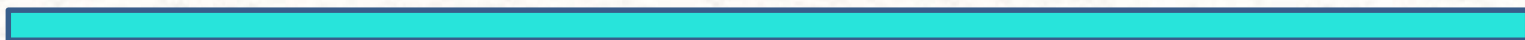


ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ГЛУБОКОЕ (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)



Вилимович Е.А., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И., Коровчинский Н.М.



Выполнено при поддержке
РФФИ (проект 18-35-00691
мол а)

Объект исследования

В 2017 г. были проведены
собственные наблюдения



Озеро *Глубокое*

Расположение:

Московская область, Рузский район

Гидрологические и гидроэкологические характеристики оз. Глубокое

- амплитуда колебаний уровня воды по данным наблюдений – 40-60 см
- димиктическое
- мезотрофное

Морфометрические характеристики

- максимальная длина – 1200 м
- максимальная ширина – 850 м
- максимальная глубина – 32 м
- средняя глубина – 9,3 м
- площадь зеркала 0,593 км²
- объем ~ 5,5 млн м³

Цель работы

Оценка трофического статуса озера Глубокое
в современных условиях при помощи
математического моделирования

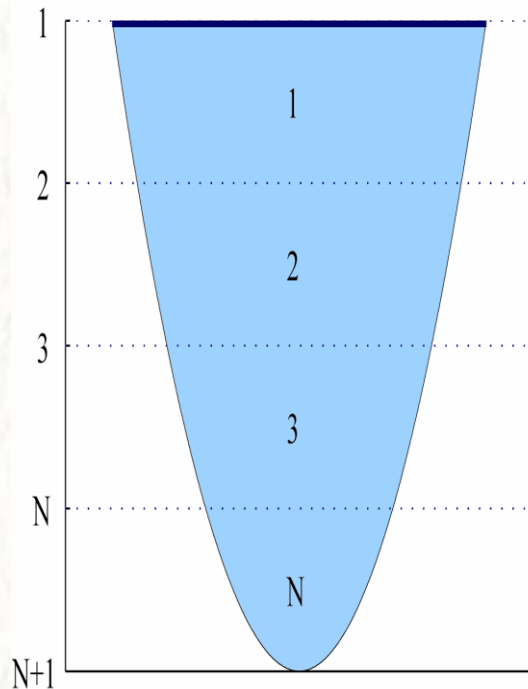
Задачи

1. Определение морфометрических характеристик озера Глубокое и характеристика его современных гидрологических, гидрохимических и гидробиологических особенностей по данным наблюдений;
2. Сбор и подготовка данных для моделирования гидроэкологического режима оз. Глубокое;
3. Адаптация модели MuLake для озера Глубокое, ее калибровка и верификация;
4. Оценка трофического статуса оз. Глубокое с 1991 по 2015 гг. по результатам моделирования гидроэкологического режима

Модель MyLake

MyLake – одномерная гидроэкологическая модель озера, воспроизводящая вертикальное распределение:

- температуры воды
- фитопланктона (по концентрации хлорофилла а)
- фосфора
- Шаг по времени – 1 сутки
- Шаг по глубине – 0,1-2 м (выбран 1 м)
- Входные параметры:
 - Метеоинформация
 - Морфометрия озера
 - Начальное распределение показателей



Модель MyLake

Уравнение переноса тепла:

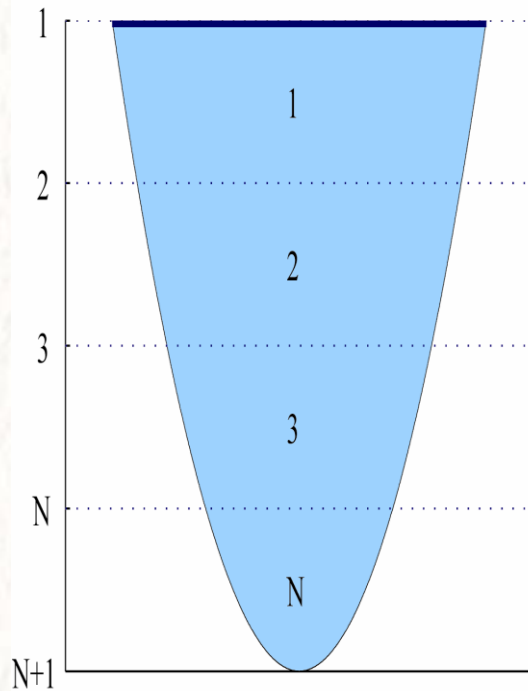
$$A \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[KA \frac{\partial T}{\partial z} \right] + A \frac{Q^*}{\rho_w c_p}$$

