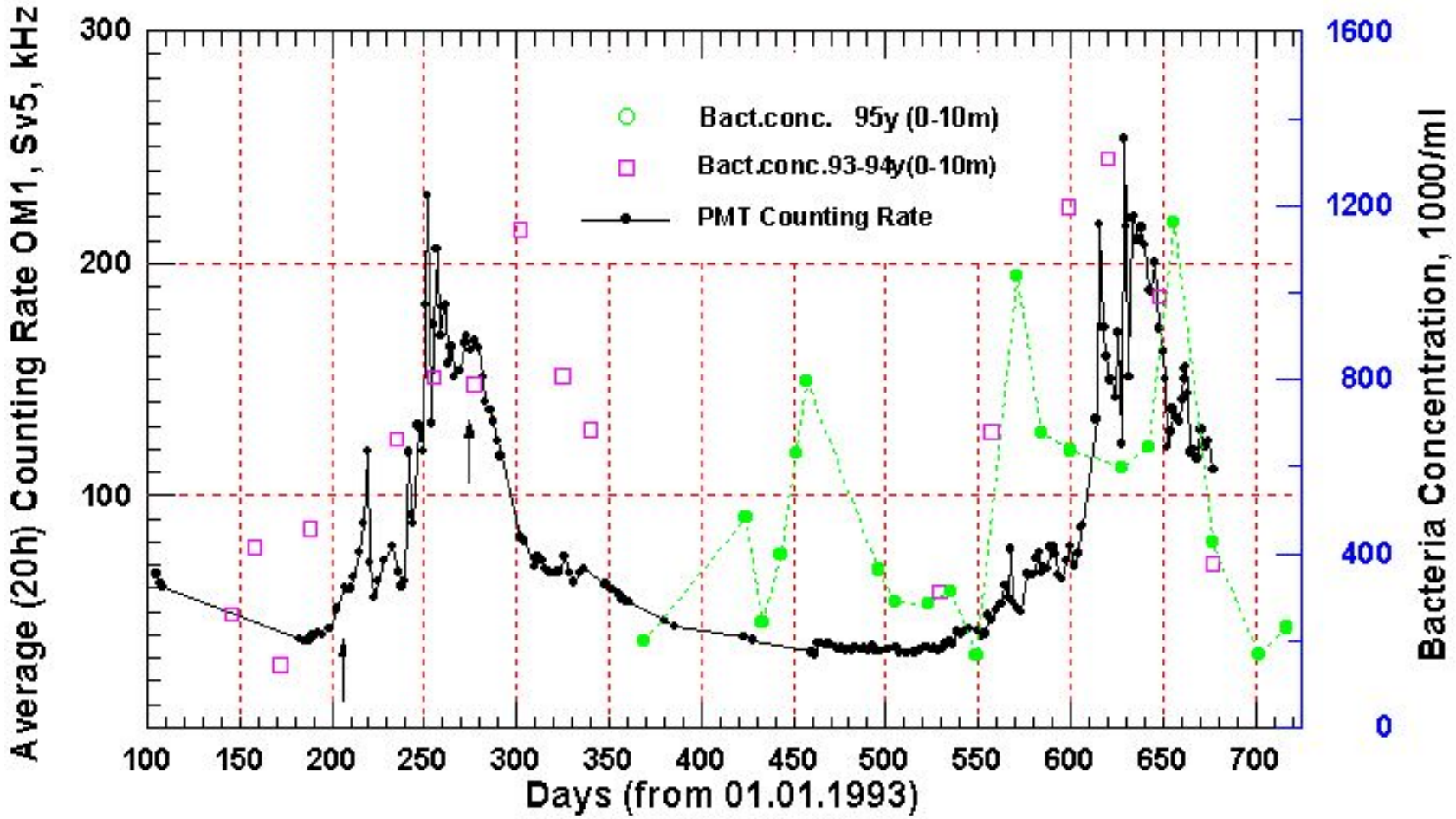


- Свечение - результат реакций окисления органических веществ – хемилюминисценция
- Способные светиться вещества производятся, в основном, в верхнем слое озера, где есть солнечный свет, и переносятся на все глубины водными потоками и за счет оседания, теряя со временем способность светиться.
- Свечение является природной меткой, позволяющей наблюдать развитие гидробиологических и гидрофизических процессов в Байкале.

