

**Грант РФФ 17-77-20093**

«Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы

**Разработка гидродинамической модели зон техногенного теплового загрязнения в крупных водных объектах при наличии плотностной стратификации, обусловленной температурными и концентрационными неоднородностями**

**руководитель к.ф.-м.н. Я.Н. Паршакова**

**Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь**

На основе сопряжения вычислительных схем и современных методов натуральных измерений разрабатывается технология повышения эффективности использования крупных водных объектов в качестве охладителей энергетических комплексов.

Конференция «Наука будущего» 14-17 мая 2019 года г. Сочи

# Необходимость оценки параметров температурных полей

В настоящее время водохранилища являются наиболее распространенным типом охладителей для крупных тепловых электростанций. Даже на лучших ТЭС более 40% выработки энергии не преобразуется в электроэнергию, а требует ассимиляции в окружающую среду.

## **Возможные проблемы для разных типов водоемов**

### **для малых охладителей**

– это ограничение мощности станции, связанное с повышением температуры забираемой воды;

### **для крупных водоемов**

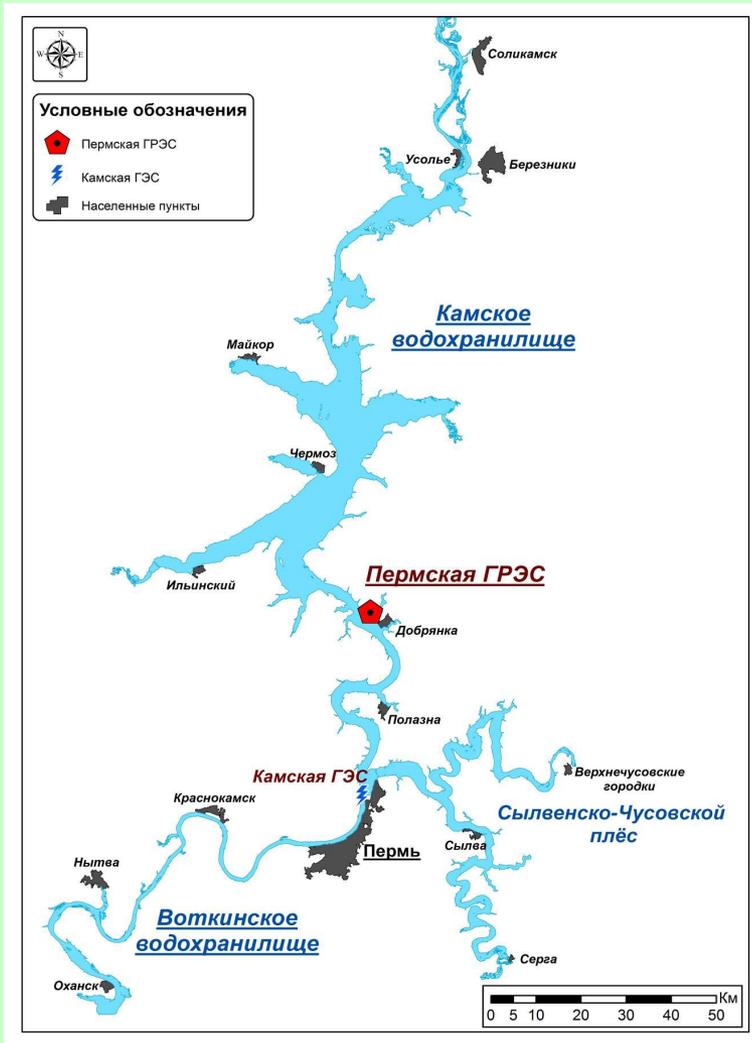
– это тепловое загрязнение, изменение ледово-термического режима, гидрофизических и гидробиологических процессов, особенно в районах влияния сбросов подогретых вод.

### **Необходима**

полная и объективная оценка параметров температурных полей, создаваемых тепловыми выбросами, в зависимости от комплекса технологических и гидрометеорологических параметров.

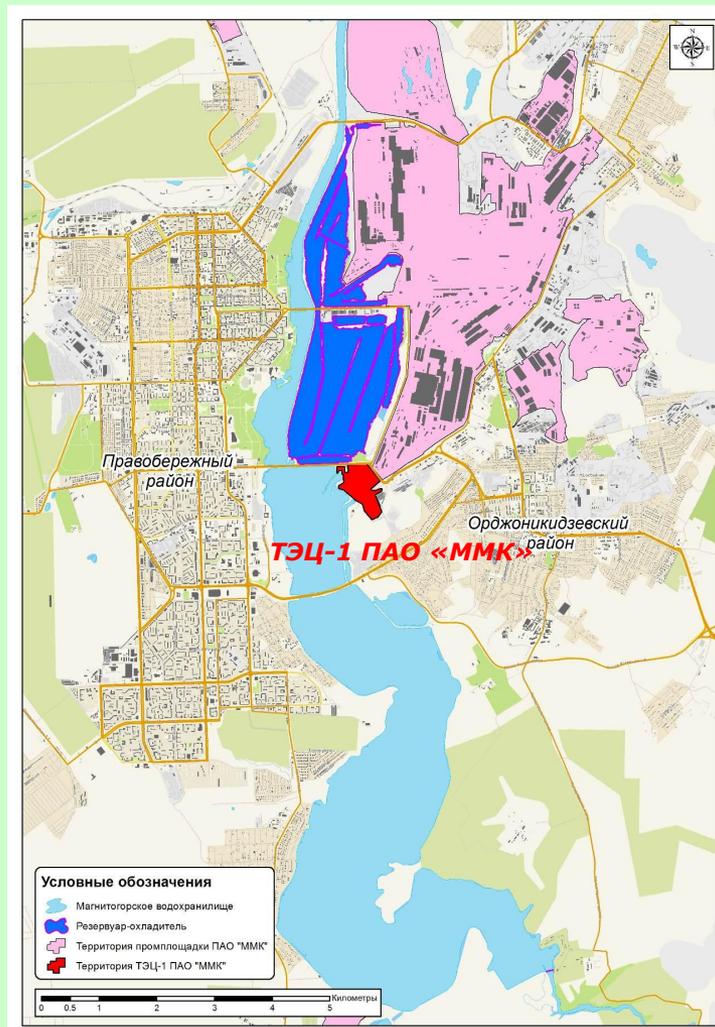
# Объекты исследования для разработки технологии

