



Оценка изменений характеристик наводнений с учётом изменений климата и антропогенного преобразования пойм

Крыленко И.Н.^{1,2}

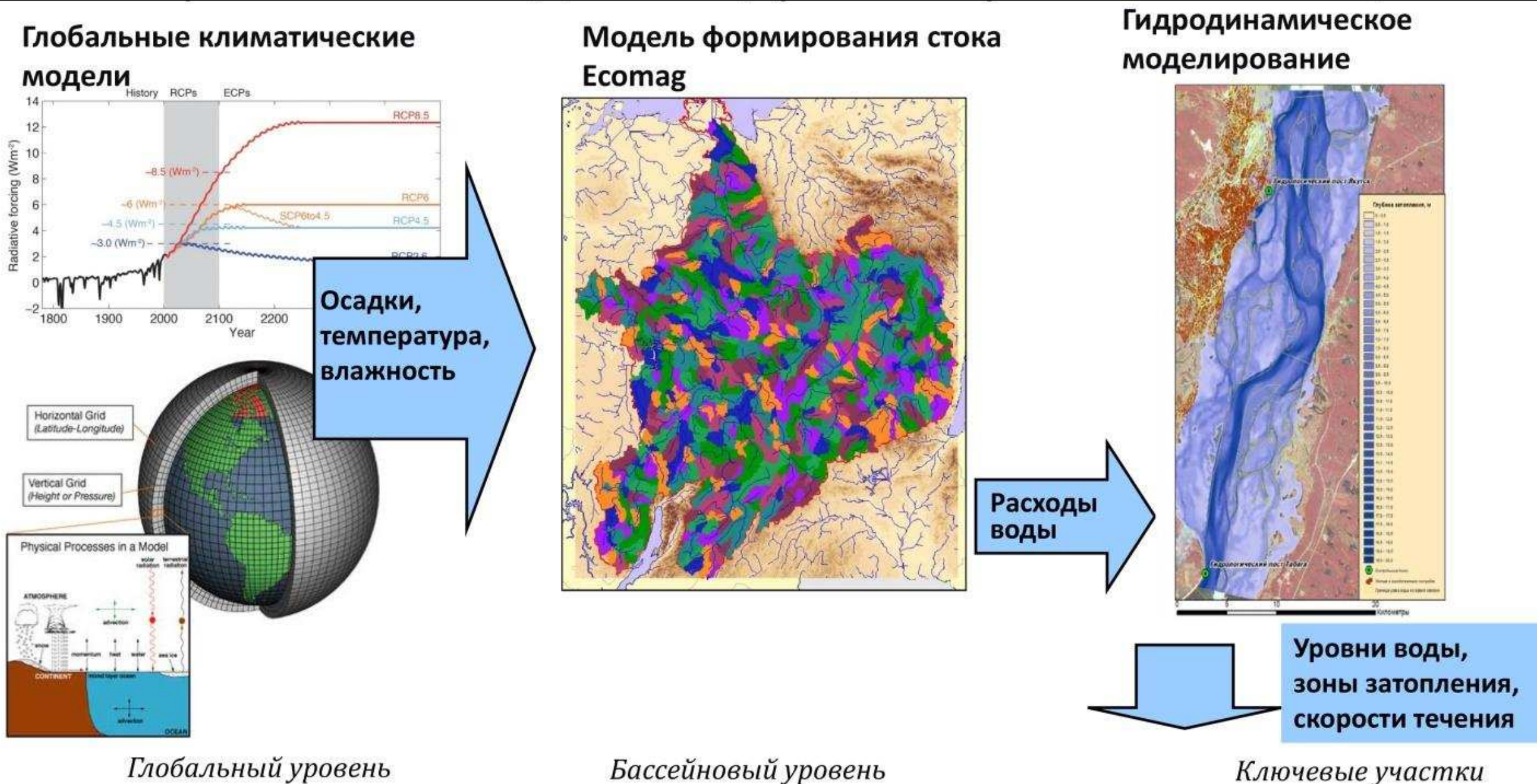
1 – МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

2 – Институт водных проблем РАН



1. Методика исследований

Схема применения моделей гидрометеорологического цикла



Основной целью исследования является оценка возможных изменений масштабов и характеристик наводнений при изменении климата и антропогенной деятельности

Моделирование характеристик затопления

STREAM_2D и STREAM_2D CUDA

с ледовым блоком (В.В. Беликов, А.И. Алексюк)

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial b'}{\partial x} + \frac{\tau_1^b + \tau_1^i}{\rho}, \\ \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial\left(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2\right)}{\partial y} = -gh \frac{\partial b'}{\partial y} + \frac{\tau_2^b + \tau_2^i}{\rho}. \end{cases}$$

где (x, y) и t координаты и время;

$u(x, y, t)$, $v(x, y, t)$ осредненные по вертикали компоненты скорости

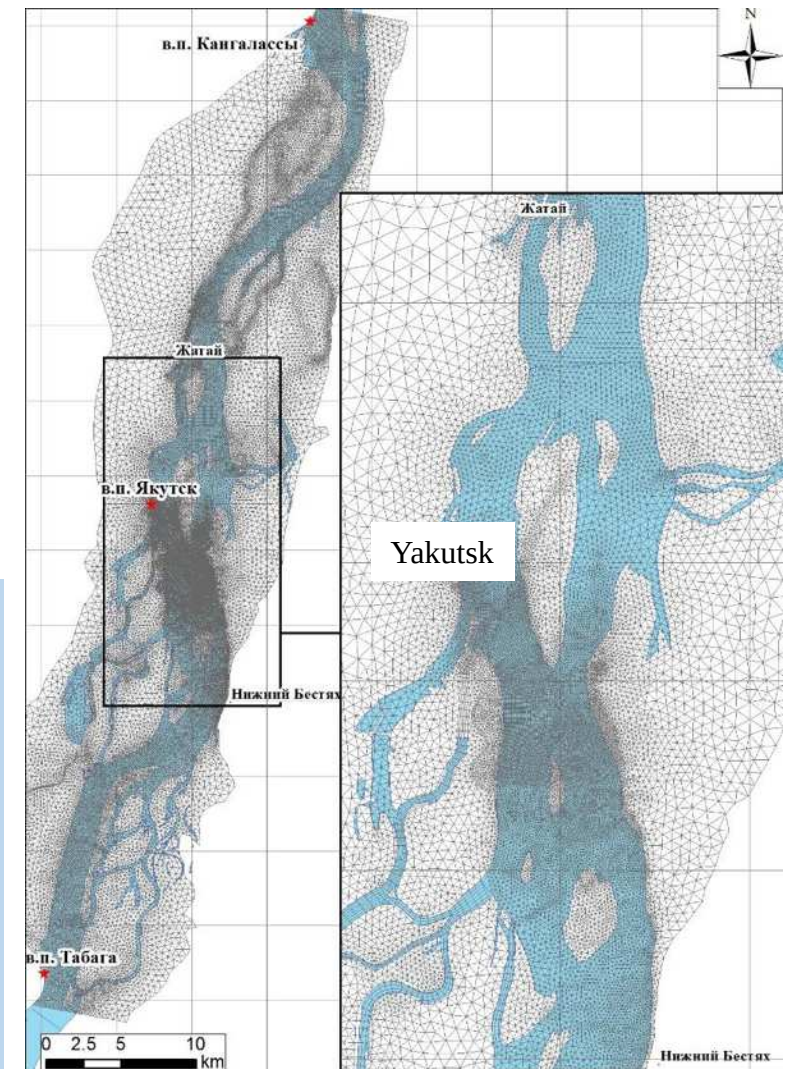
$h(x, y, t)$ глубина;

$b' = b + \rho_i H / \rho$, где b отметки дна; ρ и ρ_i плотность воды и льда, H – толщина льда;

(τ_1^b, τ_2^b) и (τ_1^i, τ_2^i) -касательные напряжения на поверхности дна и льда;

g – ускорение свободного падения.

Расчетная сетка

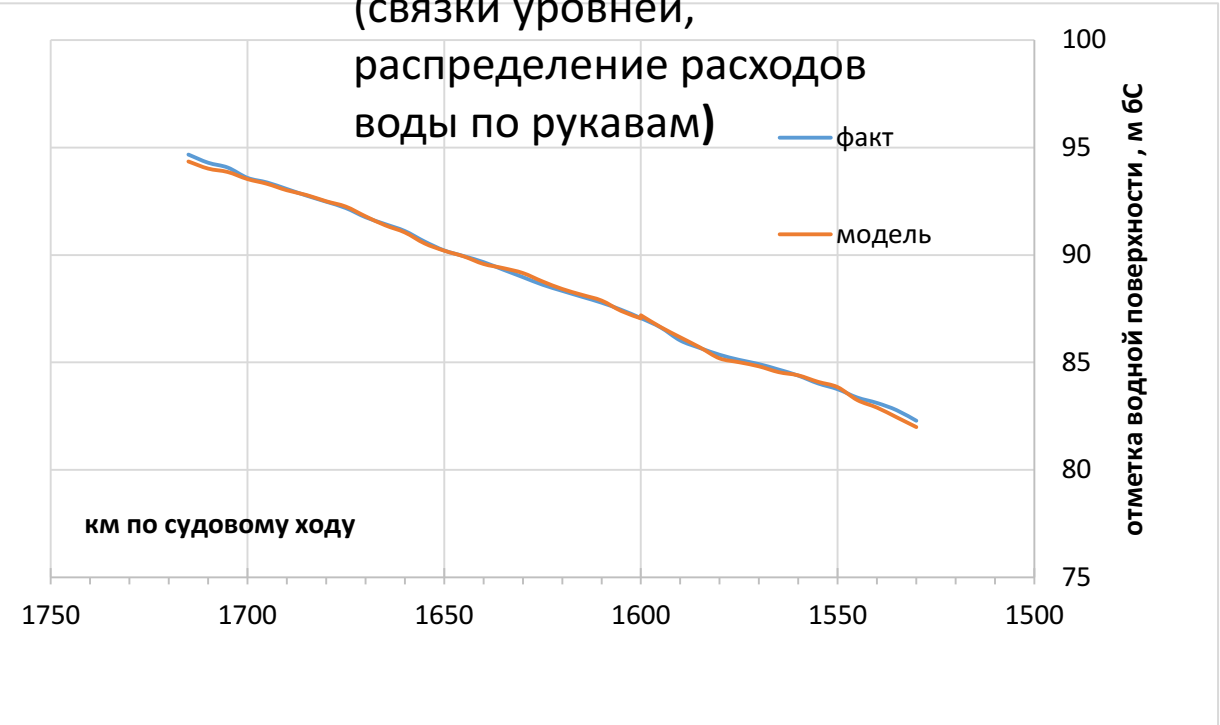


Адаптация гидродинамической модели за исторический период наблюдений

а) полевые данные

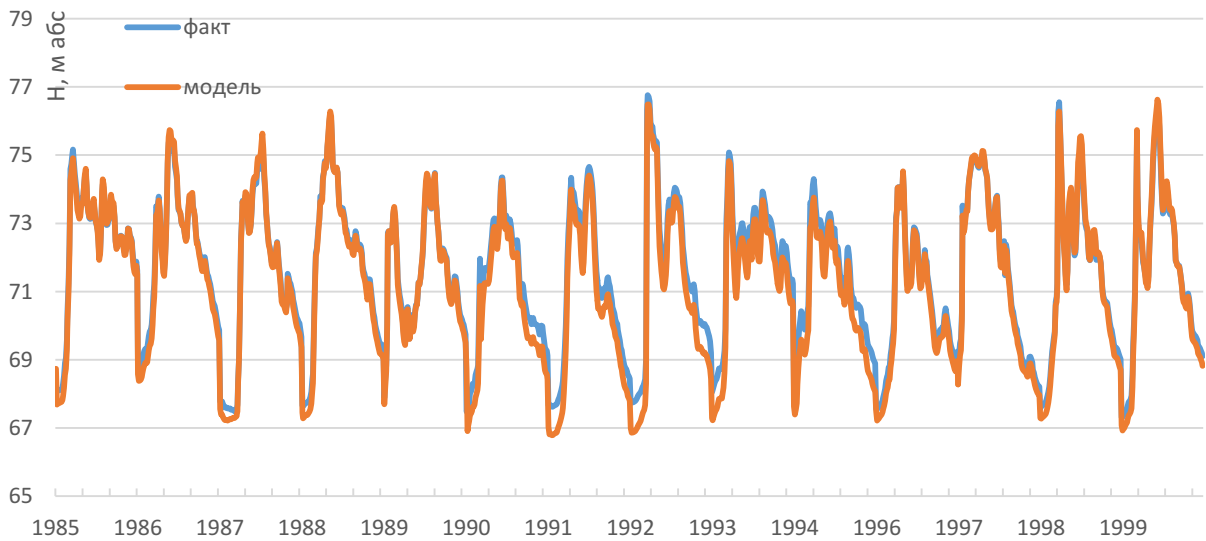
(связки уровней,

распределение расходов
воды по рукавам)



Продольные профили р. Лены по полевым данным 2022 г и результатам моделирования

б) многолетние ряды наблюдений

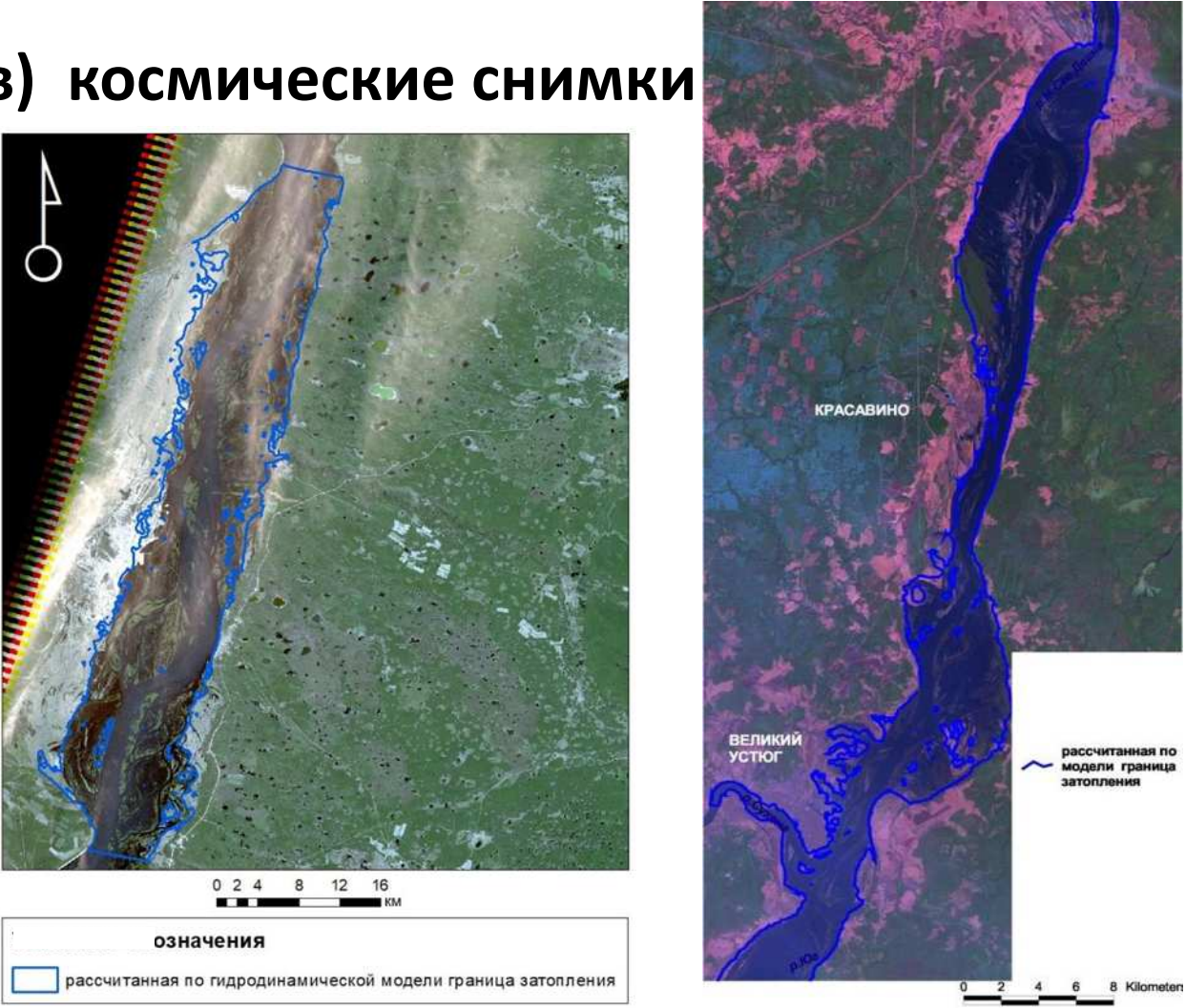


Смоделированные и фактические уровни воды за период половодий по г.п. р. Сухона - Великий Устюг

