

## ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС



ФАЗА ii: ВАРИАНТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТА  
Том 2: Исходные данные

Глава 5: Метеорология, Гидрология и Изменение климата

Август 2014

## ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

ФАЗА ii: ВАРИАНТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТА  
Том 2: Исходные данные

Глава 5: Метеорология, Гидрология и Изменение климата

Август 2014

**Отчет №: P.002378 RP 07 Ред. Е**

Е	19/08/2014	Окончательный – Август 2014	Х. Гаррос	Луи Буза	Луи Буза
Д	31/03/2014	Окончательный	Х. Гаррос	Николя Санс	Николя Санс
Г	15/01/2013	Проект отчета для опубликования	Х. Гаррос	Николя Санс	Николя Санс
В	07/01/2013	Окончательный	Х. Гаррос	Ассенсио Лара	Николя Санс
Б	10/08/2012	Редакция Б	Х. Гаррос	Р. Алберт	Николя Санс
А	11/07/2011	First Draft	Х. Гаррос	Р. Алберт	Р. Алберт
<b>Редакция</b>	<b>Дата</b>	<b>Тема редакции</b>	<b>Подготовлено</b>	<b>Проверено</b>	<b>Одобрено</b>

## Содержание

<b>Содержание</b>	<b>3</b>
<b>Источники</b>	<b>5</b>
<b>Сокращения и условные обозначения</b>	<b>6</b>
<b>Список Таблиц</b>	<b>7</b>
<b>1. введение</b>	<b>8</b>
<b>2. общее положение</b>	<b>8</b>
<b>2.1 География</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Гидрологический режим</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Гидрометеорологические данные</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Климатические данные</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Гидрометрические данные</b>	<b>13</b>
<b>3. ПРИТОК</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Оценка приюков</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Годичные и сезонные притоки</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Ежемесячный приток</b>	<b>18</b>
<b>4. Паводки</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Данные для изучения паводков</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Региональная выборка паводков – Общий подход</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Региональный подход</b>	<b>21</b>
4.3.1. Первый этап – Бассейн реки Вахш	27
4.3.2. Второй этап – река Вахш + река Инд + река Ченаб	33
4.3.3. Третий этап – второй этап + река Сырдарья	37
4.3.4. Частота паводков и гидрографы паводков	40
<b>4.4 Расчет ВМП (PMF)</b>	<b>43</b>
4.4.1. Оценка Вероятного Максимального Паводка (PMF)	43
4.4.2. ВМП (PMF) по исследованиям 2006 года	45
4.4.3. Подход градусо-дня	47
4.4.4. Процедуры максимизации для получения ВМП	51
4.4.5. Первая максимизация:	54
4.4.6. Вторая максимизация:	57

4.4.7.	Третья максимизация:	59
4.4.8.	Выбор ВМП и гидрограф ВМП	62
<b>5.</b>	<b>смена климата</b>	<b>64</b>
<b>5.1</b>	<b>Данные для анализа смены климата</b>	<b>65</b>
<b>5.2</b>	<b>Анализ тенденций количества осадков, температуры и стоков</b>	<b>65</b>
5.2.1	Анализ тенденций количества осадков	65
5.2.2	Анализ тенденций температур	71
5.2.3	Анализ тенденций стоков	75
5.2.4	Существующие модели в Средней Азии – прогнозы температуры и атмосферных осадков	80
<b>5.3</b>	<b>Снегонакопление и таяние ледников</b>	<b>82</b>
5.3.1.	Анализ региональной информации	82
5.3.2.	Анализ в Таджикистане и на реке Вахш	87
5.3.3.	Сценария 1: Влияние исчезновения ледника	94
<b>5.4</b>	<b>Сценария 2: Эволюция стоков с 1990 до 2100 года</b>	<b>98</b>
<b>5.5</b>	<b>Изменение климата и адаптивное управление:</b>	<b>102</b>
5.5.1.	Модели по изменению климата в качестве инструмента установления приоритетов:	102
5.5.2.	Меры по адаптации к изменению климата:	103

## Источники

Автор	Дата	Название
Палгов Н. Н.	1947	Связь между температурой воздуха и таяние ледников в Залийском Плато: Вестник Академии Наук Казахской ССР, № 10 (10).
Шульц В.	1958	Гидрография Центральной Азии, Ташкент: Публикации САГУ
Кренке А. Н. и Ходаков В. Г.	1966	Связь между таяния поверхности ледников и температурой воздуха. Материалы исследования ледников, летопись обсуждений № 12.
Тронов М.В.	1966	Ледники и Климат. Л. Гидрометеиздат.
Франко Дж и Родьер Дж.	1967	
ЮНЕСКО	1976	Каталог самых сильных наводнений мира.
Кренке А. Н.	1982	Массовое изменение в системе ледников на территории СССР. Л. Гидрометеиздат.
Роше, Родье	1984	Каталог мощнейших наводнений мира (AISH N°143).
ВМО	1986	Справочник по оценке максимально возможного количества осадков
Всемирная Метеорологическая Организация	1986	Межсравнительный модель сток таяния ледников, отчет № 23. Женева
Гидрометеиздат Л.	1988	Прикладной научный справочник по климату СССР, издание 31.
Гаррос-Бертхет X	1994	Методика Станция-Год: Инструмент для оценки проектных паводков. Журнал планирование и управление водных ресурсов 120(2), 135 – 160.
Кучмент Л. С.	1997	Оценка риска наводнений в результате дождей и снеготаяния на основе физического моделирования речных стоков.
Гаррос-Бертхет X	1998	Станция-год и методика Ломбарди: Инструмент для оценки проектных паводков. ICOLD
Гибб и др.	2000	Нурекская ГЭС – отчет по оценке безопасности.
Омура А.	2001	Физические основы для методики таяния основанное на температуре, Журнал прикладных методологий, 40(4), 763 – 761
Махмадалиев, Новиков и др	2002	Первое национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата.
Махмадалиев, Новиков и др	2003	Первое национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата.
Савоскул	2003	Этап 2. Укрепление потенциала в приоритетных областях.
Хомидов А.	2006	Вода, климат, пища и окружающая среда в бассейне реки Сырдарья
Ламейер	2006	Исследования ледников и ледниковых озер в естественных условиях в бассейнах рек Каратаг, Вахш и Зеравшан.
Гидропроект	2006	Гидрология. Том 3 D.
Кристенсен и др.	2009	Окончательный вариант проекта – гидрометеорологические условия.
Переле	2007	Климатические изменения 2007 г. – Глава 11 – Региональное климатическое прогнозирование.
Махмадалиев, Новиков и др	2007	Центральная Азия. Справочные материалы по климатическим изменениям.
Рой	2008	Второе национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата.
ВМО	2009	Потенциальное влияние климатических изменений на гидрологический режим республик Таджикистан и Киргизстан на временных горизонтах 2050 и 2080.
Зигфрид и др.	2010	Руководство по оценке Вероятных максимальных атмосферных осадков, ВМО №1045, Женева
Зигфрид и др.	2010	Станут ли климатические изменения причиной обострения или снижения дефицита воды в Центральной Азии?
Васинский В.А. Мироненко А.П. Сарсембеков Т.Т.	2012	Разрешение международного водного конфликта в Центральной Азии с учетом климатических изменений и таяния льда в бассейне реки Сырдарья.
		Приоритеты для сотрудничества в трансграничных бассейнов рек в Центральной Азии – ЕБР – Алматы

## Сокращения и условные обозначения

- A Водосборная площадь (км<sup>2</sup>).
- Cv Коэффициент вариации ( $Cv = S/M$ ).
- DDF Величина стаивания на 1 градусодень (°C)
- F Частота.
- K(Qp) Шкала приливов Франку-Родье.  $(Q/10^6) = (A/10^9)^{(1-01.K)}$ .
- M Средняя величина выборочных данных.
- Max Максимальная величина выборочных данных.
- Me Средняя величина выборочных данных.
- Min Минимальная величина выборочных данных.
- n Объем выборки.
- PMP Максимально возможное количество осадков (мм).
- PMF Вероятный максимальный паводок (ВМП) (м<sup>3</sup>/с).
- P(окт/май) Сезонная количество осадков с октября по май (мм).
- Pyr Годовое количество осадков (мм).
- Q Расход реки (м<sup>3</sup>/с).
- Qd Суточный расход реки (м<sup>3</sup>/с).
- Qdmx Максимальный суточный расход реки (м<sup>3</sup>/с).
- Qp Мгновенный пик расхода реки (м<sup>3</sup>/с).
- QFit Аппроксимированный расход реки (м<sup>3</sup>/с).
- r Коэффициент корреляции.
- r<sup>2</sup> Коэффициент детерминации.
- RF Суточное количество дождевых осадков (мм).
- RH Относительная влажность (%).
- RO Сток (мм).
- RO Паводковый сток (мм).
- S Стандартное отклонение выборочных данных.
- T Интервал времени (лет).
- V Объем (Мм<sup>3</sup>)
- Vyr Годовой приток (Мм<sup>3</sup>).
- Z Отметка (м).

## Список Таблиц

Таблица 1: Гидропосты в Бассейне реки Вахш.....	13
Таблица 2: Данные по годичным и сезонным притокам на участке Рогунской ГЭС .....	15
Таблица 3: Статистические параметры месячный, годовой и сезонный приток серии 1932/2008: .....	18
Таблица 4: Аналогии между региональными бассейнами рек.....	22
Таблица 5: Кластерный анализ рассматриваемых ряд данных.....	25
Таблица 6: Первый этап регионального анализа .....	29
Таблица 7: этап 2 – Региональная выборка пиков паводков в Рогуне .....	34
Таблица 8: этап 3 – Региональная выборка паводков в Рогуне (287 станционных лет) .	38
Таблица 9: Рогун – Частота паводков и гидрографы паводков.....	41
Таблица 10: Подсчет ВМП по исследованиям 2006 года .....	45
Таблица 11: Вторая максимизация – Использование 40 случаев паводков .....	57
Таблица 12: Третья максимизация – Подход станционных лет.....	60
Таблица 13: Выбор ВМП и гидрограф ВМП .....	63
Таблица 14: Анализ тенденций для данных по атмосферным осадкам.....	66
Таблица 15: Анализ тенденций для температурных данных .....	72
Таблица 16: Анализ тенденций стоков .....	76
Таблица 17: Смена климата в Средней Азии – Температура и атмосферные осадки....	81
Таблица 18: Региональная информация про смену климата и таяние .....	84
Таблица 19: Общая обстановка в Таджикистане и на реке Вахш.....	89
Таблица 20: Максимальное влияние исчезновения ледника.....	94
Таблица 21: Эволюция стоков с 1990 до 2100 года.....	99

## Список Рисунков

Рисунок 2-1: Гидрометеорологическая сеть бассейна реки Вахш, <i>источник Ламайер 2006</i> .....	10
Рисунок 2-2: Ежегодная картина стоков на Рогунской ГЭС, и средняя осадков и температур, зарегистрированных в Обигарме.....	11
Рисунок 2-3: Гидрографическая сеть и гидрометеорологическая покрытия бассейна реки Вахш на участке между створа Рогунской плотины и Сангтудинской ГЭС, <i>источник Ламайер 2006</i> .....	12



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Следующие гидрологические исследования направлены на всеобъемлющий обзор всех существующих документации, предоставленной правительством / Барки Точик (температура, количество осадков / снегопад / таяние ледников, попуск ...), а также существующих исследований по проекту Рогунской ГЭС. Поэтому настоящий отчет включает в себя следующие аспекты:

- Оценка качества и надежность доступных данных;
- Обзор притоков, выполненные оценки для проекта;
- Оценка наводнений с разными периодами возвращения и максимальный вероятный паводок и соответствующей гидрографов паводков на участке проекта;
- Обзор существующих предвидения изменения климата и решение возможных сценариев.

Результаты данного отчета являются основными параметрами проектирования для исследования технико-экономической оценки проекта Рогунской ГЭС.

## 2. ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

### 2.1 География

Участок Рогунской плотины расположен на реке Вахш, которая течет из Памира. Участок плотины расположен 34 км вниз по течению от слияния рек Сурхоб и Обихингоб, которые являются двумя основными притоками водосбора и соединяются, образуя реки Вахш. На участке Рогунской ГЭС Вахшский сток составляет водосборной площади 30 390 км<sup>2</sup>.

Река Сурхоб течет с восточно-северной части водосбора, граничит на севере с Памиро-Алайской горной системы. Обихингоу течет из восточно-южной части водосбора (см. Рисунок 2-2), дренирует высоких гор Центрального Памира, в частности, Пик Сомони (7495 м над уровнем моря).

Примерно 30% водосборной площади лежит выше 4000 м над уровнем моря в зоны покрытия снега и ледников. Среди многочисленных ледников, которые питают притоков реки Вахш, стоит отметить, ледник Федченко, в настоящее время распространяется на



77 км, что составляет длинный ледник в мире за пределами полярных регионов. В пределах водосборной площади ледников оценивается в интервале от 3882 км<sup>2</sup> и 5000 км<sup>2</sup>, которые представляют от 13 до 16% водосбора реки Вахш на Рогунской ГЭС.

Прогнозируемый створ плотины находится 74,6 км вверх по течению от плотины Нурек, и будет представлять собой первый плотины каскада системы Вахшских ГЭС. Нижние гидроэнергетические сооружения (построенные или на стадии исследования) являются: Нурекской ГЭС, Шуробской ГЭС, Байпаза, Сангтуда 1 и 2, Головная, а также с ответвлением от Вахш: Центральная и Перепадная ГЭС.

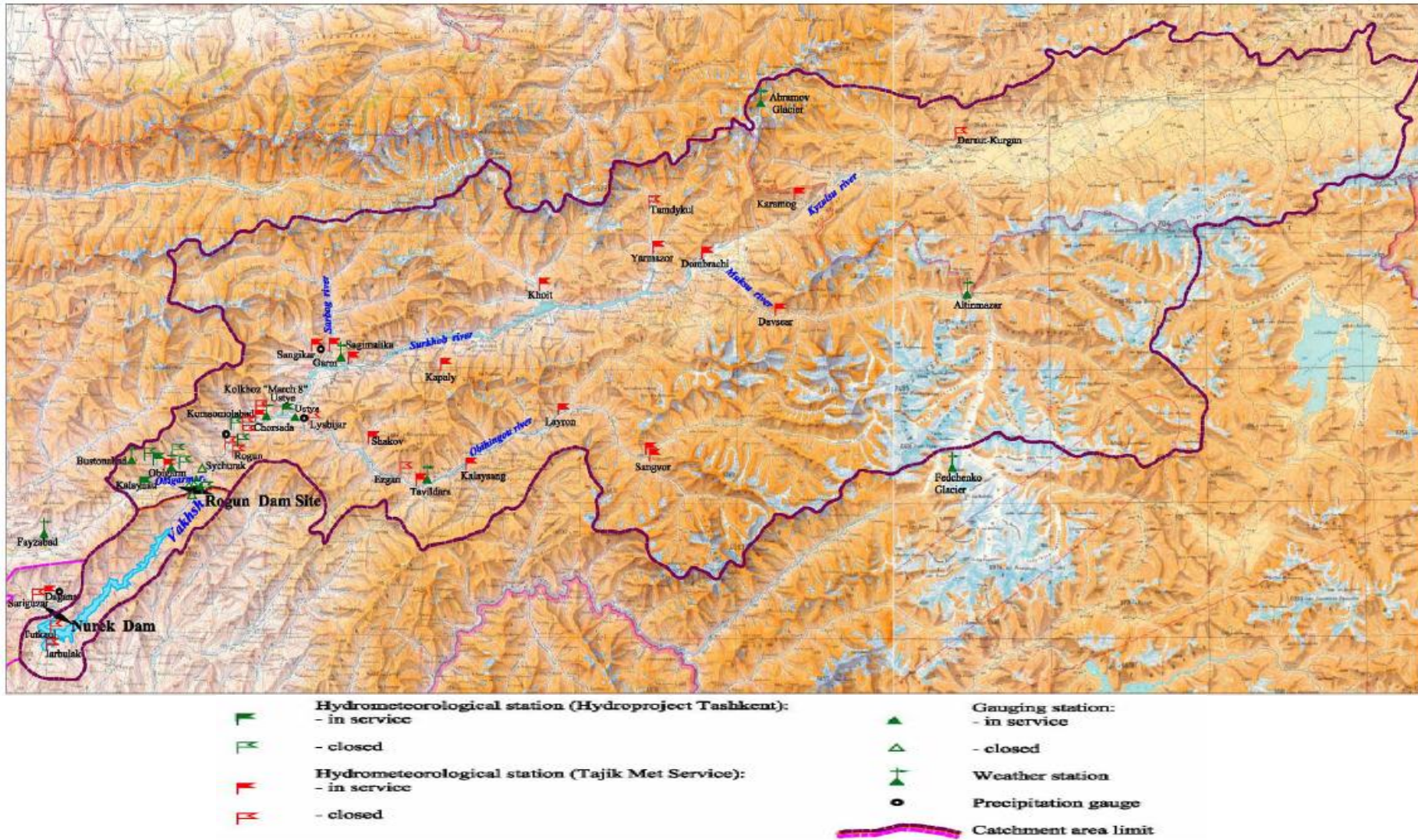
Далее вниз по течению река Вахш присоединиться к реке Пяндж берущее начало из центрального Памира, вместе они образуют реку Амударья, которая является основным притоком Аральского моря.

## 2.2 Гидрологический режим

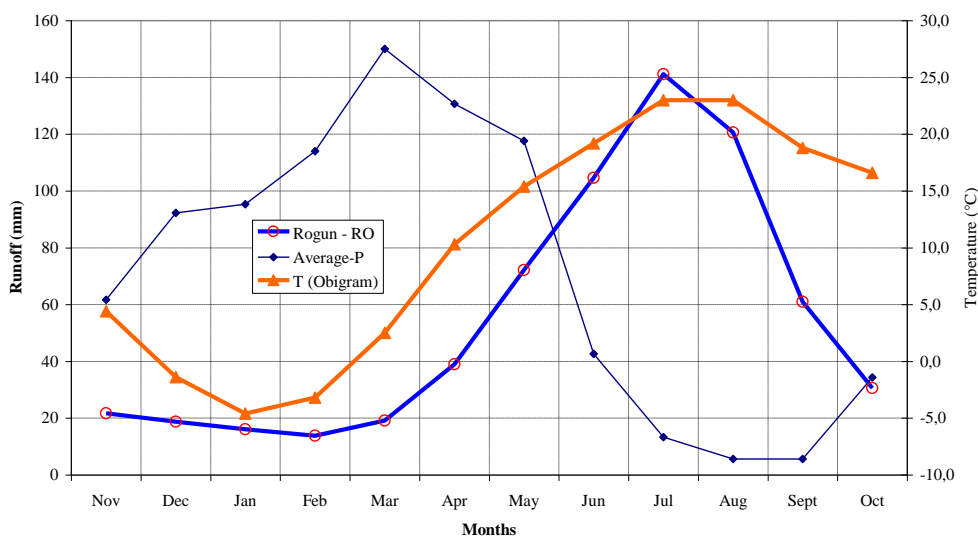
Следовательно, для его водосборной морфологии расположенное рядом с высокими гор Памира, водосбор реки Вахш в основном контролируется за счет таянием снега и ледников. Регион находится под континентальным климатом, который характеризуется в широком диапазоне температур в течение года. Самый холодный месяц происходит обычно в январе, с минимальной температуре, достигающей -30 °С на Комсомолабаде и -32 °С в Гарме.

Годовая сумма осадков в нижней части водосборного бассейна колеблется от 816 мм (Обигарм) до 936 мм (Комсомолабад). В верхней части водосбора, годовая сумма осадков может быть близко до 2000 мм. Особенность климата Центральной Азии, является то, что максимальное количество осадков выпадает в зимний период. Примерно 60% годового количества осадков выпадает в феврале и марте. За этот период доля смешанные осадки (снег с дождем) оценивается между 17 - 24% (Ламайер 2006 и Гидропроект Москва 2009). Такая пропорция подтверждает, что большинство осадков в водосборе реки Вахш хранятся в зимнее время в снежном покрове. Обратное в течение летнего сезона, осадки, как правило, редкие, средние значения записаны в диапазоне от 8 до 16 мм (метеорологические станции Обигарм и Гарм) в июле, а в диапазоне от 4 до 7 мм в августе на те же станциях. Необходимо учитывать орографическое влияние на осадков, а это значит, что даже в летний сезон, осадки будут смешаны между дождем при низкой высоте и снега на большей высоте.

Рисунок 2-1: Гидрометеорологическая сеть бассейна реки Вахш, источник Ламайер 2006



Река Вахш проявляет управляемого гидрологического режима обычно таяния снегов и ледников (Шульц, 1958). Как видно на рисунке 2.2, которая показывает ежегодной картины стоков на площадке Рогунской ГЭС. Большинство стоки во время сезона оттепели (весна, лето), до 60% годового стока (институт Гидропроект Москва, 2009 г). Прямая дождевая сток составляет примерно 5% годовых потоков и компонент подземных вод составляет около 35%. Высокий сезон притока в течение июля, и его средняя продолжительность составляет 200 дней. Это признается характерной для притоков регулирующие ледникам на больших высотах, по сравнению с притоков доминирующие таянием снегов, с пиком периода снеготаяния в начале года. Кроме того, на рисунке 2.2, видно, что стоки полностью некоррелируют с модели осадками, но, безусловно, связаны с температурной модели.

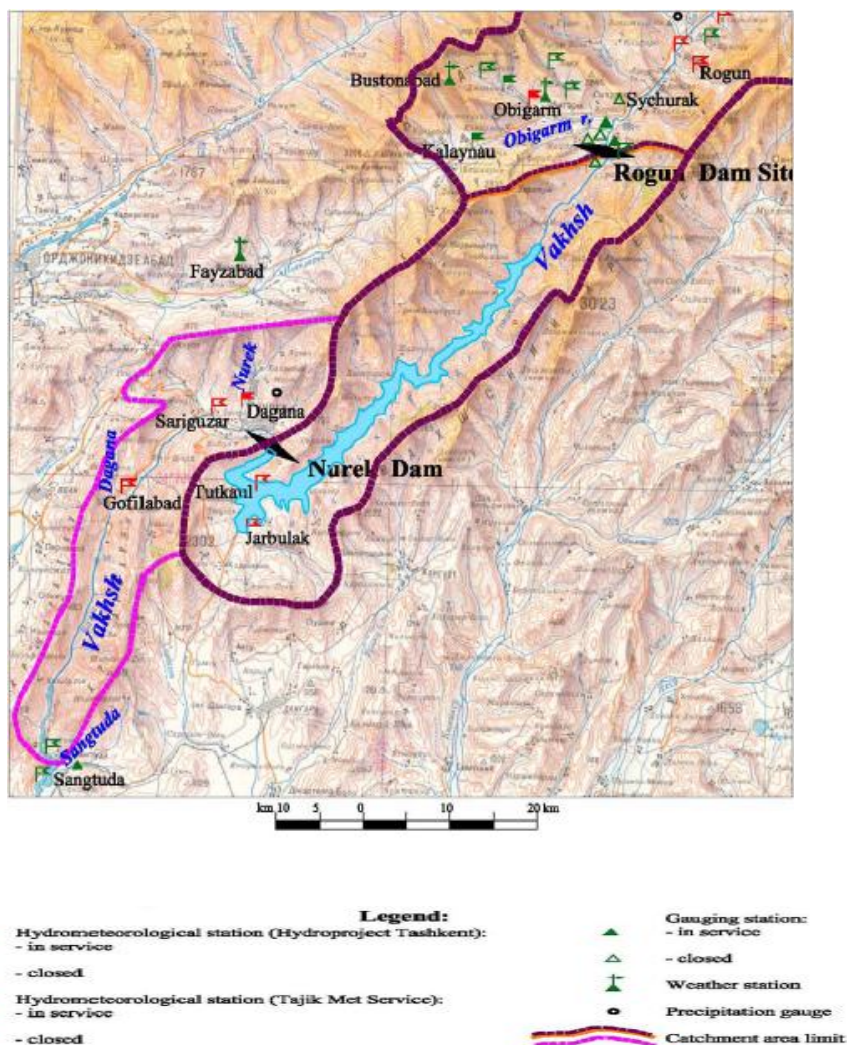


**Рисунок 2-2: Ежегодная картина стоков на Рогунской ГЭС, и средняя осадков и температур, зарегистрированных в Обигарме**



## 2.3 Гидрометеорологические данные

Рисунок 2-3: Гидрографическая сеть и гидрометеорологическая покрытия бассейна реки Вахш на участке между створа Рогунской плотины и Сангтудинской ГЭС, источник Ламайер 2006



## 2.4 Климатические данные

Климатические условия в районе Рогунской ГЭС контролируется следующим метеорологическим станциям: Гарм (1316 м н.у.м.), Комсомолабад (1258 м н.у.м.), Обигарм (1387 м н.у.м.). Они комплектуются дополнительными станциями, расположенными в водосборе реки Вахш: Тавильдара (1616 м н.у.м.), Алтын Мазар (2782 м н.у.м.), ледник Федченко (4169 м н.у.м.) и Ледник Абрамова (3837 м н.у.м.). Станция перевал Анзоб (3737 м н.у.м.) находится за пределами водосбора, примерно в 60 км к северу от Душанбе. Метеорологические станции находятся в приблизительно эквивалентных природной среды, что позволяет использовать данные без

дополнительной корректировки. Все климатические параметры принимаются в соответствии с прикладным научным справочником по климату СССР (Гидрометеиздат, Л., 1988 г).

## 2.5 Гидрометрические данные

Наблюдения на гидрометрических станциях и участках расходов воды проводились с использованием стандартизированных инструментов и методов единой Таджикской Мет. Службой. Гидрометрические станции, используемые в настоящем гидрологическом исследовании приведены в таблице 1. Местоположении Гидропостов можно смореть в Рисунок 2-1 и Рисунок 2-2. Кроме того, в ТЭО проекта Рогунской ГЭС, на разных этапах Гидропроект Ташкент сделал проверку записанных гидрологических данных. Эти проверки подтвердили надежность и приемлимость прямого значения расходов из временного ряда гидрометрических станций.

**Таблица 1: Гидропосты в Бассейне реки Вахш**

Река	Местоположение станции	Водосборная площадь (км <sup>2</sup> )	Период наблюдения
Сурхоб	Гарм	20000	1932-1994
Сурхоб	Устье	22840	1973- по наст. врем.
Вахш	Комсомолобод	29500	1942-1957 1975- по наст. врем.
Вахш	Створ Рогунской плотины	30390	1973-1977
Вахш	к. Туткаул	31200	1930-1967
Обихингоб	к. Тавильдара	5390	1953- по наст. врем.
Обихингоб	Устье	6660	1941-1975

### 3. ПРИТОК

#### 3.1 Оценка приюков

Приток на участке Рогунской ГЭС взяты из разных источников:

- С 1932 по 1972 год, используются записи расходов гидропоста Туткаул,
- С 1973 по 1988 год, расходы на Туткауле восстанавливаются, основанные на наблюдениях, сделанных в Комсомолабаде. Корреляция между двумя станциями основаны на период общего записи (1949-1957 и 1963-1972),
- С 1988 по 2008 год: расходы рассчитываются на основе притоков Нурекской ГЭС выданных из службы эксплуатации Нурека.

Несуществует заметной разницы между измерениями на гидропосте Туткаул и гидропоста на створе Рогунской плотины, который работал в течение 2-3 лет. Наибольшая наблюденная разница было около 16 м<sup>3</sup>/с, которая была только 1% наблюденных расходов. Кроме того станция Туткаул находится чуть выше по течению от плотины Нурек. Как видно на рисунке 2-3, площадь водосбора между Рогунской плотины и Нурекской плотины весьма ограничена в сравнении с остальной частью Вахшского водосбора: менее 3%. Учитывая это, измерение или восстановление расходов в Нуреке, считаются действительными для участка Рогунской ГЭС.

#### 3.2 Годичные и сезонные притоки

В Таблице 2 ниже приведены данные по годичным и сезонным притокам (IV-IX = с апреля по сентябрь, то есть сезон таяния – X-III = с октября по март, то есть холодный сезон) на участке Рогунской ГЭС. Кроме данных по притоку, в расположенной ниже таблице приведены данные частотного распределения притока на створе плотины Рогунской ГЭС.

**Таблица 2: Данные по годичным и сезонным притокам на участке Рогунской ГЭС**
**А. Данные по наблюдаемым стокам**

Год	Годичный	IV-IX	X-III
1932 - 1933	621	1 052	187
1933 - 1934	609	1 008	208
1934 - 1935	696	1 163	227
1935 - 1936	562	919	204
1936 - 1937	647	1 101	190
1937 - 1938	640	1 057	222
1938 - 1939	561	919	200
1939 - 1940	588	973	200
1940 - 1941	527	845	208
1941 - 1942	721	1 171	268
1942 - 1943	737	1 188	282
1943 - 1944	615	977	252
1944 - 1945	621	1 018	223
1945 - 1946	680	1 117	240
1946 - 1947	612	986	235
1947 - 1948	516	850	182
1948 - 1949	703	1 153	251
1949 - 1950	785	1 268	299
1950 - 1951	597	979	214
1951 - 1952	559	880	239
1952 - 1953	730	1 207	250
1953 - 1954	689	1 101	274
1954 - 1955	733	1 200	264
1955 - 1956	575	923	226
1956 - 1957	704	1 184	222
1957 - 1958	493	765	220
1958 - 1959	718	1 197	237
1959 - 1960	705	1 158	252
1960 - 1961	632	1 039	223
1961 - 1962	580	945	213
1962 - 1963	522	839	204
1963 - 1964	582	956	209
1964 - 1965	652	1 083	220
1965 - 1966	514	816	211
1966 - 1967	652	1 101	202
1967 - 1968	569	917	220
1968 - 1969	654	1 052	254
1969 - 1970	867	1 438	293
1970 - 1971	667	1 092	239
1971 - 1972	591	973	209
1972 - 1973	513	814	210
1973 - 1974	765	1 290	237
1974 - 1975	495	798	191
1975 - 1976	577	939	215
1976 - 1977	578	933	221



1977 - 1978	624	1 017	228
1978 - 1979	705	1 160	248
1979 - 1980	634	1 032	236
1980 - 1981	650	1 088	209
1981 - 1982	630	1 017	241
1982 - 1983	583	930	233
1983 - 1984	631	1 044	219
1984 - 1985	667	1 104	227
1985 - 1986	613	997	226
1986 - 1987	529	825	232
1987 - 1988	701	1 136	266
1988 - 1989	736	1 255	215
1989 - 1990	450	678	220
1990 - 1991	652	1 037	265
1991 - 1992	611	988	234
1992 - 1993	718	1 214	219
1993 - 1994	699	1 141	254
1994 - 1995	758	1 285	228
1995 - 1996	596	953	239
1996 - 1997	626	962	288
1997 - 1998	599	900	295
1998 - 1999	819	1 309	326
1999 - 2000	619	1 007	230
2000 - 2001	570	932	207
2001 - 2002	569	913	223
2002 - 2003	710	1 183	235
2003 - 2004	651	1 079	223
2004 - 2005	656	1 050	261
2005 - 2006	732	1 209	252
2006 - 2007	638	1 044	230
2007 - 2008	747	1 262	233
N	76	76	76
M	638	1 041	233
S	80	145	28
Cv	0,126	0,139	0,118
Сред.	632	1 038	228
Макс.	867	1 438	326
Мин.	450	678	182

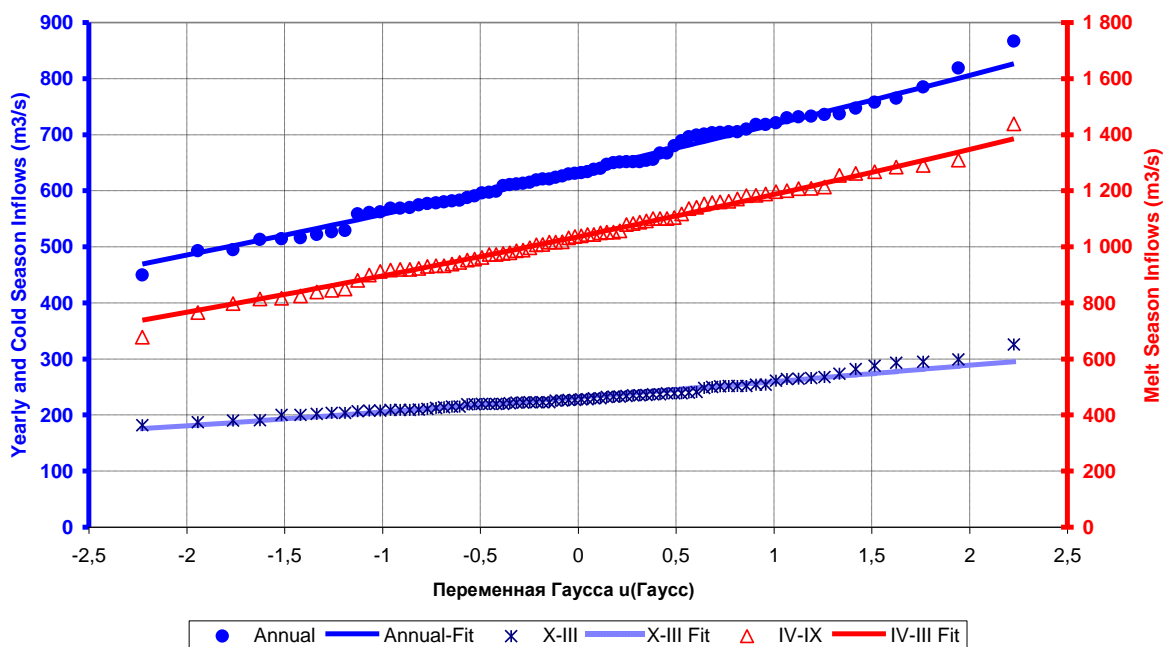
(м<sup>3</sup>/с)

**Б. Соответствие притока распределению Гаусса-Рута**

	T	F	u(Гаусс)	Годичное соответствие	Соответствие IV-III	Соответствие X-III
	(лет)			(м <sup>3</sup> /с)	(м <sup>3</sup> /с)	(м <sup>3</sup> /с)
Засушливые годы	200	0,005	-2,5758	446	696	168
	100	0,01	-2,3263	463	726	173
	50	0,02	-2,0537	481	760	180
	20	0,05	-1,6449	510	811	190
	10	0,1	-1,2816	537	859	199
Средние	5	0,2	-0,8416	570	918	210
	2	0,5	0,0000	635	1 036	232
	5	0,8	0,8416	705	1 162	255
	10	0,9	1,2816	742	1 231	268
	20	0,95	1,6449	774	1 289	278
Многоводные годы	50	0,98	2,0537	811	1 356	291
	100	0,99	2,3263	836	1 401	299
	200	0,995	2,5758	859	1 444	307

Примечание: В распределения Гаусса-Рута, квадратный корень из переменной интереса нормально распределяется.

