



Прогнозирование речного стока на водосборном
бассейне оз. Байкал для целей оперативного
и долгосрочного планирования режимов
работы ГЭС Ангарского каскада

октябрь 2025 г.

Цели открытия проектов прогнозирования приточности.



От компетентной и слаженной работы российских метеорологов во многом зависят стабильное функционирование целых отраслей национальной экономики..

Уверен, фундаментальные исследования, инновационные разработки в области метеорологии, гидрологии и мониторинга состояния окружающей среды и впредь будут вносить существенный вклад в устойчивое развитие экономики России и укрепление ее социальной сферы.

В.В. Путин

- ✓ Достоверные прогнозы притока воды к гидроэлектростанциям способствуют **эффективному использованию гидроресурсов**, дополнительной выработке электроэнергии.
- ✓ **Предотвращение негативных явлений** на водохранилищах при экстремальных низких и высоких значениях приточности.

Содержание

01

Предпосылки открытия
Проектов по прогнозированию
приточности.
Статистика холостых
водосбросов на ГЭС АК.
Прогнозы от Иркутского УГМС.

02

Методы прогнозирования
притока в периоды
половодья. Сложности
прогнозирования.

03

О выполненных работах по
прогнозированию
приточности оз. Байкал
по заказу ЭН+.

04

Выводы, планы работ.

01

Предпосылки открытия Проектов по прогнозированию приточности.
Статистика холостых водосбросов на ГЭС Ангарского каскада.
Прогнозы от Иркутского УГМС.

Статистика холостых водосбросов по ГЭС Ангарского каскада

млн. кВтч/ годы	ИГЭС	БГЭС	УИГЭС	ИТОГО
1958	57			57
1964	419	113		532
1965	263			263
1966	78			78
1967		1233		233
1968		1100		1100
1971	117			117
1973	272			272
1984		1100		1100
1985	255	844	3 859	4 958
1988	64	326	1 350	1 740
1994	54		563	617
1995	311	1 640	3 542	5 493
1998	64			64
2006	18			18
2008	39			39
2009	13			13
2010	0,06			0,06
2020	130			130
2021	614	915	6957	8 486
2023	187			187
итого	2 955	6 271	16 271	25 310

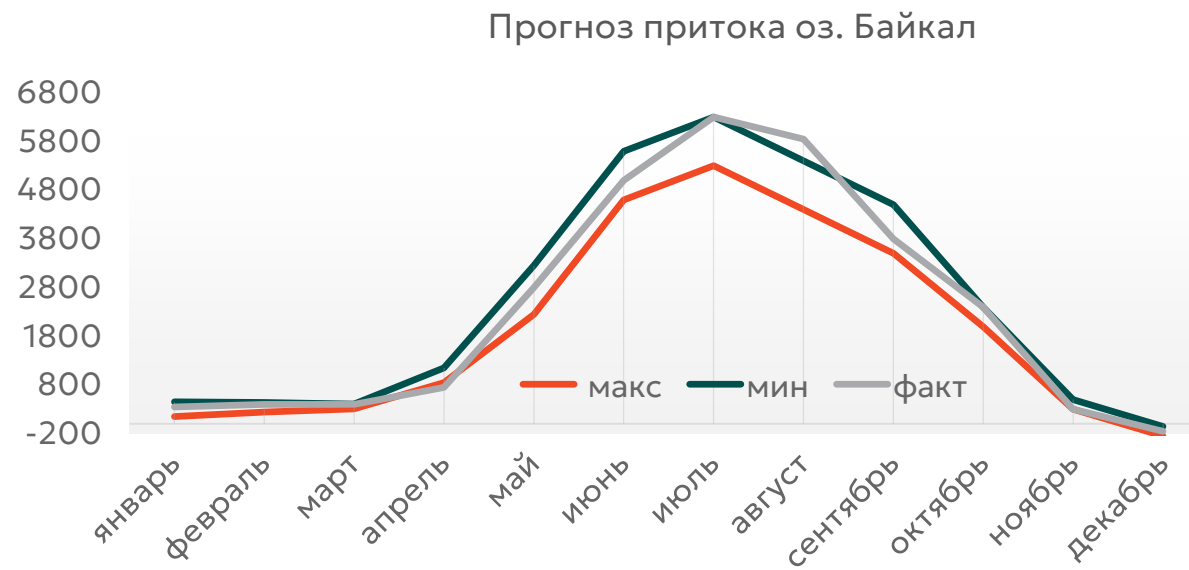


Причины открытия ХВС:

- Недостоверный прогноз, соотв. несвоевременная загрузка ГЭС.
- Приточность низкой обеспеченности (5% и ниже).
- Уменьшение призмы регулирования водохранилищ.
- Ограниченность выдачи мощности ГЭС в летний период и межсезонье, сопровождающийся низким уровнем электропотребления, ремонтами эл. сетей.

Статистика прогнозирования притока оз. Байкал Иркутским УГМС на примере 2023 года

месяц	Прогноз, м ³ /с	Факт, м ³ /с	Отклонения, м ³ /с	%
январь	150 - 450	350	-200 - 100	-63 - 31
февраль	240 - 440	400	-160 - 40	-38 - 9
март	310 - 410	400	-90 - 10	-25 - 2
апрель	850 - 1150	750	100 - 400	+11 - 45
май	2250 - 3250	2800	-550 - 450	-18 - 14
июнь	4600 - 5600	5000	-400 - 600	-8 - 12
июль	5300 - 6300	6300	-1000 - 0	-21 - 0
август	4400 - 5400	5850	-1450 - (-450)	-34 - (-10)
сентябрь	3500 - 4500	3800	-300 - 700	-10 - 23
октябрь	2000 - 2400	2400	-400 - 0	-34 - 0
ноябрь	300 - 500	300	0 - 200	при норме (-106 м ³ /с)
декабрь	-250 - (-50)	-150	-100 - 100	при норме (-232 м ³ /с)