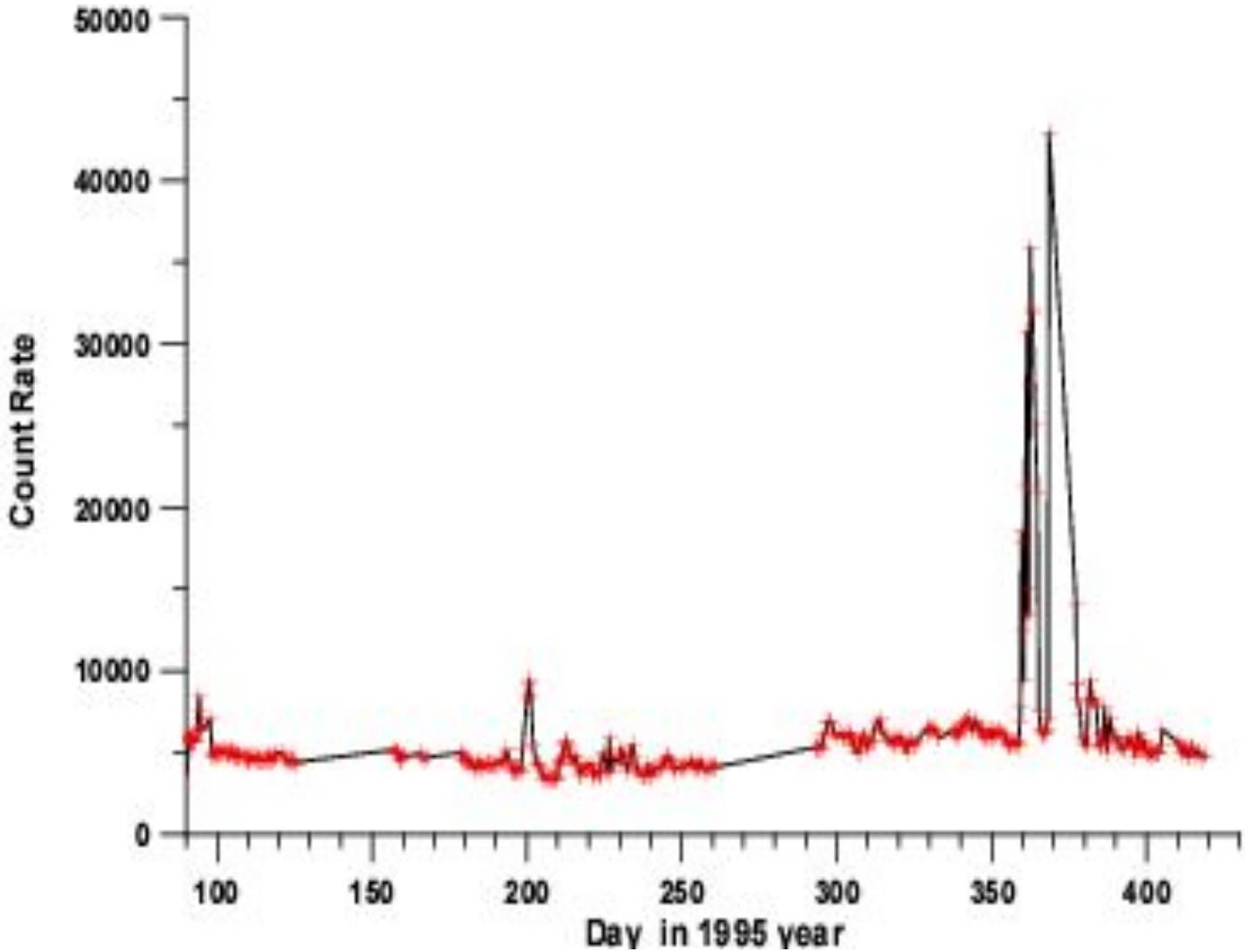


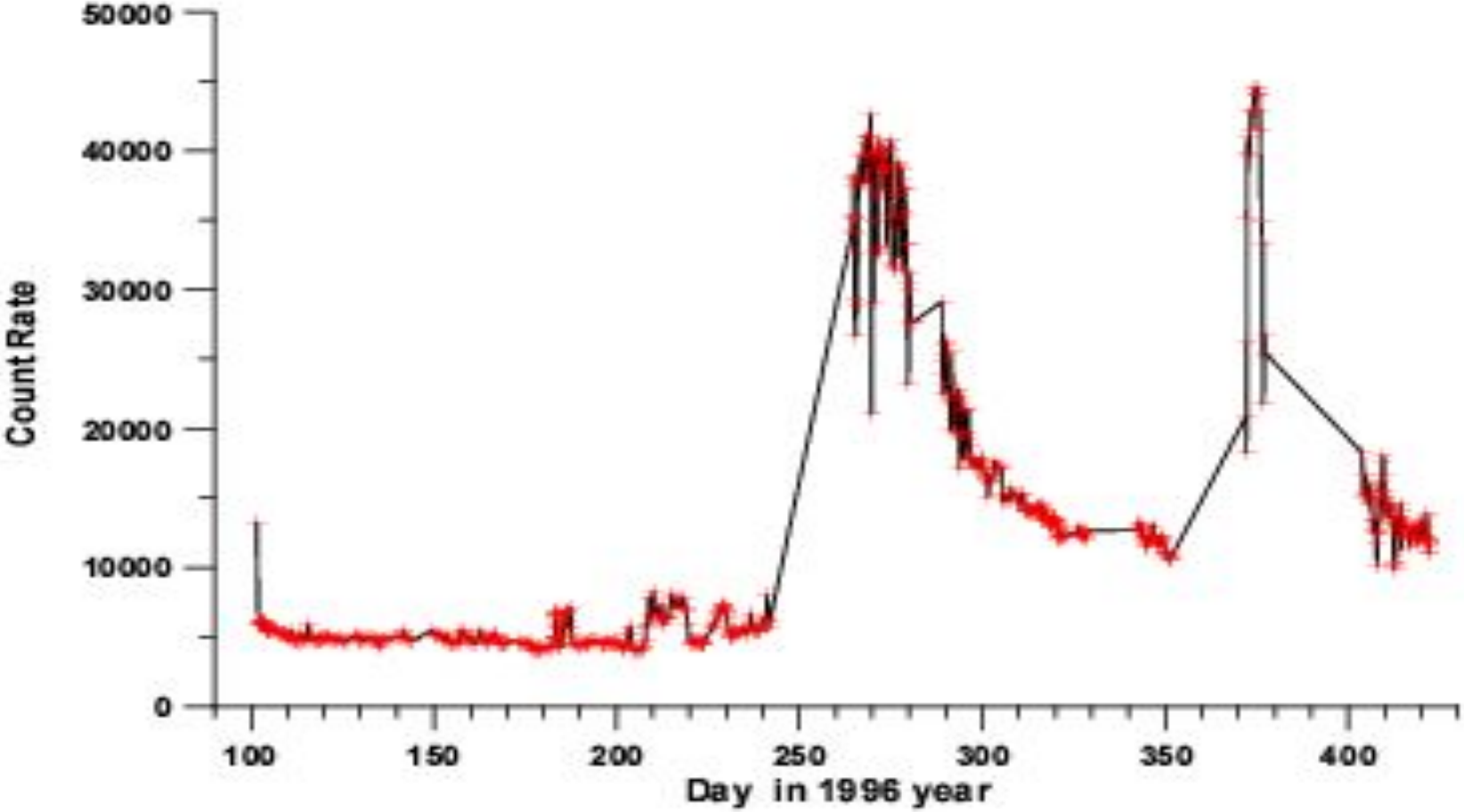
- Зависимость свечения от глубины в районе Нейтринного телескопа в марте в разные годы. I(photon cm^{-2} s^{-1}) = (3.5+/- 1) N

Counting rate of an optical module of NT-200 at 1993 -1994 years.

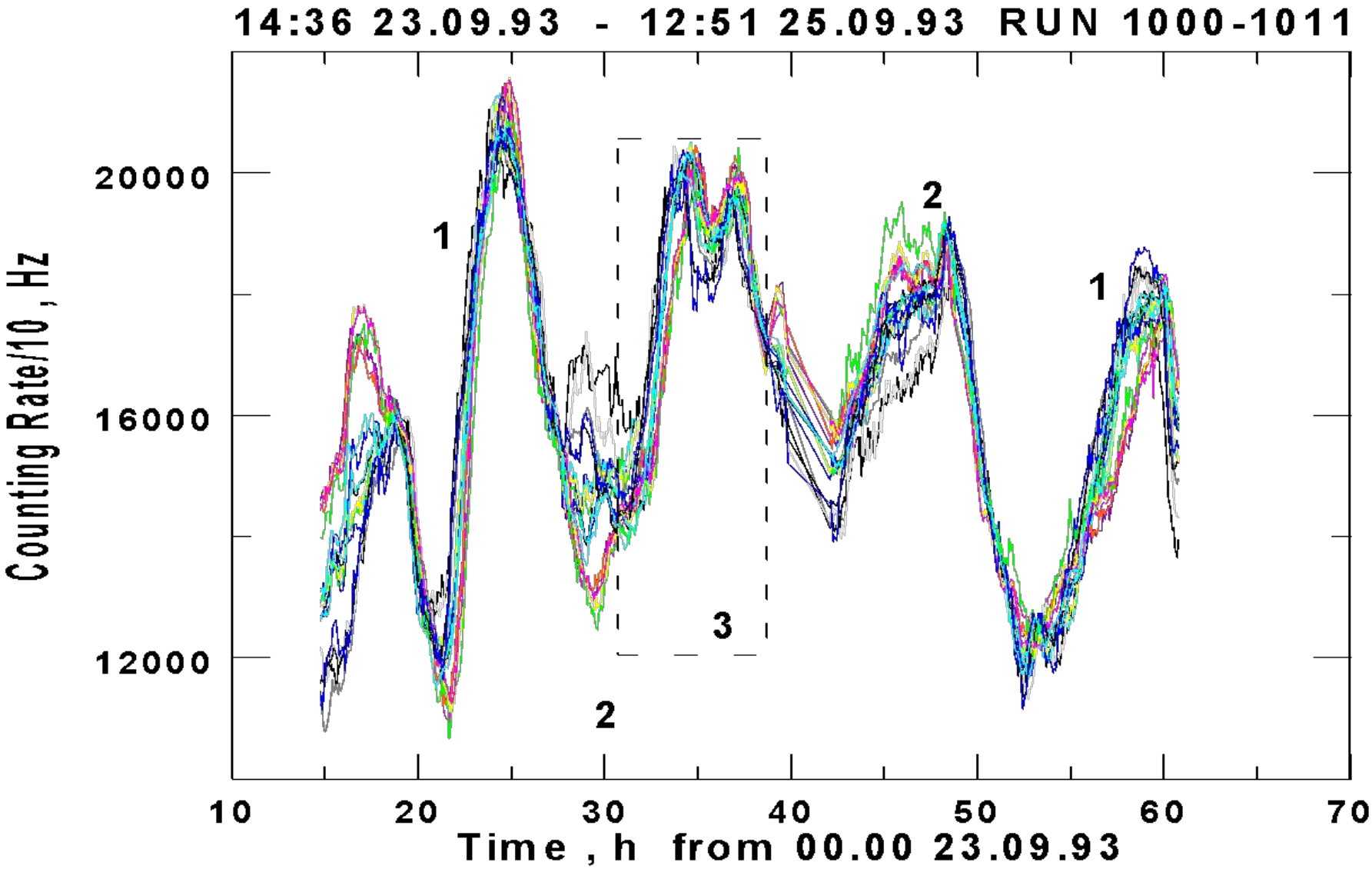


The luminescence is a natural indicator of development of hydrobiological and hydrophysical phenomena in the Lake Baikal.