## Прямоточная система охлаждения



Пермская ГРЭС

## Оборотная система охлаждения

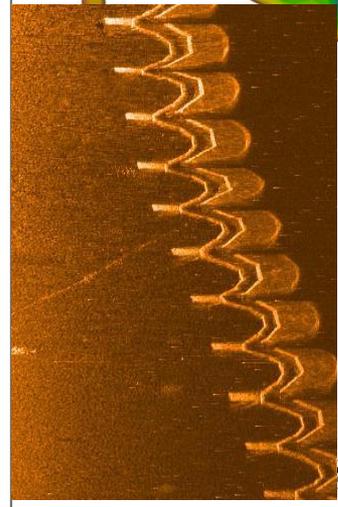
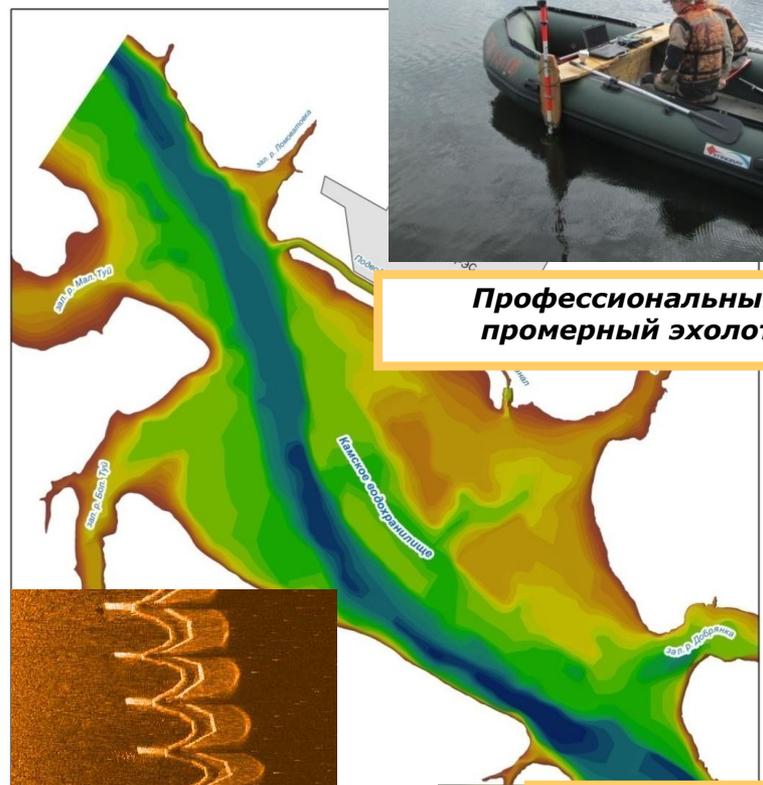


ТЭЦ-1 ПАО «ММК»

# Проведение натуральных исследований. ГИ У



**Профессиональный промерный эхолот**



**Малые БПЛА**

**Многопараметрические погружные датчики**

**Изменение температуры по глубине у насосных станций 16, 16а (г.1307)**

Глубина, м	Температура, °C
0	26.5
1	26.5
2	26.5
3	26.5
4	26.5
5	26.5
6	26.5
7	26.5
8	26.5

**Изменение температуры по глубине на вертикали № 1313**

Глубина, м	Температура, °C
0	26.5
1	26.5
2	26.5
3	26.5
4	26.5
5	26.5
6	26.5
7	26.5
8	26.5
9	26.5
10	26.5
11	26.5

**Портативная метеостанция**

# Комплексное гидродинамическое моделирование

1-мерная гидродинамическая модель (1D)

*HEC-RAS v.4.1.*  
(ГИ УрО РАН)

**Объект:** все водохранилище (Магнитогорское ~20 км, Камское ~ 350 км );

**Достоинство:** позволяет оперативно получить оценки гидравлических и гидрологических параметров потока;

**Цель:** определение граничных условий для 2D-модели (уровни воды, уклоны)

2-мерная гидродинамическая модель (2D)

*SMS v.10.1 (TUFLOW)*  
(ГИ УрО РАН)

**Объект:** участок Магнитогорского вдхр. ~ 3 км (район проектирования), участок Камского вдхр. ~ 16 км;

**Достоинство:** позволяет получать большое количество гидравлических характеристик: уклоны, максимальные и средние скорости потока в любом створе, плановая ориентация струй в потоке, учет внешних факторов (скорость и направление ветра).

**Цель:** определение уровней воды и начальных динамических характеристик для 3D-модели.

3-мерная гидродинамическая модель (негидростатическое приближение)

*ANSYS Fluent*  
(ИМСС УрО РАН)

**Объект:** участок проектирования – Магнитогорское вдхр. (длина ~ 1,9 км; ширина ~ 0,7 км), Камское (длина ~16 км, ширина ~ 4 км);

**Достоинство:** получение гидродинамических и температурных характеристик потоков, как по поверхности, так и по глубине с высокой надежностью;

**Цель:** определение необходимых значений температуры в плане и по глубине.

## Численное моделирование. Тестовые расчеты.

### Моделирование распространения теплового пятна в июле 2014 года.

#### Параметры расчетов

Расход по р. Кама –  $850 \text{ м}^3/\text{с}$

Расход по р. Тюсь –  $2,43 \text{ м}^3/\text{с}$

Расход по р. Добрянка –  $12 \text{ м}^3/\text{с}$

Уровень воды в модели –  $108,5 \text{ м БС}$

Забор и сброс воды, осуществляемый Пермской ГРЭС –  $41 \text{ м}^3/\text{с}$

Температура сбрасываемой воды в районе выхода из сбросного канала в Камское водохранилище примерно –  $26 \text{ }^\circ\text{C}$