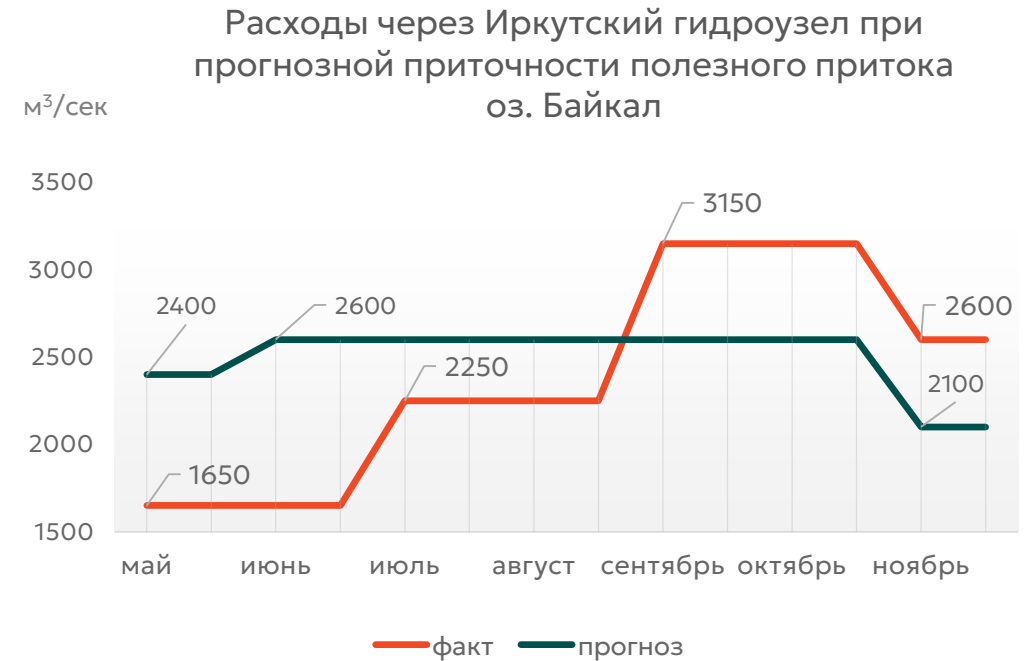
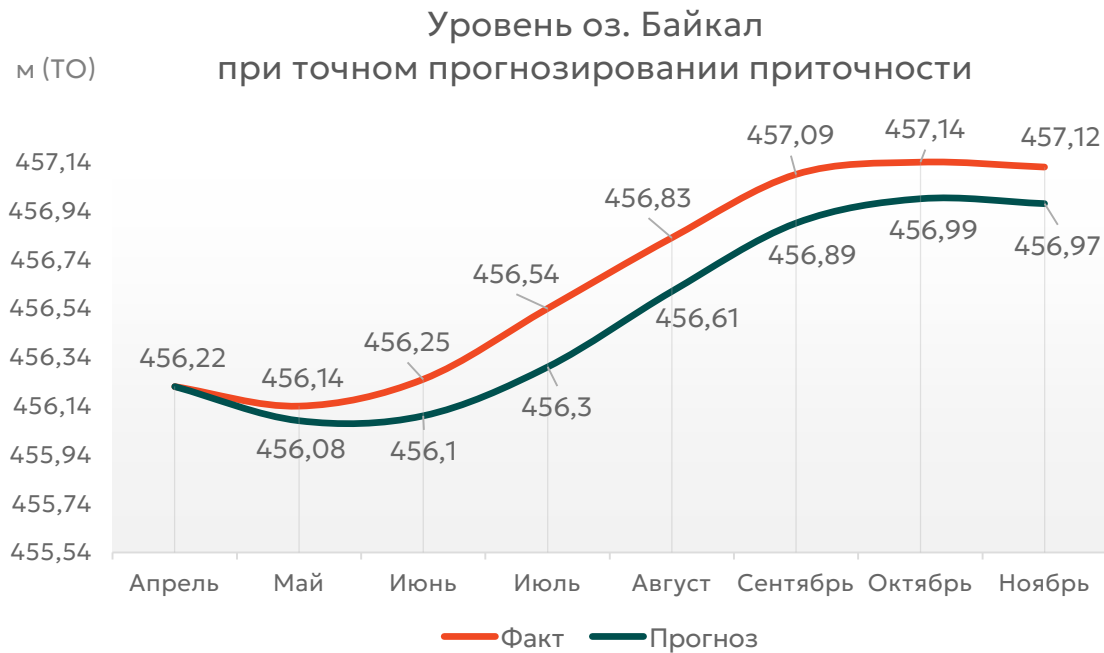
- ✓ Среднее значение отклонения прогноза Иркутского УГМС составляет (-26) - 18%.
- ✓ Максимальное значение диапазона прогноза составляет 1000 м³/сек!

Оценка возможного эффекта от проекта для Иркутской ГЭС применительно к режимам работы в 2023 году.

Что даст «идеальный прогноз» (если мы точно знаем приток на 30÷60 дней вперед)?

0,5 км³ (6%) - снижение объёма холостых сбросов воды на Иркутской ГЭС (с 8,7 км³ до 8,2 км³) в расчете по притоку 2023 г.

265,4 млн. кВтч (6 %) - дополнительная выработка Иркутской ГЭС в 2023 г. при наличии «идеального прогноза».



Хотя приведенный эффект практически недостижим, его следует иметь ввиду как цель, к которой нужно стремиться.

02

Методы прогнозирования притока в периоды половодья.
Сложности прогнозирования.

Методы прогнозирования притока на периоды весенне-летнего половодья. Сложности прогнозирования.

Процессы стока носят сугубо дискретный (прерывистый) характер.

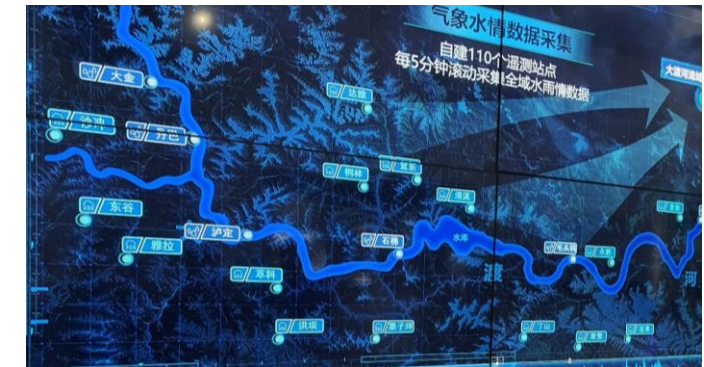
Сложности определения:

- ✓ Хаотичность процессов в атмосфере.
- ✓ Поглощение почвой поступающей воды (выпадающие осадки, сублимация..).
- ✓ Несовершенство моделей и методов.
- ✓ Неполнота наблюдений: справочно, в РФ на 1 гидрологический пост Росгидромета приходится ~ 5000 км², информационные автоматические посты ~ 9000 км². Индия, Китай 1400 ÷ 2000 км².



Методики прогнозирования:

1. Регрессионные и физико-статистические зависимости характеристик стока от состояния водосбора на дату прогноза на основе данных текущих наблюдений + климатических норм.
2. Математические модели формирования речного стока с распределенными параметрами на основе текущих данных наблюдений + краткосрочный метеопрогноз + ансамблевый прогноз элементов речного стока в детерминистической и вероятностной формах.
3. Статистика, стохастика (метод наименьших квадратов, ряды Фурье, метод Монте-Карло и т.п.). описывающие формирование процессов стока с помощью дифференциальных, интегральных и других уравнений. Параметры задаются из справочников или находятся методами оптимизации.



Перечисленные выше методы прогноза применяют:



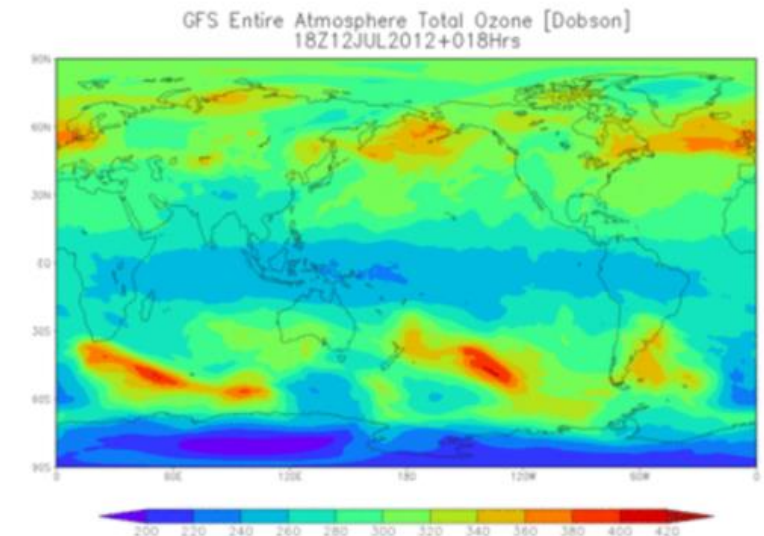
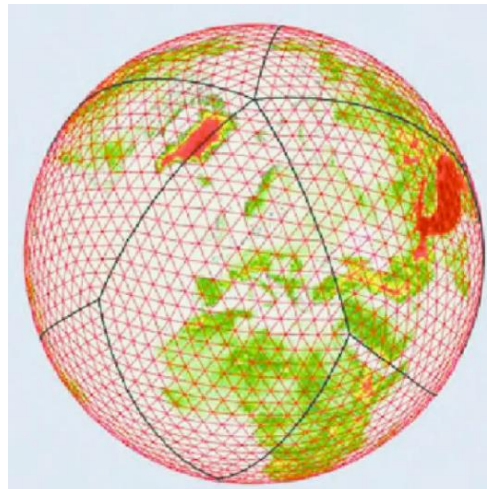
Модели прогнозирования.

Эти модели обсчитывают всю атмосферу Земли или полушария. Учитывают обширные погодные системы, которые могут простираться по всему континенту. Существует несколько глобальных моделей:

- ✓ **американская модель (GFS)** - создана национальной метеорологической службой США. Она запускается четыре раза в сутки. Выдает прогнозы на 16 дней вперед. Доступ к данным модели бесплатный.
- ✓ **европейская модель (ECMWF)** – создана в результате партнерства между 34 различными странами. Она делает прогнозы на 10 суток вперед. Запускается два раза в сутки. Доступ к данным платный.
- ✓ **немецкая (ICON)**
- ✓ **английская (UKMet)**
- ✓ **канадская (CMC)**
- ✓ **японская (JMA),**
- ✓ **российская (ПЛАВ) и другие.**

Синоптики используют в основном американскую и европейскую.

