

МОДЕЛЬ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ФЛУКТУИРУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКОГО И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНОЙ ВОДЫ

**Долгоносов Б.М., Корчагин К.А.
Институт водных проблем РАН**

Методология моделирования

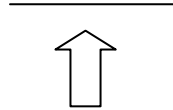


Стохастическая динамика

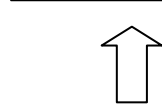
Скорость изменения
численности
популяции в воде

X_t -- численность популяции

$$\dot{X}_t = f(X_t) + \sigma g(X_t) \xi_t$$



**Систематическое
изменение:**
размножение,
отмирание

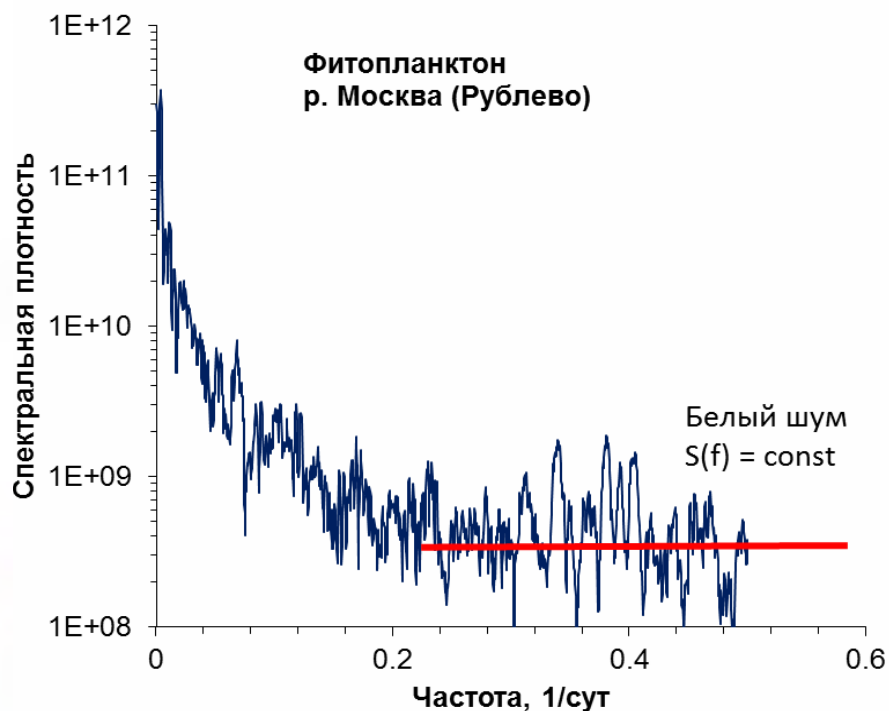
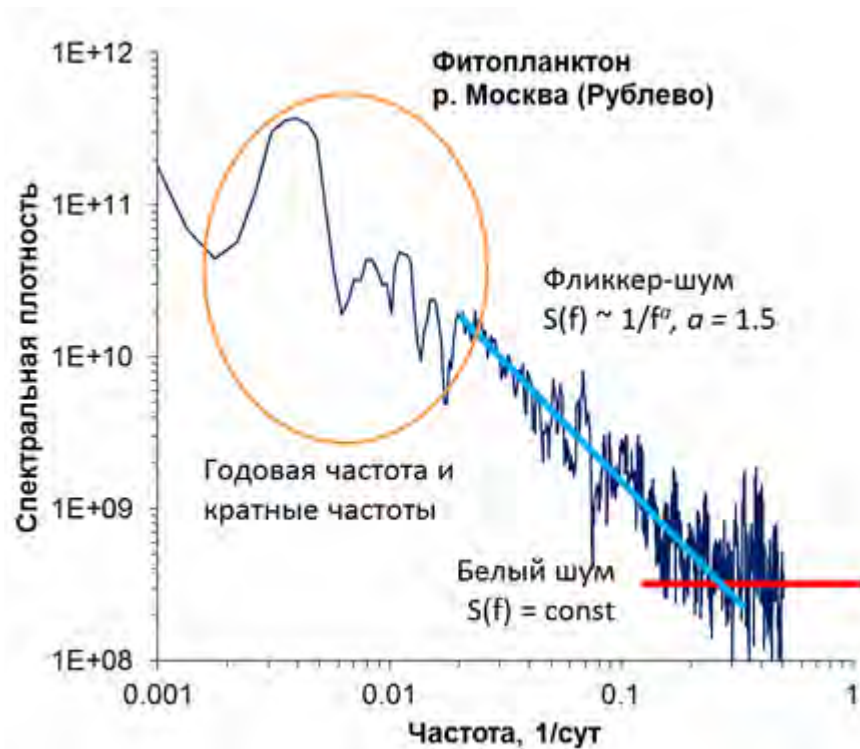


Флуктуации среды:
изменение погодных
условий (температура,
солнечная радиация,
ветер, перемешивание
и т.д.)

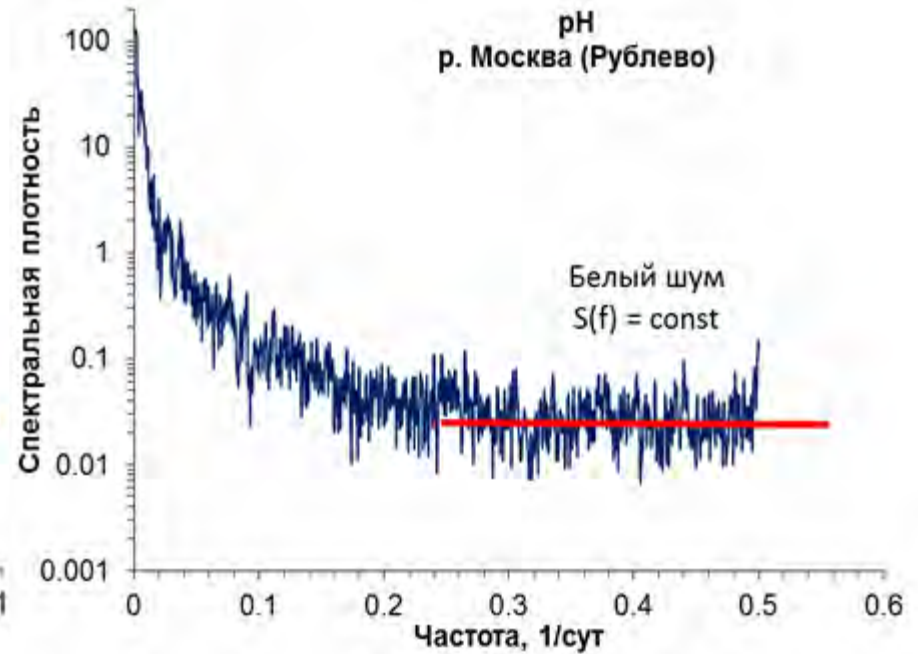
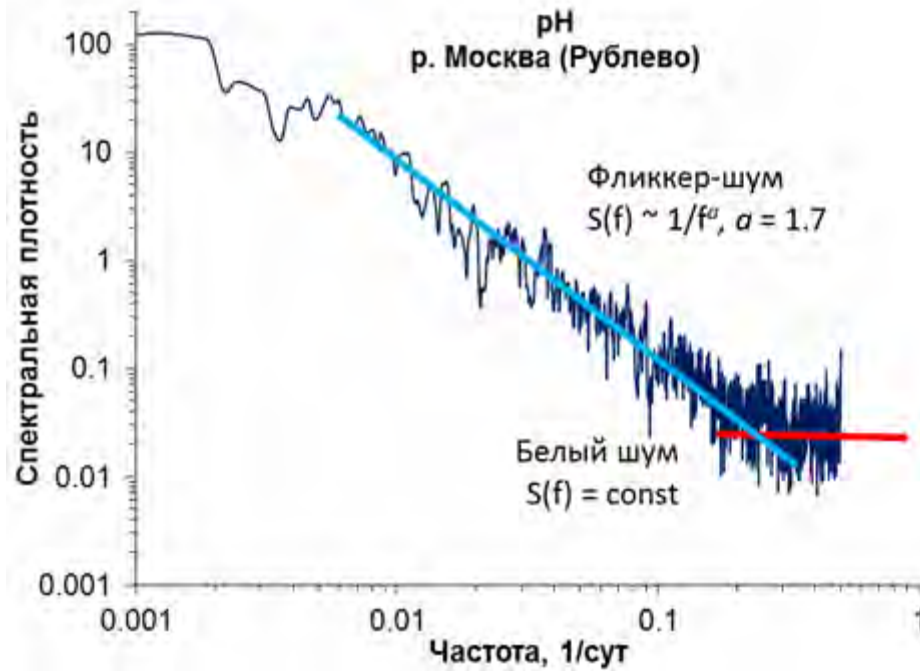
Неаддитивный шум:
интенсивность шума
зависит от численности
популяции

ξ_t -- белый шум ?

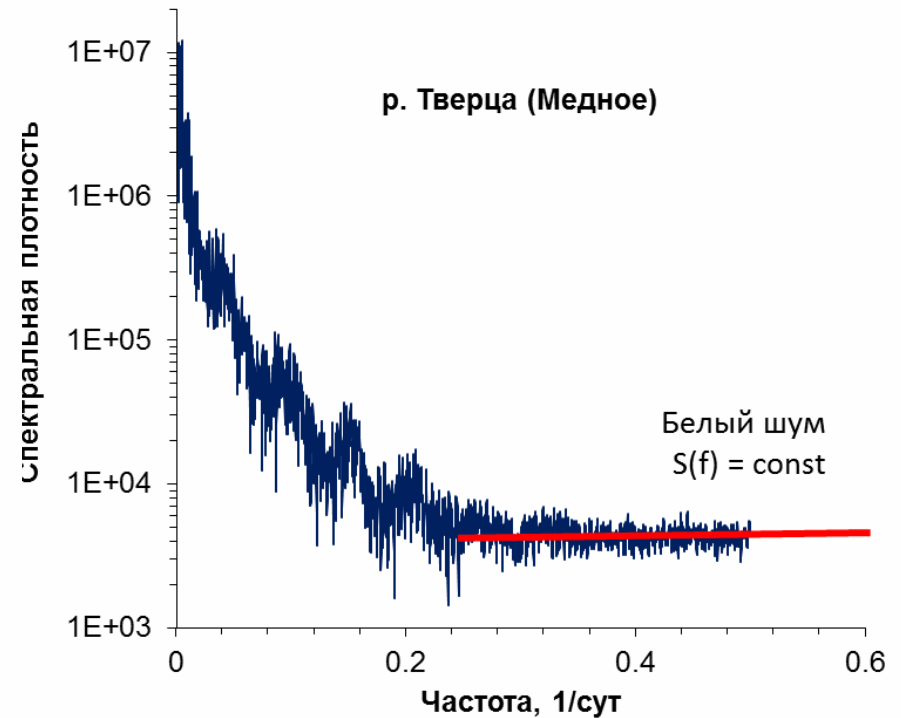
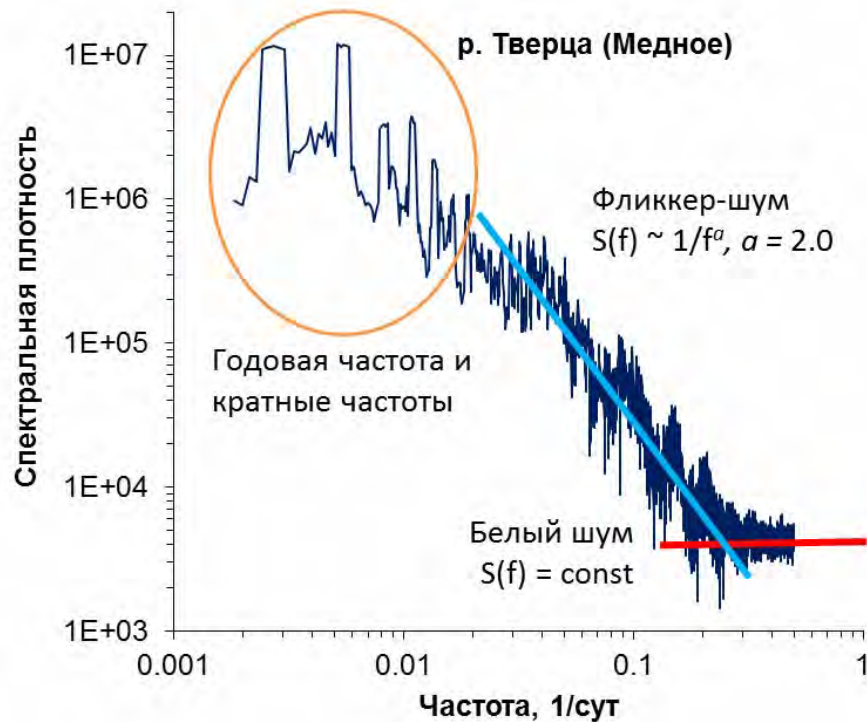
Спектр мощности фитопланктона