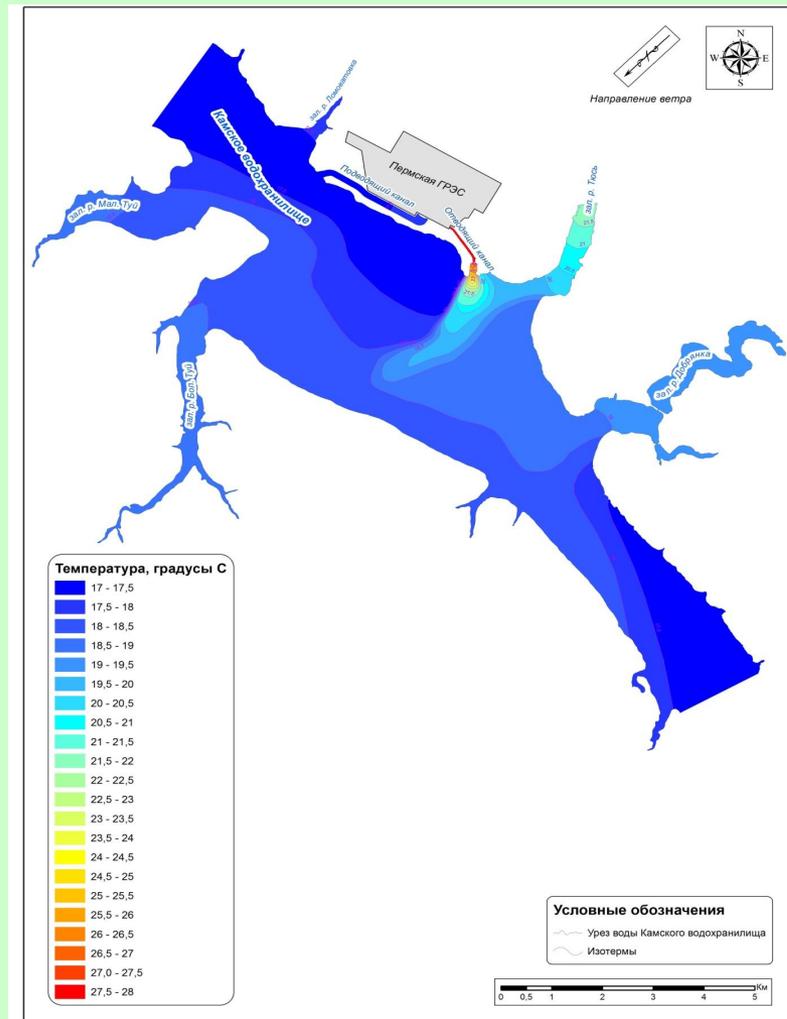
Фоновая температура по водохранилищу –  $17 \text{ }^\circ\text{C}$

Ветер северный –  $5 \text{ м/с}$



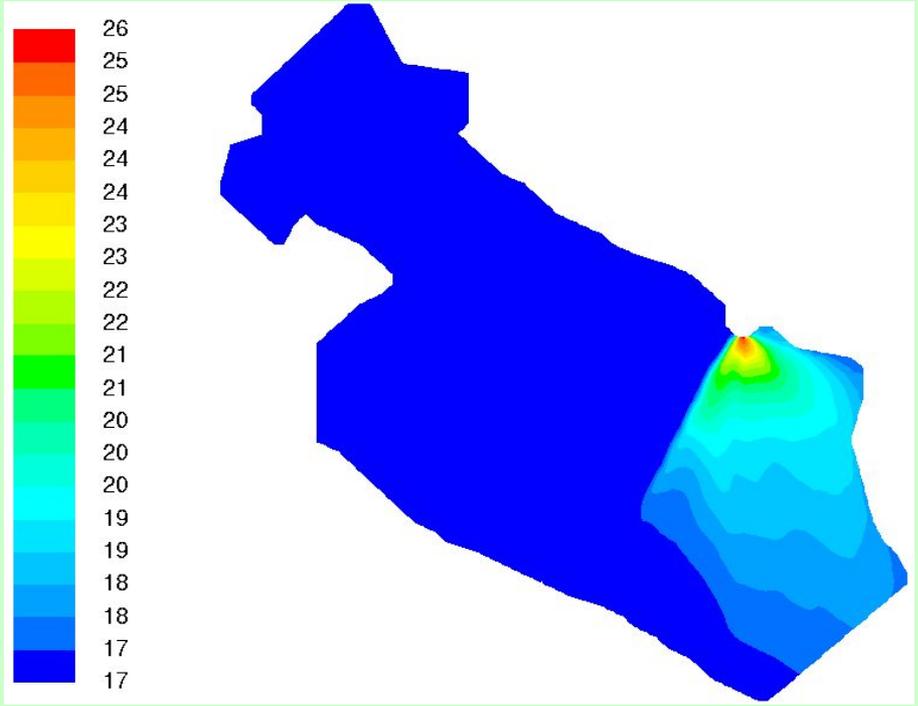
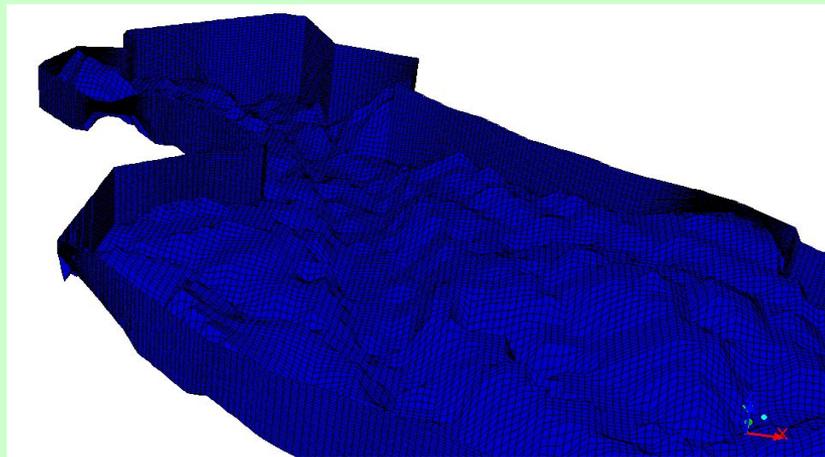
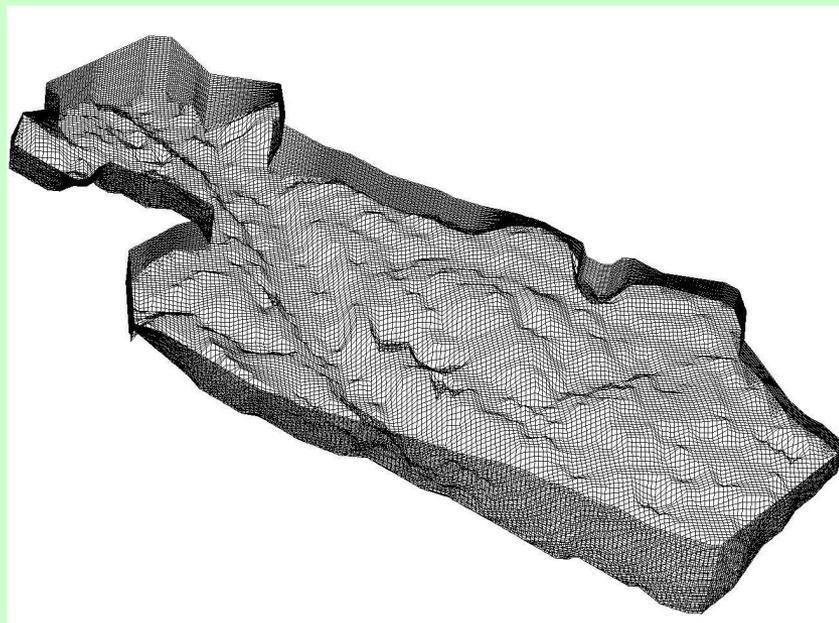
# Тестовое моделирование для случая июль 2014 года.

