



1834
190 лет Гидрометслужбе
2024 России



Современная система оперативного гидрологического прогнозирования, разработанная и функционирующая в Гидрометцентре России

*Симонов Ю.А., Борщ С.В., Христофоров А.В., Семенова Н.К.,
Дерюгина В.В., Юмина Н.М.*

*Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.*

Система гидрологических прогнозов

Гидрологические прогнозы

- один из основных видов гидрологического обслуживания
- уменьшение ущерба от опасных гидрологических явлений (наводнений, маловодий)
- эффективное управление водными ресурсами

Стратегия ВМО в области гидрологии

- первые две задачи из восьми:
 - предупреждение о паводках
 - предупреждение о засухах

«Заблаговременные предупреждения для всех»

- Вклад прогностической гидрологии в ведущую инициативу ВМО ООН

Реализация метода экстраполяции гидрографа

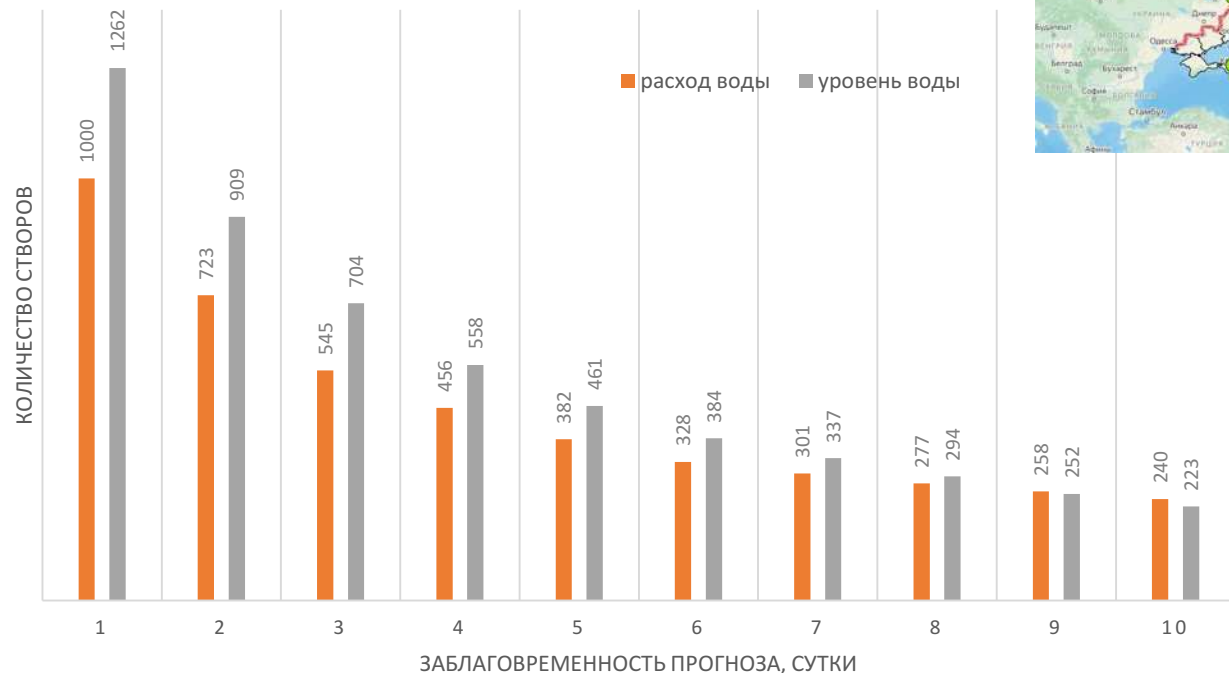
Прогноз среднесуточных уровней и расходов воды для гидрологических постов рек России методом экстраполяции гидрографа:

