

# Методика прогноза притока воды в водохранилище Богучанской ГЭС

Л.А. Путинцев

Ангара – крупнейший приток Енисея, уникальная река нашей страны. Главой её отличительной чертой является естественная зарегулированность речного стока оз.Байкал. Это обстоятельство, а так же благоприятные топографические и экологические условия приводят к тому, что каскад ГЭС на Ангаре по технико-экономическим показателям является наиболее эффективным в России.

Сочетание дешевой энергии и обилие природных богатств определяет важную роль бассейна Ангары в развитии производительных сил страны и в этих условиях значение прогнозов притока к водохранилищам Ангарских ГЭС для обеспечения более эффективной их работы постоянно возрастает.

**Актуальность темы** обуславливается тем, что уже вводится в строй Богучанская ГЭС, а современной методики прогноза притока воды к водохранилищу еще не разработано.

**Научная новизна** работы состоит в том что, существующие на сегодняшний день методики требуют усовершенствования ввиду закрытия ряда метеорологических и гидрологических пунктов наблюдений.

Цель настоящей работы - усовершенствование методики расчета бокового притока в водохранилище Богучанской ГЭС.

Достижение поставленной цели реализуется решением следующих задач.

1. Изучить достоинства и недостатки существующих способов расчета бокового притока, а так же условия их применения в условиях Сибири.

2. Разработать математическую модель для расчета притока в водохранилище.

**Исходные данные.** В основу настоящей работы положены данные гидрометеорологических наблюдений сети станций и постов Среднесибирского и Иркутского УГМС, фондовые материалы, крупномасштабные топографические карты, а так же многочисленные литературные источники.

**Методической основой** работы является методы водного баланса и гидрологической аналогии.

Створ плотины Богучанского гидроузла расположен примерно в 500 км к северо-востоку от г. Красноярска, в 445 км от устья р. Ангары и на 375 км ниже Усть-Илимской ГЭС. Водохранилище расположено на территории Кежемского района Красноярского края и Усть-Илимского района Иркутской области, в юго-западной части Среднесибирского плоскогорья, в зонах средней и южной тайги. Бассейн Богучанского водохранилища вытянут с востока на запад на 380 км, а с севера на юг на 400 км.

Рельеф бассейна носит платообразный характер, диапазон высот от 150 до 700 м. Наиболее возвышенной частью является водораздел между Ангарой и Подкаменной тунгуской от 400 до 600 м на западе и до 700 м на востоке (Рис1). Водораздел между бассейном Ангары и Илимса снижается до 500 м и лишь в отдельных местах достигает 600-700м . Самая южная часть бассейна находится на Бирюсинском плато с высотами около 500м .

Природные условия на рассматриваемой части Ангарского бассейна обусловили довольно развитую речную сеть (рис1). Густота речной сети здесь превышает 0.4 км на 1 км<sup>2</sup> . Наибольшая густота речной сети наблюдается на участках прилегающих к долинам рек. Долины средних и малых рек, преимущественно в верховьях, широкие с очень пологими склонами и заболоченным дном.

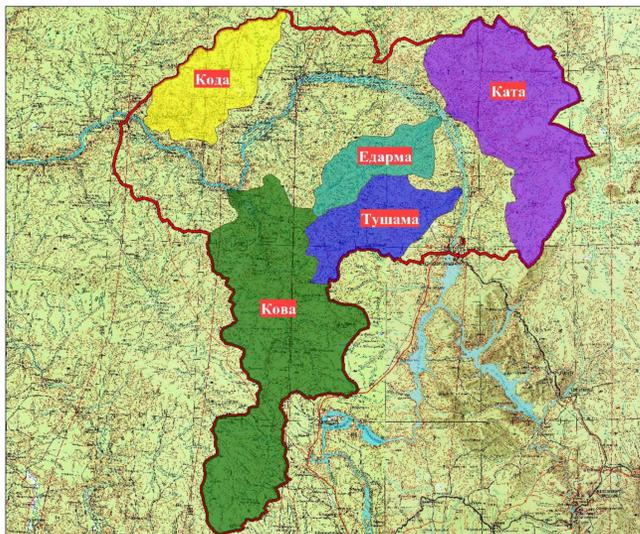


Рис.1 Бассейны основных притоков Богучанского водохранилища

Отметка нормального подпорного уровня водохранилища составляет 208,0 м, форсированного подпорного уровня — 209,5 м, уровня мёртвого объёма — 207,0 м БС. Полный объем водохранилища составляет 58,2 км<sup>3</sup>, полезный — 2,3 км<sup>3</sup>.