**Схема расположения вертикалей**



**Поле температуры.  
Натурные измерения**

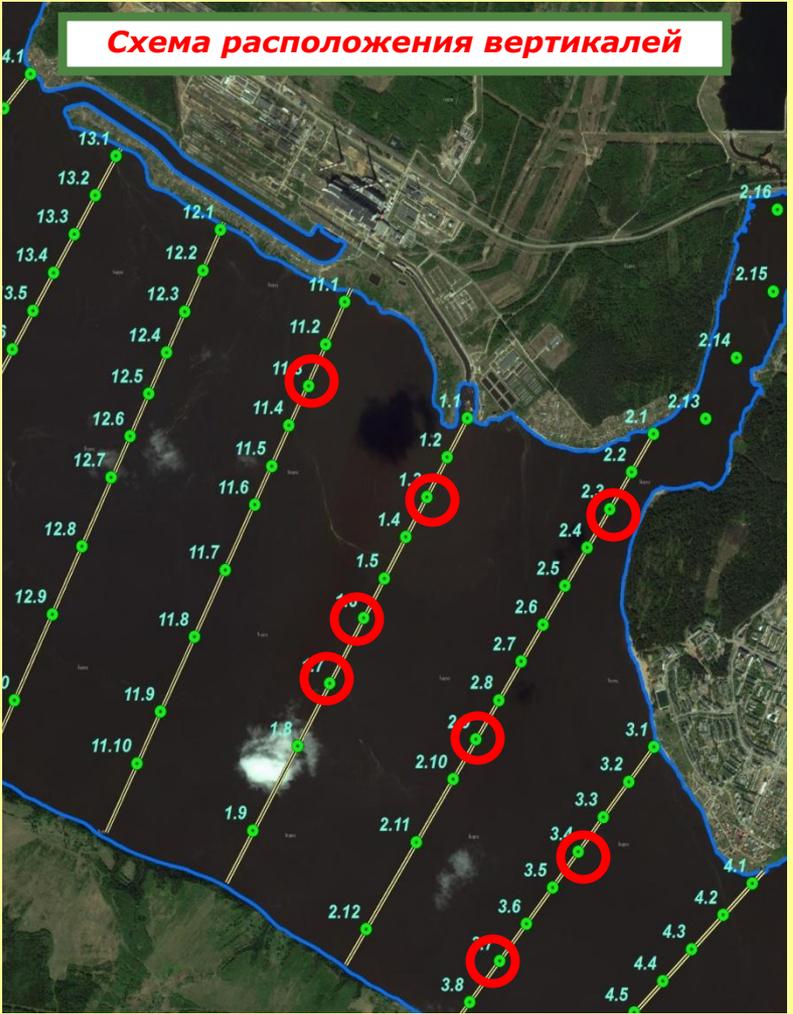
# Тестовое моделирование для случая июль 2014 года.