50000
40000
30000
20000
10000
0
Count Rate
100
150
200
250
300
350
400
Day in 1995 year


50000
40000
30000
20000
10000
0
Count Rate
100
150
200
250
300
350
400
Day in 1996 year

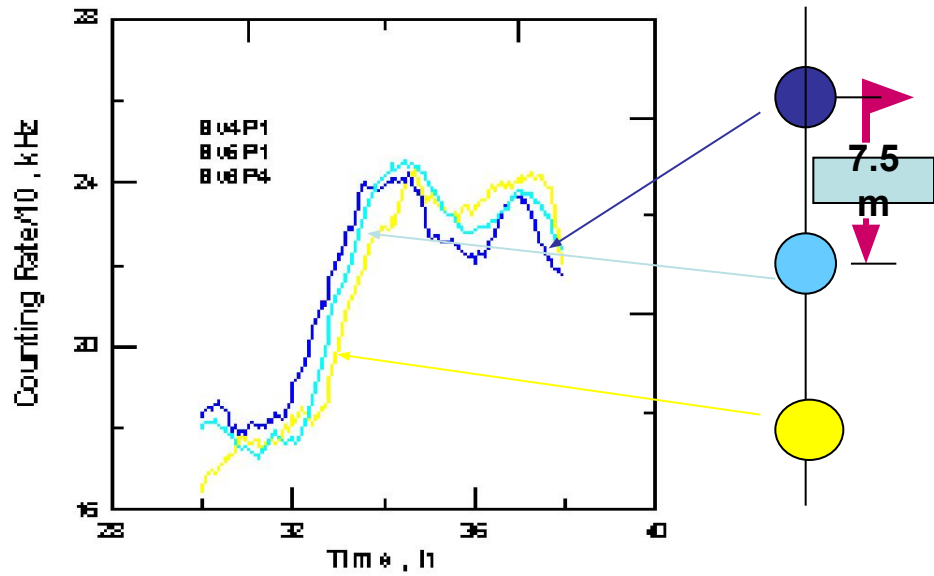
Counting rate of the 19 optical modules of NT-200 in September 1993 year.



Vertical water motion.

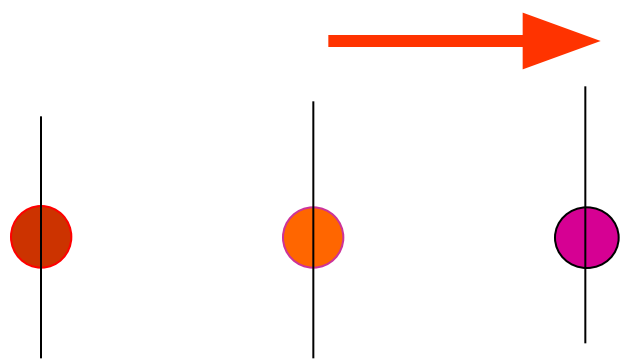
- Counting rate of the 3 optical modules of NT-200 situated
- on the same vertical string

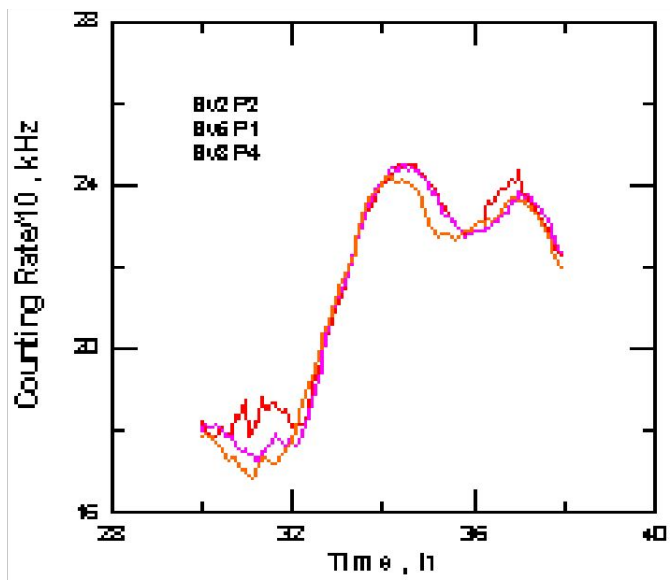
- $V_{vert} = 2$ cm/s !!!!!!!!!



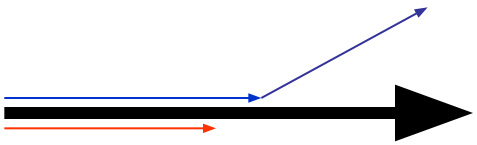
Counting rate of the 3 optical modules of NT-200 situated