Коэффициент вертикальной
(турбулентной) диффузии

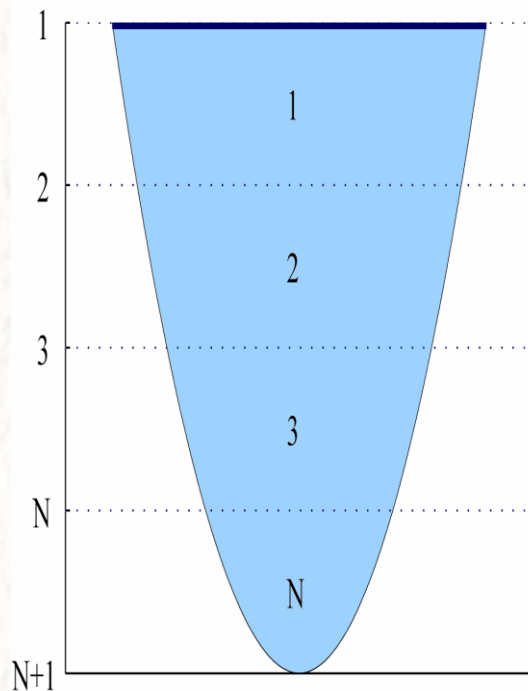
$$K = a_k (N^2)^{-0.43}$$

Частота Брента-Вяйсяля:

$$N^2 = \frac{g}{\rho_w} \frac{\partial \rho_w}{\partial z}$$



Модель MyLake



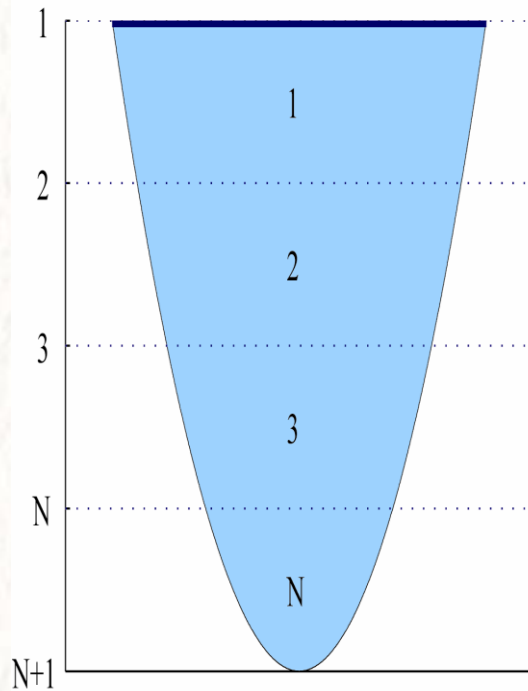
Полная кинетическая энергия

$$E_{кин} = W_{str} A \sqrt{\frac{\tau^3}{\rho}} \Delta t$$

Потенциальная энергия

$$E_{пот} = g \Delta \rho_w \frac{V_{epi} V_z}{V_{epi} + V_z} (z_{epi} + \Delta z_{M_z} + z_{M_{epi}})$$

Модель MyLake



Для расчета распределения растворенных и взвешенных веществ:

$$A \frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[KA \frac{\partial Y}{\partial z} \right] - A \frac{\partial (\omega Y)}{\partial z} + AS$$

Для расчета динамики фитопланктона (уравнение Моно):

$$\mu = \mu'(T) \frac{P_D}{P_D' + P_D}$$

Калибровка и верификация параметров

R Studio®

FME

Период калибровки – 2017 г.

Период верификации – 1991-2015 гг.