Водохранилище будет осуществлять суточное и сезонное регулирование стока Ангары. Колебания уровня водохранилища в течение года не превысят 1 м. Наполнение водохранилища планируется осуществить в два этапа — в 2012 году до промежуточной отметки 185,0 м и в 2013 году до проектной отметки 208,0 м

Режим стока Ангары значительно менялся в естественных условиях (до строительства ГЭС) от истоков к устью. Если в верхнем течении максимальные годовые расходы приходились на июль, в среднем течении на май – июнь, то в нижнем – на май. Это обусловлено тем, что притоки Ангары в среднем и нижнем течении отличаются ясно выраженным весенним половодьем. В бассейне Богучанского водохранилища самыми крупными реками являются Кова, Тушамы, Ката и Едарма. Наиболее крупным притоком, протекающем по равнинной местности, является р. Кова, площадь водосбора которой равна 10700 км<sup>2</sup> (табл1).

Таблица 1  
Основные реки впадающие в Ангару на участке от Усть-Илимской ГЭС до Богучанской ГЭС

№	Реки	Расстояние от устья, км	Длина водотока, км	Площадь бассейна км <sup>2</sup>
1	Тушамы	773 (л)	224	3400
2	Ката	722(пр)	233	7970
3	Едарма	720(л)	153	2380
4	Кова	525(л)	452	11700
5	Кода	448(пр)	283	3890

При среднемноголетнем расходе воды 187 м<sup>3</sup>/с, в период половодья расходы достигают 1900 м<sup>3</sup>/с, а в конце зимней межени снижаются до 10 м<sup>3</sup>/с. Если предположить, что в водохранилище с водосбора будет поступать количество воды равное расчетному боковому притоку 1% обеспеченности (1 раз в 100 лет, равный согласно [3] 6100 м<sup>3</sup> /с), то при неизменных режимах работы Усть-Илимской и Богучанской ГЭС за сутки может заполниться до четверти полезной емкости Богучанского водохранилища (подъем на 0.23 м)

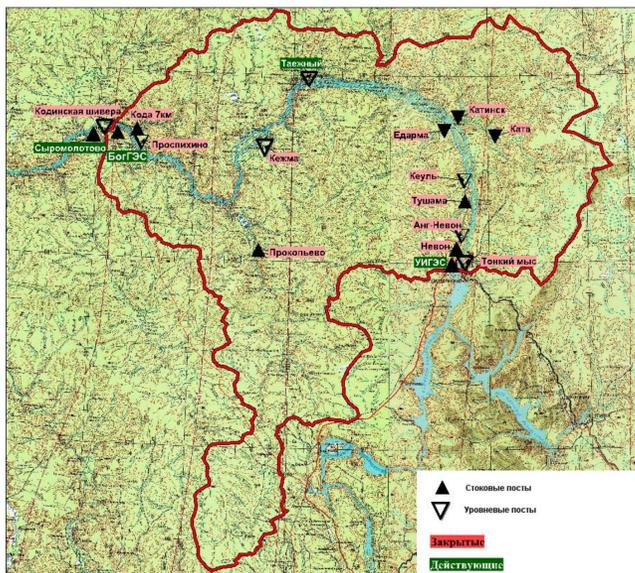


Рис.2 Схема расположения постов в бассейне Богучанского водохранилища

На момент начала строительства Богучанской ГЭС в 1974 г. на территории бассейна водохранилища, общей площадью 47 т.км<sup>2</sup>, действовало более 10 гидрологических постов. Сеть действовала вплоть до 90-х годов, большинство постов были закрыты, строительство Богучанской ГЭС приостановлено.