- on the same depth on the different strings



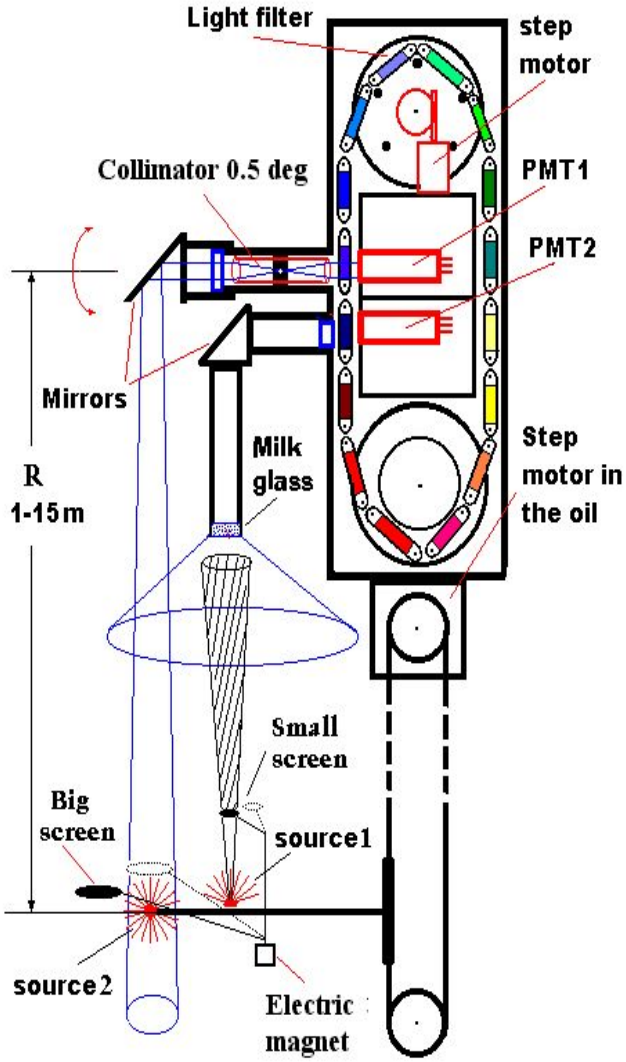


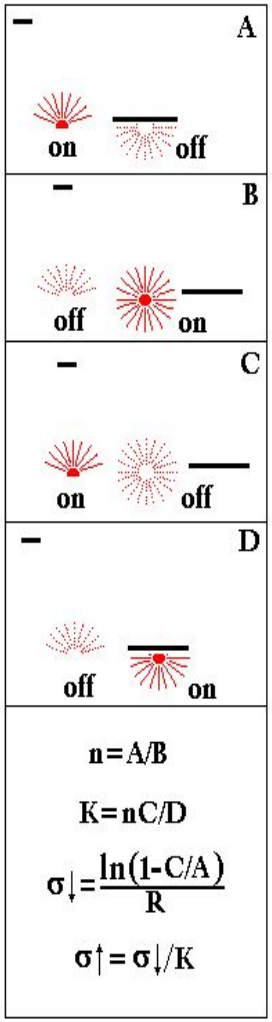
Гидрооптические исследования

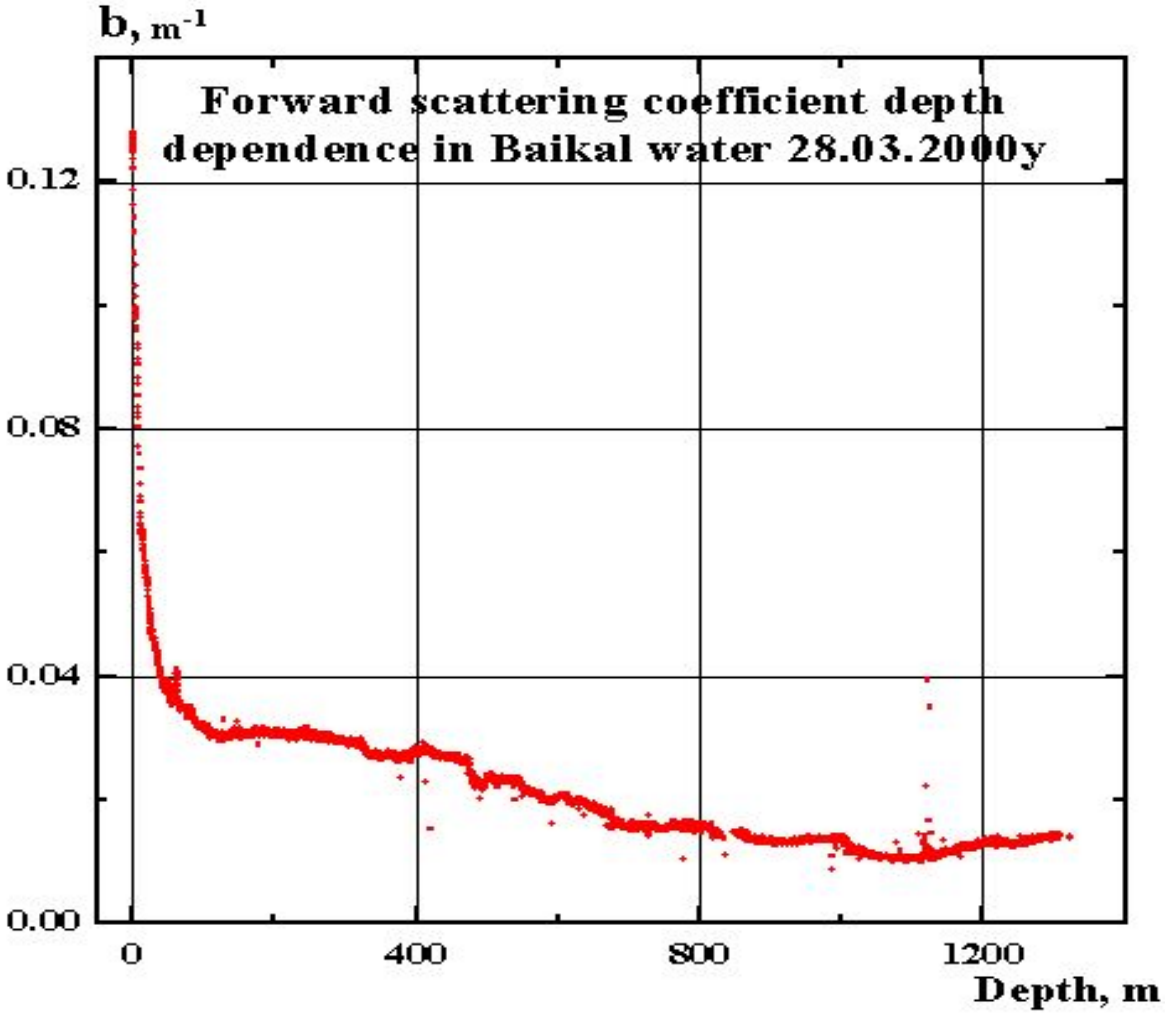


$$E(x) = E_0 \exp[-(a+b)x]$$

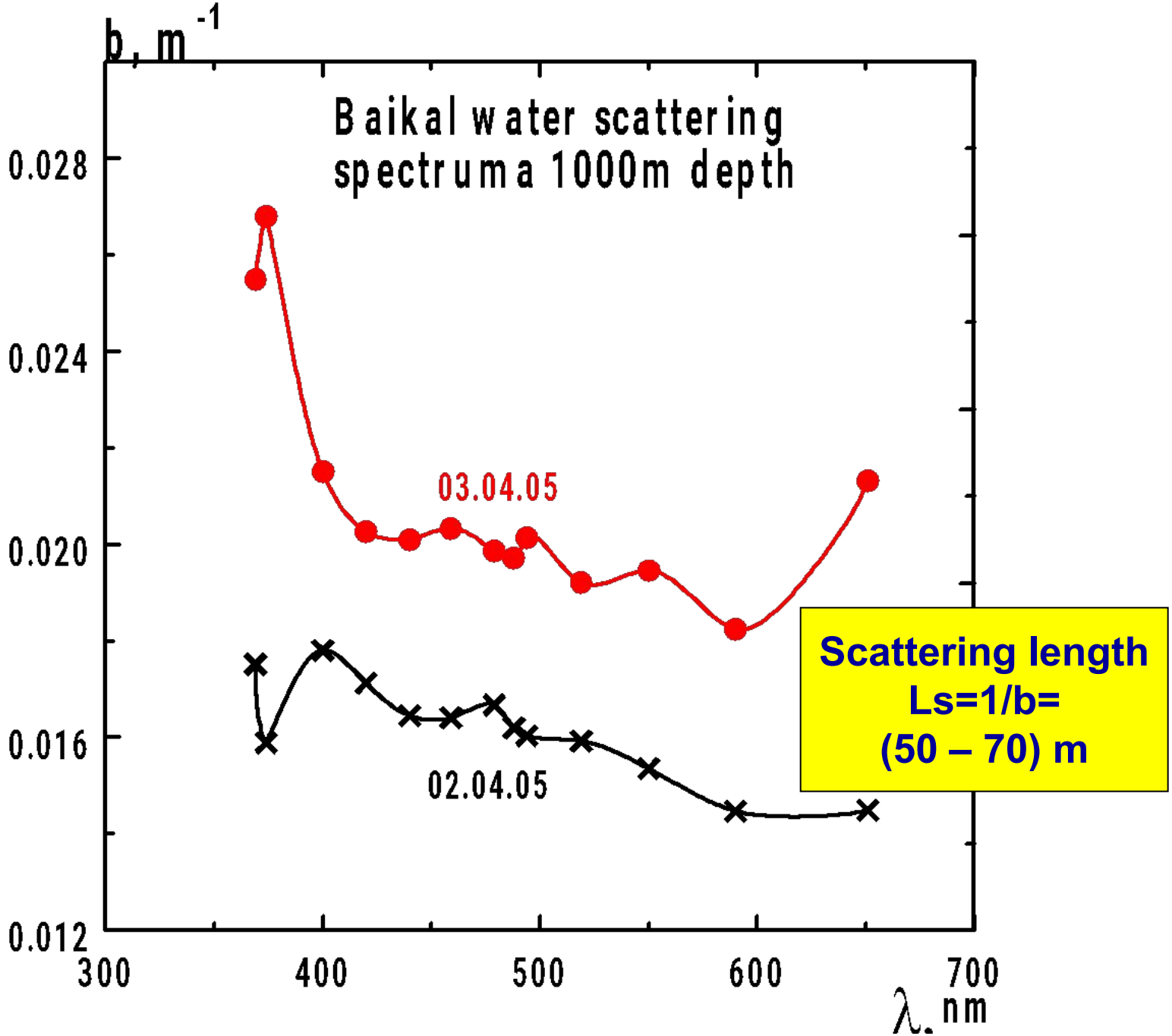
- E - поток фотонов
- a – коэффициент поглощения (определяется концентрацией и составом РОВ),
- b – коэффициент рассеяния (определяется концентрацией и составом взвеси),