**Река Вахш в районе Рогуна - Приток в сравнении с переменной Гаусса**



Примечание: Переменная Гаусса является стандартной нормальной переменной. Если x является переменной интереса принадлежащих образца со средним M и стандартным отклонением S, связанный с переменной Гаусса  $u(x) = (x-M)/S$ .

### 3.3 Ежемесячный приток

Таблицы месячный, годовой и сезонный приток представлены в виде сопроводительных документов. В таблице 3 приведено подробнее основные статистические данные о ежемесячных притоках.

**Таблица 3: Статистические параметры месячный, годовой и сезонный приток серии 1932/2008:**

Месяц	Средний	S	Cv	Мин.	Сред.	Макс.	M-2S	M-S	M	M+S	M+2S
Апрель	469	135	0,287	292	437	839	200	334	469	604	738
Май	831	203	0,244	512	793	1768	426	628	831	1 034	1 236
Июнь	1 248	275	0,220	526	1 229	1892	698	973	1 248	1 523	1 798
Июль	1 594	292	0,183	995	1 580	2211	1 010	1 302	1 594	1 886	2 178
Август	1 363	200	0,147	839	1 352	1814	963	1 163	1 363	1 563	1 763
Сентябрь	721	139	0,193	479	711	1409	443	582	721	860	999
Октябрь	342	55	0,161	157	334	526	232	287	342	397	452
Ноябрь	254	35	0,137	191	249	354	184	219	254	289	324
Декабрь	212	31	0,146	151	206	331	150	181	212	243	274
Январь	184	28	0,155	136	178	300	127	156	184	212	241
Февраль	175	26	0,151	114	169	259	122	149	175	201	228
Март	225	47	0,210	164	220	383	131	178	225	272	319
Год	638	79	0,124	450	632	867	480	559	638	717	796
Апрель/Сентябрь	1 041	145	0,139	678	1 038	1438	751	896	1 041	1 186	1 331
Октябрь/Март	233	28	0,118	182	228	326	178	205	233	261	288

## 4. ПАВОДКИ

Исследования паводков проводились в два этапа. Первый касался частотного анализа одномоментных и суточных пиков. Второй этап состоял из оценки вероятного максимального паводка (ВМП)(PMF). Одновременно был определен гидрограф паводков путем анализа трех наибольших паводков.

Исследовании паводков, проведенном для проекта строительства Рогунской ГЭС следует два основных момента:

- Во-первых, статистический анализ данных расхода реки Вахш, завершённые региональным анализом, с помощью метода станция-год,
- Во-вторых, оценка PMF с использованием методом фактора градусо-день.

### 4.1 Данные для изучения паводков

Данные для изучения паводков приведены либо в основном тексте, либо в сопровождающих документах. Эти данные были взяты из предыдущих отчетов, из данных, предоставленных Заказчиком, или из данных, найденных в литературе (см. список источников).

Данные для изучения паводков в основном состоять из:

- Суточные и одномоментные пики.
- Суточный сток воды и суточная температура.
- Ежемесячные и сезонные атмосферные осадки.

### 4.2 Региональная выборка паводков – Общий подход

Записи, полученные для реки Вахш в Туткауле и перенесенные на участок Рогунской ГЭС слишком короткие для проведения статистического анализа и оценки паводков для большого периода возврата (10 000 лет). Был использован подход станция-год в качестве объединения методологии в целях расширения образца расхода паводка (Метод станция – год Гаррос-Берте: Инструмент для оценки проектных паводков, 1994).

Образцы из разных гидропостов стандартизованы и объединены вместе. Метод основан на гипотезе гидрологических однородностей.

Стандартизация осуществляется с использованием показателя Франко-Родье (Kfr), которая определяется по формуле:

Формула Франко-Родье:

$$\frac{Q}{10^6} = \left[ \frac{A}{10^8} \right]^{1-0.1K}$$

Показатель Франко-Родье:

$$K = 10 \times \left[ 1 - \frac{\ln(Q/10^6)}{\ln(A/10^8)} \right]$$

Где Q является расходом паводка (м<sup>3</sup>/с), и A является площадью водосбора (км<sup>2</sup>).

Показатель Франко-Родье используется для оценки тяжести паводка независимо от площади водосбора рассматриваемых рек (Франко и Родье, 1967). Он используется для определения эквивалентных тяжести паводка в рассматриваемой водосборе (Гаррос-Берте, станция-год и метод Ломбарди: инструменты для оценки проектных паводков, 1998). В случае исследования Рогунской ГЭС, подход Франко-Родье используется для транспонирования паводков с региональной выборки на реке Вахш на участок плотины Рогунской ГЭС.

Консультант выполнил частотный анализ в три этапа, с использованием регионального подхода. После анализа результатов предыдущих исследований мы определили региональные образцы паводков и перенесли их на Рогунские условия. Три этапа являются:

- Первый этап. Региональная выборка на основании гидропостов на реке Вахш.
- Второй этап. Первая региональная выборка и транспонированные паводки реки Инд (Атток) и Ченаб (Бензвар).
- Третий этап. Вторая региональная выборка и транспонированные паводки реки Сырдарья (Тюмень-Арык).

Статистический анализ проводился на трех различных образцов паводка реки с похожим гидрологическим режимом и близким состоянием климата горного хребта. Анализ во-первых поддерживает временную ряд в пределах рассматриваемого водосбора и, во-вторых, записи из гидропостов в тесном климатических и географических условиях с длинной временной ряд.

### 4.3 Региональный подход

Как уже говорилось выше, региональный подход был проведен в три этапа на основе трех наборов данных:

- Первый образец построен с использованием записей из бассейна реки Вахш. Используются записи из гидропостов на Сурхобе в Гарм, Сурхоб на Устье, Обихингоу в Тавильдаринском кишлаке и расширенные записи из реки Вахш в кишлаке Туткаул. Эти станции имеют тесные гидрологические характеристики, поскольку они принадлежат к одному бассейну реки.
- Второй образец построен путем добавления записей из гидрологической станции на реке Инд в Атток (площадь водосбора 264 000 км<sup>2</sup>) и реки Ченаб в Бензваре (площадь водосбора 10 500 км<sup>2</sup>). Сравнение среднемесячного расхода рек Вахш, Инд<sup>1</sup> и Ченаб, представлены в таблице 4, показав очень хорошее согласие между тремя гидрологических режимов. Таким образом, временной ряд опубликованная с измерения рек Инда и Ченаб хорошо документированы и используются в литературе (Родье и Роше, 1984). В частности, временные ряды для реки Инд имеют более чем 100-летний период (1868-1978). Такие временные ряды стоит использовать, учитывая тот факт, что оба река Инд и Ченаб текут от Большого Гималайского региона, который имеет много общего с водосборных районах Памира, расположенного в 500 км верхнее к северу.
- Третий образец построен путем добавления записей из реки Сыр-Дарья в Тюмень Арык (Казахстан) (площадь водосбора 219 000 км<sup>2</sup>). Эта река течет от Памиро-Алая. Гидрологический режим определяется таянием снега и льда, под очень похожим климатом, как водосбора Вахш.

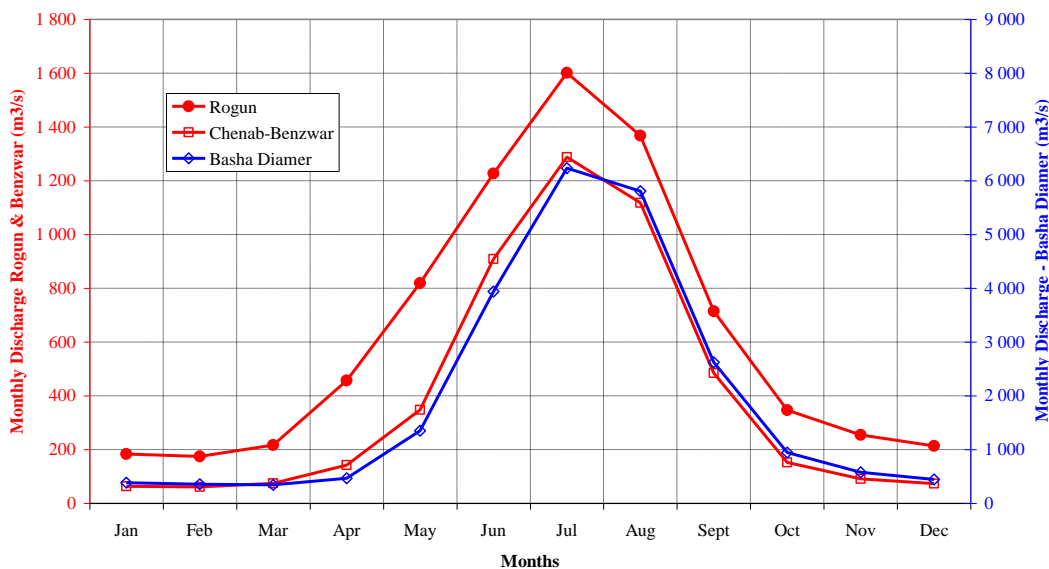
---

<sup>1</sup>Среднемесячные значения расхода представленные в таблице 2 записаны в Баша Диаметр расположенное на Аттоке верхней части реки Инд. Максимальные значения расхода были доступны только в Аттоке.

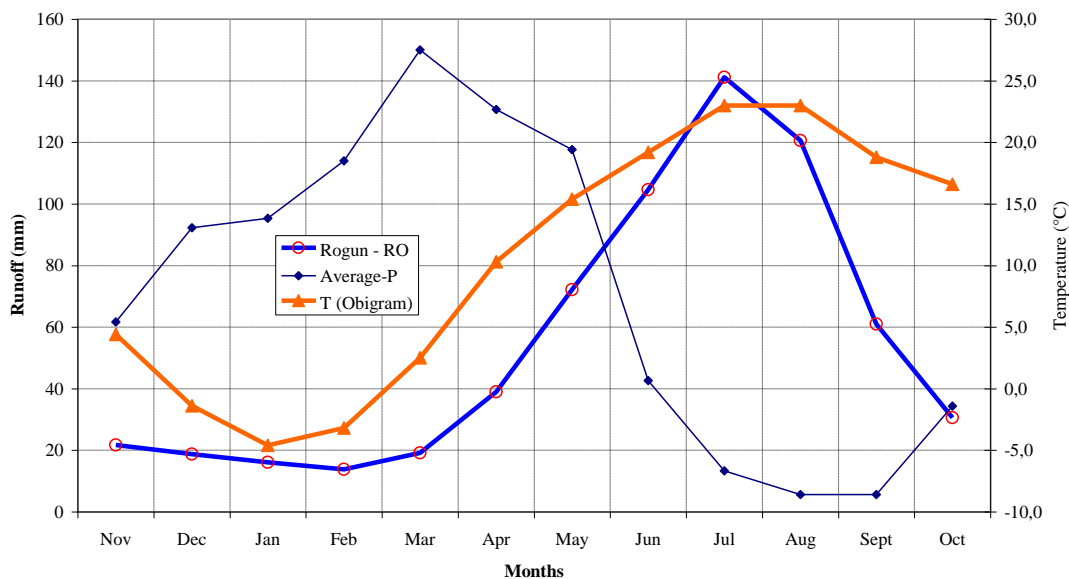
Таблица, приведенная ниже, демонстрирует аналогию между бассейнами рек Вахш, Инд, Ченаб и Сырдарья.

**Таблица 4: Аналогии между региональными бассейнами рек**

**Рогун - Ежемесячный сток**

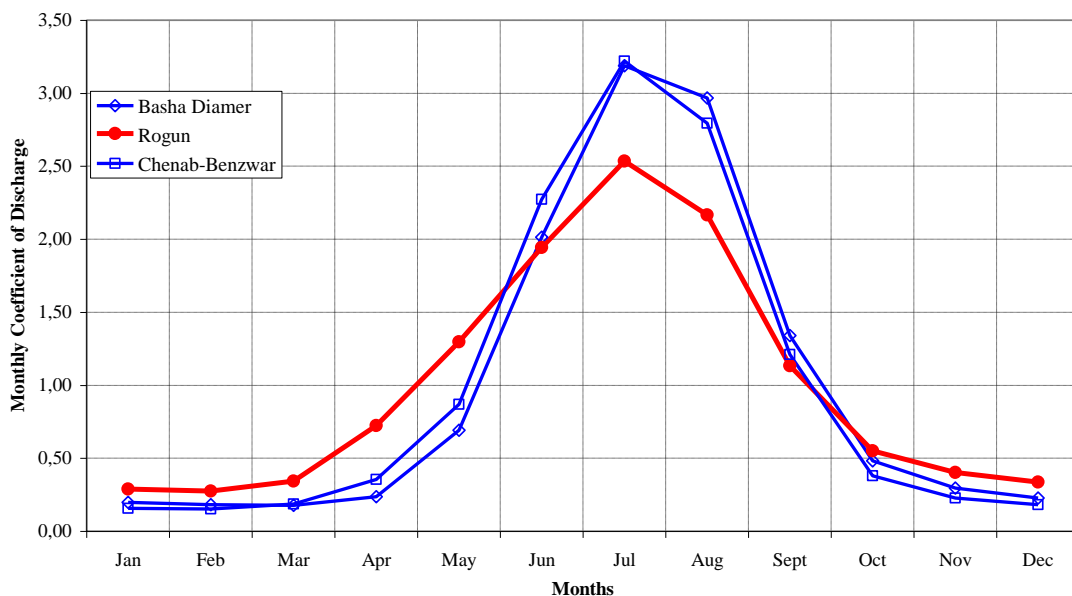


**Рогун - Сравнение между поверхностным стоком и температурой**

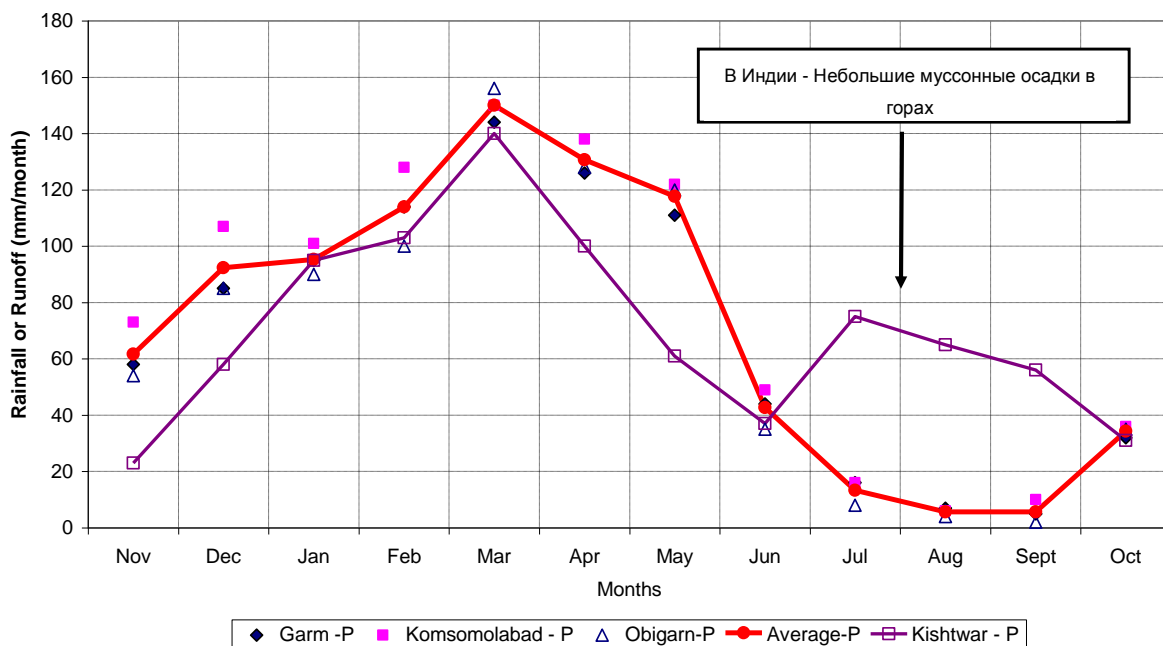




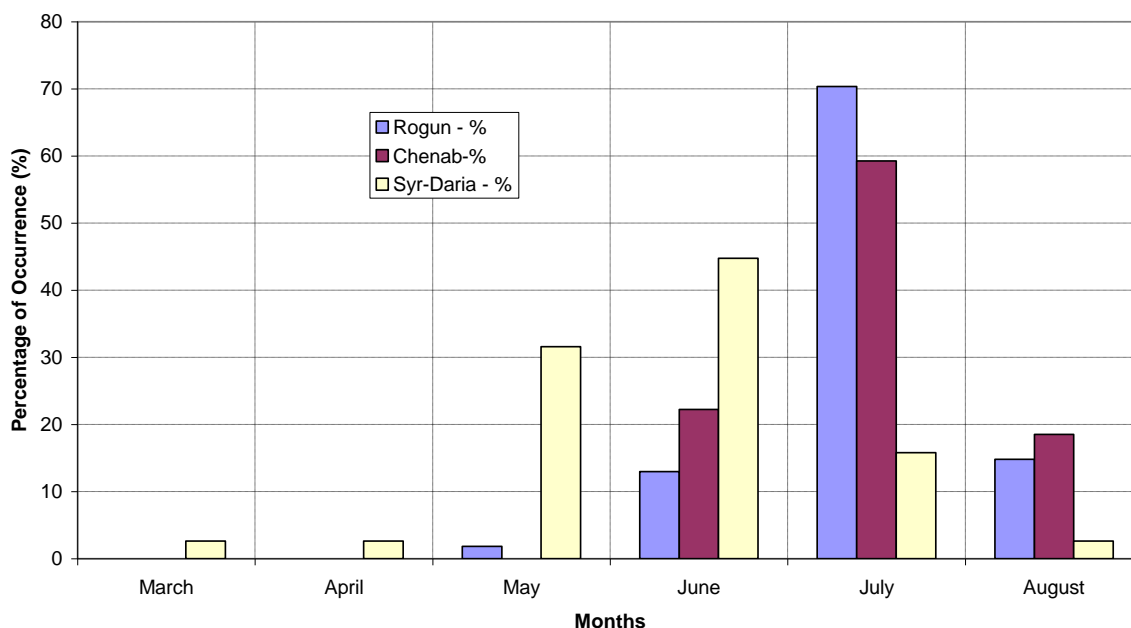
**Рогун - Месячный коэффициент стока - Сравнение между Индией и Пакистаном**



**Количество дождевых осадков за месяц - Сравнение между Индией и Пакистаном**



**Подход стационарных лет - Помесячное распределение годовых паводков**



Консультант выбрал данные о паводках Тюмень Арык (Сырдарья), Атток (Инд) и Бензвар (Ченаб) в дополнение к тем, по следующим причинам:

- Их данные о паводках были легко доступны. Данные Инда и Сырдарьи были взяты из Родье и Роше (1984). Данные Ченаба поступили из отчетов Койн эт Беллие по проекту ГЭС Дул Хасти.
- Их гидрологический режим в основном зависит от таяния снега и льда. Режим Сыр-Дарьи зависит от таджикской и киргизской горных хребтов. Инд перед Аттоком находится под горным и полу-засушливым условиям с несколькими ледниками. Для Ченаба, около 10 000 км<sup>2</sup> ее общей площадью в Индии в основном выше снеговой линии.
- Они имели относительно длительного периода записи.

Ченаб в Бензваре имеет площадь водосбора похоже к дренажной области Вахшского субводосборов, тогда как водосборы Сырдарьи и Инда около семи до девяти раз больше водосборной площади Туткаула.

В следующей таблице представлены соответствующие статистические данные, касающиеся региональных банк данных паводков, использованных в исследовании.

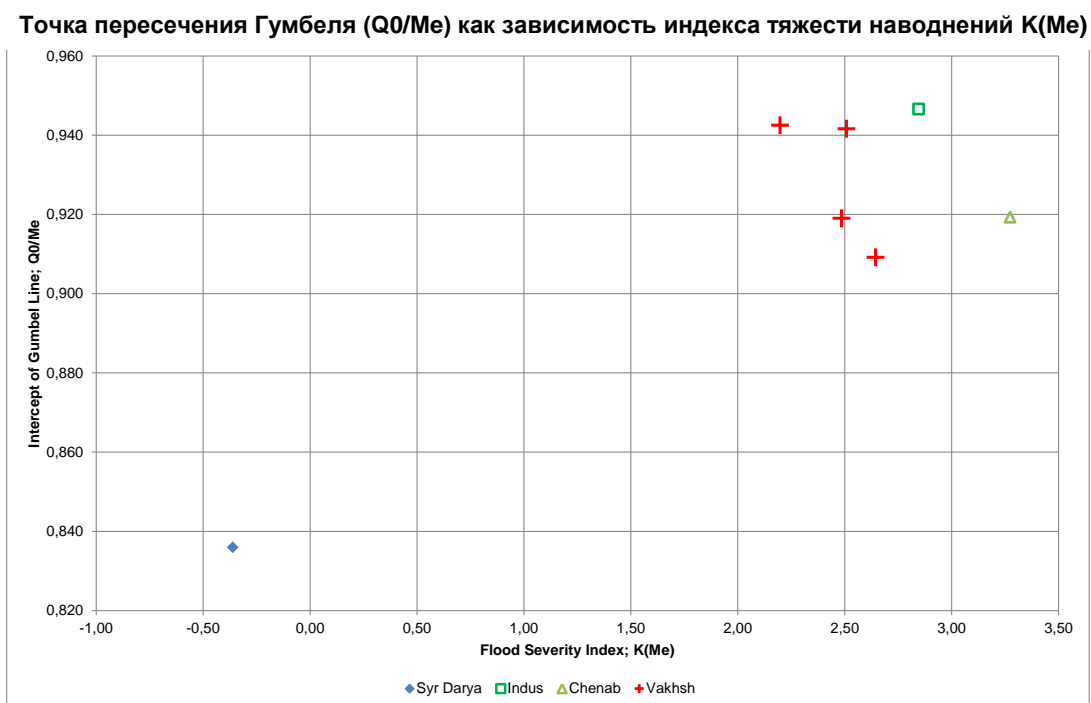
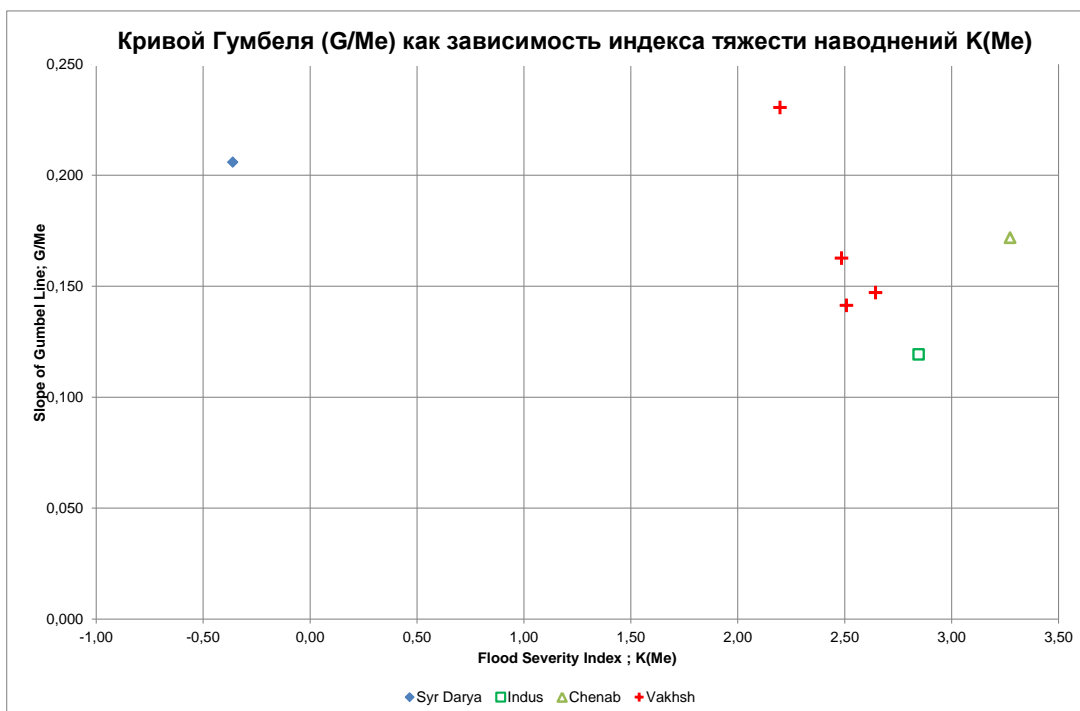
**Таблица 5: Кластерный анализ рассматриваемых ряд данных**

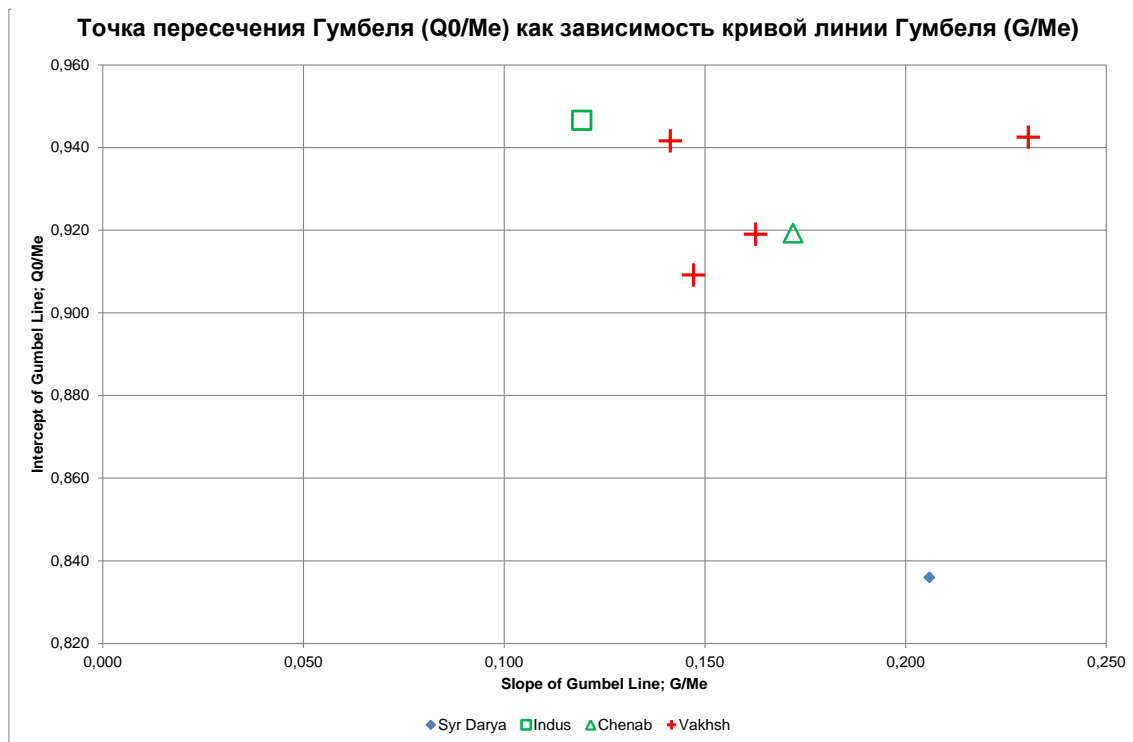
Река	Станция	A (км <sup>2</sup> )	n	M	S	Cv	Me	K(Me)	G	Q0	G/Me	Q0/Me
Сырдарья	Тюмень Арык	219 000	38	1 676	465	0,277	1 755	-0,36	361	1 467	0,206	0,836
Сурхоб	Гарм	20 000	57	1 398	385	0,276	1 300	2,20	300	1 225	0,231	0,943
Вахш	Туткаул	31 200	77	2 350	485	0,206	2 320	2,49	377	2 132	0,163	0,919
Обихингоб	Тавильдара	5 390	33	649	115	0,178	634	2,51	90	597	0,141	0,942
Обихингоб	Устье	6 660	35	842	160	0,190	847	2,64	125	770	0,147	0,909
Инд	Атток	264 000	111	14 521	2 193	0,151	14 300	2,85	1 706	13 537	0,119	0,947
Ченаб	Бензвар	10 500	27	2 145	465	0,217	2 106	3,27	362	1 936	0,172	0,919

Кривой графика Гумбеля (G/Me) относительно среднего индекса тяжести паводка K(Me) показывает, что точки данные Вахша согласуются с точками данных Аттока и Бензвара. Тюмень Арык имеет очень маленький K(Me), который связан с суб водосборной долине в засушливых условиях. Однако G/Me находится в пределах диапазона, определенного другим станциям.

Аналогичным образом, кривой графика Гумбеля (Q0/Me) по отношению к среднему индексу тяжести наводнения показывают, удовлетворяющих группировки точки данных, кроме данных Тюмень Арык, по той же причине, как указано выше.

Третий график представлен ниже, показывает точку пересечения Гумбеля (G/Me) в зависимости от кривого Гумбеля (G/Me). Видно, что точки данных Инда (Атток) и Ченаб (Бензвар) соответствуют точкам данных Вахша. Точка данных Тюмень Арык отдельно от других пунктов данных по той же причине, как указано выше.





