

Сезонный прогноз речного стока как инструмент управления водохозяйственными системами

Морейдо Всеволод Михайлович
С.Н.С., К.Г.Н.
зав. лабораторией гидроинформатики



Восьмой объединенный всероссийский метеорологический и
гидрологический съезд
Санкт-Петербург
29-31 октября 2024 года

Благодарности

Отдел гидрологии речных бассейнов ИВП РАН:

- Мотовилов Юрий Георгиевич, д.г.н.
- Гельфан Александр Наумович, д.ф.-м.н., проф., чл-корр. РАН

Отдел речных гидрологических прогнозов Гидрометцентра России:

- Борщ Сергей Васильевич, к.г.н.
- Симонов Юрий Андреевич, д.г.н.

1834
190 Гидрометслужбе
л е т России
2024

Долгосрочный прогноз притока

Существующие методики:

- Позволяют получить одно расчетное значение за период
- Возможность перехода к интервальному прогнозу ограничена
- Не учитывают неопределенность метеоусловий на период заблаговременности

Запрос от потребителей – регулятора и операторов водохозяйственных систем:

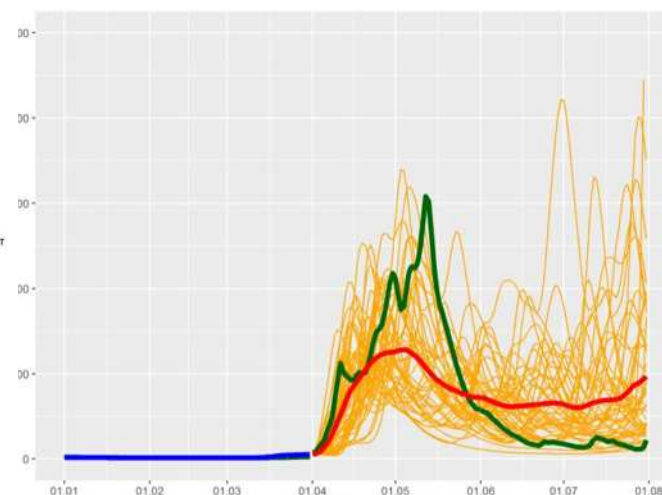
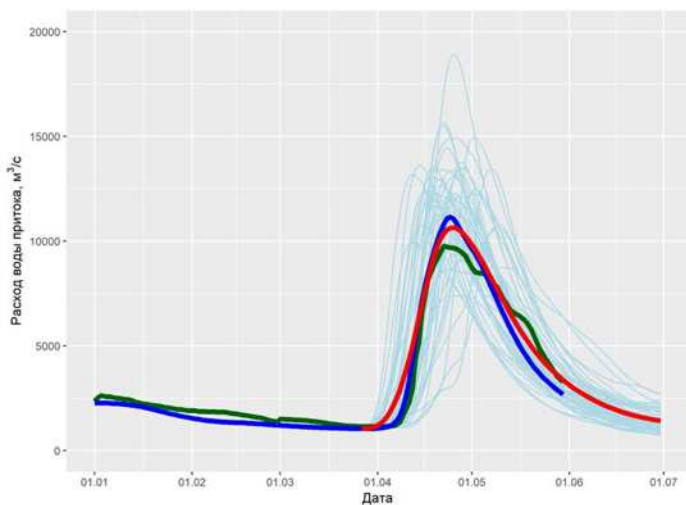
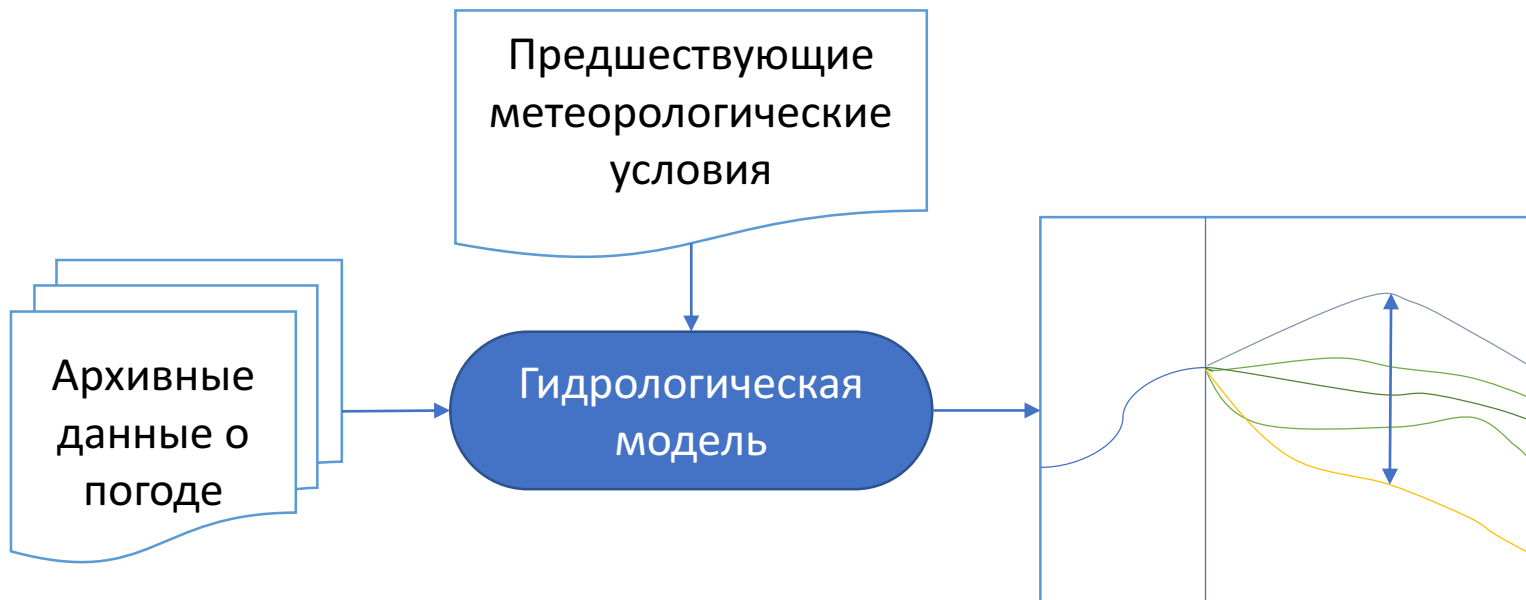
- Среднесрочное управление сбросом / забором воды (назначение режимов работы)
- Долгосрочное планирование выработки
- Противоаварийные мероприятия
- Противоперебойные мероприятия

План доклада

1. Разработка методики долгосрочного прогноза
2. Система ансамблевого прогноза ИВП РАН
3. Тестовый бассейн Чебоксарского водохранилища
4. Результаты расчетов и оценки
5. Проблемы и перспективы