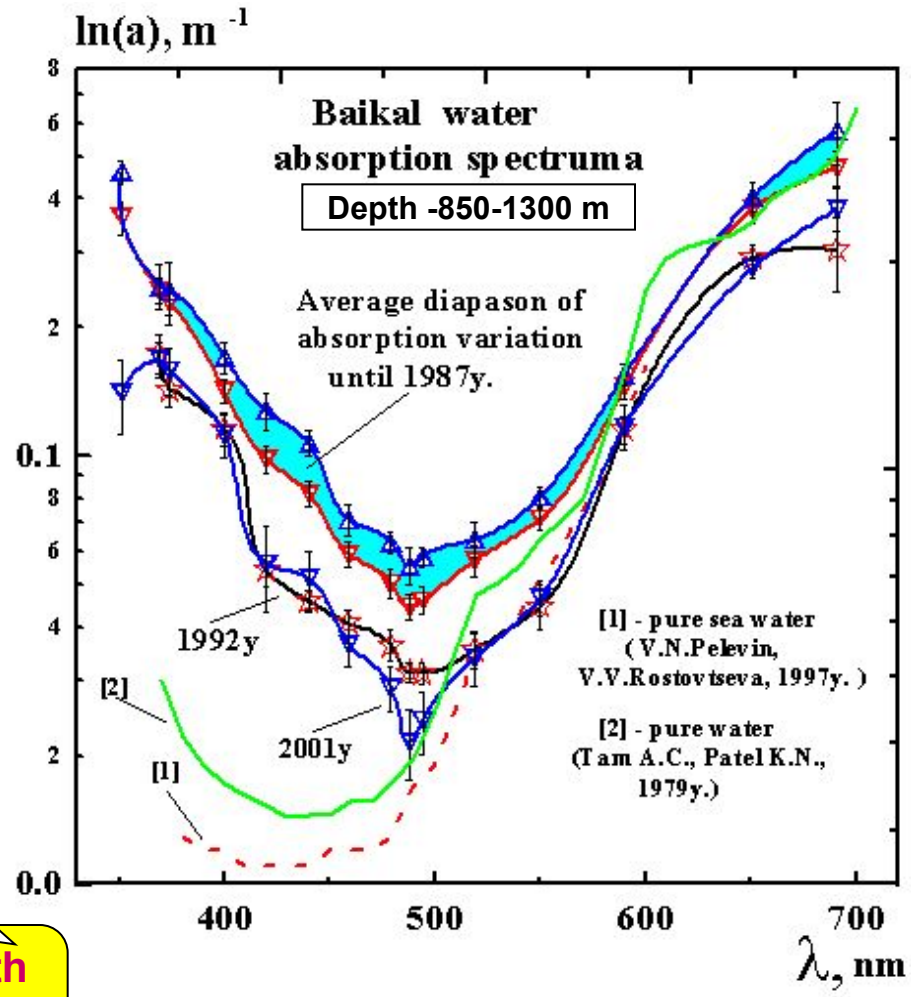




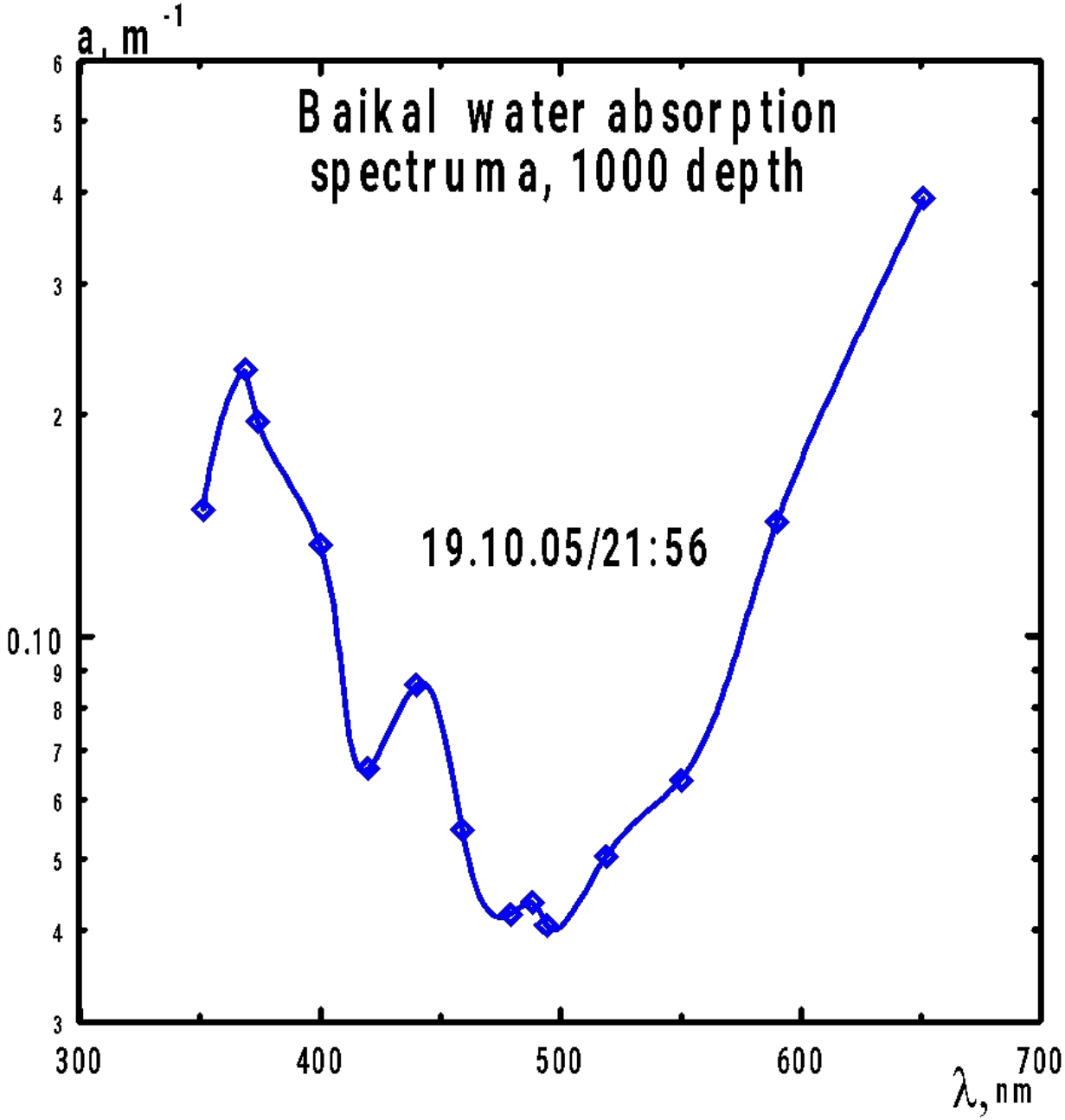
- Зависимость коэффициента рассеяния света от глубины на глубине 800 м 28.03.2000 года.


b, m-1
Baikal water scattering spectrum a 1000m depth
0.028
0.024
0.020
0.016
0.012
03.04.05
02.04.05
300
400
500
600
700
λ, nm
Scattering length
Ls=1/b=
(50 – 70) m

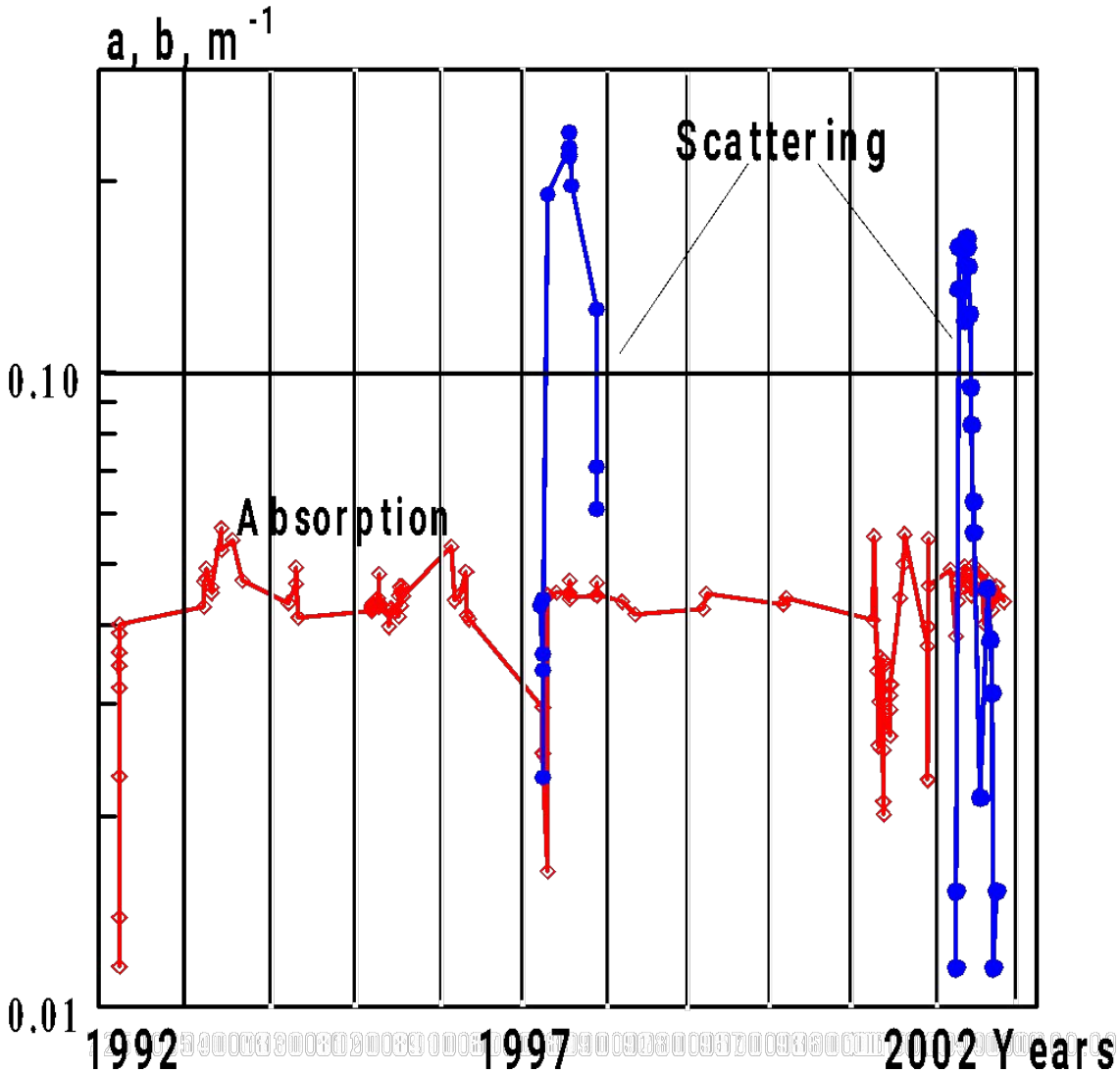
Absorption coefficient a at 1000 m depth



