



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

tpu.ru

Прогнозирование приточности гидроэлектростанций на основе открытых источников метеоданных

Автор: Ушаков Александр Александрович

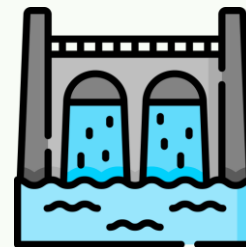
Руководитель: доцент, к.т.н. Васильев А.С.



Проблема

Проблема заключается в отсутствии методики учета осадков в приточности достаточной точности для прогнозирования половодий и паводков, что приводит к неоптимальному планированию, холостому сбросу и нарушению предельно допустимых параметров водноэнергетического режима (ВЭР).

Актуальность



Прогнозирование выработки
ГЭС



Прогнозирование паводков



Разработка методики среднесрочного прогнозирования приточности ГЭС на основе анализа открытых метеорологических данных, учитывающей (осадки(дождь/снег), интенсивность снеготаянья, глубину снежного покрова).

Цель работы

Задачи работы

- Выполнить сбор данных** на территории бассейна реки Енисей
- Изучить** литературу по теме;
- Автоматизировать** сбор информации о влияющих факторах
- Выделить** основные факторы, влияющие на приточность;
- Создать методику** среднесрочного прогнозирования, основанную на использовании открытых метеоданных.



Рисунок 1 – Бассейн реки Енисей

Площадь исследуемого участка бассейна реки Енисей 174,5 тыс. км²

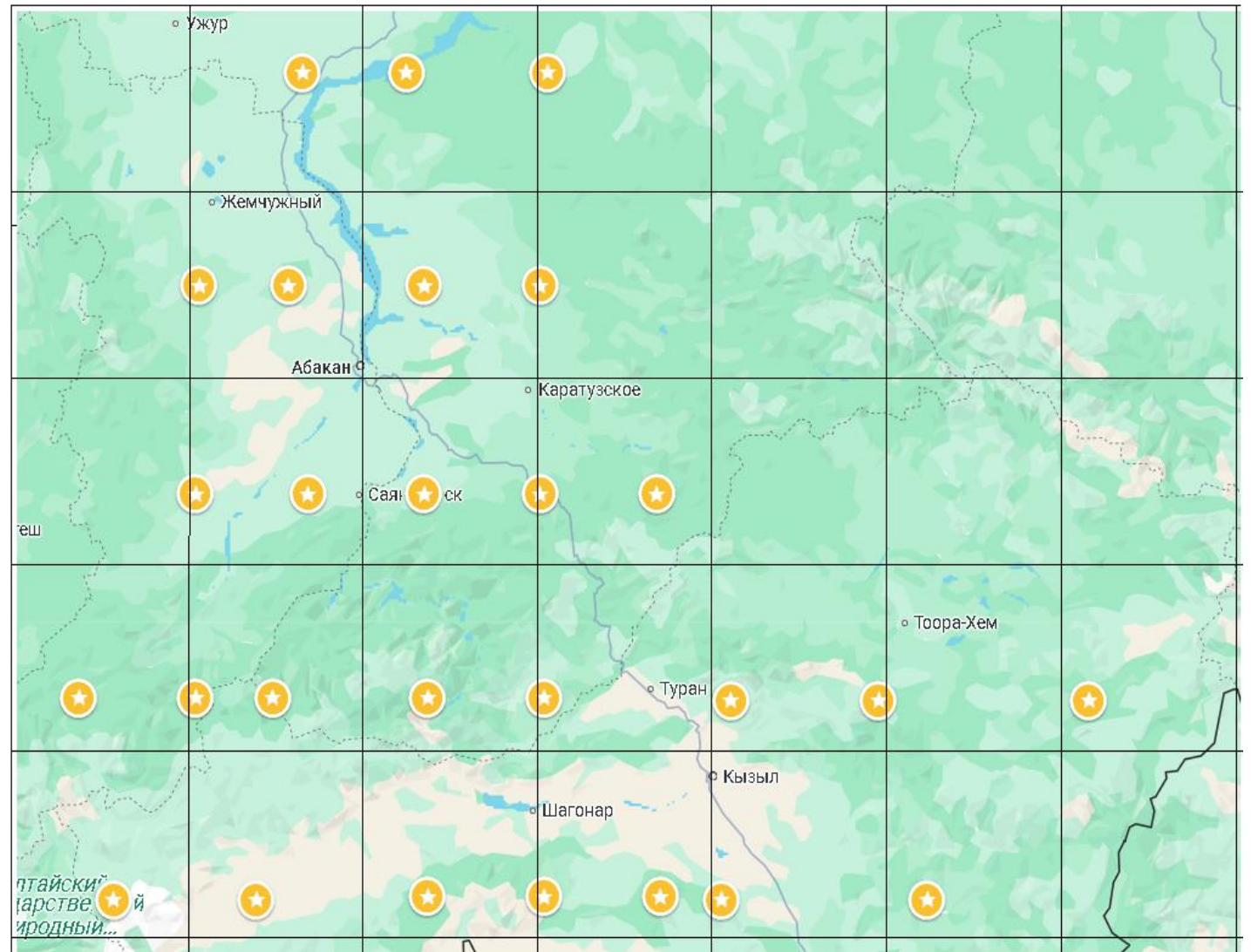


Рисунок 2 – Местоположение метеостанций на исследуемом участке

Исходные данные

Данные по ГЭС*:

- суммарный приток,
- уровни воды в нижнем и верхнем бьефах,
- расход воды в нижний бьеф.

Данные с метеостанций:**

- температура воздуха,
- осадки(дождь/снег),
- глубина снежного покрова
- Температура почвы на глубине до 1 метра.

* Предоставлены СО ЕЭС

** Осуществляется с помощью публичного API (Application Programming Interface), сайта **Historical Weather API**. Код для взаимодействия с API был написан на языке **Python**.