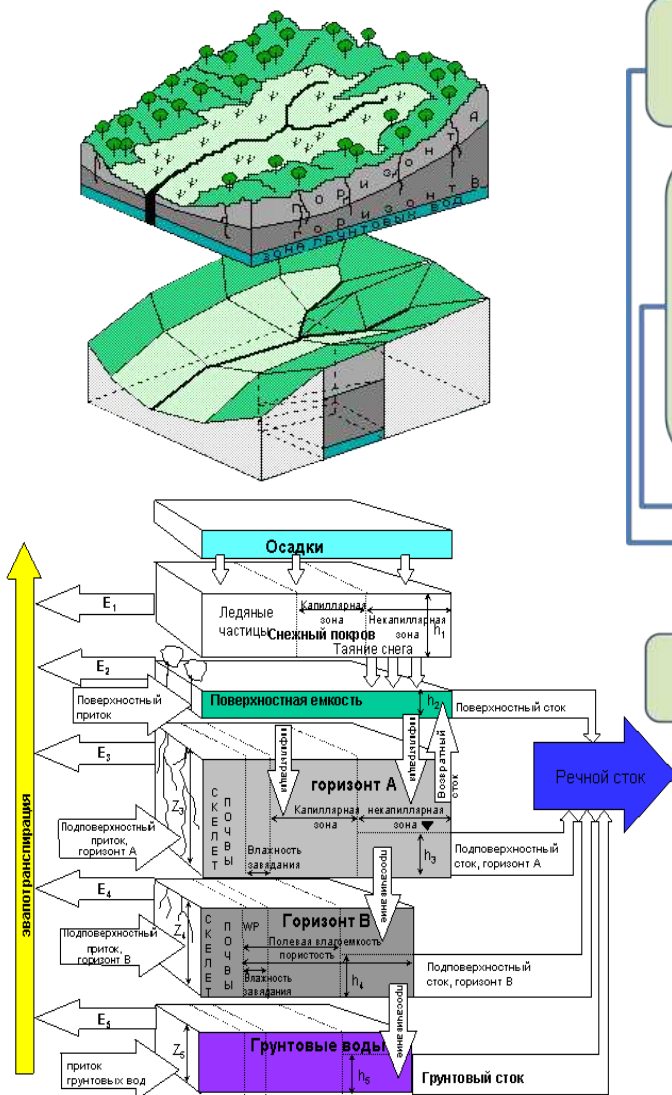
Ансамблевый гидрологический прогноз

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами



Модель ИВП – ЕСОМАГ

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами



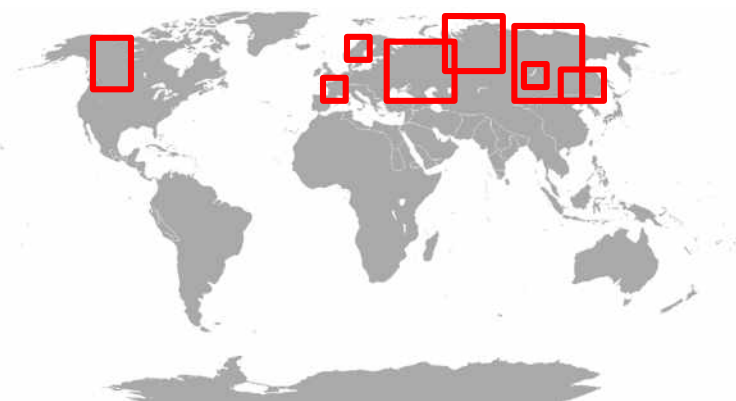
Расчет распределения по площади
характеристик состояния водосбора на 1 марта
(снегозапасов, промерзания и влажности почвы и т.д.)

Ансамбль из 58 (1953-2010гг.) сценариев
метеорологических условий за период заблаговременности
прогноза (с 1 марта по 31 мая)



ЕСОМАГ

Детерминистический и/или вероятностный прогнозы
характеристик водного режима

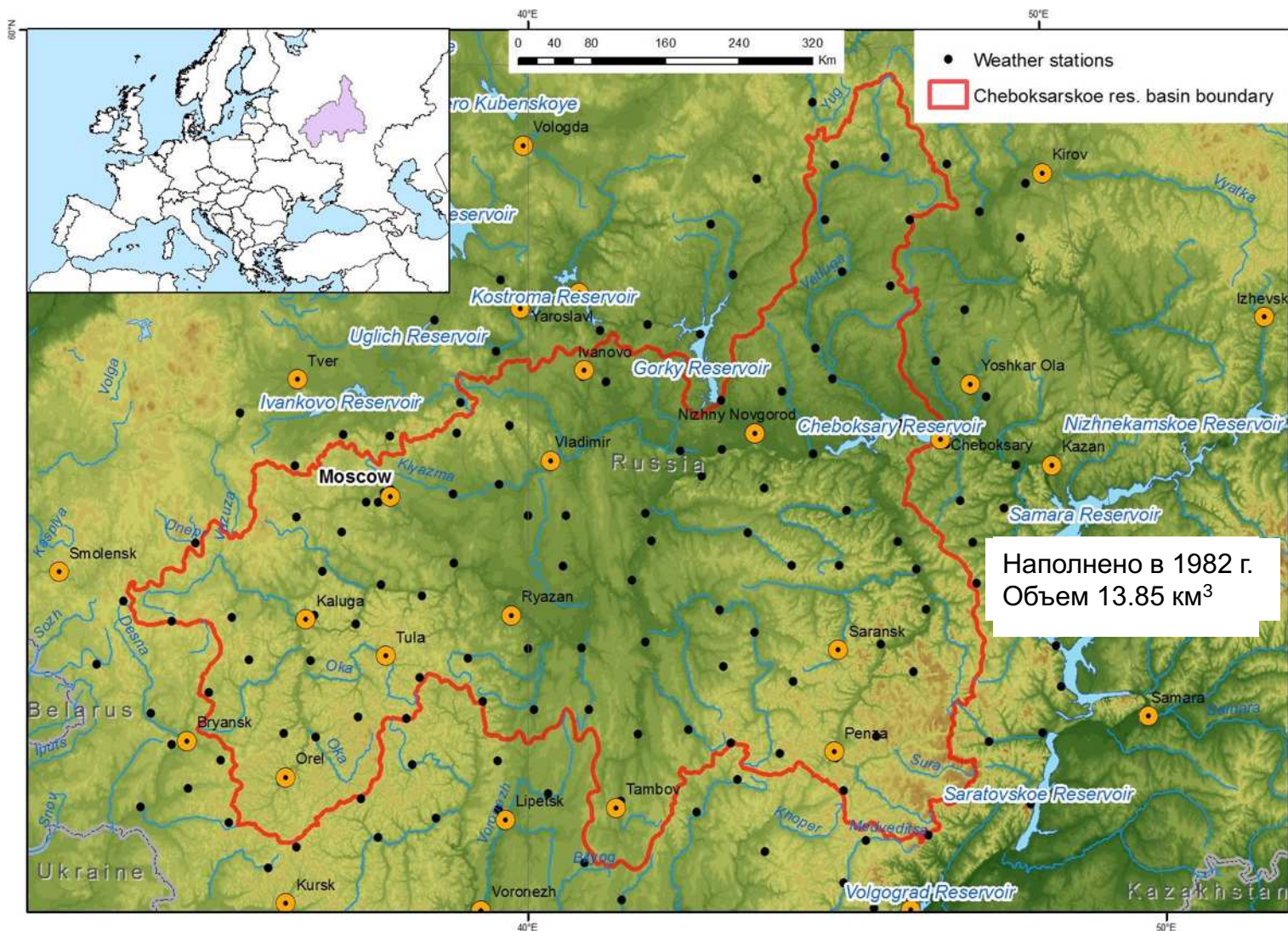


Мотовилов Ю.Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах 1. Алгоритмы генерализации и осреднения. Водные ресурсы. 2016а. Т. 43. № 3. С. 243.

Мотовилов Ю.Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 2. Результаты испытаний. Водные ресурсы. 2016б. Т. 43. № 5. С. 467-475.

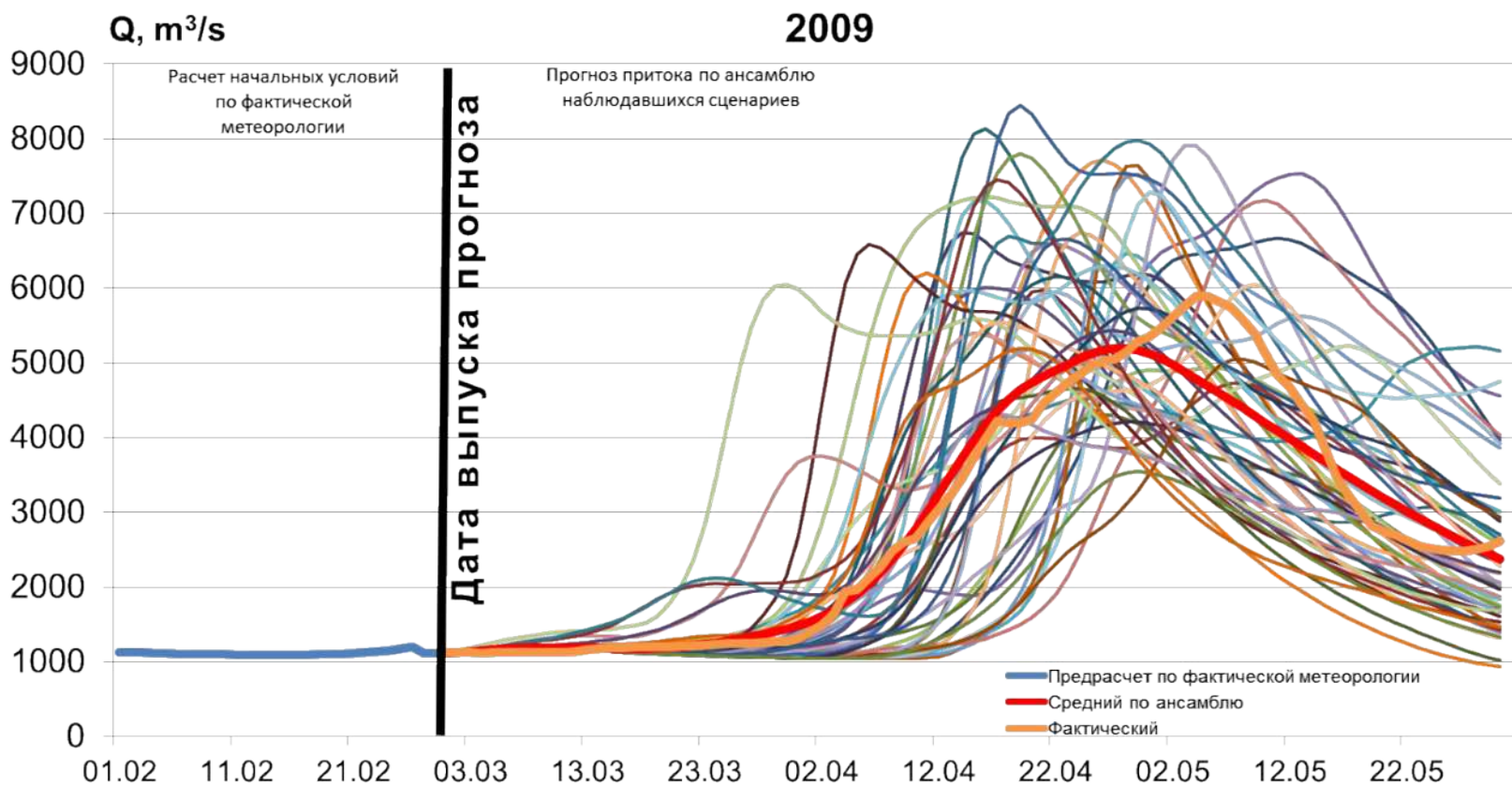
Приток к Чебоксарскому вдхр.