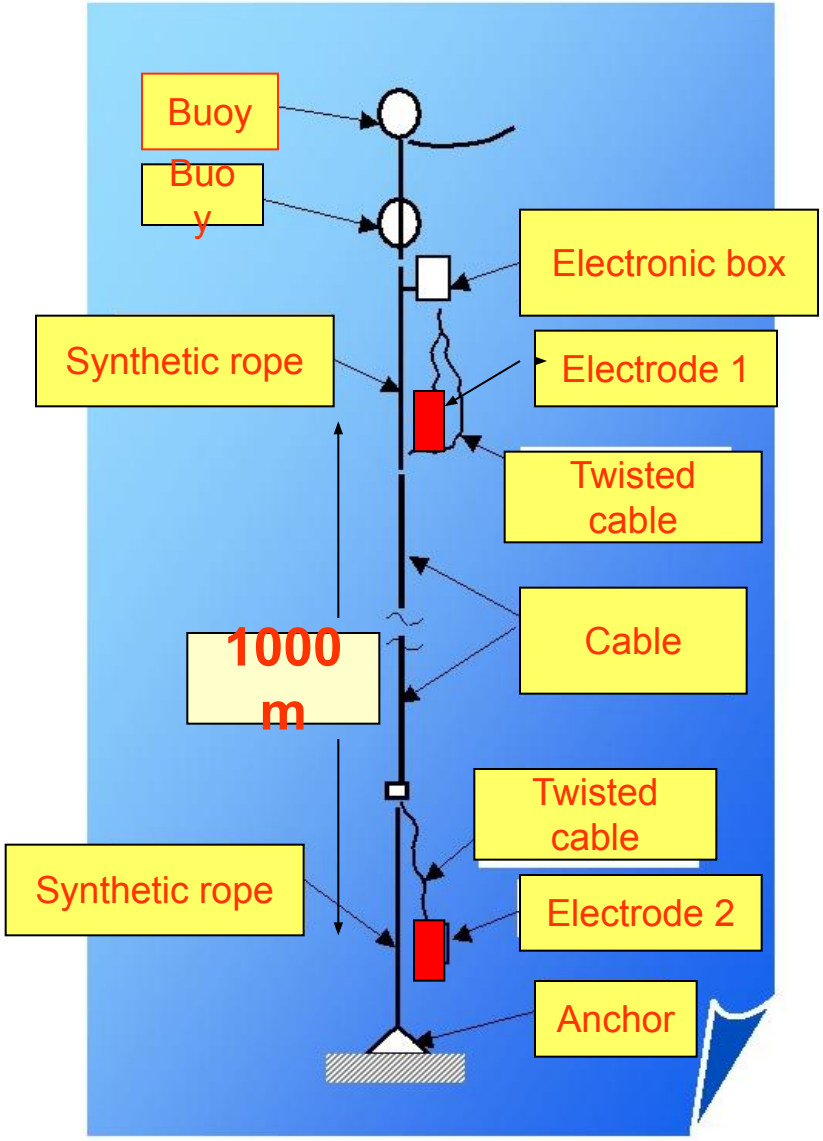
Absorption length
L_a=1/a =(20- 25) m
for 480nm


a, m -1
Baikal water absorption
spectruma, 1000 depth
19.10.05/21:56
0.10
6
5
4
3
2
9
8
7
6
5
4
3
300
400
500
600
700
λ, nm

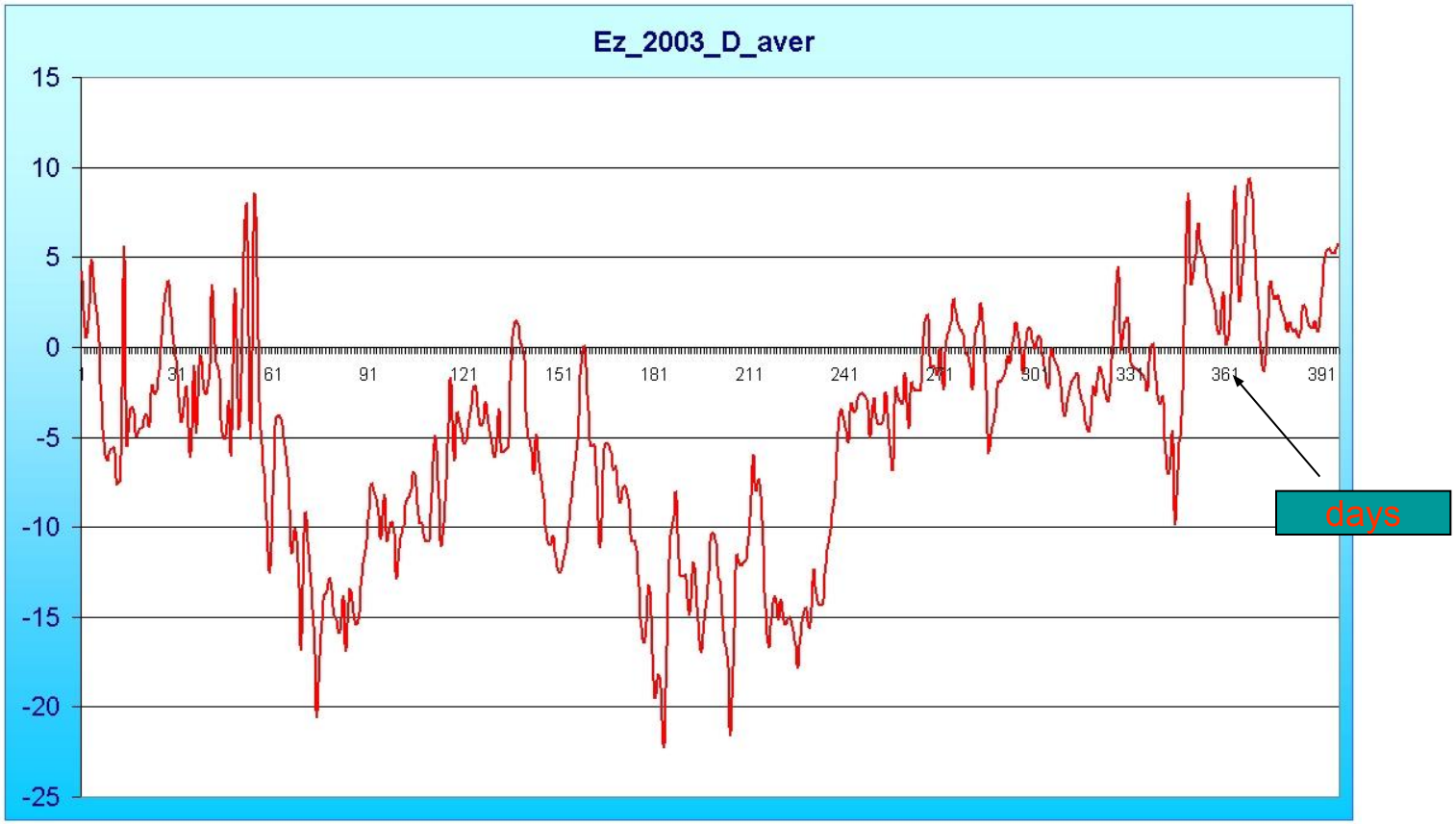
Results of long term absorption and scattering monitoring