Этот анализ позволил выбрать правильный подход:

- Для переноса данных к Рогунским условиям, каждый образец паводка был преобразован в образце индексов паводка Франку-Родье. На втором шаге, показатели паводков были стандартизированы с использованием выборочного среднего и стандартного отклонения выборки значений К. На третьем этапе, среднее значение и стандартное отклонение Туткаула используются для получения значений К и Q<sub>r</sub> на Рогунской ГЭС.
- Поскольку региональная выборка представляет собой сочетание данных из нескольких станций, было решено обрабатывать данные в прогрессивной манере: Вахш только данные (этап 1), далее добавление данных Атток и Бензвар (этап 2) и, наконец, добавление данных Тюмень Арыка (этап 3).

#### **4.3.1. Первый этап – Бассейн реки Вахш**

Консультант принял метод станционных лет, который состоял в транспонировании данных паводков в Туткауле (Вахш), Гарме (Сурхоб), Устье и Тавильдаре (Обихингоб) на Рогун. Для транспонирования данных на Рогун был использован индекс паводков по Франку-Родье (см. список сокращений). После исключения одновременно

происходивших происшествий меньшей значимости была получена окончательная выборка 111 станционных лет.

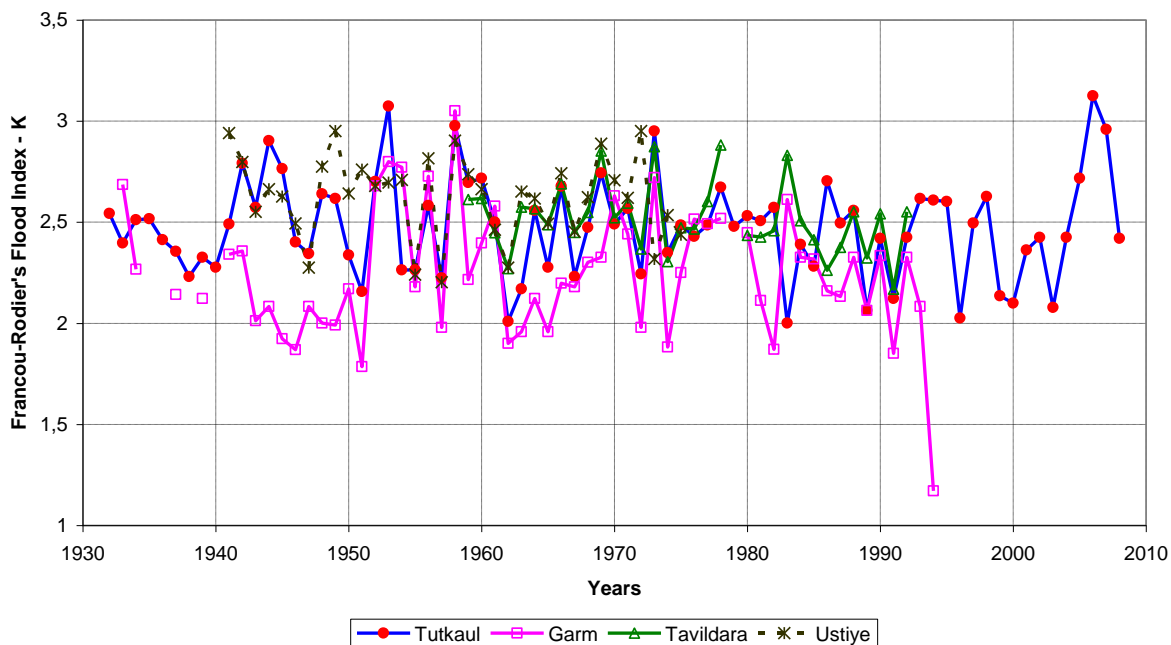
Таблица 6, приведенная ниже, предоставляет обработанные данные в деталях. В нем представлены:

- Временной ряд индексов Франку-Родье. Можно заметить, что у индексов Франку-Родье для поселений Туткаул, Гарм, Тавильдара и Устье одинаковый порядок величины.
- Региональная выборка первого этапа (величина выборки  $n = 111$  станционных лет).
- Соответствие распределению Гумбеля, которое является полностью удовлетворительным. Необходимо заметить, что Консультант привел оценки паводков для периодов временного ряда от 2 лет до 10 000 лет. Кроме того, также приведены (курсивом) оценки паводков для 100 000 и 1 000 000 лет. Эти оценки являются репрезентативными для области показателя ВМП (PMF). На этом этапе область показателя ВМП равна  $6\,920/7\,870\text{ м}^3/\text{с}$ .
- Временной ряд пиков паводков в Рогуне, раскрывающий очень слабую тенденцию к уменьшению,  $- 2\text{ м}^3/\text{с}/\text{год}$ . Данная тенденция может быть связана с уменьшением питания ледника.

Таблица 6: Первый этап регионального анализа

А. Индекс паводков Франку-Родье на выбранных станциях

Бассейн реки Вахш - Индекс паводков Франку-Родье на выбранных участках



Б. Региональная выборка первого этапа

Год	Дата	Станция	u(K)	K	Qp (Рогун)
1932	20/07/1932	Туткаул	0,27	2,55	2 400
1933	16/07/1933	Гарм	1,39	2,83	3 010
1934	24/06/1934	Туткаул	0,14	2,52	2 340
1935	10/08/1935	Туткаул	0,16	2,52	2 350
1936	06/07/1936	Туткаул	-0,25	2,42	2 160
1937	27/07/1937	Гарм	-0,31	2,40	2 130
1938	24/07/1938	Туткаул	-1,00	2,23	1 860
1939	26/06/1939	Гарм	-0,37	2,39	2 110
1939	26/07/1939	Туткаул	-0,61	2,33	2 010
1940	28/06/1940	Туткаул	-0,81	2,28	1 930
1941	28/04/1941	Устие	1,54	2,87	3 100
1941	02/07/1941	Гарм	0,32	2,56	2 420
1942	10/07/1942	Туткаул	1,28	2,80	2 940
1943	12/07/1943	Туткаул	0,39	2,58	2 460
1943	05/08/1943	Гарм	-0,72	2,30	1 960
1944	01/08/1944	Туткаул	1,73	2,91	3 220
1945	28/07/1945	Туткаул	1,18	2,77	2 880
<b>Год</b>	<b>Дата</b>	<b>Станция</b>	<b>u(K)</b>	<b>K</b>	<b>Qp (Рогун)</b>
1945	14/08/1945	Гарм	-0,99	2,23	1 860
1946	02/08/1946	Туткаул	-0,30	2,40	2 140
1947	22/07/1947	Гарм	-0,49	2,36	2 050



1948	26/07/1948	Туткаул	0,67	2,65	2 600
1948	05/08/1948	Устье	0,73	2,66	2 630
1949	22/05/1949	Устье	1,59	2,88	3 130
1949	09/07/1949	Туткаул	0,57	2,62	2 550
1949	07/08/1949	Гарм	-0,78	2,28	1 940
1950	01/08/1950	Туткаул	-0,56	2,34	2 030
1950	11/08/1950	Устье	0,07	2,50	2 300
1951	30/05/1951	Устье	0,66	2,64	2 590
1951	03/08/1951	Гарм	-1,43	2,12	1 700
1952	21/07/1952	Гарм	1,38	2,82	3 000
1952	22/08/2011	Туткаул	0,91	2,71	2 730
1953	10/07/1953	Туткаул	2,43	3,09	3 710
1954	04/06/1954	Гарм	1,67	2,90	3 180
1954	02/08/1954	Туткаул	-0,87	2,26	1 910
1954	16/08/1954	Устье	0,41	2,58	2 470
1955	13/08/1955	Гарм	-0,19	2,43	2 180
1956	24/07/1956	Гарм	1,52	2,86	3 090
1957	19/07/1957	Гарм	-0,82	2,28	1 920
1958	15/07/1958	Гарм	2,54	3,12	3 790
1959	04/06/1959	Туткаул	0,89	2,70	2 720
1959	03/07/1959	Тавильдара	0,55	2,62	2 540
1960	11/07/1960	Туткаул	0,98	2,73	2 770
1961	31/07/1961	Гарм	1,06	2,75	2 810
1962	18/07/1962	Тавильдара	-1,42	2,12	1 700
1962	06/08/1962	Гарм	-1,07	2,21	1 830
1963	28/06/1963	Туткаул	-1,24	2,17	1 770
1963	12/07/1963	Тавильдара	0,34	2,56	2 430
1964	13/07/1964	Туткаул	0,33	2,56	2 430
1964	27/07/1964	Гарм	-0,37	2,39	2 110
1965	26/07/1965	Тавильдара	-0,17	2,44	2 190
1966	26/06/1966	Тавильдара	1,00	2,73	2 780
1966	08/08/1966	Гарм	-0,14	2,45	2 210
1967	24/07/1967	Гарм	-0,19	2,43	2 180
1968	08/07/1968	Гарм	0,19	2,53	2 360
1969	25/07/1969	Тавильдара	1,94	2,97	3 360
1970	02/07/1970	Устье	0,40	2,58	2 460
1970	19/07/1970	Гарм	1,22	2,79	2 910
1971	29/07/1971	Гарм	0,63	2,64	2 580
1972	06/07/1972	Гарм	-0,82	2,28	1 920
1972	05/08/1972	Устье	1,59	2,88	3 130
1973	17/07/1973	Тавильдара	2,06	2,99	3 440
1974	16/07/1974	Устье	-0,44	2,37	2 080
1975	14/07/1975	Туткаул	0,04	2,49	2 290
1975	15/08/1975	Гарм	0,03	2,49	2 280
1976	22/07/1976	Гарм	0,86	2,70	2 700
1977	22/07/1977	Гарм	0,79	2,68	2 660
<b>Год</b>	<b>Дата</b>	<b>Станция</b>	<b>u(К)</b>	<b>К</b>	<b>Qp (Рогун)</b>
1978	24/06/1978	Гарм	0,87	2,70	2 710
1978	08/07/1978	Тавильдара	2,11	3,01	3 480
1979		Туткаул	0,01	2,48	2 280
1980	05/07/1980	Гарм	0,65	2,64	2 590

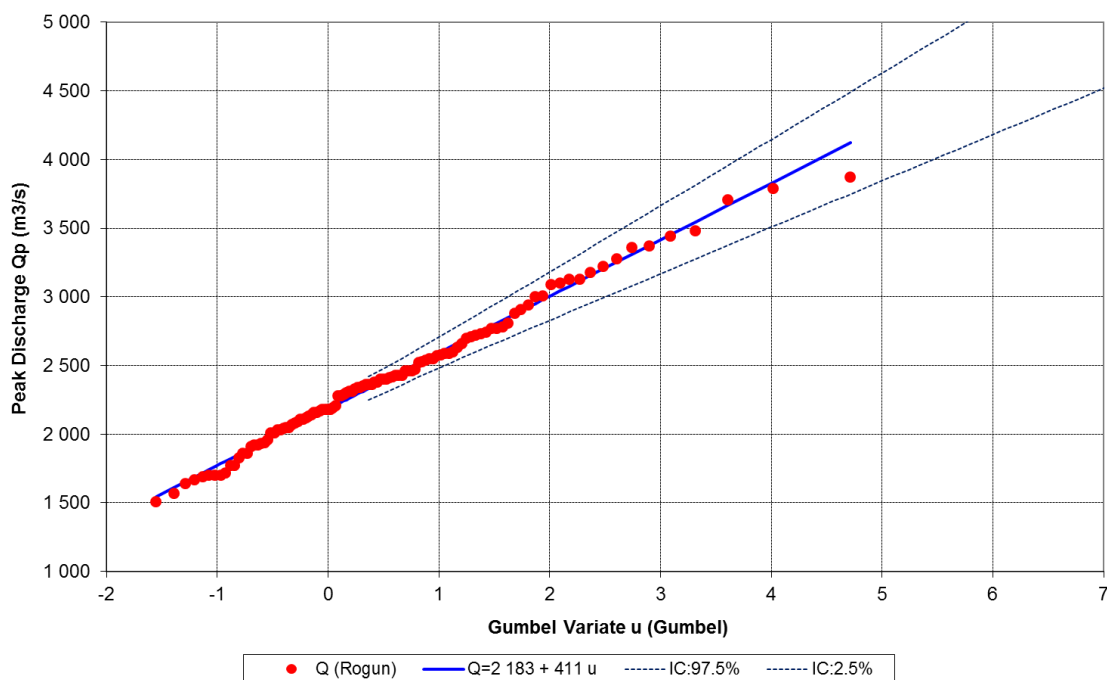
1980		Туткаул	0,23	2,54	2 380
1981	24/06/1981	Тавильдара	-0,52	2,35	2 040
1981	09/07/1981	Гарм	-0,40	2,38	2 090
1981		Туткаул	0,12	2,51	2 330
1982	15/07/1982	Тавильдара	-0,33	2,40	2 120
1982		Туткаул	0,39	2,58	2 460
1983	05/08/1983	Тавильдара	1,82	2,93	3 280
1984	03/08/1984	Гарм	0,27	2,55	2 400
1985	28/06/1985	Тавильдара	-0,59	2,33	2 010
1985	18/08/1985	Гарм	0,24	2,54	2 380
1986	17/07/1986	Тавильдара	-1,47	2,11	1 690
1986	31/07/1986	Гарм	-0,25	2,42	2 160
1986		Туткаул	0,93	2,71	2 740
1987	25/07/1987	Туткаул	0,08	2,50	2 310
1988	28/06/1988	Тавильдара	0,20	2,53	2 360
1988	15/07/1988	Туткаул	0,33	2,56	2 430
1989	30/07/1989	Гарм	-0,56	2,34	2 030
1990	22/06/1990	Тавильдара	0,14	2,52	2 340
1990	02/08/1990	Гарм	0,29	2,55	2 410
1991	16/06/1991	Туткаул	-1,44	2,12	1 700
1991	30/07/1991	Тавильдара	-2,01	1,98	1 510
1991	20/08/1991	Гарм	-1,22	2,17	1 770
1992	13/07/1992	Тавильдара	0,20	2,53	2 360
1992	15/07/1992	Гарм	0,27	2,55	2 400
1993	24/06/1993	Туткаул	0,57	2,62	2 550
1993	27/08/1993	Гарм	-0,49	2,36	2 050
1994		Туткаул	0,54	2,62	2 530
1995		Туткаул	0,51	2,61	2 520
1996		Туткаул	-1,84	2,02	1 570
1997	21/07/1997	Туткаул	0,08	2,50	2 310
1998		Туткаул	0,61	2,63	2 570
1999		Туткаул	-1,38	2,13	1 720
2000		Туткаул	-1,53	2,10	1 670
2001	03/07/2001	Туткаул	-0,47	2,36	2 070
		Туткаул			
2002	22/07/2002		-0,21	2,43	2 180
2003	28/08/2003	Туткаул	-1,62	2,08	1 640
		Туткаул			
2004	08/07/2004		-0,21	2,43	2 180
2005		Туткаул	0,98	2,73	2 770
2006	13/08/2006	Туткаул	2,64	3,14	3 870
2007		Туткаул	1,96	2,97	3 370
2008		Туткаул	-0,23	2,42	2 170
			<b>u(K)</b>	<b>K</b>	<b>Qp (Рогун)</b>
n			111	111	111
M			0,20	2,53	2 414
S			1,00	0,25	498
Cv				0,098	0,206

Сред.	0,20	2,53	2 360
Макс.	2,64	3,14	3 870
Мин.	-2,01	1,98	1 510

Региональные образцы, перенесенные на участок Рогунской ГЭС приспособлены к распределению Гумбеля. Случайная величина Гумбеля «U» определяется как (с F эмпирические частоты):

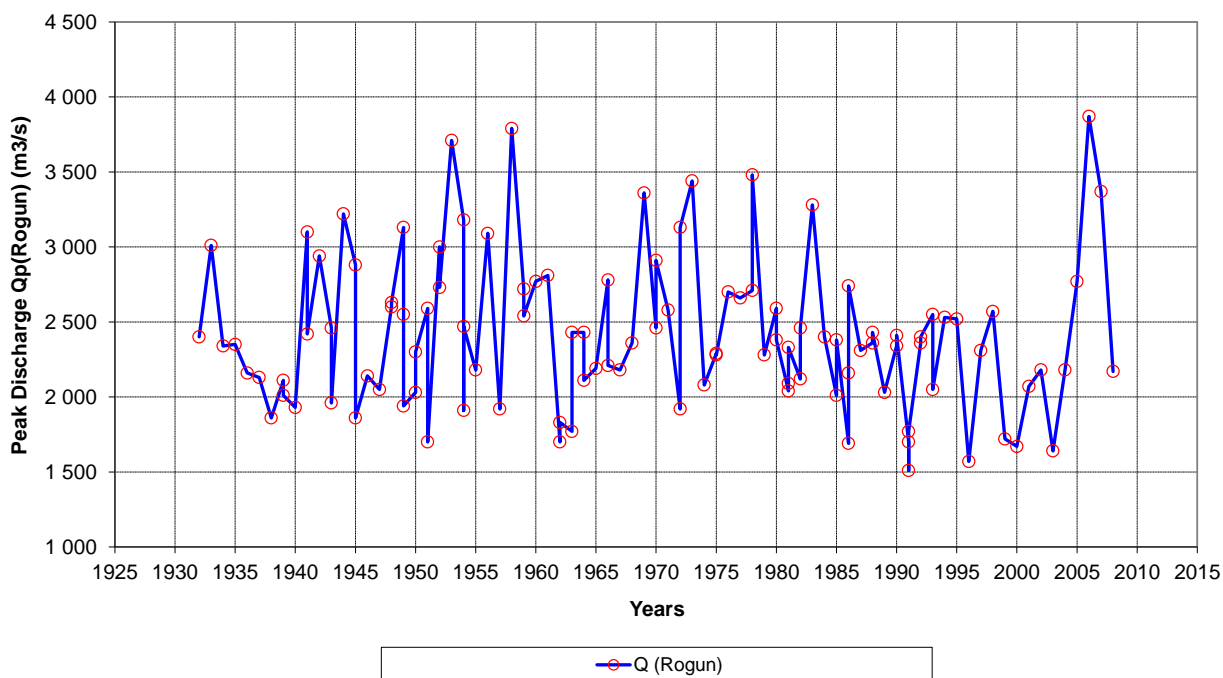
### С. Соответствие распределению Гумбеля

T (лет)	Qp(T) - Рогун (м <sup>3</sup> /с)	T (лет)	Qp(T) - Рогун (м <sup>3</sup> /с)
		2	2 340
		5	2 800
		10	3 110
		20	3 410
		50	3 790
		100	4 080
		200	4 360
		500	4 740
		1 000	5 030
		2 000	5 310
		5 000	5 690
		10 000	5 970
		100 000	6 920
		1 000 000	7 870



### Д. Временной ряд Qp

### Первый этап - Региональная выборка (111 станционных лет)



#### **4.3.2. Второй этап – река Вахш + река Инд + река Ченаб**

Как говорилось выше, Консультант принял метод станционных лет, который представлял собой транспонирование на Рогун данных по паводкам в Атток (Инд), Бензвар (Ченаб), которые добавлялись к выборке первого этапа (111 станционных лет). Таким образом, была получена выборка второго этапа, состоящая из 249 станционных лет

Таблица, приведенная ниже, предоставляет обработанные данные в деталях. В нем представлены:

- Региональная выборка второго этапа (величина выборки  $n = 249$  станционных лет).
- Соответствие распределению Гумбеля, которое является полностью удовлетворительным. На данном втором этапе область показателя ВМП (PMF) равна  $6\ 650/7\ 560\ m^3/s$ .
- Временной ряд пиков паводков в Рогуне, который раскрывает очень слабую тенденцию к увеличению. Следует обратить внимание, что среди транспонированных данных реки Инд имелись данные о 4 паводках с показателем более  $3\ 000\ m^3/s$  до 1930 года. Паводок в 1929 году является наиболее важным из всего набора данных. Представлены более экстремальные паводки и позволит

снизить неопределенность для диапазона высоких значений и в факто экстраполяции оценки наводнения для больших периодов возвращения. Значимые паводки реки Вахш – это паводки, которые произошли в 1953, 1958 и 2006 годах.

**Таблица 7: этап 2 – Региональная выборка пиков паводков в Рогуне**

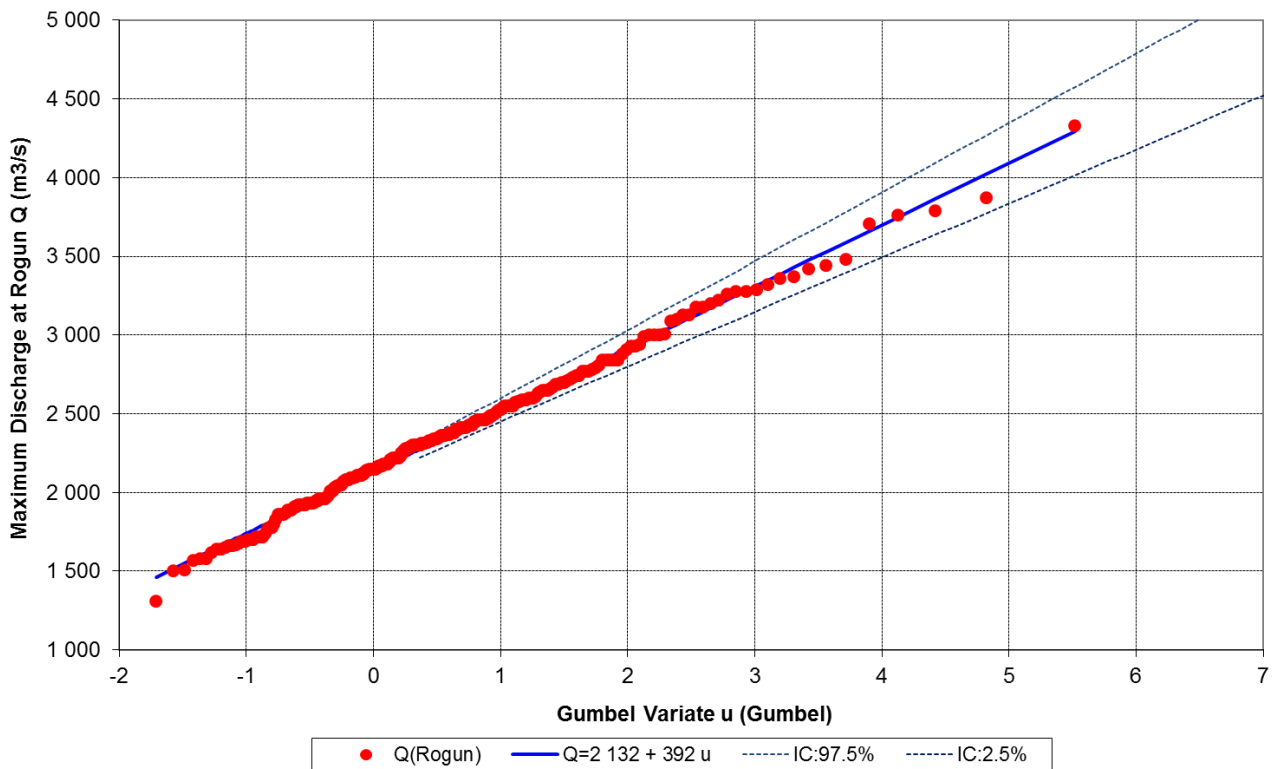
**A. Региональная выборка – (249 станционных лет)**

Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)
Инд	1868	2 250	Инд	1918	1 650	Инд	1948	2 380	Вахш	1965	2 190	Ченаб	1981	2 640
Инд	1869	1 930	Инд	1919	2 300	Вахш	1948	2 600	Инд	1966	3 180	Вахш	1981	2 040
Инд	1870	2 100	Инд	1920	2 330	Вахш	1948	2 630	Ченаб	1966	2 170	Вахш	1981	2 090
Инд	1871	2 220	Инд	1921	2 450	Инд	1949	2 090	Вахш	1966	2 780	Вахш	1981	2 330
Инд	1872	2 790	Инд	1922	2 650	Вахш	1949	3 130	Вахш	1966	2 210	Ченаб	1982	2 230
Инд	1873	2 300	Инд	1923	2 150	Вахш	1949	2 550	Инд	1967	2 740	Вахш	1982	2 120
Инд	1874	2 690	Инд	1924	3 420	Вахш	1949	1 940	Ченаб	1967	2 220	Вахш	1982	2 460
Инд	1875	2 150	Инд	1925	2 220	Инд	1950	2 460	Вахш	1967	2 180	Ченаб	1983	2 350
Инд	1876	2 410	Инд	1926	1 930	Вахш	1950	2 030	Инд	1968	2 510	Вахш	1983	3 280
Инд	1877	1 890	Инд	1927	2 080	Вахш	1950	2 300	Ченаб	1968	2 670	Ченаб	1984	1 780
Инд	1878	3 320	Инд	1928	2 300	Инд	1951	1 800	Вахш	1968	2 360	Вахш	1984	2 400
Инд	1879	1 960	Инд	1929	4 330	Вахш	1951	2 590	Инд	1969	1 960	Ченаб	1985	1 980
Инд	1880	1 920	Инд	1930	2 840	Вахш	1951	1 700	Ченаб	1969	2 070	Вахш	1985	2 010
Инд	1881	1 860	Инд	1931	1 930	Инд	1952	2 110	Вахш	1969	3 360	Вахш	1985	2 380
Инд	1882	3 760	Инд	1932	2 930	Вахш	1952	3 000	Инд	1970	1 500	Ченаб	1986	2 320
Инд	1883	2 150	Вахш	1932	2 400	Вахш	1952	2 730	Ченаб	1970	1 660	Вахш	1986	1 690
Инд	1884	2 490	Инд	1933	2 290	Инд	1953	2 840	Вахш	1970	2 460	Вахш	1986	2 160
Инд	1885	2 220	Вахш	1933	3 010	Вахш	1953	3 710	Вахш	1970	2 910	Вахш	1986	2 740
Инд	1886	2 450	Инд	1934	2 460	Инд	1954	1 620	Инд	1971	1 920	Ченаб	1987	2 600
Инд	1887	2 150	Вахш	1934	2 340	Вахш	1954	3 180	Ченаб	1971	1 970	Вахш	1987	2 310
Инд	1888	1 640	Инд	1935	2 340	Вахш	1954	1 910	Вахш	1971	2 580	Ченаб	1988	2 700
Инд	1889	3 000	Вахш	1935	2 350	Вахш	1954	2 470	Инд	1972	1 720	Вахш	1988	2 360
Инд	1890	2 470	Инд	1936	1 720	Инд	1955	2 100	Ченаб	1972	1 660	Вахш	1988	2 430
Инд	1891	1 950	Вахш	1936	2 160	Вахш	1955	2 180	Вахш	1972	1 920	Ченаб	1989	3 260
Инд	1892	2 840	Инд	1937	1 950	Инд	1956	2 250	Вахш	1972	3 130	Вахш	1989	2 030
Инд	1893	2 650	Вахш	1937	2 130	Вахш	1956	3 090	Инд	1973	2 500	Вахш	1990	2 340
Инд	1894	3 000	Инд	1938	2 090	Инд	1957	2 120	Ченаб	1973	2 410	Вахш	1990	2 410
Инд	1895	1 920	Вахш	1938	1 860	Вахш	1957	1 920	Вахш	1973	3 440	Вахш	1991	1 700
Инд	1896	2 210	Инд	1939	2 320	Инд	1958	3 290	Инд	1974	1 690	Вахш	1991	1 510
Инд	1897	2 590	Вахш	1939	2 110	Вахш	1958	3 790	Ченаб	1974	1 680	Вахш	1991	1 770
Инд	1898	2 010	Вахш	1939	2 010	Инд	1959	2 610	Вахш	1974	2 080	Вахш	1992	2 360
Инд	1899	1 960	Инд	1940	1 960	Вахш	1959	2 720	Инд	1975	2 550	Вахш	1992	2 400

Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)	Бассейн	Год	Q(Рогун)
Инд	1900	2 220	Вахш	1940	1 930	Вахш	1959	2 540	Ченаб	1975	3 280	Вахш	1993	2 550
Инд	1901	2 300	Инд	1941	1 910	Инд	1960	2 690	Вахш	1975	2 290	Вахш	1993	2 050
Инд	1902	1 310	Вахш	1941	3 100	Вахш	1960	2 770	Вахш	1975	2 280	Вахш	1994	2 530
Инд	1903	1 740	Вахш	1941	2 420	Инд	1961	1 890	Инд	1976	2 550	Вахш	1995	2 520
Инд	1904	2 080	Инд	1942	2 930	Вахш	1961	2 810	Ченаб	1976	2 270	Вахш	1996	1 570
Инд	1905	2 150	Вахш	1942	2 940	Инд	1962	1 870	Вахш	1976	2 700	Вахш	1997	2 310
Инд	1906	2 770	Инд	1943	2 310	Вахш	1962	1 700	Инд	1977	2 170	Вахш	1998	2 570
Инд	1907	1 930	Вахш	1943	2 460	Вахш	1962	1 830	Ченаб	1977	2 280	Вахш	1999	1 720
Инд	1908	2 840	Вахш	1943	1 960	Инд	1963	1 890	Вахш	1977	2 660	Вахш	2000	1 670
Инд	1909	2 040	Инд	1944	2 330	Ченаб	1963	1 720	Инд	1978	2 840	Вахш	2001	2 070
Инд	1910	2 110	Вахш	1944	3 220	Вахш	1963	1 770	Ченаб	1978	2 550	Вахш	2002	2 180
Инд	1911	2 370	Инд	1945	2 490	Вахш	1963	2 430	Вахш	1978	2 710	Вахш	2003	1 640
Инд	1912	2 370	Вахш	1945	2 880	Инд	1964	2 990	Вахш	1978	3 480	Вахш	2004	2 180
Инд	1913	2 300	Вахш	1945	1 860	Ченаб	1964	2 580	Ченаб	1979	2 140	Вахш	2005	2 770
Инд	1914	2 650	Инд	1946	1 860	Вахш	1964	2 430	Вахш	1979	2 280	Вахш	2006	3 870
Инд	1915	1 580	Вахш	1946	2 140	Вахш	1964	2 110	Ченаб	1980	3 200	Вахш	2007	3 370
Инд	1916	2 370	Инд	1947	1 580	Инд	1965	2 600	Вахш	1980	2 590	Вахш	2008	2 170
Инд	1917	2 410	Вахш	1947	2 050	Ченаб	1965	1 900	Вахш	1980	2 380			

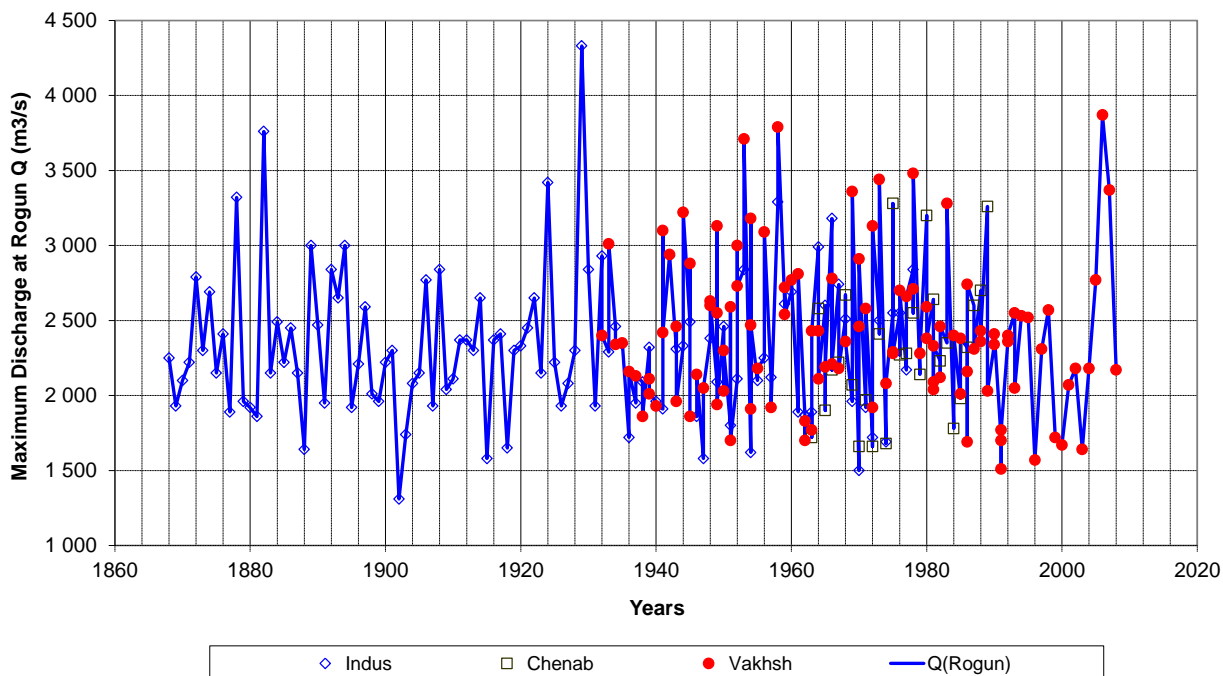
**Б. Соответствие распределению Гумбеля**

Т (лет)	Qp(T) - Рогун (м <sup>3</sup> /с)	Т (лет)	Qp(T) - Рогун (м <sup>3</sup> /с)
2	2 280	200	4 210
5	2 730	500	4 570
10	3 020	1 000	4 850
20	3 300	2 000	5 120
50	3 670	5 000	5 480
100	3 940	10 000	5 750
		100 000	6 650
		1 000 000	7 560



### С. Временной ряд Qp

#### Региональный подход (этап 2) к паводкам в Рогуне - 249 стационарных лет



#### **4.3.3. Третий этап – второй этап + река Сырдарья**

Консультант, затем принял метод стационарных лет, который представлял собой транспонирование на Рогун данных по паводкам Тюмень-Арык (Сырдарья), которые были добавлены к выборке второго этапа (249 стационарных лет). Таким образом, была получена выборка третьего этапа, состоящая из 287 стационарных лет.