- средние и нижние участки равнинных рек



Расположение анализируемых речных створов на территории России

ПРОГНОЗИРУЕМОСТЬ - ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬ



Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

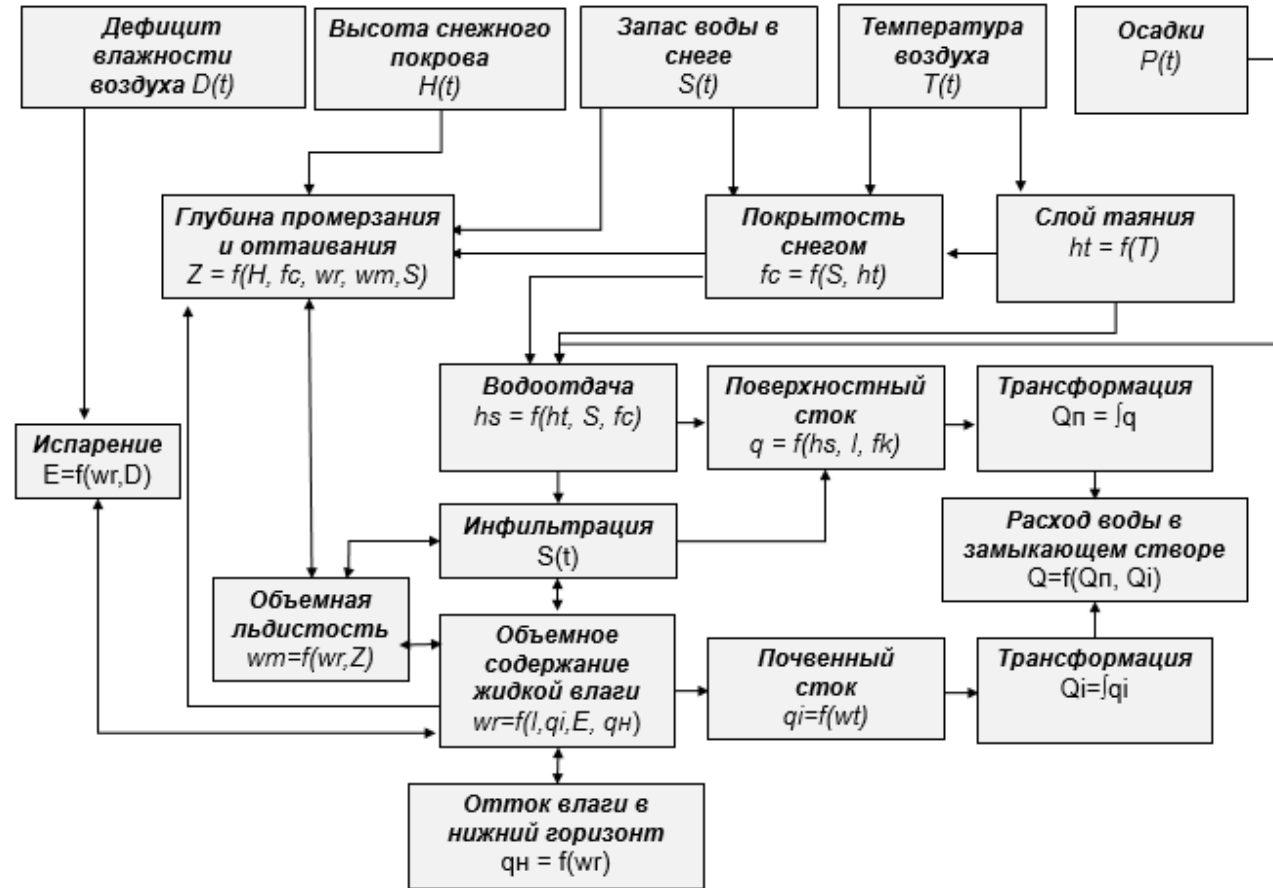
Модели стока и численный прогноз погоды

Гидрологические модели

- концептуальные модели формирования стока на водосборе (модель Гидрометцентра России/СССР, HBV-96)
- оптимизация параметров модели с помощью алгоритма SCE-UA
- верификация с использованием данных наблюдений

Численный прогноз погоды

- COSMO/ICON, ПЛАВ
- прогноз температуры воздуха и сумм осадков для метеорологических станций (осреднение по площади водосборов)

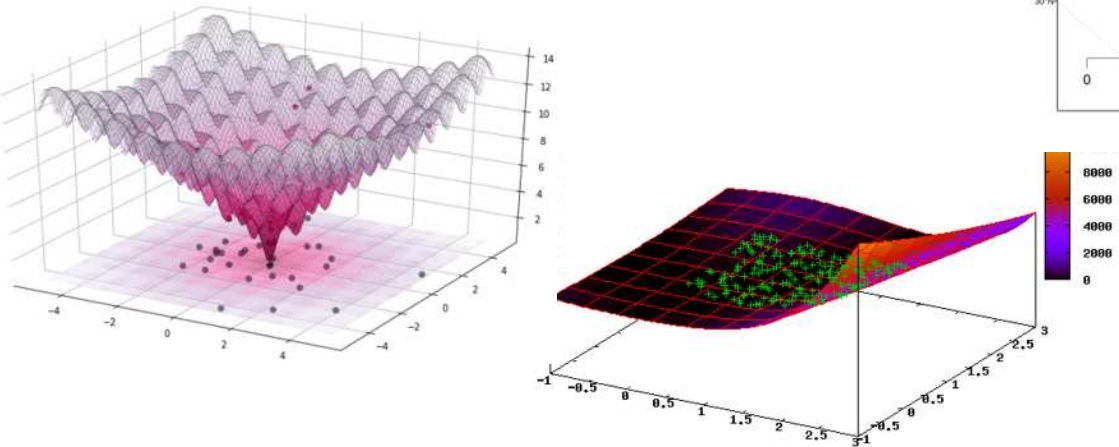
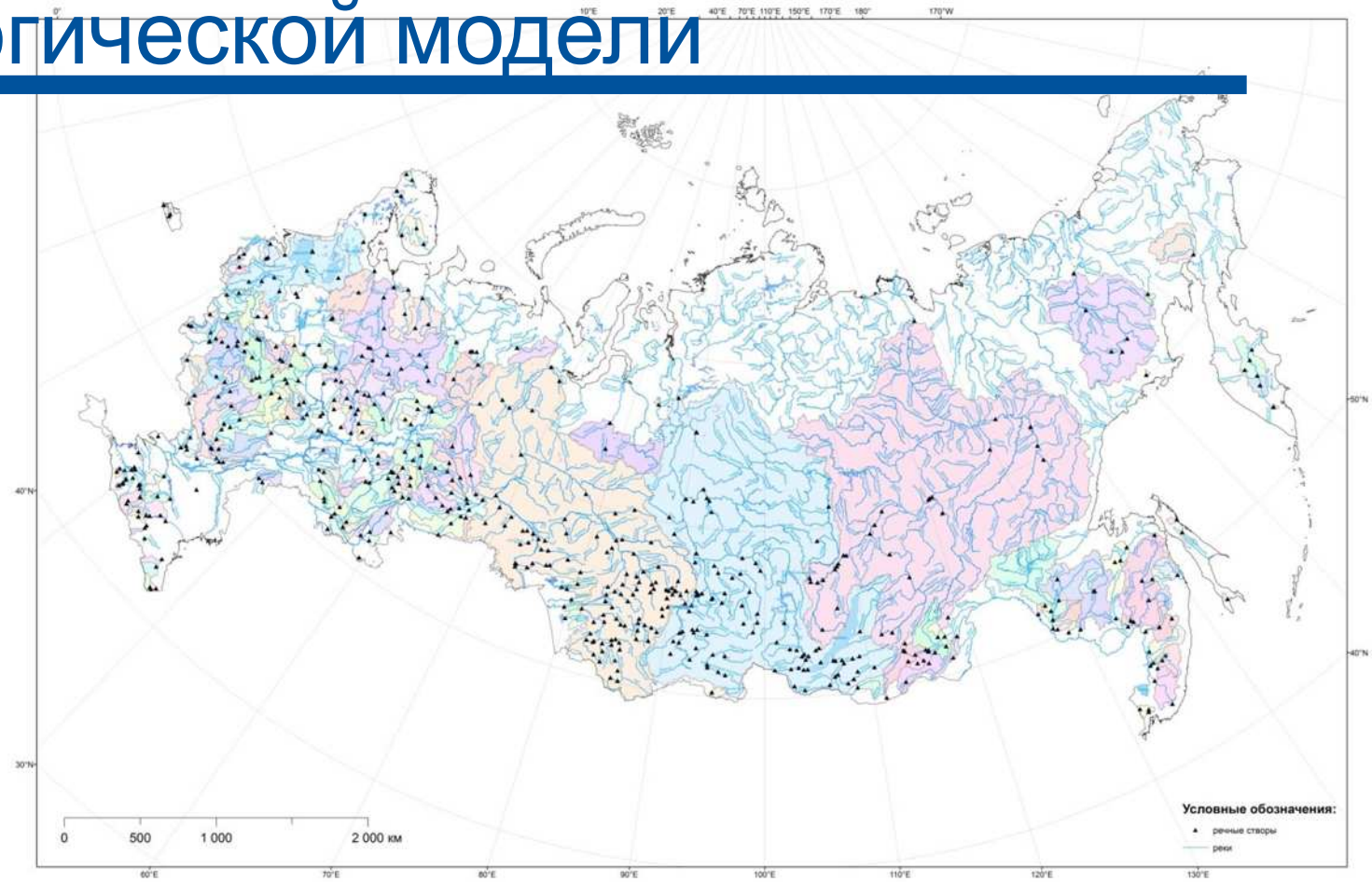