Наравне с глобальными моделями прогнозирования существуют также **локальные модели.**



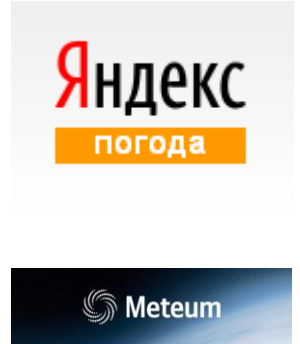
03

О выполненных работах по прогнозированию приточности оз. Байкал по заказу ЭН+

Долгосрочное прогнозирование притока озера Байкал с использованием методов гидрологического моделирования и машинного обучения на 3, 6, 12 и 18 мес.

Исследование по заказу ЭН+ выполнялась в 2017÷2020 гг.

Подрядчиком было ООО «Аэростейт», автор технологии прогноза погоды **Meteum**, используемой в сервисе «Яндекса. Погода».



- ✓ Использовались данные о среднемесечном полезном притоке Байкала с 1901 по 2010 год.
- ✓ Была разработана гидрологическая модель формирования притока в оз. Байкал на основе модели SWAT, разработанной в США.

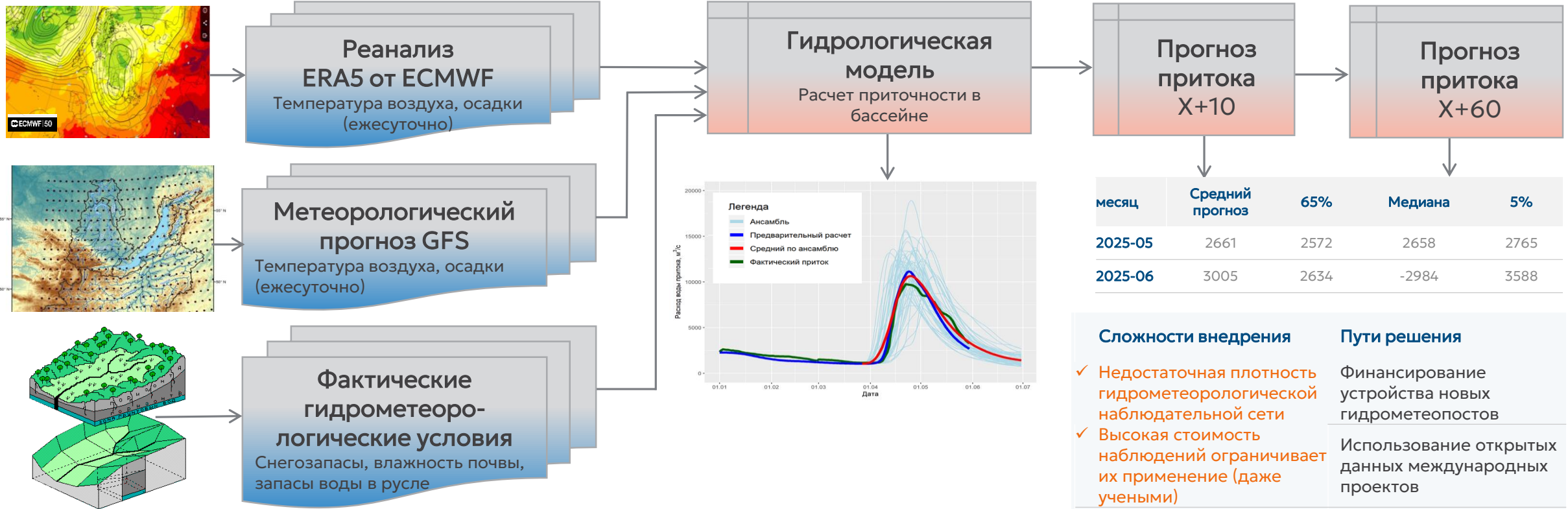
НИР не достигла своей **главной цели**: примененные на собранных массивах данных методы гидрологии и статистики не позволили решить задачу прогнозирования на период 3 месяца и более.