Оптимизация параметров модели:

- Метод Нелдера-Мида (пакет FME, среда R)
- Поиск оптимальных значений по RMSE
- Расчет критериев качества моделирования:

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(y_{факт} - y_{расч})^2}{N}}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_{факт} - y_{расч})$$

$$T = \frac{\sqrt{\sum (y_{факт} - y_{расч})^2}}{\sqrt{\sum y_{факт}^2} + \sqrt{\sum y_{расч}^2}}$$

Калибровка параметров, 2017 г.

RMSE



индекс Тейла (Т)



Длина ряда, n	T, °C	403
	Хлорофилл а, мкг/л	66
	Rмин, мкг/л	68

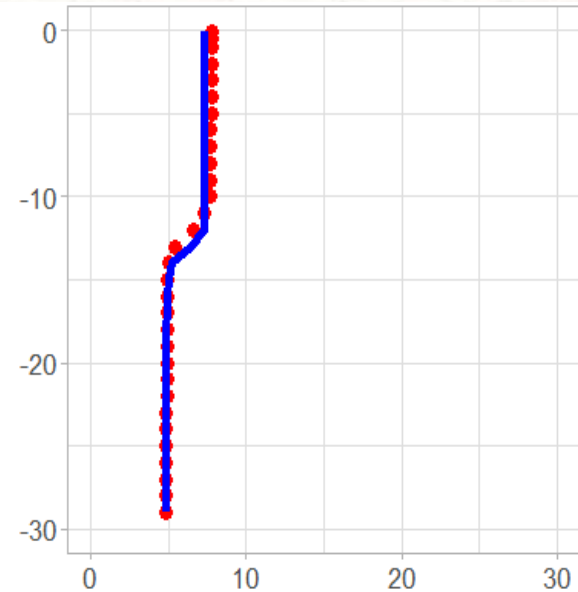
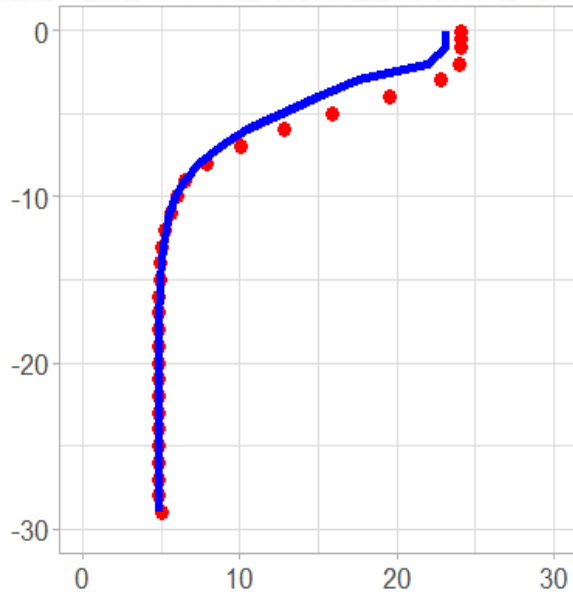
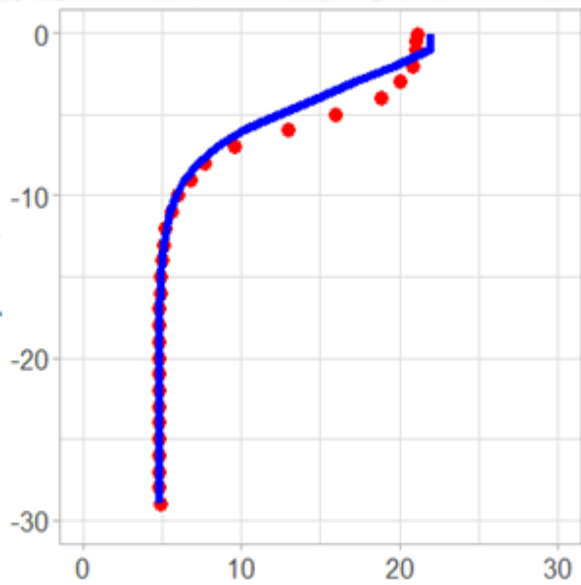
Результаты моделирования вертикального распределения температуры воды, 2017 год