Блок-схема модели формирования стока на водосборе Гидрометцентра России

Адаптация гидрологической модели

Анализируемые бассейны

- 590 речных бассейнов
- границы речных бассейнов, характеристики речных бассейнов (площадь, средний уклон, средняя высота, средняя широта водосбора и т.д.) вычислены на основе ГИС программного обеспечения пространственной обработки данных

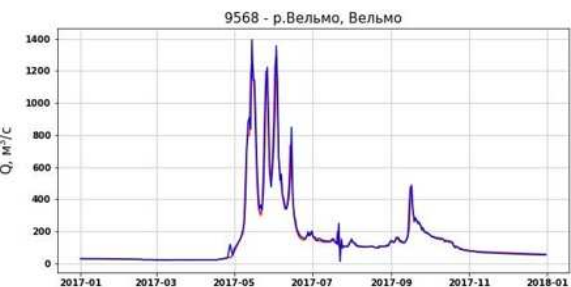
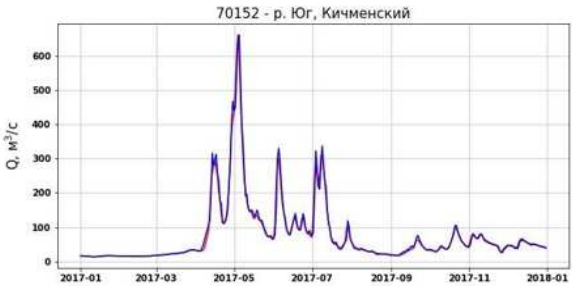


Оптимизация параметров модели

Дифференциальная эволюция — метод многомерной математической оптимизации, относящийся к классу стохастических алгоритмов.

Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

Краткосрочный прогноз речного стока



Индекс	Река	Пункт	Регион	Площадь км²	NSE	S/σ_{Δ}
76692	Сылва	с. Шамары	бассейн Камы	2140	0,933	0,53
1578	Ясачная	с. Нелемное	бассейн Колымы	32000	0,918	0,60
9568	Вельмо	с. Вельмо	бассейн Енисея	11800	0,859	0,66
70152	Юг	г. Кичменский городок	бассейн Сев. Двины	8890	0,921	0,62
84192	Малка	с. Каменноостское	бассейн Терека	1540	0,894	0,64
3074	Кута	п. Ручей	бассейн Лены	11200	0,891	0,60

Показатель эффективности методики	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$
S/σ_{Δ}	0,72	0,80	0,62
$S/\sigma_{\Delta} \leq 0,50$ (хор.)	12%	13%	28%
$0,50 < S/\sigma_{\Delta} \leq 0,80$ (удовлетворит.)	50%	52%	60%

Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

Методы коррекции прогнозов речного стока

Коррекция прогнозов методом линейной регрессии

$$\tilde{Y}_c = m(Y) + R \frac{\sigma(Y)}{\sigma(\tilde{Y})} [\tilde{Y} - m(\tilde{Y})]$$

Методика прогнозирования ежедневных расходов воды для рек бассейна Оки с заблаговременностью 3 суток. Методика основана на концептуальной модели формирования речного стока DWAT.

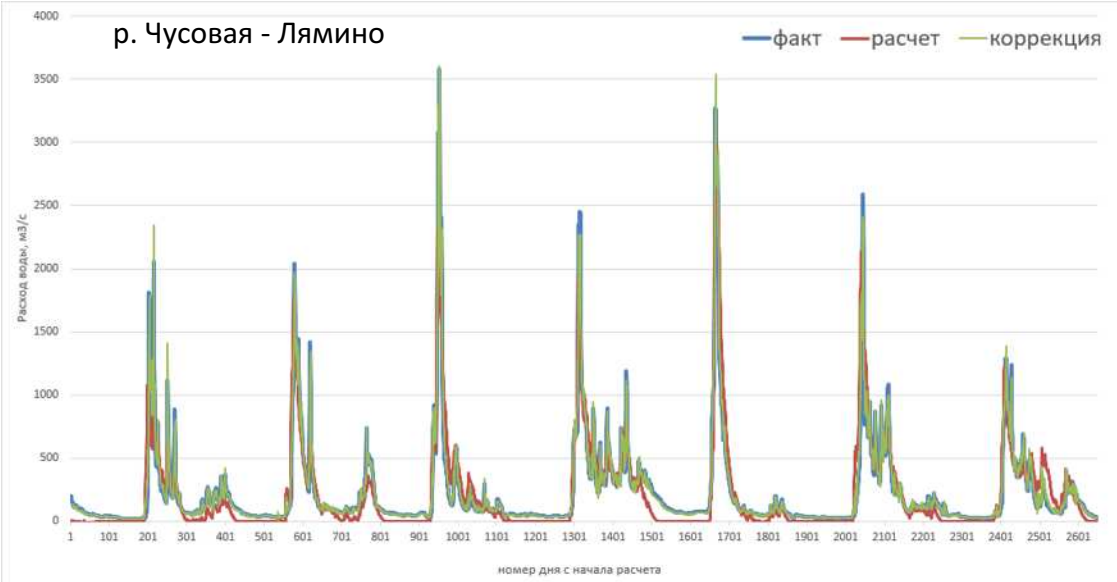
Река	Пост	R	S, м³/с	Sc, м³/с
Упа	с. Орлово	0,84	69,2	51,2
Жиздра	г. Козельск	0,80	74,2	58,5
Угра	с. Товарково	0,83	232	188
Ока	г. Калуга	0,93	316	205

Коррекция методом линейной регрессии позволяет снизить погрешность прогноза на 19% – 35%.

Коррекция прогнозов методом учета автокорреляции их ошибок

$$\tilde{Y}_c = \tilde{Y} + \tilde{\delta} \quad \tilde{\delta}(t) = \sum_1^l a_i \delta(t - \Delta t - i + \lambda)$$

δ – ошибка прогноза, l – число шагов по времени, t – дата выпуска прогноза, λ – параметр.