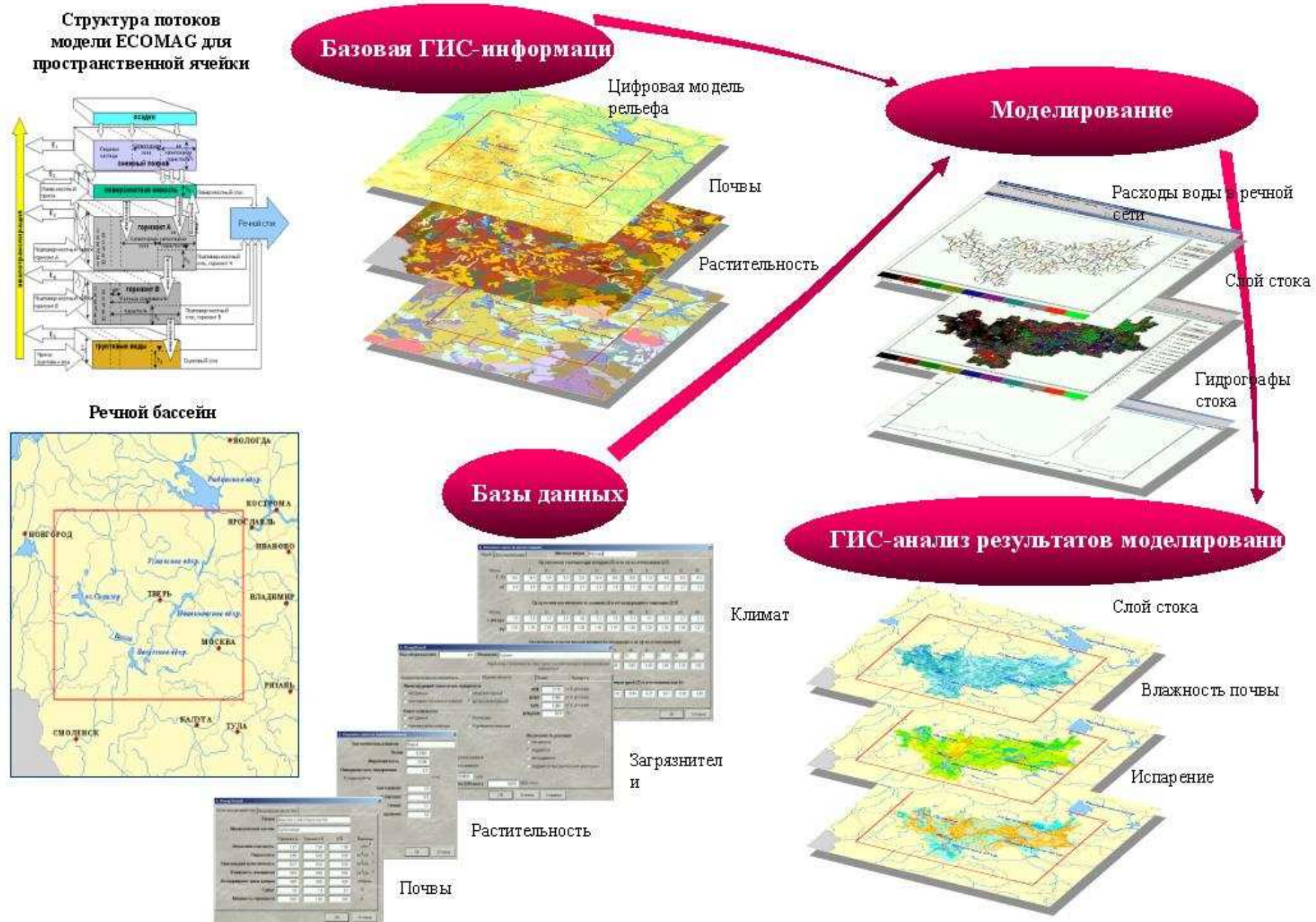
Оценка качества моделирования ежедневных уровней воды на ключевых участках

Река	Пост	Период	Критерий NSE
Лена	Якутск	1982 – 2000	0.90
		2001 – 2015	0.93
Сухона	Великий Устюг	1980 – 1998	0.91
		1999 – 2016	0.85
Томь	Томск - водопост	1985-1999	0.97
		2000-2015	0.98
Томь	Томск – гидроствор	1985-1999	0.89
		2000-2015	0.88

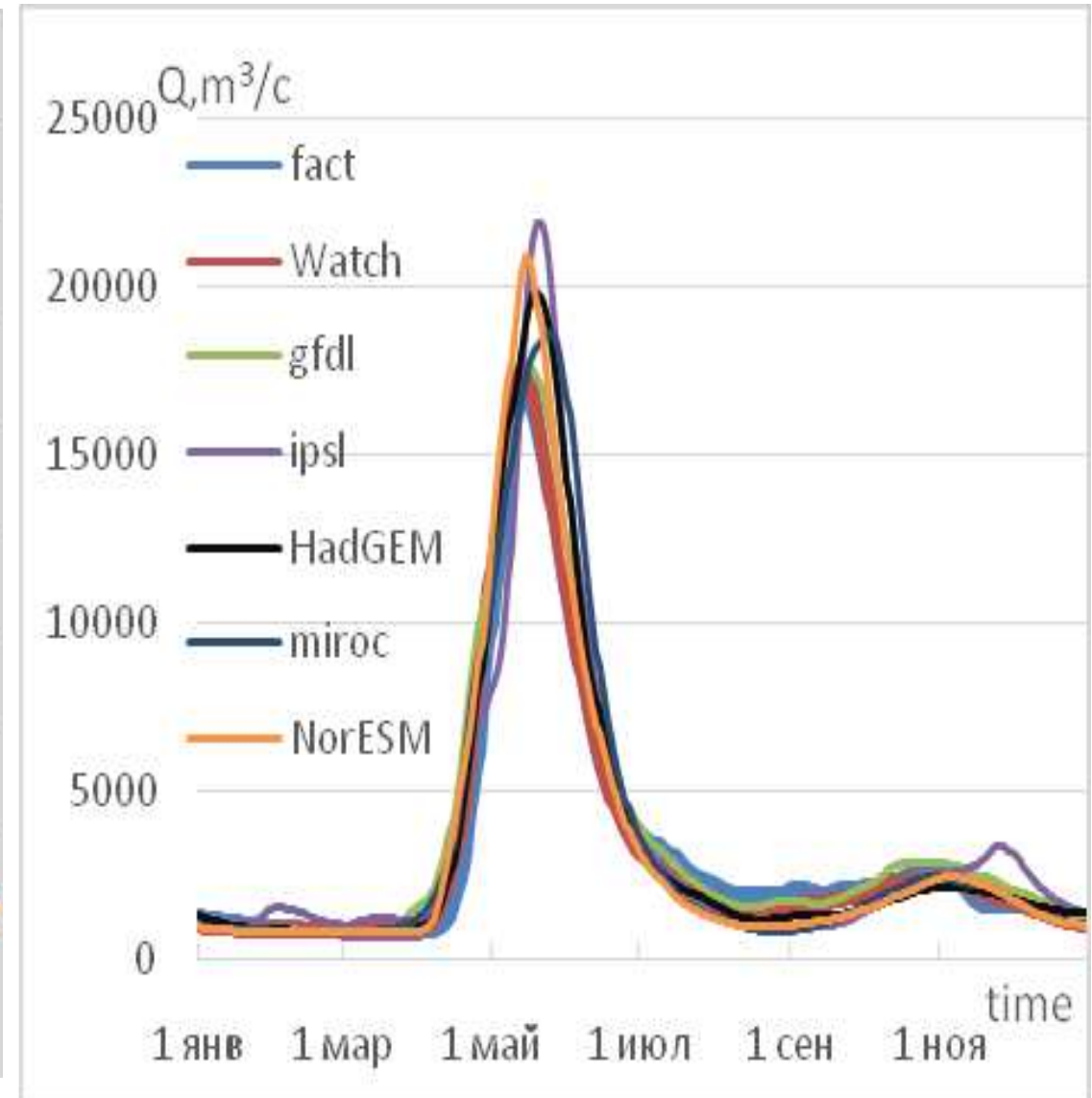
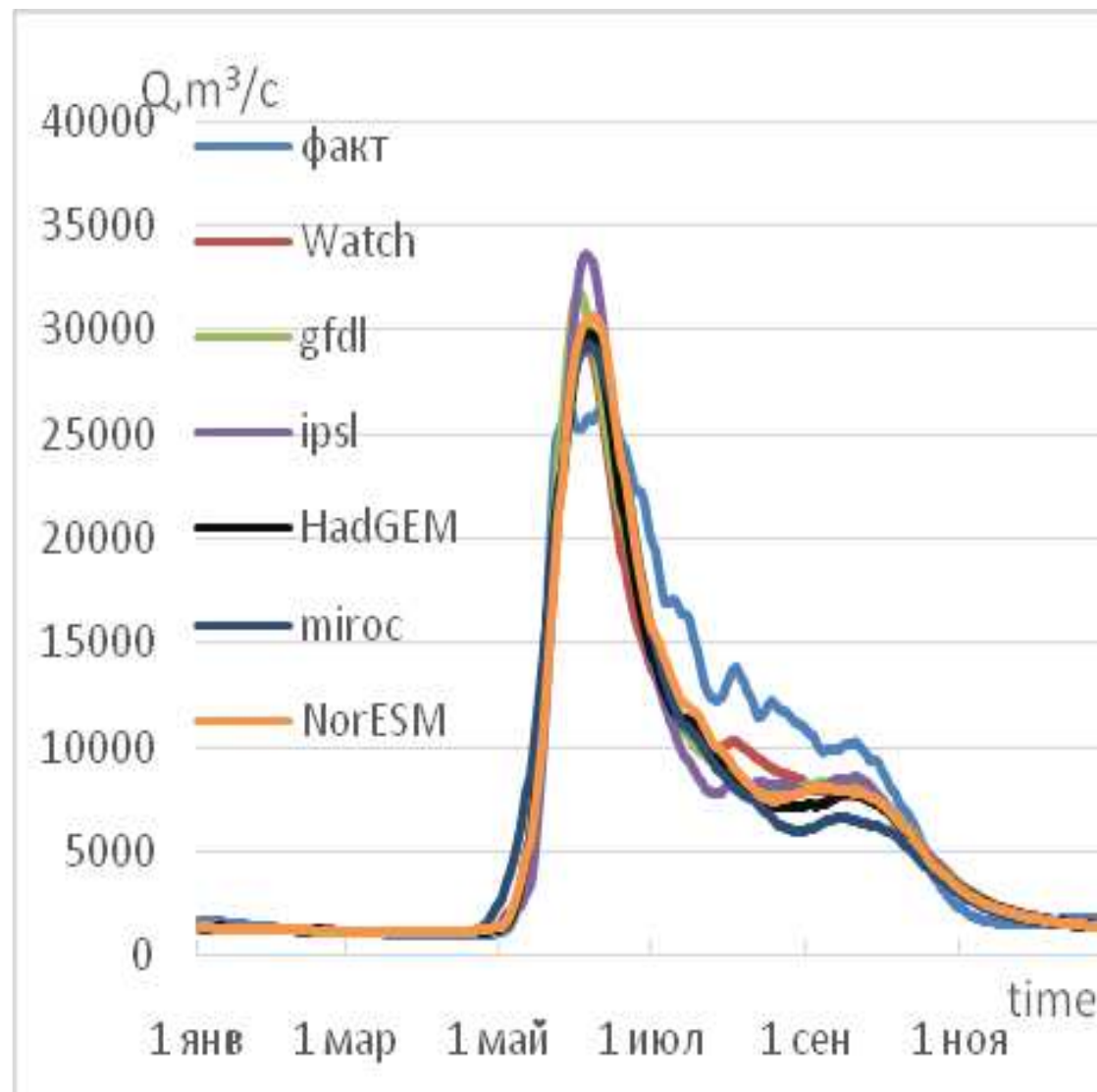
в) космические снимки



ЕСОМАГ – информационно-аналитический комплекс для моделирования речных бассейнов

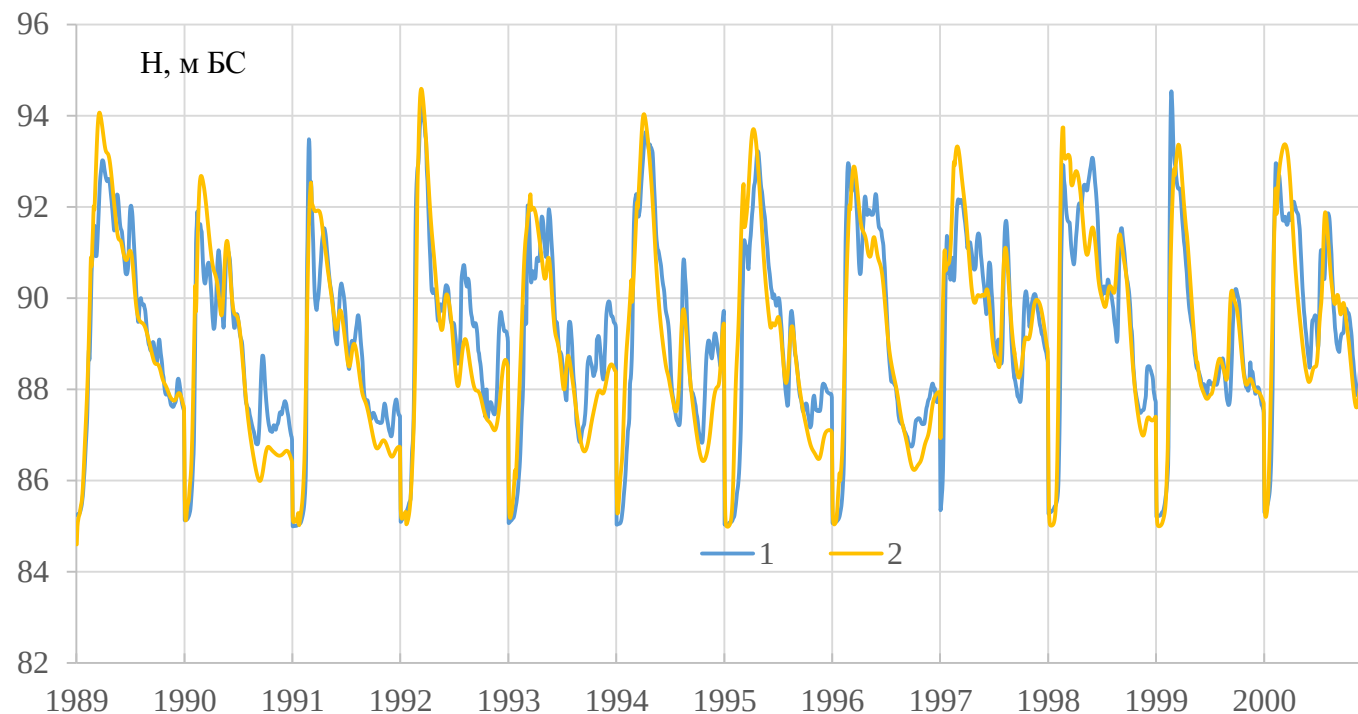


Моделирование формирования стока за исторический период

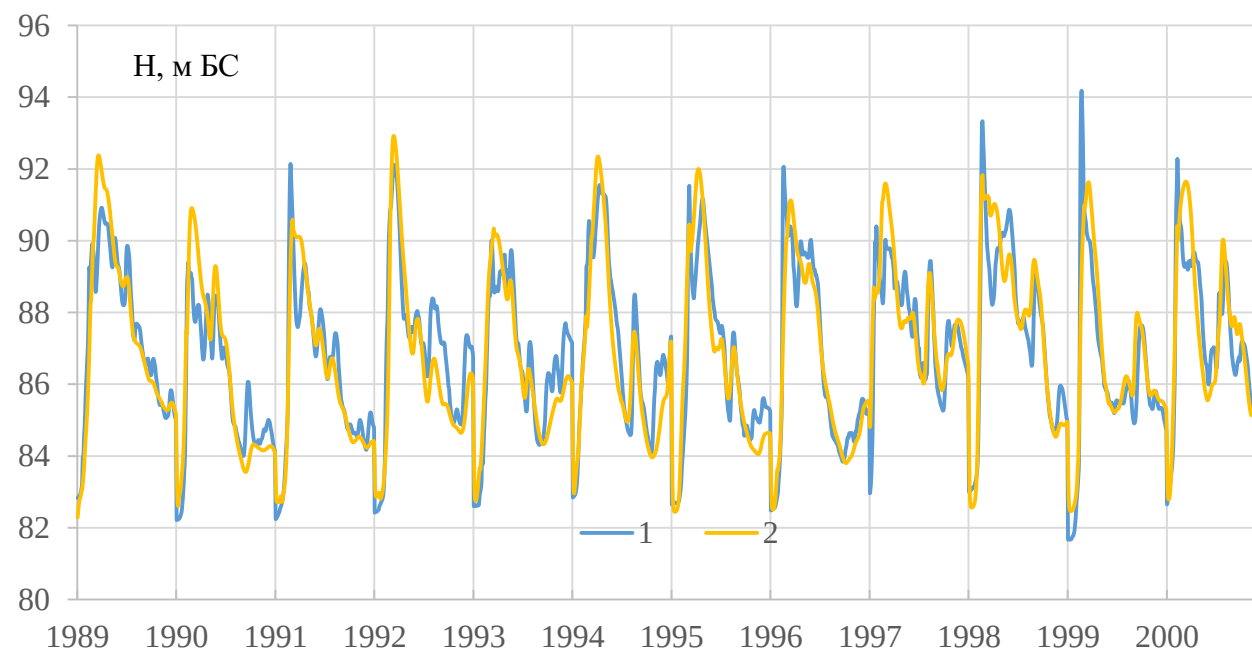


Среднемноголетние гидрографы, полученные на основе модели ЕСОМАГ по данным климатических моделей и реанализа WATCH за период с 1971 по 2001 год: (слева) р. Лена – г.п. Табага, (справа) Северная Двина –г.п. Усть-Пинега.

