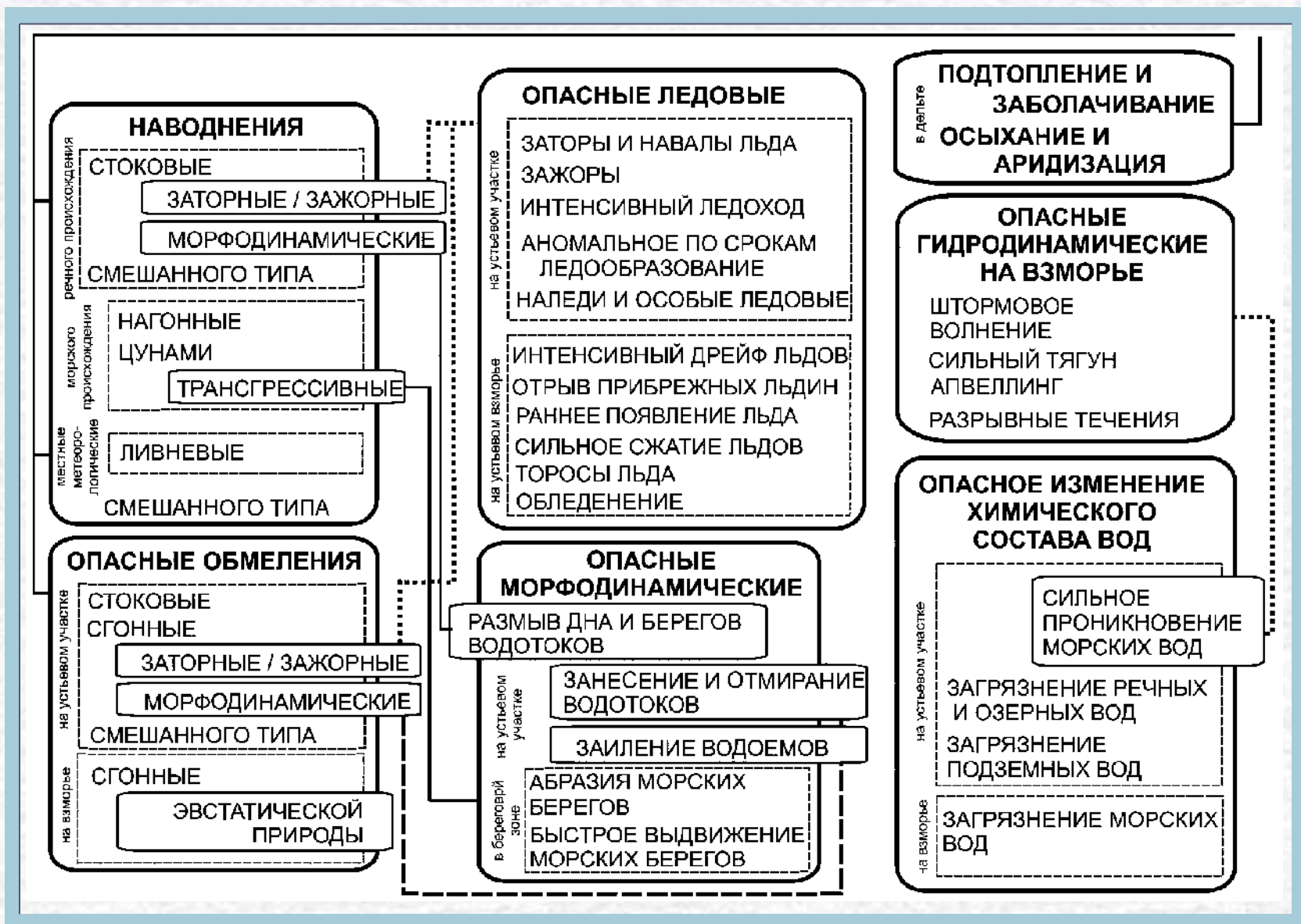




"Опасные гидрологические явления в устьевых областях
рек и прибрежной зоне морей:
технологии прогноза и оценка рисков"

*И.В.Землянов, Н.А.Дианский, В.В.Фомин, И.Ю.Милютина, О.В.Горелиц,
Д.А.Мигунов*

Устьевые области – опасные гидрологические явления



Магрицкий Д.В. «Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации». Наука. Техника. Технология. (политехнический вестник)

Общий план доклада





Транспортный коридор — это высокотехнологическая транспортная система, которая создается между густонаселенными районами для удобной, безопасной и быстрой перевозки грузов и пассажиров. В центре внимания Правительства РФ — транспортные коридоры восточного и Азово-Черноморского направлений, а также международный маршрут «Север-Юг».

+135%
к 2030 г.

ожидаемый рост грузопотока по
направлению «Север-Юг»

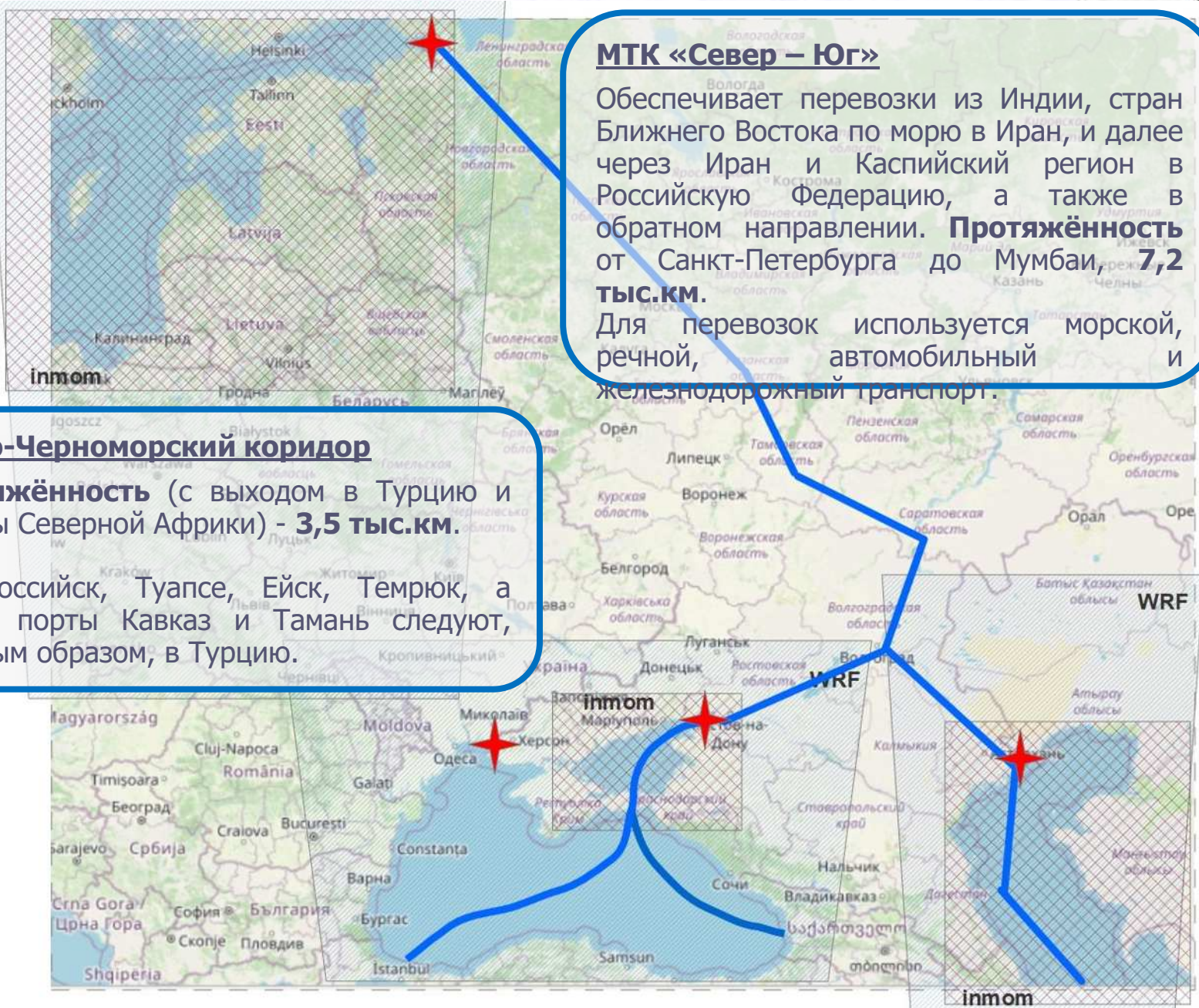
ПЛАН 2030

70%

рост

грузопотока Азово-
Черноморского направления

Международные транспортные коридоры



МТК «Север – Юг»

Обеспечивает перевозки из Индии, стран Ближнего Востока по морю в Иран, и далее через Иран и Каспийский регион в Российскую Федерацию, а также в обратном направлении. **Протяжённость** от Санкт-Петербурга до Мумбаи, **7,2 тыс.км.**

Для перевозок используется морской, речной, автомобильный и железнодорожный транспорт.