Спектр мощности pH



Спектр мощности речных расходов



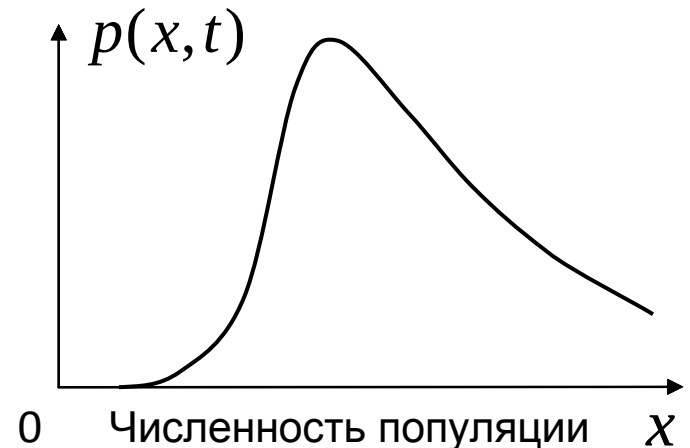
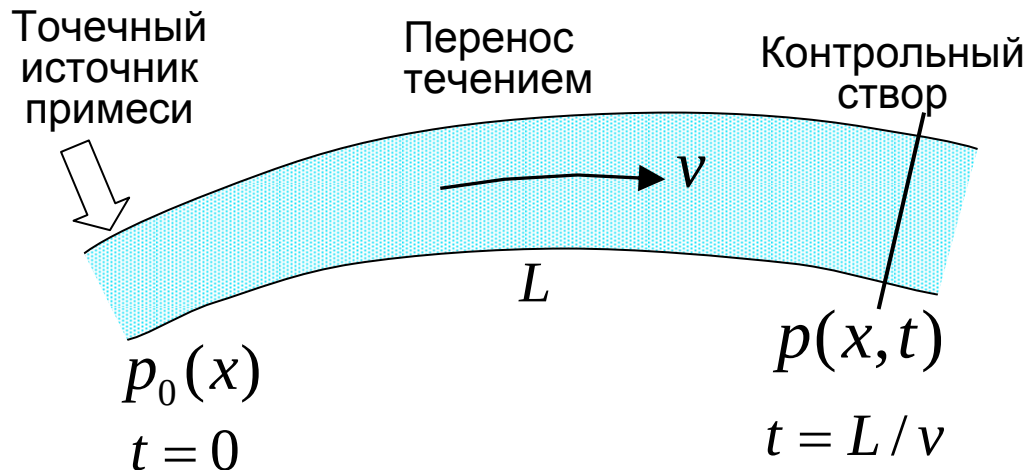
Уравнение ФПК

$p(x, t)$ -- плотность вероятности
 x -- численность популяции

$$\partial_t p(x, t) = -\partial_x f(x) p(x, t) + \frac{\sigma^2}{2} \partial_{xx} g^2(x) p(x, t)$$
$$0 < x, t < \infty$$

Начальное условие $p(x, 0) = p_0(x)$

Граничные условия $p(0, t) = p(\infty, t) = 0$



Флуктуации линейного роста

$$\dot{X}_t = \lambda X_t + \sigma X_t \xi_t$$

Логнормальное распределение

$$p(x,t) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2 t}} \exp\left(-\frac{(\ln(x/x_0) - \lambda t)^2}{2\sigma^2 t}\right)$$

$$p(x,0) = \delta(x - x_0) \text{ -- начальное распределение}$$

Распределение численности популяции

2-параметрическое логнормальное распределение

Плотность распределения

$$p(x) = \frac{\alpha}{x\sqrt{\pi}} \exp\left[-(\alpha \ln x - \beta)^2\right]$$

Функция распределения

$$F(x) = \Phi(\alpha \ln x - \beta)$$

↑
стандартное нормальное
распределение

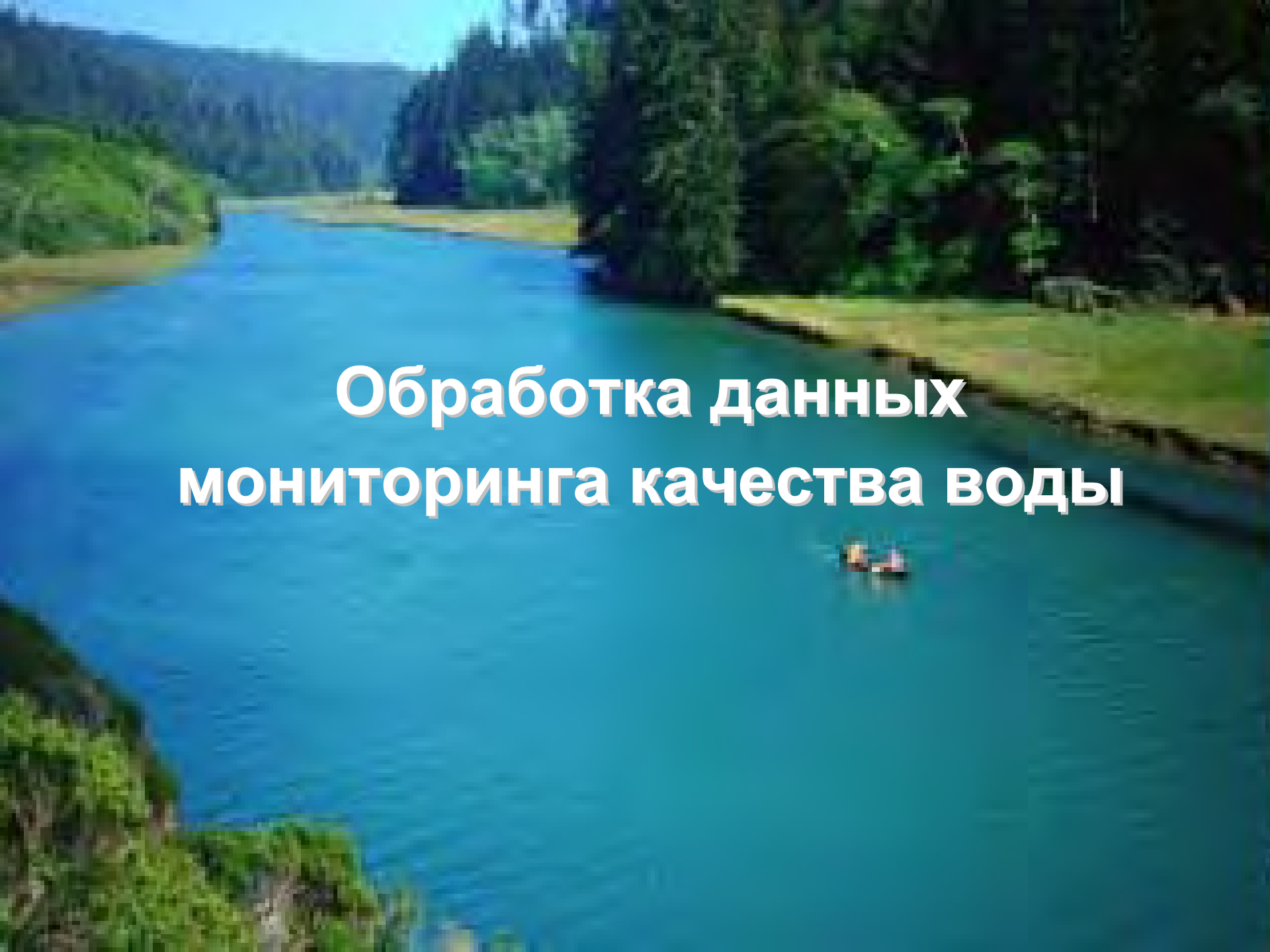
Параметры

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2\sigma^2 t}}$$

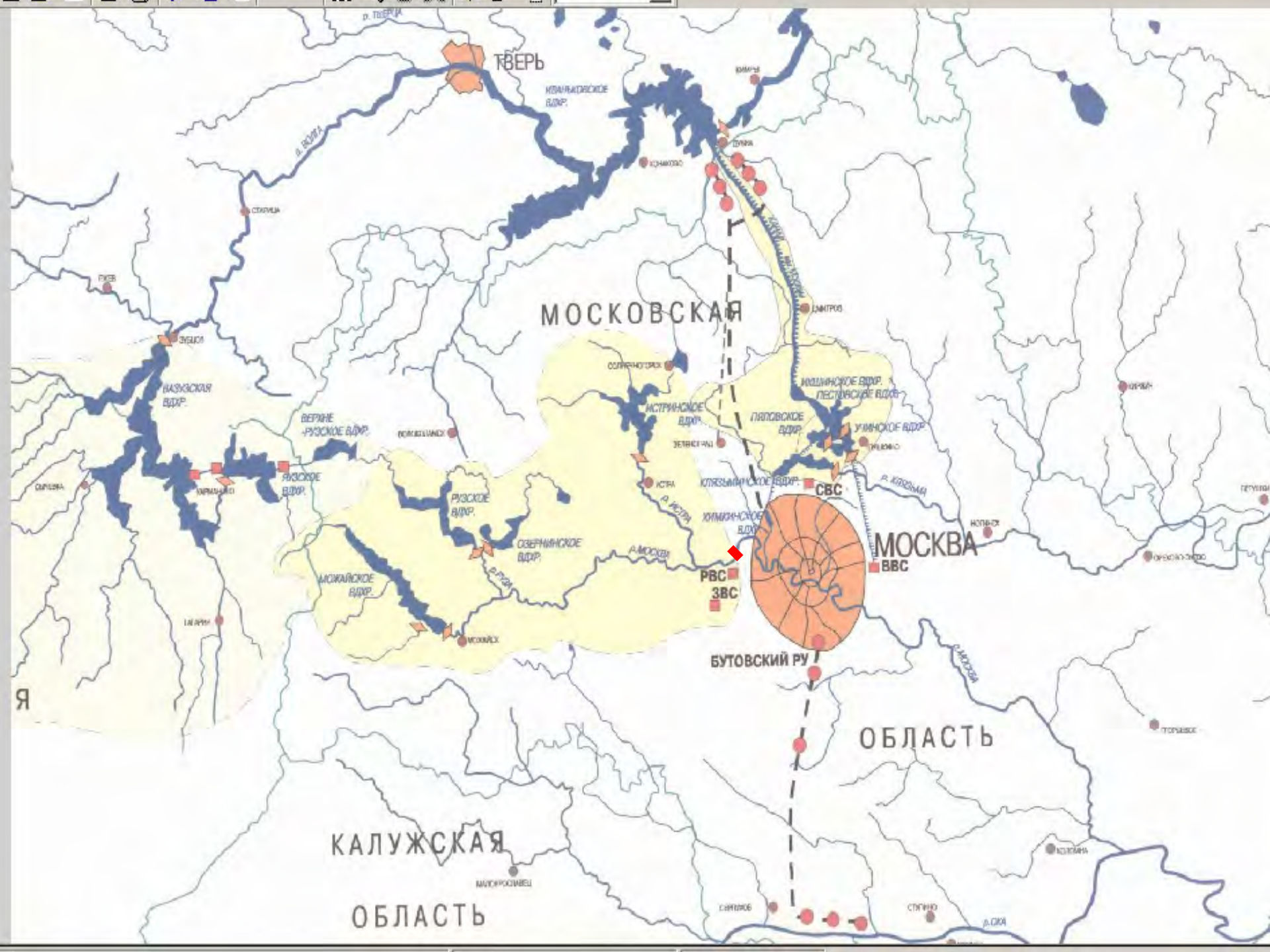
$$\beta = \frac{\ln x_0 + \lambda t}{\sqrt{2\sigma^2 t}}$$