Качество методики прогнозов (NSE) без коррекции и с коррекцией

Заблаговременность, сутки	расчет	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$
Без коррекции	0,68	0,67	0,64	0,62
С коррекцией	0,96	0,89	0,88	0,87

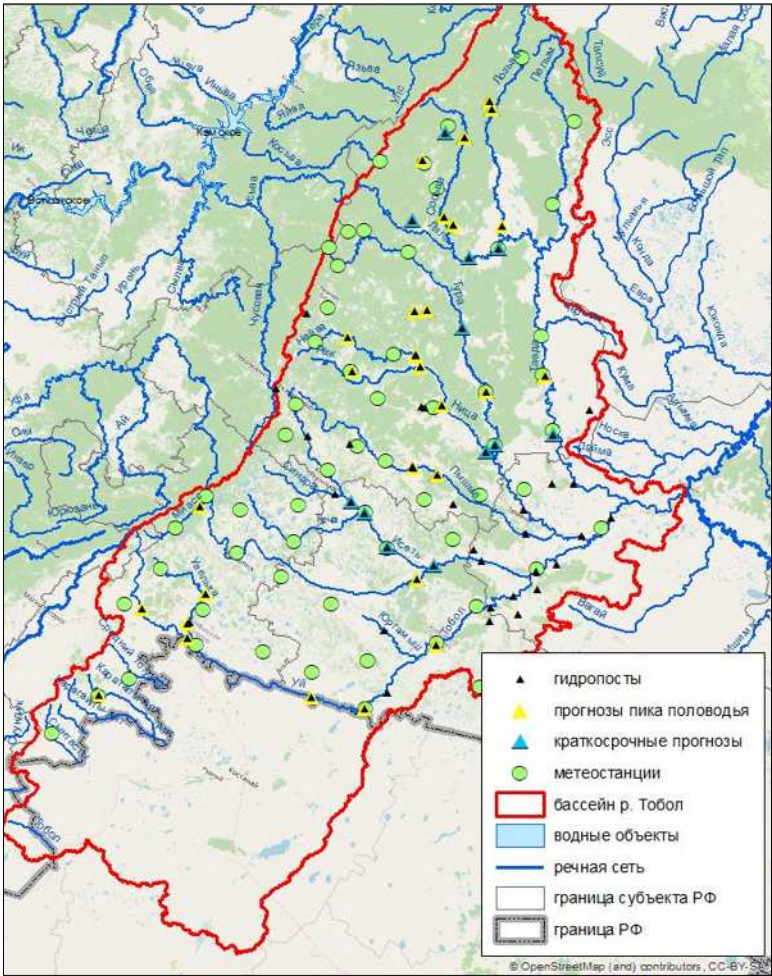
Долгосрочные гидрологические прогнозы

Долгосрочный прогноз характеристик весеннего стока рек:

$Y = \alpha[X - E(U)]th[X / E(U)]$
 α - параметр, учитывающий долю бессточных площадей в бассейне, X мм – слой осадков за период половодья, $E(U)$ мм – свободная емкость как функция от показателя предшествующего увлажнения U .

$$E(U) = E_{\max} - A \lg(U + 1)$$

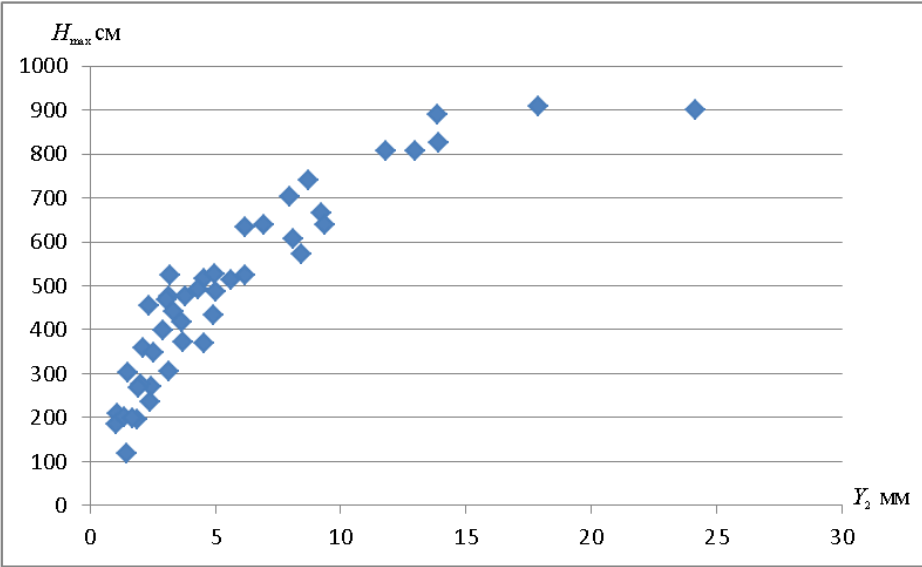
$$\tilde{Y}_2 = a_0 + a_1 S_{\max} + a_2 \ln(Q_{XI}) + a_3 Q_{III}$$



Бассейн р. Тобол и разработанные

методики гидрологических прогнозов

Река	R	S	S / σ	P
Тобол	0,73	2,4	0,43	83%
Уй	0,69	14,6	0,71	67%
Исеть	0,77	14,0	0,72	77%
Тура	0,82	22,3	0,57	75%
Ница	0,83	17,3	0,56	71%
Тавда	0,75	21,3	0,67	86%
Сосьва	0,68	24,1	0,73	68%