Таблица, приведенная ниже, предоставляет обработанные данные в деталях. В нем представлены:

- Транспонирование набора данных Тюмень Арык на Рогун (38 значений). Таким образом, региональная выборка третьего этапа имеет величина выборки  $n = 287$  стационарных лет.
- Соответствие распределению Гумбеля, которое является полностью удовлетворительным. На этом третьем этапе область показателя ВМП (PMF) равна  $6\ 580/7\ 460\ \text{м}^3/\text{с}$ .
- Временной ряд пиков паводков в Рогуне, который не показывает значительную тенденцию к увеличению.

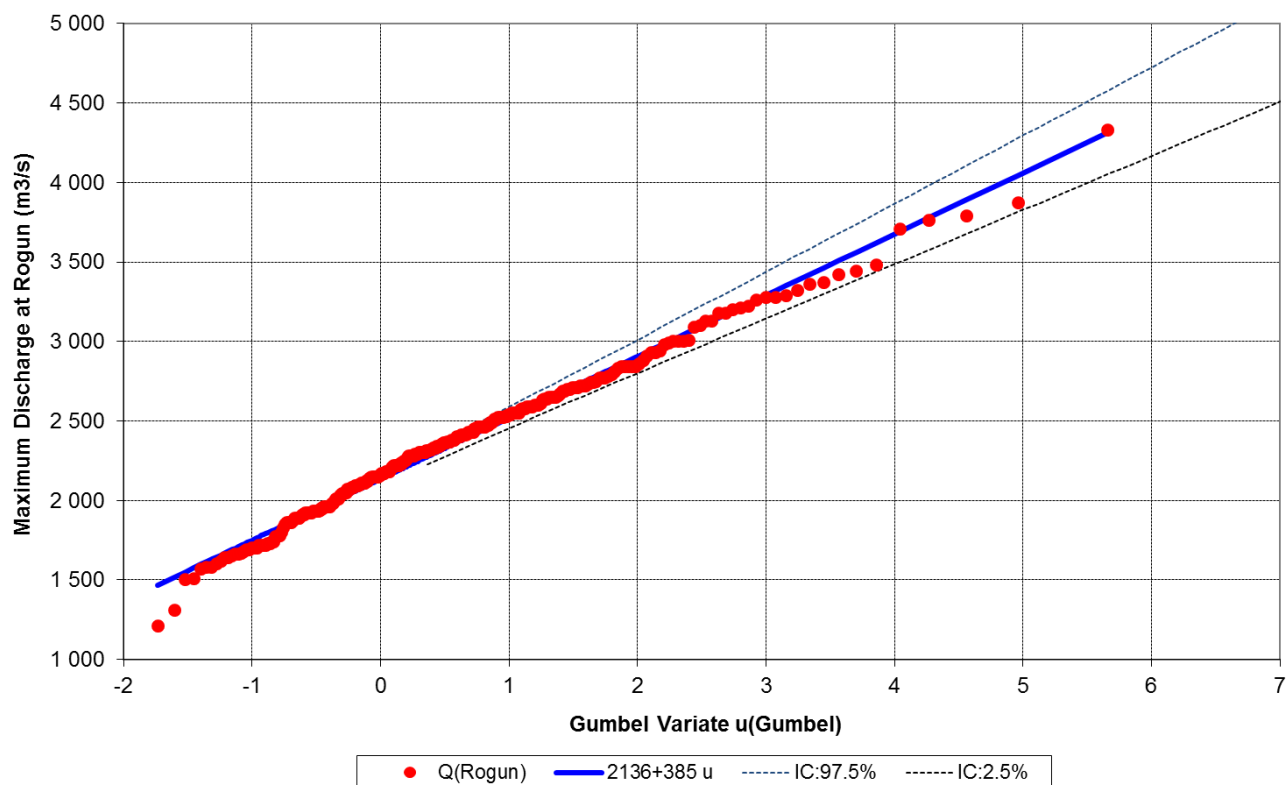


**Таблица 8: этап 3 – Региональная выборка паводков в Рогуне (287 станционных лет)**
**А. Транспонированные данные реки Сырдарья**

Год	Месяц	День	Qd <sub>mx</sub>	Q <sub>p</sub> (Рогун)
1914	7	6	2 090	2 720
1915	5	17	1 250	1 980
1916	6	16	1 010	1 730
1917	8	16	567	1 210
1919	6	19	1 430	2 150
1920	7	18	1 520	2 230
1927	5	10	1 020	1 740
1928	6	17	2 260	2 860
1929	5	3	1 570	2 280
1930	6	26	1 770	2 460
1931	7	19	2 220	2 830
1932	5	31	1 580	2 290
1933	6	10	1 530	2 240
1934	6	30	2 730	3 210
1935	6	23	2 000	2 650
1936	6	9	2 420	2 980
1937	5	22	1 930	2 590
1938	5	21	1 160	1 890
1939	5	18	1 700	2 390
1940	6	9	1 570	2 280
1941	6	21	1 830	2 510
1942	7	3	2 070	2 710
1943	6	14	1 340	2 070
1944	7	14	1 010	1 730
1947	5	30	890	1 600
1948	5	3	1 270	2 000
1949	6	2	1 840	2 520
1950	5	25	1 740	2 430
1951	6	6	1 860	2 530
1952	5	19	2 130	2 750
1953	6	24	1 990	2 640
1954	5	8	1 850	2 520
1955	6	22	1 870	2 540
1956	6	12	1 530	2 240
1957	3	13	1 120	1 850
1958	7	24	1 840	2 520
1959	4	13	2 090	2 720
1960	6	1	2 080	2 710
		n	38	38
		M	1 676	2 350
		S	465	424
		Cv	0,277	0,180

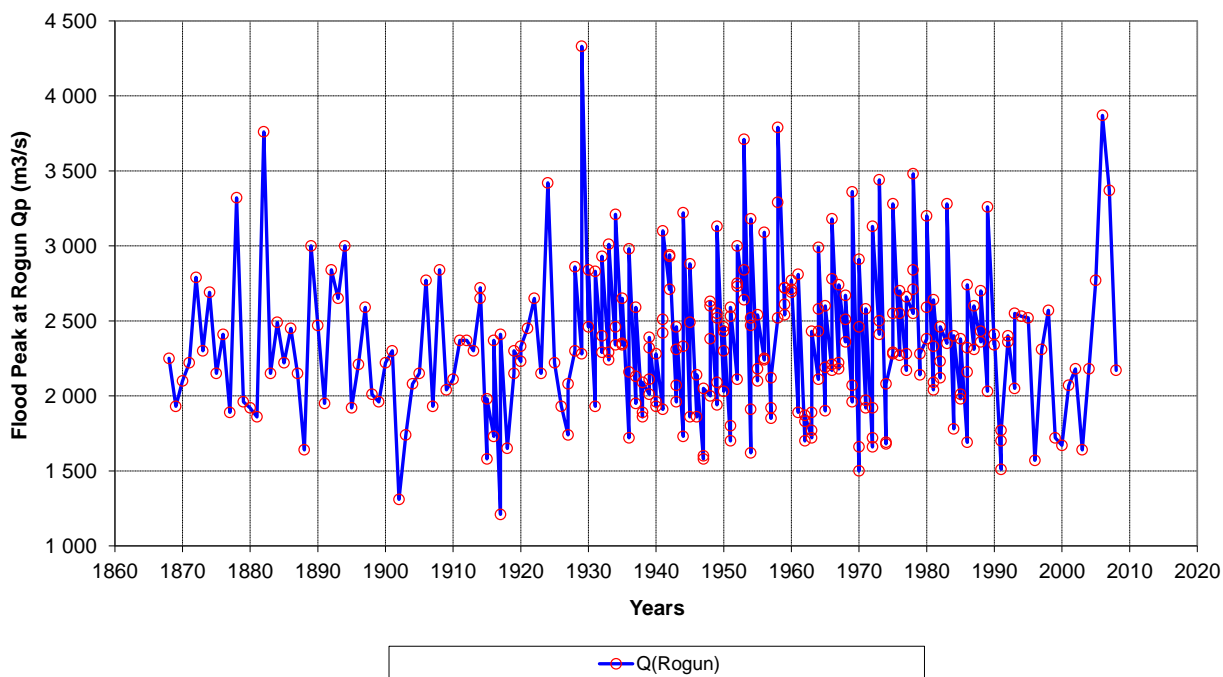
**Б. Соответствие распределению Гумбеля**

Т (лет)	Qp(T) - Рогун (м <sup>3</sup> /с)	Т (лет)	Qp(T) - Рогун (м <sup>3</sup> /с)
2	2 280	200	4 180
5	2 720	500	4 530
10	3 010	1 000	4 800
20	3 280	2 000	5 070
50	3 640	5 000	5 420
100	3 910	10 000	5 690
		100 000	6 580
		1 000 000	7 460



### С. Временной ряд Qp

#### Региональный подход (этап 3) - Пики паводков Рогуне (287 станционных лет)



#### 4.3.4. Частота паводков и гидрографы паводков

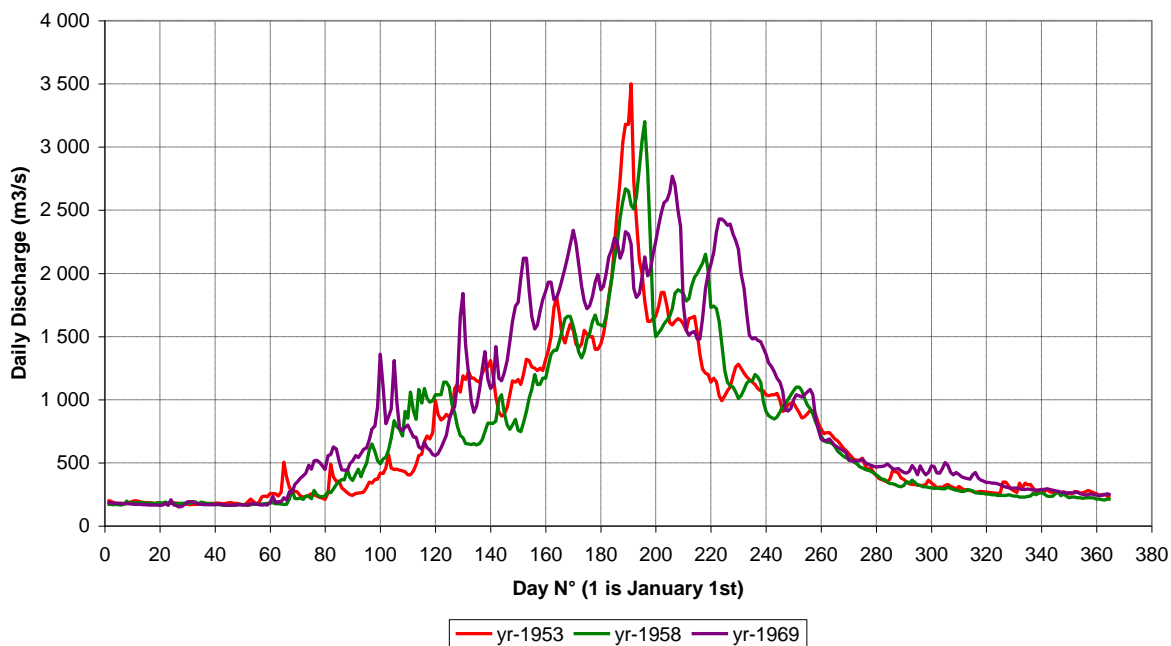
В нижеследующей Таблице 9 приведены полученные результаты. Следует принять во внимание, что для реки Вахш можно использовать следующее соотношение:  $Q_p = Q_{dmx} \times 1,05$ . Это соотношение вытекает из данных наблюдений, а также был использован в предыдущих исследованиях.

Результаты выборки 1, основанный на записи расходов реке Вахш, наконец, приняты в исследовании. Следует отметить, что оценки наводнений согласуются с предыдущими исследованиями (Ламайер 2006 года и Гидропроект, 2009).

**Таблица 9: Рогун – Частота паводков и гидрографы паводков**
**А. Выводы по частоте паводков**

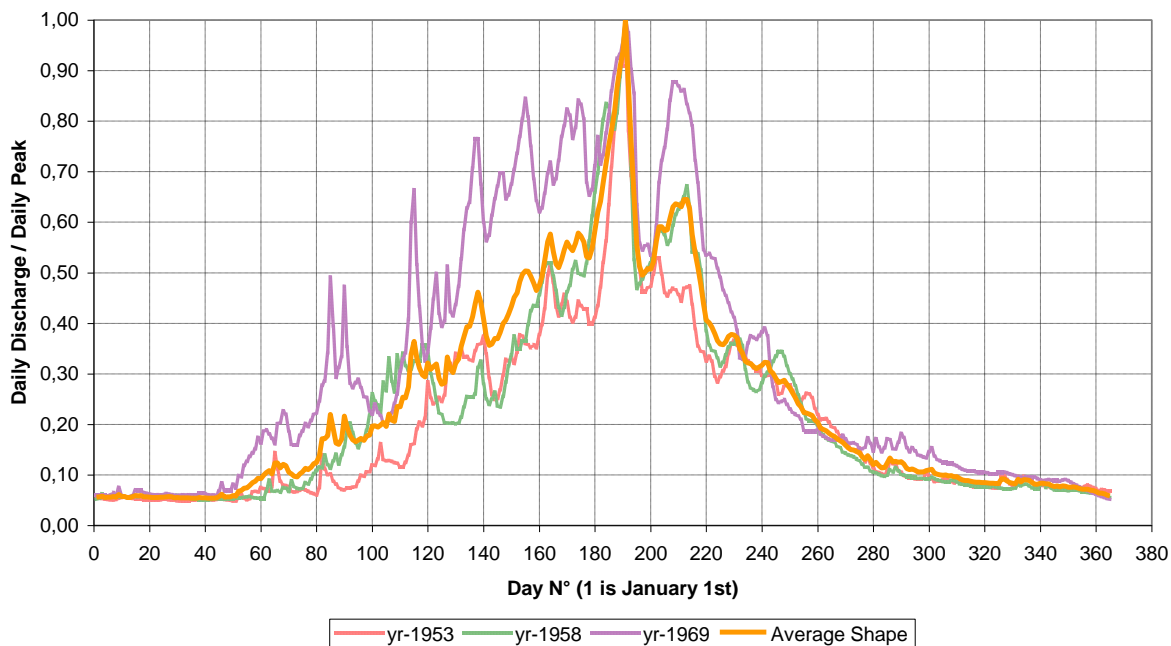
T	Региональный подход			Предыдущие исследования		Синтез результатов				
	Этап 1	Этап 2	Этап 3	2006	2009	M	S	M+2S/√5	Принято	Суточно
2	2 340	2 280	2 280	2 370	2 210	2 296	62	2 351	2 360	2 250
5	2 800	2 730	2 720	2 740	2 660	2 730	50	2 775	2 780	2 650
10	3 110	3 020	3 010	2 980	3 000	3 024	50	3 069	3 070	2 930
20	3 410	3 300	3 280	3 190	3 260	3 288	80	3 359	3 360	3 200
50	3 790	3 670	3 640	3 520	3 660	3 656	96	3 742	3 750	3 580
100	4 080	3 940	3 910	3 730	3 900	3 912	125	4 024	4 030	3 840
200	4 360	4 210	4 180	3 970	4 170	4 178	139	4 302	4 310	4 110
500	4 740	4 570	4 530	4 270	4 370	4 496	182	4 659	4 660	4 440
1 000	5 030	4 850	4 800	4 550	4 700	4 786	178	4 945	4 950	4 720
2 000	5 310	5 120	5 070	4 720	5 100	5 064	214	5 255	5 260	5 010
5 000	5 690	5 480	5 420	5 020	5 460	5 414	244	5 632	5 640	5 380
10 000	5 970	5 750	5 690	5 200	5 880	5 698	299	5 966	5 970	5 690

*T в годах; Q<sub>dmx</sub> и Q<sub>p</sub> в м<sup>3</sup>/с.*

**Б. Значимые паводки**
**Типичные формы гидрографа**


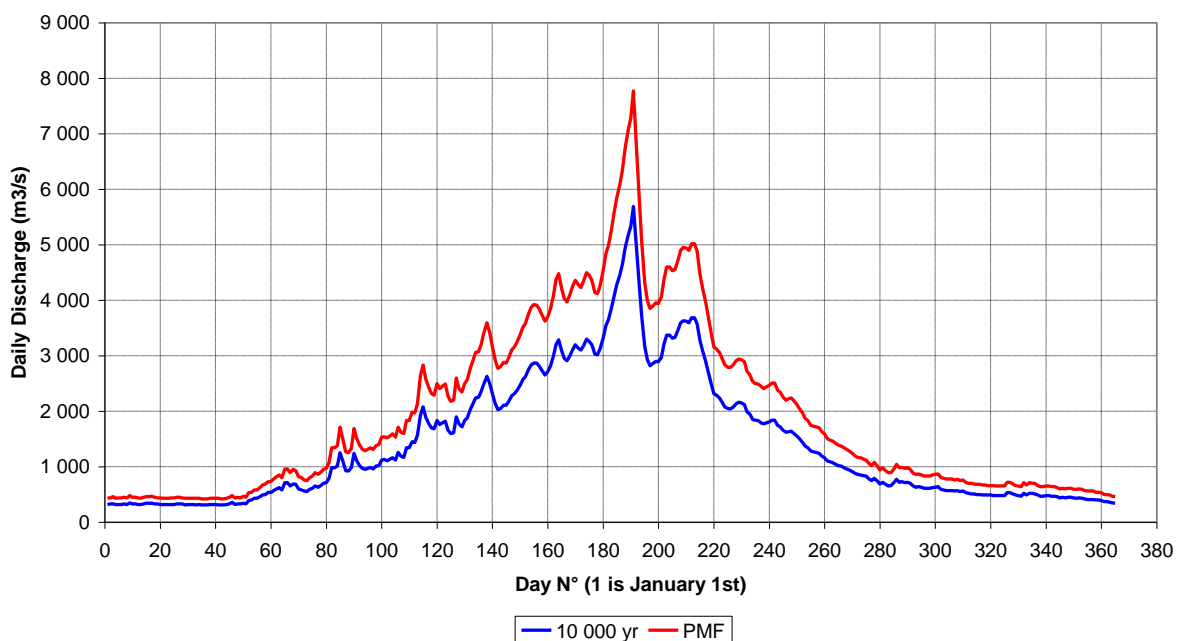
### С. Типовой расчетный гидрограф

#### Непространственная форма гидрографа для проектирования



### Д. Гидрографы экстремальных паводков

#### **Гидрографы 10 000-летнего паводка и Вероятный Максимальный Паводок (PMF)**



## 4.4 Расчет ВМП (PMF)

### 4.4.1. Оценка Вероятного Максимального Паводка (PMF)

Как показано выше, Вахш является рекой под влиянием таяния снега и ледников, высокие потоки, связаны с сезоном оттепели, пик которого в основном в июле/ августе. Как уже упоминалось ранее расход реки Вахш полностью некоррелирована с осадками. Следовательно, как упомянуто в настоящем отчете по гидрологии, а также упомянуто в отчетах Ламайер 2006 года и Гидропроект Москва, 2009 года, PMF не может быть оценен традиционным методом, (Всемирная метеорологическая организация, 2009), например с привлечением концепции Вероятного максимального осадков (PMP). В связи с этим необходимо изучить климатические переменные, которые управляют режимом потока.

Консультант получил свой собственный подход, основанный на основные наблюдения из двух основных явлений, которые являются доминирующими в бассейне Вахша:

- Первый наличие снежного и ледяного покрова, которая определяется количеством зимних осадков,
- Второй процесс таяния весной и летом, которое контролируется солнечным излучением (как описано Кренке, Массовое изменение в ледниковых системах на территории СССР, 1982).

Эта проблема была частично рассмотрена в исследованиях Ламайер, которое выявило возможность существования определенного физического подтвержденного предела максимальной температуры воздуха, соответствующей, в сочетании с другими факторами, наиболее интенсивные возможности таяния снега и льда.

Практически, это может быть принято, что общее теплоснабжения на поверхности снега и льда и, таким образом величины абляции пропорциональны среднесуточных температур (Тронов, 1966). Здесь без учета сложного факторов радиационного баланса и отношений температуры воздуха, которые взаимодействуют и создают необходимые условия для таяния снега и льда в горных районах, температурные характеристики были использованы для оценки PMF. Многие публикации отдают должное концепции преобладающей температурой воздуха в процессе таяния (Кренке и Ходаков, 1966) (Палгов, 1947).

Метод градусо-дня широко используется для определения количества абляции снега или льда в связи с числом градусов выше 0 °С в течение 24 часов. В данном исследовании эта переменная коррелирует с максимальным расходом наблюдаемым на реке Вахш. Многие исследования показали, что простые эмпирические подходы дают сопоставимые результаты, чем более сложные методы или моделирования баланса массы (Омура, 2001) (Всемирная Метеорологическая Организация, 1986 г).

Учитывая распространенность и сложности водосбора Вахша (30 900 км<sup>2</sup>) и относительно дефицита плотности метеорологических сетей, создание физической модели, принесет больше неопределенности, чем прямые установленные корреляции между ключевых климатических переменных и наблюдаемых расходов.

В данном исследовании фактор градусо-день рассчитывается на основе записях перевала Анзоб (3737 м н.у.м.), с использованием средней суточной температуры, полученные из записанных серий. Эта станция является самой представительной нижней границы области ледника, с самым длинным и самым надежным временных рядов. Таким образом, это также станция, которая наилучшим образом представляет водосбора Вахш, с ее средней отметкой составляющее 3250 м н.у.м., что примерно соответствует перевалу Анзоб.

Следующий подход расчета был принят для деривация значения PMF:

- a. Уместными были сочтены следующие исходные данные: Суточный сток в Туткауле/Сарыгузаре, суточные температуры на перевале Анзоб, сезонные атмосферные осадки в Тавильдаре. Исходя из имеющихся данных, был выбран 40-летний период с 1940 по 1980 год.
- b. Для каждого года из 40-летнего периода был просчитан фактор суточного стаивания на 1 градусо-день и установлена взаимосвязь между максимальным суточным стоком и фактором суточного стаивания на 1 градусо-день. Были получены содержательные линейные взаимосвязи с существенным значением R<sup>2</sup>. Параметры линейных зависимостей меняются от года к году, но всегда существует зависимость наступления пика паводка либо от сезонных атмосферных осадков, либо от фактора градусо-дня.
- c. Благодаря использованию этих разных характеристик, удалось произвести некоторые максимизации в соответствии с принятыми процедурами по



МВО и ВМП (ВМО и др.). Окончательный выбор ВМП производился на основе всей доступной информации. Вспомним, что наша оценка ВМП это, по существу, паводок, в основе которого – таяние льда и снега. Такие явления, как ВПЛО (внезапный прорыв ледникового озера) и селевые паводки, не были рассмотрены.

#### **4.4.2. ВМП (PMF) по исследованиям 2006 года**

В 2006 году ВМП был просчитан на основе взаимосвязей между максимальными температурами и суточными стоками. Были рассмотрены три типа паводков: паводки многоводных лет, паводки средних лет и паводки засушливых лет. Были установлены соответствия показательных функций с каждым из этих подмножеств данных, и получена основа для подсчета ВМП методом экстраполяции. Взаимосвязи имеют значимость только на основе подмножества, а полный разброс данных является очень важным сам по себе.

Консультант нашел данных 2006 года для многоводных лет, и были скорректированы показательные функции для температур Алтын Мазара и Тавильдары. Таким же образом были определены линейные взаимосвязи, которые также были значимыми.

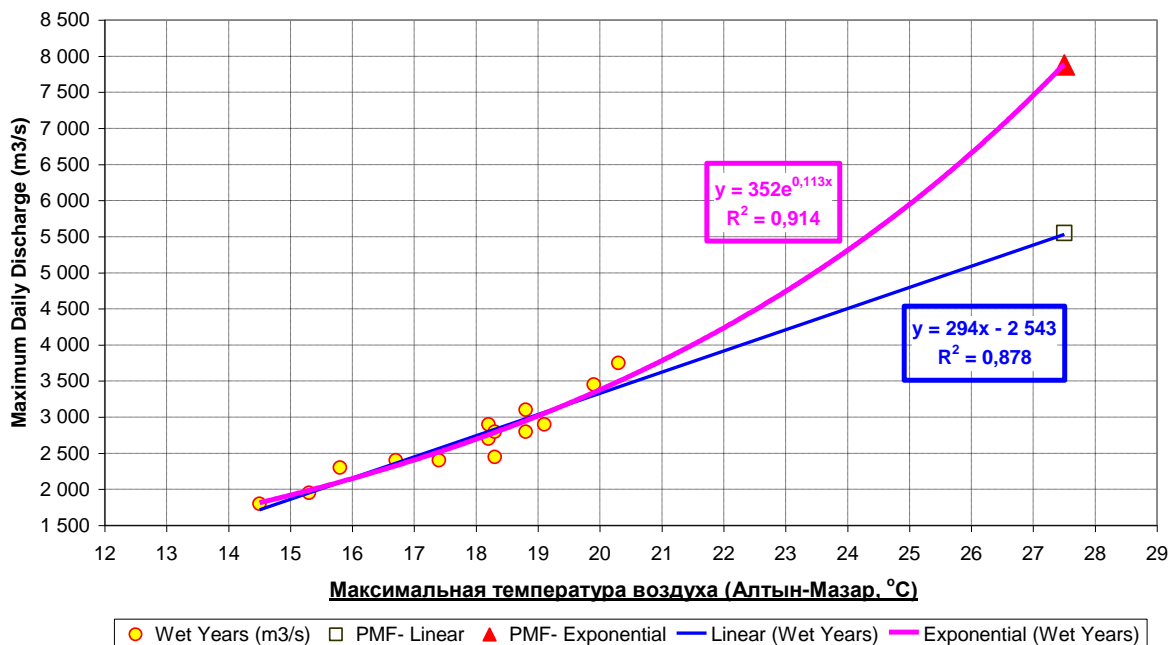
Экстраполяция ВМП была произведена для температуры, просчитанной с помощью формулы  $M_{(темп)} + 3,7\sigma_{(темп)}$ , что соответствует вероятности превышения 1/10 000. Как показано в таблице, линейная экстраполяция дает значения ВМП, сравнимые с 10 000-летним суточным пиком. Показательная экстраполяция ведет к существенному увеличению расчетного ВМП. Максимальная температура, для которой был просчитан ВМП в 2006 году, соответствует частоте 1/10 000.

Выбор трех типов лет (засушливые, средние и многоводные) – это способ преодоления проблемы оценки существующих талых вод. Экстраполяция ВМП с превышением максимальной температуры с вероятностью 1/10 000 является приемлемой, но игнорирование резервов снега и льда является недочетом. Таким образом, основной недостаток подхода 2006 года – игнорирование влияния атмосферных осадков (сохраненных в виде льда и снега) на пик стока талых вод. Наш собственный подход в значительной степени основан на хорошо известном подходе градусо-дня.

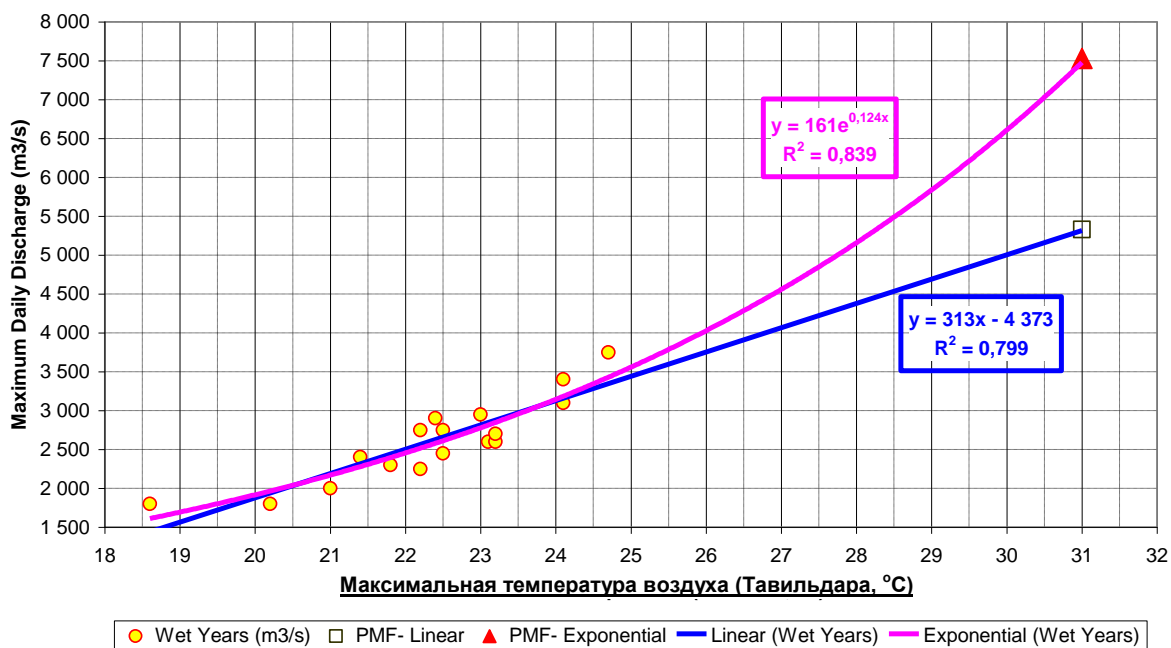
**Таблица 10: Подсчет ВМП по исследованиям 2006 года**

### А. Суточные пики в сравнении с температурой воздуха

#### Многоводные годы - Максимальный суточный сток в сравнении с температурой воздуха в Алтын-Мазаре



#### Многоводные годы - Максимальный суточный сток в сравнении с температурой воздуха в Тавильдаре



### Б. Подсчет ВМП методом экстраполяции

Станция Т-макс ВМП- линейная ВМП- показательная

	(°C)	(M <sup>3</sup> /c)	(M <sup>3</sup> /c)
Алтын-Мазар	27,5	5 550	7 880
Тавильдара	31,0	5 330	7 530

#### 4.4.3. Подход градусо-дня

При использовании подхода градусодня, Консультант определяет фактор градусодня суммированием суточных температур при их положительных значениях. Это обеспечивает получение некоторой меры существующего тепла для топления запасов снега и льда. Для анализа были выбраны температуры перевала Анзоб, данные о которых были в наличии за период 40 лет. Кроме того, высота перевала Анзоб (3 737 м) позволяет судить о высоте ледника.