$$\alpha = \alpha(\tau), \quad \beta = \beta(\tau)$$

↙ ↘
внутригодовое
время



Обработка данных мониторинга качества воды



ТВЕРЬ

МОСКОВСКАЯ

МОСКВА

ОБЛАСТЬ

КАЛУЖСКАЯ

ОБЛАСТЬ

РВС
ЗВС

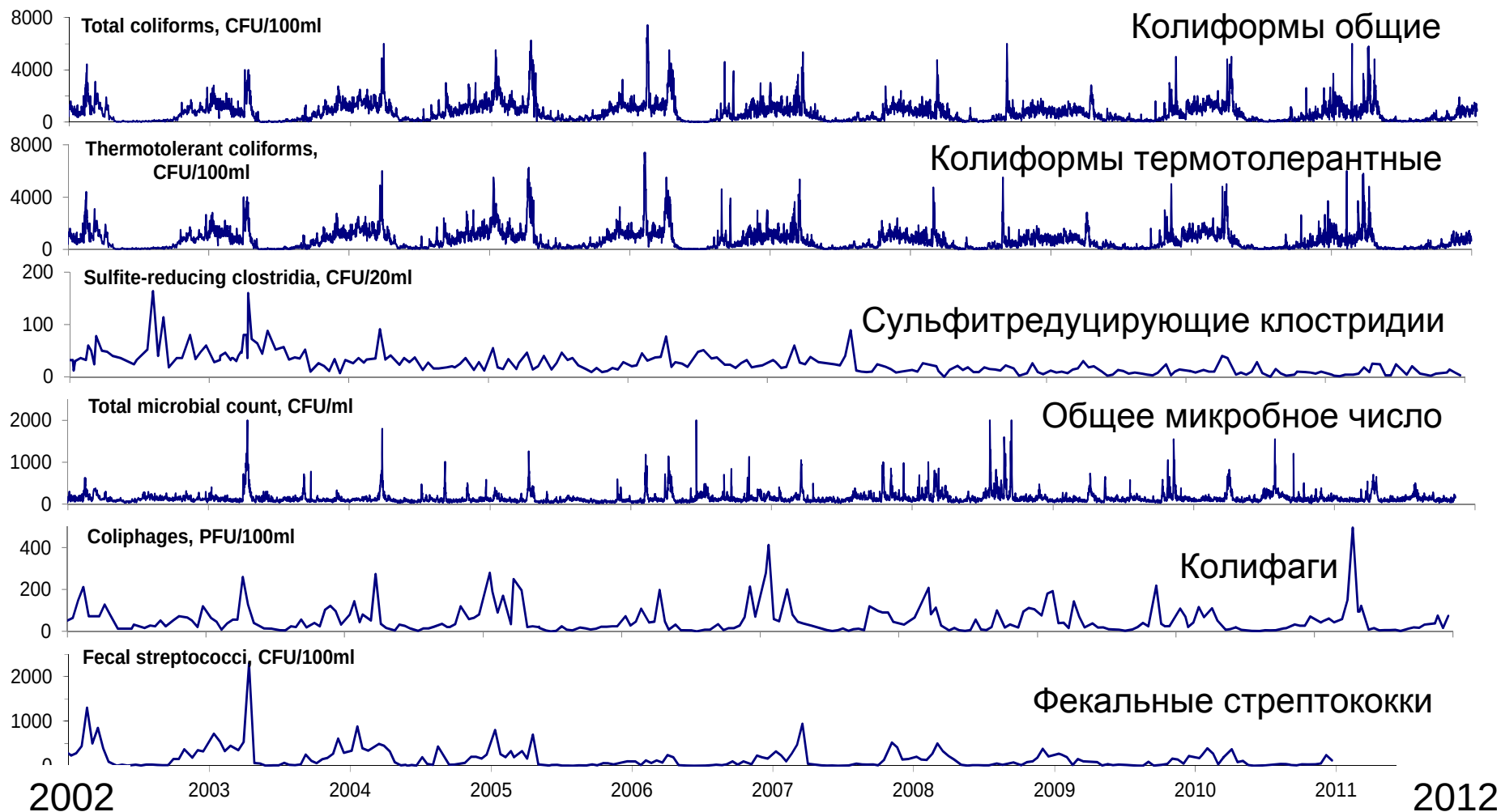
СВС

БУТОВСКИЙ РУ

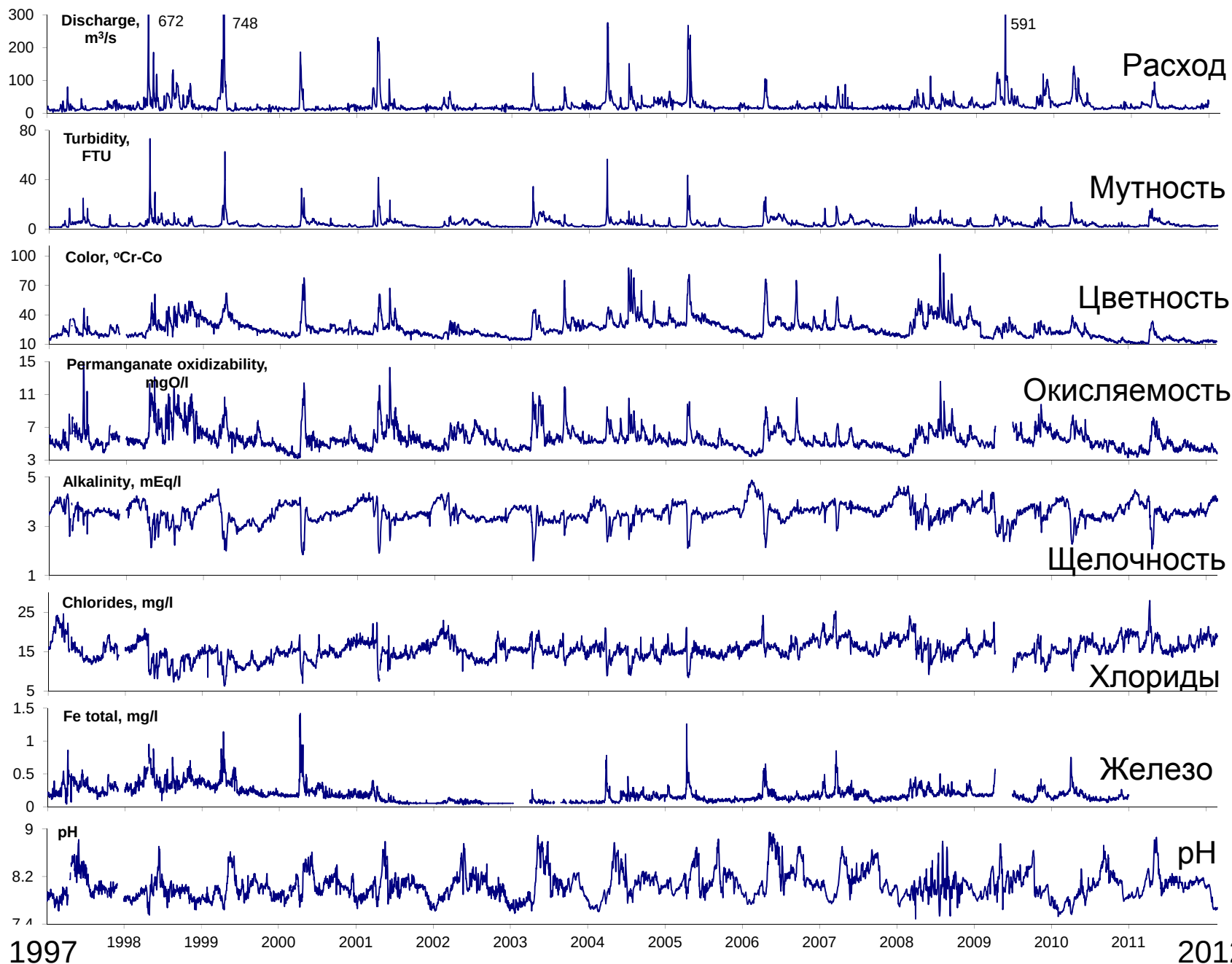
Я

Временные ряды численности микроорганизмов

р. Москва (Рублево)



Временные ряды расхода воды и показателей качества



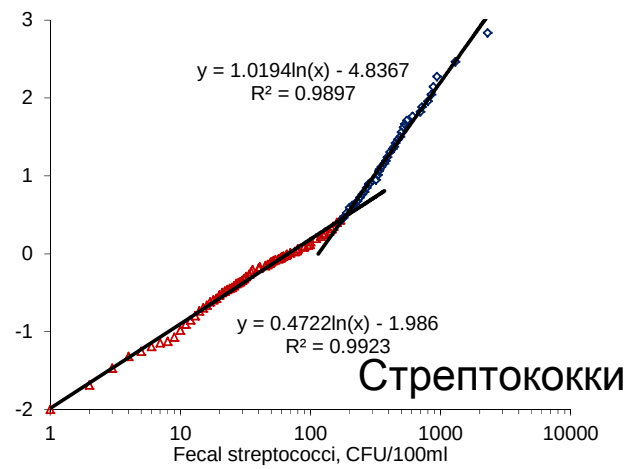
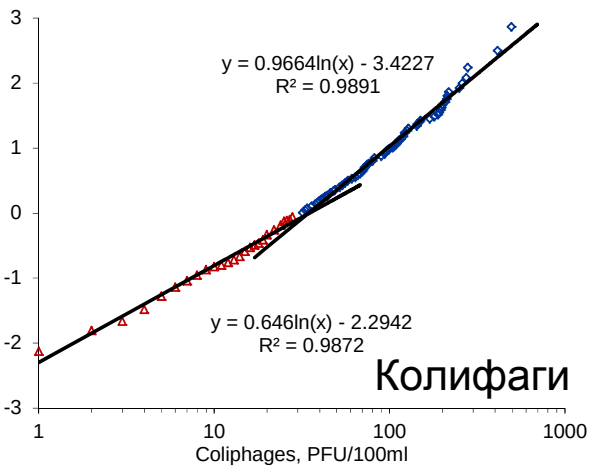
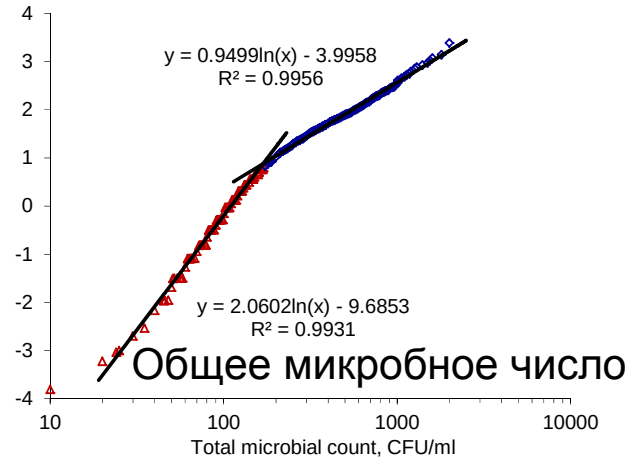
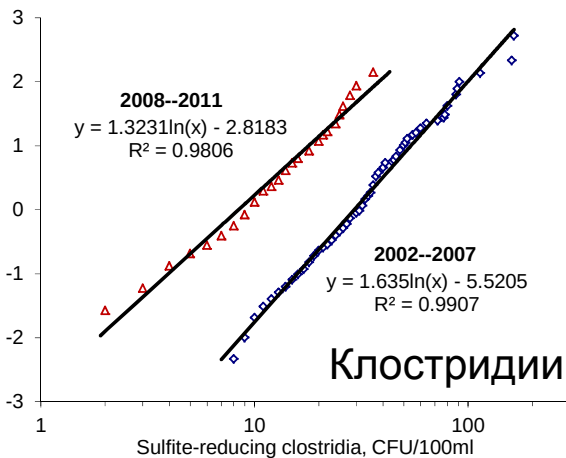
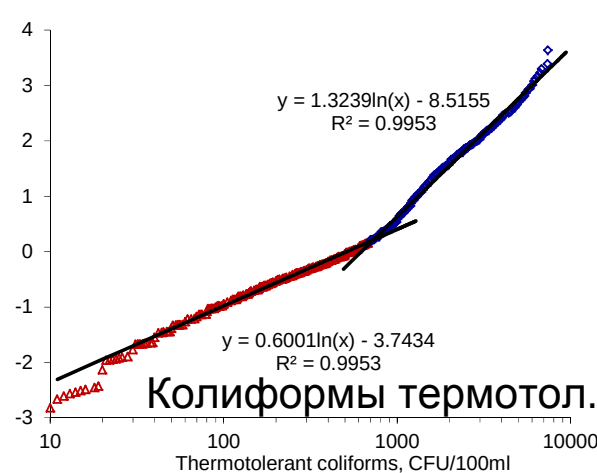
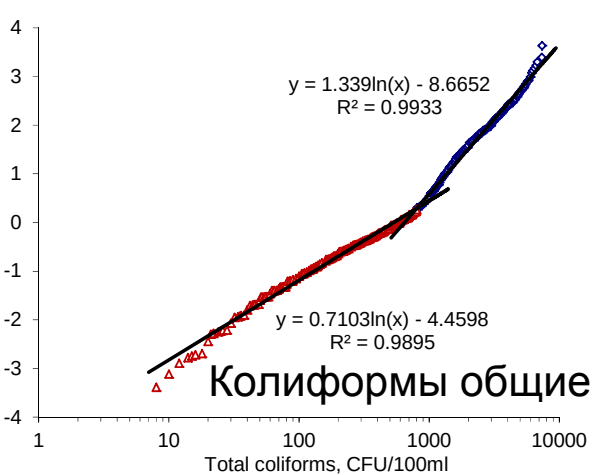
Распределение численностей микроорганизмов

р. Москва (Рублево)

Две логнормальные ветви, отвечающие разным сезонам.

По оси X – численности.

По оси Y – квантили нормального распределения.