URL:<https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api>

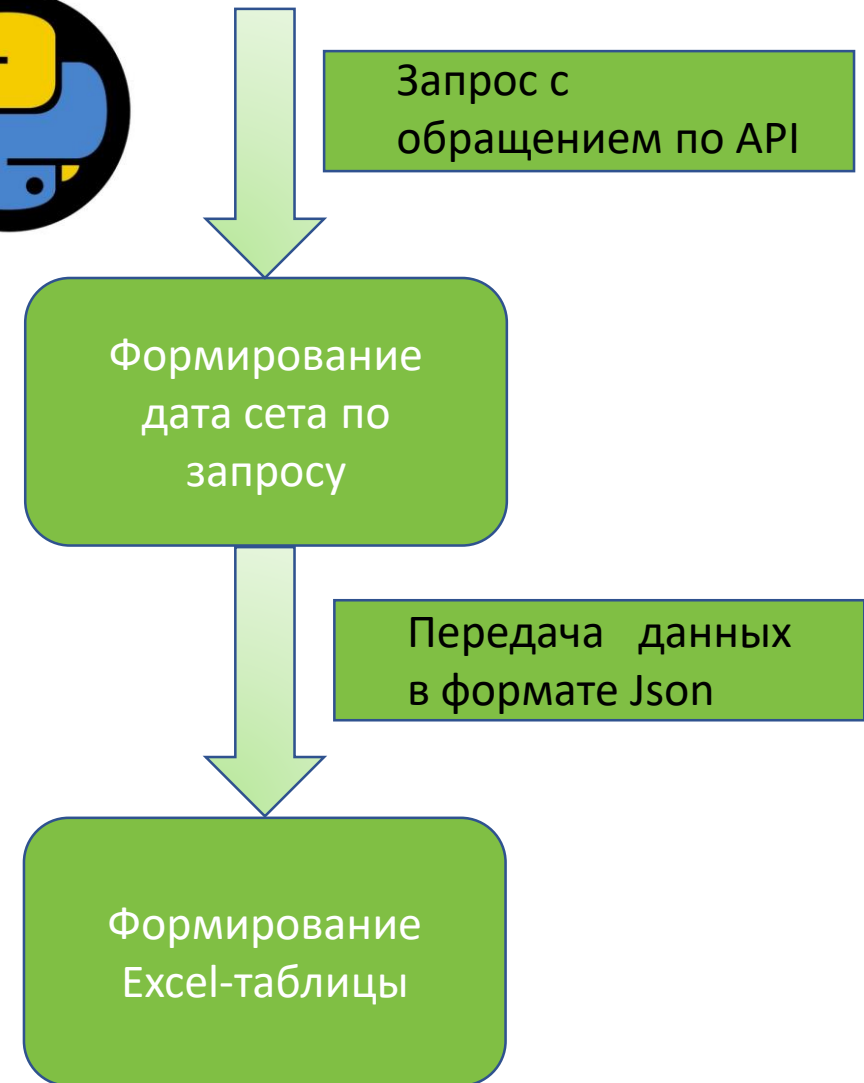
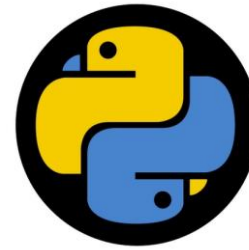


Рисунок 3 – Схема взаимодействия через API

Саяно-Шушенская ГЭС

На основе зависимости объема воды в верхнем бьефе от уровня воды в верхнем бьефе, основанной на фактических данных изменения данных величин, был произведен расчет объема воды в верхнем бьефе. Аналогичным образом произведем расчет для КГЭС