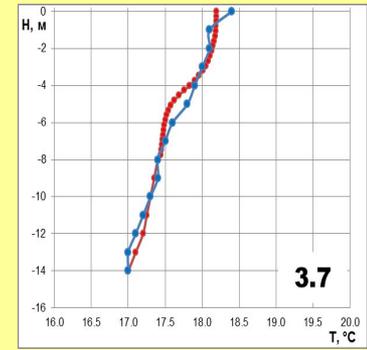
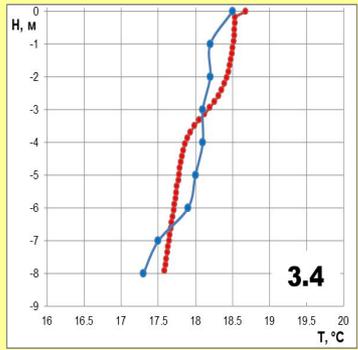
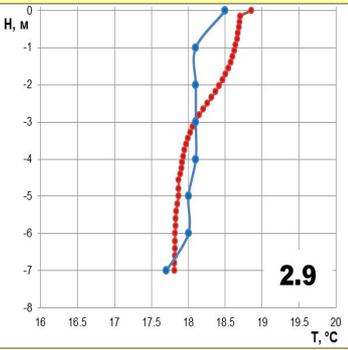
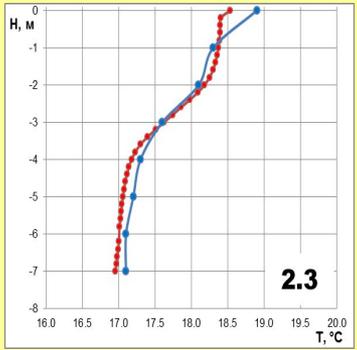
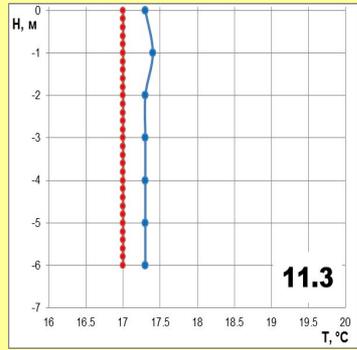
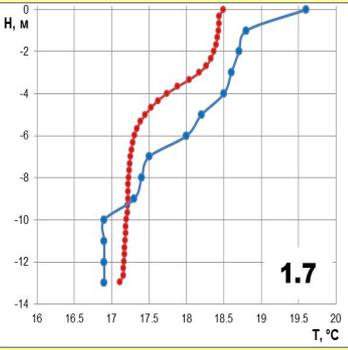
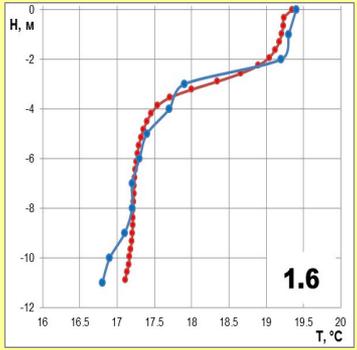
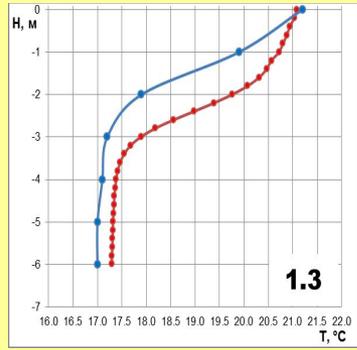
**Поле температуры.  
Численный эксперимент**

Линейный размер 20 м, по глубине 21 узел

### Схема расположения вертикалей



### Распределение температуры по глубине на некоторых вертикалях по результатам натуральных измерений 17 июля 2014 года (синим) и верификационного расчета (красным)

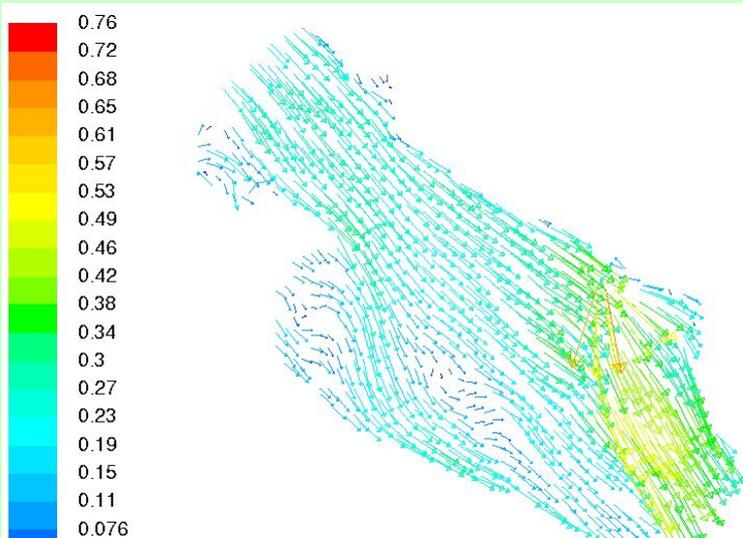


### Оценка по критерию Тейла

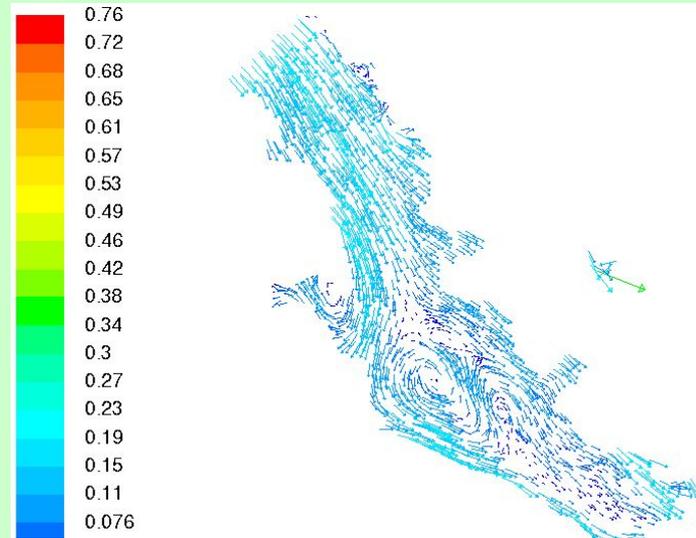
$$T = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{наб} - X_{расч})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{наб}^2 + \sum_{i=1}^n X_{расч}^2}}$$