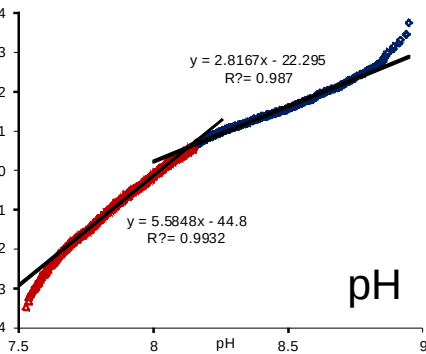
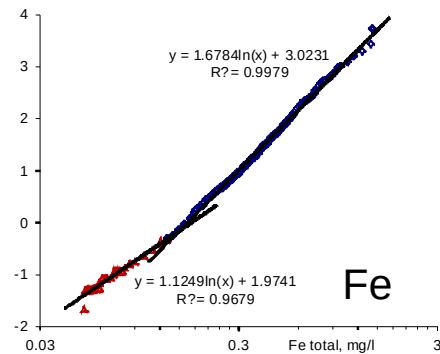
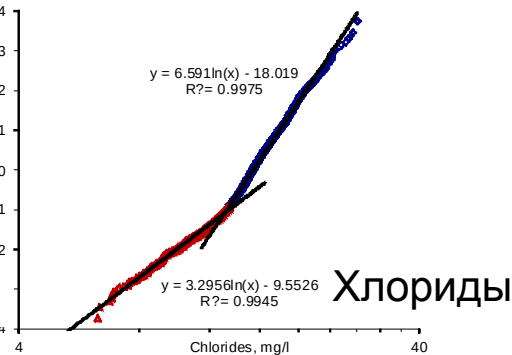
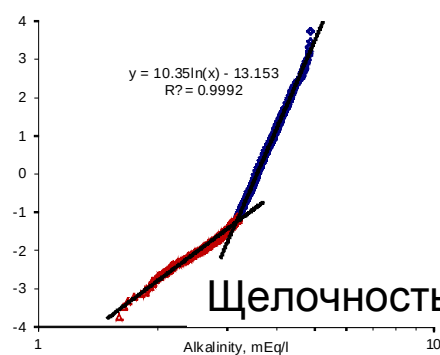
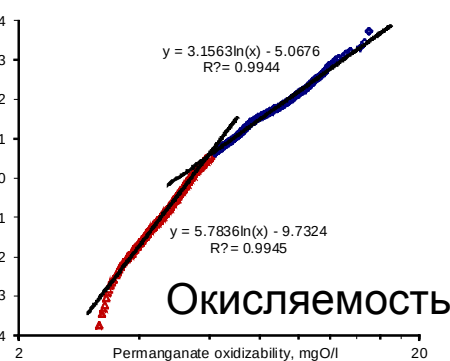
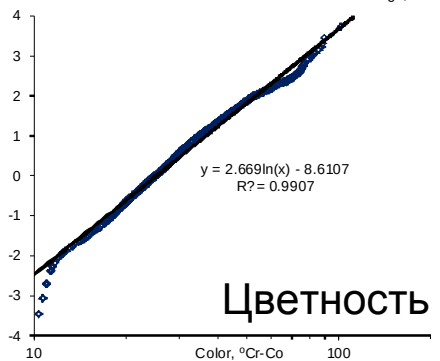
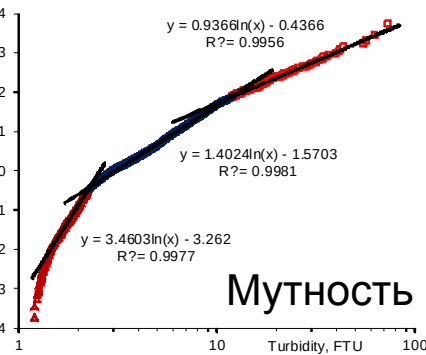
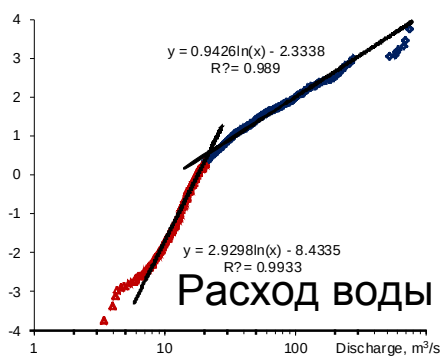


Распределение расходов речной воды и концентраций ингредиентов

р. Москва (Рублево)

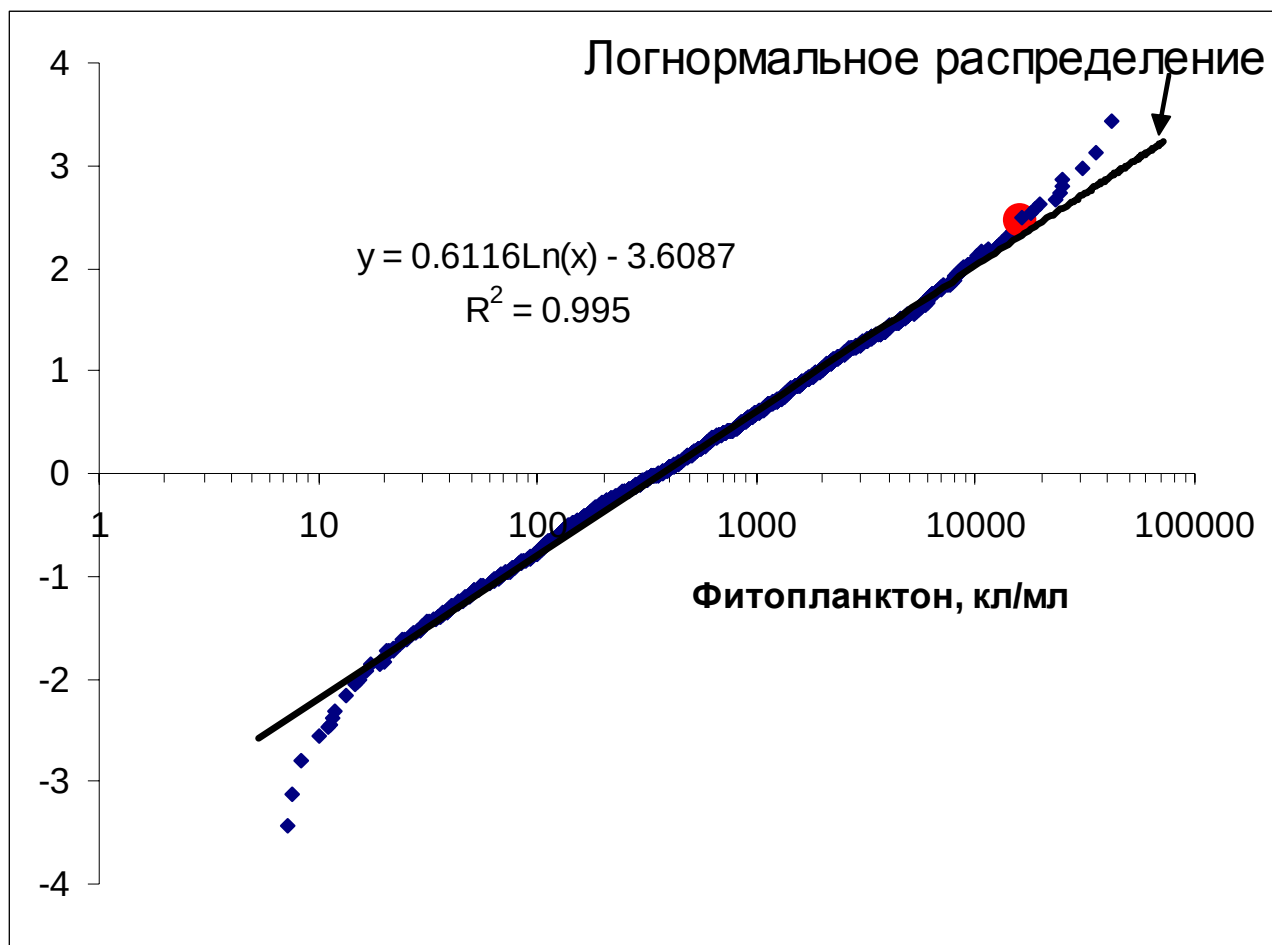
От одной до трех логнормальных ветвей.

По оси Y – квантили нормального распределения.



Распределение численности фитопланктона

Волжский источник (Учинское водохранилище)



**Пример экстремального
события:
жаркое лето 2010 года**

**Волжский источник
(Учинское водохранилище)**

Гидробиология



Температура воды

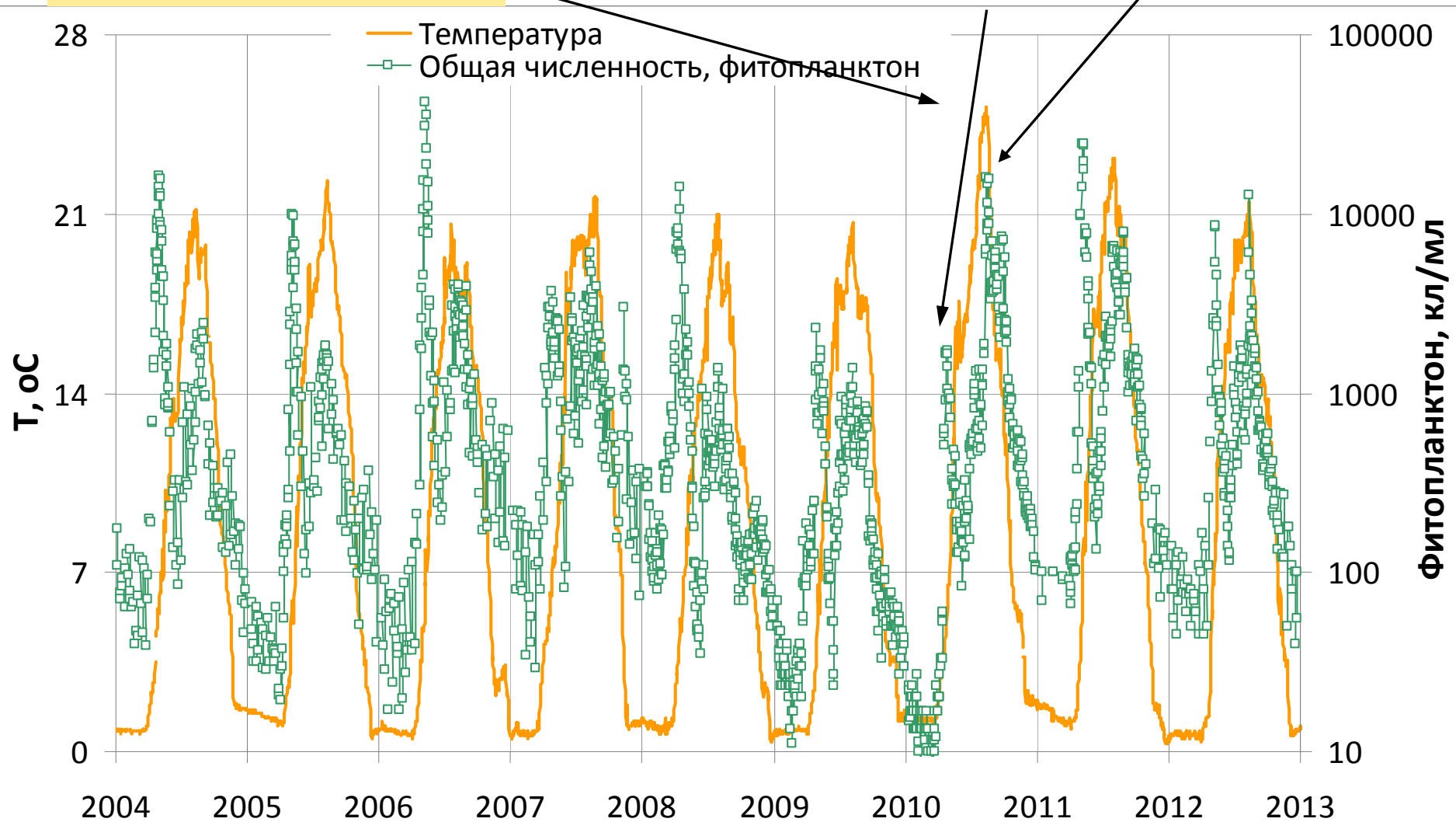
Август 2010 г.