Азово-Черноморский коридор

Протяжённость (с выходом в Турцию и страны Северной Африки) - **3,5 тыс.км.**

Новороссийск, Туапсе, Ейск, Темрюк, а также порты Кавказ и Тамань следуют, главным образом, в Турцию.

Система диагноза и прогноза на основе комплекса гидродинамических моделей (ФГБУ «ГОИН»)



Препроцессинг

Загрузка данных прогноза GFS

Загрузка спутниковой информации

Загрузка данных наблюдательной сети

Прогноз

Азовское море

Прогноз метеохарактеристик (WRF)

Прогноз гидрологических характеристик (INMOM)

Прогноз уровня моря в устьевой части р. Дон

Каспийское море

Прогноз метеохарактеристик (WRF)

Прогноз гидрологических характеристик (INMOM)

Прогноз уровня моря в устьевой части р. Волги и на акватории ВКК

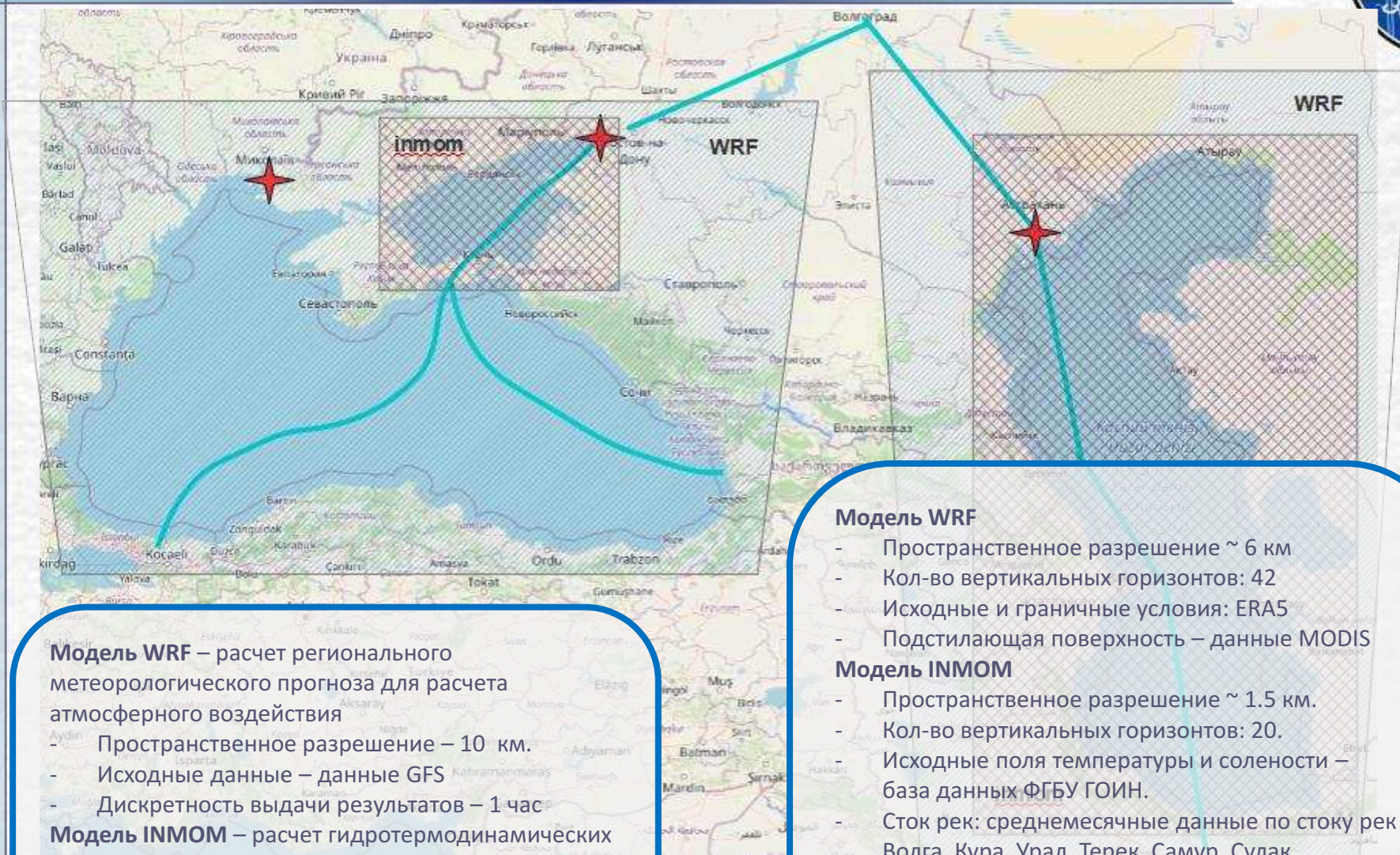
Постпроцессинг

Обработка результатов прогнозов

Формирование базы данных выходной продукции

Передача данных Потребителями (Северо-Кавказское УГМС и др.)

Граничные условия для гидродинамической модели. Гидрологический прогноз.



Модель WRF – расчет регионального метеорологического прогноза для расчета атмосферного воздействия

- Пространственное разрешение – 10 км.
- Исходные данные – данные GFS
- Дискретность выдачи результатов – 1 час

Модель INMOM – расчет гидротермодинамических и ледовых характеристик

- Пространственное разрешение – 500 м.
- Количество вертикальных уровней – 5
- Исходные данные T&S – атлас WOA
- Батиметрия – навигационные карты
- Дискретность выдачи результатов – 1 час

Модель WRF

- Пространственное разрешение ~ 6 км
- Кол-во вертикальных горизонтов: 42
- Исходные и граничные условия: ERA5
- Подстилающая поверхность – данные MODIS

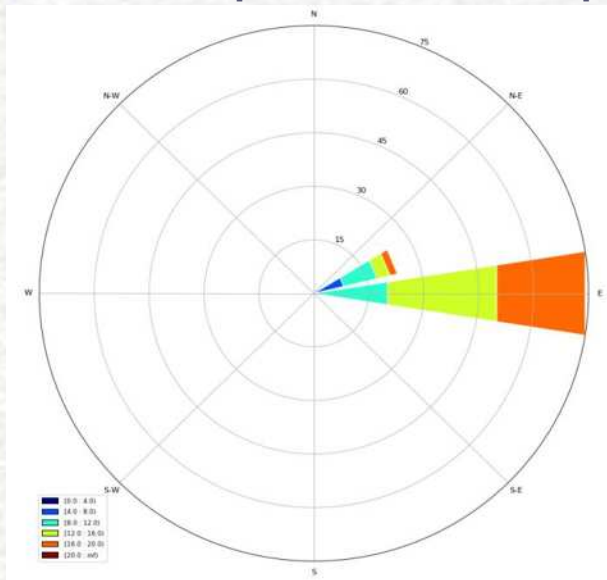
Модель INMOM

- Пространственное разрешение ~ 1.5 км.
- Кол-во вертикальных горизонтов: 20.
- Исходные поля температуры и солёности – база данных ФГБУ ГОИН.
- Сток рек: среднемесячные данные по стоку рек Волга, Кура, Урал, Терек, Самур, Сулак.
- Кара-Богаз-Гол: учитывался отток на основе ретроспективной информации
- Топография: база данных ФГБУ «ГОИН»
- Усвоение: данные по температуре поверхности моря, данные по сплоченности ледового поля (при доступности), климатические данные.