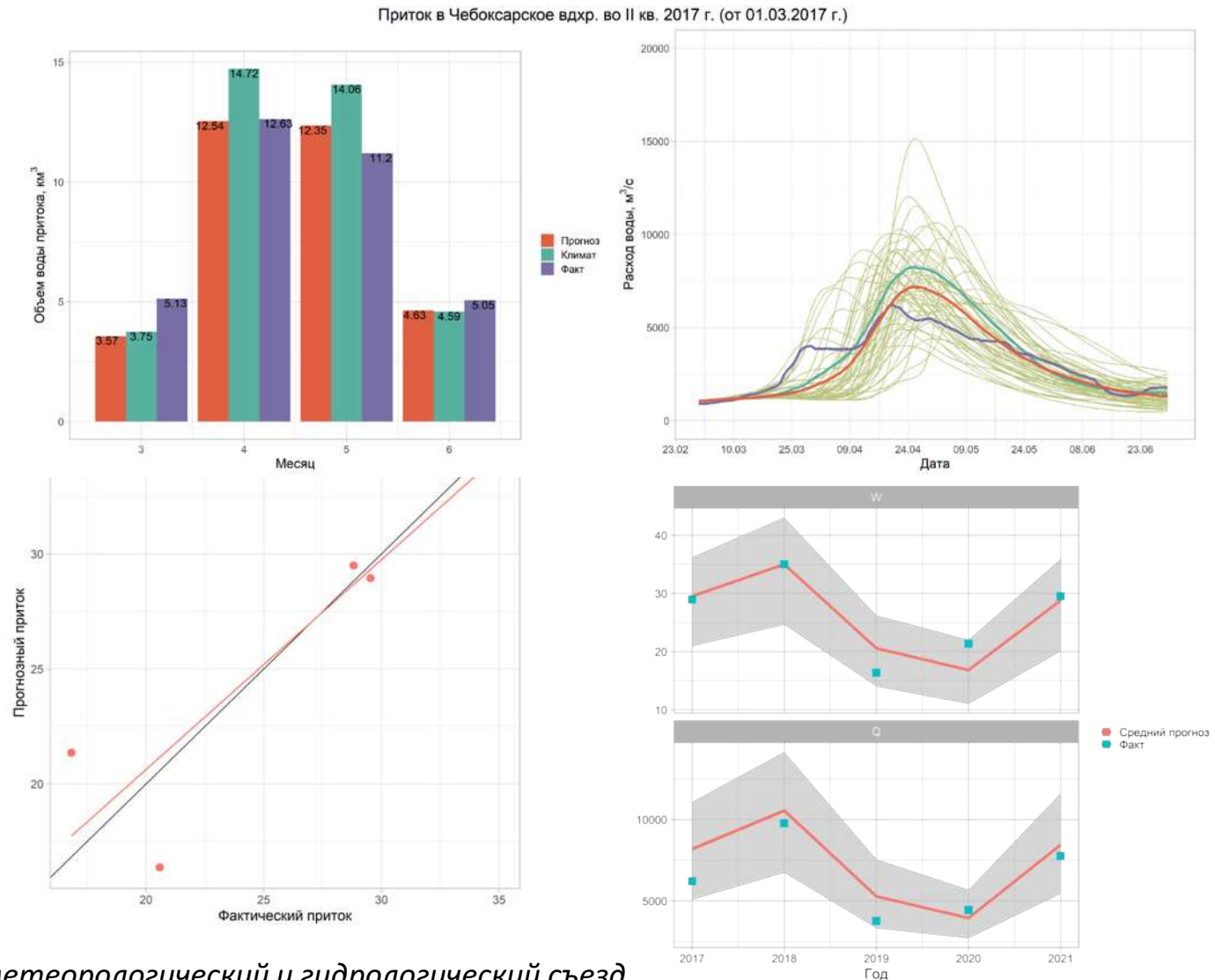
Зависимость максимального уровня воды от слоя стока за второй квартал в ство-ре р. Тобол – г. Курган

Долгосрочный прогноз в Чебоксарское вдхр.

В ИВП РАН совместно с ФГБУ «Гидрометцентр России» на базе физико-математической модели формирования речного стока ЕСОМАГ разработаны методики долгосрочного прогнозирования объема незарегулированного притока воды в Чебоксарское водохранилище за второй квартал W_{II} (км³) и максимального расхода воды этого притока Q_{max} (м³/с).

Характеристика	S	S _M	S _{met}	f
W_{II}	5,32	2,81	4,52	72%
Q_{max}	2539	1163	2257	79%

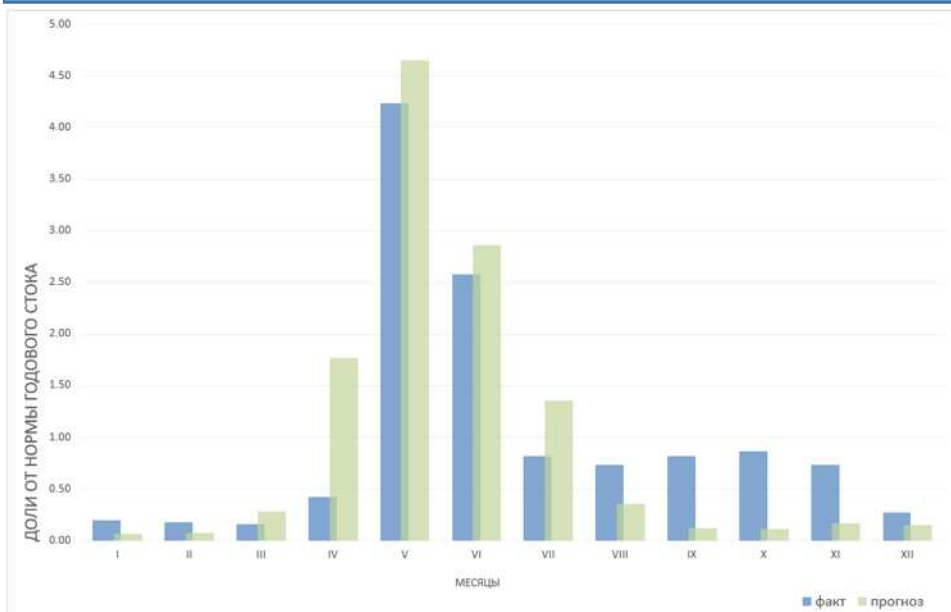
Прогнозы бокового притока к Чебоксарскому вдхр. (Борщ и др., 2017; Gelfan et al., 2018)



Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

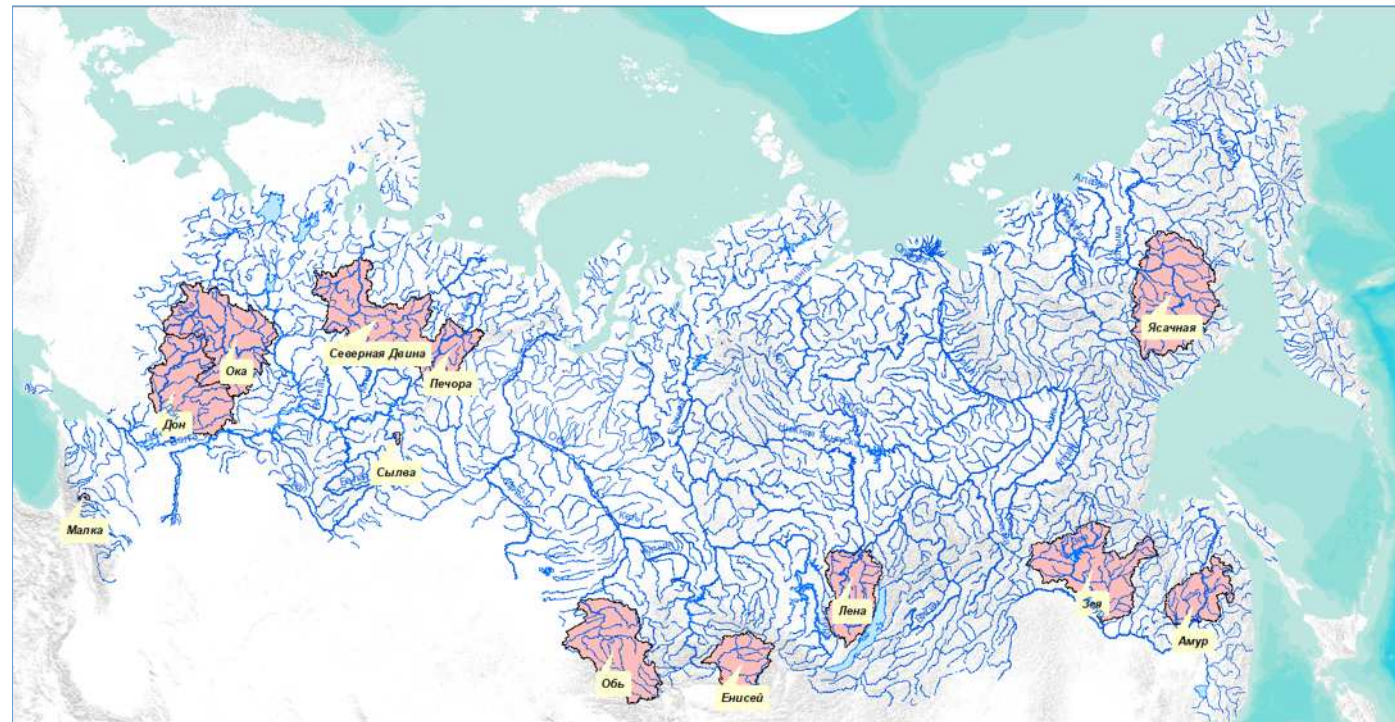
Перспективы развития долгосрочных прогнозов