23.07.2017

03.08.2017

22.10.2017

Глубина, м



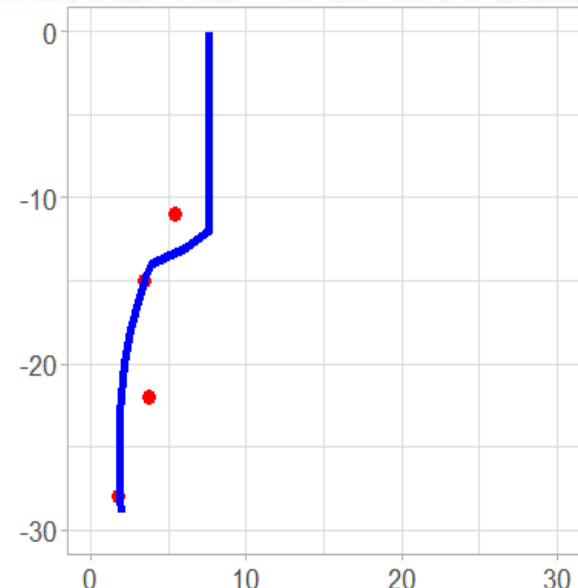
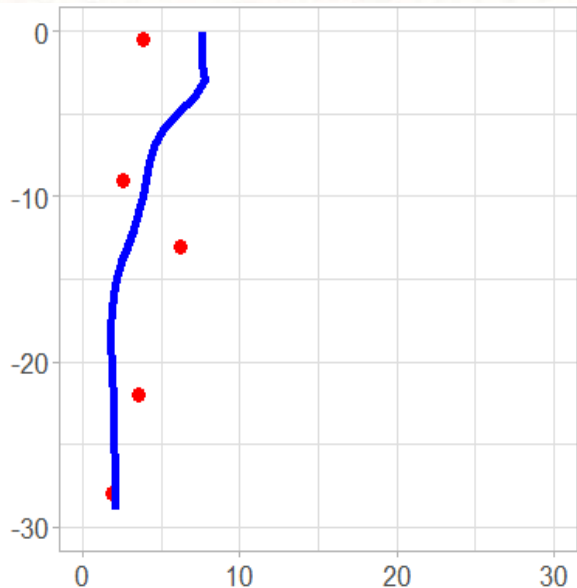
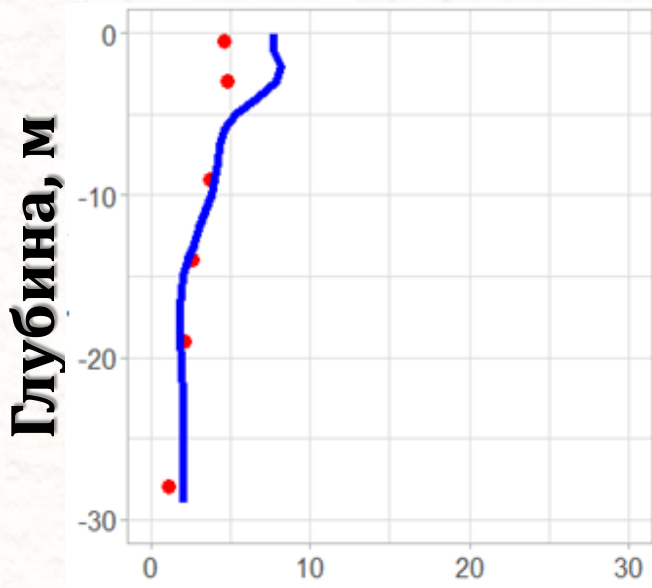
температура воды, °C