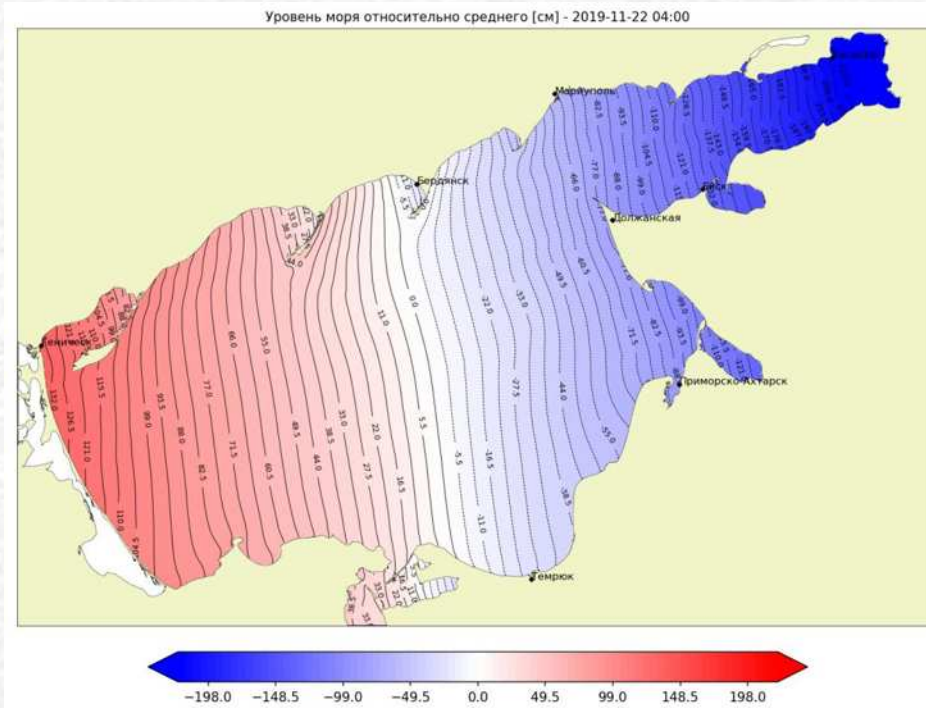
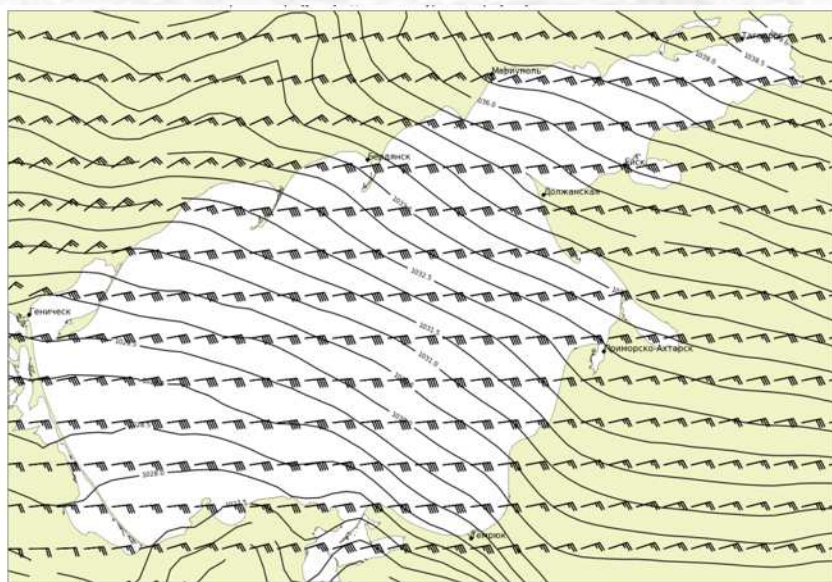
Прогноз экстремального сгона в восточной части Азовского моря в период с 21 по 24 ноября 2019 г.



Роза ветров в центральной части Таганрогского залива за период с 19 по 26 ноября 2019 г

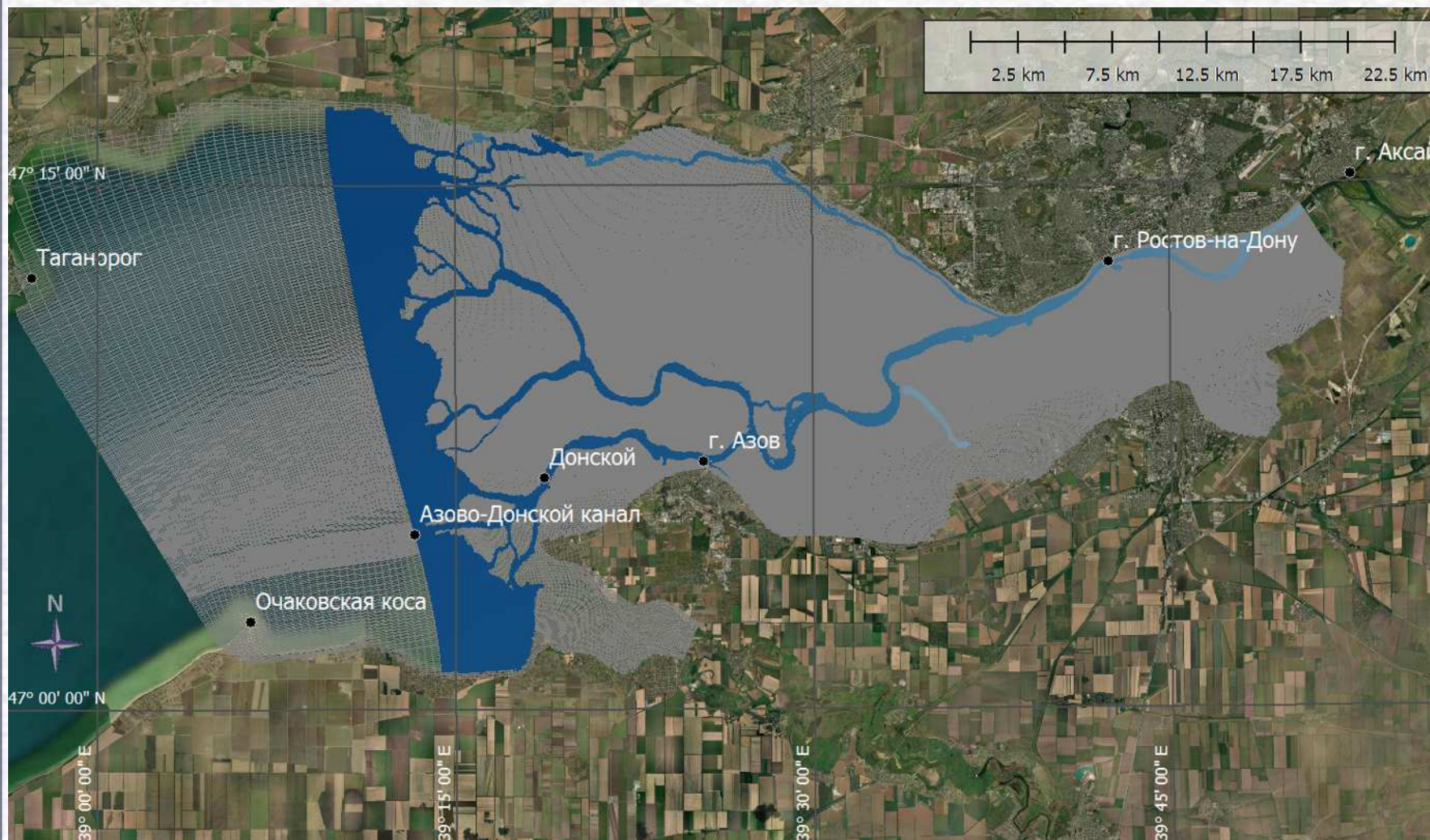


Скорость ветра и давление на уровне моря. 02:00 21 ноября 2019 г



По данным ГМС Таганрог:
Прогноз оправдался в части неблагоприятного явления (НЯ);

Устьевая область р.Дон. Границы области моделирования



Оценка качества прогноза уровней в устьевой области р.Дон за период опытной эксплуатации в 2024 году