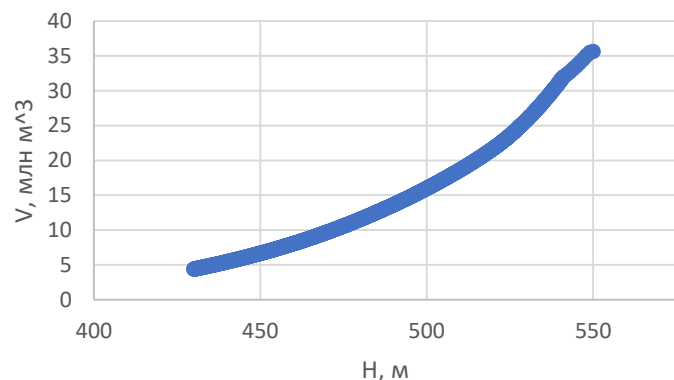


Рисунок 4 – Характеристика изменения объема от уровня воды в верхнем бьефе

*УМО – уровень мертвого объёма, м³

**ФПУ – форсированный подпорный уровень, м³

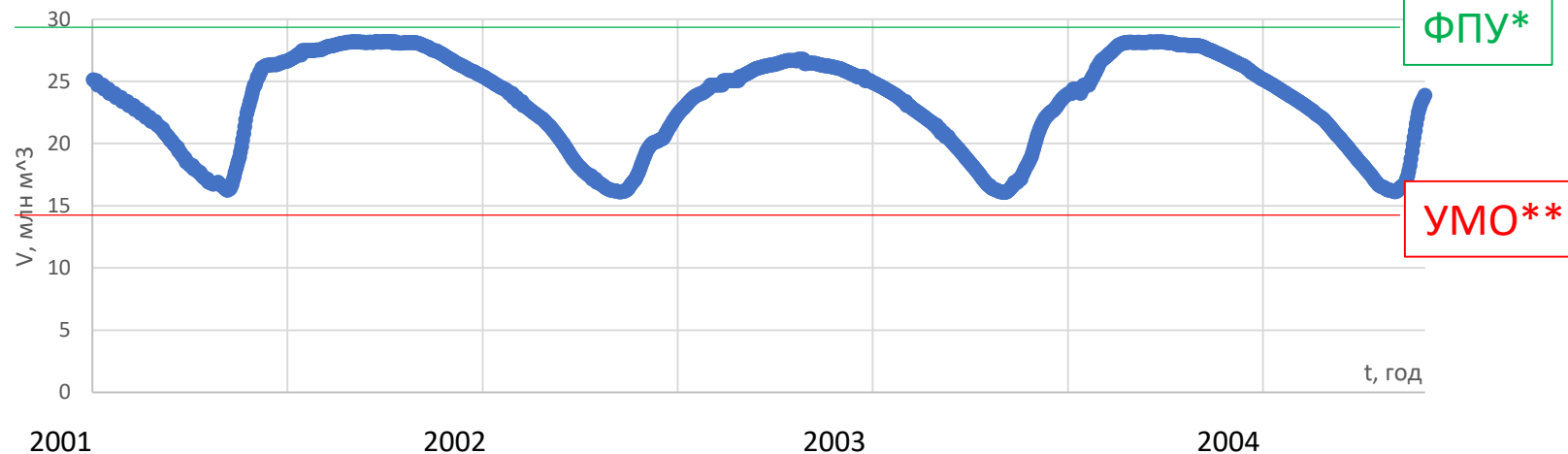


Рисунок 5 – Объем воды в верхнем бьефе

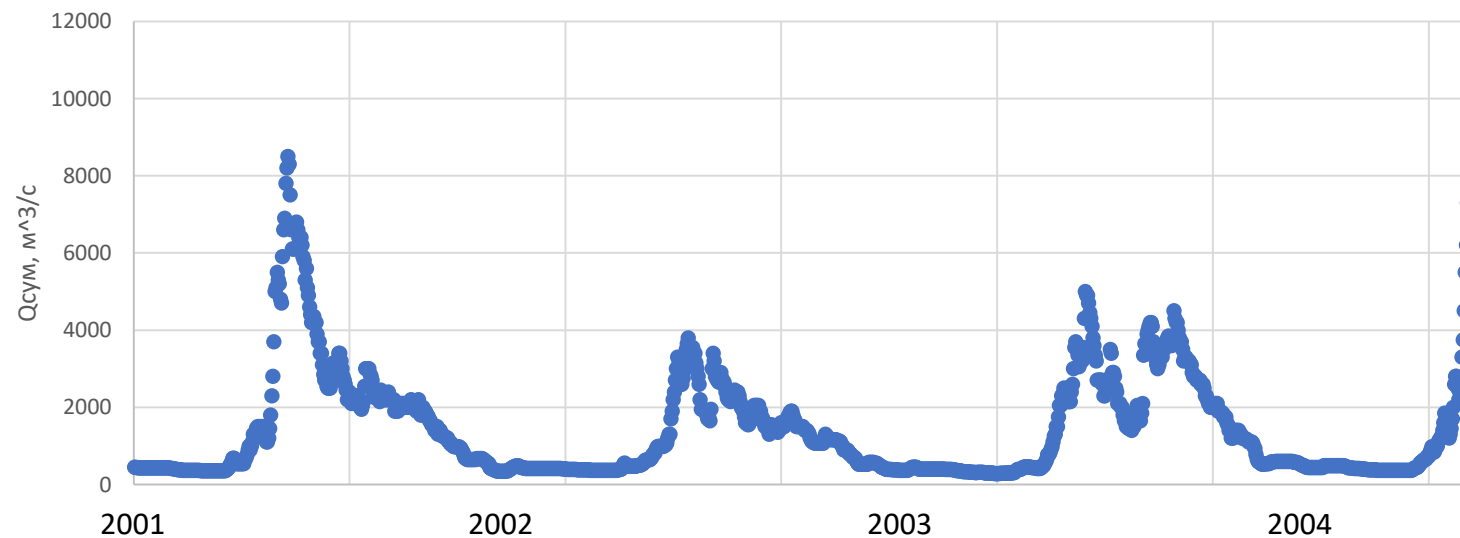


Рисунок 6 – Суммарная приточность к створам водохранилища

КГЭС

Красноярская ГЭС

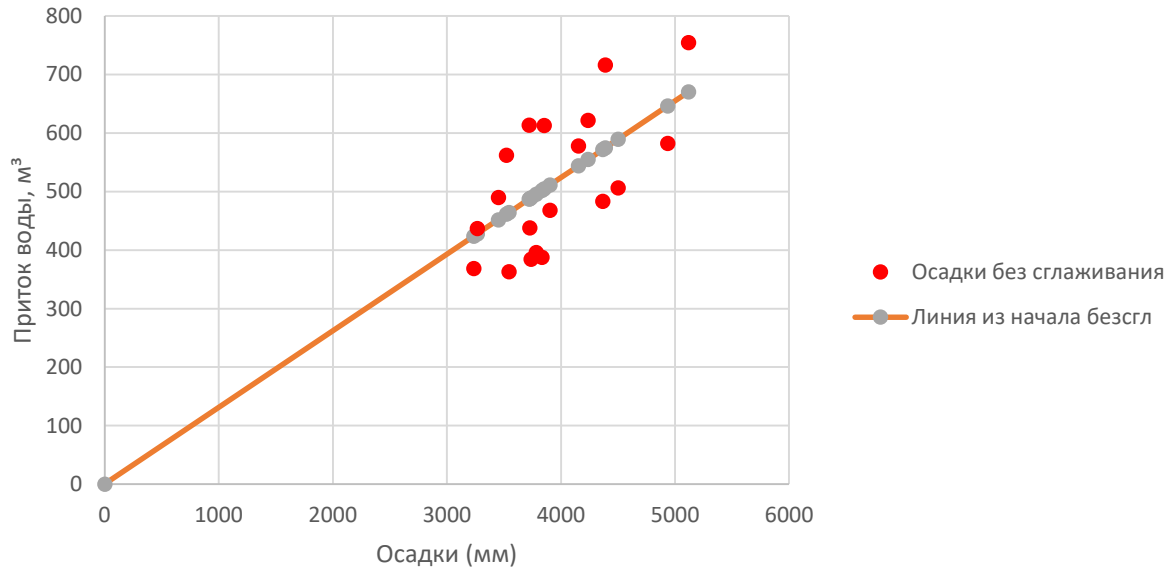


Рисунок 7 – Зависимость приточности от осадков КГЭС

$$P_{\text{сум}} = \sum_{t_{\text{НП}}}^{t_{\text{КП}}} P_{\text{д}} + P_{\text{с}} + \max_{t_{\text{НП}}} h \quad (1)$$

Где P , мм - осадки выпавшие в виде дождь/снег ; h , мм – глубина снежного покрова; $Q_{\text{сум}}$, м³/с – суммарный приток на ГЭС;

СШГЭС

СШ ГЭС

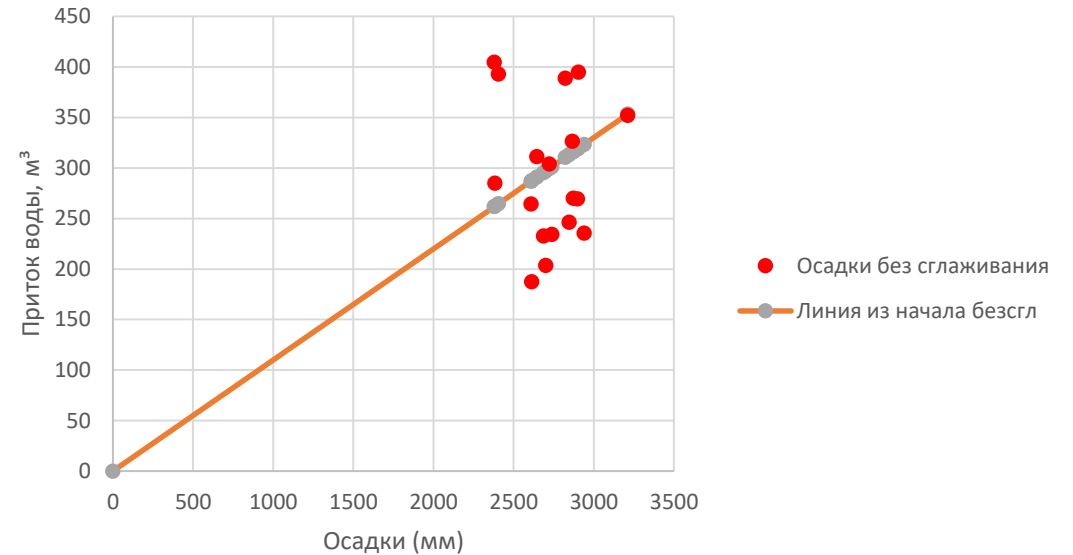


Рисунок 8 – Зависимость приточности от осадков СШГЭС

$$Q_{\text{сум}} = \sum_{t_{\text{НП}}}^{t_{\text{КП}}} Q_{\text{сум}} \quad (2)$$