Т_{макс} = 30.1 °C

Т_{ср-сут.макс} = 25.2 °C

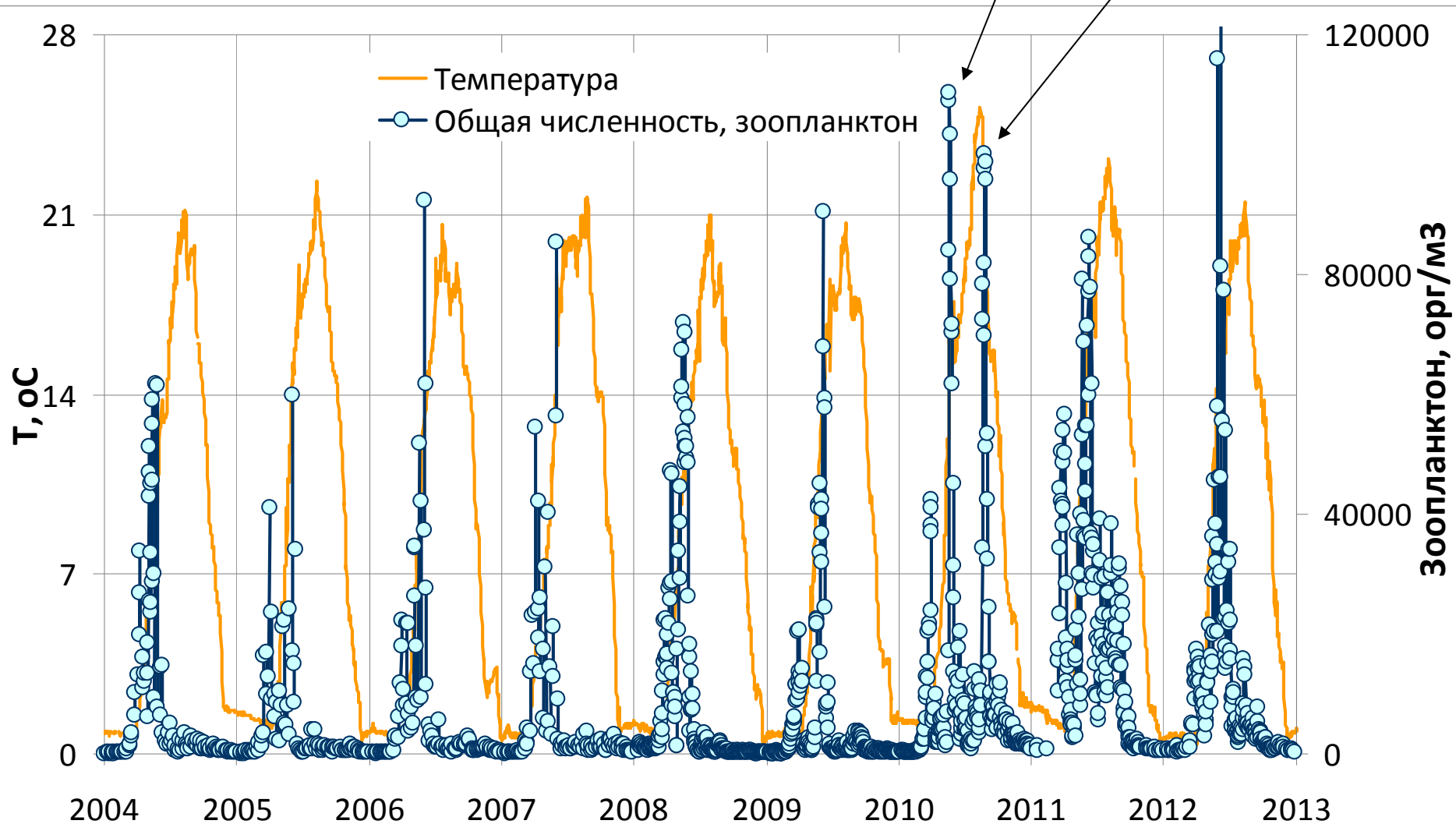
Фитопланктон

Два пика численности:
28 апр, 13 авг
диат, синезел+диат



Зоопланктон

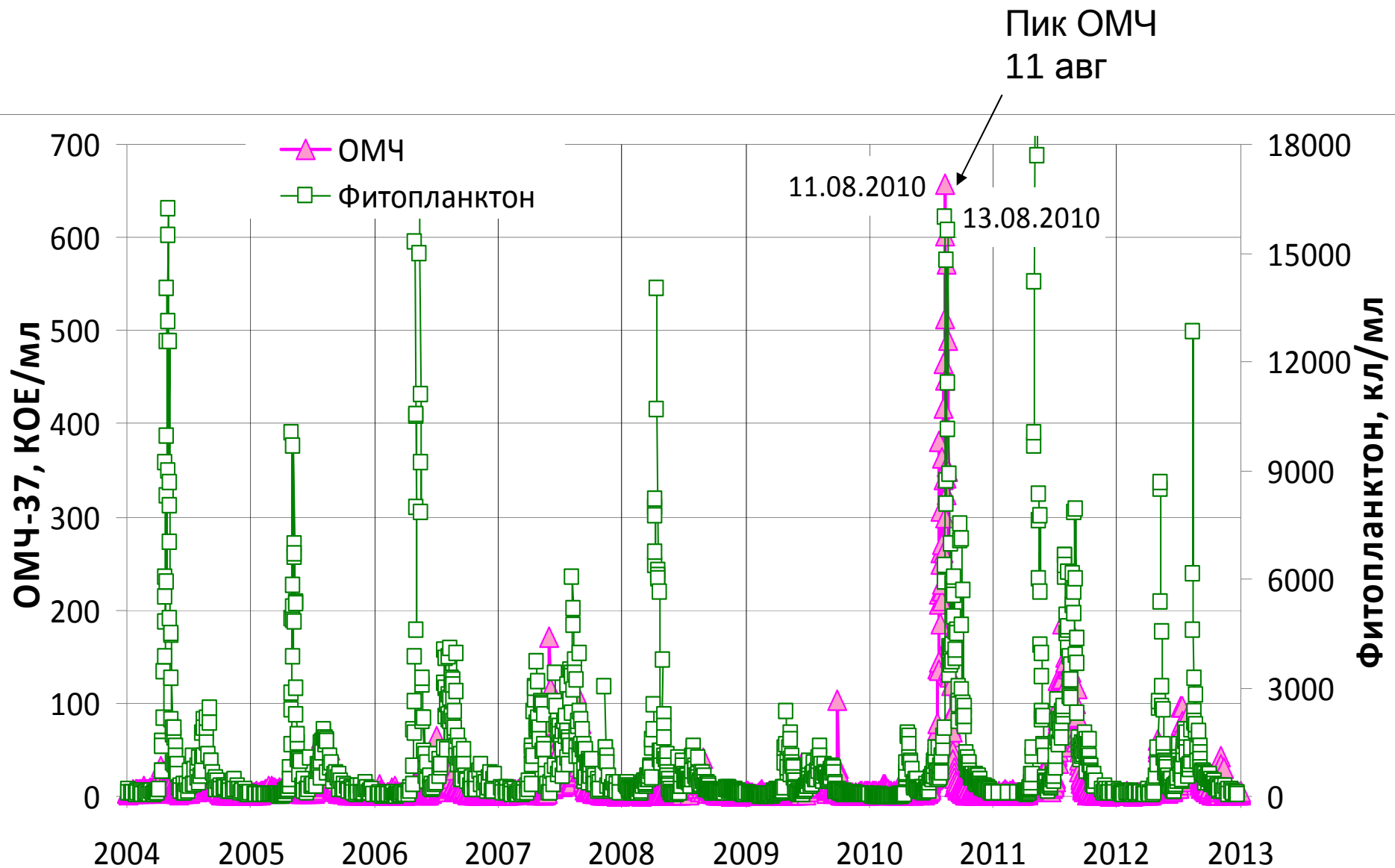
Два пика численности:
20 мая, 26 авг



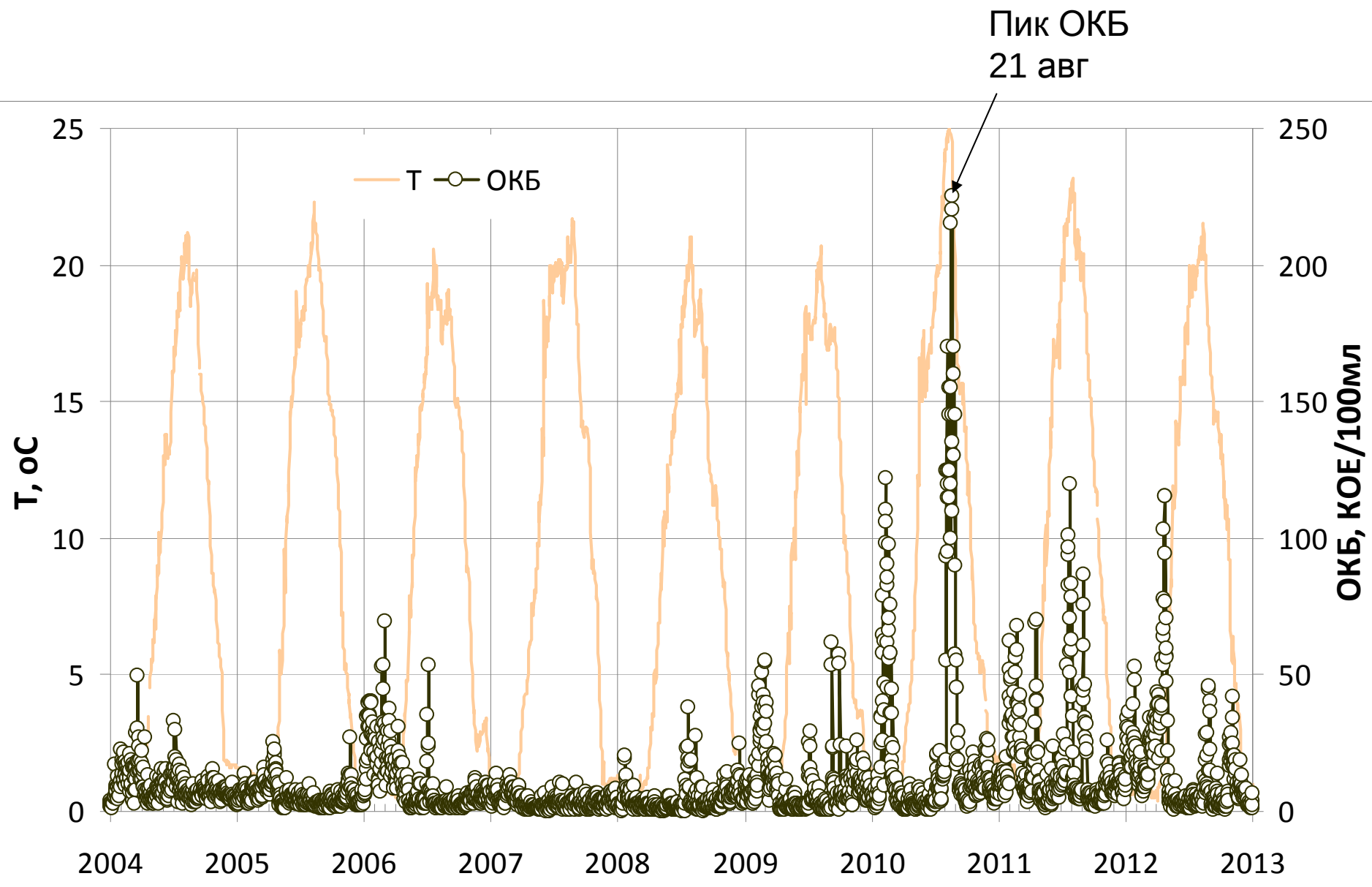
Микробиология



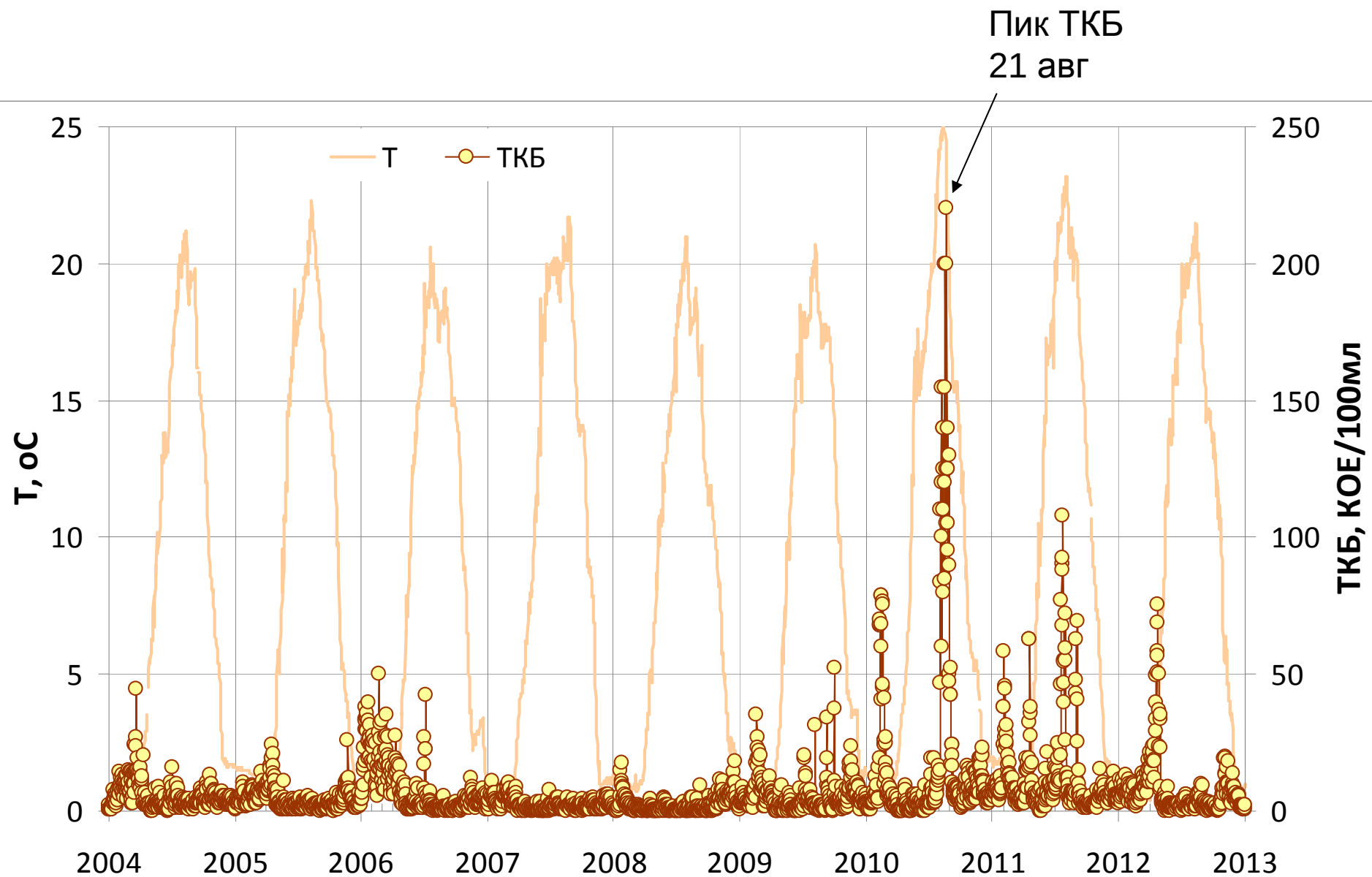
Общее микробное число