**T = 0,11**

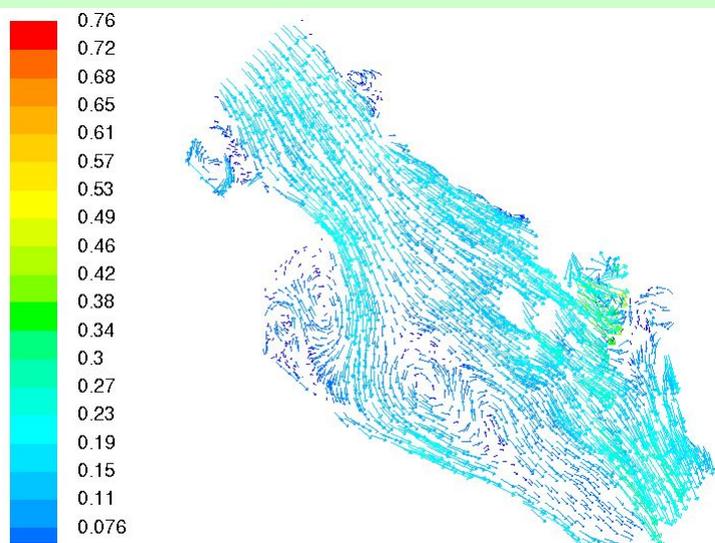
# Сценарий 1



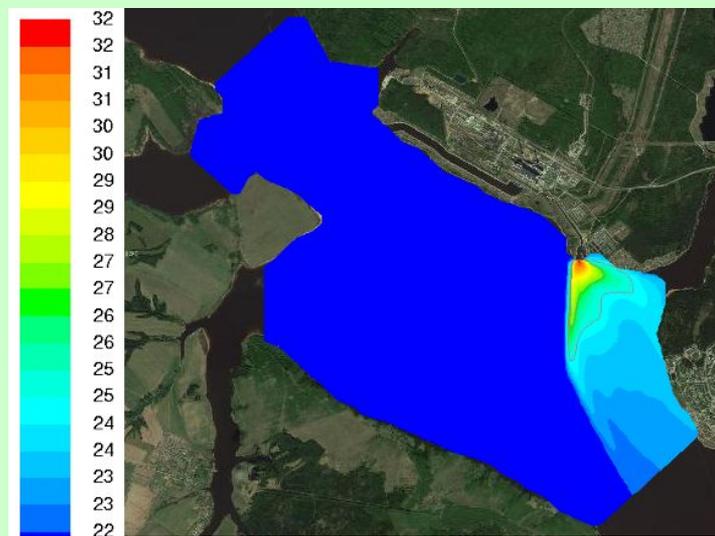
Векторное поле скоростей в поверхностном слое



Векторное поле скоростей на глубине 10 м

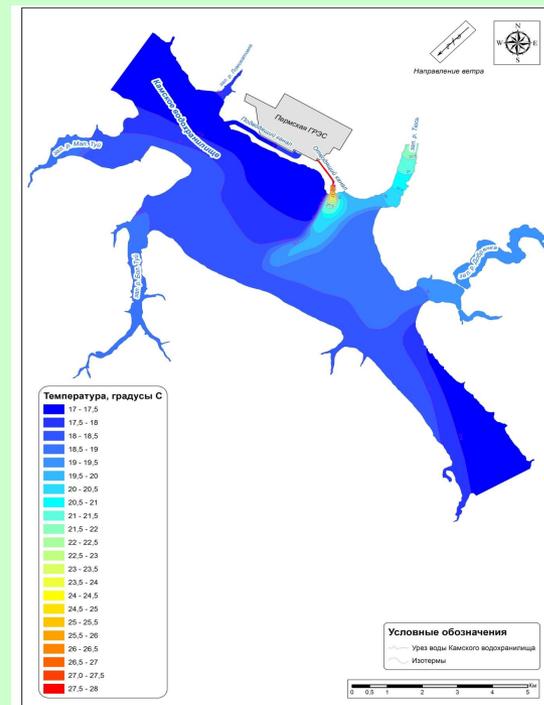
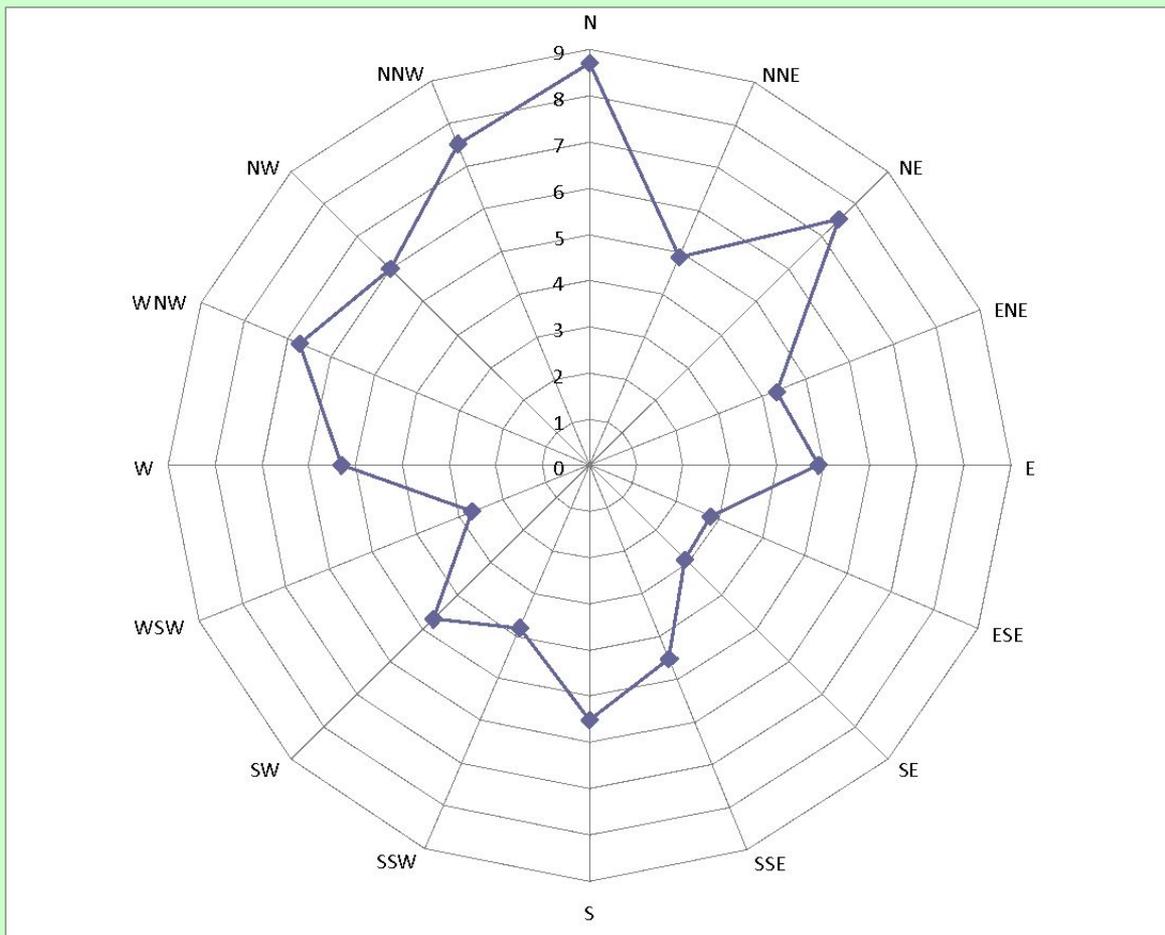