КГЭС скорректированная

Красноярская ГЭС

$R^2 = 0.4054$

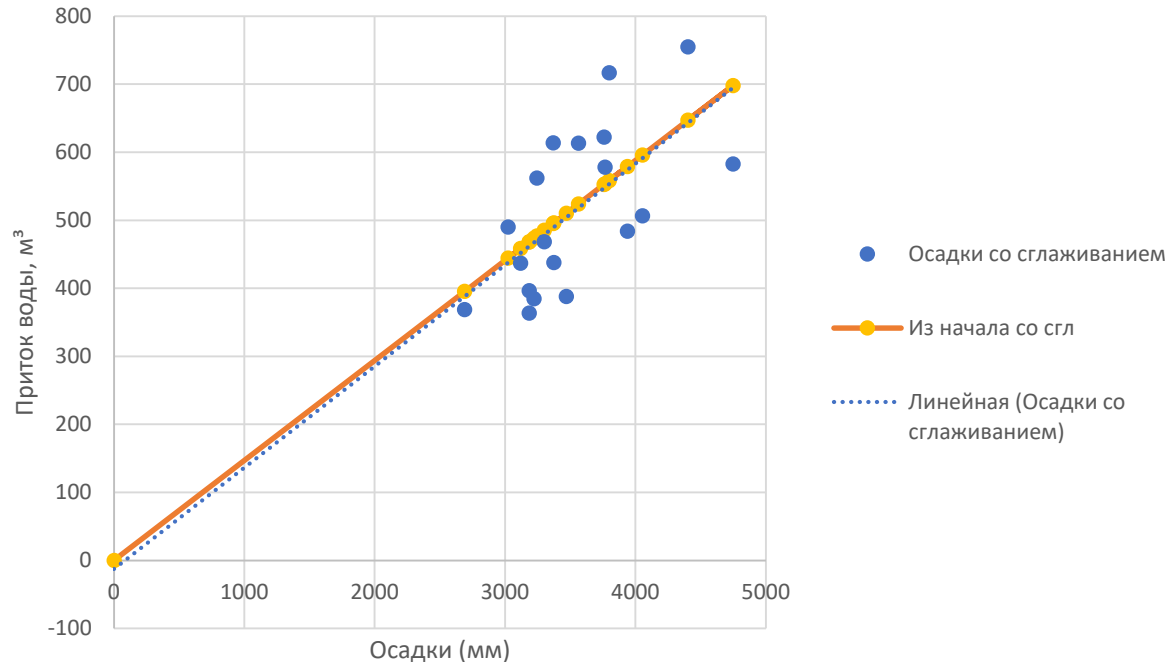


Рисунок 9 – Зависимость приточности от осадков КГЭС сглаживание

СШГЭС скорректированная

СШ ГЭС

$R^2 = 0,4542$

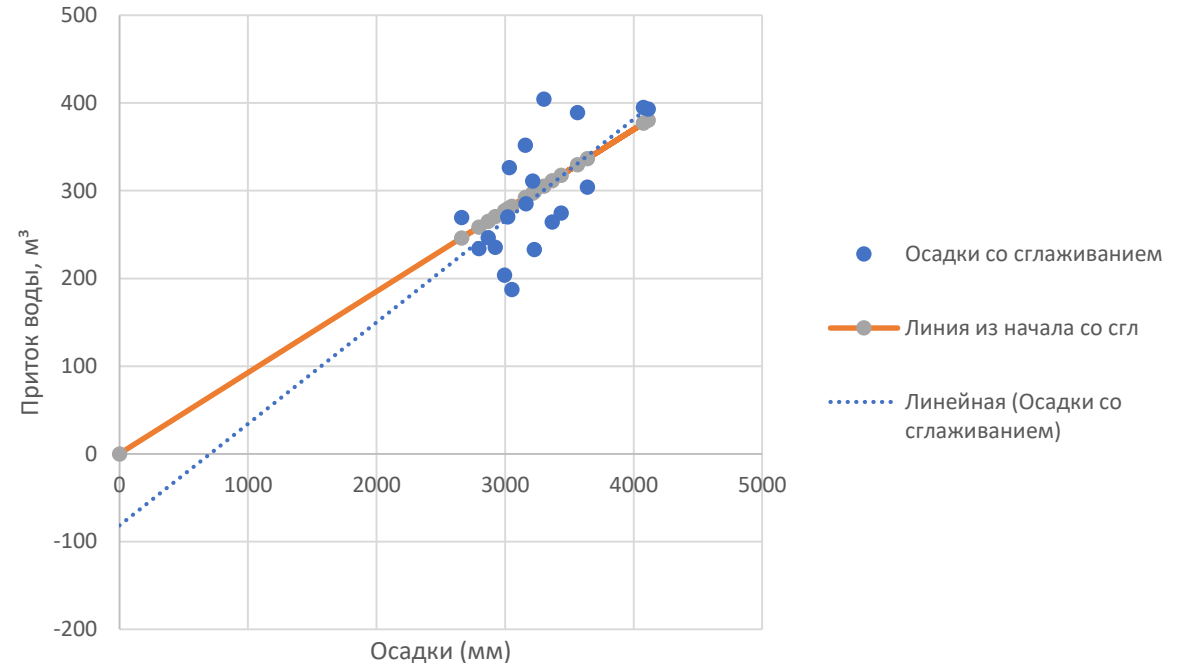
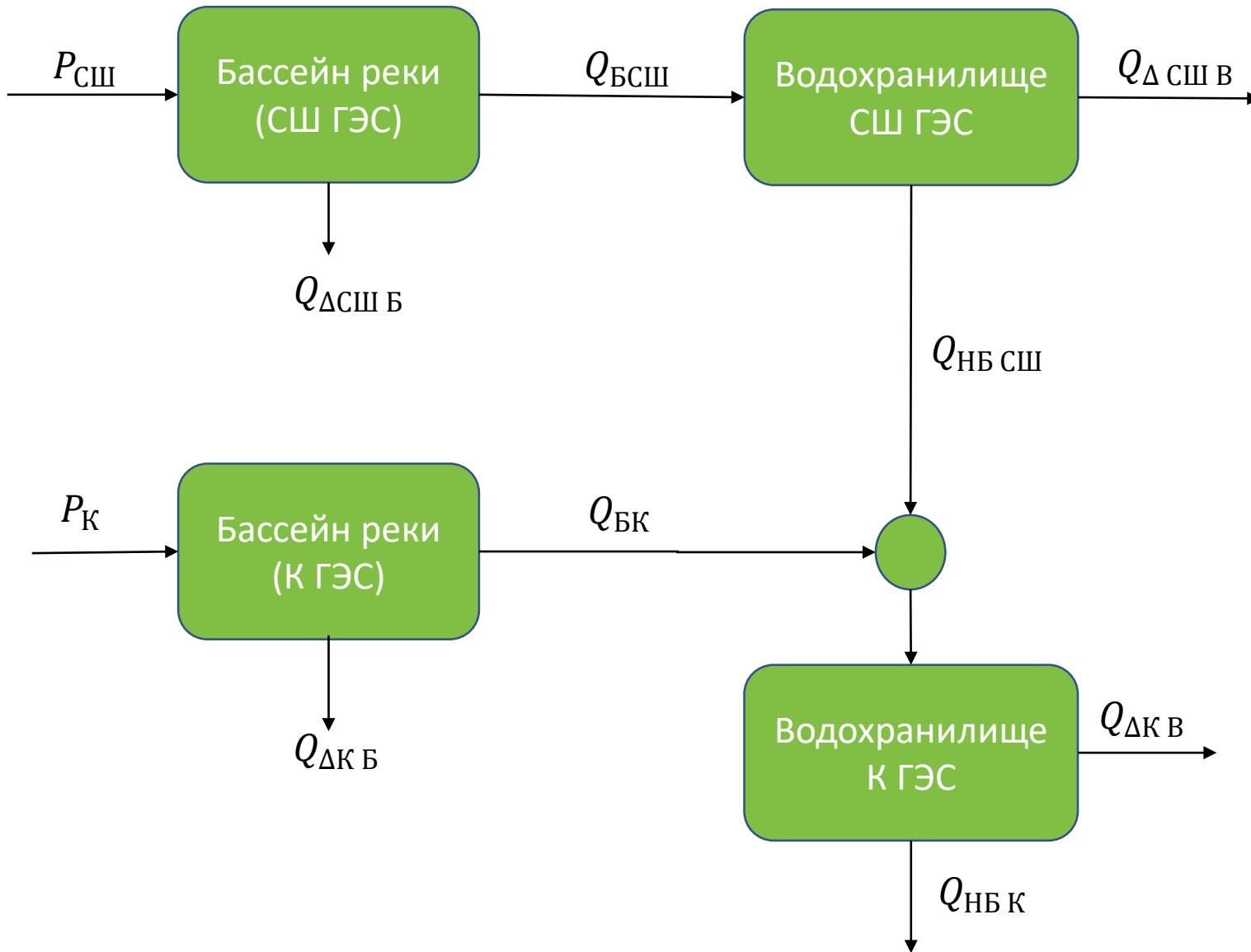