В 2006 году, строительство ГЭС было возобновлено. В настоящее время на рассматриваемом участке Ангары действует всего 1 недавно открытый уровеньный пост (р.Ангара – п.Тажный, рис. 2).

Весной 2012 г началось заполнение водохранилища Богучанской ГЭС. С апреля по октябрь 2012 уровень вырос более чем на 40 м и достиг 23 октября отметки 182.21 м. Разница между нормальным подпорным уровнем (НПУ) и уровнем мертвого объема (УМО) Богучанского водохранилища составляет всего один метр. В условиях ограниченной регулирующей емкости водохранилища краткосрочные прогнозы боковой приточности исключительно важны. На их основе должно осуществляться регулирование сбросов Богучанской ГЭС, при котором предотвращаются как переполнение водохранилища, так и недобор воды. Определение фактического притока воды к створу ГЭС является неотъемлемой частью комплекса гидрометеорологического обслуживания. Данные о притоке служат основой для разработки методов его прогноза.

Для расчета бокового притока воды к створу Богучанской ГЭС использовался период наблюдений с 1980 по 2010 год, в период открытого русла, с мая по июль. Приток к створу Богучанской ГЭС складывается из двух составляющих: общий приток – сбросы Усть-Илимской ГЭС и боковой приток, равный суммарному стоку рек и временных водотоков, впадающих в Ангару в пределах создаваемого водохранилища. Площадь водосбора бокового притока составляет 47 т.км<sup>2</sup>.

Ежедневный боковой приток на участке реки обычно определяют:

- 1) по стоку впадающих рек на этом участке
- 2) по разнице расходов нижнего и верхнего створов с учетом времени добегания.

Поскольку водохранилище Богучанской ГЭС руслового типа и зеркало водохранилища составляет очень малую долю от общей площади водохранилища, вклад осадков на само водохранилище в формирование общего притока незначителен. Второй способ определения притока основывается на решении уравнения квазистационавшегося движения воды для участка реки. (1)

$$Q_{от} = Q_n - Q_e \quad (1)$$

где,  $Q_{от}$  - боковой приток на участке реки,  $Q_n$  - сток в нижнем замыкающем створе (д. Сыромолотово, 15 км ниже плотины),  $Q_e$  - сток во входном (верхнем) створе (г. Усть-Илимск, с учетом времени добегания).

В условиях отсутствия наблюдений за стоком рек впадающих в Богучанское водохранилище, ретроспективный расчет бокового притока выполнен по формуле (1).

Время добегания на данном участке было определено по графикам соответственных уровней воды. В летний период от г.Усть-Илимска до д.Сыромолотово оно равно 4 суткам.

Для разработки методики расчета бокового притока после заполнения водохранилища Богучанской ГЭС целесообразно воспользоваться данными по стоку близлежащих рек, у которых водный режим является аналогичным водному режиму рек, впадающих непосредственно в Богучанское водохранилище. Ближайшие реки на которых проводятся наблюдения за стоком воды, расположены за пределами водосбора бокового притока рассматриваемого водохранилища.

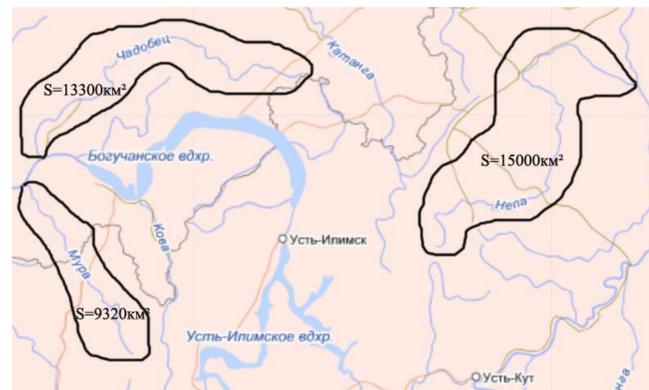


Рис.3 Схема расположения бассейнов используемых рек-аналогов

Используя результаты ретроспективного расчета бокового притока и данные многолетних наблюдений по указанным рекам (рр. Мура, Чадобец, Непя), было получено следующее линейное уравнение(2) :

$$Q_{сыр} = 3.95 * Q_{мура} + 0.94 * Q_{чад} + 0.65 * Q_{непя} + 1.96 * \Delta Q_{чад} + 145.41 \quad (2)$$

где,  $Q_{мура}$  - среднесуточные расходы р.Мура,  $Q_{чад}$  – то же р.Чадобц,  $Q_{непя}$  - то же р.Непя,  $\Delta Q_{чад}$  - разница среднесуточных расходов р.Чадобец за данный и предыдущий день.