Точность предсказания на выбранном временном интервале лишь незначительно улучшает прогноз в сравнении со средним многолетним. Основной фактор - неопределенность при прогнозировании входных данных, в первую очередь метеорологических полей.

Физико-математическая модель формирования стока рек на водосборе оз. Байкал в теплый период года в отечественном комплексе ECOMAG

Блок-схема методики бесшовного ансамблевого долгосрочного прогноза

Разработчик - правообладатель Институт водных проблем РАН. Автор: доктор географических наук Мотовилов Ю.Г. *



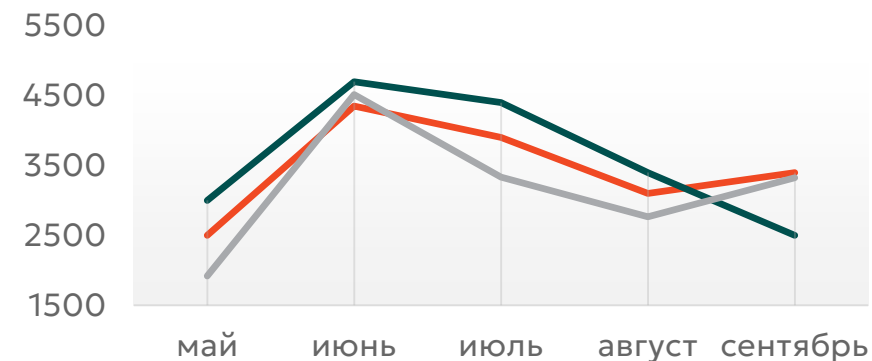
- ✓ Прогнозы выполняются на основе физ. мат. модели водосбора*
- ✓ Разработана и внедрена в САЦ ЭН+ методика бесшовного прогноза на 10 и 60 сут. с коррекцией по оперативным данным наблюдений в замыкающих створах основных притоков Байкала от Бурятского ЦГМС
- ✓ Планируется внедрение в Иркутском УГМС (подписано соглашение).
- ✓ Планируется установка дополнительных автоматизированных гидропостов на Селенге (совм. с Бурятским ЦГМС, БИП СО РАН, ИГГ АНМ).

Сложности внедрения	Пути решения
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Недостаточная плотность гидрометеорологической наблюдательной сети ✓ Высокая стоимость наблюдений ограничивает их применение (даже учеными) 	<ul style="list-style-type: none"> Финансирование устройства новых гидрометеопостов Использование открытых данных международных проектов
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Недостаточное взаимодействие ФОИВ, науки, бизнеса и общества ✓ Сложность коммуникации с другими странами 	<ul style="list-style-type: none"> Заключение многосторонних соглашений
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Дефицит квалифицированных кадров 	<ul style="list-style-type: none"> Лекции, стажировки студентов и проч.

Отклонения прогноза притока оз. Байкал ИВП РАН в паводковом сезоне 2025 г.

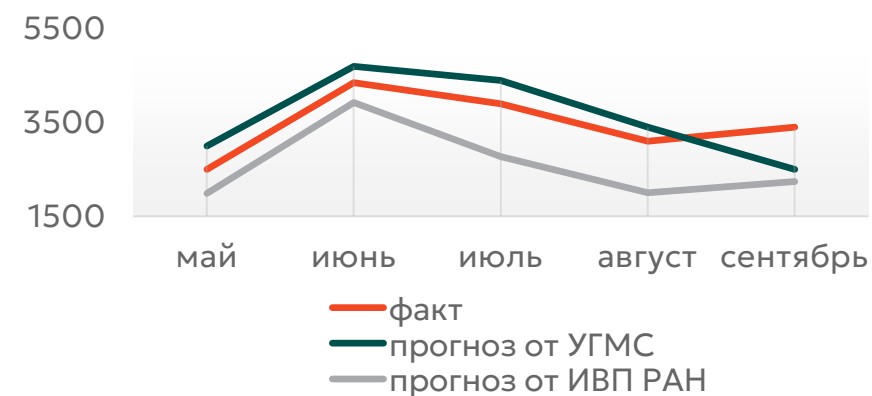
Прогноз притока на 10 суток (по средним значениям)