Результаты моделирования вертикального распределения хлорофилла а, 2017 год

23.07.2017

03.08.2017

22.10.2017



содержание хлорофилла а, мкг/л

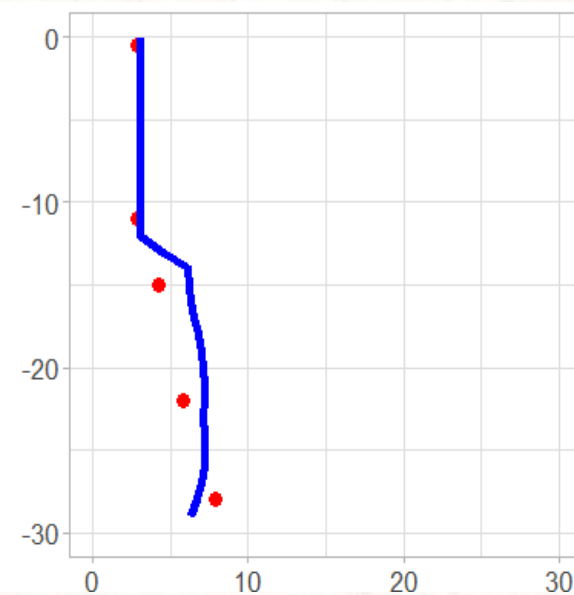
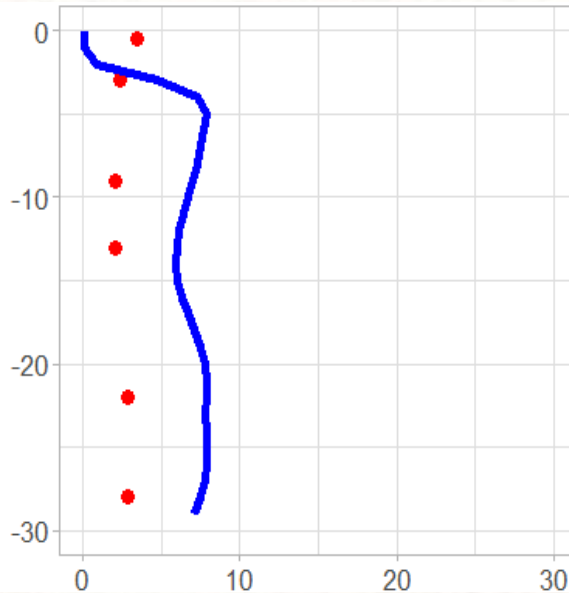
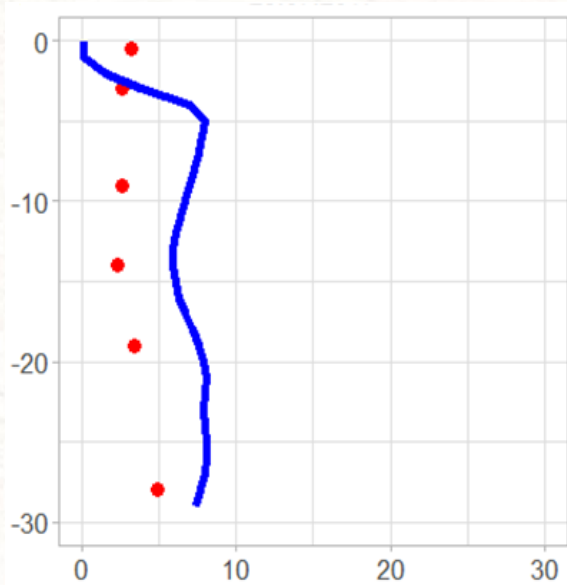
Результаты моделирования вертикального распределения минерального фосфора, 2017 год