Рисунок 10 – Зависимость приточности от осадков СШГЭС сглаживание

$$h_{\text{тек}+1} = k_1 \cdot h_{\text{пр}} + k_2 \cdot h_{\text{тек}}$$

Где $h_{\text{тек}+1}$, м³/с – значение глубины снежного покрова для следующего часа, $h_{\text{тек}}$, м³/с – значение глубины снежного



Блок-схема демонстрирует балансы поступления и расхода воды в бассейне реки и водохранилищах ГЭС.

На схеме представлены:

$P_{СШ}$ и P_K - осадки, выпадающие в бассейн, для Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС соответственно;

$Q_{\Delta СШ Б}$ - суммарное потребление воды, удержание её в бассейне реки, испарение;

$Q_{БСШ}$ - суммарный боковой приток основанный на осадках;

$Q_{\Delta СШ В}$ - суммарная часть притока накопившаяся в водохранилище;

$Q_{НБ СШ}$ - суммарный сток воды в нижний бьеф;

Рисунок 11 – Блок схема баланса расходов

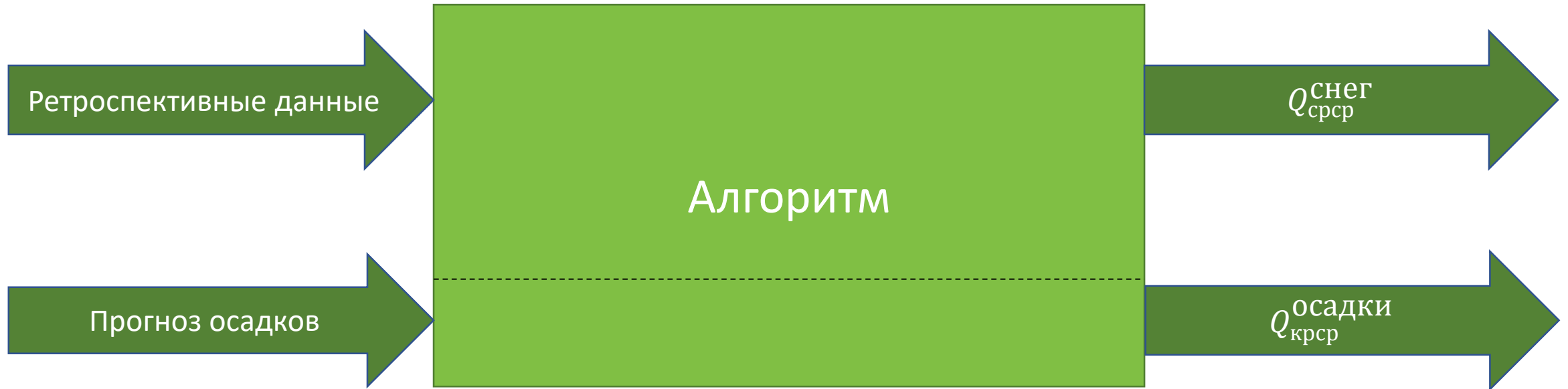


Рисунок 12 – Алгоритм прогнозирования приточности

где $Q_{\text{срср}}^{\text{снег}}$ - прогнозное значение приточности на средне срочную перспективу (половодье), основанное на ретроспективных данных глубины снежного покрова

$Q_{\text{крср}}^{\text{осадки}}$ - прогнозное значение приточности на краткосрочную перспективу (паводок), основанное на прогнозных данных осадков



Рисунок 13 – Изменение толщины снежного покрова в течение половодья

$$W_{ВХ,j} = \int_{t_{нач}}^{t_{кон}} (k_i \cdot P_i - Q_{\Delta i БР} + Q_{НБ,j-1} - Q_{НБ,j} - Q_{\Delta i В}) dt - \Delta W_{ВХ} (4)$$

$\Delta W_{ВХ}$, м³ – изменение объем воды, накопленной в водохранилище ГЭС,

$Q_{НБ,i-1}$, м³/с – суммарный расход воды в нижний бьеф ГЭС, расположенной выше по течению,

$Q_{\Delta i В}$, м³/с – потребление воды из водохранилища

водопользователями, $t_{нач}$ и $t_{кон}$ даты начала и конца наполнения снежного покрова.

$$W_{снега} = \int_{t_{нач}}^{t_{кон}} (k_i \cdot P_i - Q_{сум} - Q_{\Delta i БР}) dt (3)$$

где $W_{снега}$, м³ – объем воды, накопленный в виде льда и снега,

P , м³/с – снежные осадки в период накопления снежного покрова на территории i -ой метеостанции,

$Q_{сум}$, м³/с – суммарный приток к плотине ГЭС,

k_i – весовой коэффициент вклада осадков на территории i -ой метеостанции,

$Q_{\Delta i БР}$, м³/с – суммарное потребление воды, удержание её в бассейне реки, испарение.