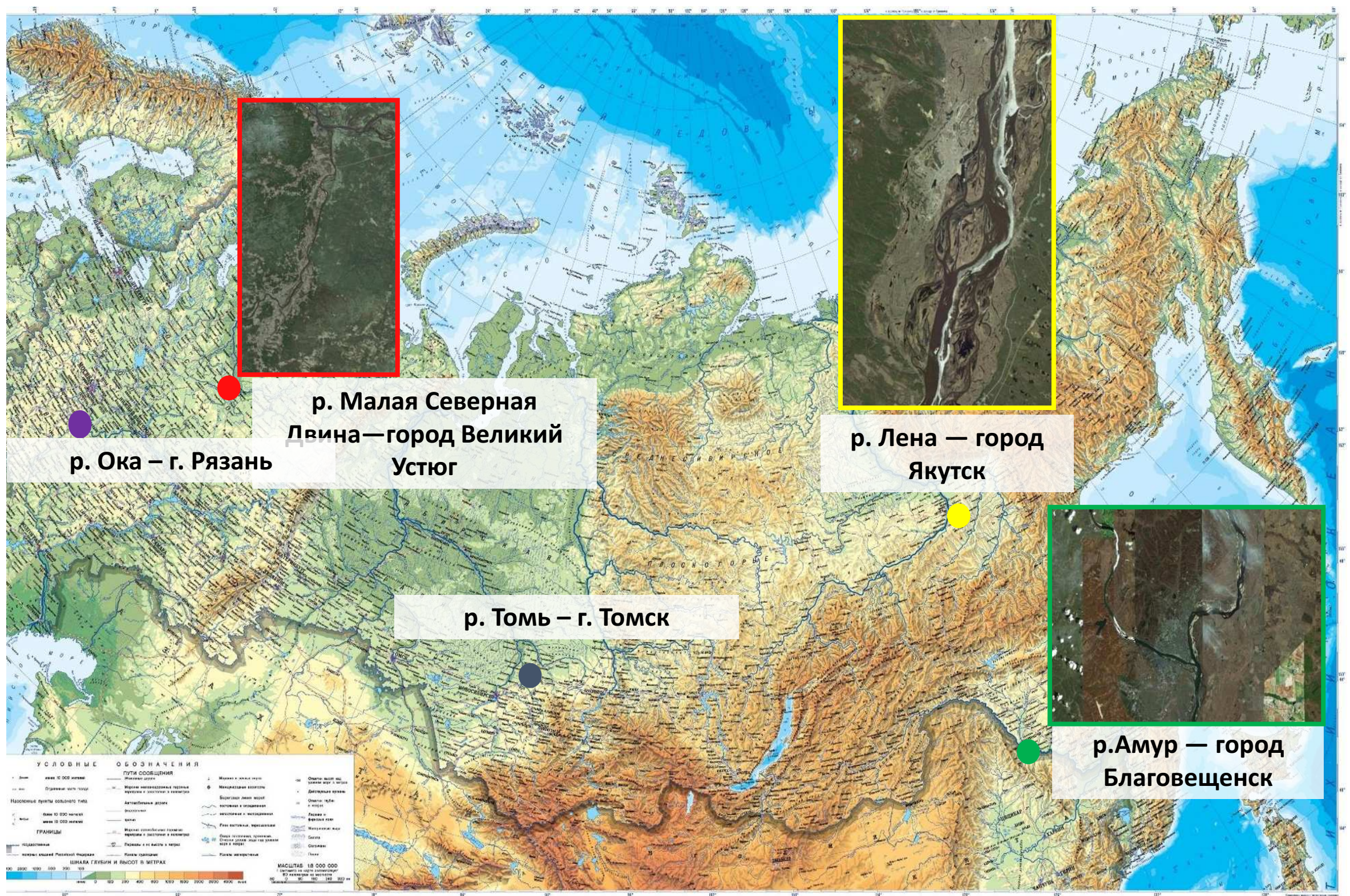
Результаты совместного применения модели формирования стока и гидродинамической модели за исторический период



**Ход уровней по г.п р. Лена - Табага и
р. Лена - Якутск: 1 – фактический,
2 – смоделированный на основе
гидродинамической модели
STREAM_2D при использовании в
качестве верхнего граничного
условия расходов воды из модели
ECOMAG на основе
метеорологических данных
реанализа WATCH
NSE = 0.88**



Ключевые участки

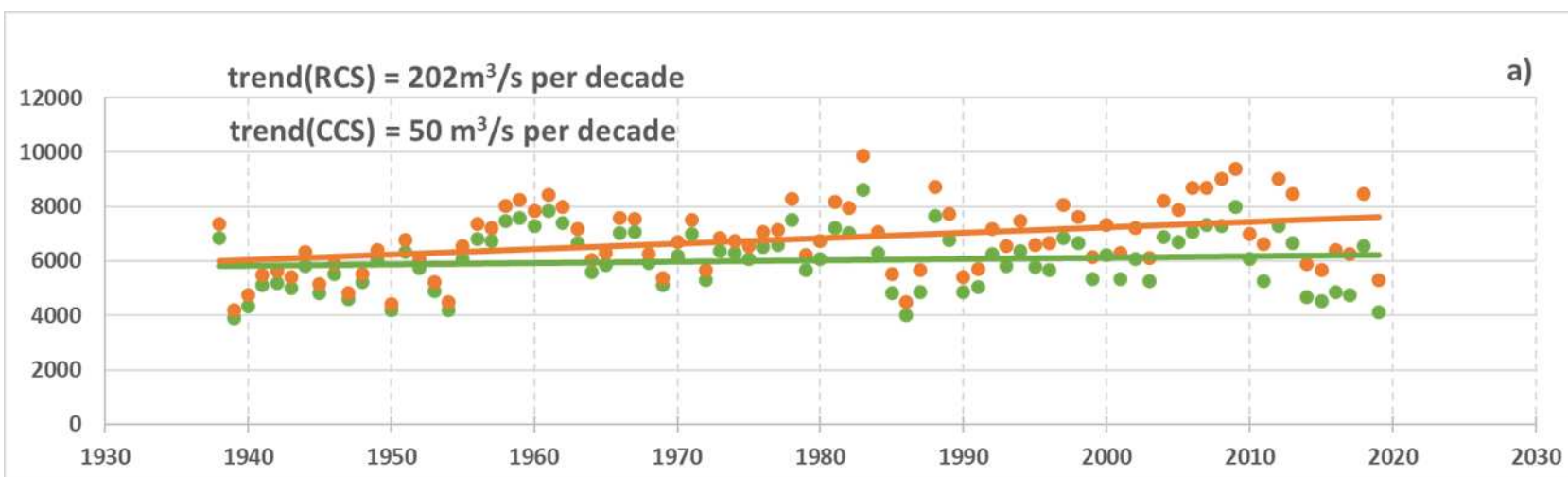


2. Основные факторы, обуславливающие изменения характеристик затопления

Основные факторы, обуславливающие изменения характеристик затопления

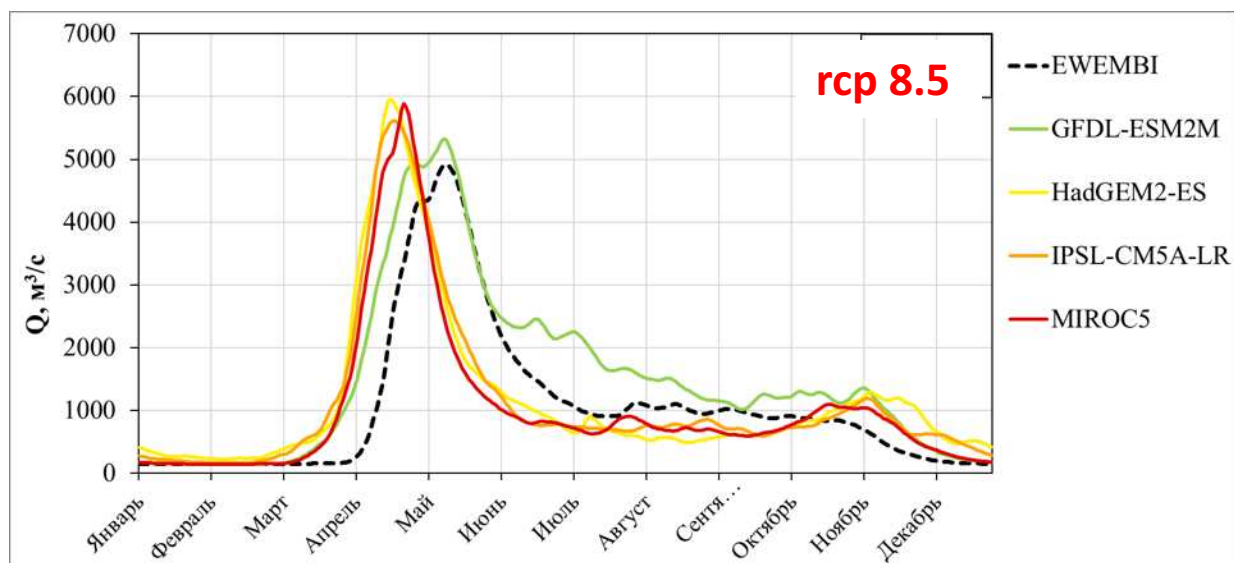
Изменения стока при изменениях климата

Исторический период



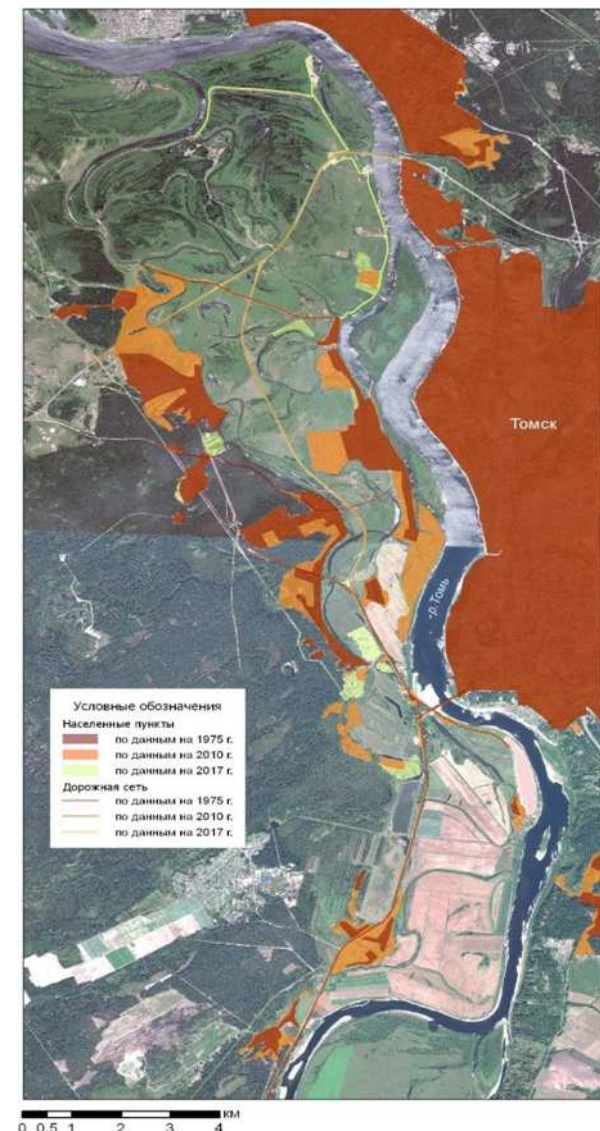
Многолетние изменения годового стока р. Лены, рассчитанные с учетом климатических изменений (оранжевая линия) и в отсутствие этих изменений (зеленая линия)

Период климатического прогноза



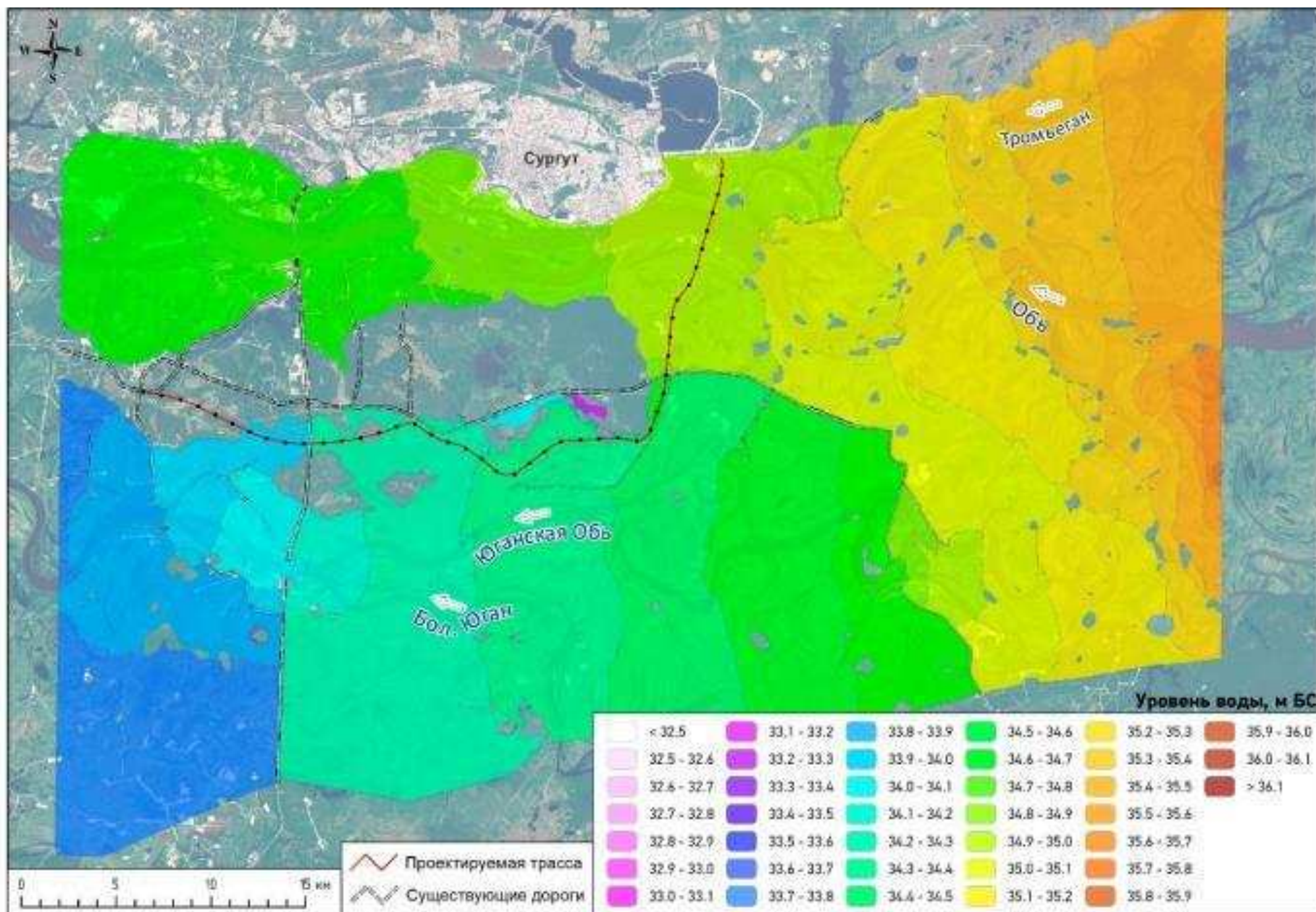
Возможные изменения стока р.Томи в конце 21в.