23.07.2017

03.08.2017

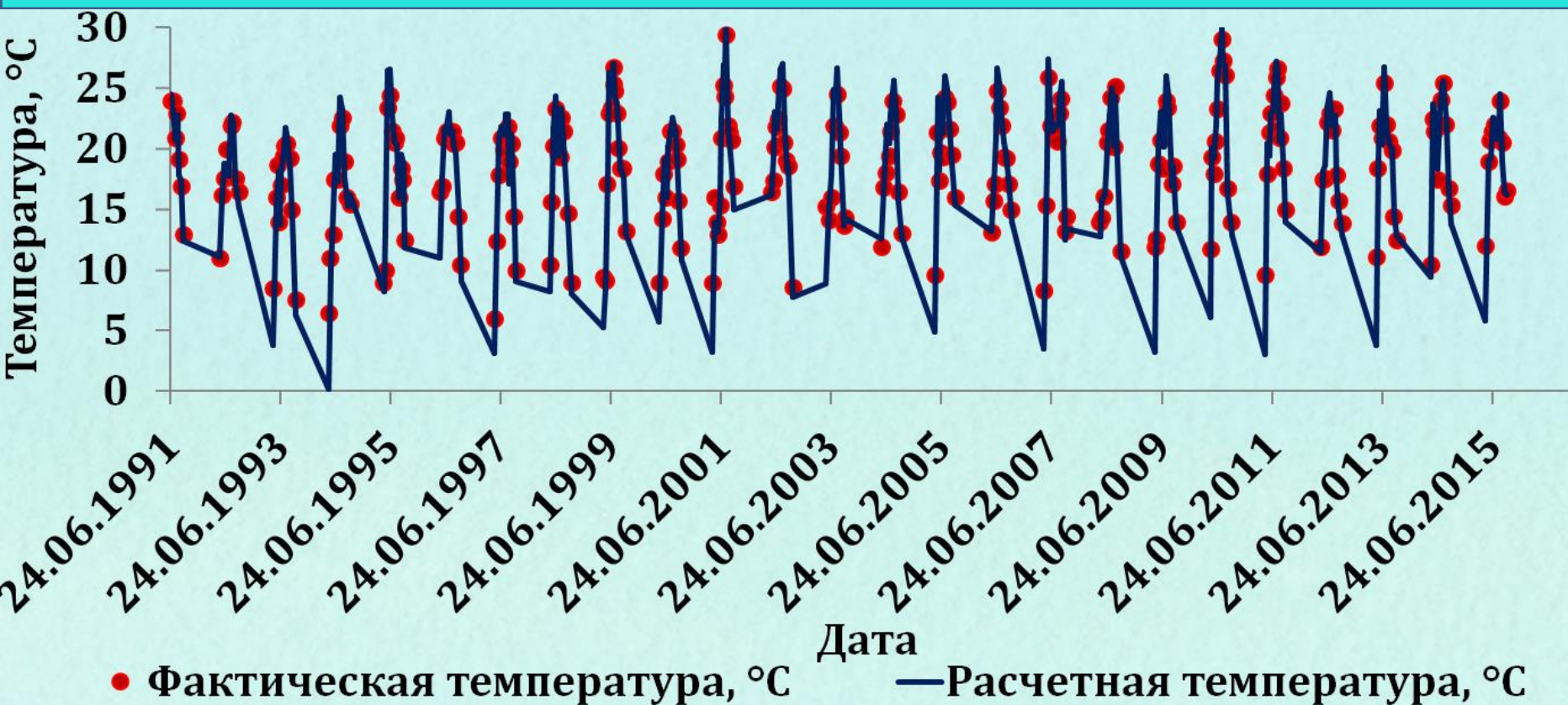
22.10.2017

Глубина, м



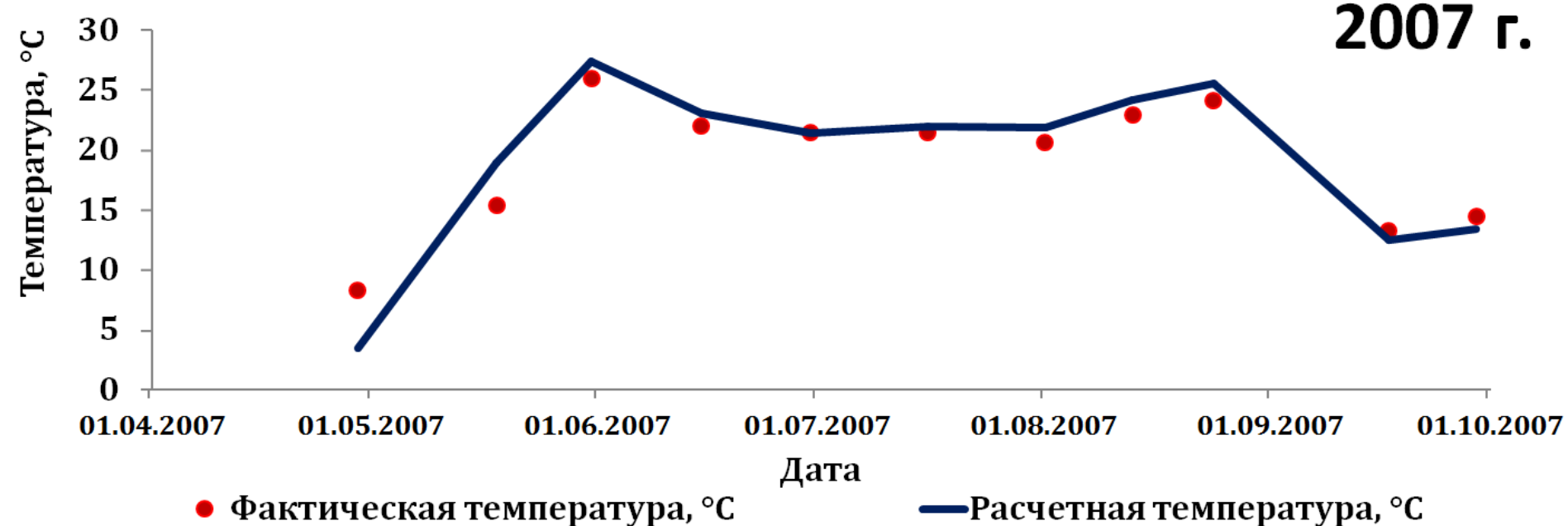