Уравнение (2) характеризуется следующими показателями точности: Коэффициент множественной корреляции **R= 0.966**; Т-статистики коэффициентов регрессии изменяются от 8.2 до 24.7, т.е. ошибки коэффициентов регрессии существенно меньше их значений. Приведенные характеристики указывают на высокую тесноту связи и высокую надежность оценки ее параметров.

Данные «Гидропроекта» о ежедневных расходах воды в створе Сыромолотово за весенний период в некоторые годы оказались завышенными. Формирование максимума на Ангаре происходит в период ледохода, в это время на реке наблюдается подпор уровней воды от ледохода и от нижерасположенной кромки льда. Недочет этого фактора приводит к искусственному завышению расходов, что и видно на графиках (при подсчете стока в с.Сыромолотово срезка уровней с учетом влияние подпора Гидропроектом не производилась). Совместный анализ данных по стоку в пунктах Сыромолотово - Богучаны за эти годы позволил обнаружить ошибки и в дальнейшем эти данные не учитывать.

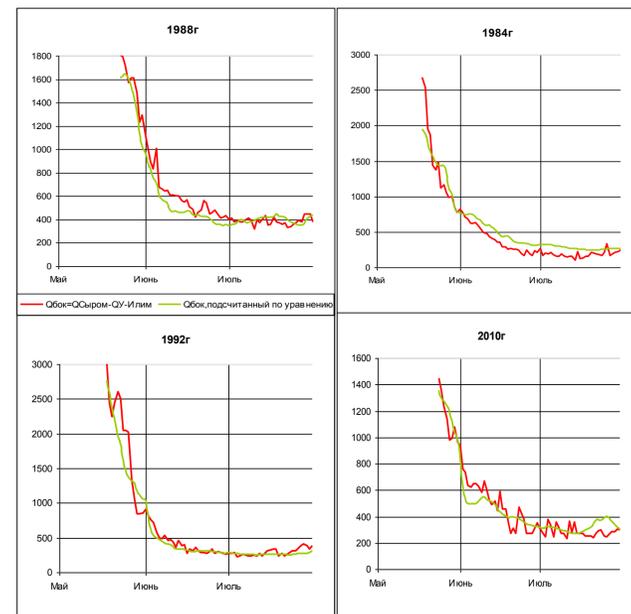


Рис.4 Совмещенные графики хода бокового притока подсчитанного по разности расходов и сбросов и по уравнению (2)

На рис.4 представлен пример расчета гидрографа притока, подсчитанного двумя способами. Сходимость в основном удовлетворительная за исключением периода формирования максимума половодья, когда явно завышен сток у Сыромолотово.

### Выводы:

1. Отсутствие гидрометеорологической сети наблюдений в бассейне Богучанского водохранилища усложняет обслуживание энергетики.
2. На основе регулярных наблюдений на соседних водосборах разработано уравнение расчета суточного бокового притока в период открытого русла.
3. Результаты расчета этим способом пригодны для оперативной количественной оценки увлажнения бассейна Богучанского водохранилища.

### Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 16.Ангаро-Енисейский район. Вып.2, Ангары. Л., ГИМИЗ,1972.
2. Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Гидрометеиздат, Л.1960.
3. Пояснительная записка к проекту «Временных павил использования водных ресурсов Богучанского водохранилища на период начального наполнения и первого этапа эксплуатации водохранилища» М. 2011. Стр 65.
4. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, Служба гидрологических прогнозов, ч.1. Прогнозы режима вод суши. Гидрометеиздат Л.1962.
5. Отчеты о гидрологических работах на р.Ангаре и её притоках 1965-1985 г.г. Мосгидеп.