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами



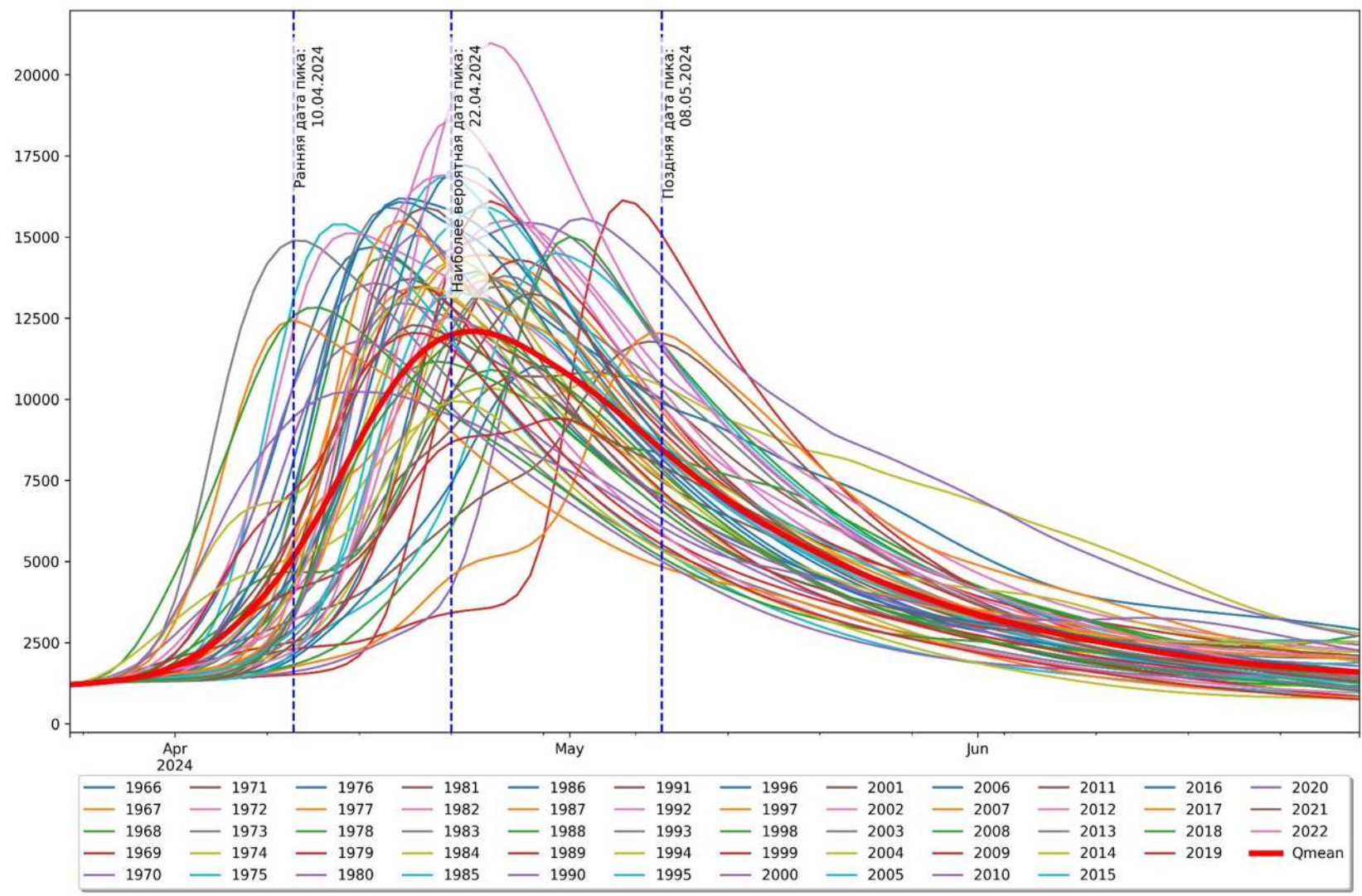
Ансамблевый прогноз

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами

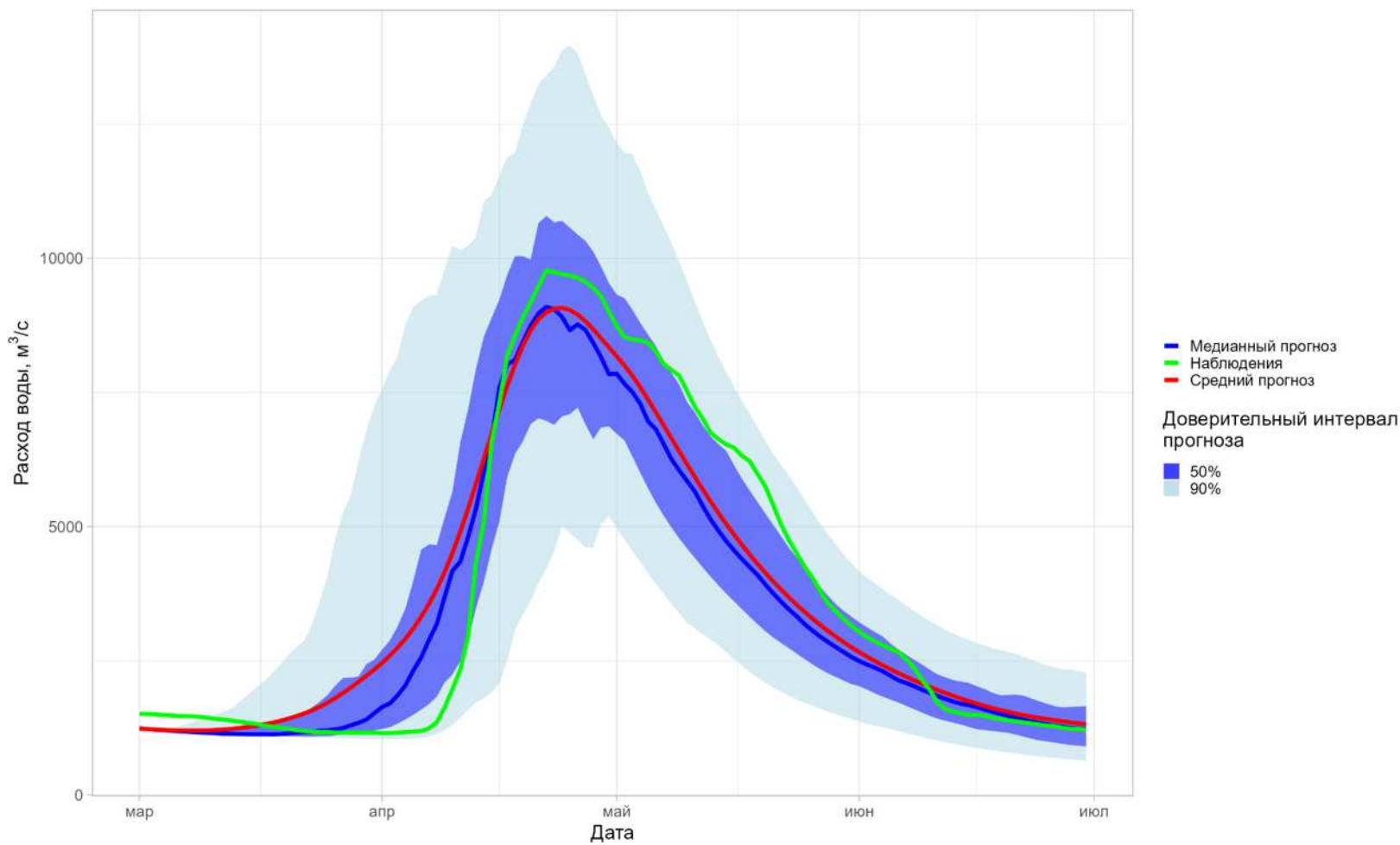


Ансамблевый прогноз

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами

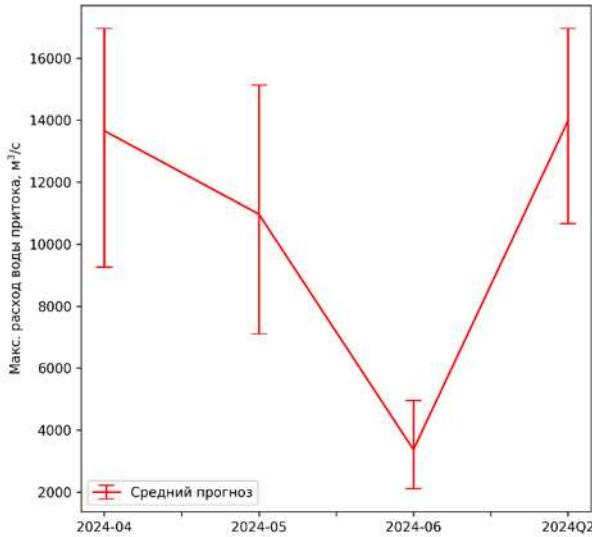
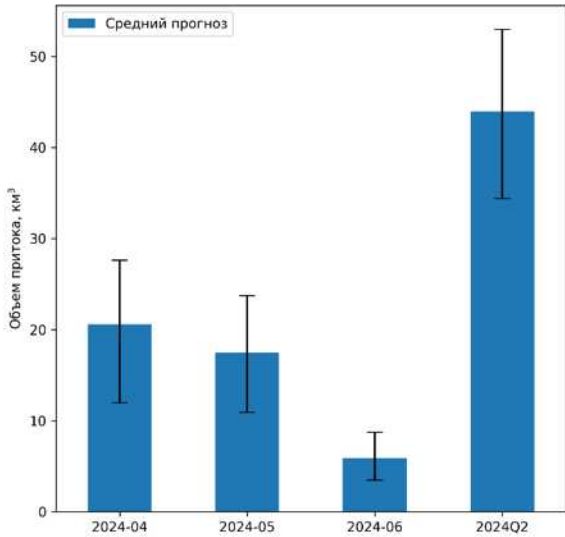


Вероятностная форма прогноза



Вероятностная форма прогноза

Прогноз притока в Чебоксарское вдхр. от 2024-03-24