Общие колиформные бактерии



Термотолерантные колиформные бактерии



Гидрохимия



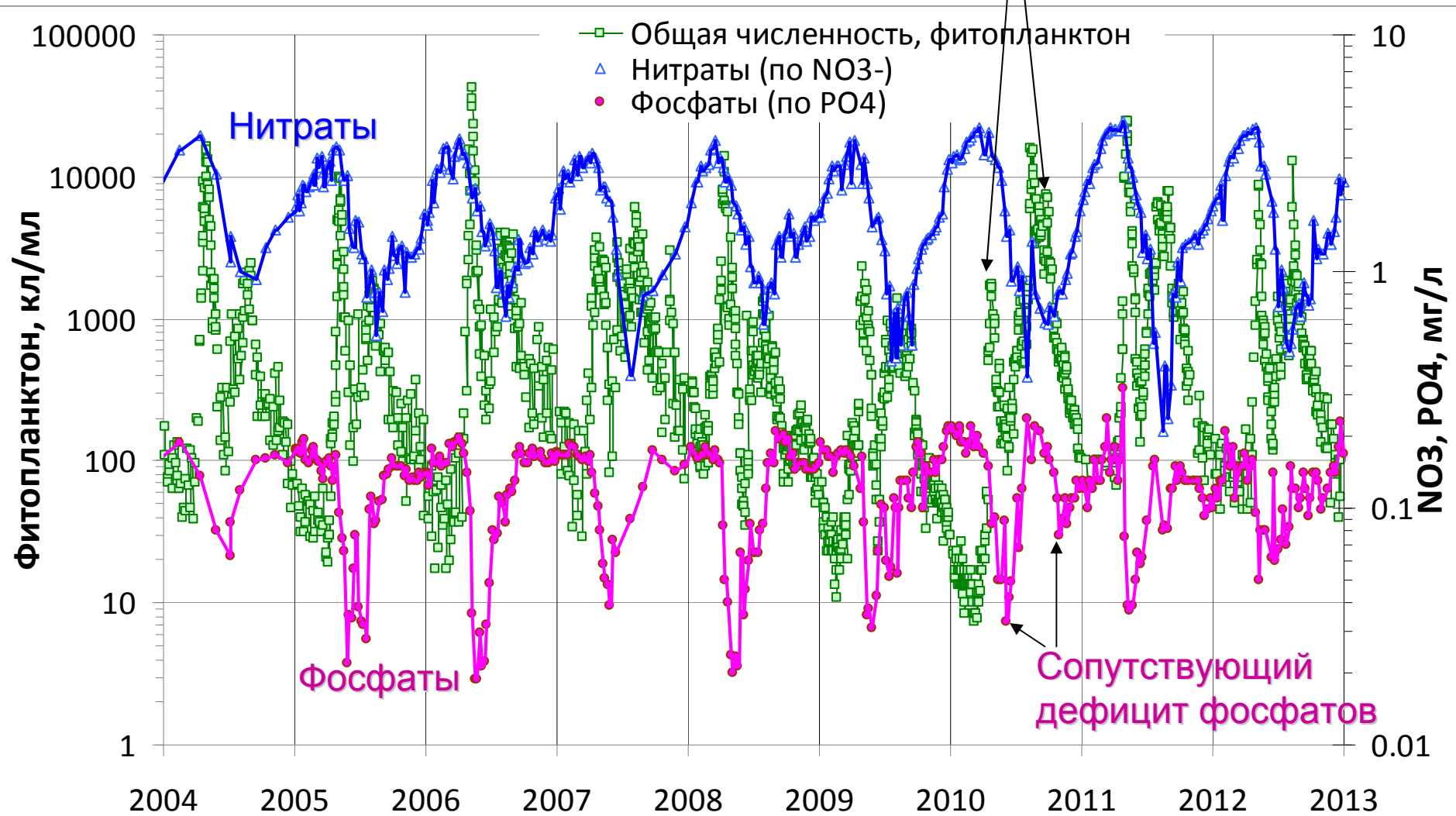
Биогенные вещества

Нитраты, фосфаты

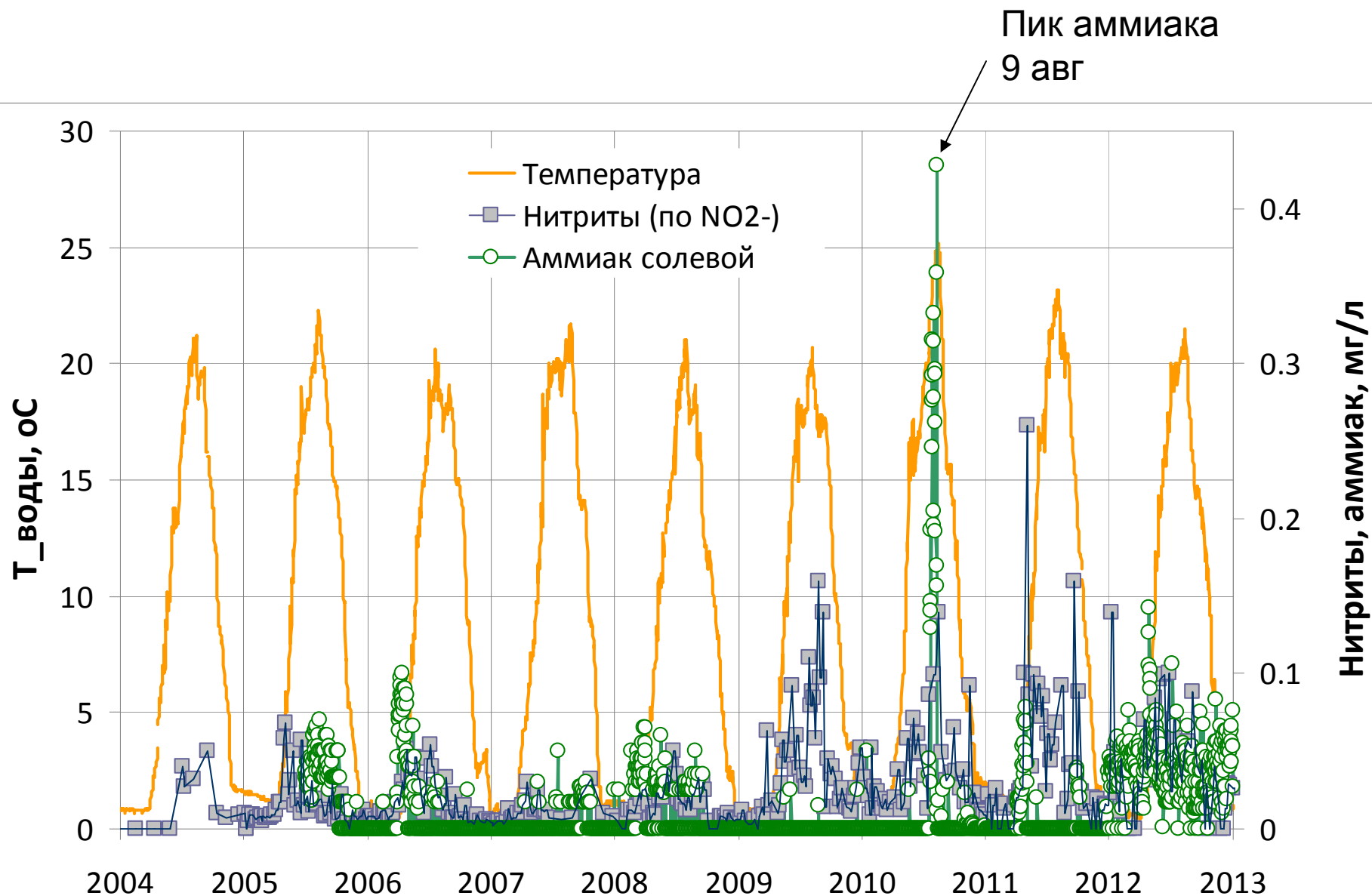
Коэффициенты корреляции:

$\text{Корр}(\text{NO}_3, \text{PO}_4) = 0.29$, $\text{Корр}(\text{NO}_3, T) = -0.76$

$\text{Корр}(\text{Фито}, \text{PO}_4) = -0.29$, $\text{Корр}(\text{PO}_4, T) = -0.55$