Векторное поле скоростей на глубине 5 м

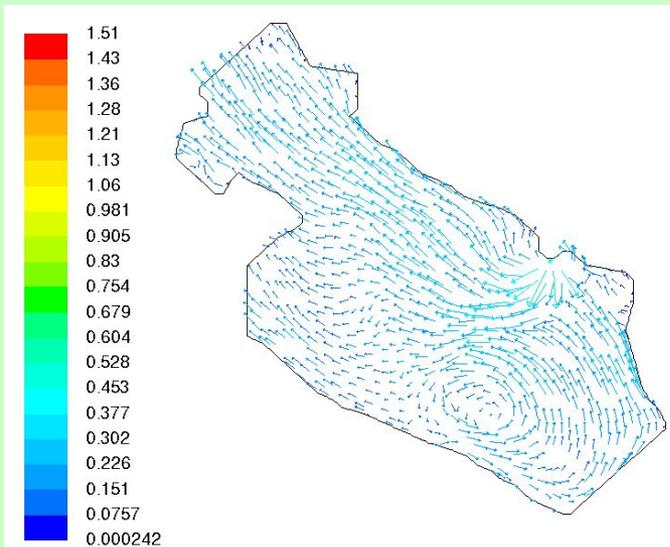


Поле распределения температуры (°C) в поверхностном слое

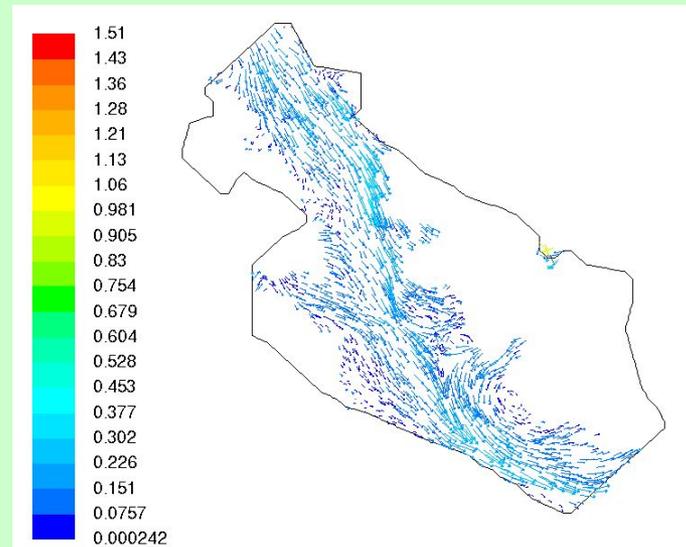
# Роза ветров, июль 2008-2018. Результаты наблюдений на Добрянской метеостанции



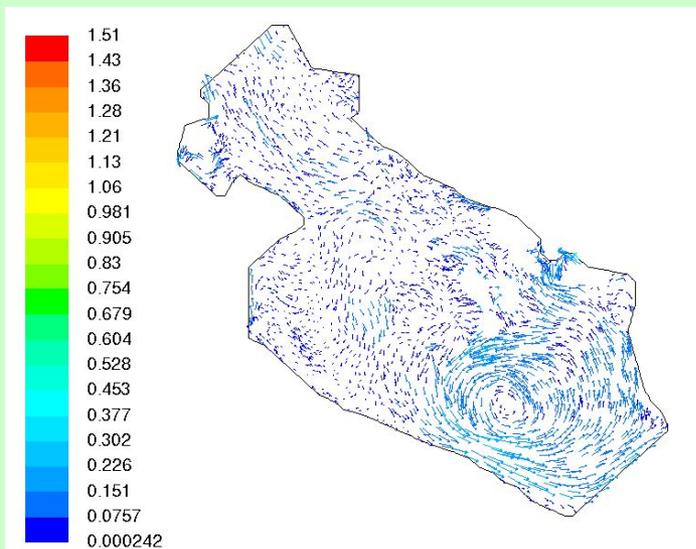
# Сценарий 2



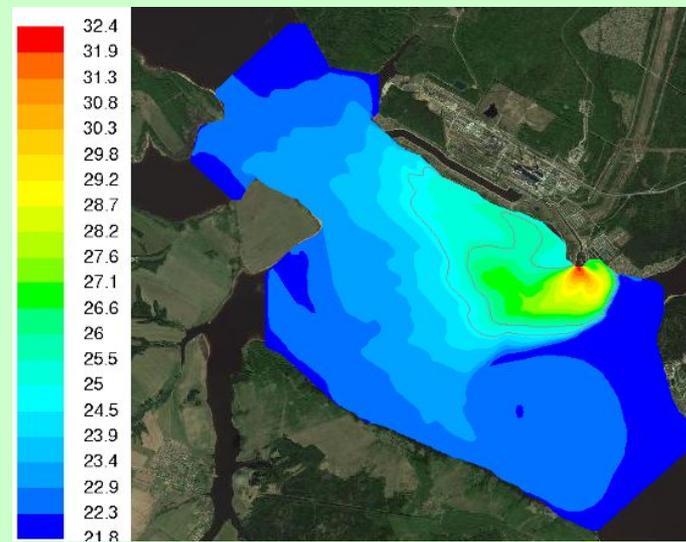
Векторное поле скоростей в поверхностном слое