СШГЭС



Рисунок 14 – Сопоставление параметров глубины снежного покрова СШГЭС

Зависимость между объемом снеготаянья и изменением объема воды в период половодья является довольно хаотичной, что в свою очередь говорит о невозможности её использования в модели.

КГЭС



Рисунок 15 – Сопоставление параметров глубины снежного покрова КГЭС

СШГЭС

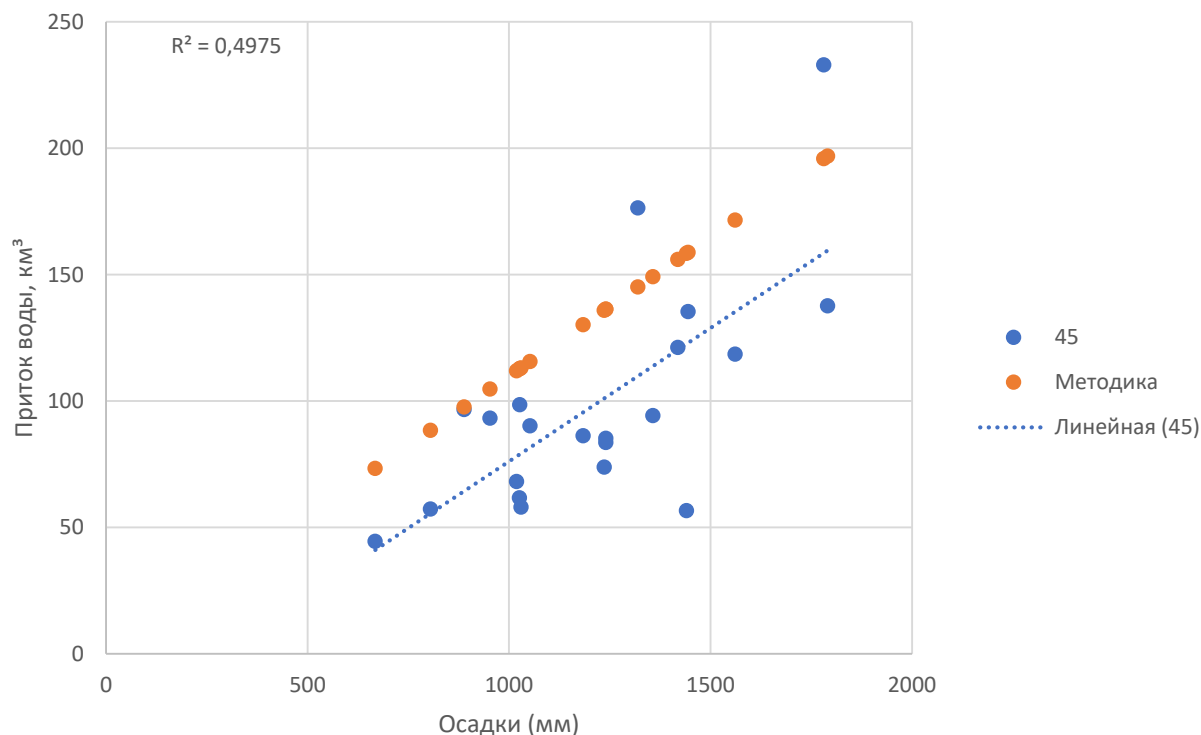


Рисунок 16 – Тестирование методики 45 дневный интервал СШГЭС

Корреляция параметров для 45-ти дневного интервала является средней что говорит о достаточной для включения в модель зависимости параметров для данного интервала. $r_{\text{СШГЭС}(45)} = -0,7054$, $r_{\text{КГЭС}(45)} = -0,5522$.