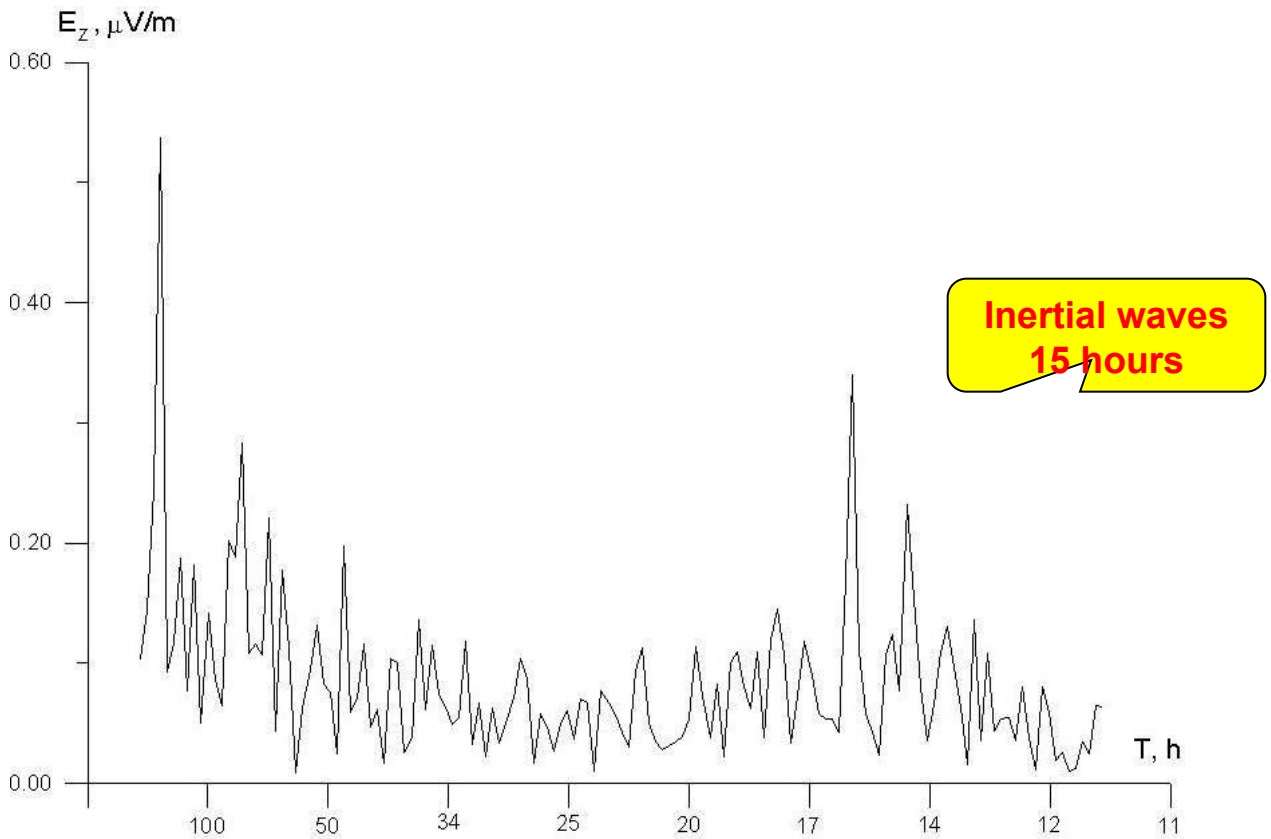
Geophysical Mooring



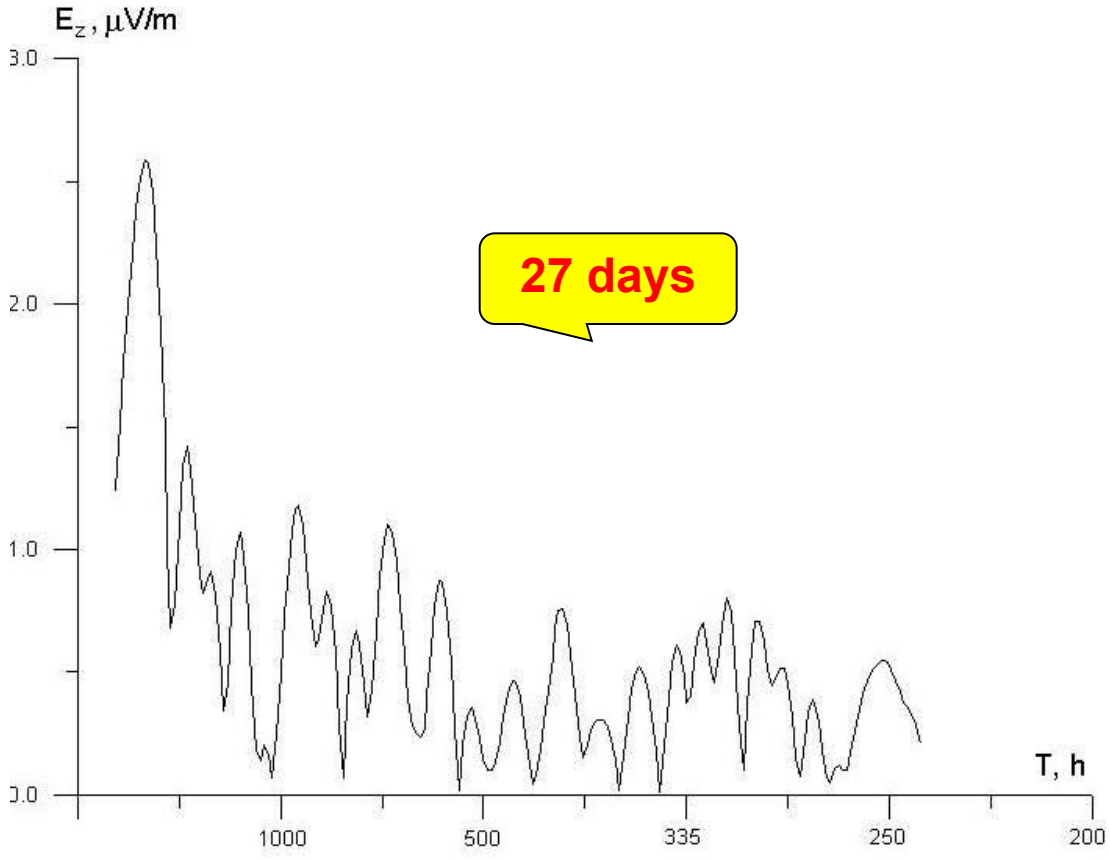
Vertical component of electric field

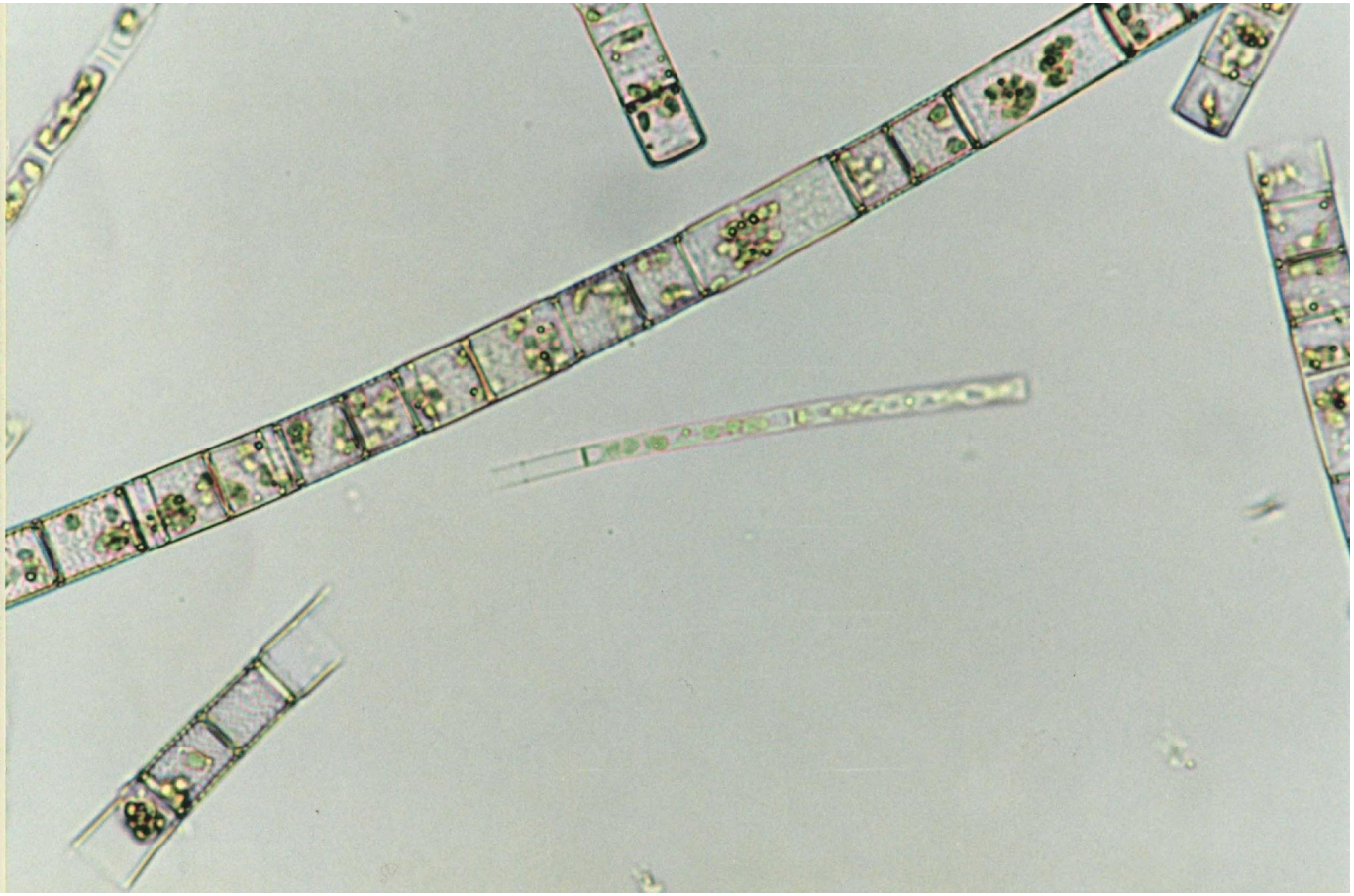


High frequency E_z variations.



Low frequency E_z variations.

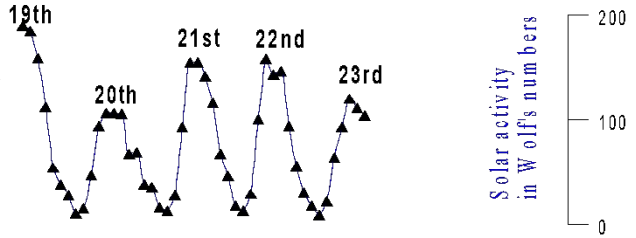




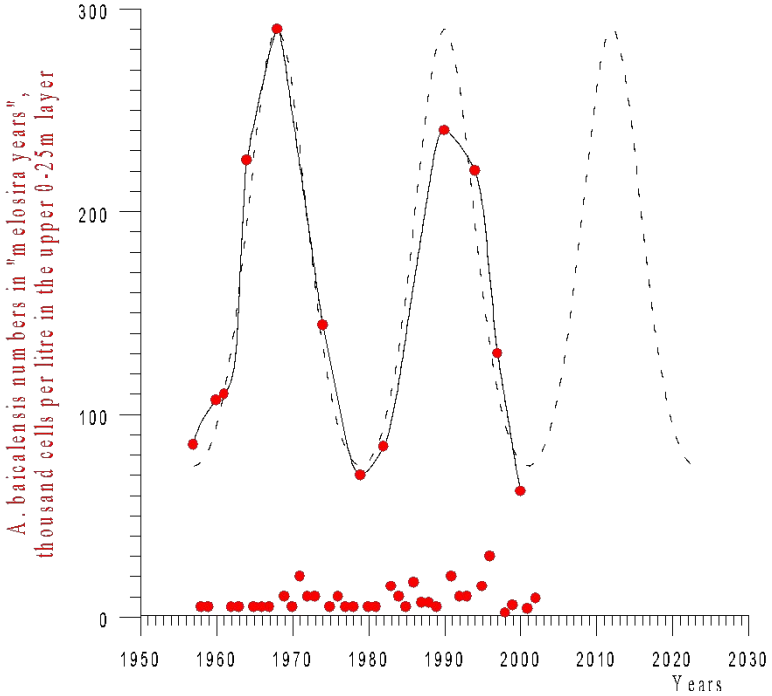
Мелозира байкальская - *Aulacoseira baicalensis*

Solar activity

Solar activity

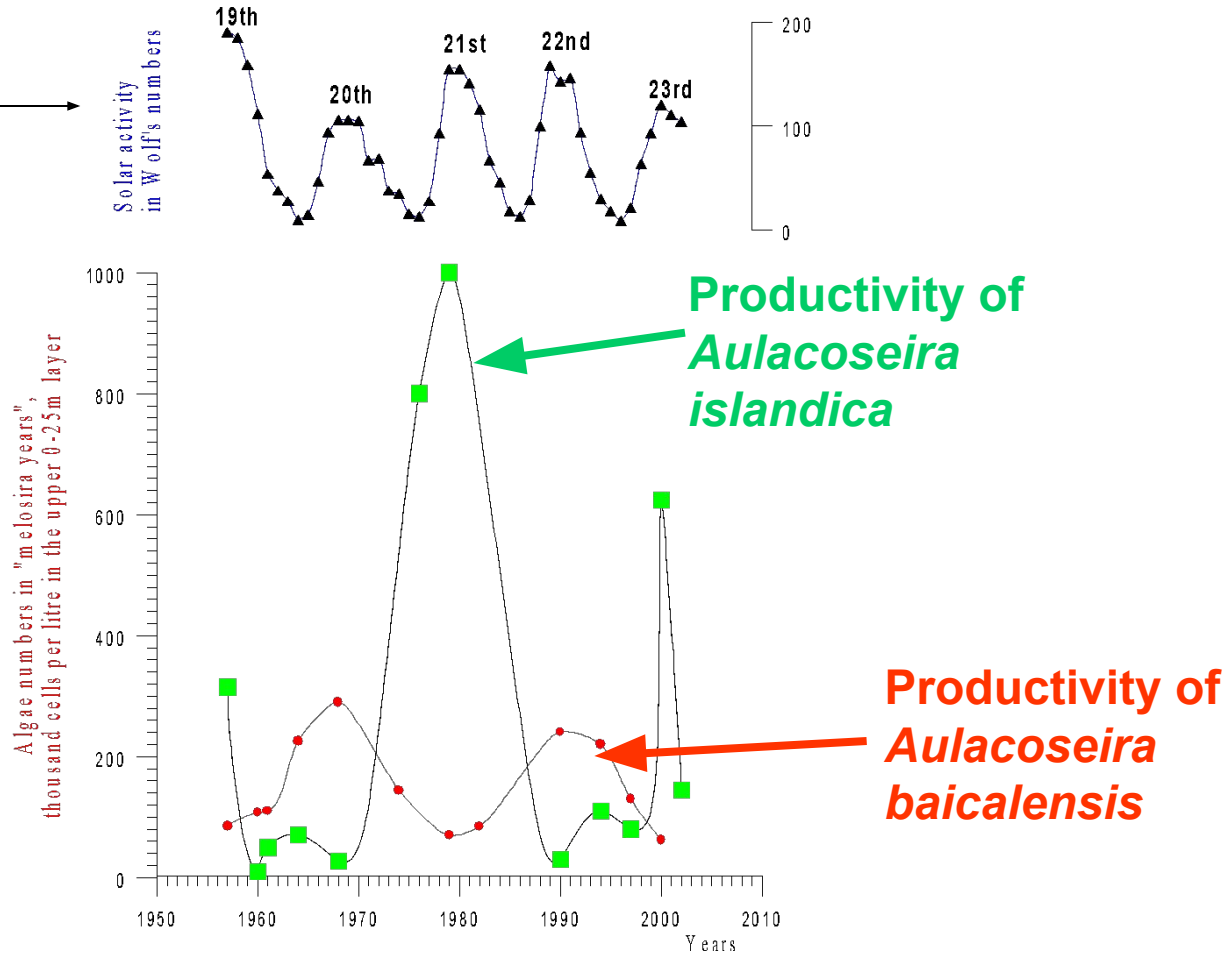


Productivity of *Aulacoseira baicalensis*



Solar activity

Solar activity



Заключение

- Развитые в рамках байкальского нейтринного проекта технологии, методы и приборы позволяют осуществлять долговременный многопараметрический мониторинг вариаций различных характеристик водной среды. С помощью этих данных, в принципе, можно делать выводы о развитие гидрофизических, гидробиологических и гидрохимических процессов в озере.
- Чрезвычайно важно сотрудничество ученых разных специальностей