Сверхдолгосрочный прогноз на основе динамического подхода: модель формирования стока совместно со сверхдолгосрочным ансамблевым метеорологическим прогнозом, полученным с помощью модели INM5.



Фактическое и прогнозируемое (ретроспективный прогноз) осредненное внутригодовое распределение стока в створе р. Дон – ст. Новогригорьевская.

*Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.*

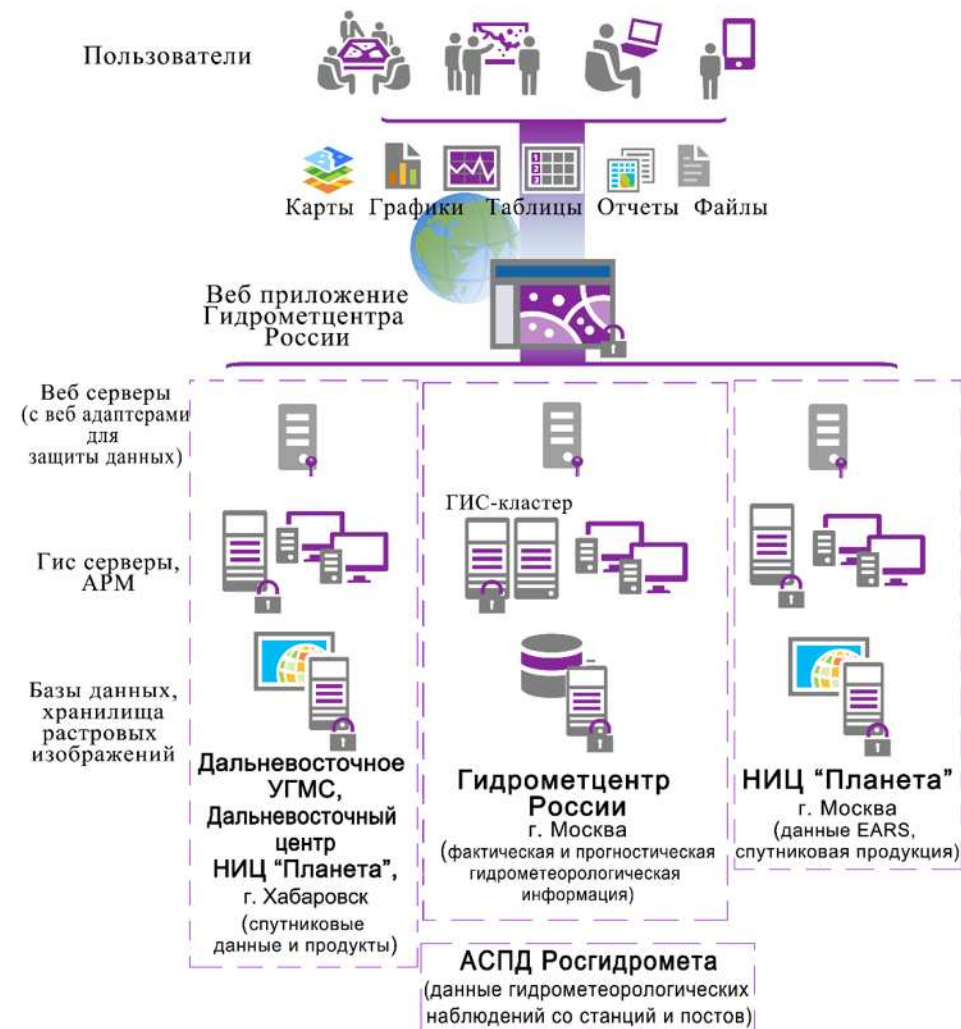


Расположение исследуемых речных бассейнов

Системы выпуска гидрологических прогнозов

Разработана базовая технология системы, которая включает три основных компонента:

- Информационная основа, предназначенная для хранения, систематизации, управления, поддержки и ведения массивов оперативной и архивной гидрометеорологической информации (наблюдений и прогнозов).
- Выпуск прогнозов расхода (уровня) воды в период прохождения паводков, включая автоматизацию прогностических методик (гидрологическая модель, ее адаптация, оптимизация параметров, коррекция прогноза и т.д.).
- Доведение до пользователей на основе ГИС-веб технологий подготовки фактической и прогностической информационно-аналитической информации в графическом виде с помощью веб-приложения.



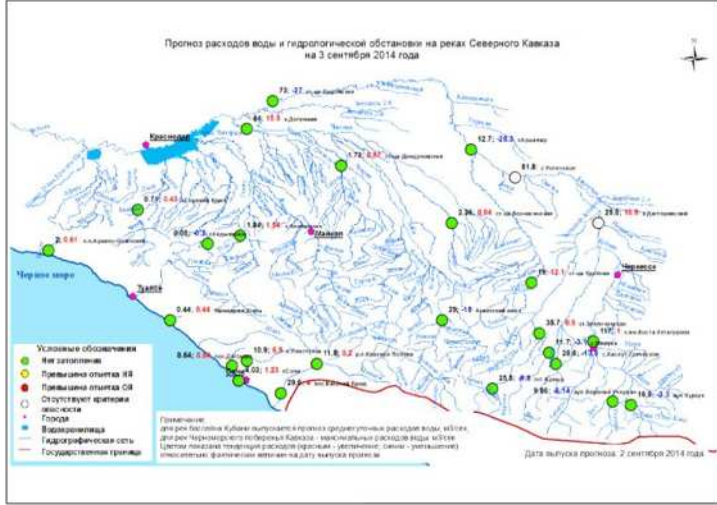
Структурная схема подсистемы подготовки и доведения до потребителей выходной продукции системы раннего предупреждения ГИС «Амур»

Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

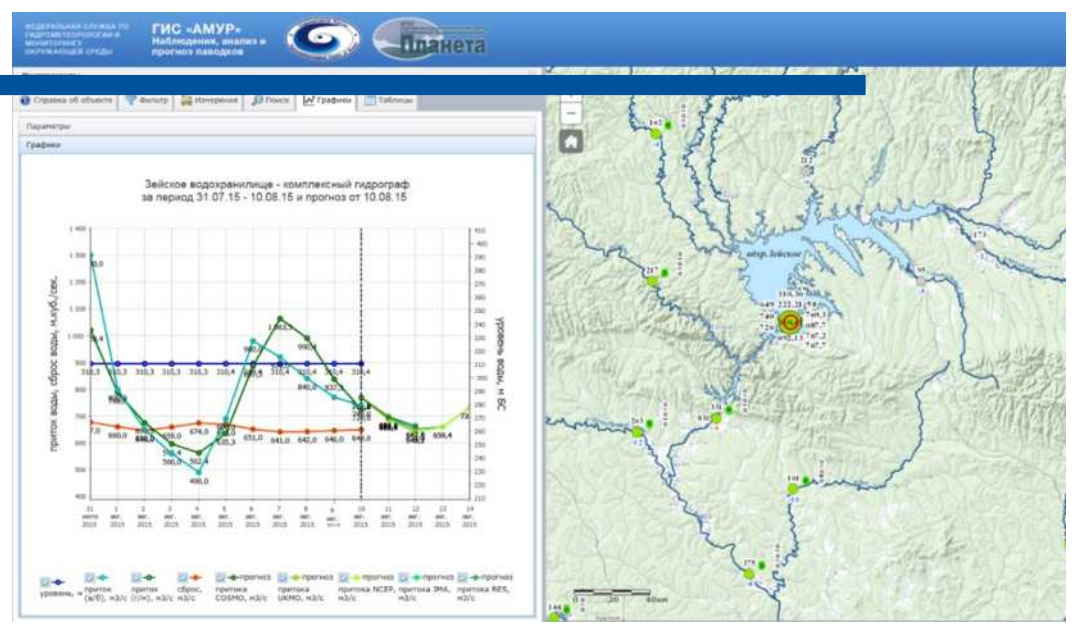
Системы выпуска прогнозов



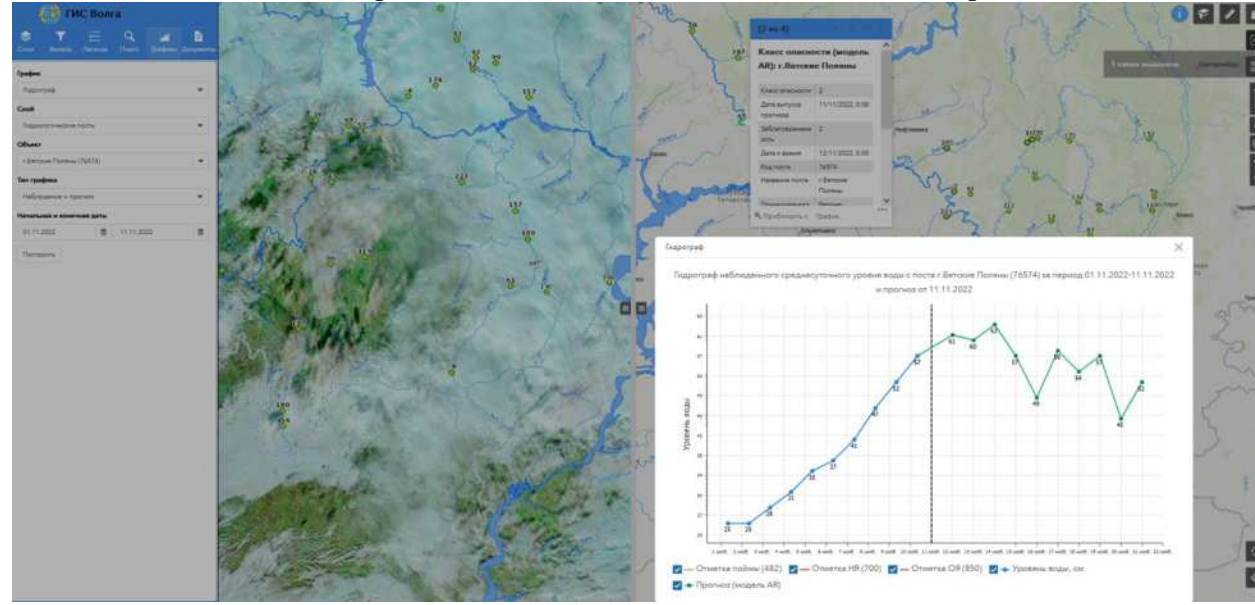
Пример карты прогнозируемого гидрологического состояния рек России



Карта прогноза гидрологической обстановки в бассейне р. Кубань и на реках Черноморского побережья Кавказа