Изменение антропогенной нагрузки на речные поймы

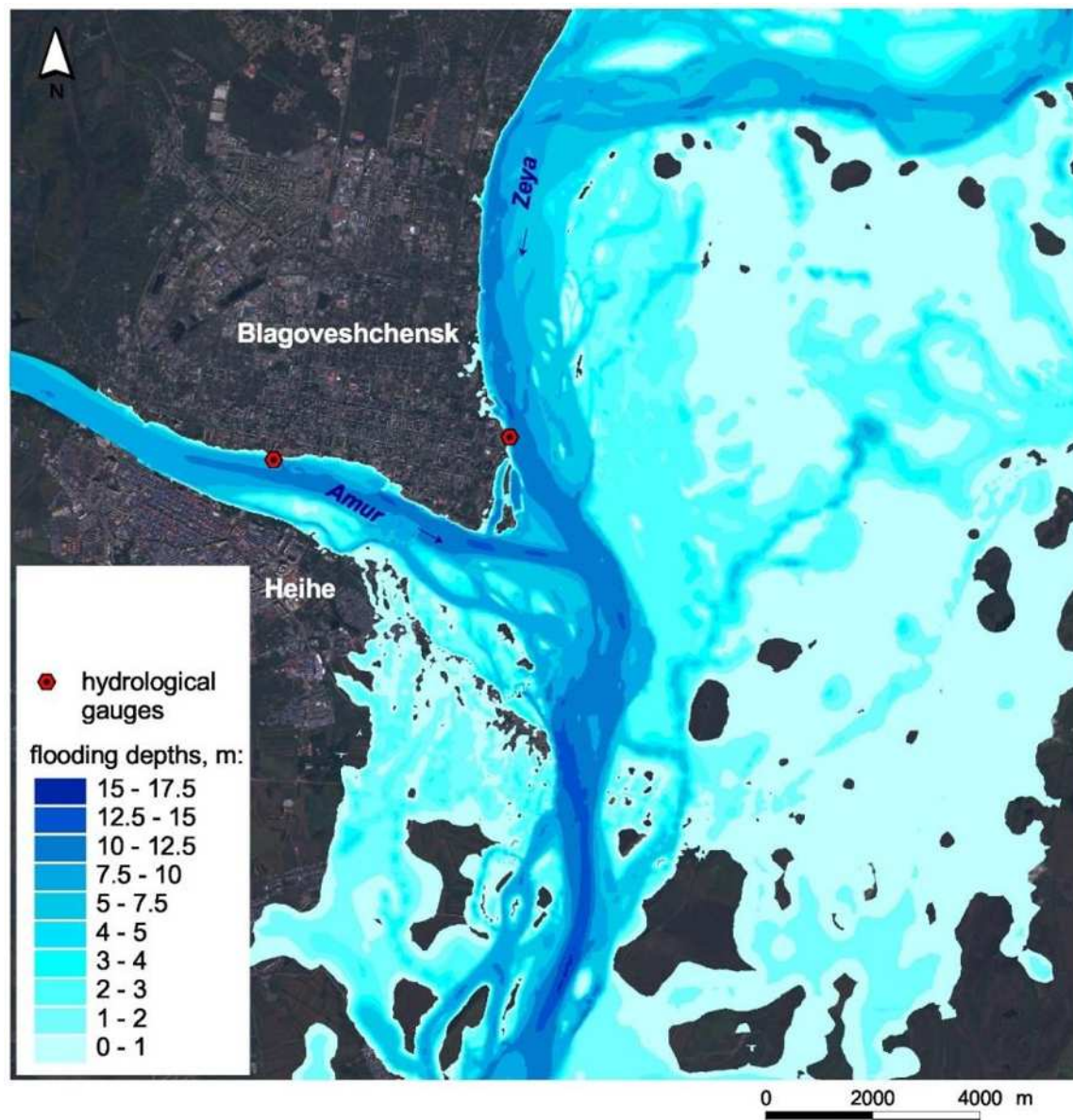


сопоставление границ населенных пунктов и дорожной сети на пойме р. Томи за 1975 – 2017 гг.

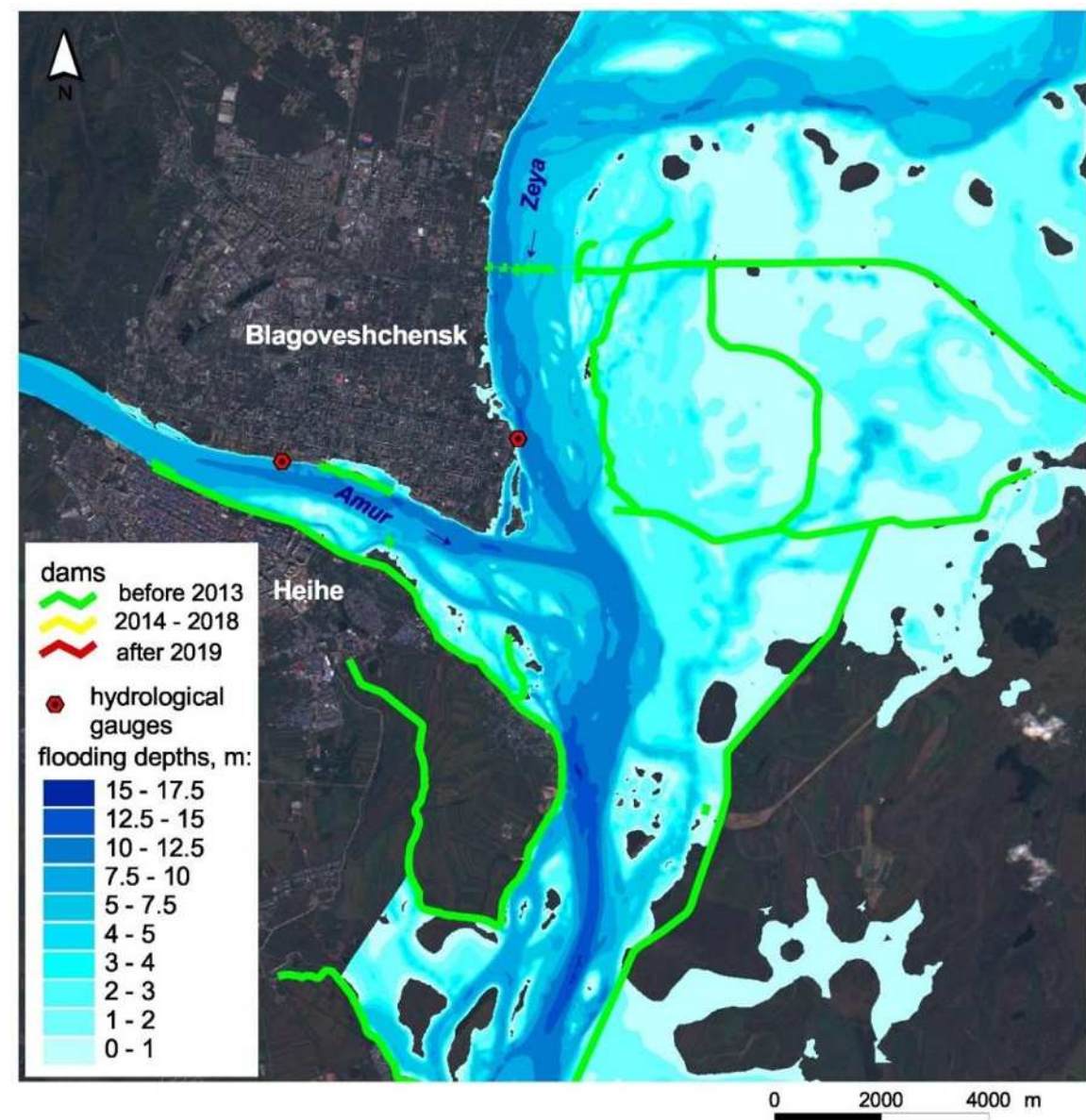
2.1. Антропогенная нагрузка на пойму



Смоделированные уровни воды (р. Оби у г. Сургут при максимальном расходе воды 1% обеспеченности ($22300 \text{ м}^3/\text{с}$))

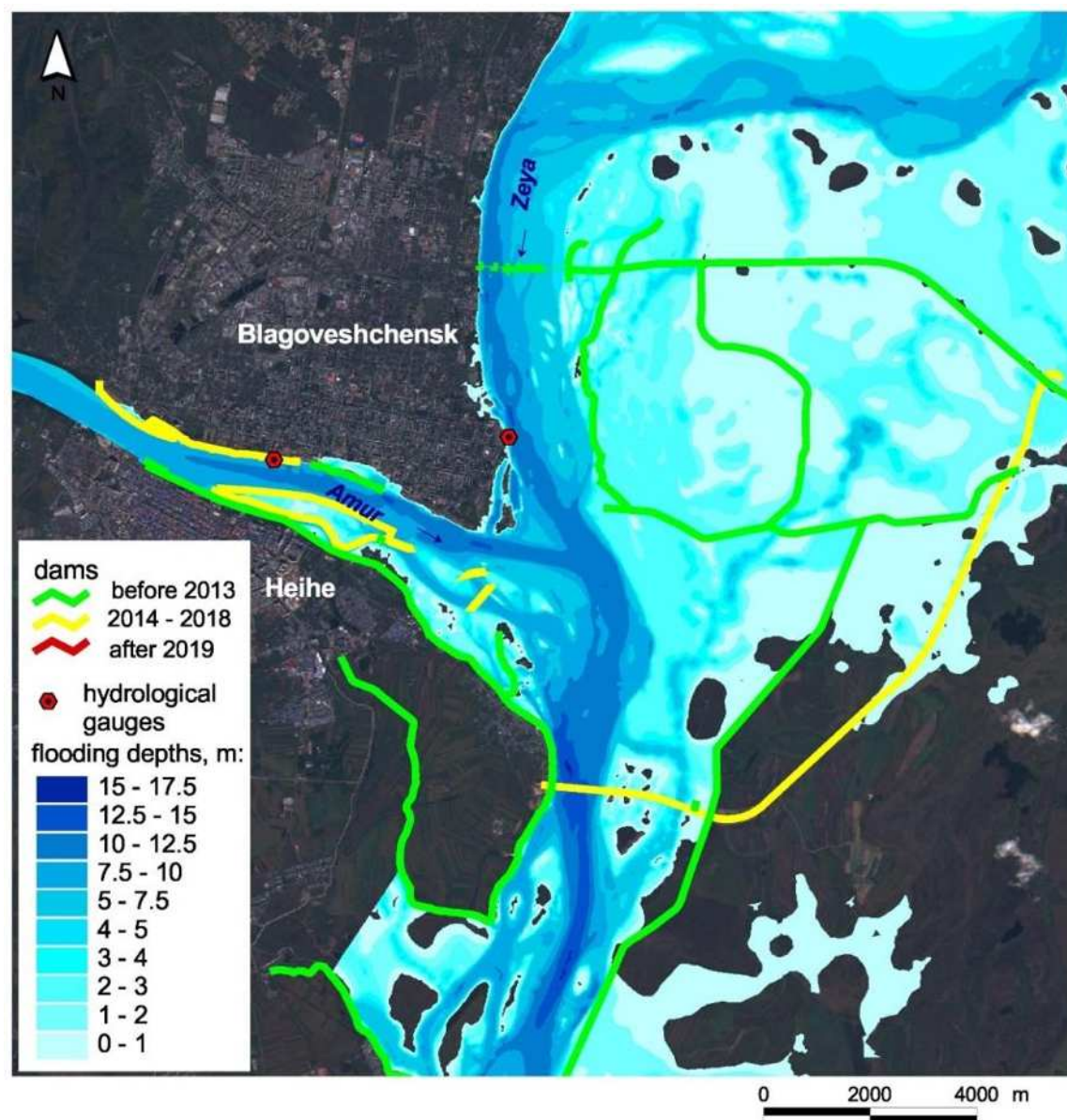


Естественные условия,
до освоения пойм

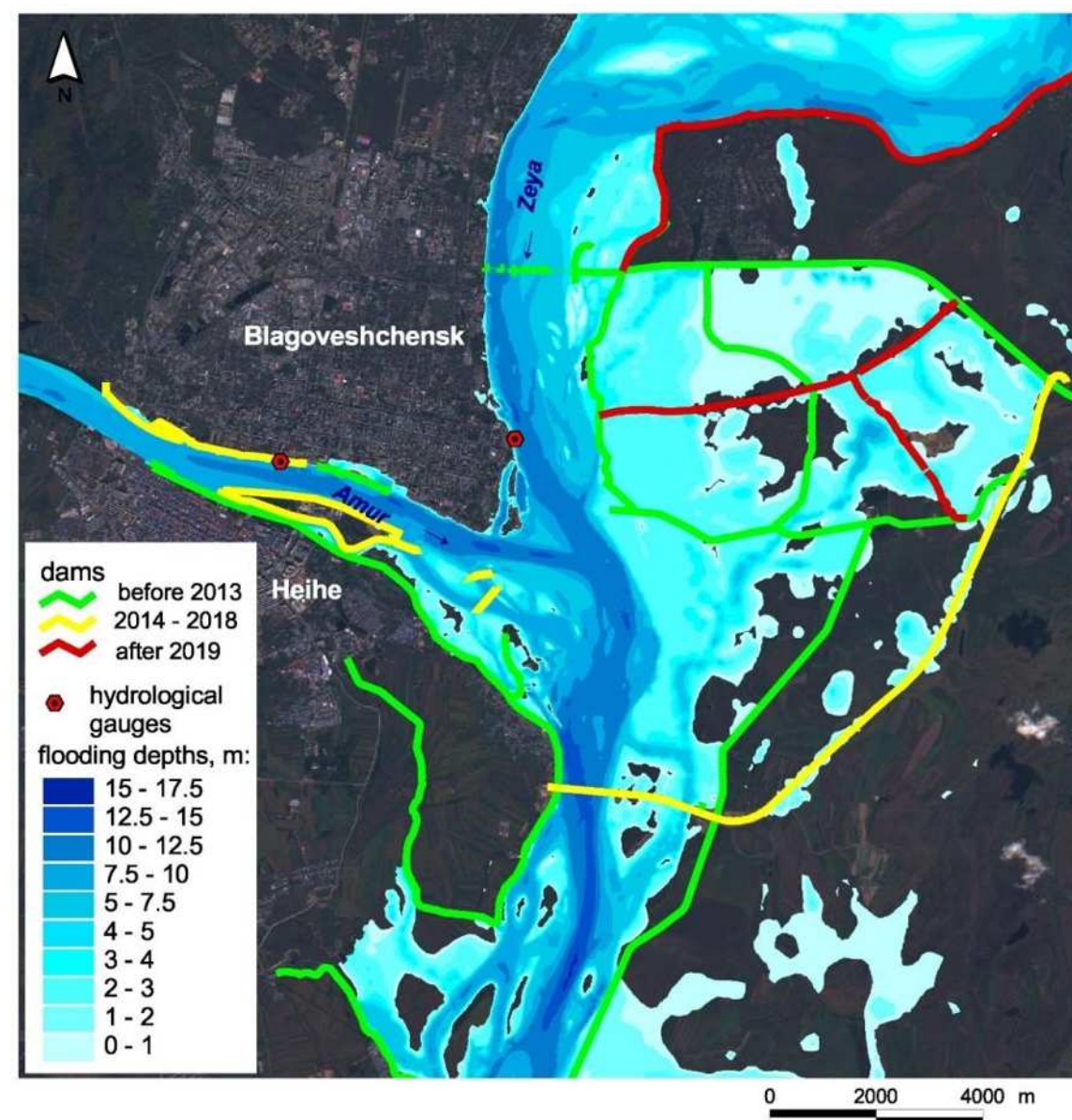


освоение до 2013г.