Нитриты, аммиак



Макроэлементы

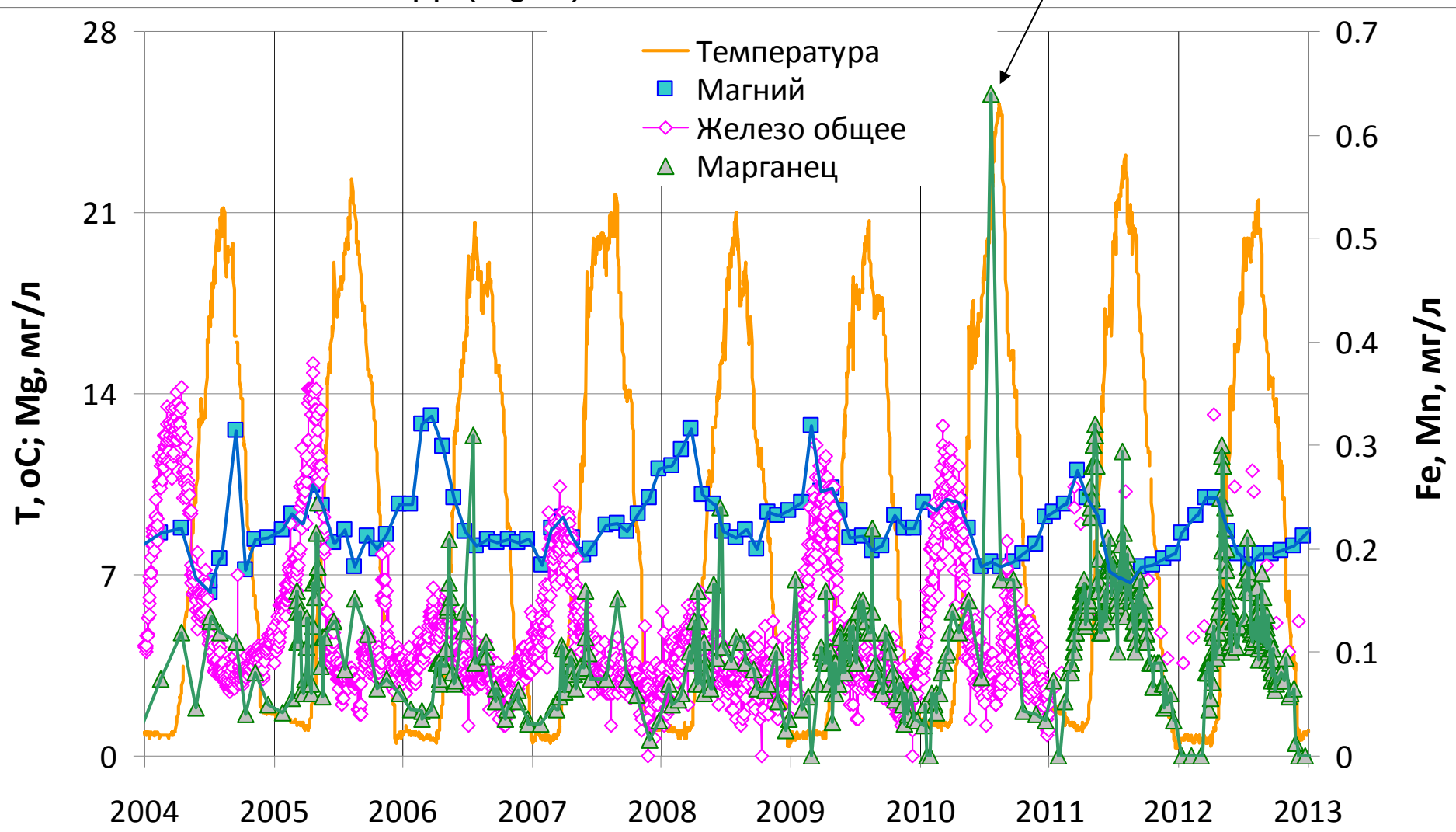
Марганец, железо, магний

Корр (Mn, T) = 0.34

Корр (Fe, T) = -0.40

Корр (Mg, T) = -0.52

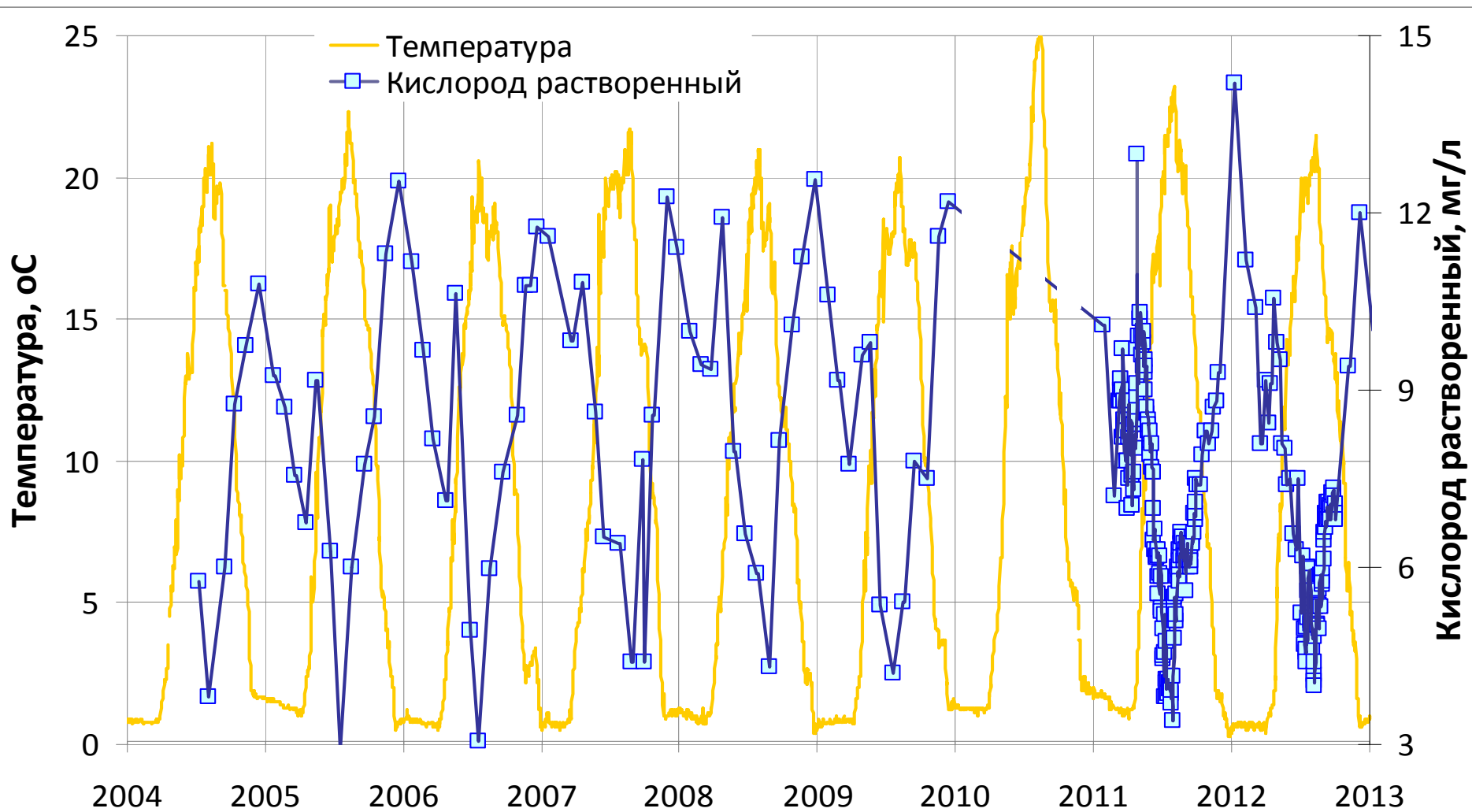
Пик Mn --
отмирание синезеленых



Растворенный кислород

$\text{Корр} (\text{O}_2, T) = -0.83$

В жаркие периоды
 O_2 падает до 3 мг/л:
2005, 2006, 2011 гг.

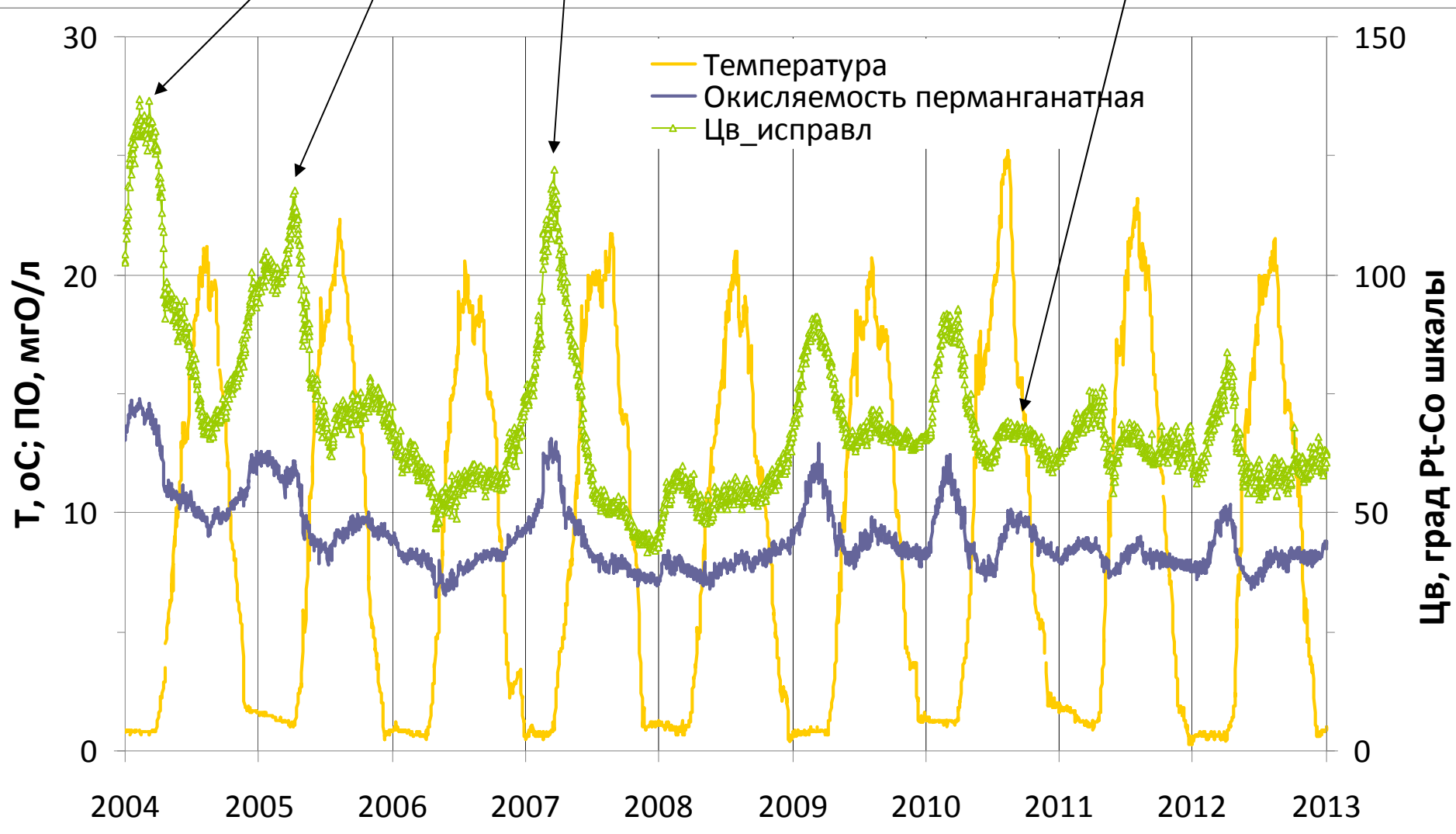


Показатели органического вещества

Цветность. Перманганатная окисляемость

Наибольшее содержание РОВ
– в периоды снеготаяния

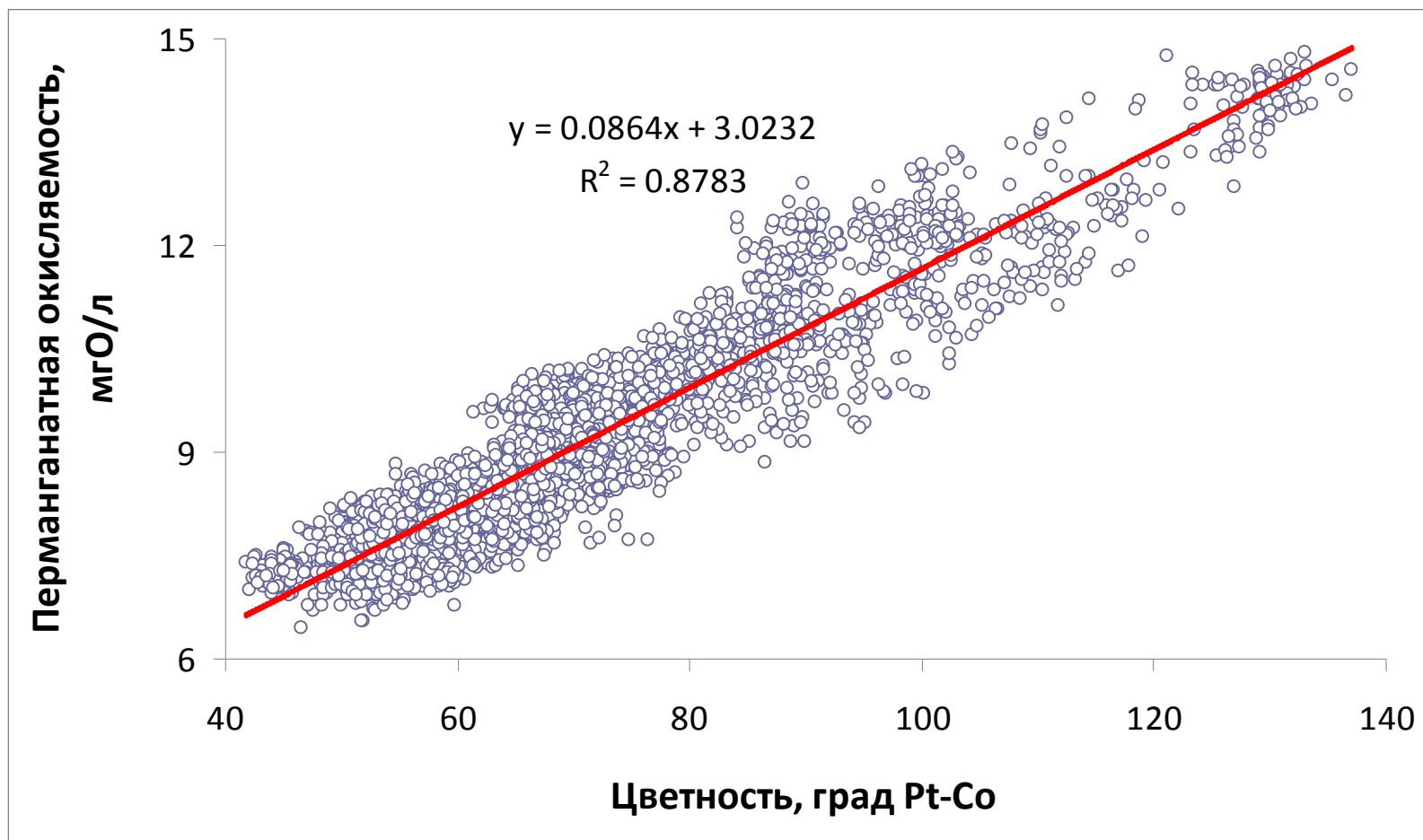
В жаркие периоды –
небольшой рост Цв и ПО



Связь между показателями органического вещества

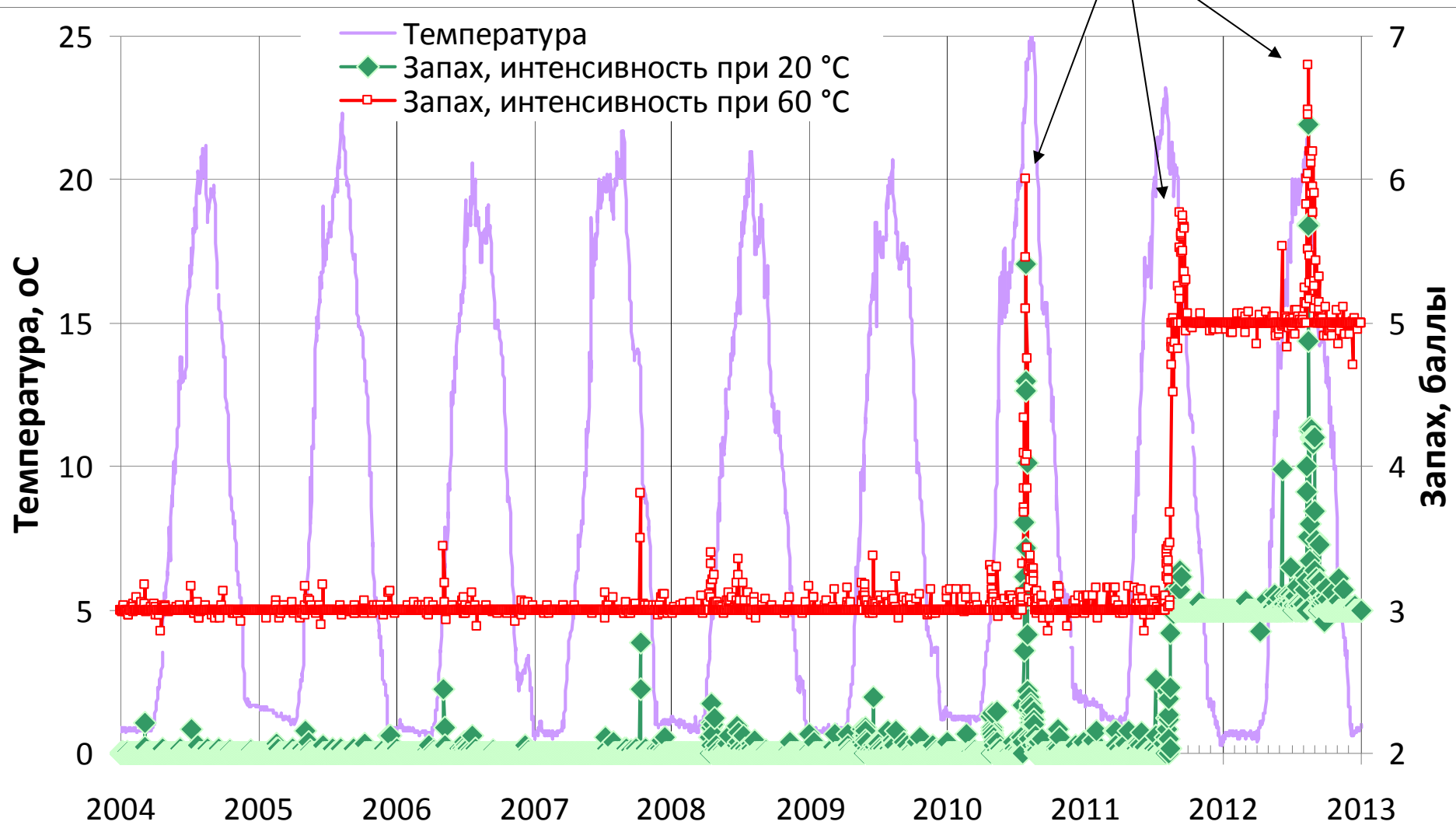
Линейная зависимость ПО от Цв.