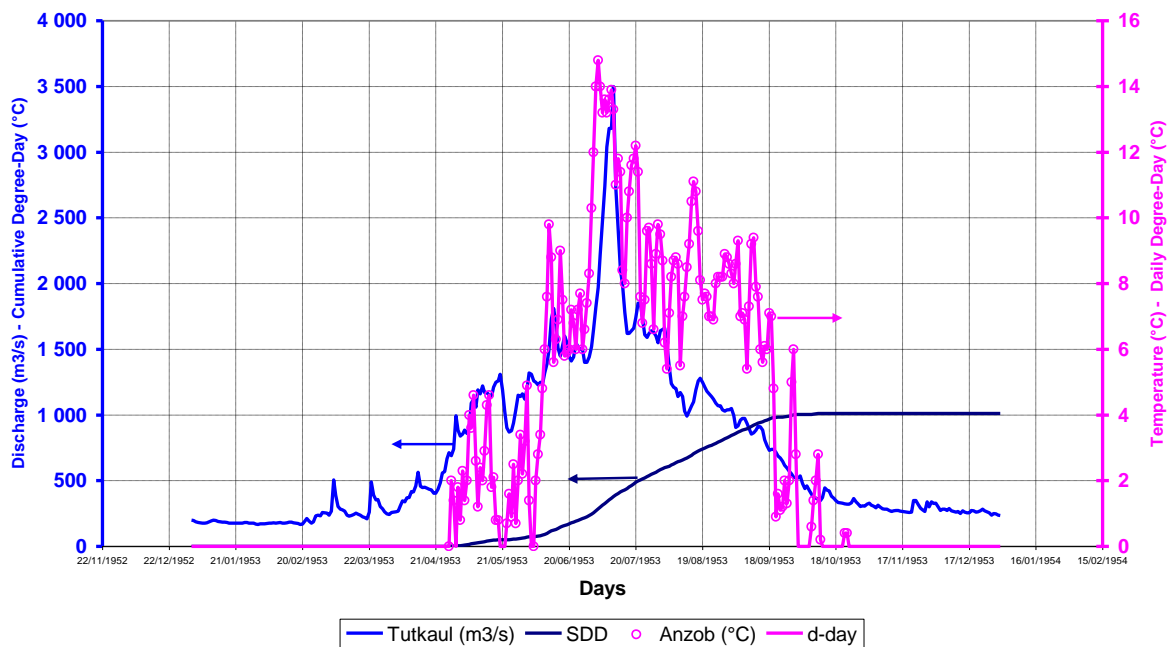
В Таблице 9, приведенном ниже, представлены характеристики стока и температур типичных лет (одного многоводного и одного засушливого). Взаимосвязь между градусоднями и стоком очевидна (см. первый график для каждого типичного года). Более того, существенной является взаимосвязь между суточным стоком и фактором градусодня (суммарный градусодень на конкретную дату) – см. второй график для каждого типичного дня.

В последней части таблицы представлена диаграмма, содержащая суммированные результаты исследования данных за доступные 40 лет. Соответствующие графики представлены в сопровождающих документах. В таблице представлен фактор градусодня как для суточных пиков, так и для годовичного стока. В ней также приведены уравнения и показатели R<sup>2</sup> для каждого года.

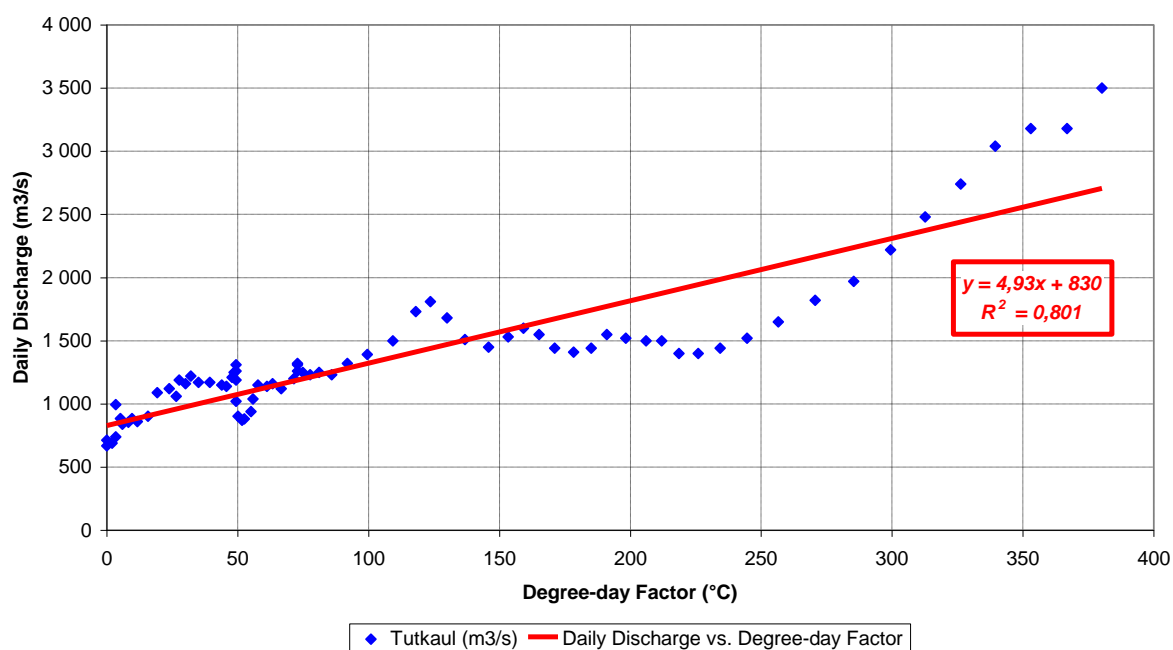
**Таблица 9 - Презентация подхода градусодня**

**А. Данные по температурам и стокам для типичных лет**

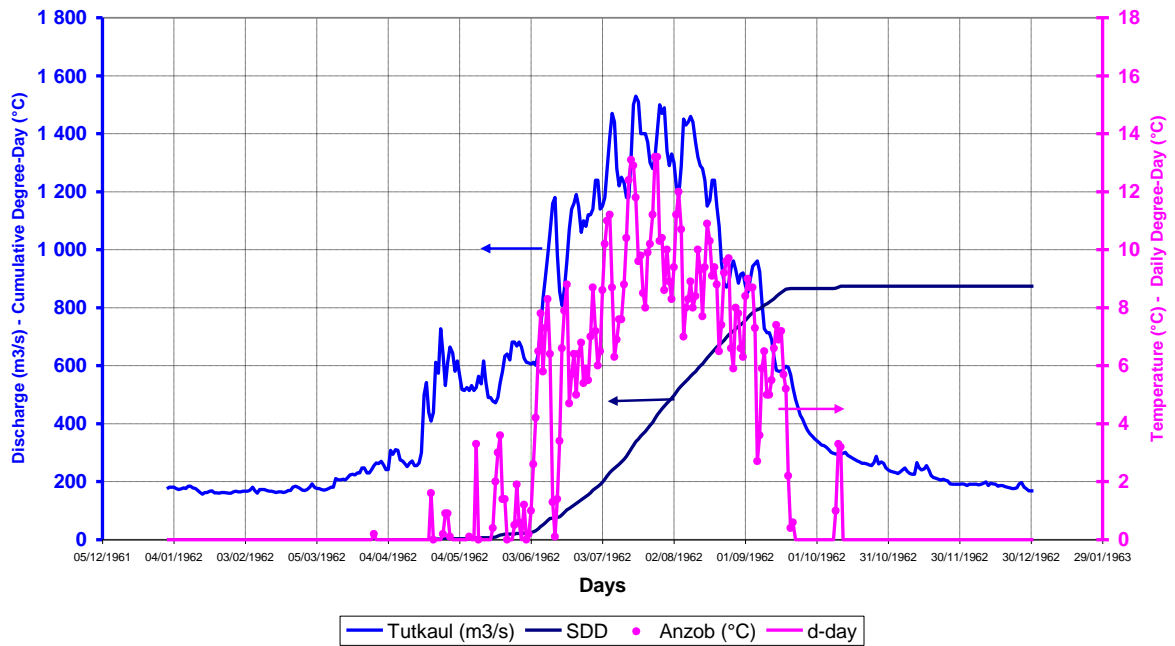
**Туткаул - Паводок 1953 года**



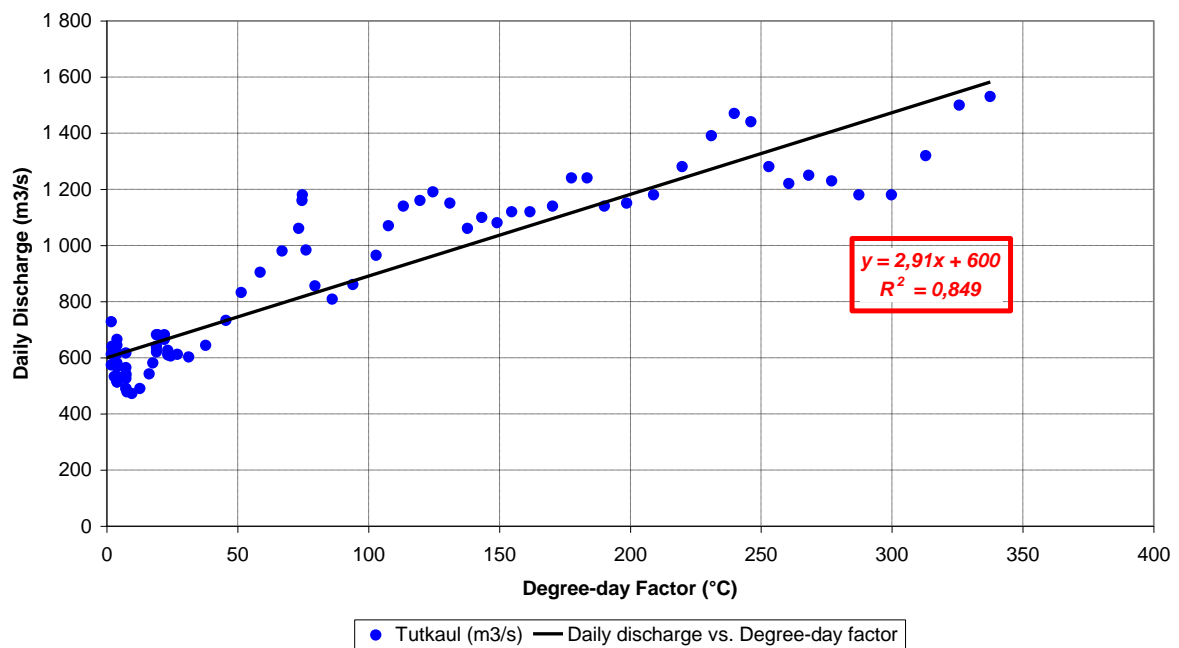
**Туткаул - Паводок 1953 года - Суточный сток в сравнении с фактором градусодня**



**Туткаул - Паводок 1962 года**



**Туткаул - Паводок 1962 года - Суточный сток в сравнении с фактором градусодня**



### Б. Синтез обработанных данных

Год	Qdmax (М <sup>3</sup> /с)	DDF (Макс) (°С)	Qгод (М <sup>3</sup> /с)	DDF (Год) (°С)	Р(окт/май) (мм)	Уравнение	R <sup>2</sup>	Склон (°С/М <sup>3</sup> /с)	Отрезок (М <sup>3</sup> /с)
1940	1 640	333	527	1 052	779	y=3,36x+513	0,845	3,36	513
1941	2 520	402	735	1 248	969	y=2,90x+911	0,627	2,90	911
1942	2 690	409	782	1 066	933	y=4,20x+652	0,849	4,20	652
1943	2 320	306	683	947	873	y=4,23x+744	0,850	4,23	744
1944	2 988	732	679	1 194	794	y=2,47x+577	0,887	2,47	577
1945	2 330	475	715	1 054	840	y=2,83x+940	0,814	2,83	940
1946	1 860	630	622	1 120	668	y=1,27x+759	0,797	1,27	759
1947	1 760	472	531	1 068	679	y=1,39x+650	0,684	1,39	650
1948	2 430	483	696	1 020	951	y=2,74x+807	0,882	2,74	807
1949	2 380	510	786	883	1 208	y=3,22x+968	0,762	3,22	968
1950	1 840	577	597	1 035	492	y=1,67x+773	0,843	1,67	773
1951	1 670	506	537	878	776	y=1,51x+756	0,432	1,51	756
1952	2 400	455	735	987	1 204	y=2,92x+930	0,833	2,92	930
1953	3 500	380	720	1 012	1 012	y=4,93x+830	0,801	4,93	830
1954	1 910	425	719	793	1 264	y=2,32x+904	0,637	2,32	904
1955	1 820	661	580	929	672	y=1,54x+756	0,677	1,54	756
1956	2 590	626	723	1 229	956	y=2,79x+752	0,854	2,79	752
1957	1 600	321	490	791	739	y=2,42x+678	0,693	2,42	678
1958	3 200	372	728	904	1 142	y=5,92x+727	0,927	5,92	727
1959	2 660	307	715	1 196	890	y=5,00x+577	0,819	5,00	577
1960	2 720	350	640	971	737	y=5,36x+585	0,943	5,36	585
1961	2 120	703	586	1 163	640	y=1,72x+573	0,735	1,72	573
1962	1 530	338	527	874	1 021	y=2,91x+600	0,849	2,91	600
1963	1 760	253	591	949	813	y=4,65x+505	0,925	4,65	505
1964	2 420	310	658	861	837	y=5,09x+809	0,908	5,09	809
1965	1 900	485	517	927	639	y=2,17x+619	0,785	2,17	619
1966	2 670	177	665	930	948	y=11,1x+630	0,899	11,10	630
1967	1 830	450		971	801	y=1,02x+968	0,190	1,02	968
1968	2 230	308	646	971	711	y=4,08x+671	0,778	4,08	671
1969	2 770	448	883	883	1 533	y=2,85x+1329	0,657	2,85	1 329
1970					765				
1971	2 300	685	608	1 126	619	y=1,74x+636	0,644	1,74	636
1972	1 630	433	506	755	838	y=1,47x+656	0,441	1,47	656
1973	2 810	525	763	1 197	994	y=3,05x+929	0,752	3,05	929
1974	1 760	475	475	869	536	y=2,84x+376	0,839	2,84	376
1975	2 100	395	553	1 081	744	y=2,65x+624	0,591	2,65	624
1976	1 480	521	462	1 102	777	y=0,42x+831	0,130	0,42	831
1977	1 860	488	600	1 156	680				
1978	2 530	384	695	1 202	869	y=7,05x+11	0,957	7,05	11
1979	1 770	445	612	1 071	768	y=2,77x+330	0,785	2,77	330
1980	1 930	579	671	1 150	917	y=1,26x+722	0,716	1,26	722

Наименование	Qd <sub>mx</sub>	DDF (Макс)	Q <sub>год</sub>	DDF (Год)	P(окт/май)	R <sup>2</sup>	Склон	Отрезок
N	40	40	39	40	41	39	39	39
M	2 206	453	640	1 015	854	0,745	3,18	708
S	492	127	98	132	206	0,185	1,97	215
Cv	0,223	0,281	0,154	0,130	0,241	0,248	0,620	0,303
Сред.	2 175	449	646	1 016	813	0,797	2,83	722
Макс.	3 500	732	883	1 248	1 533	0,957	11,10	1 329
Мин.	1 480	177	462	755	492	0,130	0,42	11

#### 4.4.4. Процедуры максимизации для получения ВМП

В следующей Таблице 10 приведены необходимые соотношения для оценки суточных пиков по соотношению формы:

- $Q_{dmx} = \text{склон} \times \text{фактор градусодня на пике} + \text{отрезок}$ .
- $\text{Склон} = f(\text{фактор градусодня})$ .
- $\text{Отрезок} = g(\text{сезонный уровень атмосферных осадков})$ .

В данной модели Консультант принимал во внимание как уровень атмосферных осадков (который отвечает за существующее количество воды), так и температура (которая отвечает за интенсивность таяния) на протяжении сезона таяния перед пиком стока. Четыре графика демонстрируют, что соотношения являются существенными, а предложенная модель в состоянии воспроизвести суточные пики, которые имели место с отклонением в сторону занижения, равным 11%.

На двух первых графиках обозначены линейные взаимосвязи, полученные с помощью анализа ряда, состоящего из 40 паводков. Значения  $R^2$  равны приблизительно 0,42/0,44, что является существенным показателем, но также указывает на разброс данных. При использовании подхода 2006 года были бы получены более низкие значения. Это было бы обусловлено тем, что вместо трех подмножеств рассматривается один полный набор данных. При противопоставлении склона фактору градусодня существует тенденция к уменьшению. Небольшое значение фактора градусодня на годовом пике означает ранний паводок и больший склон (т. е. большее значение показателя м<sup>3</sup>/с на °С/день). Большое значение фактора градусодня на годовом пике означает поздний паводок и меньший склон (т. е. меньшее значение показателя м<sup>3</sup>/с на °С/день).



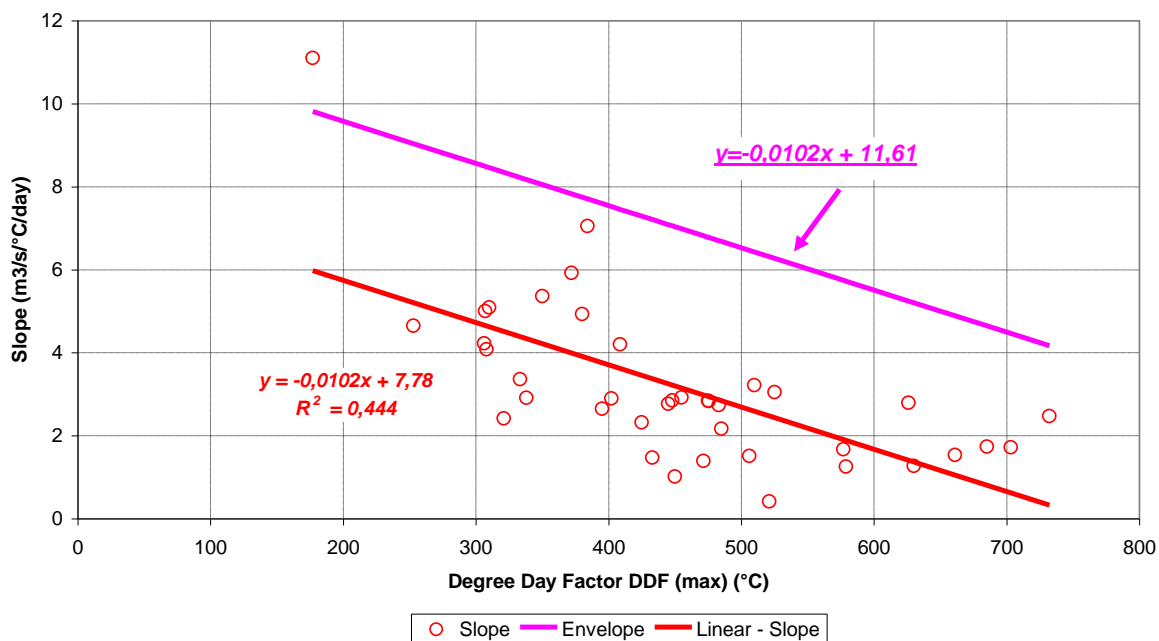
При противопоставлении отрезка сезонному количеству атмосферных осадков существует тенденция к увеличению. Это означает, что большее количество атмосферных осадков вызовет более многоводные паводки. Кроме корреляционных линий, также приведены огибающие линии, которые позволили максимизировать наблюдаемые события.

Третий график демонстрирует отсутствие зависимости между сезонным количеством осадков и фактором градусодня.

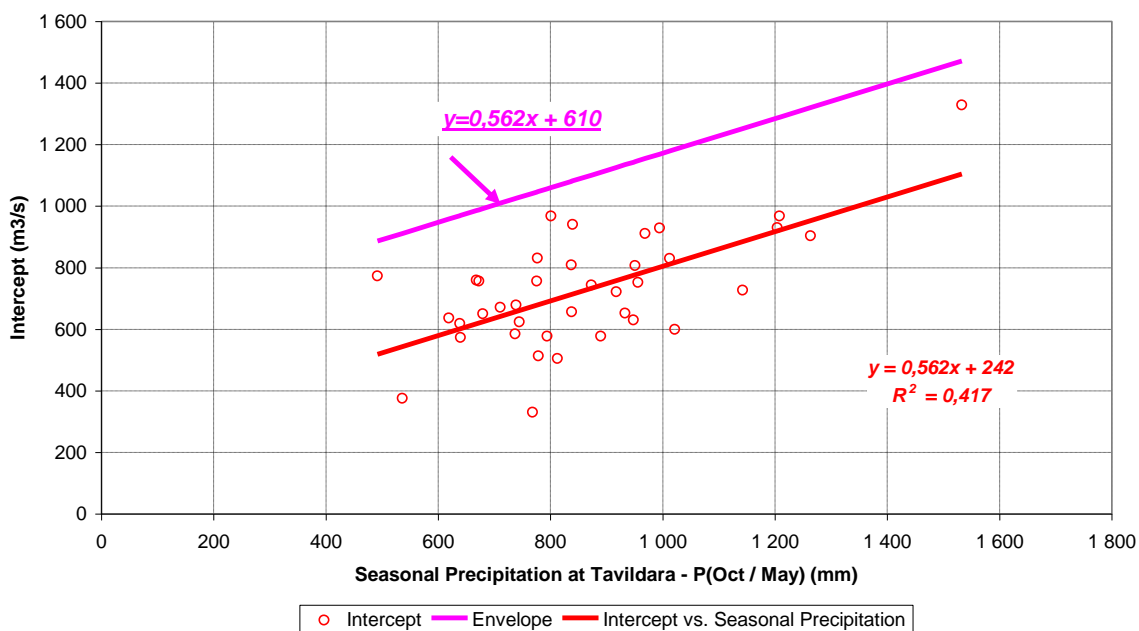
Наконец, на четвертом графике сравниваются наблюдаемые суточные пики с расчетными пиками на основании 40 взаимосвязей приведенных в таблице синтеза. Соответствие является хорошим, но заметно отклонение в 11%.

**Таблица 10 - Склон и отрезок в сравнении с фактором градусодня и сезонным количеством атмосферных осадков**

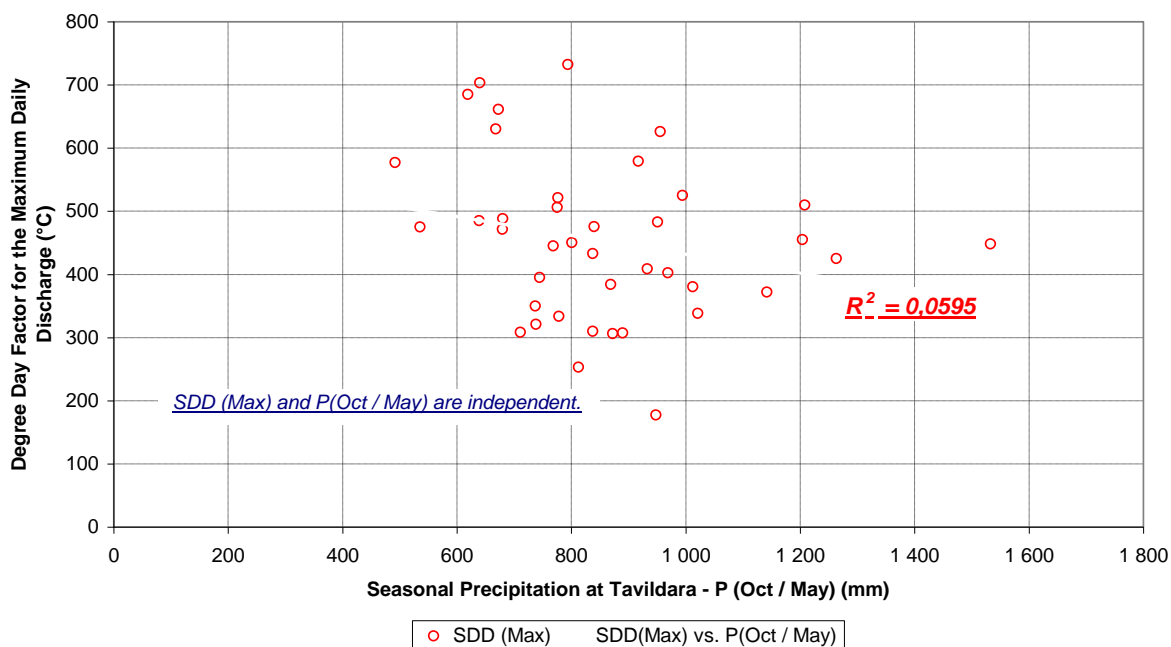
**Склон в сравнении с фактором градусодня (DDF(Макс.))**



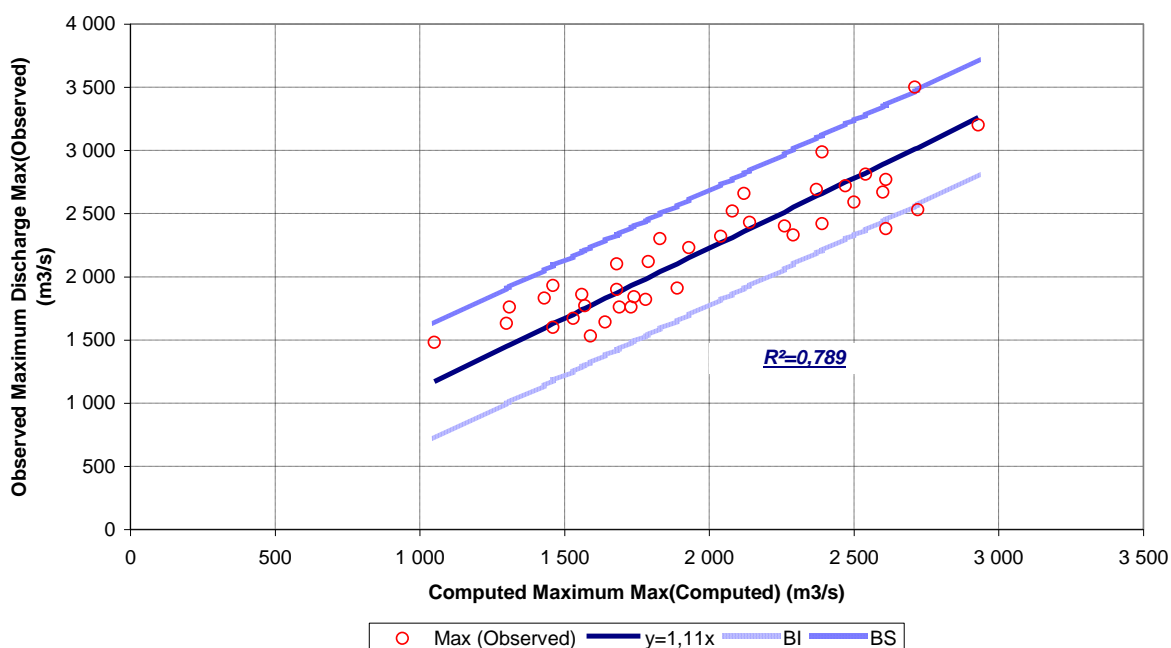
**Отрезок в сравнении с сезонными атмосферными осадками в Тавильдаре**



**Фактор градусодня (SDD(Макс.)) в сравнении с сезонными атмосферными осадками в Тавильдаре**



### Испытание адекватности модели



#### 4.4.5. Первая максимизация:

Консультант перешел к **первой максимизации** путем рассмотрения частотного распределения сезонных дождевых осадков и фактора градусодня на пике. В следующей Таблице представлена первая максимизация.

Было решено, что распределение Гаусса-Рута является подходящим для двух независимых переменных, как показано на двух графиках. Таким образом, были подсчитаны параметры склона и отрезка для крайних факторов градусодня и крайних сезонных осадков. Данный подсчет подытожен в части Б, где диапазон частот колеблется от 0,90 до 0,9999. Такой разброс необходим, так как было замечено, что сезонные осадки и факторы градусодня не зависят друг от друга.

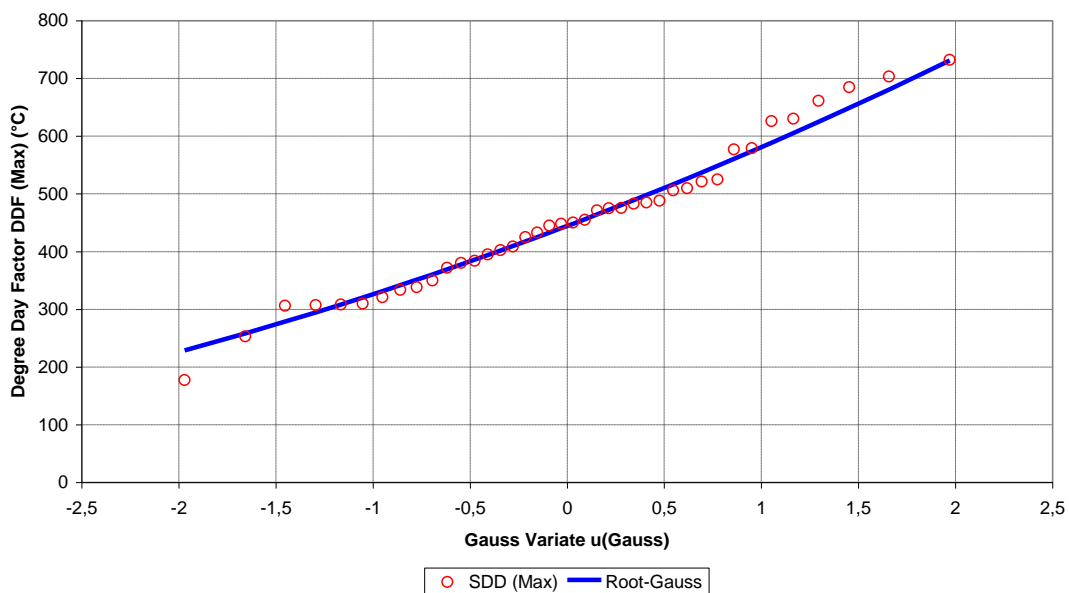
От 10 реализаций отрезка и 10 реализаций произведения (склон x фактор градусодня) были отняты 100 пиков паводков, кандидатов на ВМП. В части С приведена первая максимизация.

В соответствии с этим первым подходом, ВМП равен  $6\,710\text{ м}^3/\text{с}$ , что в 1,92 раза больше максимального наблюдаемого суточного пика, который был равен  $3\,500\text{ м}^3/\text{с}$ .