Затопление в узле слияния рек Амура и Зеи



сооружения 2013 - 2018гг.

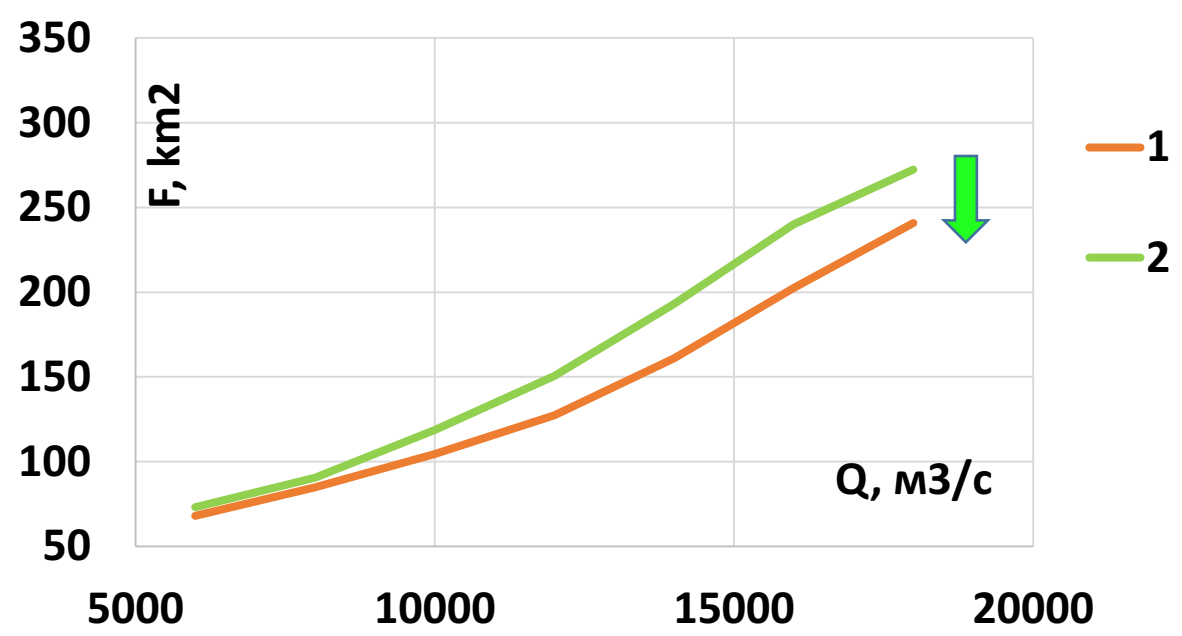


после 2018г

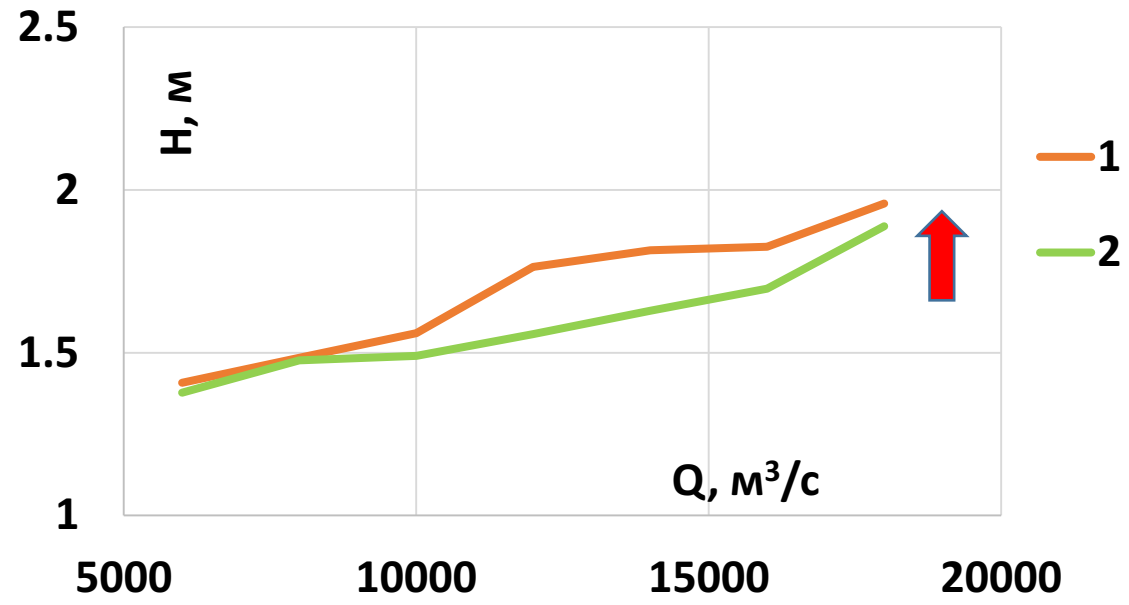
Затопление в узле слияния рек Амура и Зеи

Зависимости основных характеристик затопления пойм р. Амур у г. Благовещенск от расхода воды в естественных условиях и после освоения пойм

Площадь затопления

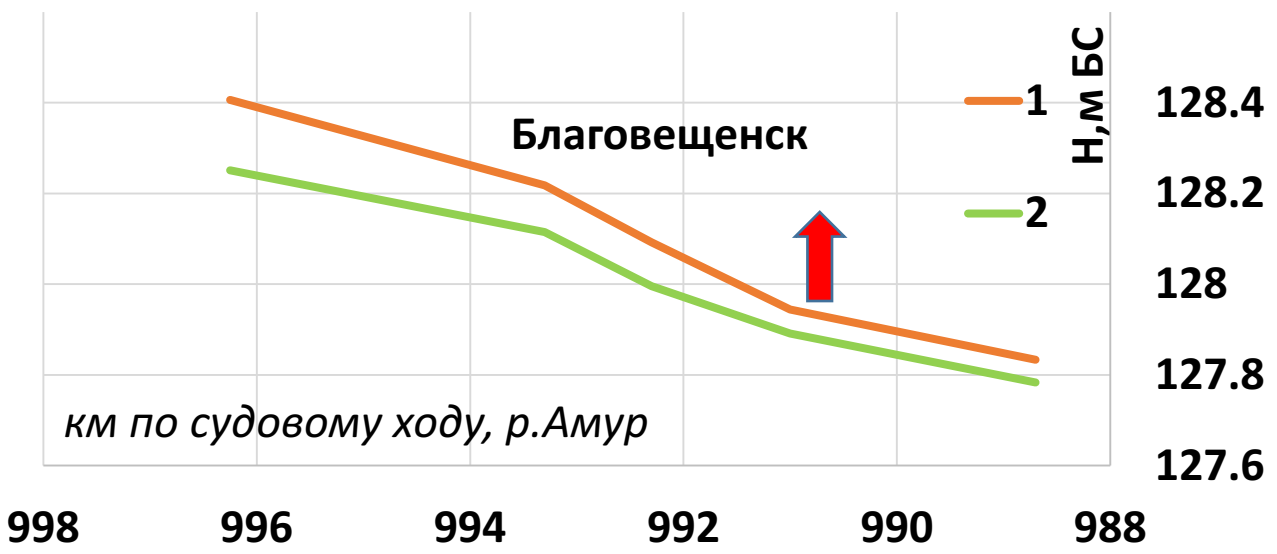


Средняя глубина затопления пойм



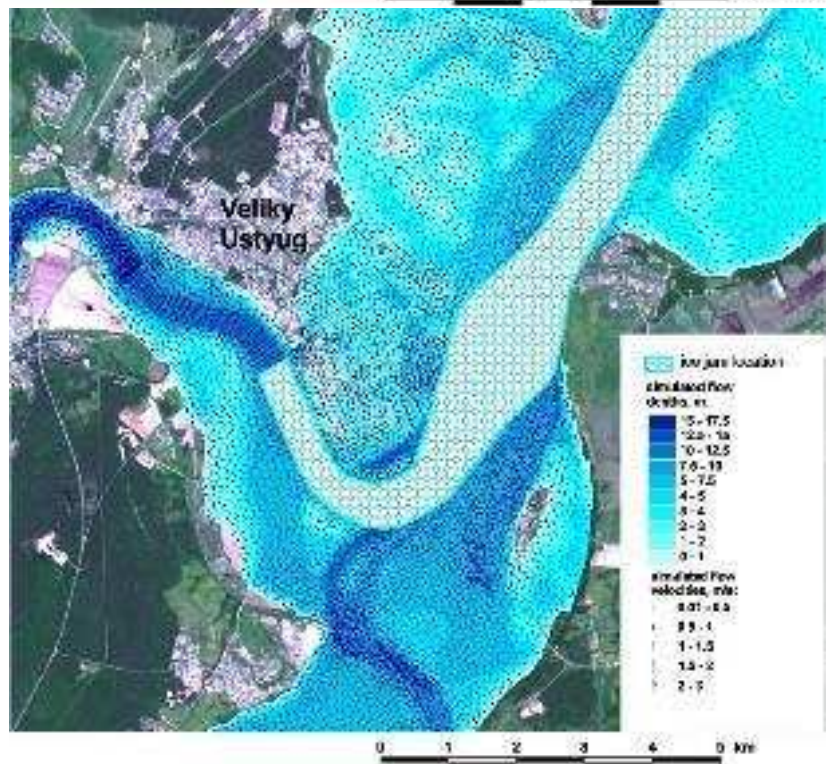
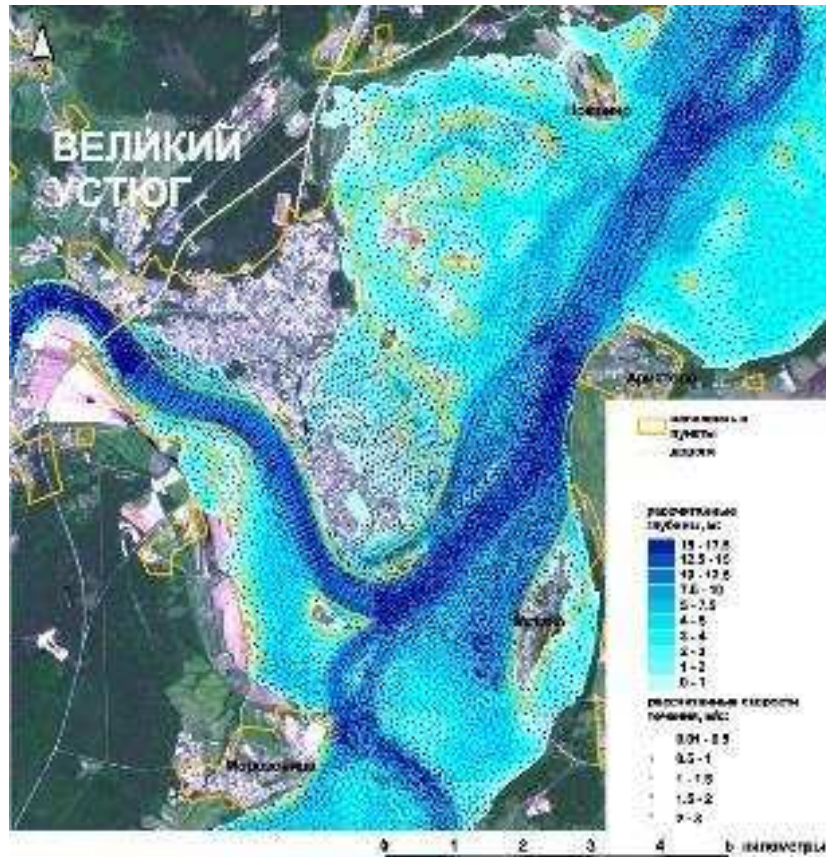
- естественные условия до освоения пойм
- современные условия

Уровни воды

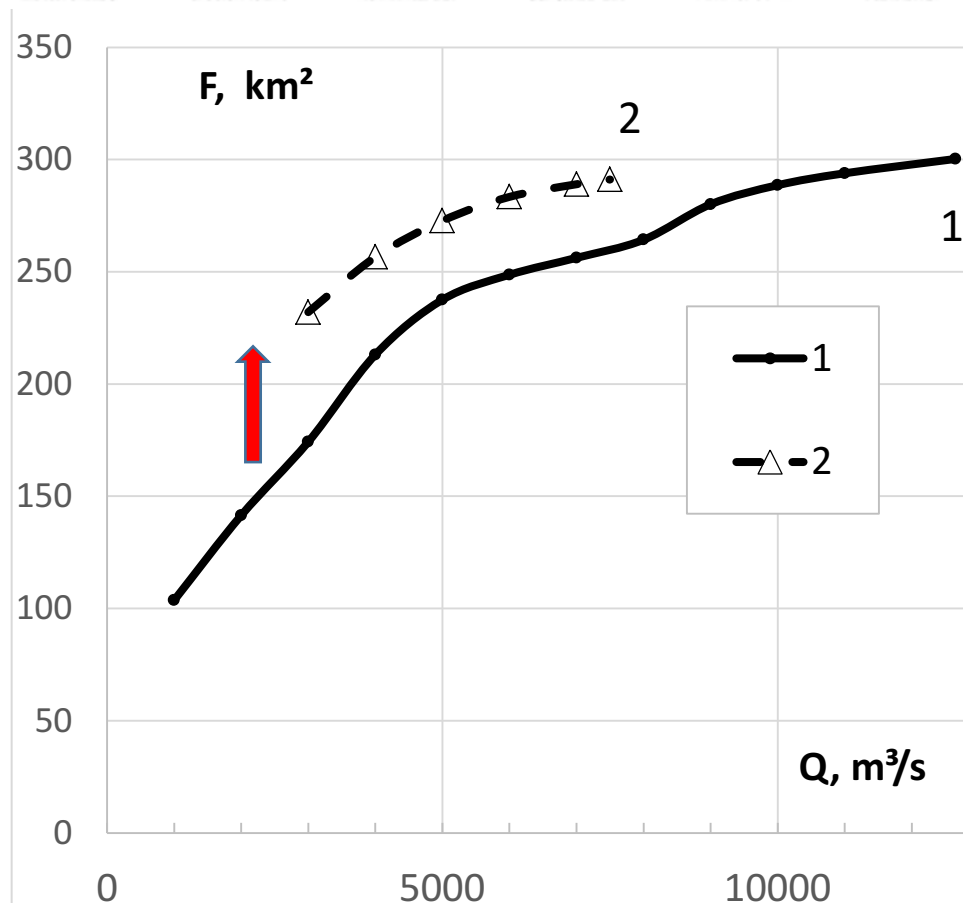
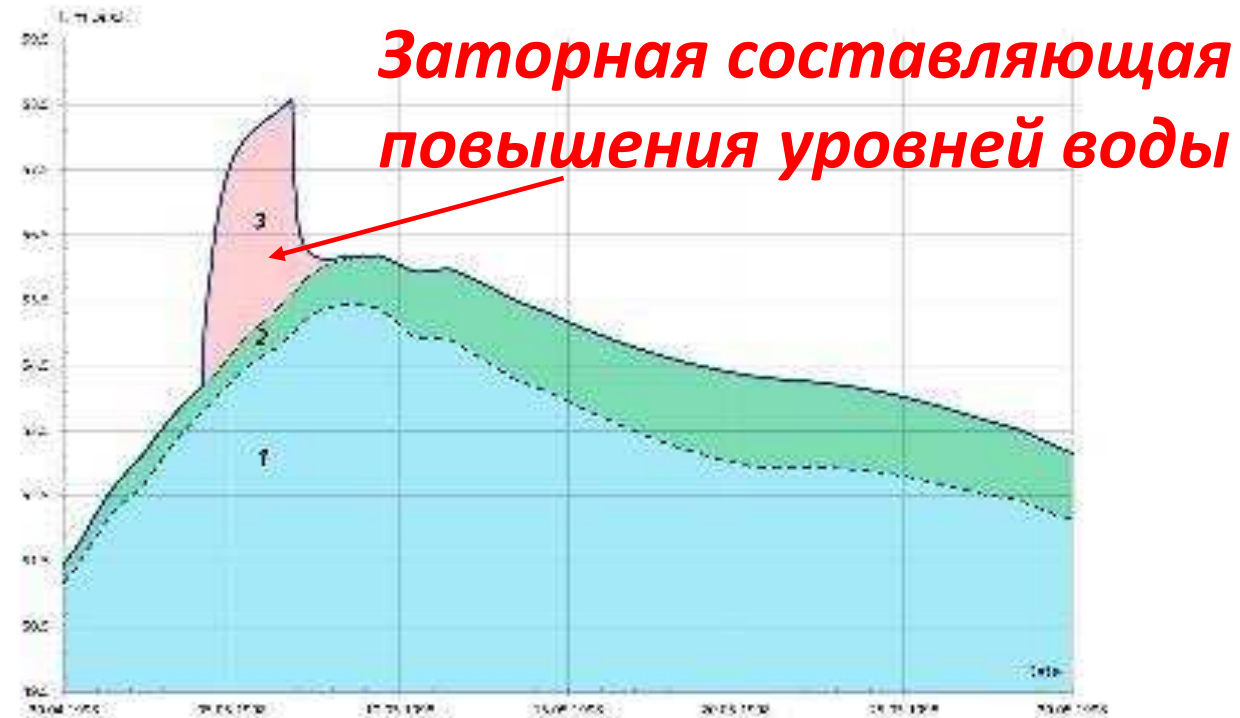