месяц	факт	прогноз от УГМС	прогноз от ИВП РАН	Δ УГМС, %	Δ ИВП РАН, %
май	2500	3000	1919	20	-23
июнь	4350	4700	4517	8	4
июль	3900	4400	3334	13	-15
август	3100	3400	2764	10	-11
сентябрь	3400	2500	3326	-26	-2



Прогноз притока на 30 суток (по средним значениям)

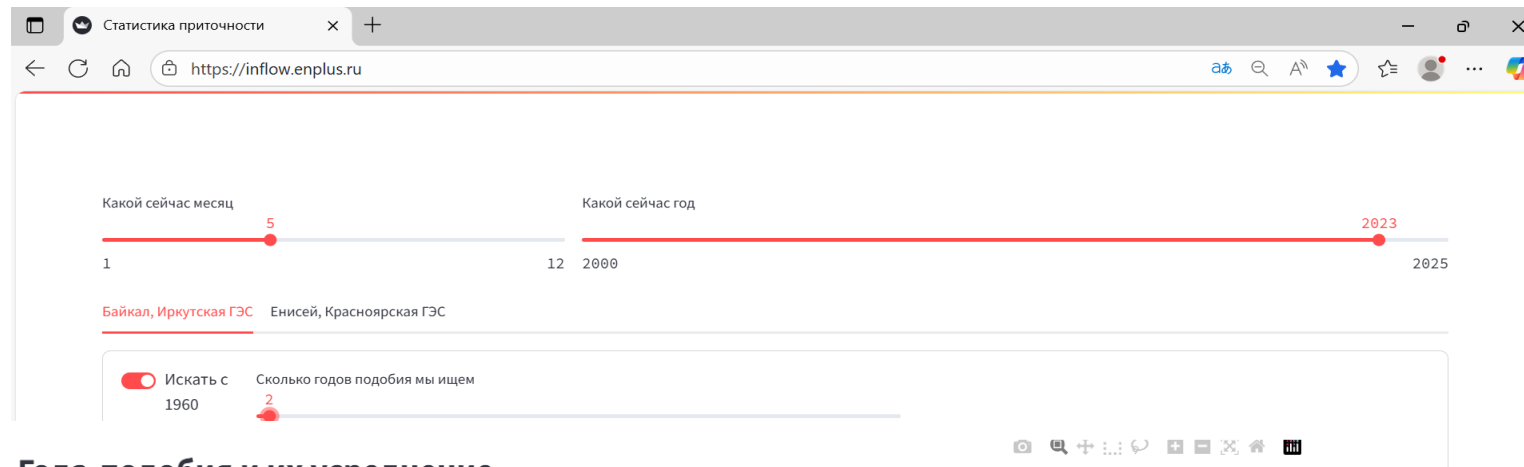
месяц	факт	прогноз от УГМС	прогноз от ИВП РАН	Δ УГМС, %	Δ ИВП РАН, %
май	2500	3000	1990	20	-20
июнь	4350	4700	3932	8	-10
июль	3900	4400	2771	13	-29
август	3100	3400	2001	10	-35
сентябрь	3400	2500	2239	-26	-34