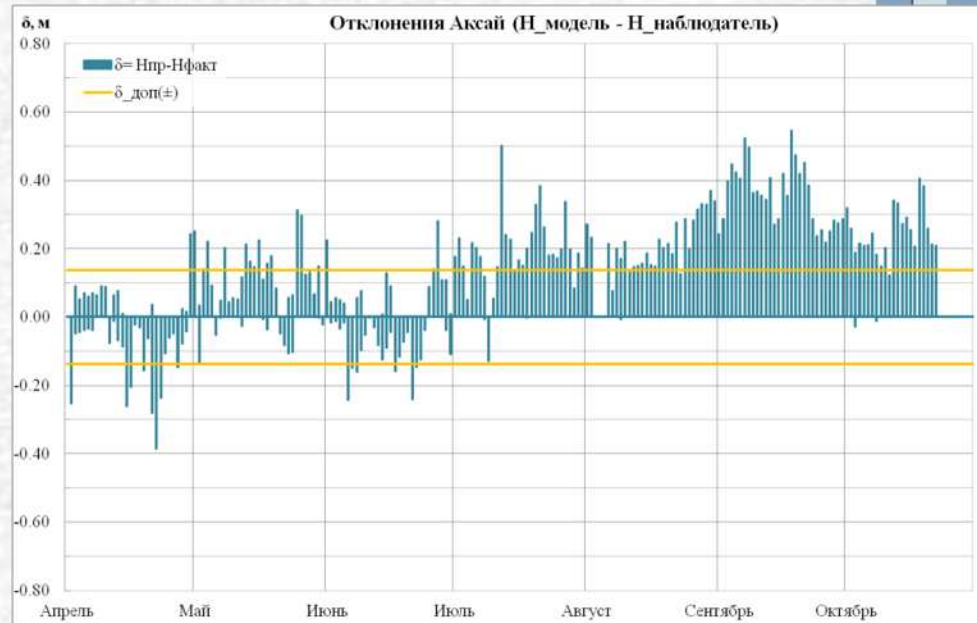
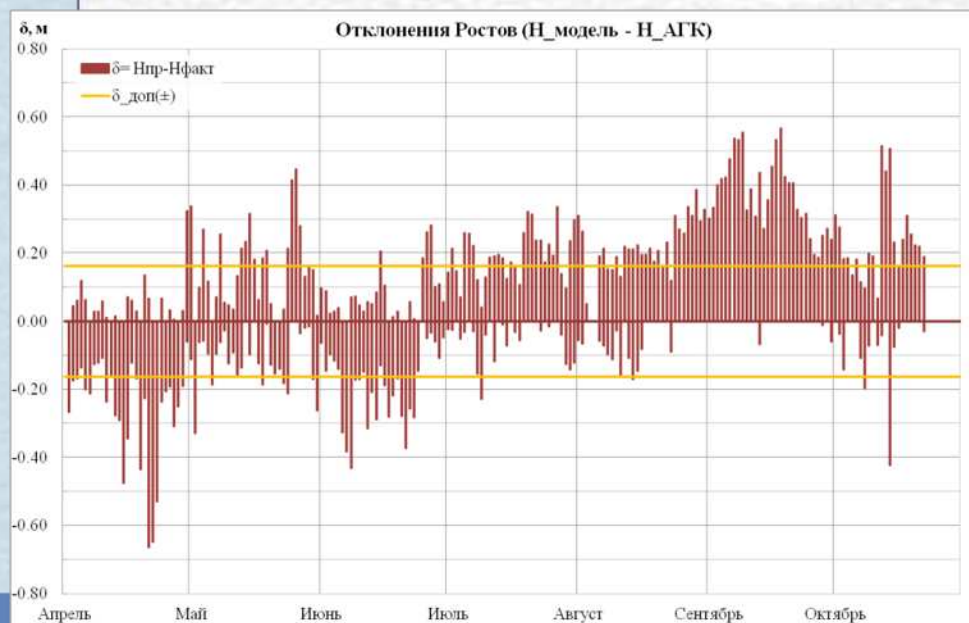
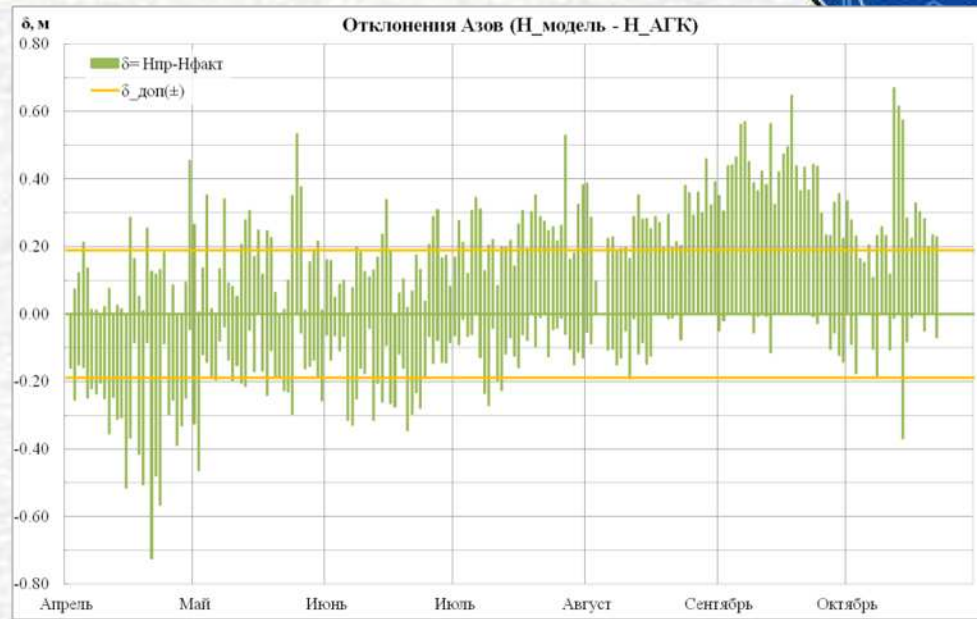
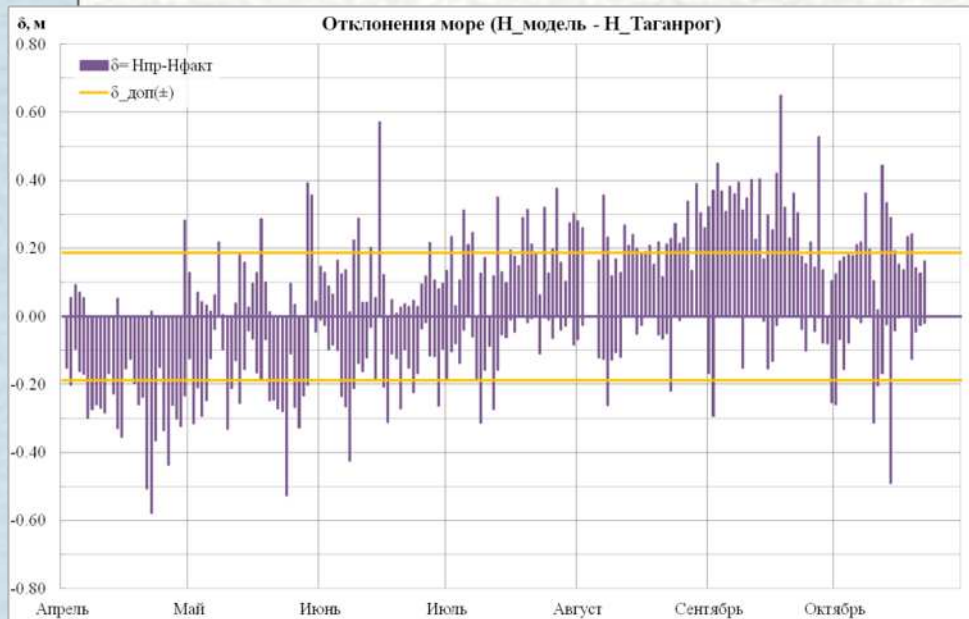
Заблаговременность прогноза уровней – сутки.

Для вычисления величины допустимой ошибки $\delta_{\text{доп}}$ прогноза уровня использованы все наблюдаемые значения на постах (в стандартные сроки наблюдений, в дополнительные сроки наблюдений и данные с самописцев уровней):

- р.Дон - г.Акса́й – двухсрочные наблюдения: 8:00, 20:00
- р.Дон - г.Ростов-на-Дону – ежечасные данные с АГК
- р.Дон - г.Азов – ежечасные данные с АГК
- Азовское море - Таганрог – четырехсрочные наблюдения: 3:00, 9:00, 15:00, 21:00

Пост	Таганрог	Азов	Ростов	Акса́й
$\Delta_{\text{ср}h}$	-0.00248	-0.0038	-0.0033	-0.0049
$\Sigma(\Delta h_i - \Delta_{\text{ср}h})^2$	62.57	379.21	284.18	18.62
n_наблюденных значений	810	4838	4883	443
$\sigma_{\Delta h}$, м	0.28	0.28	0.24	0.21
$\delta_{\text{доп}} (\pm)$, м	0.19	0.19	0.16	0.14
δ ср, м	0.02	0.07	0.07	0.14
δ ср, м	0.14	0.16	0.14	0.17
δ мин, м	-0.58	-0.72	-0.66	-0.39
δ макс, м	0.65	0.67	0.57	0.55
N_прогнозов	795	4743	4788	435
N_оправдавшихся_прогнозов	578	3199	3104	200
Оправдываемость, %	73%	67%	65%	46%

Сравнение ошибок прогноза уровня в устьевой области р.Дон с допустимой ошибкой за период апрель-октябрь 2024 г.