2.2. Региональные факторы, обуславливающие изменения характеристик затопления

- Влияние ледовых заторов

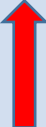


1



Площадь затопления пойм у г. Великий Устюг
1 – без ледового затора, 2 – с ледовым затором

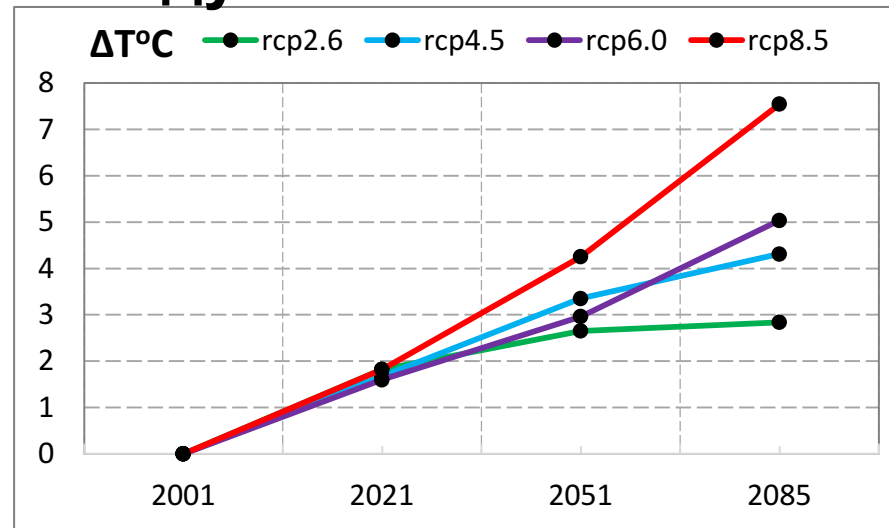
Изменения характеристик затопления для ключевых участков за период 1980-2016

Участок	Период	Средний максимальный расход воды, м³/с	Количество лет с ледовыми заторами	Средняя максимальная глубина на пойме, м	Средняя максимальная площадь затопления поймы, км²
р. Лена – г. Якутск	1982-2000	35300	14	2.24	365
	2001-2015	40200	7	2.42	396
	Отн.изм., %	14% 	уменьшилось в два раза 	8%	8% 
р.Мал.Сев. Двина – г. Великий Устюг	1980 - 1999	5964	12	1.96	181
	2000 - 2016	5400	9	1.85	172
	отн.изм., %	-9% 	-25%	5%	5%
р. Томь – г. Томск	1985-1999	7361	2	2.83	45
	2000-2015	7583	6	2.78	58
	отн.изм., %	3	Увеличилось в три раза 	-2	29% 

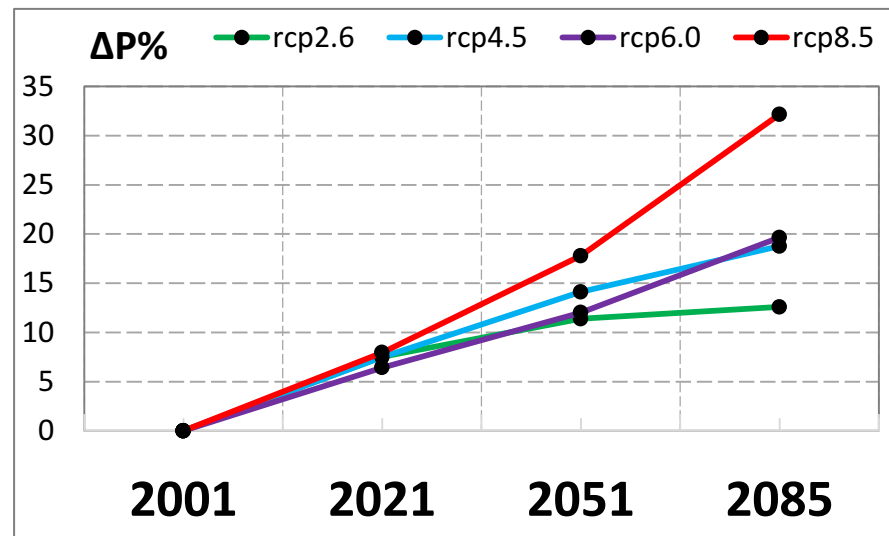
3. Влияние ожидаемых изменений стока на характеристики затопления

Климатический прогноз для бассейна р. Лены

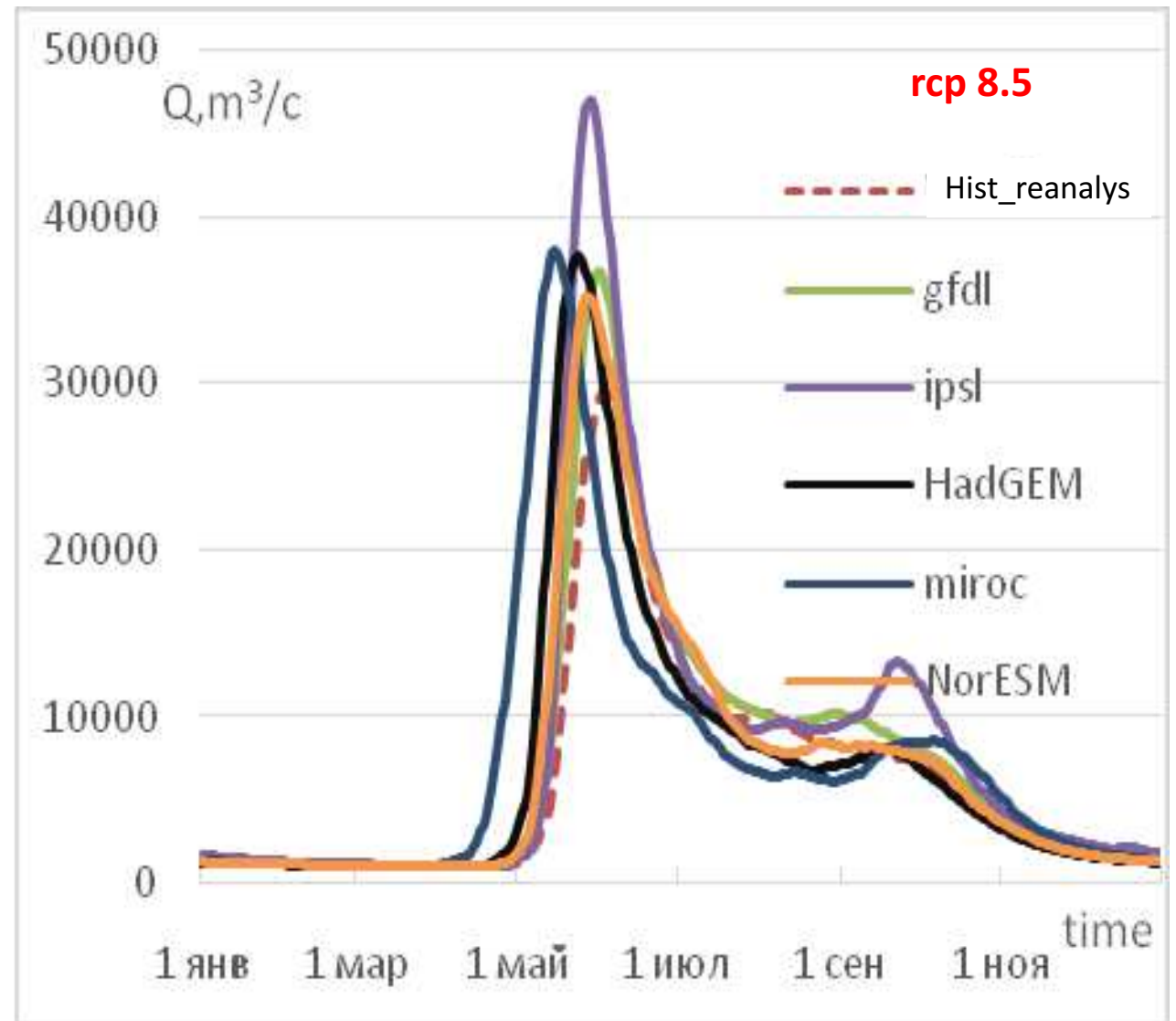
Рост температуры воздуха



Рост осадков



Изменения гидрографов стока



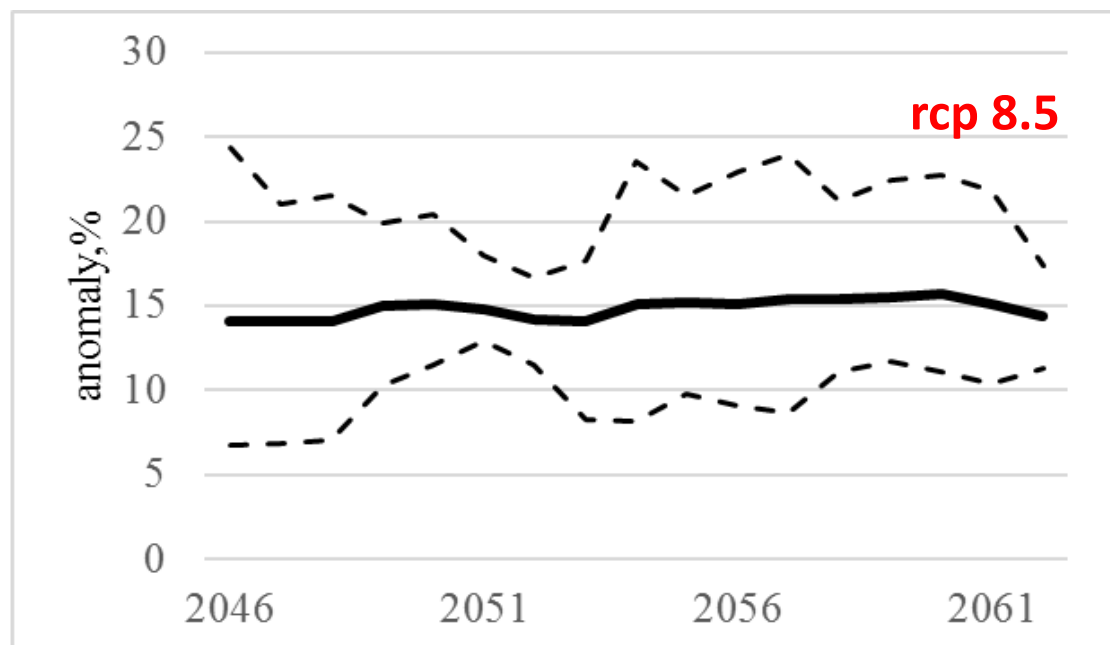
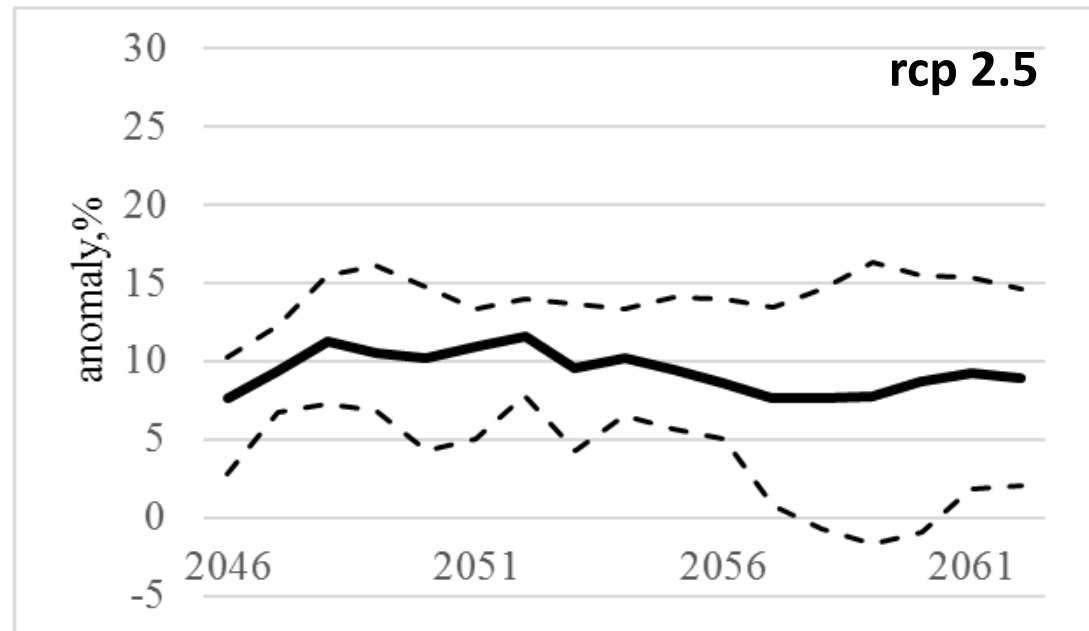
Средние многолетние гидрографы за 2036 - 2065

Ожидается увеличение расходов воды и сдвиг половодья на более ранние сроки

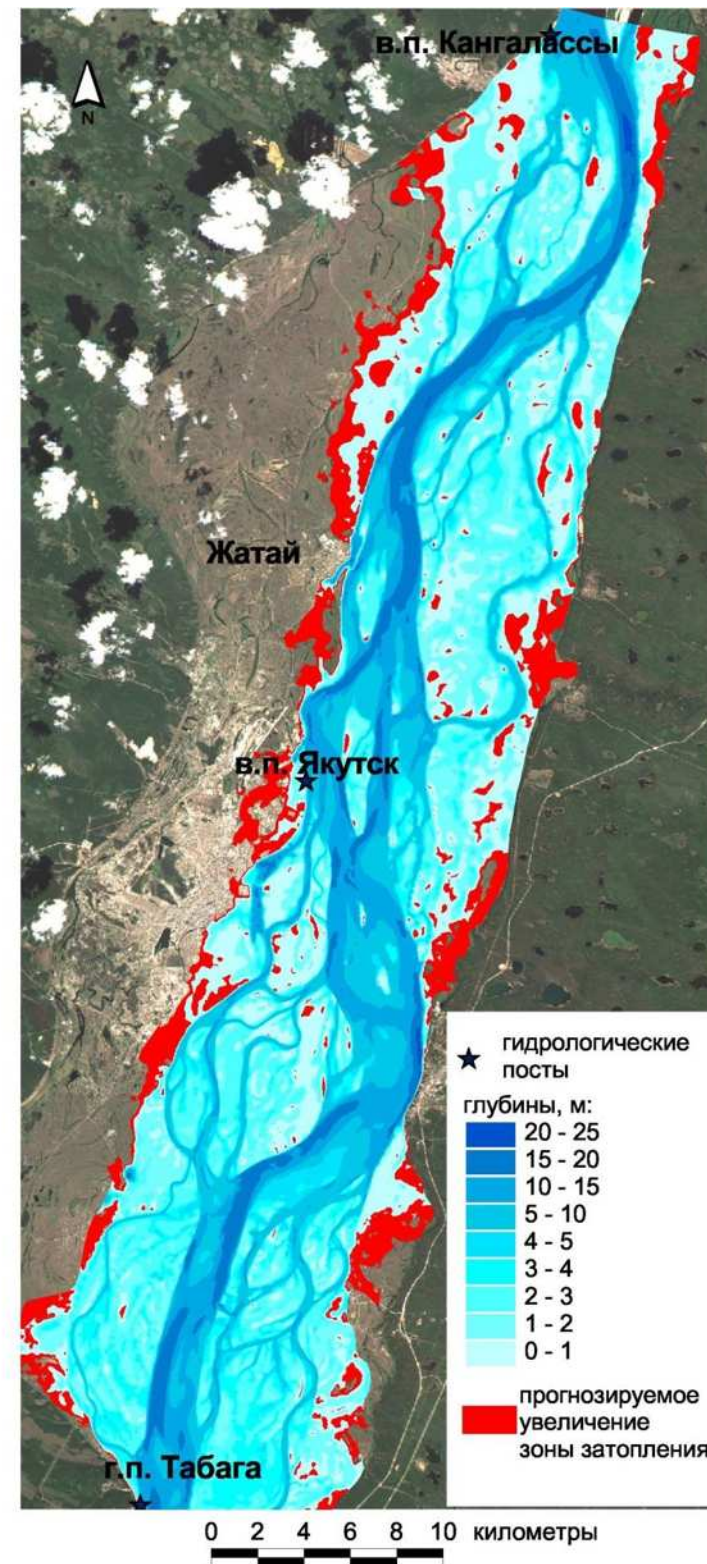
В среднем по ансамблю моделей на середину 21в. получено увеличение средних многолетних максимальных расходов воды половодья от **12%** при сценарии rcp2.6 до **20%** при наиболее жестком сценарии изменения климата rcp8.5.