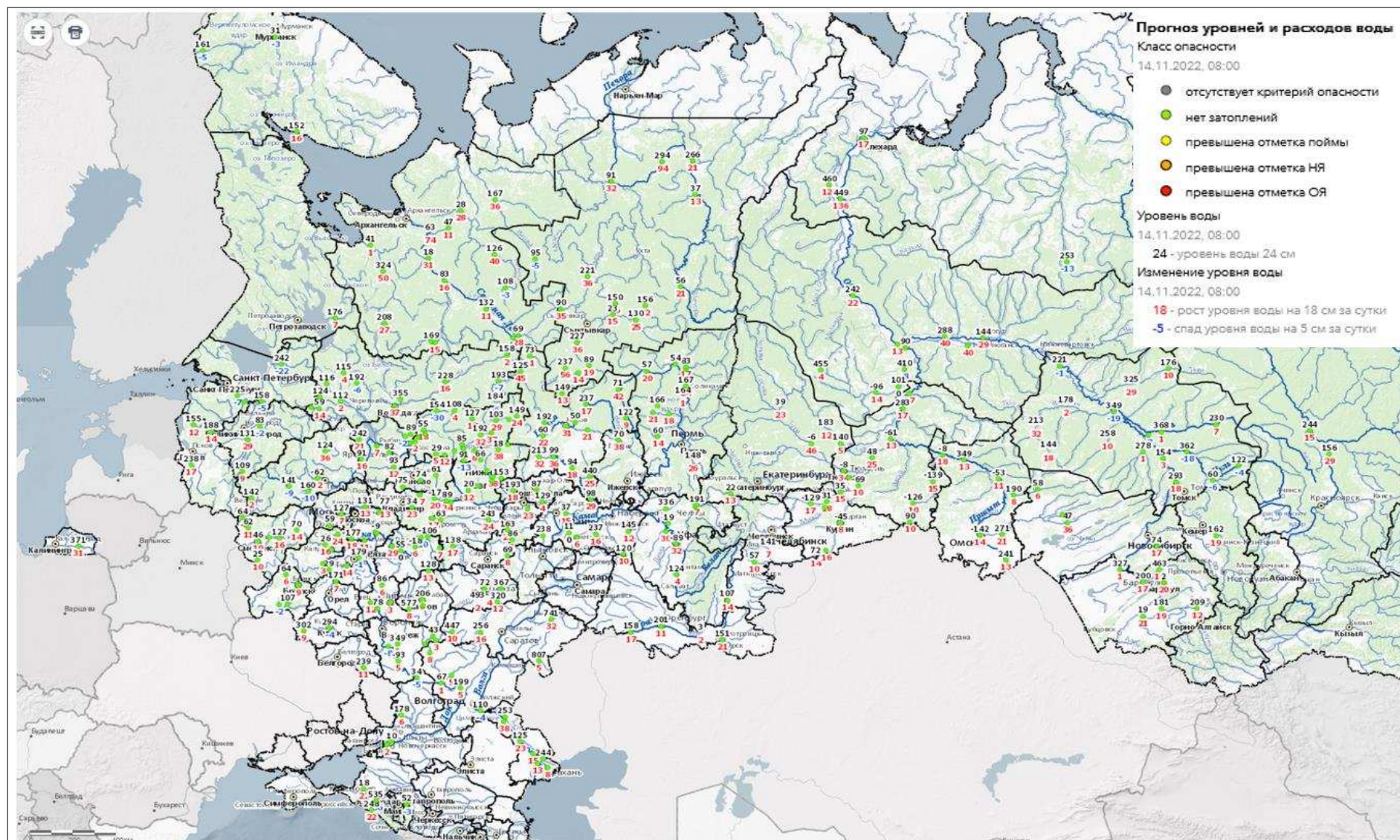
Визуализация в «ГИС Амур» фактической и прогностической гидрологической обстановки на Зейском водохранилище



Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд, г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

Вид веб-приложения системы раннего предупреждения «ГИС Волга»

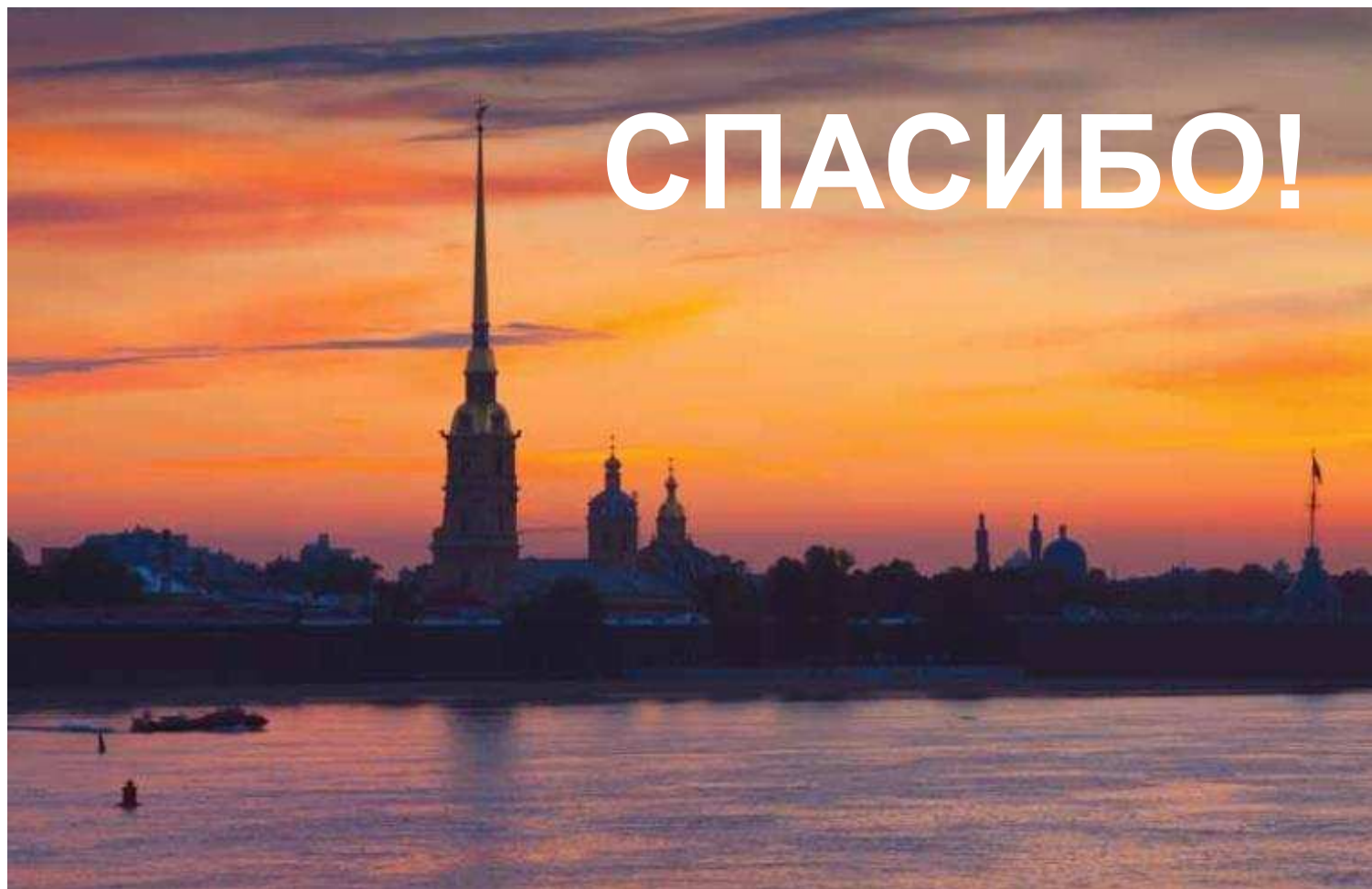
Масштабирование на территорию России



Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.

Перспективы развития

- развитие автоматизированных систем подготовки, выпуска прогнозов и доведения прогностической продукции до потребителей
- совершенствование гидрологического моделирования с использованием различных подходов и их комбинирования в рамках одной методики (разные блоки – разные подходы)
- взаимодействие с метеорологами с учетом постоянного совершенствования системы метеорологических прогнозов, а также спутниковой и радарной продукции



Симонов Юрий Андреевич
заместитель директора ФГБУ «Гидрометцентр России»
simonov@metcom.ru

*Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд,
г. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2024 г.*