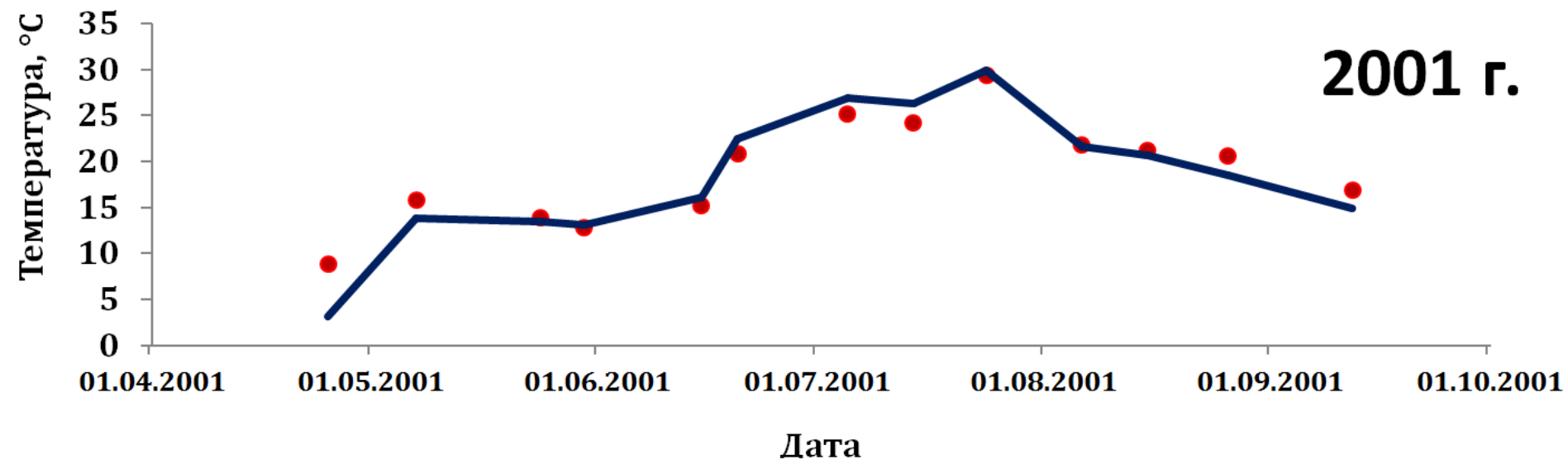
содержание минерального фосфора, мкг/л

Верификация модели, 1991-2015 гг.