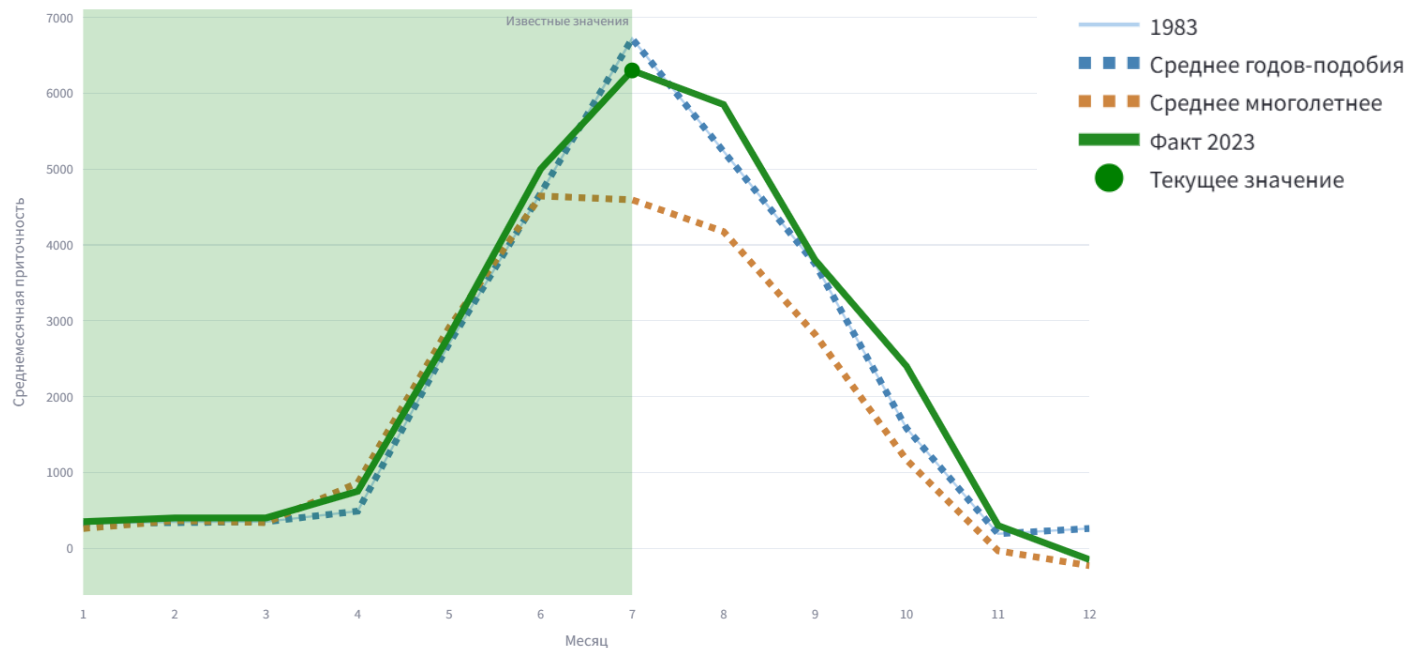
На данном этапе модель ECOMAG точнее выполняет краткосрочные прогнозы.

По долгосрочным прогнозам притока оз. Байкал требуется донастройка, уточнение модели.

Применение технологий анализа данных. Подбор годов-подобий



Года-подобия и их усреднение



Эн+ разработан инструмент подбора годов-подобий приточности для озера Байкал и Красноярского водохранилища.

Данный инструмент позволяет в автоматическом режиме подбирать наиболее похожие года по среднемесячной приточности в прошлом и сравнивать возможные значения приточности в будущих месяцах со средними многолетними значениями.

Наиболее точные значения прогноза достигаются на месяц вперед.

Данный инструмент упрощает работу с историческими данными по приточности и планировать режимы работы ГЭС.

04

Выводы. Дальнейшие планы работ по прогнозированию приточности.

Выводы и планы по организации работ прогнозирования приточности.

Выводы:

1. Хаотичность процессов в атмосфере и непредсказуемость погоды осложняет задачу прогнозирования.
2. Прогнозы Росгидромета, массив данных Государственного водного кадастра многолетних характеристик притока воды остаются на данный момент наиболее применимыми для целей планирования и управления режимами ГЭС АЕК, в том числе и официальными.
3. Имеющие в составе каскада АЕК водохранилища с многолетним регулированием позволяют во многих случаях нивелировать неточности прогнозирования притоков.
4. Необходимость наращивания гидрометеорологического мониторинга и прогностических исследований.

Планы работ:

Доработка модели ИВП РАН ЕСОМАГ:

- ✓ Увеличение количества наблюдательной сети гидрометеорологической информации.
- ✓ Прогнозирование с помощью методов машинного обучения в т.ч. с использованием методов искусственного интеллекта.