Эксперимент с углублением гирл устьевых рукавов р.Дон на взморье



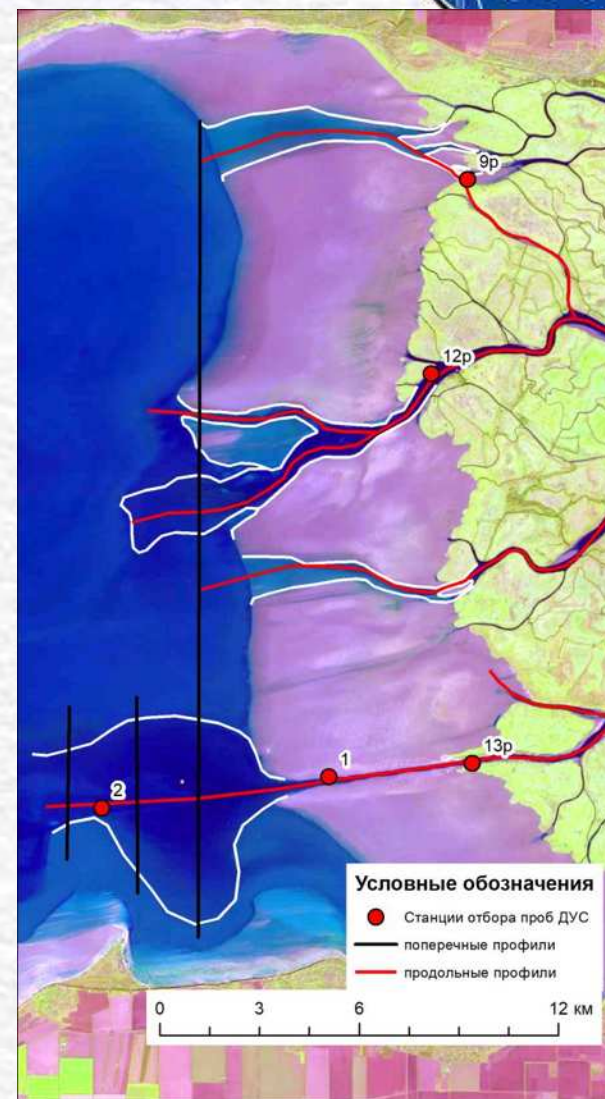
**Исходные данные,
включенные в ЦМР**



Сгон 07.10.2021



Сгон 22.11.2019

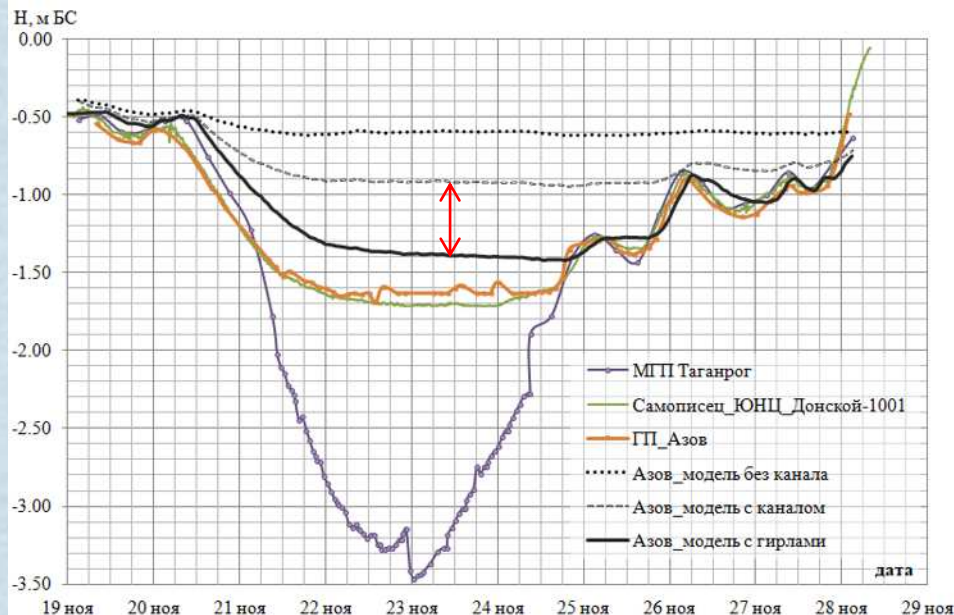


**Оцифровка гирл.
Их искусственное
углубление до 1,5-2,5 м**

Эксперимент с углублением гирл устьевых рукавов р.Дон и расширением сетки до Таганрога



Диагностические расчеты сгона в ноябре 2019 г.



Мин отметка в Азове

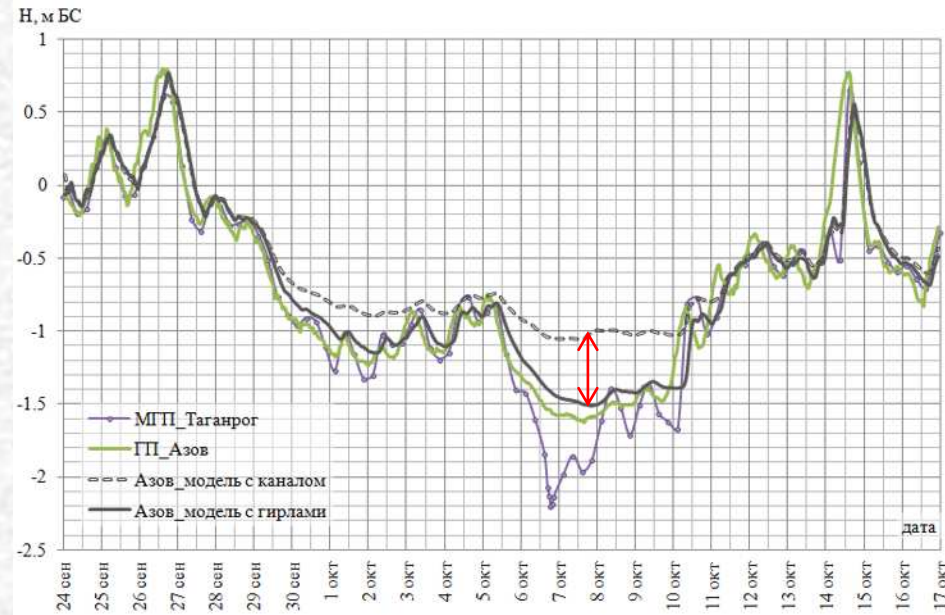
Первая модель без параметризации Азово-Донского морского судоходного канала: – 0,62 м БС

Модель с учетом канала: – 0,95 м БС

Модель с углубленными гирлами: – 1,42 м БС

Данные наблюдений: – 1,69 м БС

Диагностические расчеты сгона в сентябре-октябре 2021 г.