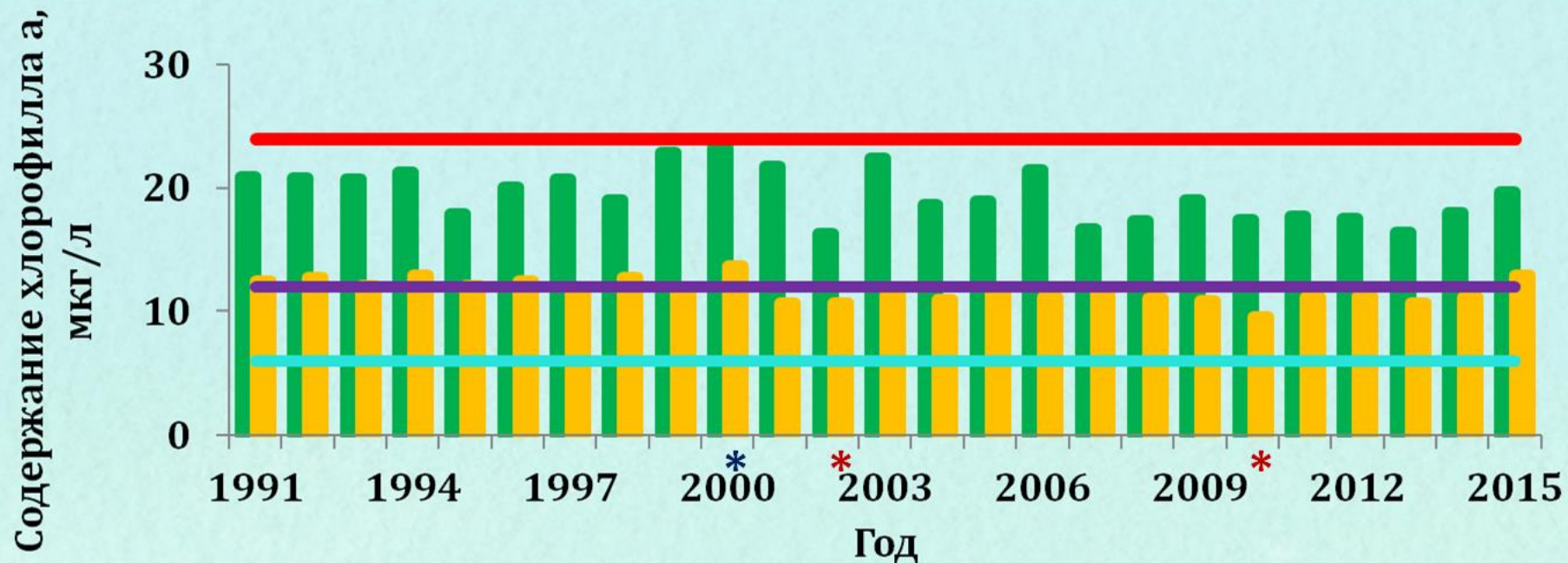


Длина ряда, n	262	RMSE	0,0044
		MAE	1,85
		T	0,047

Результаты верификации модели MuLake



Трофический статус оз. Глубокое с 1991 по 2015 гг. по результатам моделирования гидроэкологического режима



■ Макс. содерж. хлорофилла а, мкг/л

■ Сред. содерж. хлорофилла а, мкг/л

— α -эвтрофный

— β -эвтрофный

— β -мезотрофный

Максимальное и среднее содержание хлорофилла а (в мкг/л)
в поверхностном слое оз. Глубокое в летние месяцы за период с 1991
по 2015 гг.

Основные результаты

1. Адаптация, автоматическая оптимизация параметров модели, а также ее верификация позволили добиться высокого качества воспроизведения термических и гидроэкологических характеристик водоема;
2. Трофический статус озера Глубокое в среднем за период с 1991 по 2015 гг. оценивается как ***β-мезотрофный***, в периоды максимальной интенсивности развития водорослей переходящий в ***α-эвтрофный***;
3. Полученные оценки совпадают с данными о динамике сообщества зоопланктона в озере (наблюдается тенденция к эвтрофированию).