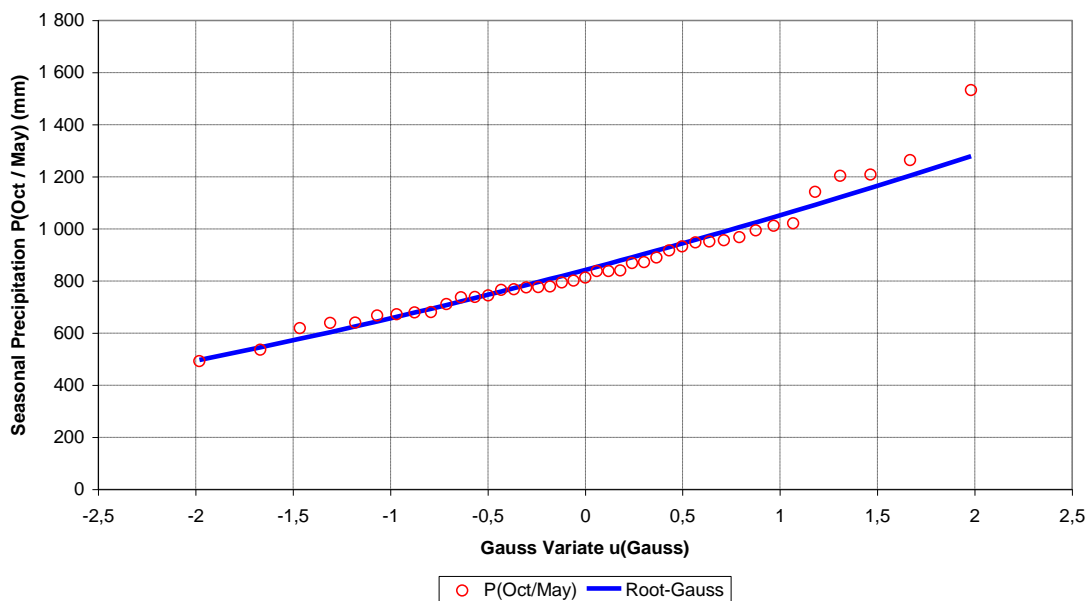
Таблица 11 - Первая максимизация – Использование частотных распределений

А. Частотное распределения для фактора градусодня и для сезонного количества осадков

Фактор градусодня в сравнении с переменной Гаусса



Сезонные атмосферные осадки в Тавильдаре в сравнении с переменной Гаусса



### Б. Отрезок и склон в сравнении с частотой

Част.	u(Гаусс)	P(окт/май)	Отрезок	DDF (Макс)	Склон	Произведение
		(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	(°C)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
0,9000	1,2816	1 115	1 237	623	5,26	3 274
0,9500	1,6449	1 199	1 284	679	4,69	3 181
0,9800	2,0537	1 298	1 339	745	4,01	2 989
0,9900	2,3263	1 365	1 377	790	3,55	2 804
0,9950	2,5758	1 429	1 413	833	3,55	2 957
0,9980	2,8782	1 508	1 457	887	3,55	3 147
0,9990	3,0902	1 564	1 489	926	3,55	3 284
0,9995	3,2905	1 619	1 520	963	3,55	3 416
0,9998	3,5401	1 688	1 558	1 010	3,55	3 584
0,9999	3,7190	1 738	1 587	1045	3,55	3707

### С. Первая максимизация

Произведение	Отрезок									
	1 237	1 284	1 339	1 377	1 413	1 457	1 489	1 520	1 558	1 587
3 274	5 010	5 060	5 130	5 170	5 210	5 260	5 290	5 330	5 370	5 400
3 181	4 910	4 960	5 020	5 060	5 100	5 150	5 190	5 220	5 270	5 300
2 989	4 700	4 750	4 810	4 850	4 890	4 940	4 980	5 010	5 050	5 080
2 804	4 490	4 540	4 600	4 650	4 690	4 740	4 770	4 800	4 850	4 880
2 957	4 660	4 710	4 770	4 820	4 860	4 900	4 940	4 970	5 020	5 050
3 147	4 870	4 920	4 980	5 030	5 070	5 120	5 150	5 180	5 230	5 260
3 284	5 020	5 080	5 140	5 180	5 220	5 270	5 300	5 340	5 380	5 410
3 416	5 170	5 220	5 280	5 330	5 370	5 410	5 450	5 480	5 530	5 560
3 584	5 360	5 410	5 470	5 510	5 550	5 600	5 640	5 670	5 710	5 740
3 707	5 490	5 550	5 610	5 650	5 690	5 740	5 770	5 810	5 850	5 880

 (м<sup>3</sup>/с)

Наименование	Результат	Результат/3 500
n	100	
M	5 178	1,48
S	323	
Cv	0,062	
Сред.	5 170	1,48
Макс.	5 880	1,68
Мин.	4 490	1,28
<i>ВМП (суточный)</i>	6 390	1,83
<i>ВМП (пик)</i>	6 710	1,92

 (м<sup>3</sup>/с)

#### 4.4.6. Вторая максимизация:

**Для второй максимизации** Консультант использовал огибающие линии, определенные для параметров склона и отрезка. В соответствующей Таблице приведены данные о том, что получен суточный ВМП, равный 5 830 м<sup>3</sup>/с, в то время как верхняя граница ВМП составляет 7 130 м<sup>3</sup>/с. В части А приведены 40 рассмотренных случаев паводков. В этой таблице снова приведены исходные данные (DDF и P), огибающие параметры (склон и отрезок), а также наблюдаемые и максимизированные суточные пики. В части Б приведены результаты второй максимизации. На основании показателя среднего максимизированного суточного пика (4 433 м<sup>3</sup>/с) и его стандартного отклонения (374 м<sup>3</sup>/с) было определено, что суточный ВМП, равный 5 830 м<sup>3</sup>/с, является приемлемым. При использовании соотношения 5 830/(наблюдаемый суточный пик) для суточного пика было получено значение возможной верхней границы, равное 6 790 м<sup>3</sup>/с.

**Таблица 11: Вторая максимизация – Использование 40 случаев паводков**

##### А. Таблица наблюдаемых и максимизированных событий

Год	Исходные данные		Огибающие параметры		Суточные пики		Соотношения	
	DDF (Макс) (°C)	P(окт/май) (мм)	Склон-макс. (м <sup>3</sup> /с/°C)	Отрезок-макс. (м <sup>3</sup> /с)	Наблюдаемые (м <sup>3</sup> /с)	Максимизированные (м <sup>3</sup> /с)	Максим./набл.	5830/Qdmx
1953	380	1 012	7,73	1 179	3 500	4 450	1,27	1,67
1958	372	1 142	7,82	1 252	3 200	4 480	1,40	1,82
1944	732	794	4,14	1 056	2 988	4 430	1,48	1,95
1973	525	994	6,26	1 169	2 810	4 820	1,72	2,07
1969	448	1 533	7,04	1 471	2 770	4 980	1,80	2,10
1960	350	737	8,04	1 024	2 720	4 150	1,53	2,14
1942	409	933	7,44	1 134	2 690	4 520	1,68	2,17
1966	177	948	9,80	1 143	2 670	3 070	1,15	2,18
1959	307	890	8,48	1 110	2 660	4 000	1,50	2,19
1956	626	956	5,22	1 147	2 590	4 780	1,85	2,25
1978	384	869	7,69	1 098	2 530	4 380	1,73	2,30
1941	402	969	7,51	1 154	2 520	4 510	1,79	2,31
1948	483	951	6,68	1 144	2 430	4 730	1,95	2,40
1964	310	837	8,45	1 081	2 420	3 990	1,65	2,41
1952	455	1 204	6,97	1 287	2 400	4 810	2,00	2,43
1949	510	1 208	6,41	1 289	2 380	4 920	2,07	2,45
1945	475	840	6,76	1 082	2 330	4 650	2,00	2,50
1943	306	873	8,49	1 100	2 320	3 990	1,72	2,51
1971	685	619	4,62	958	2 300	4 480	1,95	2,53
1968	308	711	8,47	1 009	2 230	3 910	1,75	2,61
1961	703	640	4,44	970	2 120	4 440	2,09	2,75
1975	395	744	7,58	1 028	2 100	4 360	2,08	2,78
1980	579	917	5,70	1 125	1 930	4 800	2,49	3,02
1954	425	1 264	7,28	1 320	1 910	4 760	2,49	3,05

1965	485	639	6,66	969	1 900	4 560	2,40	3,07
1946	630	668	5,18	985	1 860	4 620	2,48	3,13
1977	488	680	6,63	992	1 860	4 590	2,47	3,13
1950	577	492	5,72	886	1 840	4 560	2,48	3,17
1967	450	801	7,02	1 060	1 830	4 570	2,50	3,19
1955	661	672	4,87	988	1 820	4 560	2,51	3,20
1979	445	768	7,07	1 042	1 770	4 540	2,56	3,29
1947	472	679	6,80	992	1 760	4 560	2,59	3,31
1963	253	813	9,03	1 067	1 760	3 610	2,05	3,31
1974	475	536	6,77	911	1 760	4 480	2,55	3,31
1951	506	776	6,45	1 046	1 670	4 670	2,80	3,49
1940	333	779	8,21	1 048	1 640	4 090	2,49	3,55
1972	433	838	7,19	1 081	1 630	4 540	2,79	3,58
1957	321	739	8,34	1 025	1 600	4 000	2,50	3,64
1962	338	1 021	8,16	1 184	1 530	4 250	2,78	3,81
1976	521	777	6,30	1 047	1 480	4 690	3,17	3,94

Год	Исходные данные		Огибающие параметры		Суточные пики		Соотношения	
	DDF (Макс) (°C)	P(окт/май) (мм)	Склон-макс. (м <sup>3</sup> /с/°C)	Отрезок-макс. (м <sup>3</sup> /с)	Наблюдаемые (м <sup>3</sup> /с)	Максимизированные (м <sup>3</sup> /с)	Максим./набл.	5830/Qd <sub>max</sub>
N	40	40	40	40	40	40	40	40
M	453	857	6,99	1 091	2 206	4 433	2,11	2,77
S	127	208	1,30	117	492	374	0,48	0,59
Cv	0,281	0,243	0,186	0,107	0,223	0,084	0,229	0,214
Me	449	825	7,03	1 074	2 175	4 530	2,06	2,68
Max	732	1 533	9,80	1 471	3 500	4 980	3,17	3,94
Min	177	492	4,14	886	1 480	3 070	1,15	1,67

## Б. Результаты второй максимизации

### 1. Использование 40 максимизированных случаев

ВМП (суточный)	5 830	(м <sup>3</sup> /с)
На основе ВМП = 4433 + 3,72 x 374		
ВМП (пик)	6 130	(м <sup>3</sup> /с)

### 2. Верхняя граница ВМП

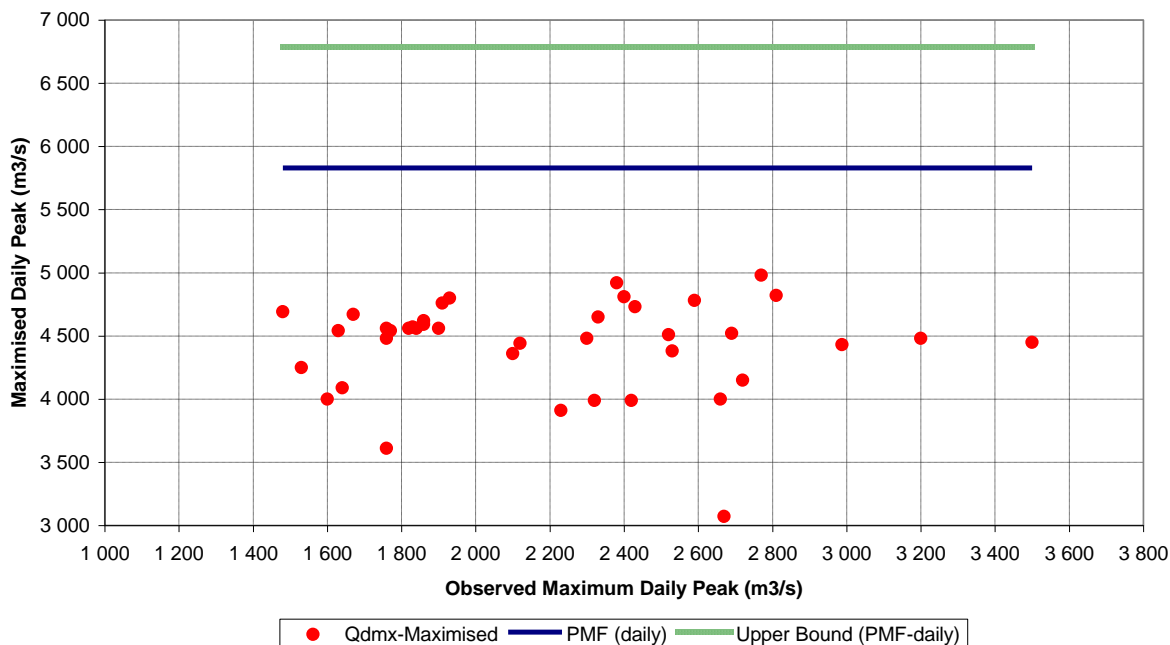
ВМП (суточный)	6 790	(м <sup>3</sup> /с)
На основе ВМП = 2,77 + 1,11 x 2 206 (1)		
ВМП (пик)	7 130	(м <sup>3</sup> /с)

(1) – 2,77 является средним соотношением 5830/Qd<sub>max</sub>,  
 2 206 является средним суточным наблюдаемым пиком, а  
 1,11 – отклонением (см. § 31).



### С. Иллюстрация второй максимизации

#### Максимизация 40 случаев паводков



#### **4.4.7. Третья максимизация:**

Третья максимизация соответствует гипотетическому случаю, для которых градусодень и сезонные осадки связаны между собой. Для этого, консультант принял подход ранговой корреляции.

С помощью этого подхода Консультант определил множественную корреляцию между суточным пиковым стоком как зависимой переменной и фактором градусодня вместе с сезонными дождевыми осадками как независимыми переменными, но лишь после того, как были отдельно проранжированы три выборки (DDF, Qdmx и P(окт/май)) в восходящем порядке.

Было получено следующее уравнение:

$$Q_{dmx} = 1,165 \times P(\text{Окт/Май}) + 1,903 \times DDF + 345. (R^2=0,956).$$

Данная формула применялась для нескольких значений DDF и P(окт/май), предоставляя оценки максимизированных суточных стоков. В следующей Таблице представлены

детали третьей максимизации. В таблице последовательно представлены: графическое описание первичных выборок, таблица максимизированных суточных пиков и окончательные результаты.

На первом графике представлено взаимоотношение (для P = 500, 1 000 и 1 500 мм), а также реальный набор данных (значения DDF и Qd<sub>mx</sub>).

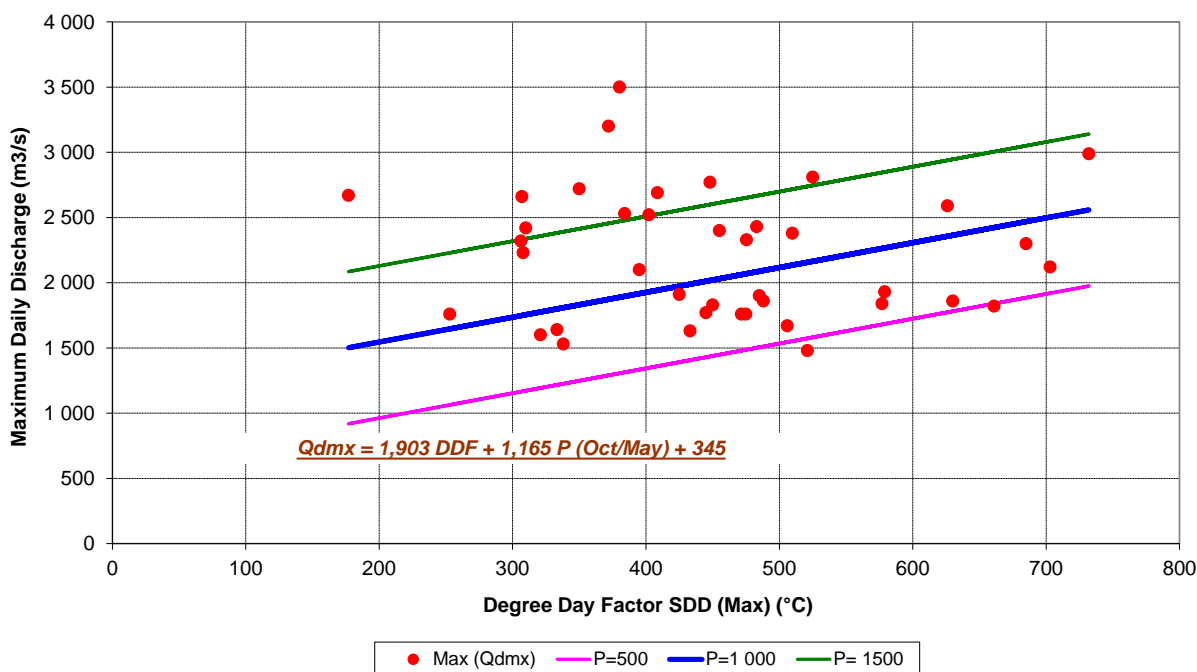
На втором графике приведен рейтинг значений, который дает возможность найти модельное уравнение. В таблице Б представлены 5 кандидатов на ВМП на основе экстримальных случаев.

В таблице В, также приведены оценки ВМП (суточный ВМП = 5 600 м<sup>3</sup>/с, одномоментный ВМП = 5 880 м<sup>3</sup>/с).

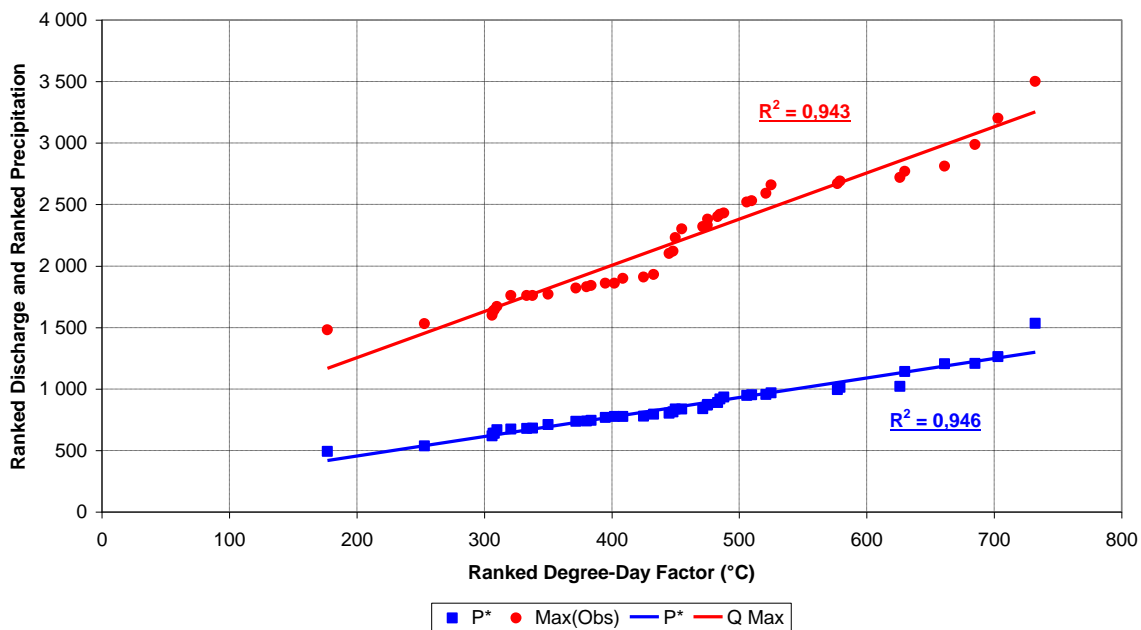
**Таблица 12: Третья максимизация – Подход стационарных лет**

**A. Графическое отображение множественной корреляции на рейтинге значений (2 графика)**

**Максимальный суточный сток в сравнении с фактором градусодня и сезонными атмосферными осадками**



**Данные рейтинговой корреляции**



**Б. Таблица максимизированных суточных паводков (м<sup>3</sup>/с)**

T (лет)	Рсезонная (мм)	SDD (°C)	Qдмакс (м <sup>3</sup> /с)	
	10 000	1 738	1 045	4 360
20 000		1 787	1 079	4 480
50 000		1 850	1 122	4 640
100 000		1 896	1 154	4 760
200 000		1 942	1 186	4 870
	500 000	2 000	1 226	5 010
1 000 000		2 044	1 257	5 120
N				5
M				4 880
S				191
Cv				0,039
Сред.				4 870
Макс.				5 120
Мин.				4 640
ВМГ (суточный)				5 600
<u>ВМГ (пик)</u>				<u>5 880</u>

#### 4.4.8. Выбор ВМП и гидрограф ВМП

Расчет гидрографов паводка базируется на трех основных наблюдаемых паводков в Туткауле. Эти паводки являются:

- Июль 1953 года крупнейший паводок, зарегистрированное на реке Вахш, с ежедневным сбросом 3500 м<sup>3</sup>/с и пиковым сбросом 3730 м<sup>3</sup>/с. Обратите внимание, что первая оценка пика расходов была 4290 м<sup>3</sup>/с, но была пересчитана в 1978 году для отчета по проекту Рогунской ГЭС Гидропроектом (1978),
- Июль 1958 года, с ежедневным расходом 3250 м<sup>3</sup>/с,
- Июль 1969 года, с ежедневным сбросом 2800 м<sup>3</sup>/с, но это наводнение является важным событием с точки зрения объема зарегистрированного на реке Вахш.

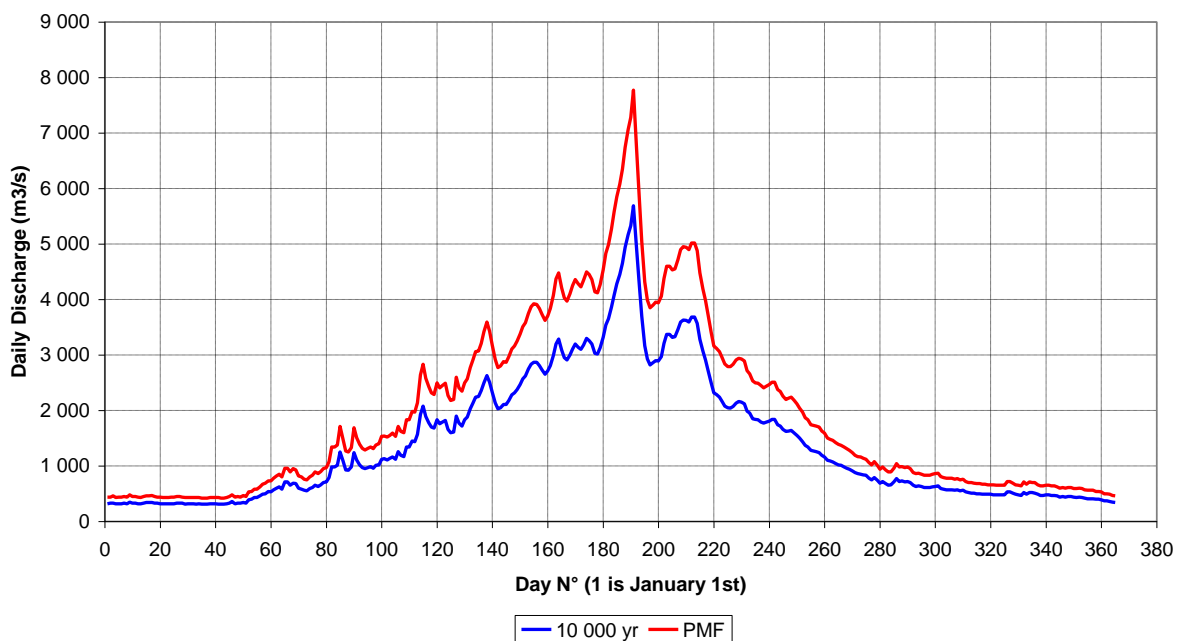
Выбор формы размерного гидрографа было сделано для того, чтобы объединить аспект пика наводнения выданных в период с июля 1953 года и июле 1958 года и объем наводнения с июля 1969 года. Коэффициент пика был получен из наблюдаемых расходов в июле 1953 года, и составляет 1,05.

В следующей таблице приведено резюме полученных результатов и выбора ВМП, а также схема гидрографа ВМП. В части А представлен рейтинг разных оценок ВМП в возрастающем порядке. Ранговая корреляция (третья максимизация) является наименьшей оценкой (5 600 м<sup>3</sup>/с), за которой следует максимизация 40 паводков (вторая максимизация, 5 830 м<sup>3</sup>/с). Частотный подход (первая максимизация) находится на третьем месте с суточным пиком 6 390 м<sup>3</sup>/с. Как показано в колонке наблюдений, эти три оценки находятся в рамках диапазона паводков 10 000 лет. Таким образом, в процессе выбора ВМП они исключаются.

Верхняя граница максимизации 40 паводков и оценка ВМП от 2006 года сохраняются. Они предоставляют среднее значение 6 950 м<sup>3</sup>/с, которое связано со стандартным отклонением 220 м<sup>3</sup>/с. Учитывая данные результаты, рекомендуемый суточный ВМП равен 7 770 м<sup>3</sup>/с, связанный с моментальным пиком 8160 м<sup>3</sup>/с.

**Таблица 13: Выбор ВМП и гидрограф ВМП**
**А. Выбор ВМП**

Подход	ВМП (суточный) (м <sup>3</sup> /с)	ВМП (пик) (м <sup>3</sup> /с)	Пик/5 970	Наблюдения
Ранговая корреляция (3-я максим.)	5 600	5 880	0,98	Диапазон
Максимизация 40 паводков (2-я максим.)	5 830	6 130	1,03	паводков
Частотный подход (1-я максим.)	6 390	6 710	1,12	за 10 000 лет
2-я максим. – верхняя граница	6 790	7 130	1,19	Сохранено
Подход 2006 года (Ламайер)	7 100	7 460	1,25	Сохранено
M	6 950			Из сохраненных значений
S	220			Из сохраненных значений
<b>Предложенный ВМП: M+3,72S</b>	<b>7 770</b>	<b>8 160</b>	<b>1,42</b>	

**В. Гидрограф ВМП**
**Гидрографы 10 000-летнего паводка и Вероятного максимального паводка**


## 5. СМЕНА КЛИМАТА

Консультант пытался разработать свой собственный подход, основанный на анализе тенденций исторических данных, а также имеющуюся литературу по изменению климата в Центральной Азии и Таджикистан. Даже если разукрупнение климатических моделей к местным условиям все еще является предметом много неопределенностей, этот подход сопоставляющее вычитенный тенденции глобальных результатов моделей была полезна для того, чтобы определить возможные сценарии.

Исследование было проведено следующим образом:

- Сначала, были проанализированы наблюдаемые тенденции периода 1930-2010 годов по осадкам, стокам и температурам. Найденное соотношение не являются достаточно убедительными, но была обнаружена тенденция к увеличению количества осадков и стока. Что касается температур на перевале Анзоб и в Тавильдаре, значимые тенденции не были обнаружены. На ГМС им. академика Горбунова (ледник Федченко) было замечено увеличение температуры на  $0,5^{\circ}\text{C}$  за 100 лет, но оно связано со слабым значением  $R^2$  (0,190). Это, однако, в той же порядка, что и существующие модели.
- Поэтому, была рассмотрена литература, приведенная в списке источников, чтобы получить общее представление о текущем прогнозов состоянии изменению климата в Центральной Азии и Таджикистан. Стало очевидно, из обширной записи, что таяние ледников является важной проблемой и записанным фактом на основе тщательного мониторинга ледников в Центральной Азии. Данные по Аральскому морю могут натолкнуть на заключение, что в 2080-2100 годах ледники, которые питают Аральское море, могут исчезнуть. Таджикские данные четко показывают, что ледники уменьшаются.
- Таким образом, было проведено специальное исследование, касающееся исчезновения ледника и попытались оценить ее влияния на режим реки Вахш. После проведения данного специального исследования, касающегося исчезновения ледника, Консультант попытался произвести оценку изменения стока реки Вахш с учетом предполагаемой тенденции к увеличению стока (на том же уровне, что и при тенденции предыдущего периода), связанной с уменьшением питания ледника в связи с увеличением температуры, о чем свидетельствуют климатические модели.

## 5.1 Данные для анализа смены климата

Данные, полученные в ходе изучения смены климата, приведены либо в основном тексте, либо в сопровождающих документах. Эти данные были взяты из предыдущих отчетов, из данных, предоставленных Заказчиком, или из данных, найденных в литературе (см. список источников).

Основные данные для изучения смены климата – это:

- Для анализа тенденций: Годичные и сезонные стоки; годичные температуры; годовое количество атмосферных осадков (1932/2010).
- Для климатических прогнозов: Увеличение/уменьшение температуры, приведенное в климатических моделях. Процентное изменение количества атмосферных осадков, приведенное в нескольких климатических моделях. Прогнозы таяния ледников, приведенные несколькими исследователями для Средней Азии и бассейна Аральского моря (см. список источников).

## 5.2 Анализ тенденций количества осадков, температуры и стоков

### 5.2.1 Анализ тенденций количества осадков

В Таблице 4 ниже приведены результаты анализа тенденций количества осадков. Он состоит из 3 таблиц и 5 графиков. В части А представлены имеющиеся данные пяти дождемеров: Рашт, Алтын-Мазар, Комсомолабад и Тавильдара. В части Б продемонстрированы графики временного ряда осадков. Тенденции были просчитаны с использованием 5-летних скользящих средних значений. Значения  $R^2$  часто были достаточно слабыми, но, несмотря на это, данные наблюдений дают возможность оценить тенденции. В части С представлены результаты, и приведен прогноз среднего количества осадков и годового стока до 2100 г. Если тенденции количества осадков не изменятся, количество дождевых осадков и поверхностного стока могут увеличиться приблизительно на 15% к 2100 году. Такое увеличение, вместе с увеличением температуры, приводит к повышению влажности атмосферного столба. Как будет подробно описано в общий обзор существующих моделей изменения климата, тенденции осадков трудно определить и еще подвергаются в значительной неопределенностью. Следовательно, вариант без изменения по-прежнему является наиболее разумным сценарием, который должен быть рассмотрен для прогнозирования тенденций осадков.