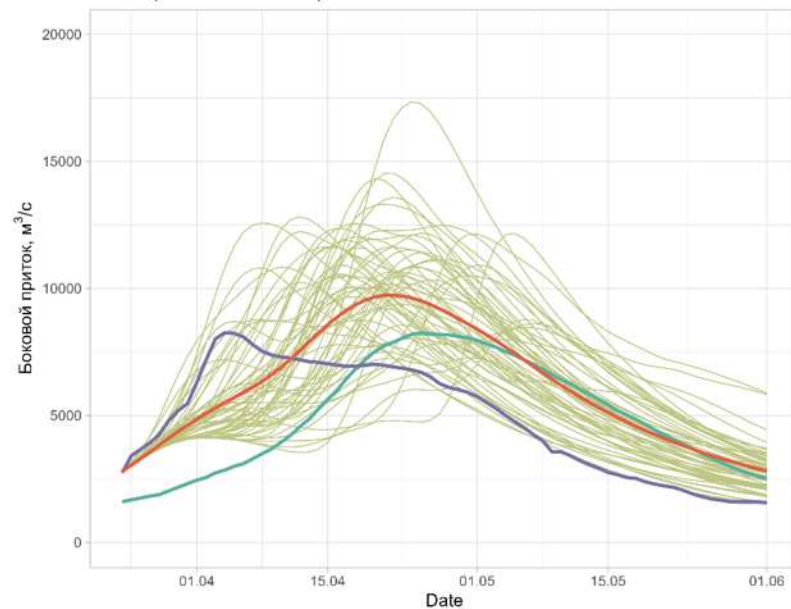
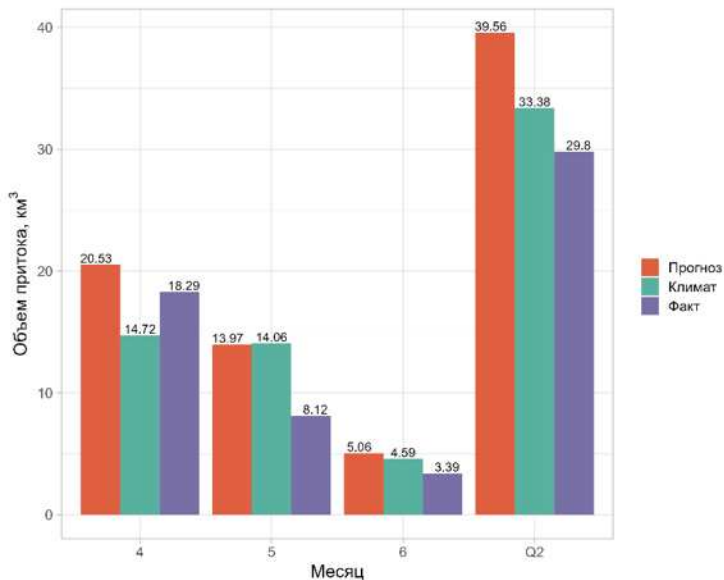


	Средний прогноз	95%	Медиана	5%
2024-04	20.59	11.97	21.47	27.61
2024-05	17.45	10.9	17.18	23.74
2024-06	5.9	3.45	5.86	8.71
2024Q2	43.95	34.39	43.83	52.96

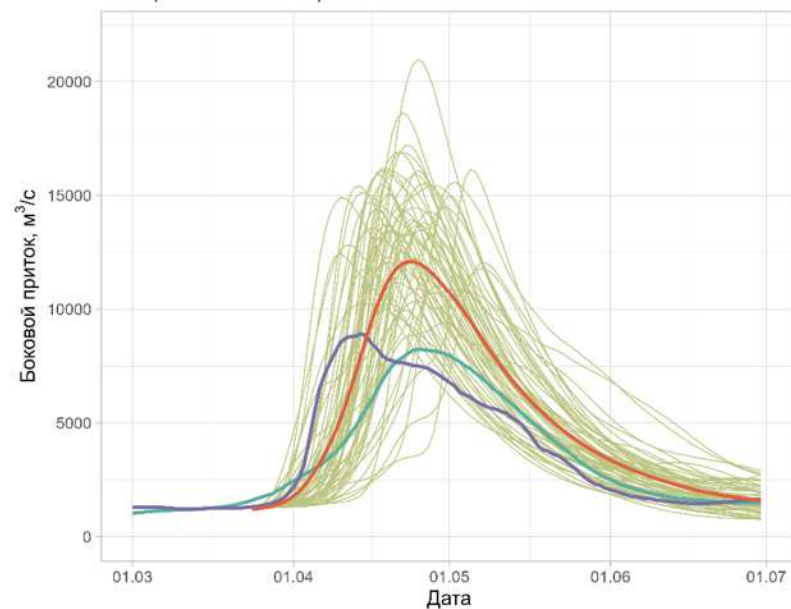
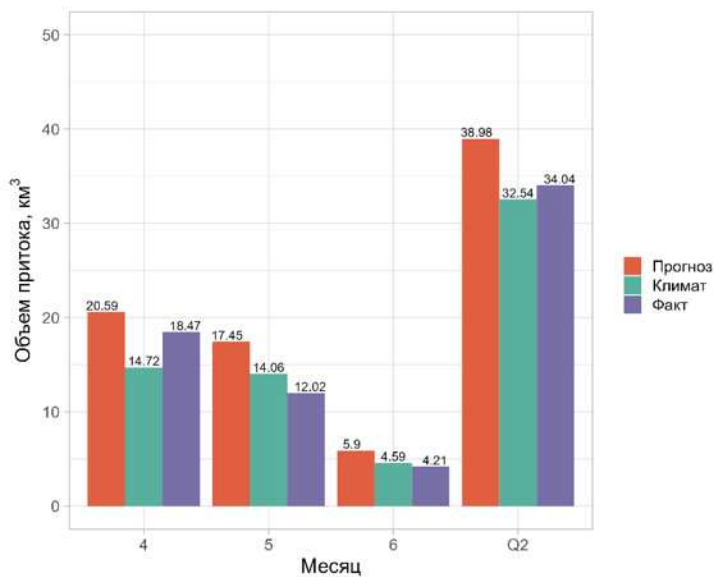
	Средний прогноз	95%	Медиана	5%
2024-04	13658	9263	13799	16964
2024-05	10969	7100	10839	15134
2024-06	3369	2107	3257	4956
2024Q2	13980	10659	13846	16964