Климатический прогноз, площади затопления

Максимальное изменение площади затопления при сценарии rcp8.5

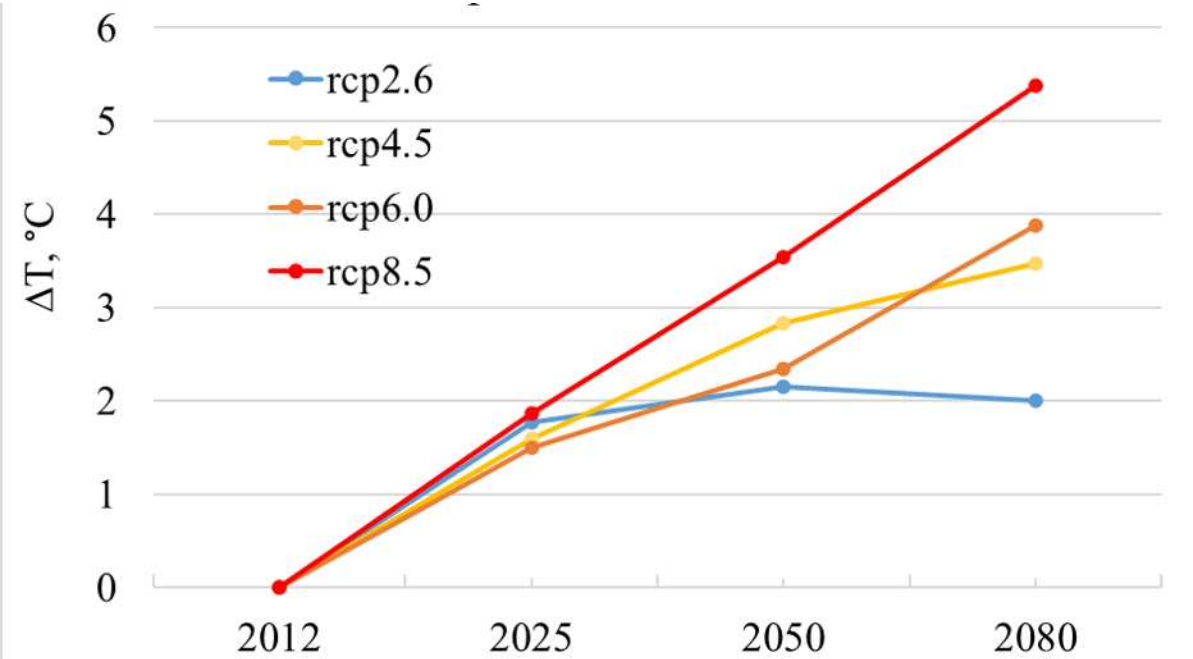


Относительные изменения средней максимальной площади затопления пойм на период климатического прогноза 2046 – 2065гг. по сравнению современным периодом (1982 – 2001 гг.)

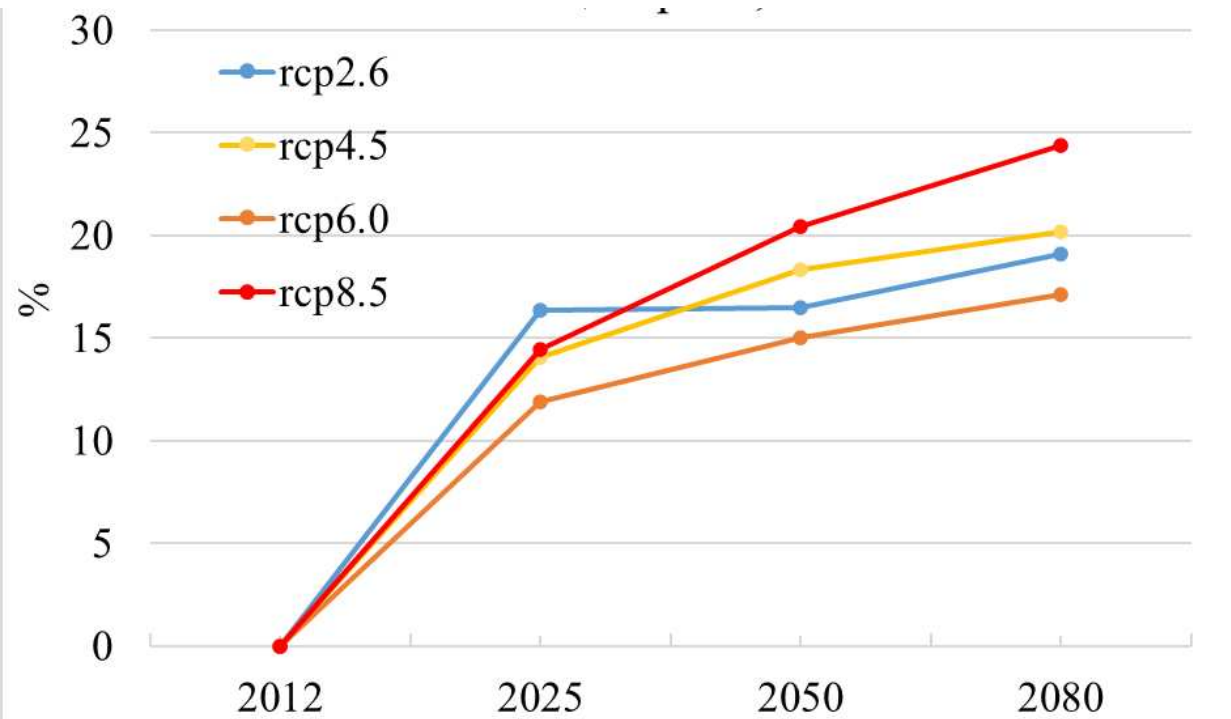


Климатический прогноз для бассейна р. Томи

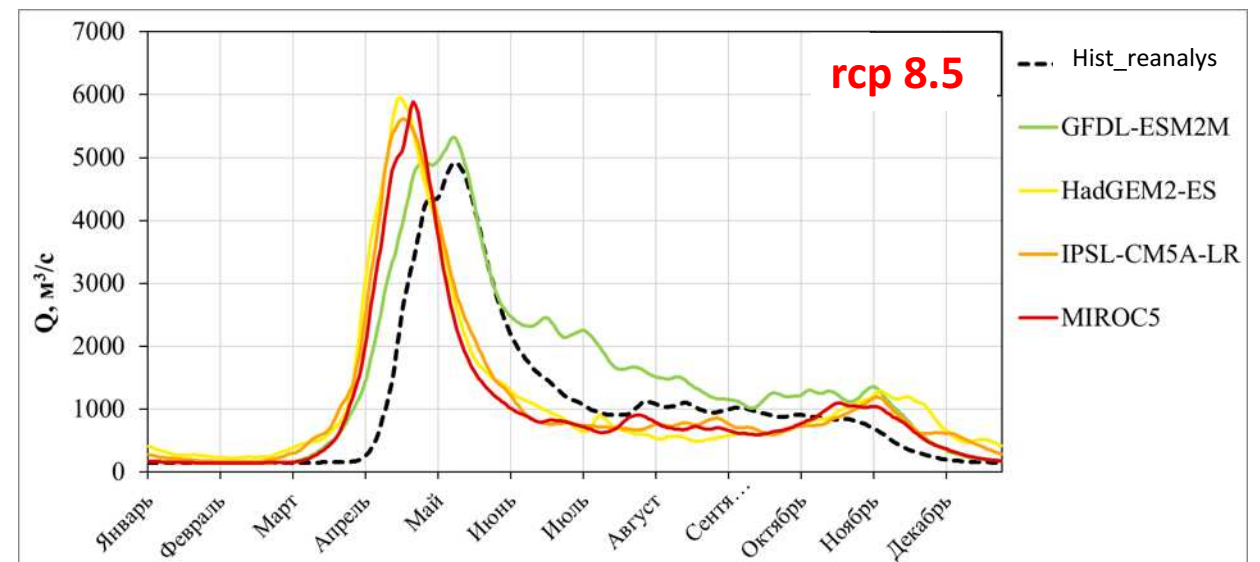
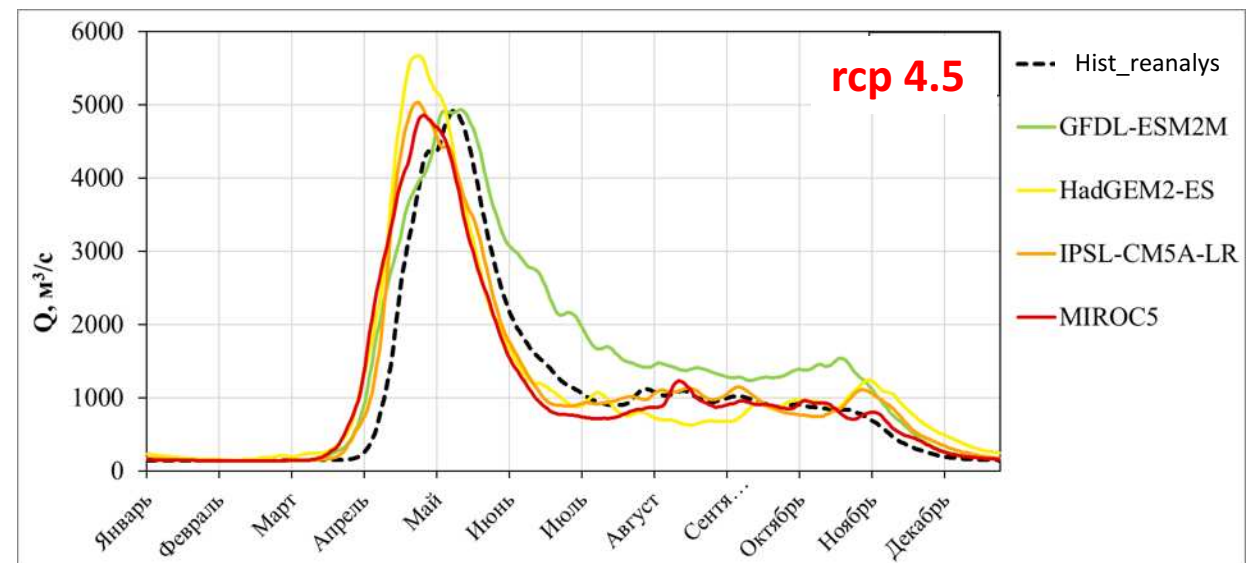
Рост температуры воздуха



Рост осадков

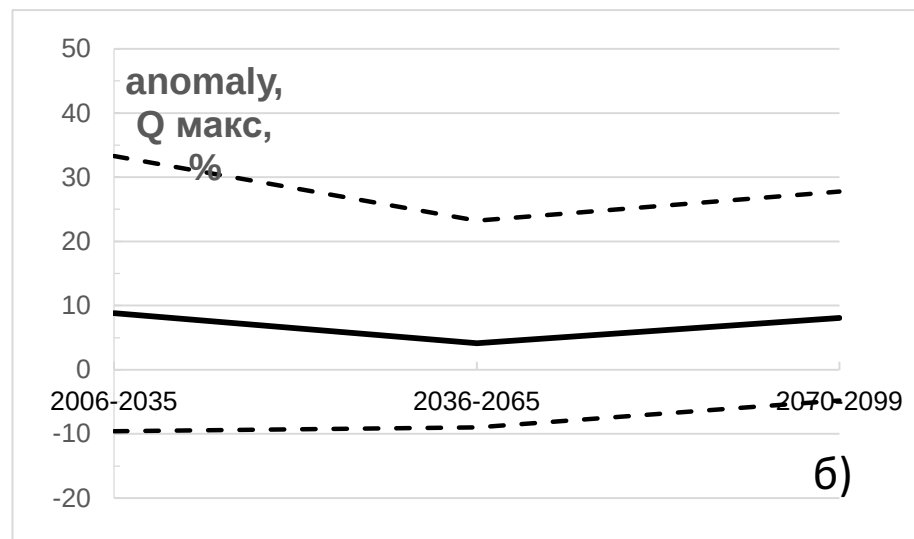
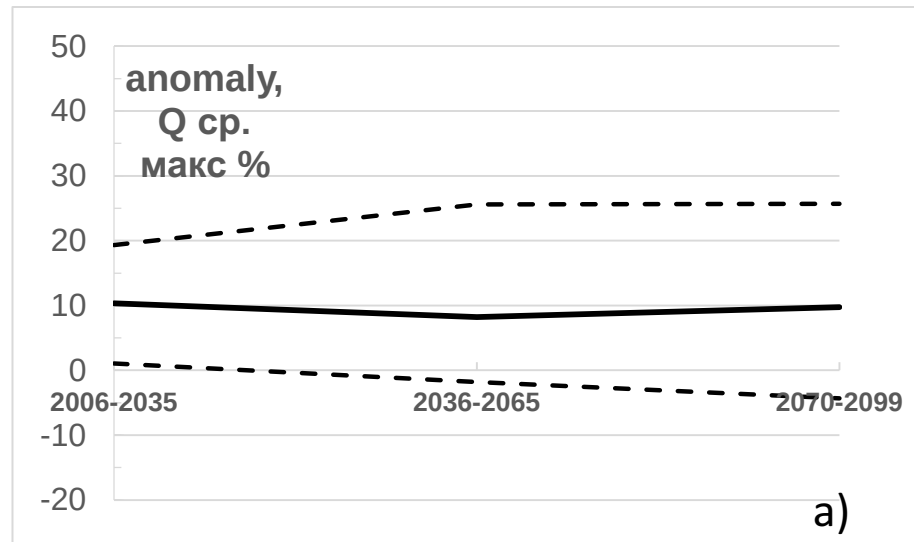


Изменения гидрографов стока на 2071 – 2099 – р. Томь – г. Томск



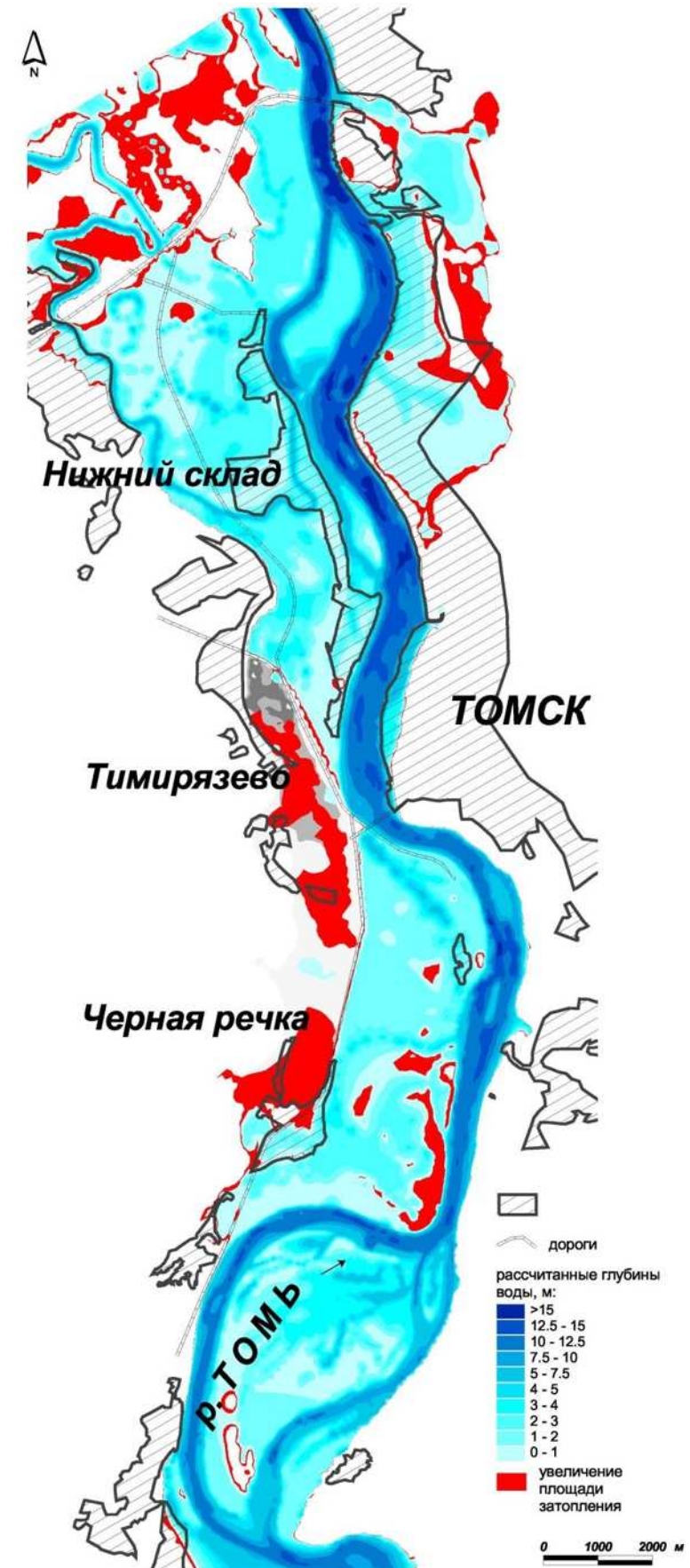
Ожидается увеличение расходов воды, сдвиг половодья на более ранние сроки, сокращение сроков половодья

Возможные изменения масштабов затопления долины р. Томи у г. Томск в 21в.