Корр (ПО, Цв) = 0.94



Запах

Рост интенсивности запаха при
массовом отмирании водорослей



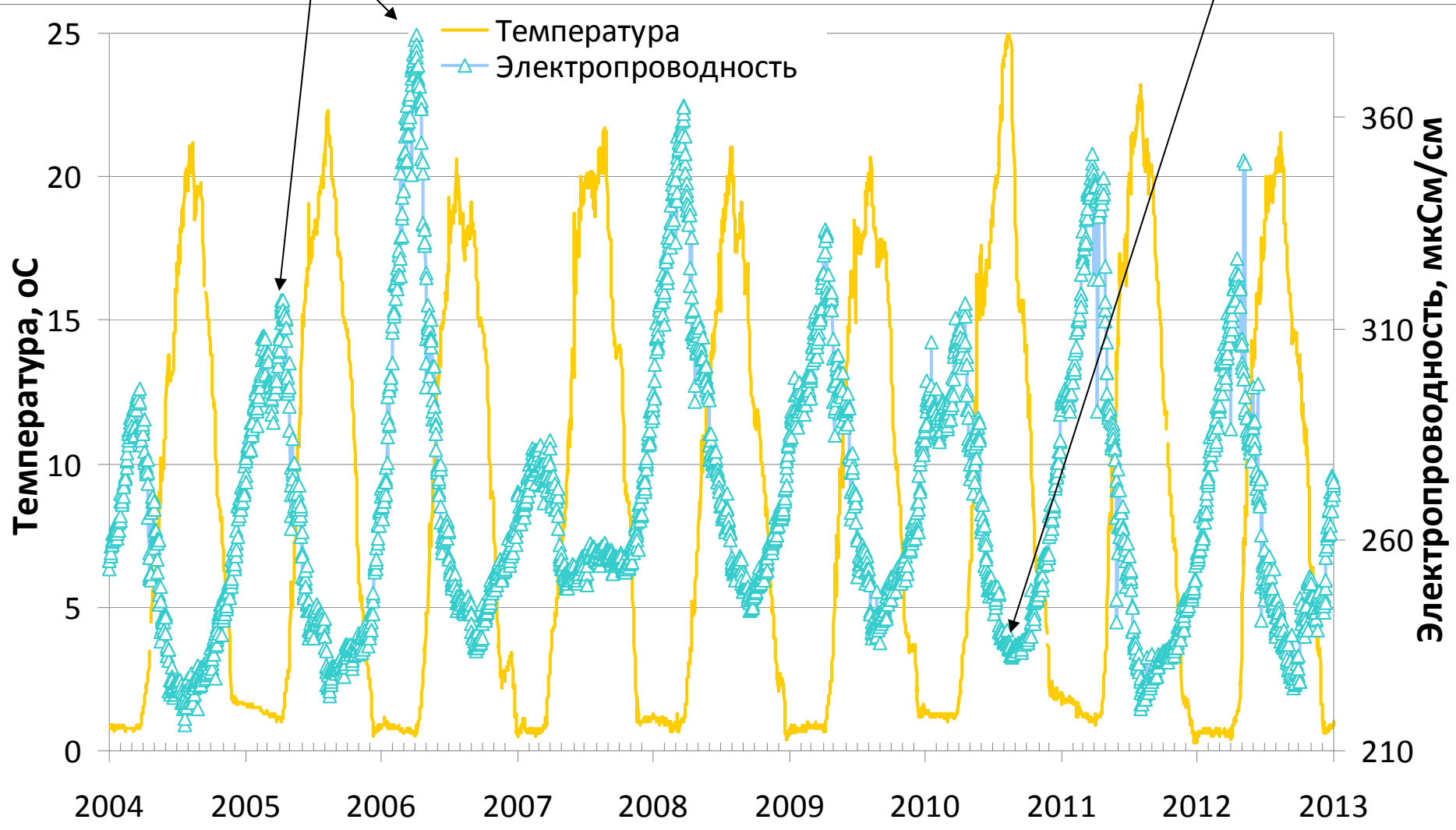
Электропроводность. Минерализация

Электропроводность воды

Пики при
снеготаянии

Корр (Эл, Т) = -0.61

Минимумы в
жаркие периоды



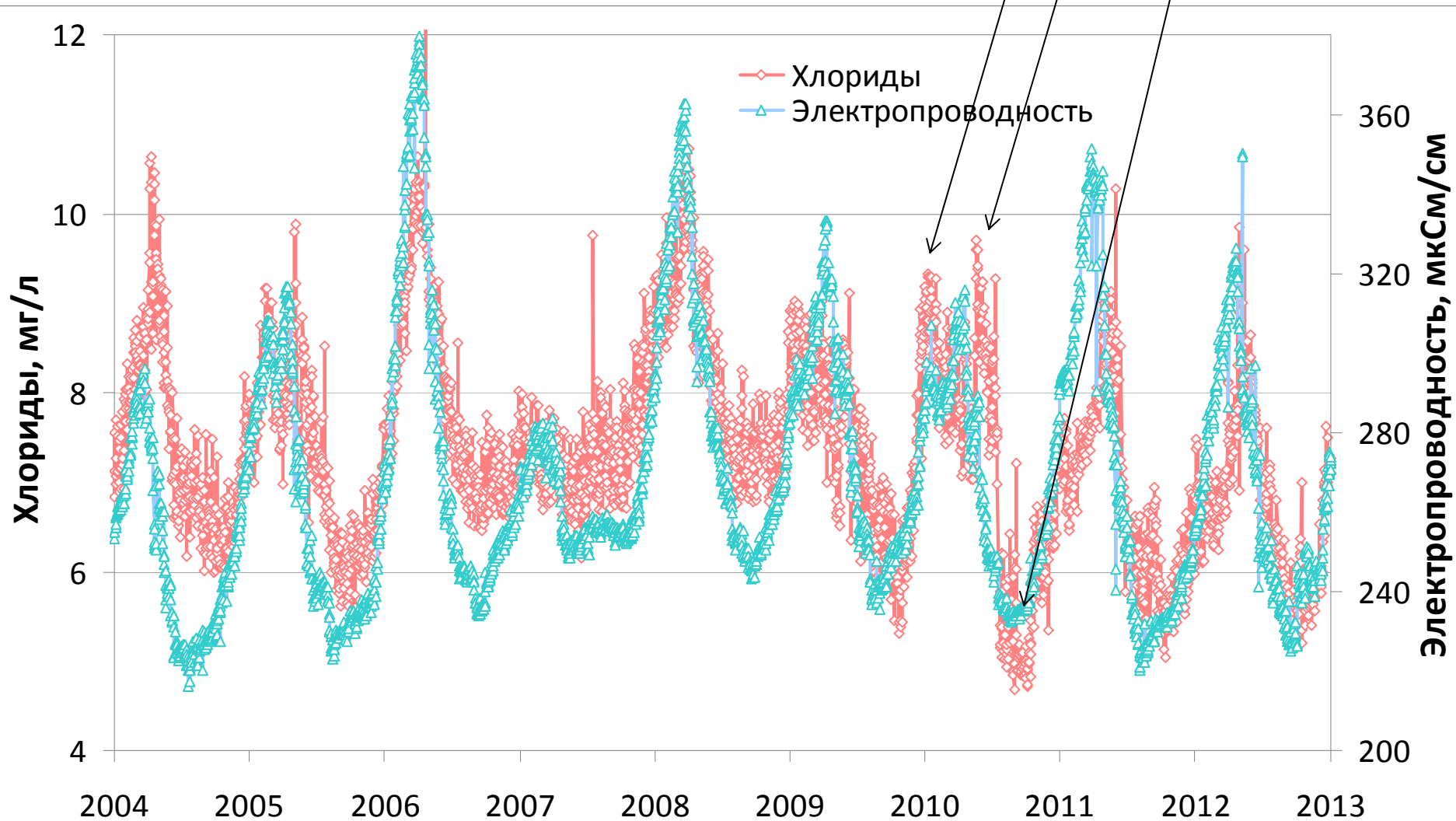
Хлориды

Корр (Эл, Cl) = 0.73

январь

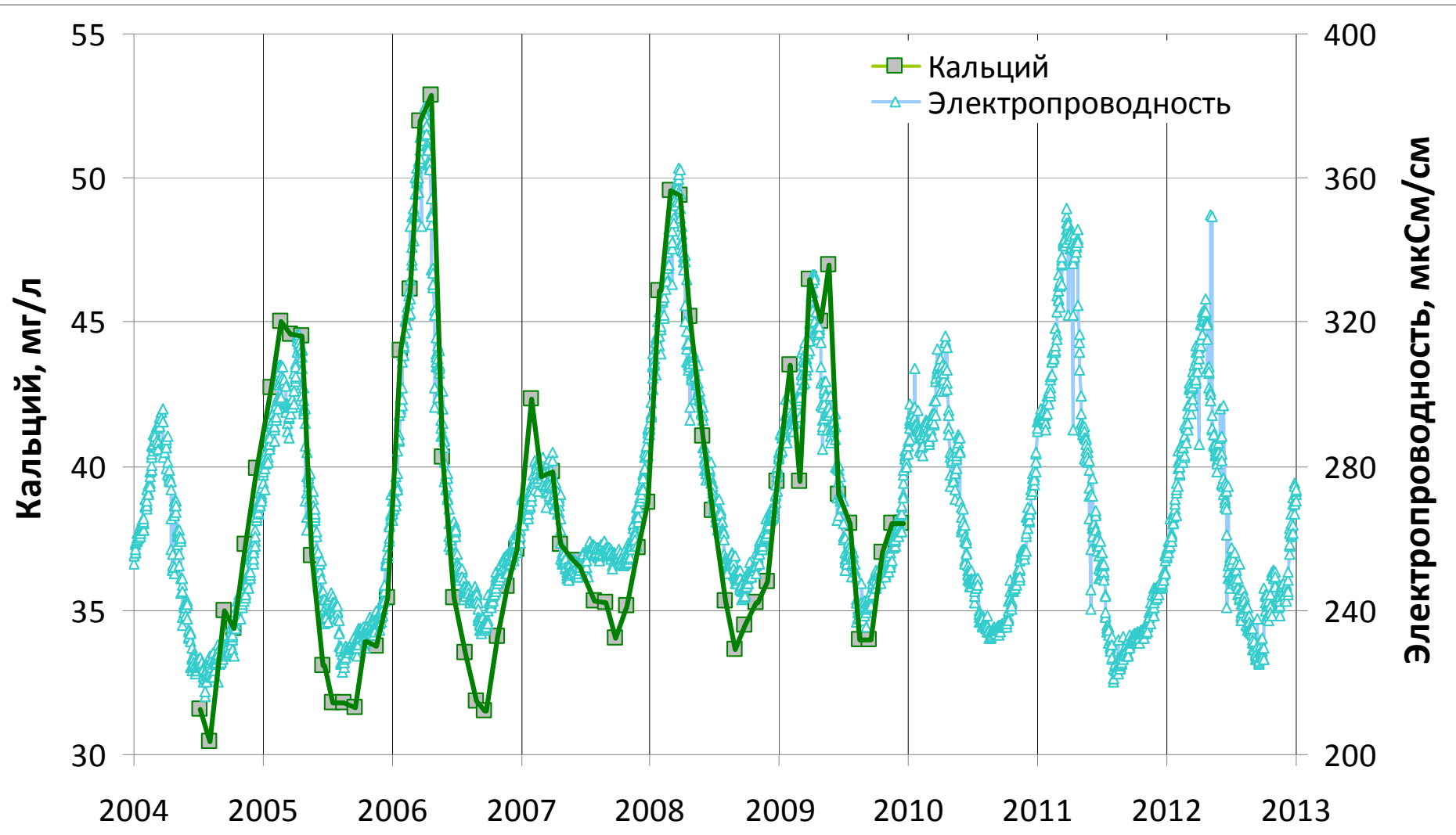
апрель

август



Кальций

Корр (Эл, Са) = 0.95



Эффекты жарких периодов

1. Второй пик цветения диатомовых.
2. Второй пик численности зоопланктона.
3. Пик численности бактерий (ОМЧ).
4. Вспышка численности колиформных бактерий (ОКБ и ТКБ).
5. Второй участок дефицита фосфатов.
6. Пик аммиака.
7. Пик марганца.
8. Дефицит кислорода (снижение до 3 мг/л).
9. Повышение содержания органического вещества (РОВ).
10. Резкий рост интенсивности запаха.
11. Снижение общей минерализации (Ca^{+} , Cl^{-}).

Благодарю за внимание!