Ансамблевый прогноз притока

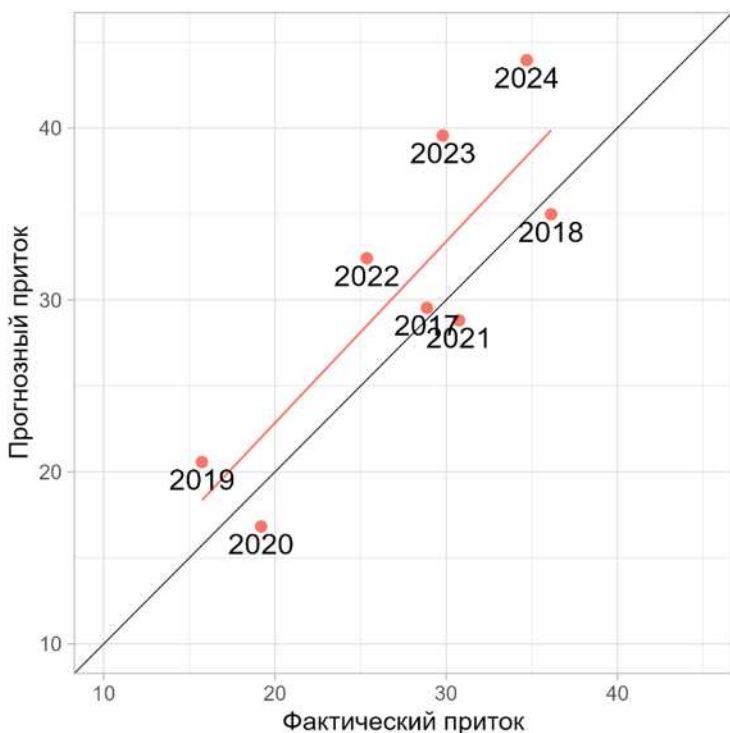
Приток в Чебоксарское вдхр. во II кв. 2023 г. (от 24.03.2023 г.)



Приток в Чебоксарское вдхр. во II кв. 2024 г. (от 24.03.2024 г.)