Мин отметка в Азове

Модель с учетом канала: – 1,06 м БС

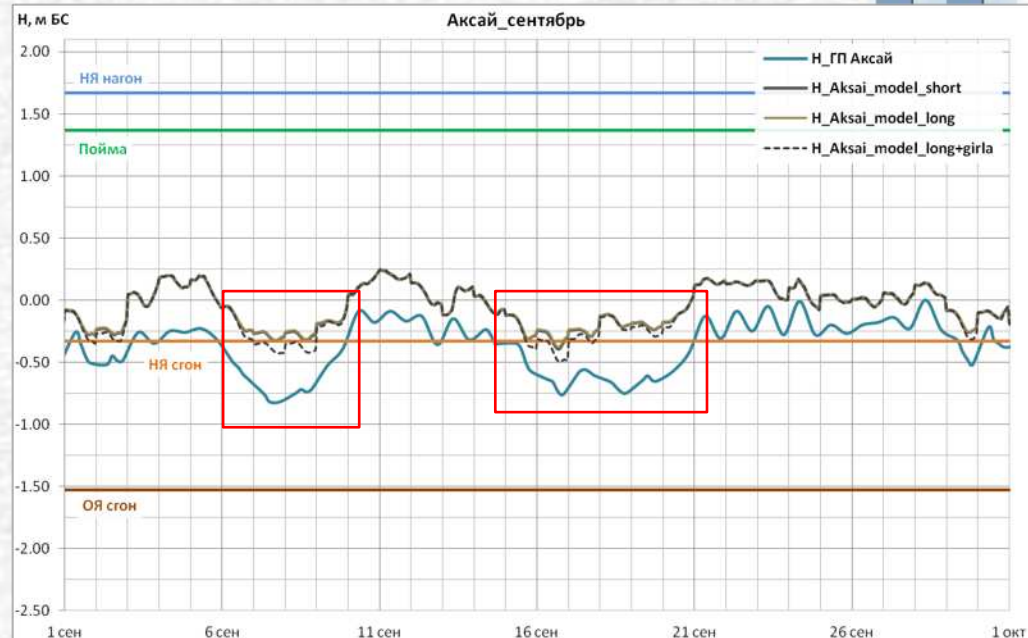
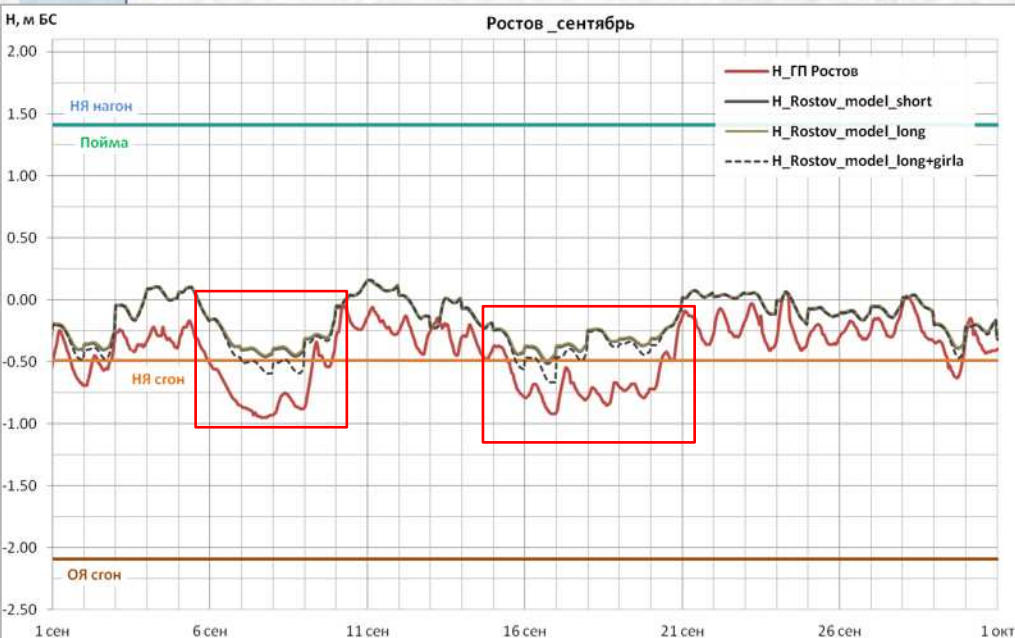
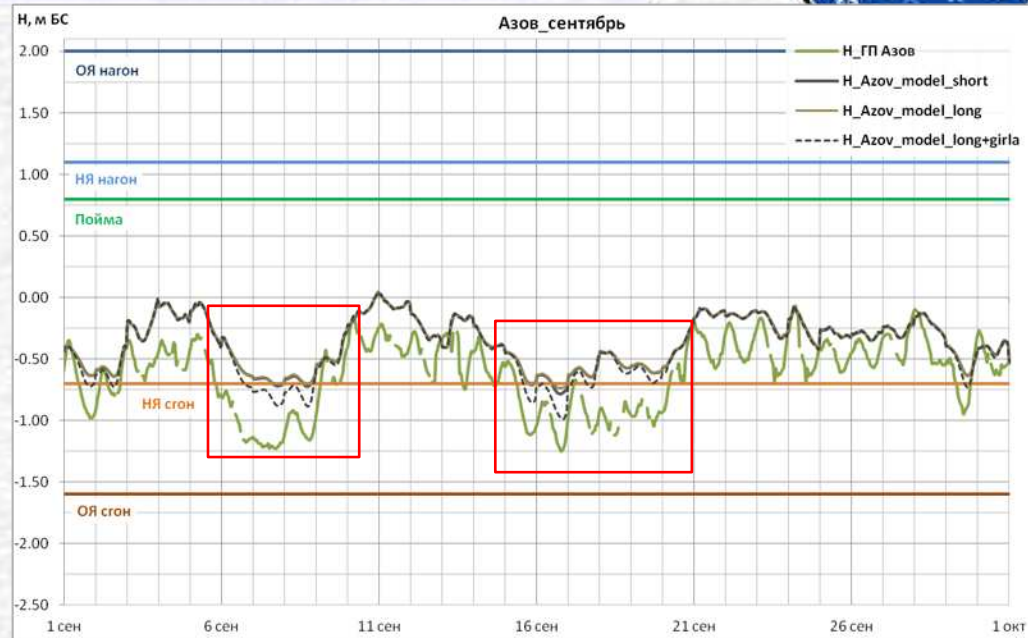
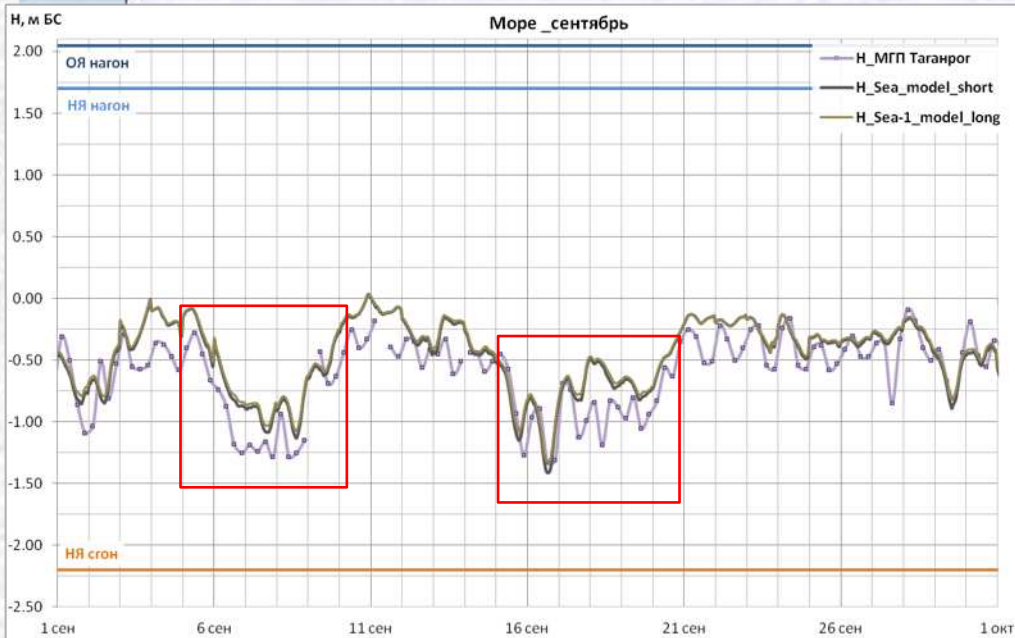
Модель с углубленными гирлами: – 1,52 м БС

Данные наблюдений: – 1,63 м БС

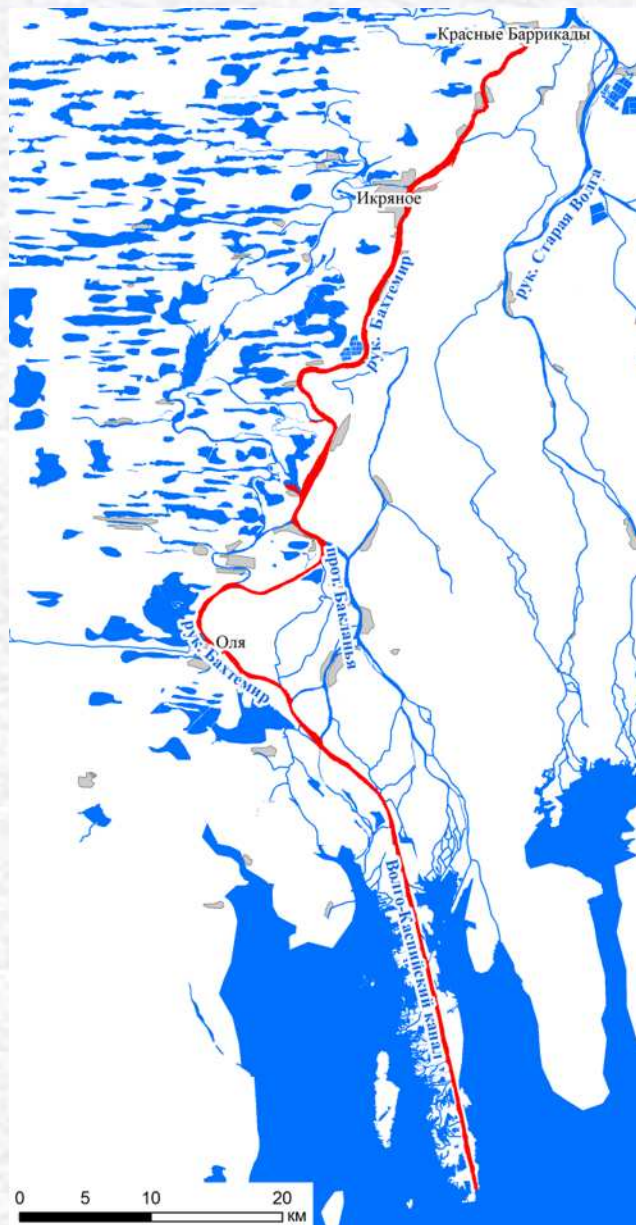
Прогностические расчеты в мае 2024 г. с использованием модели с расширенной сеткой и углубленными гирлами