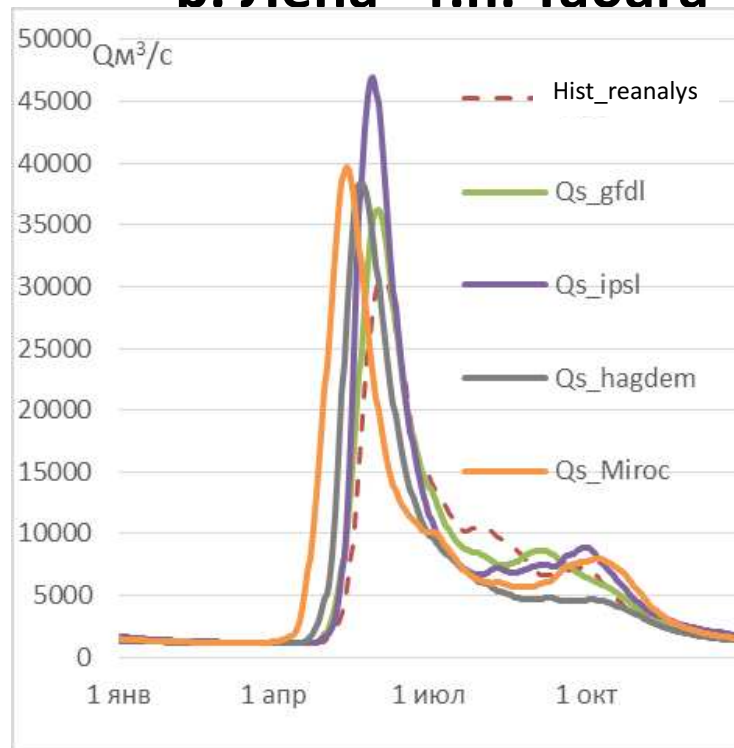
Относительные изменения средних максимальных (а) и максимальных (б) расходов воды р. Томи в 21в. по результатам сценарных расчетов

При росте максимальных расходов воды на 10% площадь затопления увеличится на 16%

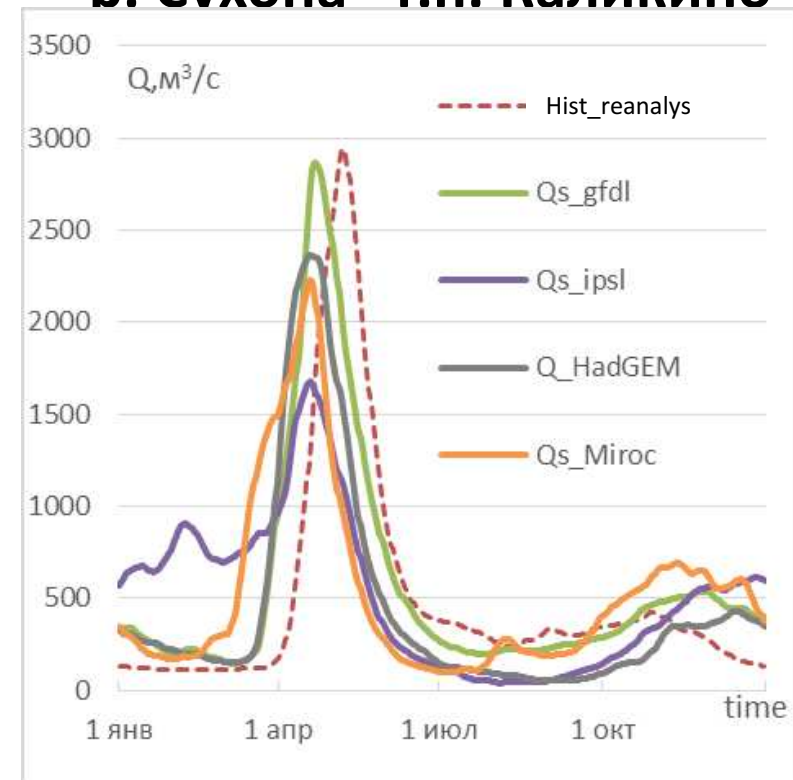


Изменение гидрографов стока и площадей затопления на период климатического прогноза (2046-2065гг.) по сравнению историческим периодом (1982-2001 гг) для сценария rcp8.5

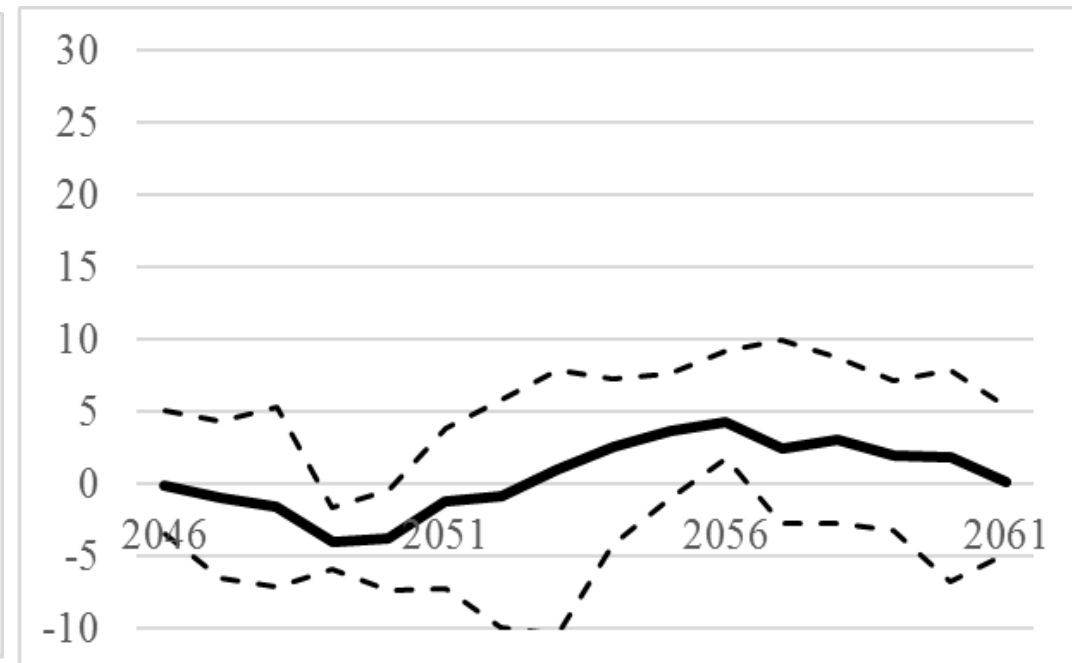
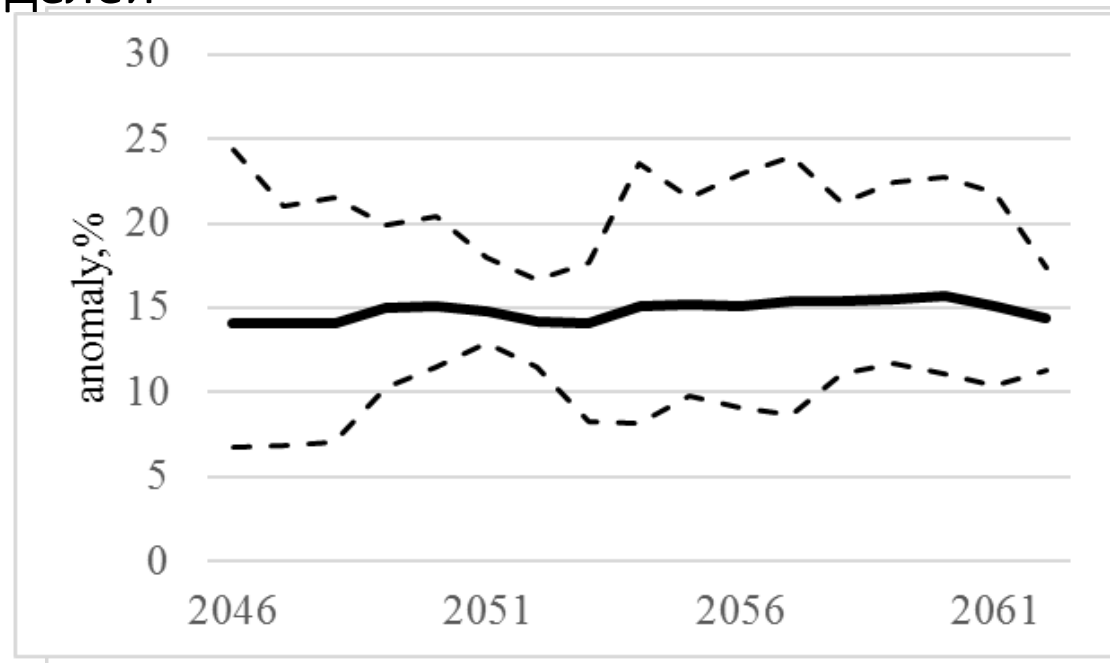
р. Лена - г.п. Табага



р. Сухона - г.п. Каликино

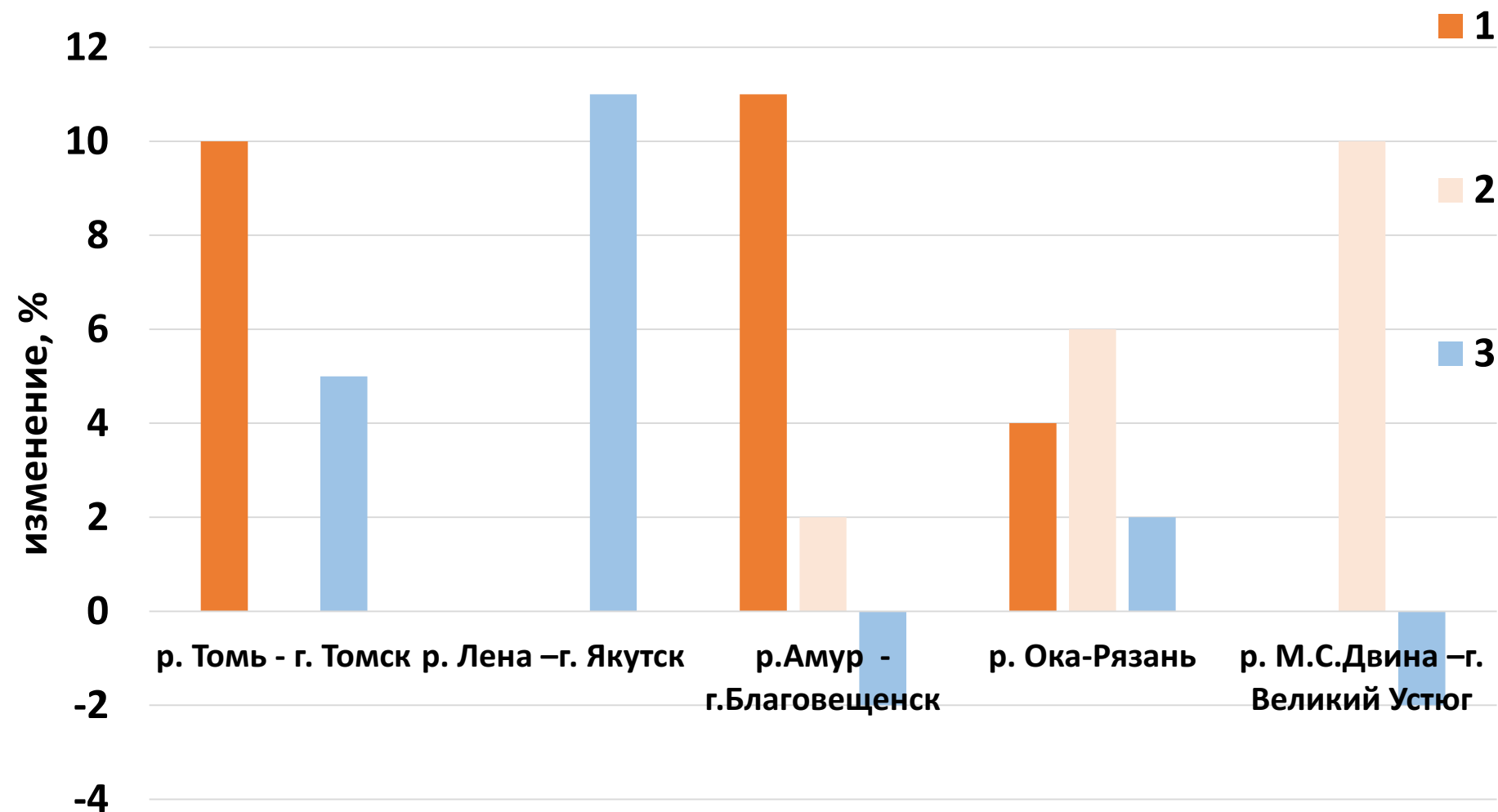


Среднемноголетние гидрографы, полученные на основе модели ECOMAG по данным климатических моделей



Относительные аномалии изменений средней максимальной площади затопления (скользящее среднее за 5 лет)

Сопоставление вклада разных факторов в изменение характеристик затопления



Относительные изменения осредненных значений глубины затопления (%) на ключевых участках:
под влиянием антропогенных факторов за исторический период (1),
дополнительный вклад антропогенных факторов на период климатического прогноза (проекты строительства) (2),
под влиянием изменений стока при изменениях климата (3)

При анализе сочетания антропогенной нагрузки на пойму и возможных изменений затопления при изменении климата можно выделить следующие типы ключевых участков:

1 - наиболее подверженные изменениям характеристик затопления участки, где при высоком освоении пойм возможно дальнейшее увеличение стока (р. Томь у г. Томск, **р. Лена у г. Якутск**),

2 - участки, где ожидается рост затопления на период климатического прогноза, но поймы освоены незначительно (р. Лена ниже п. Кангалассы),

3 – участки со значительным освоением пойм (р. М.Сев. Двина у г. Великий Устюг., р. Ока у г. Рязань, р. Амур у г. Благовещенск), где по существующим оценкам не ожидается увеличение стока на период климатического прогноза.

Выводы

- Разработаны методы совместного применения моделей гидрометеорологического цикла для оценки возможных изменений затопления с учетом климатических сценариев и антропогенной нагрузки на поймах
- Наибольшие изменения характеристик затопления пойм при их освоении обусловлены протяженными линейными сооружениями (дамбами, дорожными насыпями), выводящими значительные участки поймы из-под затопления. В этом случае при уменьшении общей площади затопления средние глубины потока на оставшейся пойме могут увеличиваться на 10% и более. Примерами таких ключевых участков являются поймы р. Оки у г. Рязань, р. Томи у г. Томск, р. Амур у г. Благовещенск.
- Наибольший рост площадей затопления, связанный с прогнозируемым увеличением стока, полученным на основе ансамблевых расчетов по данным климатических моделей, диагностируется на ключевых участках р. Лены у г. Якутск и у Томи у г. Томск и может быть выражен в среднем увеличении площадей и глубин затопления на величину до 10 - 15%. При любом проектировании на этих участках необходимо учитывать возможное увеличение стока и соответствующих ему характеристик затопления

Спасибо за внимание!