**Таблица 14: Анализ тенденций для данных по атмосферным осадкам**
**А. Данные по годичным осадкам**

Год	Рашт	Алтын-Мазар	Комсомолабад	Анзоб	Тавильдара
1933	700	<b>157</b>			620
1934	807	91			1 035
1935	872	155			<b>1 047</b>
1936	501	128			<b>642</b>
1937	741	185			<b>944</b>
1938	<b>542</b>	106			<b>661</b>
1939	<b>753</b>	119			<b>946</b>
1940	599	120		<b>268</b>	790
1941	736	157		248	910
1942	791	155		349	1 045
1943	717	145		285	1 012
1944	<b>574</b>	117		230	724
1945		195		263	921
1946		154		259	<b>630</b>
1947	<b>473</b>	94		271	<b>654</b>
1948	851	180	<b>1 008</b>	313	<b>1 150</b>
1949	932	247	<b>1 136</b>	318	1 179
1950	512	84	<b>675</b>	270	568
1951	<b>817</b>	233	<b>941</b>	595	1 001
1952	929	139	<b>1 176</b>	528	1 065
1953	1 260	331	<b>1 376</b>	572	1 480
1954	817	213	919	<b>457</b>	978
1955	654	115	<b>865</b>	266	855
1956	703	133	<b>864</b>	216	806
1957	816	177	<b>1 028</b>	511	1 050
1958	1 008	223	<b>1 129</b>	498	1 186
1959	635	<b>109</b>	<b>709</b>	<b>514</b>	839
1960	904	172	869	510	842
1961	588	123	<b>758</b>	384	714
1962	686	131	887	511	<b>1 056</b>
1963	765	144	887	739	781
1964	837	194	758	482	918
1965	735	168	872	382	848
1966	763	212	964	470	1 088
1967	611	119	811	354	809
1968	909	167	1 038	451	943
1969	1 336	240	1 539	590	1 525
1970	708	150	838	491	771
1971	439	88	590	230	580
1972	833	171	973	529	959
1973	729	177	868	443	<b>893</b>
1974	784	167	814	<b>500</b>	825
1975	685	111	751	505	791
1976	690	179	901	518	842

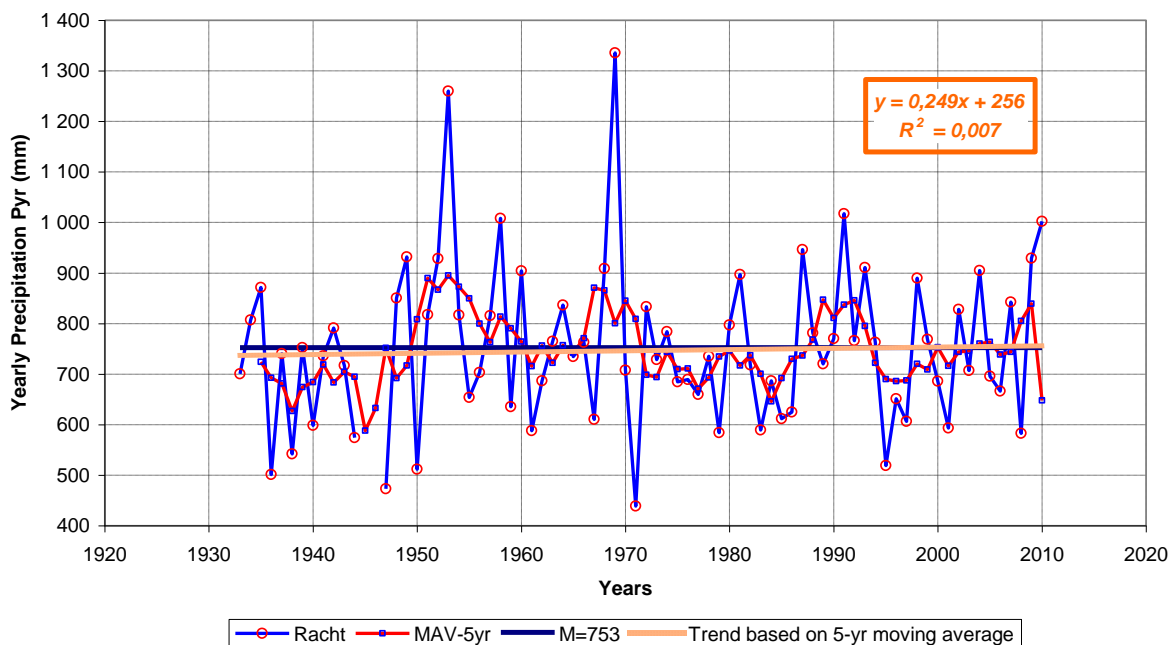


Год	Рашт	Алтын-Мазар	Комсомолабад	Анзоб	Тавильдара
1977	660	174	797	520	914
1978	736	143	891	534	817
1979	584	153	<b>767</b>	456	718
1980	797	159	<b>937</b>	468	<b>1 048</b>
1981	897	187	<b>1 116</b>	527	1 120
1982	718	168	870	542	843
1983	589	122	680	470	<b>765</b>
1984	687	142	999	464	<b>1 102</b>
1985	612	165	805	438	943
1986	625	157	<b>786</b>	411	855
1987	946	261	1 081	548	1 357
1988	781	224	870	466	1 031
1989	720	145	<b>758</b>	478	948
1990	770	138	970	509	922
1991	1 018	257	<b>1 266</b>	728	1 336
1992	<b>766</b>	150		571	1 107
1993	<b>911</b>	269		847	1 358
1994	763	87		591	<b>1 012</b>
1995	519	<b>248</b>		<b>306</b>	656
1996	<b>651</b>			382	<b>807</b>
1997	<b>607</b>			460	<b>834</b>
1998	890			<b>537</b>	<b>1 482</b>
1999	769			462	
2000	<b>686</b>			249	
2001	593			129	
2002	828			237	
2003	707			395	
2004	905			722	
2005	696			474	
2006	667			<b>542</b>	
2007	843			<b>492</b>	
2008	583			272	
2009	929			541	
2010	1 002			<b>349</b>	
N	76	63	44	71	66
M	753	164	921	443	938
S	159	50	185	138	216
Cv	0,211	0,307	0,201	0,312	0,231
Сред.	736	157	879	468	919
Макс.	1 336	331	1 539	847	1 525
Мин.	439	84	590	129	568

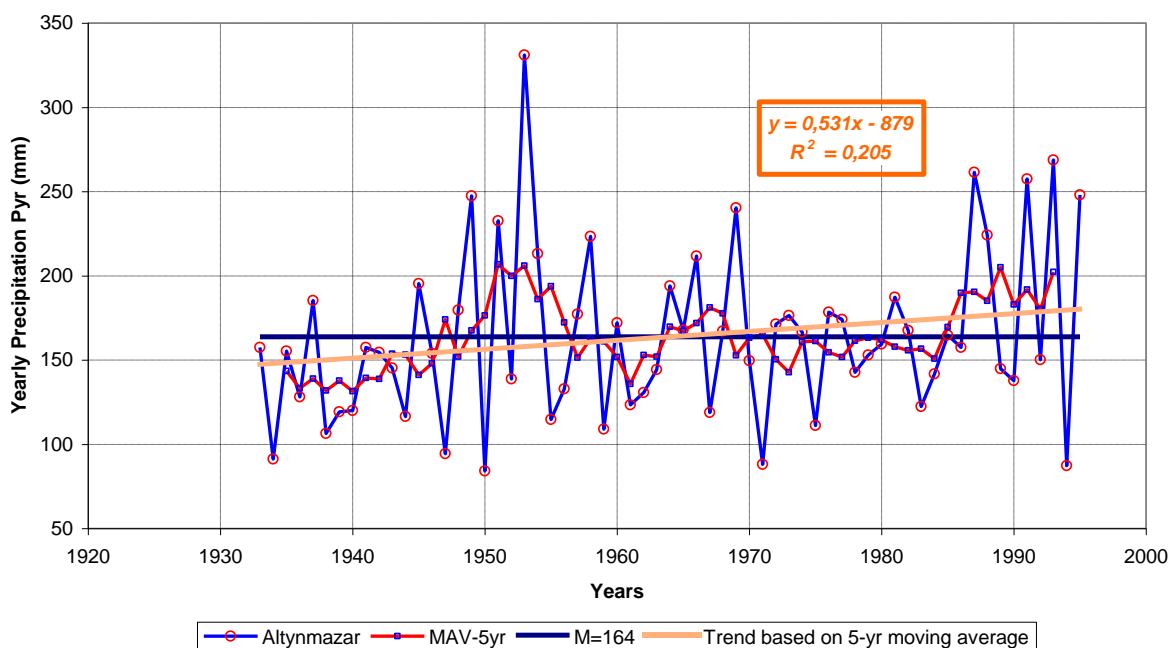
(мм/год)

## В. Графики тенденций атмосферных осадков

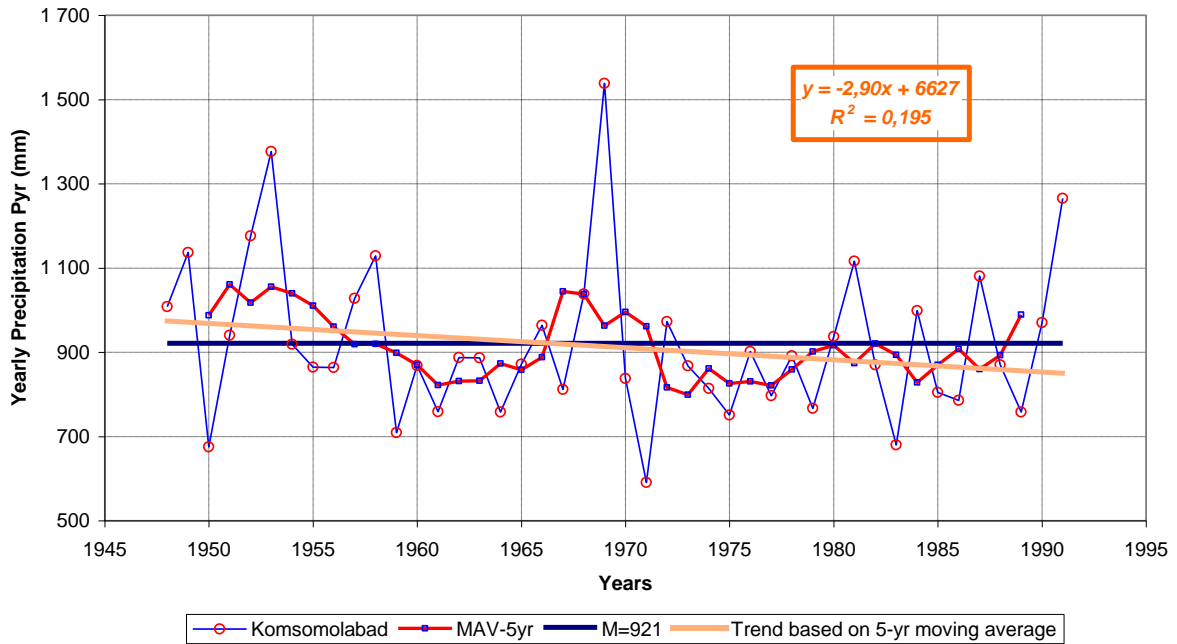
### Рашт - Годичные атмосферные осадки



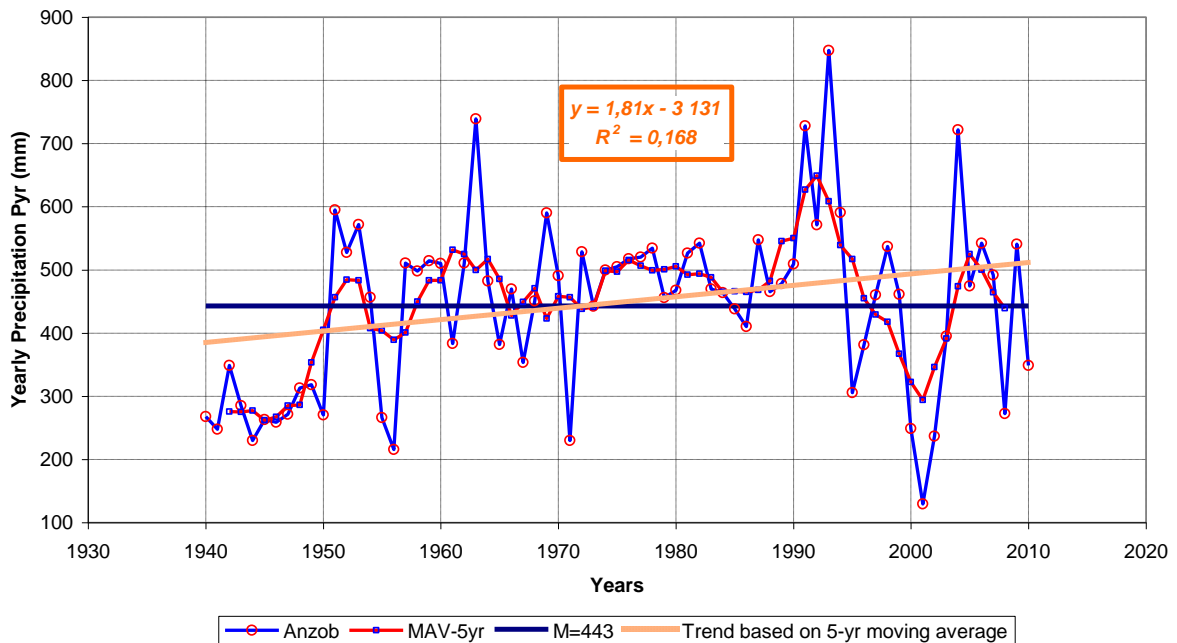
### Алтынмазар - Годичные атмосферные осадки



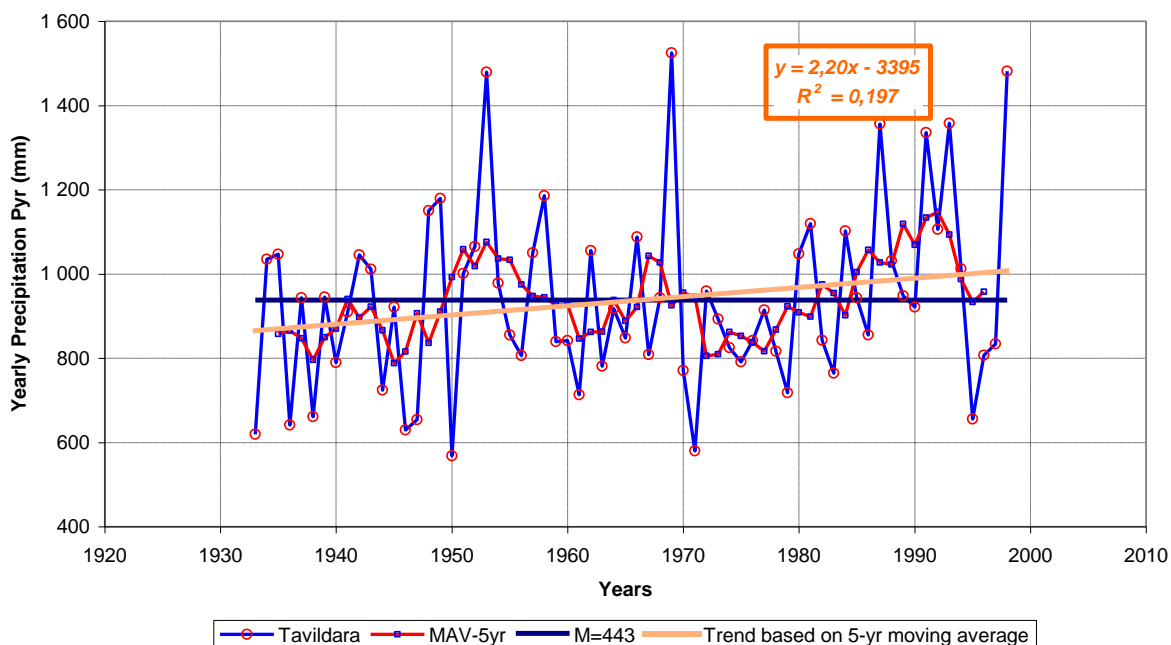
**Камсомолобод - Годичные атмосферные осадки**



**Анзоб - Годичные атмосферные осадки**



### Тавильдара - Годичные атмосферные осадки



### С. Результаты по тенденциям атмосферных осадков

#### Наблюденная тенденция

Станция	Период	n	M(Ргод)	Тенденция (мм/год)	Тенденция (%)	R <sup>2</sup>	Тенденция (%) x R <sup>2</sup>
Алтын-Мазар	1933-1995	63	164	0,53	0,32	0,205	0,066
Анзоб	1940-2010	71	443	1,81	0,41	0,168	0,069
Рашт	1933-2010	76	753	0,25	0,03	0,007	0,000
Комсомолабад	1948-1991	44	921	-2,90	-0,31	0,195	-0,061
Тавильдара	1933-1998	66	938	2,20	0,23	0,197	0,046
Средняя					0,14	%	
Региональная тенденция					0,16	%	

### Прогноз по атмосферным осадкам

Год	Ргод (мм)	%	Изменение, %	Тавильдара, сезонные (мм)	Qгод (м <sup>3</sup> /с)	%	Изменение
2010	1 090	100,0	0,0	866	638	100,0	0,0
2015	1 099	100,8	0,8	873	643	100,8	0,8
2020	1 108	101,6	1,6	880	648	101,6	1,6
2025	1 116	102,4	2,4	887	653	102,4	2,4
2030	1 125	103,2	3,2	894	658	103,2	3,2
2035	1 134	104,1	4,1	901	663	104,0	4,0
2040	1 144	104,9	4,9	908	669	104,8	4,8
2050	1 162	106,6	6,6	923	679	106,5	6,5
2055	1 171	107,5	7,5	930	684	107,3	7,3
2060	1 181	108,3	8,3	938	690	108,1	8,1
2065	1 190	109,2	9,2	945	695	109,0	9,0
2070	1 200	110,1	10,1	953	701	109,8	9,8
2075	1 209	111,0	11,0	961	706	110,7	10,7
2080	1 219	111,8	11,8	968	712	111,6	11,6
2085	1 229	112,7	12,7	976	717	112,4	12,4
2090	1 239	113,6	13,6	984	723	113,3	13,3
2095	1 249	114,6	14,6	992	729	114,2	14,2
2100	1 259	115,5	15,5	1 000	734	115,1	15,1

#### 5.2.2 Анализ тенденций температур

Анализ температурных тенденций был произведен на основе данных по 3 станциям: Федченко (ГМС им. академика Горбунова), перевал Анзоб и Тавильдара. Данные станции находятся в горах. В части А представлены имеющиеся данные по этим трем станциям. В части Б продемонстрированы графики временного ряда осадков. Тенденции были просчитаны с использованием 5-летних скользящих средних значений. Значения  $R^2$  были достаточно слабыми, но, несмотря на это, оценка тенденций для станций Тавильдара и Федченко (ГМС им. академика Горбунова) возможна. Для станции Тавильдара наблюдаемая тенденция составляет примерно **0,8°C за столетие**, а для станции Федченко (ГМС им. академика Горбунова) она составляет **0,5°C за столетие**. Эти тенденции являются намного меньшими, чем тенденции, приведенные в климатических моделях, но в довольно похожем диапазоне величин.

**Таблица 15: Анализ тенденций для температурных данных**

**А. Данные годовых температур**

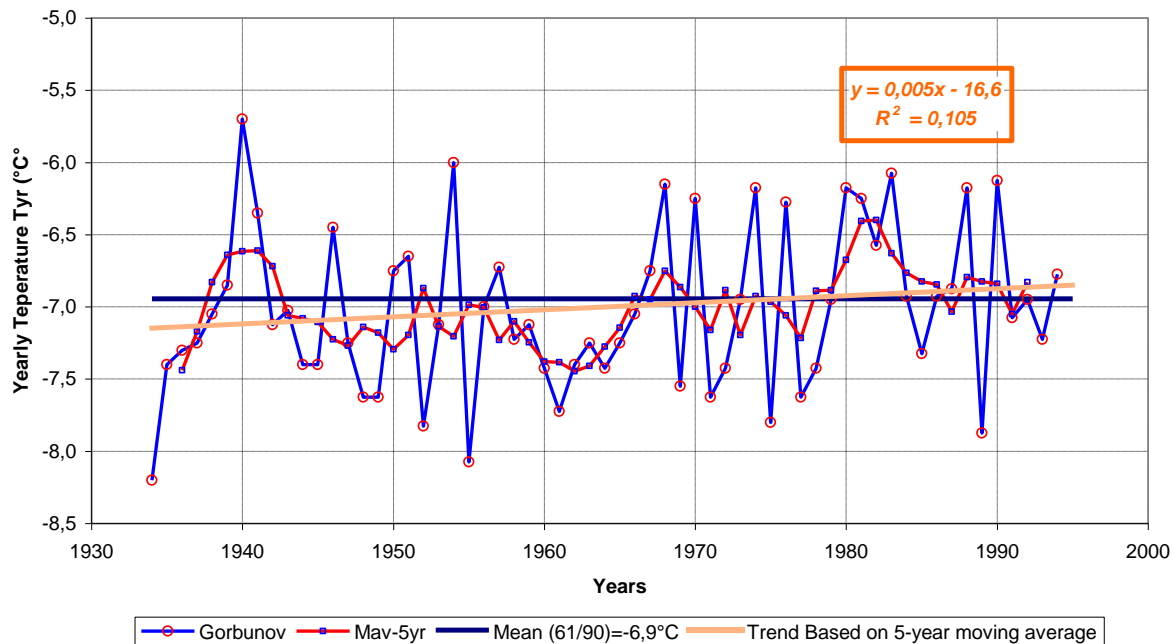
Год	Горбунов	Перевал Анзоб	Тавильдара
1934	-8,2		
1935	-7,4		
1936	-7,3		
1937	-7,3		
1938	-7,1		
1939	-6,9		
1940	-5,7	-0,60	
1941	-6,4	-0,46	
1942	-7,1	-1,47	
1943	-7,0	-2,33	
1944	-7,4	-1,60	
1945	-7,4	-2,26	
1946	-6,5	-1,18	
1947	-7,3	-1,11	
1948	-7,6	-2,11	
1949	-7,6	-2,90	
1950	-6,8	-2,69	
1951	-6,7	-2,31	
1952	-7,8	-1,70	
1953	-7,1	-1,99	
1954	-6,0	-2,63	
1955	-8,1	-1,62	
1956	-7,0	-0,93	
1957	-6,7	-3,04	
1958	-7,2	-1,72	
1959	-7,1	-1,36	
1960	-7,4	-1,99	
1961	-7,7	-1,71	9,1
1962	-7,4	-2,27	8,6
1963	-7,3	-1,02	9,6
1964	-7,4	-2,83	7,6
1965	-7,3	-1,87	8,8
1966	-7,1	-1,57	9,5
1967	-6,8	-2,30	8,6
1968	-6,2	-2,23	8,6
1969	-7,6	-2,61	8,0
1970	-6,3	-1,35	9,7
1971	-7,6	-0,76	10,0
1972	-7,4	-2,99	7,7
1973	-7,0	-1,10	9,6
1974	-6,2	-2,69	8,2
1975	-7,8	-2,10	8,2
1976	-6,3	-2,36	8,9
1977	-7,6	-0,97	10,5

Год	Горбунов	Перевал Анзоб	Тавильдара
1978	-7,4	-1,43	9,2
1979	-7,0	-1,00	9,8
1980	-6,2	-1,01	9,9
1981	-6,3		9,0
1982	-6,6		8,1
1983	-6,1		9,0
1984	-6,9		8,5
1985	-7,3		9,1
1986	-6,9		8,7
1987	-6,9		8,9
1988	-6,2		9,6
1989	-7,9		7,9
1990	-6,1		9,7
1991	-7,1		
1992	-7,0		
1993	-7,2		
1994	-6,8		
1995			
N	61	41	30
M	-7,0	-1,8	9,0
S	0,6	0,7	0,7
Cv	-0,080	-0,390	0,083
Сред.	-7,1	-1,7	9,0
Макс.	-5,7	-0,5	10,5
Мин.	-8,2	-3,0	7,6

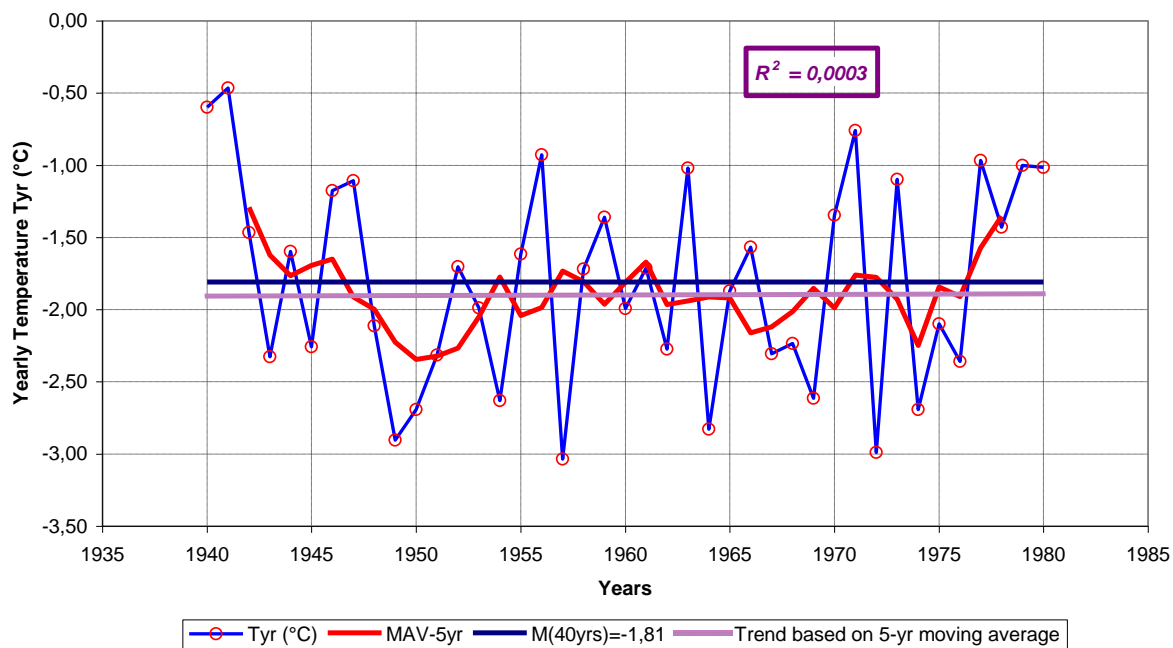
(°C)

## Б. Графики тенденций температур

### Ледник Горбунова (Федченко) - Годичная температура

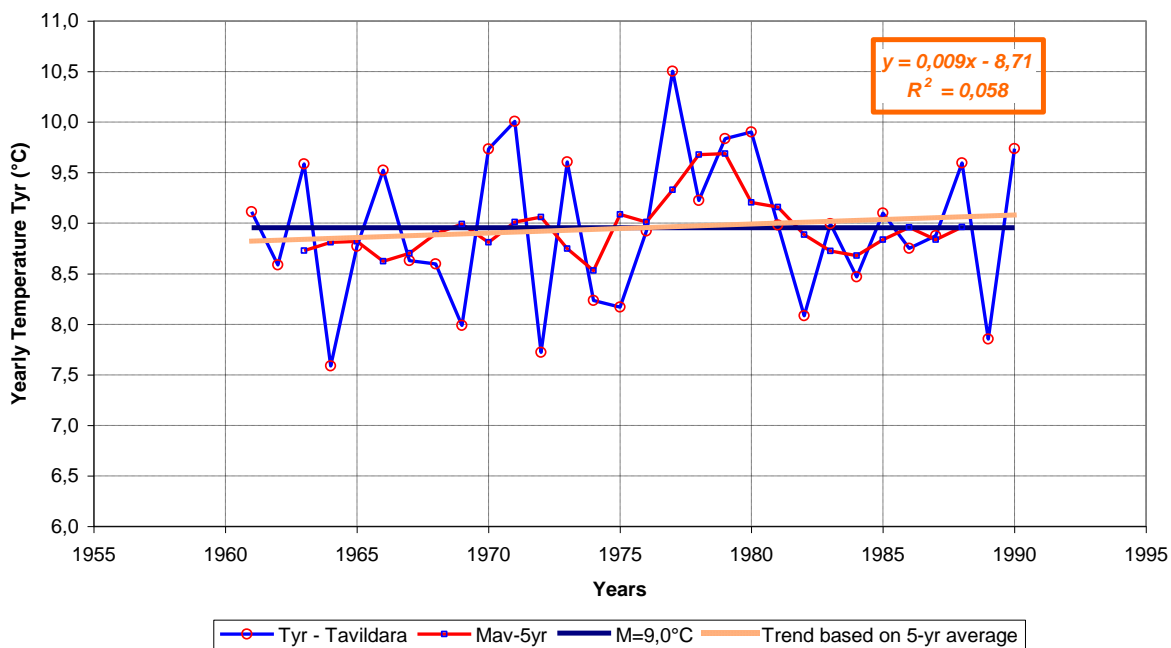


### Перевал Анзоб - Годичная температура





### Тавильдара - Годичная температура



### 5.2.3 Анализ тенденций стоков

В следующем Таблице 16 представлен наш анализ тенденций. Коэффициенты в корреляции  $R^2$  достаточно слабы. Наилучшее значение  $R^2$  было получено для стоков холодного сезона (базисный поток). Было замечено увеличение стока на **0,26-0,30 м³/с/год**. В таблице представлен прогноз до 2100 года в соответствии с этими тенденциями.