Прогностические расчеты в сентябре 2024 г. с использованием модели с расширенной сеткой и углубленными гирлами



Судоходство в дельте Волги (Волго-Каспийский канал - ВКК)



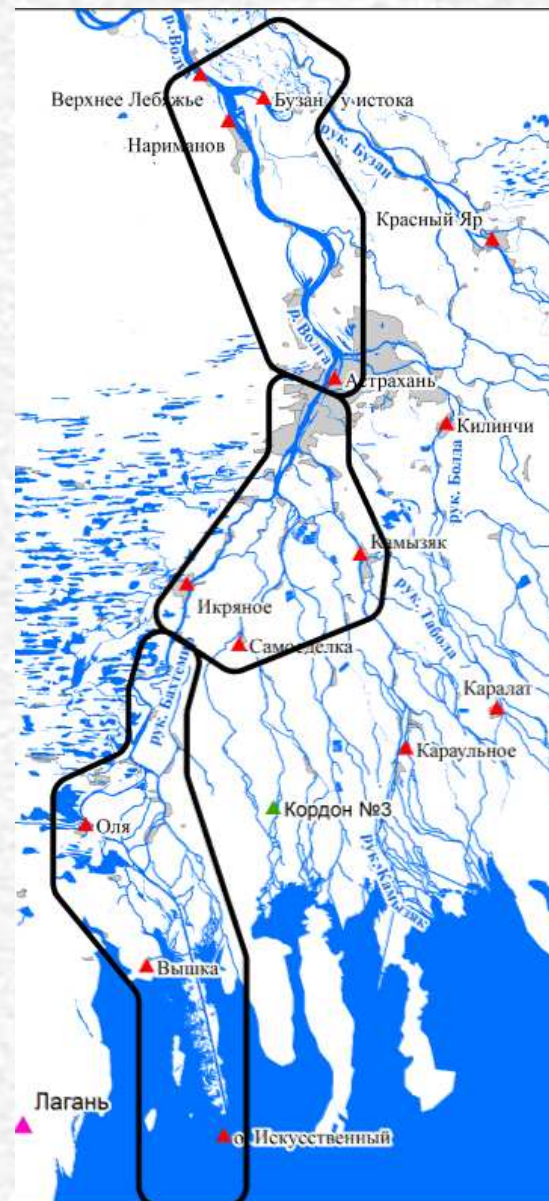
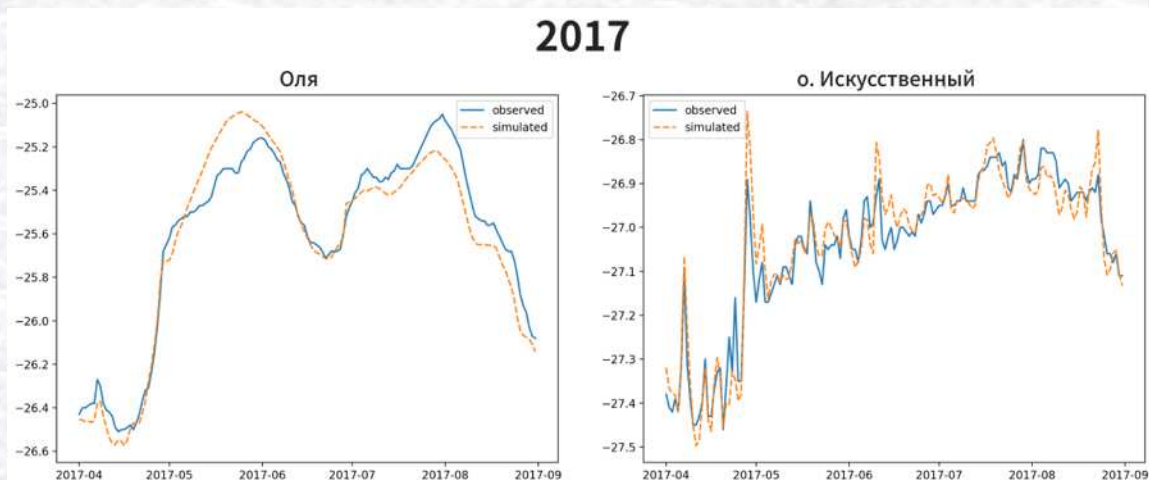
- Суммарный грузооборот портов Оля и Астрахань постоянно растёт
- При этом наблюдаются проблемы: суда садятся на мель, сталкиваются с очень высокими скоростями потока на ВКК
- В 2024 сбросы в нижний бьеф Волжской ГЭС несколько раз увеличивали для повышения уровня воды на Нижней Волге и пропуска судов

Моделирование дельты Волги и ВКК



На базе ПО DELFT3D в ФГБУ «ГОИН» разработана двумерная гидродинамическая модель дельты Волги

- Модель работает в связке с моделью Каспийского моря для получения значений уровня моря на нижней границе
- Расчётная сетка состоит из 632 тыс. ячеек
- Разрешение сетки от 30 до 100 м
- Модель отвалидирована по данным разных лет, позволяет достаточно точно воспроизводить уровень и расход воды на всех участках в области моделирования



Прогноз уровня воды на судоходных участках дельты Волги



- Модель позволяет выполнять краткосрочные прогнозы уровня воды на судоходных участках дельты, включая ВКК
- По результатам оперативного прогноза для марта-апреля 2024 года удалось добиться оправдываемости прогноза выше 60% по всей длине ВКК
- Средняя абсолютная ошибка прогноза уровня составляла от 1,4 см у порта Оля до 3,6 см в Верхнелебязьем (вершина дельты)
- Текущая схема расчетов предполагает трёхсуточный прогноз, однако при задании граничных условий с ориентировкой на сбросы в нижний бьеф Волжской ГЭС период прогноза может быть расширен



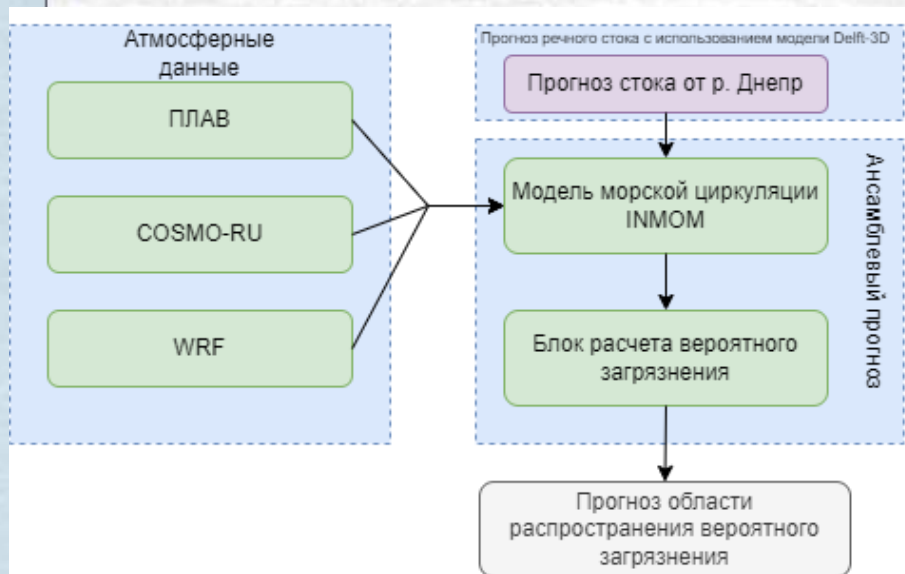
Моделирование распространения вероятного загрязнения вследствие разрушения Каховской ГЭС