КГЭС

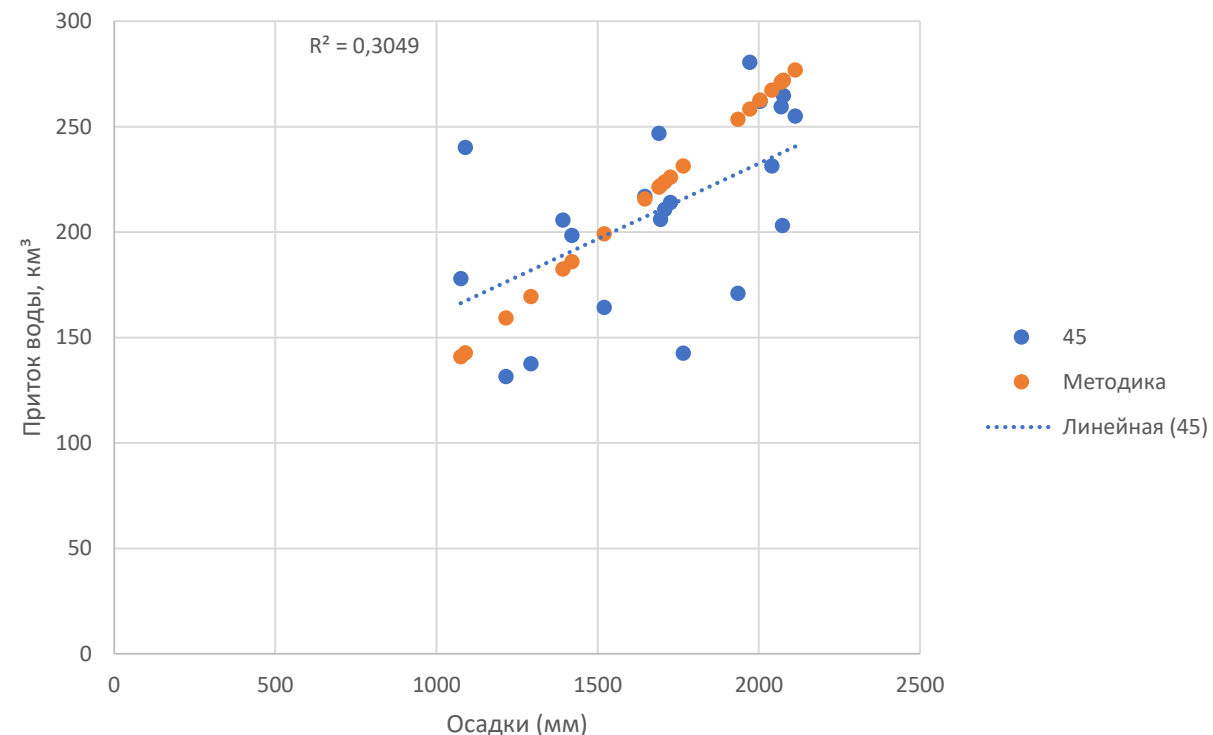


Рисунок 17 – Тестирование методики 45 дневный интервал КГЭС

СШГЭС

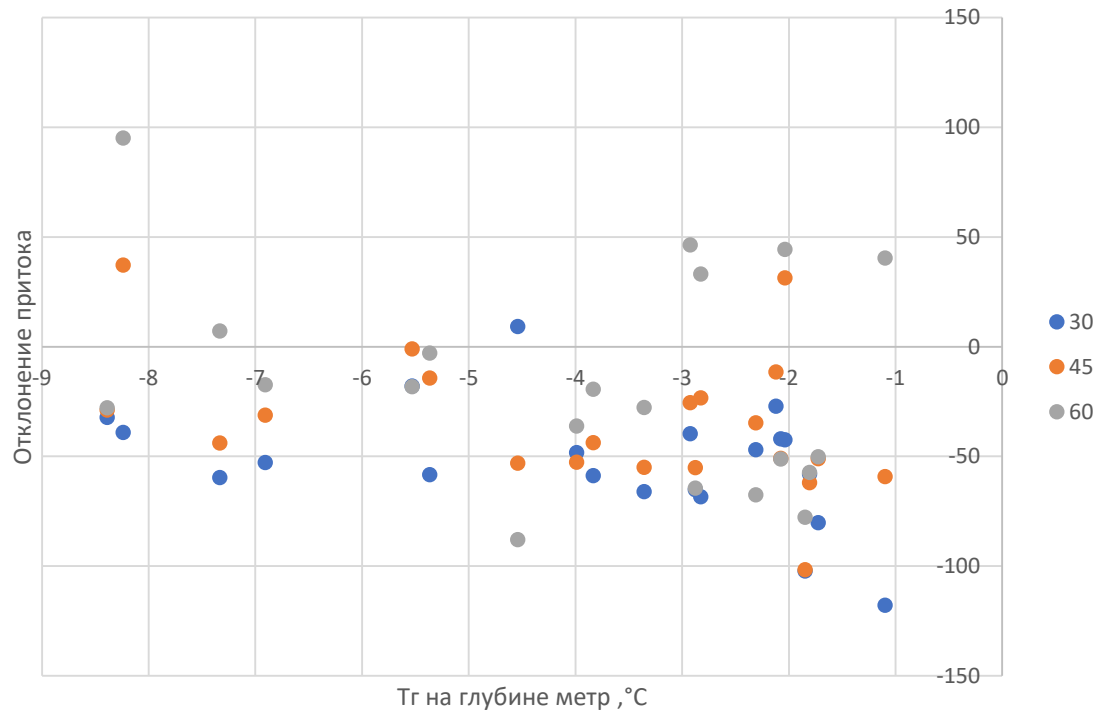


Рисунок 18 – Отклонение притока от глубины промерзания грунта СШГЭС

По глубине промерзания почвы невозможно судить о приточности, поскольку данная величина слабо связана с приточностью на основе корреляционного анализа. Максимальная корреляция наблюдается на 60 для КГЭС и 30 для СШГЭС $r_{\text{СШГЭС}(tg)} = -0,406$, $r_{\text{КГЭС}(tg)} = 0,1529$