Векторное поле скоростей на глубине 10 м

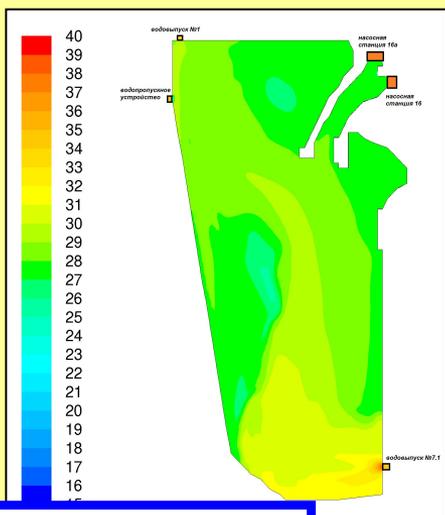
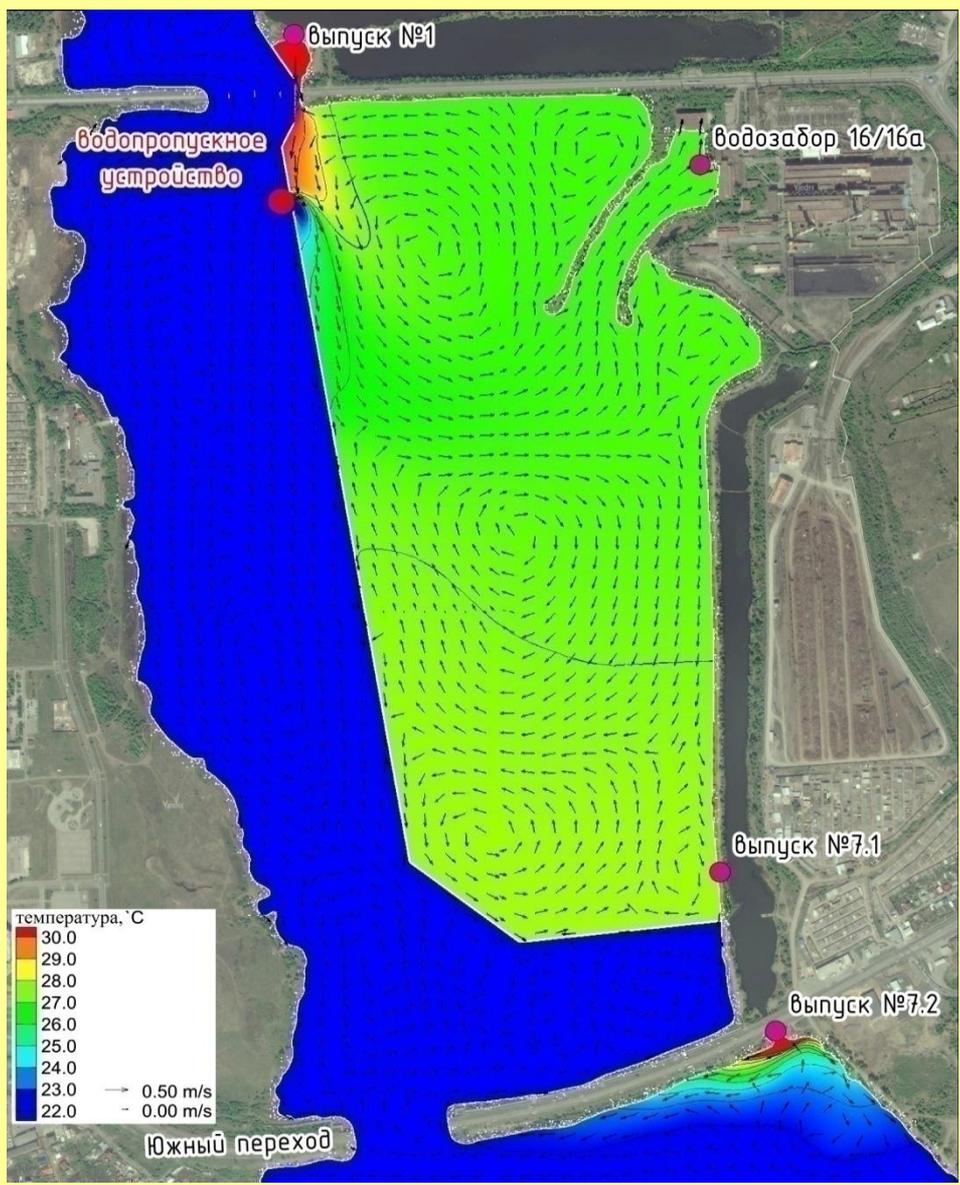


Векторное поле скоростей на глубине 5 м

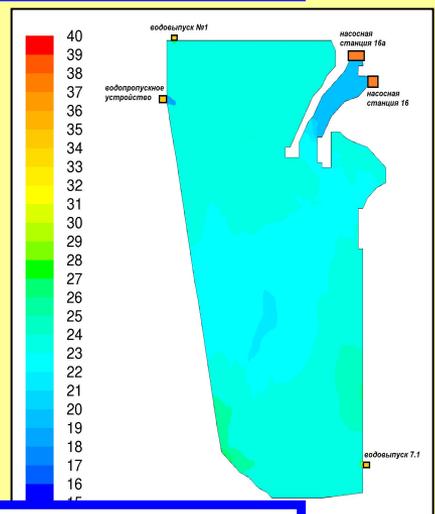


Поле распределения температуры (°C) в поверхностном слое

# Распределение температуры воды в отгороженной части Магнитогорского водохранилища (июль) при «нештатном» режиме работы ОАО «ММК»



**Распределение температуры воды на поверхности (°C)**



**Распределение температуры воды на глубине 2 м от поверхности (°C)**



**БЛАГОДАРИЮ  
ЗА ВНИМАНИЕ**

**Конференция «Наука будущего» 14-17 мая 2019 года г. Сочи**