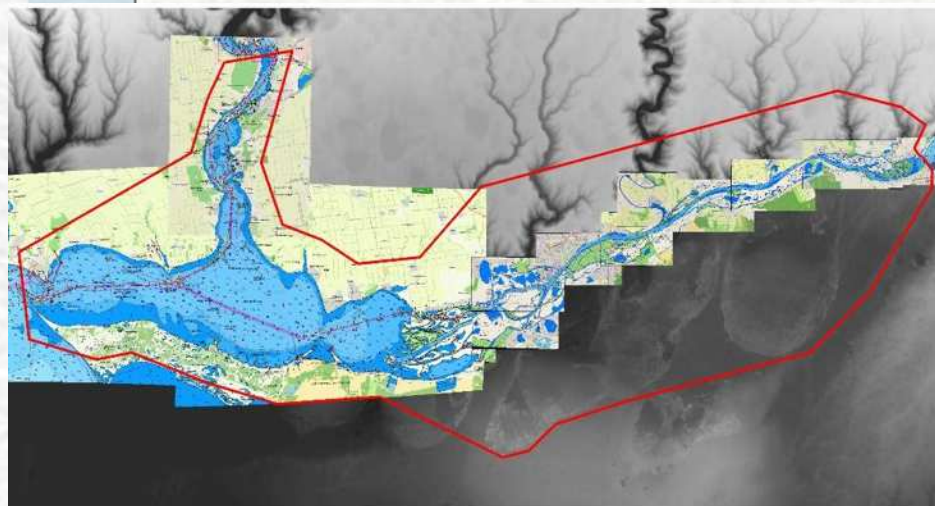
Прогноз распространения вероятного загрязнения вследствие разрушения Каховской ГЭС строился на основе прогнозной гидрометеорологической информации. **Прогноз выполнялся при дефиците фактических гидрометеорологических данных, отсутствии данных об объемах стока и концентрациях загрязняющих веществ.** Была оперативно разработана и внедрена модель прогноза распространения волны прорыва для расчета стока. Задача прогноза распространения вероятного загрязнения решалась с использованием ансамблевого метода с учетом использования различных источников данных атмосферного воздействия.

Основные характеристики:

- **Атмосферные данные:** модели ПЛАВ и COSMO-RU (Гидрометцентр РФ), WRF (ГОИН).
- **Данные по стоку р. Днепр:** гидродинамические прогнозы стока (ГОИН).
- **Гидродинамическая модель и модель загрязняющих веществ:** INMOM (пространственное разрешение – 1 км) (ГОИН).
- **Заблаговременность прогноза:** 10 суток.
- **Результаты расчетов:** карты вероятного распространения загрязнения с учетом неопределенностей в данных атмосферного воздействия (**ансамблевый метод**).
- **Период обновления информации:** 1 раз в сутки.

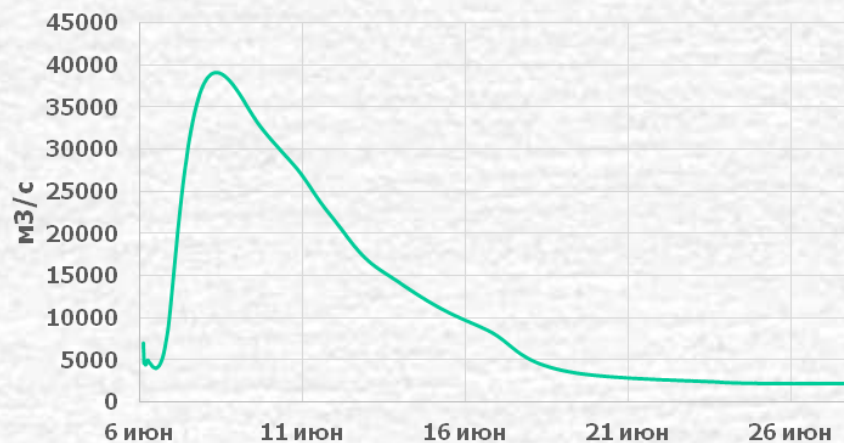


Двумерное гидродинамическое моделирование волны прорыва вследствие разрушения Каховской ГЭС

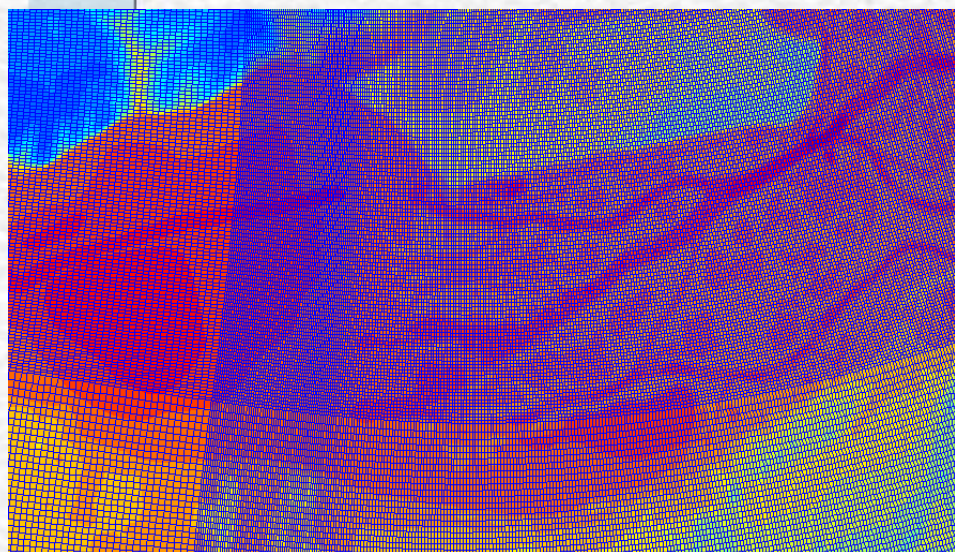


Сведения о рельефе из открытых источников

Модельный гидрограф в Кинбурнском проливе



По результатам моделирования сценариев развития волны прорыва плотины Каховской ГЭС были получены характеристики потока в нижнем бьефе Каховской ГЭС, в том числе гидрограф в Кинбурнском проливе (на рисунке). Максимальный расход воды в створе пролива составил около 40 тыс. м³/с, он зафиксирован утром 8 июня.



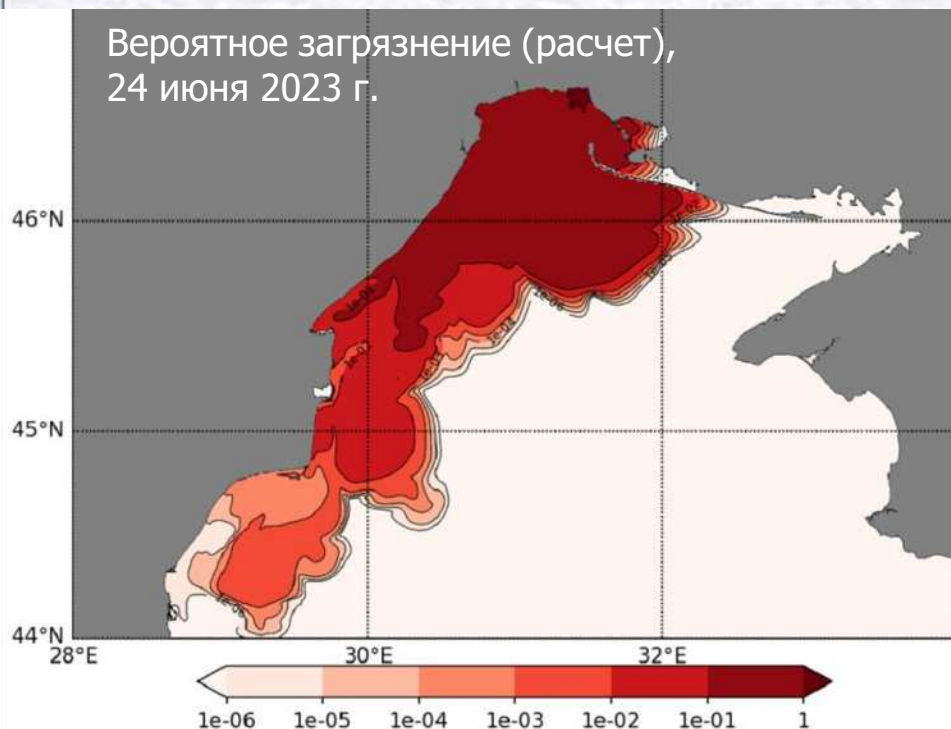
Расчётная сетка с разрешением от 50x50 до 300x300 м

Моделирование уровней воды у г.Херсон



Результаты моделирования уровней воды у г. Херсон соответствуют наблюдаемым значениям

Моделирование распространения вероятного загрязнения вследствие разрушения Каховской ГЭС



Спасибо за внимание!