КГЭС

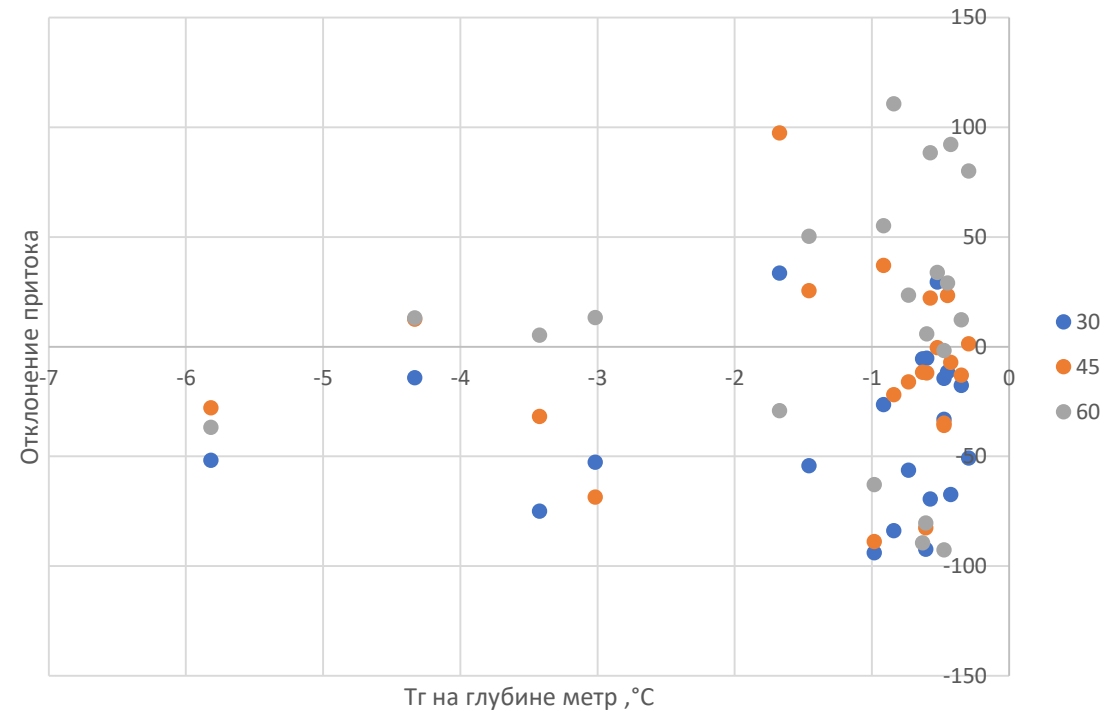


Рисунок 19 – Отклонение притока от глубины промерзания грунта КГЭС

СШГЭС

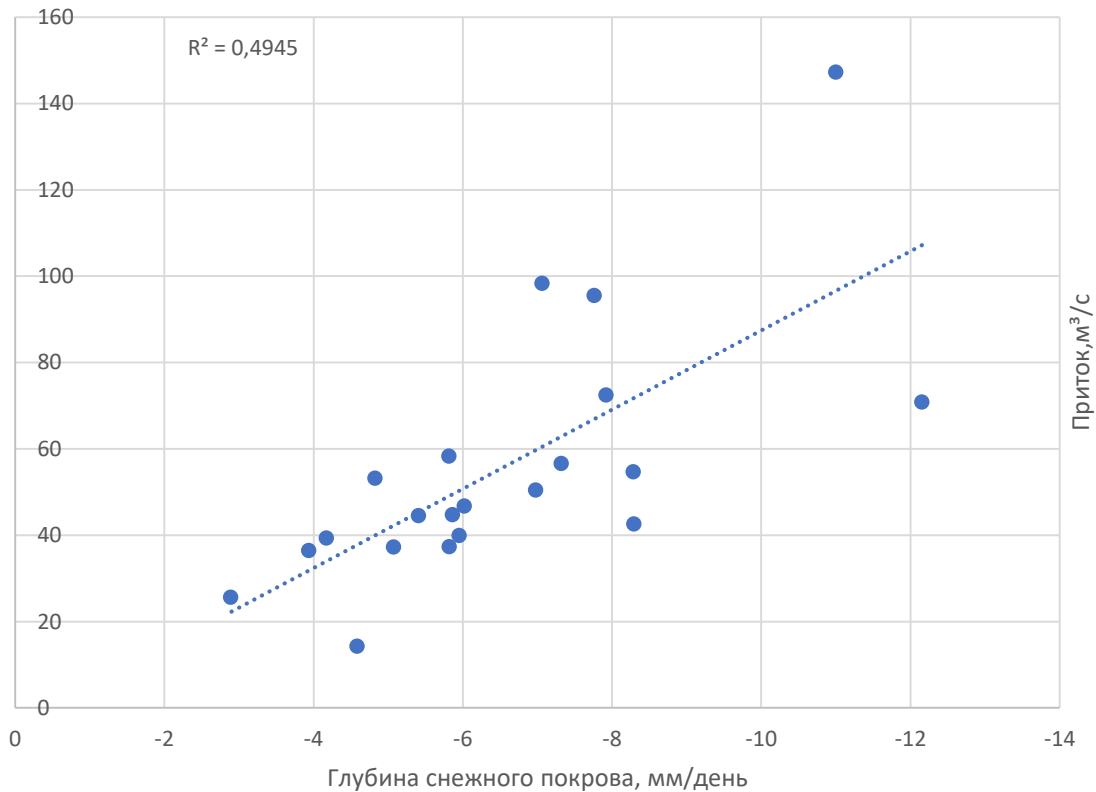


Рисунок 20 – Изменение притока относительно глубины снежного покрова СШГЭС

Данный фактор позволяет судить об интенсивности притока к створам плотины ГЭС. Корреляционный анализ показывает среднюю связность параметров. $r_{\text{СШГЭС}(h)} = -0,7032$, $r_{\text{КГЭС}(h)} = -0,6307$

КГЭС

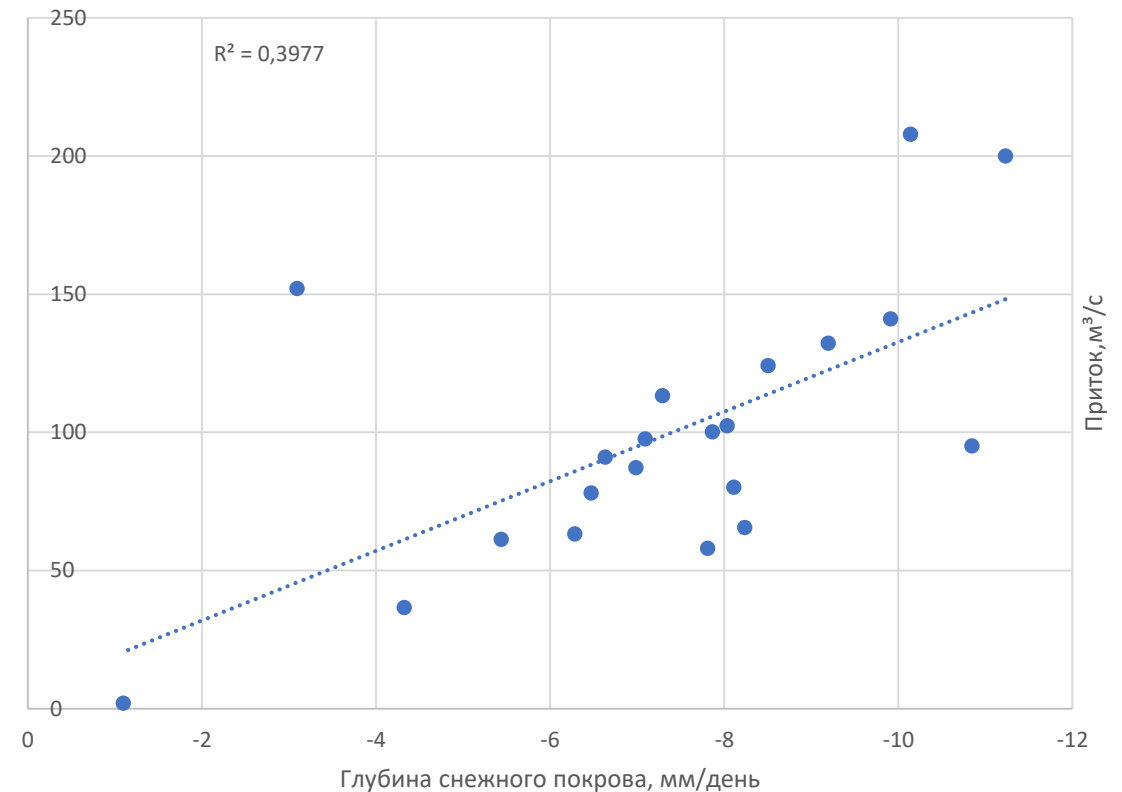


Рисунок 21 – Изменение притока относительно глубины снежного покрова КГЭС



Результаты

- ☑ Произведен расчет по первичной методике на основе исходных данных. Данная модель имеет плохую прогностическую способность требуется доработка.
- ☑ Произведен расчет по переработанной методике на основе интегрального накопления. Данная модель не дает представления о прогнозе приточности из-за большого расхождения фактического изменения объема и теоретически рассчитанного.
- ☑ Произведен тест первичной методики на фиксированных временных интервалах, который показал возможность применения методики на 45 дневном интервале.
- ☑ Выделены ключевые метеоданные для дальнейшего улучшения методики.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

tpu.ru

Спасибо за внимание!

Прогнозирование приточности гидроэлектростанций
на основе открытых источников метеоданных

Автор: Ушаков Александр Александрович

Руководитель: доцент, к.т.н. Васильев А.С.