Ансамблевый прогноз притока



II квартал объем

$$R = 0.91$$

$$RMSE = 2.8 \text{ км}^3$$

$$S/\sigma_{82-21} = 0.29$$

$$S/\sigma_{17-24} = 0.80$$

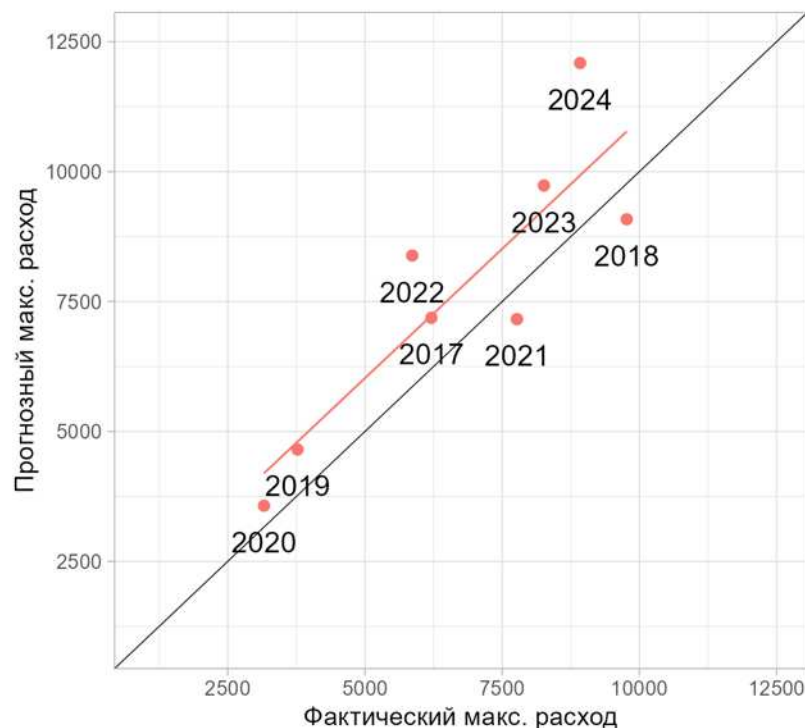
II квартал макс. расход

$$R = 0.94$$

$$RMSE = 1224 \text{ м}^3/\text{с}$$

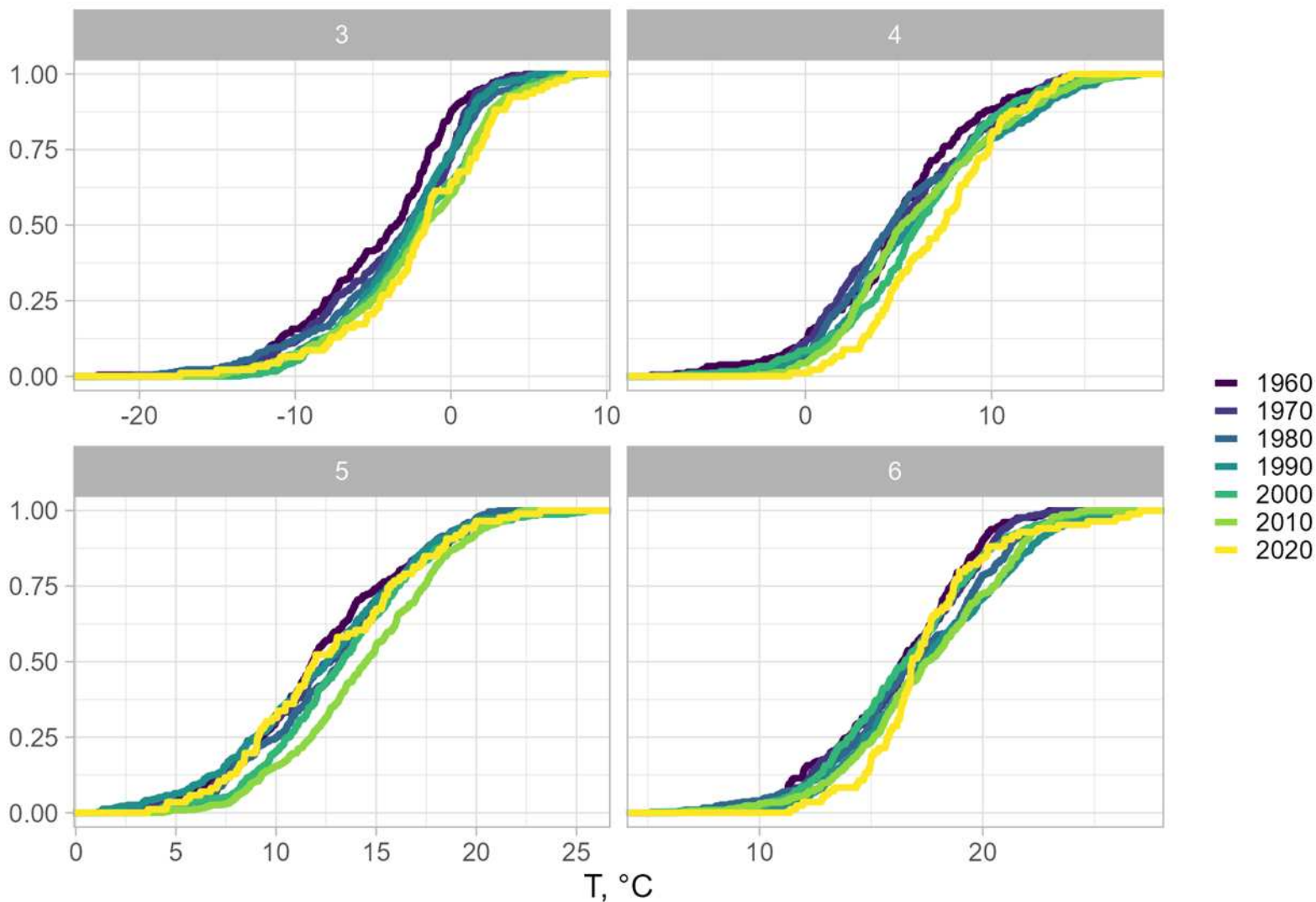
$$S/\sigma_{82-21} = 0.35$$

$$S/\sigma_{17-24} = 0.68$$



Ансамблевый прогноз притока

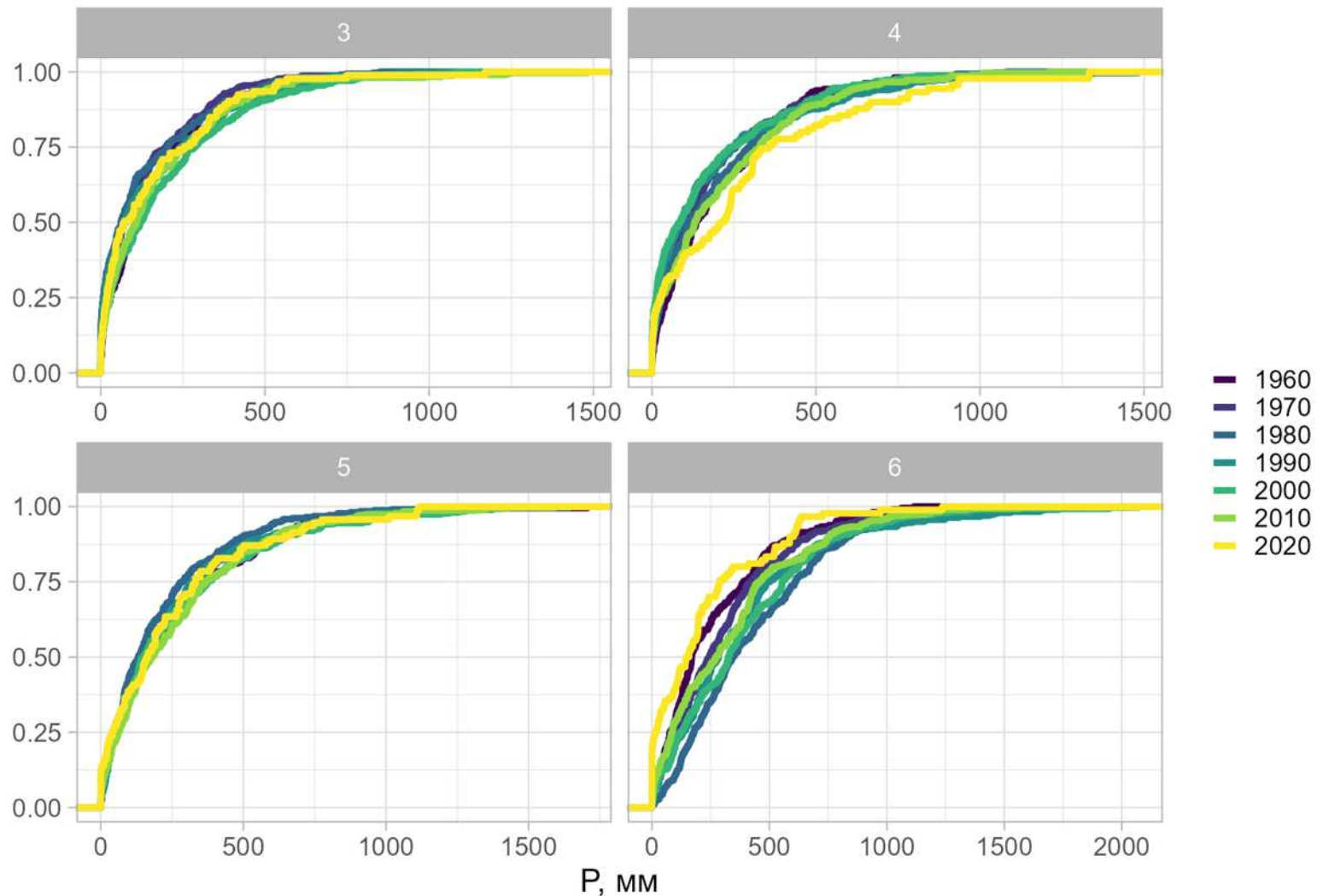
Распределение средней температуры воздуха
в бассейне Чебоксарского водохранилища 1964 - 2024



Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами

Ансамблевый прогноз притока

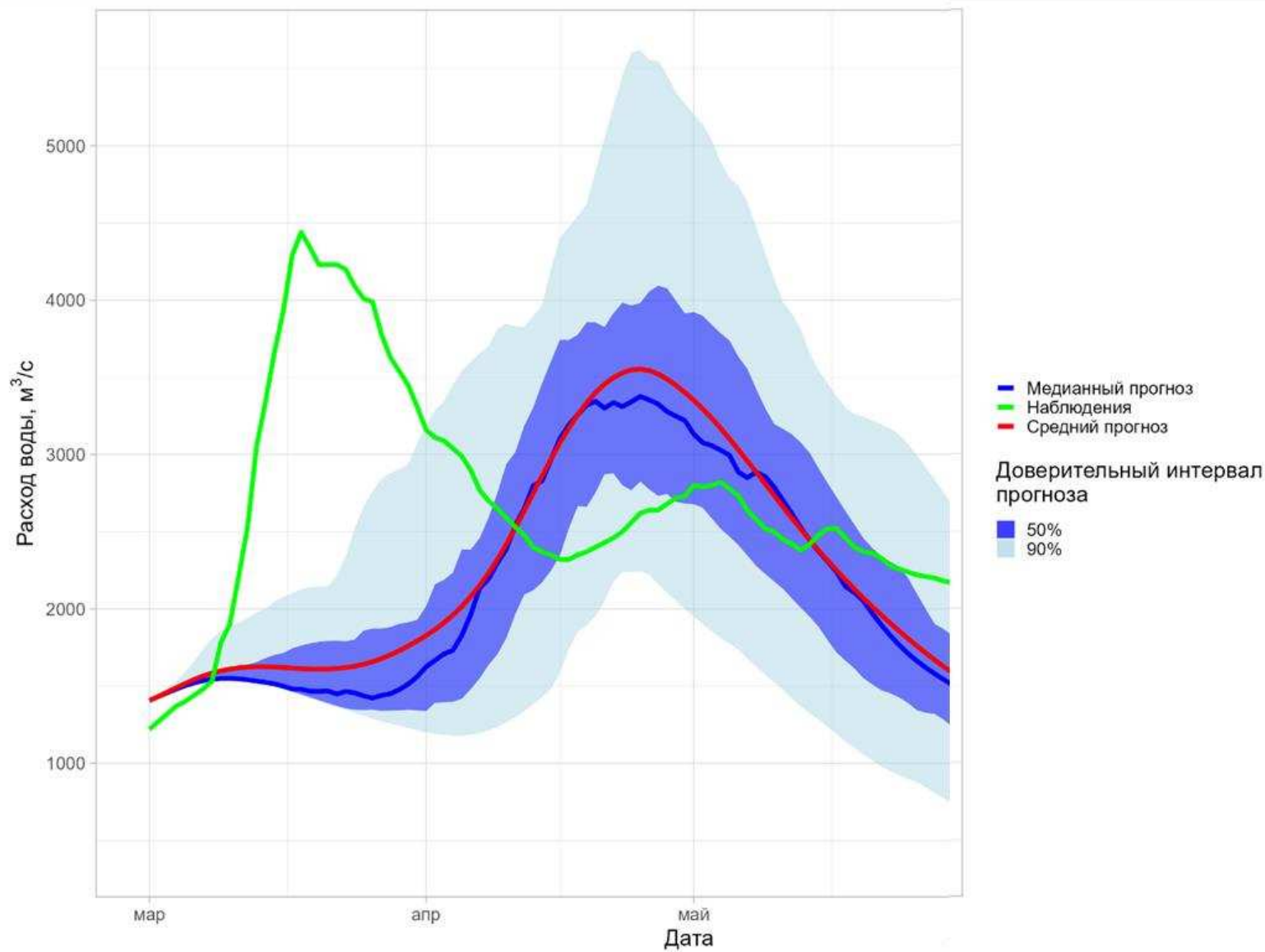
Распределение суммы осадков
по бассейну Чебоксарского водохранилища 1964 - 2024



Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами

2020 год

Сезонный прогноз речного стока как инструмент управления водохозяйственными системами



Выводы

- Вероятностные прогнозы сообщают доверительный интервал прогноза заданной ширины
- Ансамблевые методы долгосрочного гидрологического прогноза на основе физико-математических моделей показывают реакцию текущего состояния гидрологической системы на возможный спектр будущих воздействий
- В условиях изменяющегося климата необходима дополнительная разработка стратегии выбора сценариев

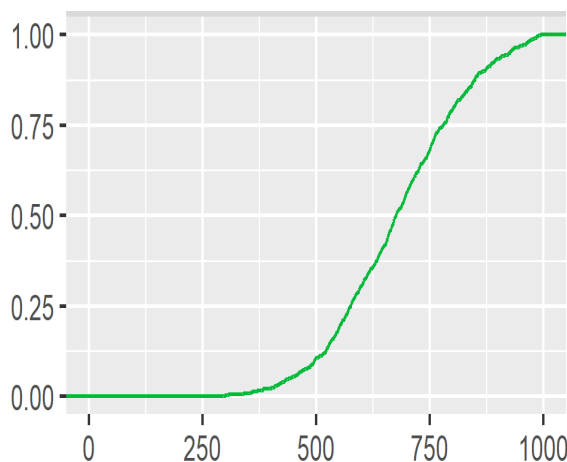
Благодарю за внимание!

Предикторы долгосрочного прогноза

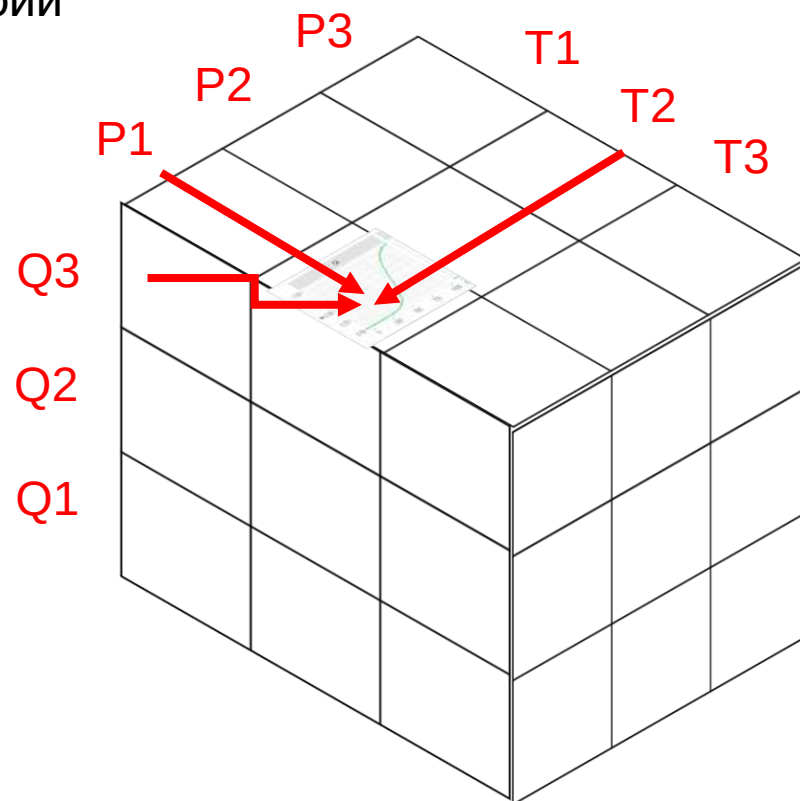
- Ранжирование всех наблюдавшихся условий формирования стока по категориям (квантилям совместного условного распределения) с температурой и осадками на водосборе
- $3 \times 3 \times 3 = 27$ возможных комбинаций предикторов - категорий

Ограничение:

- короткие ряды предикторов (20 – 50 лет) – некоторые категории сочетаний могут не содержать достаточно данных для построения прогноза

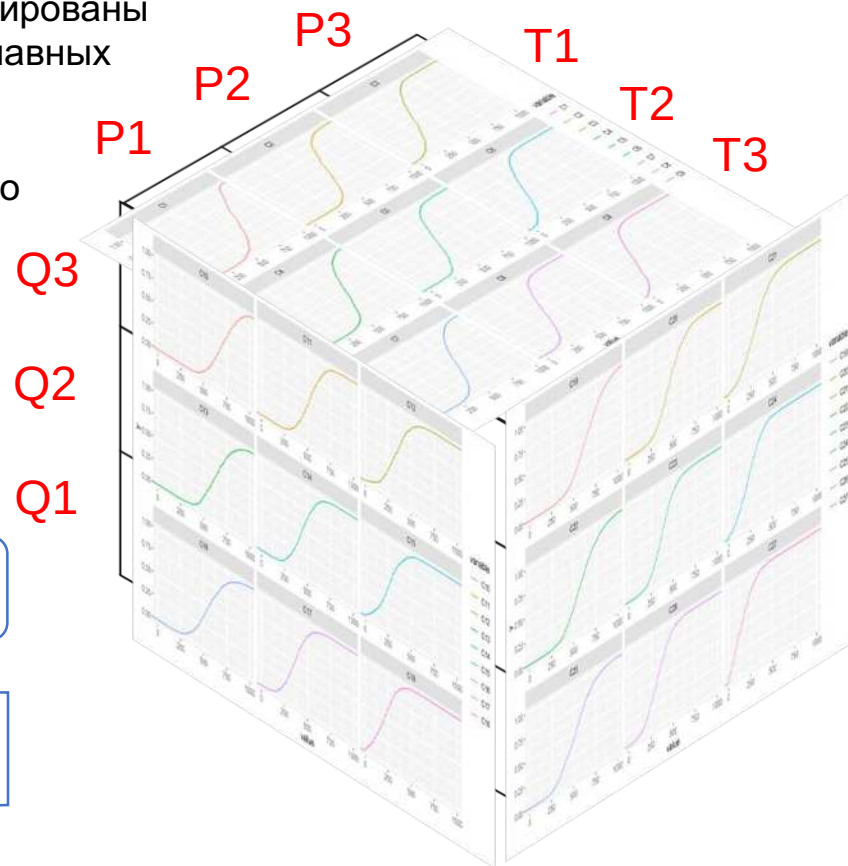
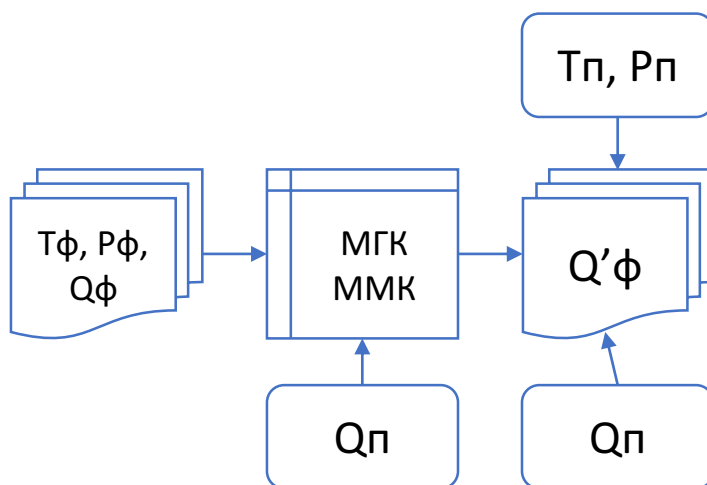


$$Q_{\text{факт}} = f(T_{\text{факт}}, P_{\text{факт}}, Q_{\text{прогноз}})$$



Стохастическое моделирование

- Данные наблюдений за речным стоком за все месяцы (4 – 11) и годы (1966 – 2021) совмещены с данными наблюдений за температурой и осадками, а также ретроспективных ансамблевых прогнозов за эти годы
- Временные ряды проверены на нормальность, приведены к ней при необходимости (трансформация Тьюки) и стандартизированы
- Выполнено разложение по Методу Главных Компонент для устранения взаимной корреляции между рядами
- Моделирование методом Монте-Карло выборок длиной 27000 ед.
- Обратная трансформация
- Распределение полученных рядов по категориям
- Построение интегральной функции распределения для составления прогнозной таблицы



Сезонные метеорологические прогнозы

Метеорологический прогноз:

Модель ПЛАВ

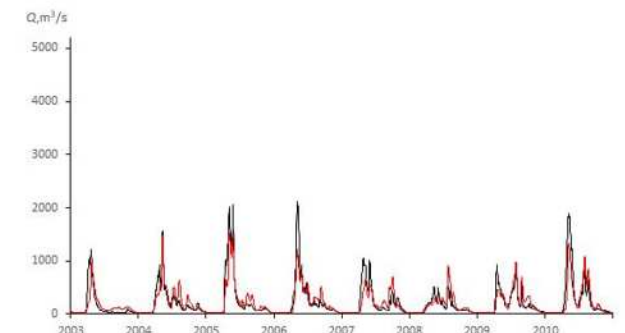
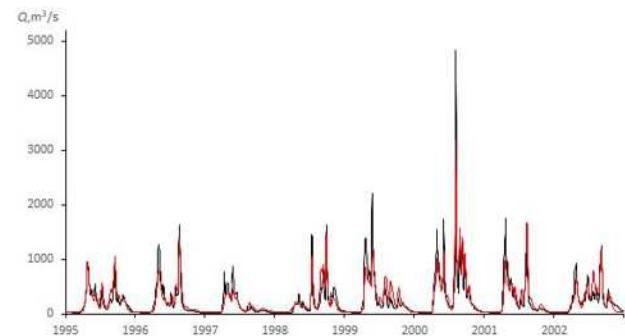
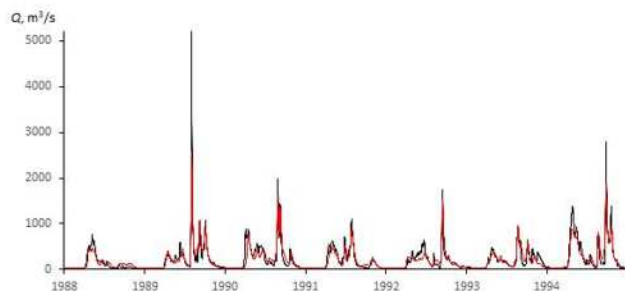
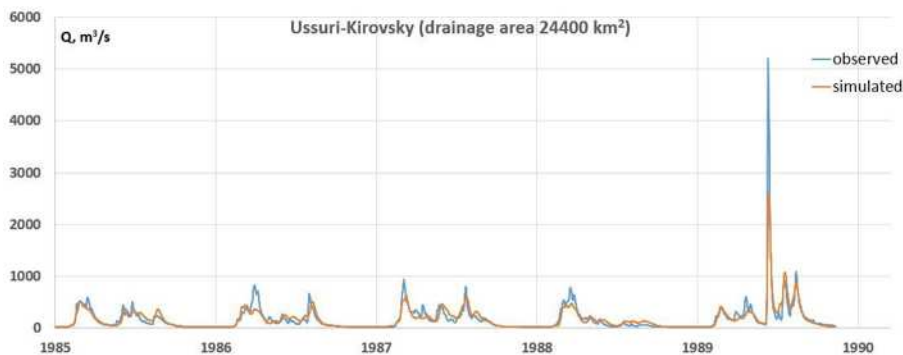
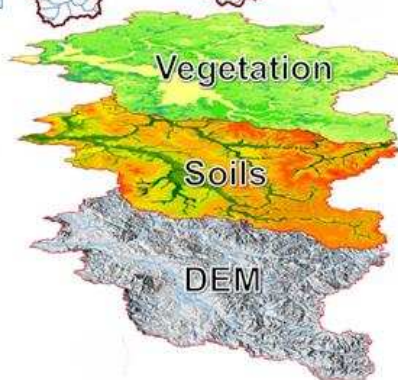
- Разработана в ИВМ РАН и Гидрометцентре России
(*Tolstykh 2010, 2011, 2015*)
- Пространственное разрешение $1.125^{\circ} \times 1.40625^{\circ}$ (lon x lat)

«Идеальный метеопрогноз»

- Данные реанализа по модели ПЛАВ за рассматриваемый период

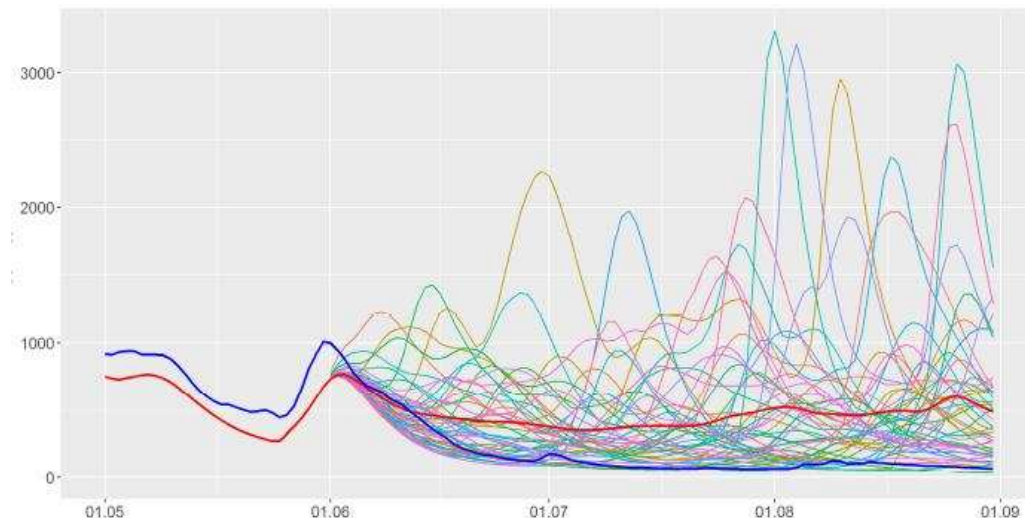
Модель бассейна Уссури

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами

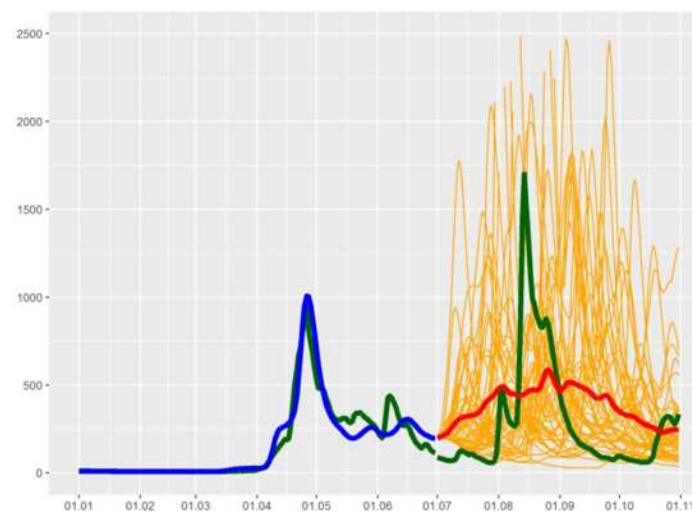
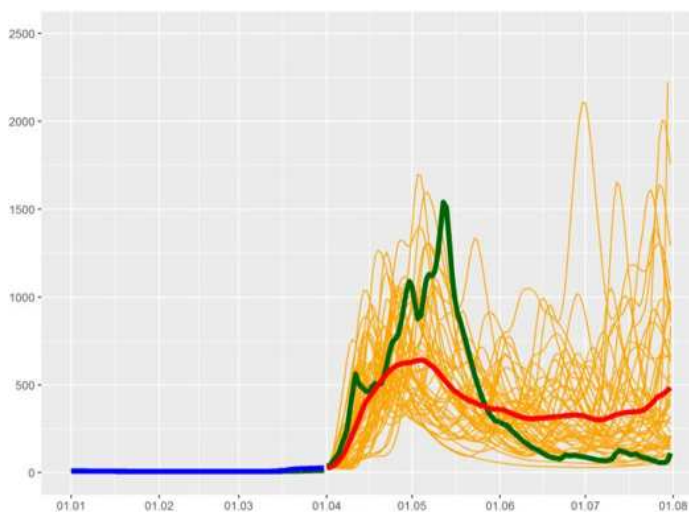


Прогноз по полному ансамблю

По данным архивных наблюдений за метеорологическими условиями в бассейне за 1966 – 2014 годы рассчитывается полный ансамбль из 49 сценариев на 3 месяца вперед. Прогноз формируется путем осреднения по сценариям и определения доверительного интервала вероятностного прогноза



Ряд наблюдений (синий) и средних прогнозов по полному ансамблю (красный) для р. Уссури – г/п Кировский с 1 июня по 1 сентября 2007



Оценка результатов

Сезонный прогноз речного стока как
инструмент управления
водохозяйственными системами