**Таблица 16: Анализ тенденций стоков**

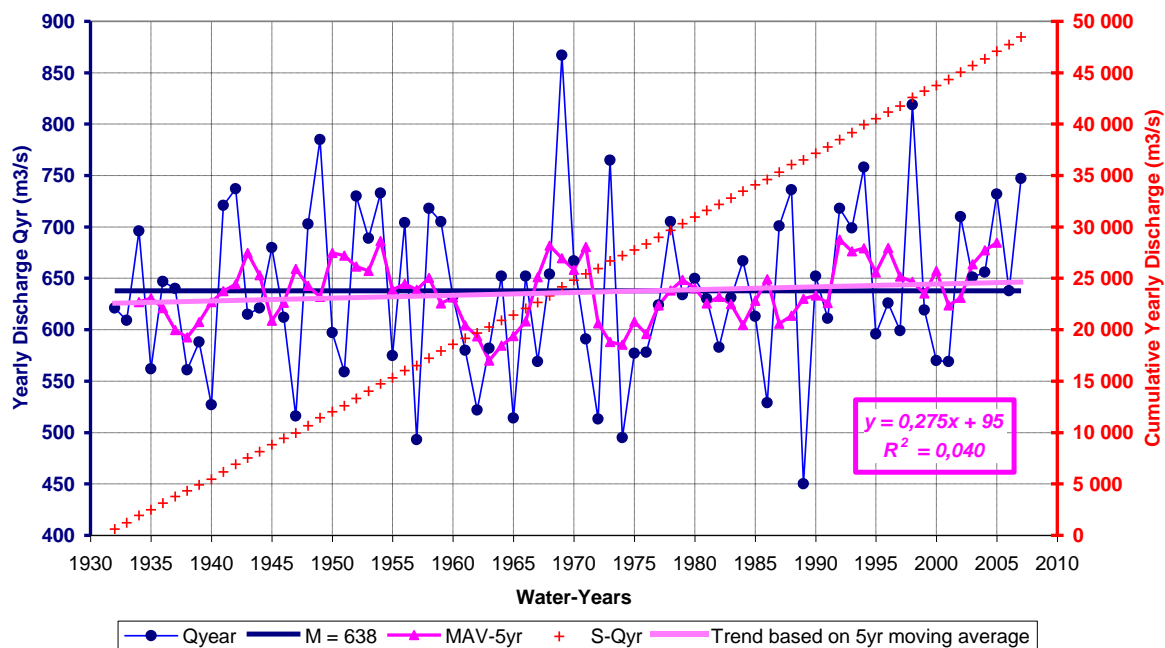
А. Данные по наблюдаемым стокам

Год	Годичный	IV-IX	X-III
1932 - 1933	621	1 052	187
1933 - 1934	609	1 008	208
1934 - 1935	696	1 163	227
1935 - 1936	562	919	204
1936 - 1937	647	1 101	190
1937 - 1938	640	1 057	222
1938 - 1939	561	919	200
1939 - 1940	588	973	200
1940 - 1941	527	845	208
1941 - 1942	721	1 171	268
1942 - 1943	737	1 188	282
1943 - 1944	615	977	252
1944 - 1945	621	1 018	223
1945 - 1946	680	1 117	240
1946 - 1947	612	986	235
1947 - 1948	516	850	182
1948 - 1949	703	1 153	251
1949 - 1950	785	1 268	299
1950 - 1951	597	979	214
1951 - 1952	559	880	239
1952 - 1953	730	1 207	250
1953 - 1954	689	1 101	274
1954 - 1955	733	1 200	264
1955 - 1956	575	923	226
1956 - 1957	704	1 184	222
1957 - 1958	493	765	220
1958 - 1959	718	1 197	237
1959 - 1960	705	1 158	252
1960 - 1961	632	1 039	223
1961 - 1962	580	945	213
1962 - 1963	522	839	204
1963 - 1964	582	956	209
1964 - 1965	652	1 083	220
1965 - 1966	514	816	211
1966 - 1967	652	1 101	202
1967 - 1968	569	917	220
1968 - 1969	654	1 052	254
1969 - 1970	867	1 438	293
1970 - 1971	667	1 092	239
1971 - 1972	591	973	209
1972 - 1973	513	814	210
1973 - 1974	765	1 290	237
1974 - 1975	495	798	191
1975 - 1976	577	939	215
1976 - 1977	578	933	221

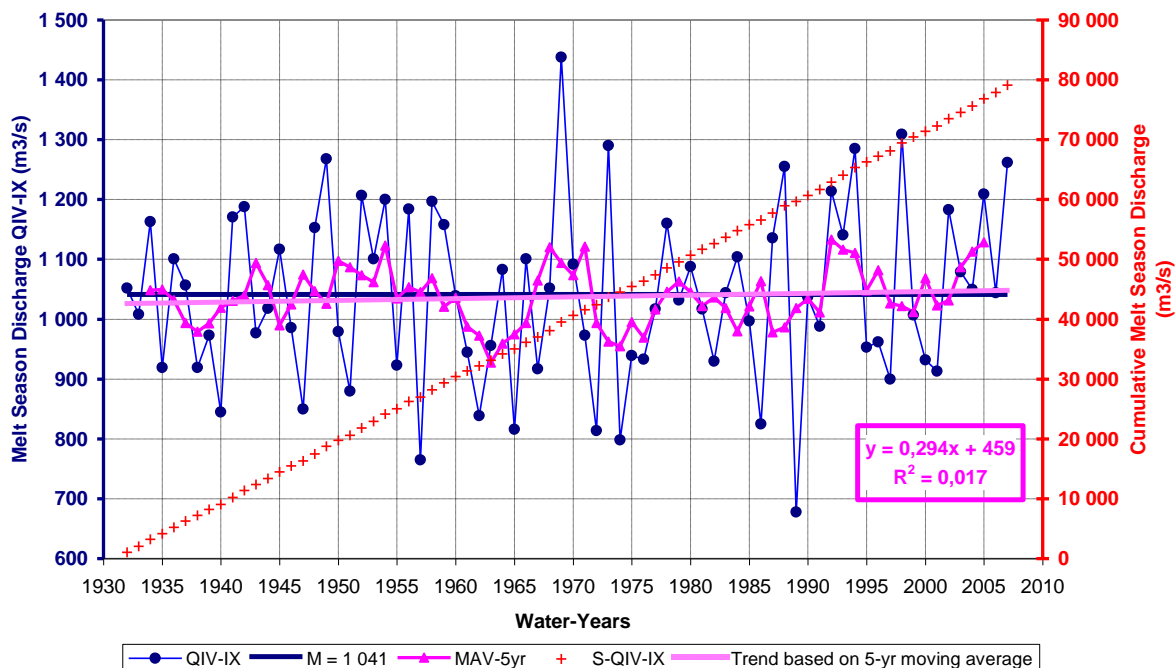
Год	Годичный	IV-IX	X-III
1977 - 1978	624	1 017	228
1978 - 1979	705	1 160	248
1979 - 1980	634	1 032	236
1980 - 1981	650	1 088	209
1981 - 1982	630	1 017	241
1982 - 1983	583	930	233
1983 - 1984	631	1 044	219
1984 - 1985	667	1 104	227
1985 - 1986	613	997	226
1986 - 1987	529	825	232
1987 - 1988	701	1 136	266
1988 - 1989	736	1 255	215
1989 - 1990	450	678	220
1990 - 1991	652	1 037	265
1991 - 1992	611	988	234
1992 - 1993	718	1 214	219
1993 - 1994	699	1 141	254
1994 - 1995	758	1 285	228
1995 - 1996	596	953	239
1996 - 1997	626	962	288
1997 - 1998	599	900	295
1998 - 1999	819	1 309	326
1999 - 2000	619	1 007	230
2000 - 2001	570	932	207
2001 - 2002	569	913	223
2002 - 2003	710	1 183	235
2003 - 2004	651	1 079	223
2004 - 2005	656	1 050	261
2005 - 2006	732	1 209	252
2006 - 2007	638	1 044	230
2007 - 2008	747	1 262	233
n	76	76	76
M	638	1 041	233
S	80	145	28
Cv	0,126	0,139	0,118
Сред.	632	1 038	228
Макс.	867	1 438	326
Мин.	450	678	182

**Б. Временной ряд стоков**

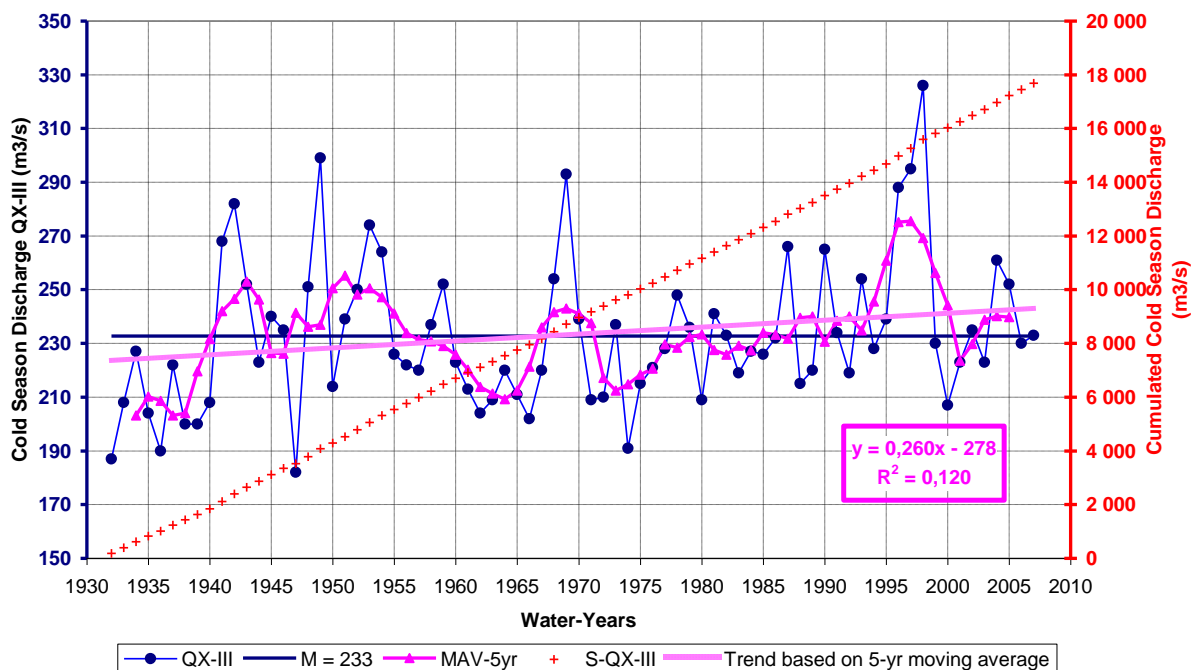
**Река Вахш на участке Рогунской плотины - Годовые стоки - с 1932-33 до 2007-08 гг.**



**Река Вахш на участке Рогунской плотины - Стоки сезона таяния - с 1932-33 до 2007-08 гг.**



**Река Вахш на участке Рогунской плотины - Сток холодного сезона - с 1932-33 до 2007-08 гг.**



**С. Результаты по тенденциям стоков**

Наблюденная тенденция

Период	Средний (м3/с)	Тенденция (м <sup>3</sup> /с/год)	Тенденция (%)
Год	638	0,275	0,043
Сезон таяния	1 041	0,294	0,028
Холодный сезон	233	0,260	0,112

Прогноз стоков

Год	Средний (м3/с)	Сезон таяния (м3/с)	Холодный сезон (м3/с)	Средний (%)	Сезон таяния (%)	Холодный сезон (%)
2010	638	1 041	233	100,0	100,0	100,0
2015	639	1 042	234	100,2	100,1	100,6
2020	641	1 044	236	100,4	100,3	101,1
2025	642	1 045	237	100,6	100,4	101,7
2030	644	1 047	238	100,9	100,6	102,2
2035	645	1 048	240	101,1	100,7	102,8
2040	646	1 050	241	101,3	100,8	103,3
2045	648	1 051	242	101,5	101,0	103,9
2050	649	1 053	243	101,7	101,1	104,5
2055	650	1 054	245	101,9	101,3	105,0
2060	652	1 056	246	102,2	101,4	105,6
2065	653	1 057	247	102,4	101,6	106,1
2070	654	1 059	249	102,6	101,7	106,7
2075	656	1 060	250	102,8	101,8	107,3

Год	Средний	Сезон таяния	Холодный сезон	Средний	Сезон таяния	Холодный сезон
2080	657	1 062	251	103,0	102,0	107,8
2085	659	1 063	252	103,2	102,1	108,4
2090	660	1 065	254	103,4	102,3	108,9
2095	661	1 066	255	103,7	102,4	109,5
2100	663	1 067	256	103,9	102,5	110,0

#### **5.2.4 Существующие модели в Средней Азии – прогнозы температуры и атмосферных осадков**

В данном разделе представлены прогнозы температуры и атмосферных осадков, которые содержатся в отчете Рене Роя о Таджикистане и Республике Киргизия. В следующей таблице приведены значения, которые представляют интерес для Рогунского проекта.

Из отчета Рене Роя были взяты данные по распределению изменений климата, представленные несколькими моделями для 2020, 2050 и 2080 годов и были экстраполированы до 2100 года.

- Для температур эти модели являются достаточно последовательными, так как все они подразумевают повышение температуры.
- Для атмосферных осадков по данным Роя и нескольких других авторов разброс результатов имеет такой же порядок величины, как изменение процентного соотношения. Поэтому в некоторых моделях прогнозируется уменьшение количества атмосферных осадков, а в других – его увеличение.

В части А представлено ожидаемое увеличение температуры, определенное в климатических моделях. Там также указано повышение, являющееся результатом тенденции за истекший период. Тенденция за истекший период соответствует увеличению, которое составляет приблизительно одну треть минимального увеличения, приведенного в климатических моделях.

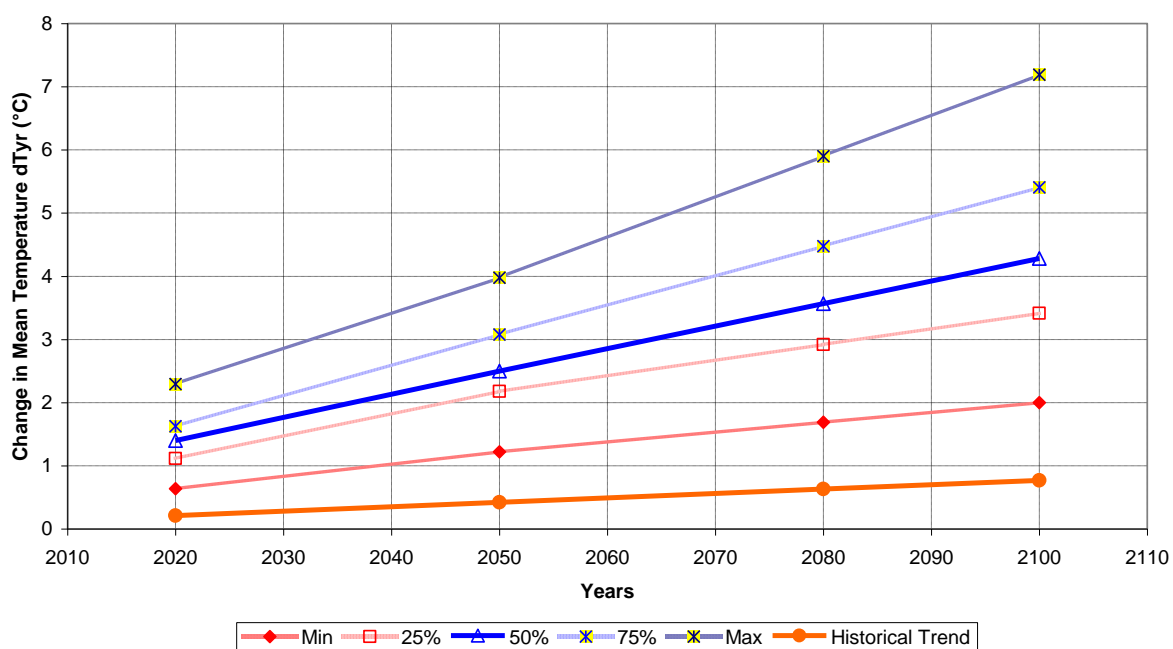
В части Б рассмотрены изменения атмосферных осадков. Очевиден большой разброс, приведенный в климатических моделях. Вариант «без изменений» приблизительно соответствует средним результатам. Тенденция за истекший период, установленная на основе показаний пяти дождемеров, приведет к увеличению на 16% в 2100 году. Тенденция за истекший период находится в пределах приведенных климатических моделей.

Таблица 17: Смена климата в Средней Азии – Температура и атмосферные осадки

А. Изменения температуры (°C)

Год	Мин.	25%	50%	75%	Макс.	Тенденция за истекший период
2020	0,6	1,1	1,4	1,6	2,3	0,2
2050	1,2	2,2	2,5	3,1	4,0	0,4
2080	1,7	2,9	3,6	4,5	5,9	0,6
2100	2,0	3,4	4,3	5,4	7,2	0,8

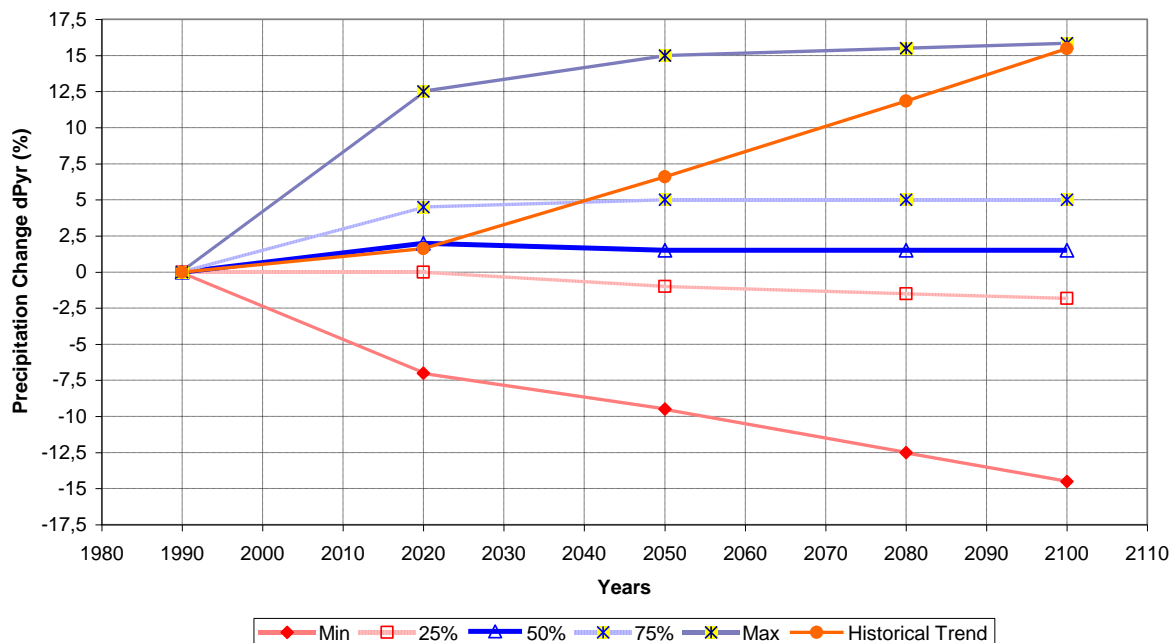
Средняя Азия - изменения температуры при учете условий 1980-1999 гг.



Б. Изменения атмосферных осадков (%)

Год	Мин.	25%	50%	75%	Макс.	Тенденция за истекший период
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2020	-7,0	0,0	2,0	4,5	12,5	1,6
2050	-9,5	-1,0	1,5	5,0	15,0	6,6
2080	-12,5	-1,5	1,5	5,0	15,5	11,8
2100	-14,5	-1,8	1,5	5,0	15,8	15,5

### **Средняя Азия - изменение количества атмосферных осадков с 1990 по 2100 гг.**



## **5.3 Снегонакопление и таяние ледников**

### **5.3.1. Анализ региональной информации**

Хомидов (2006 год) и Махмадалиев, Новиков и др. (2002, 2003 и 2008 гг.) продемонстрировали, что ледники в Таджикистане исчезают. Анализ текущего климата показывает, что температура может уменьшаться, увеличиваться или оставаться стабильной в зависимости от местоположения. Рой (2009г.) и Зигфрид (2010г.) проанализировали данные и результаты модели изменения климата для Средней Азии. Таджикские эксперты прогнозируют исчезновение малых ледников и уменьшение ледников, которые находятся на низких высотах над уровнем моря, на приблизительно 50%. На больших высотах над уровнем моря, по их данным, возможно уменьшение в диапазоне от 20 до 50% или менее 20%.

Следующая таблица иллюстрирует данные, полученные таджикскими экспертами, Роем и Зигфридом, а также экстраполяции до 2100 года. В части А представлена широкая картина условий в Таджикистане и Республике Киргизия по данным Роя. Рой говорит об исчезновении ледников. Возможно, это утверждение подходит для ледников, которые находятся на низкой и средней высоте над уровнем моря. Но ледники на больших высотах все еще будут существовать. Аналогичным образом уменьшение течения реки



Аму-Дарья на 30% является спорным вопросом. Данные значения могут быть неприменимы в случае реки Вахш. Рой также говорит об уменьшении поверхностного стока на 100 мм для Таджикистана. При переносе на Вахш это бы означало уменьшение на 96 м<sup>3</sup>/с в сравнении с текущим средним значением – 638 м<sup>3</sup>/с (уменьшение на 15%).

В части Б приведены данные о сокращении ледникового запаса в бассейне Аральского моря, что по предположениям линейной корреляции может привести к полному исчезновению до 2100 года. Консультант считает, что данная гипотеза не является реалистичной. Согласно данным показательной экстраполяции, в 2100 году ледниковый запас будет составлять 22% от значений 1957 года.

В части С представлены данные о ледниках Тянь-Шаня, ледниковые запасы которых изучались Зигфридом и другими по двум климатическим сценариям. В нижнем сценарии результатом является ледниковый запас, равный 87% от ледникового запаса 1990 года, а в верхнем – ледниковый запас, равный 44% от ледникового запаса 1990 года.

В заключение в части Д сравниваются ледниковые запасы Аральского моря и Тянь-Шаня. Из этого сравнения Консультант вывел среднюю тенденцию, которая может представлять реалистичное предположение касательно таджикских ледников. Согласно этой средней тенденции, в 2100 году здесь останется 36% ледниковых запасов.

**Таблица 18: Региональная информация про смену климата и таяние**
**А. Эволюция климата в Таджикистане и Республике Киргизия**

Временной шаг	Недавнее прошлое (1950-2000)	2050		2080
		Температура		
Годичная	Увеличение от 0,6 до 1,2°C	Увеличение на примерно 2,5°C		Увеличение на примерно 3,6°C
Сезонная	Так же, как годичная	Летом, увеличение на примерно 2,8°C		Летом, увеличение на примерно 3,9°C
Месячная		Август, +2,9°C		Август, +4,2°C
		<b>Атмосферные осадки</b>		
Годичные	Тенденция отсутствует	Небольшое увеличение (3%), но с разбросом		Небольшое увеличение (3%), но с разбросом
Сезонные	Увеличение осадков весной	-10% летом и +10% зимой		-12% летом и +12% зимой
Месячные	Наибольшее увеличение в марте	-15% в августе и +15% в декабре		-22% в августе и +23% в декабре
		<b>Таяние ледников</b>		
	Отступление ледников в бассейне Аральского моря: Приблизительно -35% от объема 1957 года.	Ожидаемое отступление ледников: Между -0,2% и -1%/год.		Ожидаемое отступление ледников: >-1% До исчезновения.
		<b>Сток рек</b>		<b>Поверхностный сток</b>
Годичный	Увеличение годового поверхностного стока (таяние ледника)	Уменьшение в Таджикистане: -5%. Увеличение в Республике Киргизия: +4%. Важные региональные различия		Поверхностный сток может уменьшиться до 25 мм (Кирг.) и 100 мм (Тадж.) Уменьшение течения Аму-Дарьи на 30%.
Сезонный	Ранний (1 неделя) и уменьшенный летний пик паводка и увеличение потока зимой.	Изменения в форме гидрографа: увеличение поверхностного стока весной и летом (таяние ледника)		Изменения в форме гидрографа: увеличение поверхностного стока весной уменьшение поверхностного стока летом
Месячный	Хорошее соответствие между потребностью в ирригации и природной картиной течения.	Максимальная позитивная разница в: мае, июне, июле		Максимальная отрицательная разница в: июле, августе

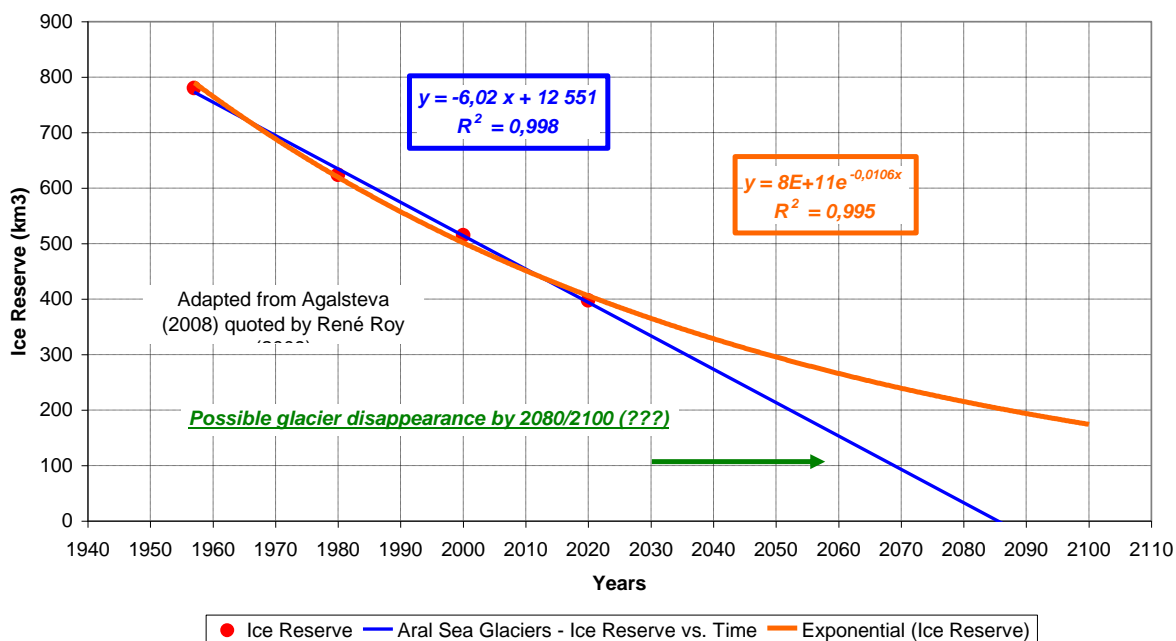
Адаптированные данные Рене Роя (2009 г.).

**Б. Эволюция ледниковых запасов – бассейн Аральского моря**

Год	Ледниковый запас (км <sup>3</sup> )		Ледниковый запас (%)	
	1957/2020	Линейный	1957/2020	Линейный
1957	780		100	
1980	624		80	
2000	515		66	
2020	398		51	
2040		274	325	35
2060		153	263	20
2080		33	213	4
2085		3	202	0,36
2090			191	25
2095			181	23
2100			172	22

Адаптированные данные Рене Роя (2009 г.) и Агалстевой (2008 г.).

### Бассейн Аральского моря - Эволюция ледниковых запасов

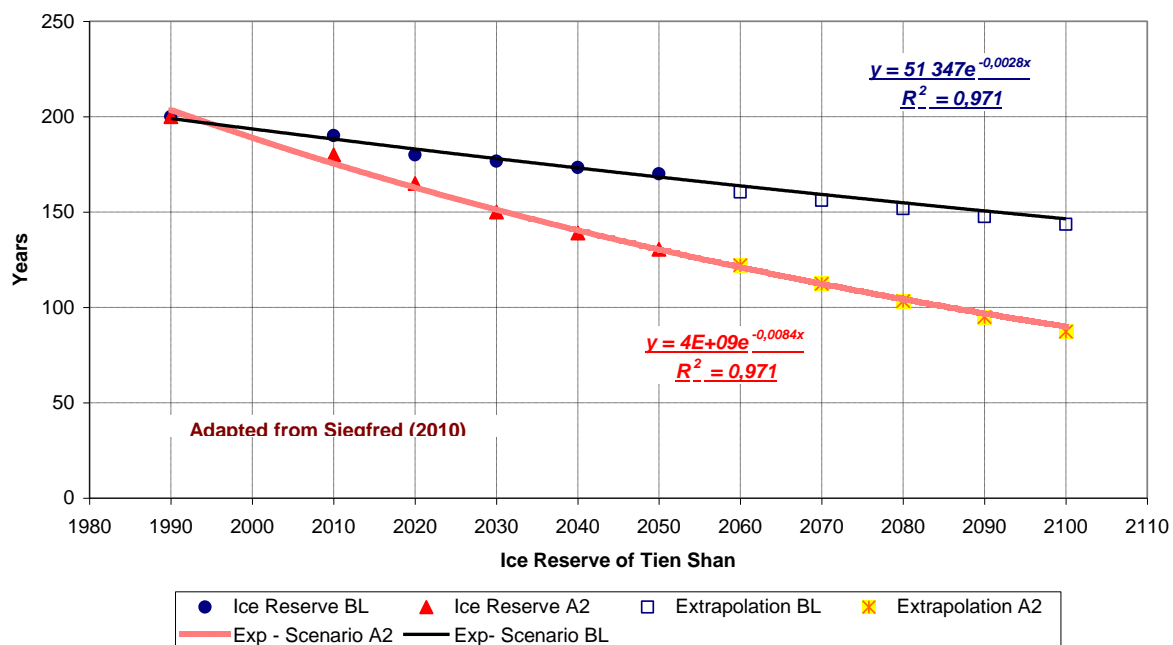


### С. Эволюция ледникового запаса – Тянь-Шань

Сценарий BL			Сценарий A2			
Год	Ледниковый запас BL	Экстраполяция BL	Год	Ледниковый запас BL	Экстраполяция BL	Год
1990	200		100	200		100
2010	190		95	180		90
2020	180		90	165		83
2030	177		88	150		75
2040	173		87	139		70
2050	170		85	131		65
2060		161	80		122	61
2070		156	78		112	56
2080		152	76		103	52
2090		148	74		95	47
2100		144	72		87	44

Адаптированные данные Зигфрида (2010 г.) – единицы измерения (км³)

### Эволюция ледниковых запасов Тянь-Шаня



### D. Синтез данных по ледниковым запасам

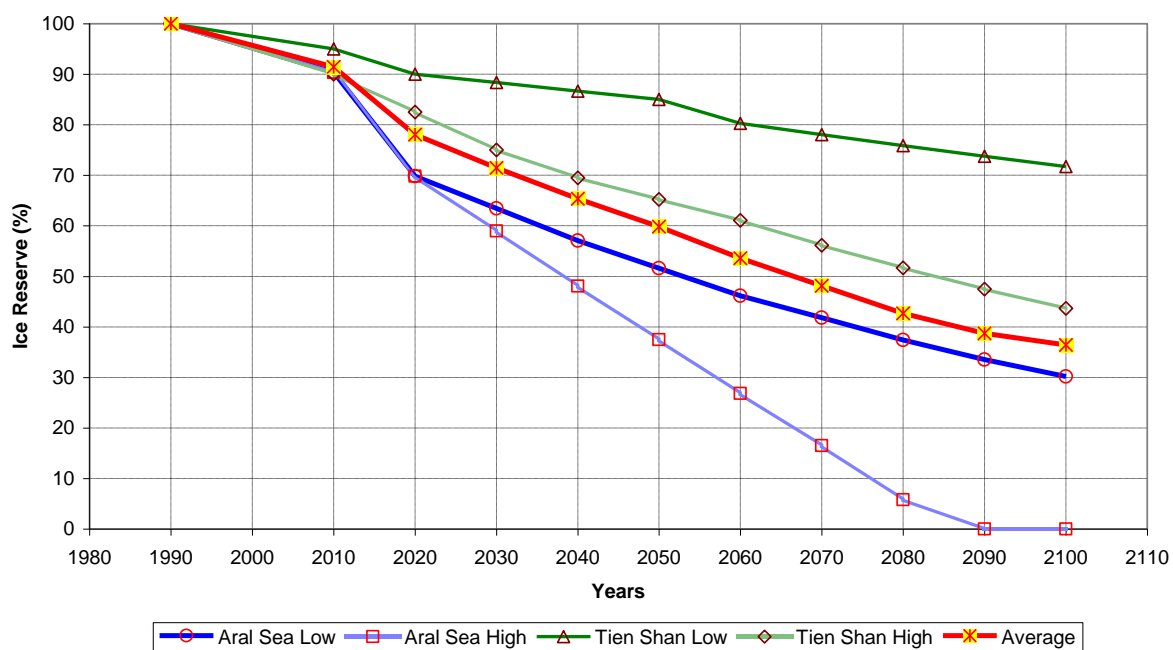
Год	Аральское море, низкие	Аральское море, высокие	Тянь-Шань, низкие	Тянь-Шань, высокие
1990	570	570	200	200
2010	515	515	190	180
2020	398	398	180	165
2030	362	336	177	150
2040	325	274	173	139
2050	294	214	170	131
2060	263	153	161	122
2070	238	94	156	112
2080	213	33	152	103
2090	191	0	148	95
2100	172	0	144	87

(км<sup>3</sup>)

Год	Аральское море, низкие	Аральское море, высокие	Тянь-Шань, низкие	Тянь-Шань, высокие	Год
1990	100	100	100	100	100
2010	90	90	95	90	91
2020	70	70	90	83	78
2030	63	59	88	75	71
2040	57	48	87	70	65
2050	52	37	85	65	60
2060	46	27	80	61	54
2070	42	16	78	56	48
2080	37	6	76	52	43
2090	34	0	74	47	39
2100	30	0	72	44	36

(%)

### Средняя Азия - Эволюция ледниковых запасов



### 5.3.2. Анализ в Таджикистане и на реке Вахш

В следующей таблице 19 собран ряд интересных данных о Таджикистане и бассейне реки Вахш. Эти данные были выбраны и/или адаптированы из нескольких источников, указанных выше: Хомидов, «Гидропроект», Ламайер и «Гидропроект», Махмадалиев и Новиков, Рой.

В части А приведены данные про ледники. Можно увидеть, что ледники Вахша имеют площадь около 3 900 км<sup>2</sup> (см. часть Б), что составляет около 50% всей площади таджикских ледников. Время истощения запасов льда очень разнообразно. Для

Таджикистана это значение низкое (38 лет). Оно свидетельствует о том, что исчезают ледники, находящиеся низко над уровнем моря. Ежегодная потеря для ледников Федченко и Гармо составляет около  $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ . Тенденция к увеличению стока реки Вахш составляет  $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , что не противоречит первому факту, так как потеря ледников способствует увеличению талой воды (речного стока), испарению и увеличению потока грунтовых вод.

В части Б представлены зоны ледника в бассейне реки Вахш. Ледники Абрамов, Гармо и Федченко являются наиболее значимыми ледниками в бассейне реки Вахш. Следует принять во внимание, что площадь ледников составляет 13% бассейна реки Вахш и 26% стока реки Вахш.

В части С описаны основные характеристики бассейна реки Вахш в разрезе уровня над морем, температуры и атмосферных осадков. Средняя температура бассейна составляет  $-0,2^\circ\text{C}$ , а среднее количество атмосферных осадков –  $1\,090 \text{ мм/год}$ .

В части D приведены данные эволюции линии  $0^\circ\text{C}$  и площади снега/льда в соответствии с 50%-й эволюцией температуры, приведенной Роем для Средней Азии. Также в этой части приведены данные о площади ледников и тенденциях стока. Линия  $0^\circ\text{C}$  будет постепенно расти: с  $3\,170 \text{ м}$  в 1990 году до  $3\,900 \text{ м}$  в 2100 году. Таким образом, снежный и ледниковый покров уменьшатся с  $15\,200$  до  $7\,500 \text{ км}^2$ . При равноценном распределении площадь ледника уменьшится с  $3\,880 \text{ км}^2$  до  $1\,900 \text{ км}^2$ , что равно 49% от изначальной площади ледника. При использовании тенденции стока за истекший период сток увеличится с  $638 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $663 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Таблица 19: Общая обстановка в Таджикистане и на реке Вахш**
**А. Общая информация о таджикских ледниках**

Наименование	Единица	Значение
<b>Таджикские ледники</b>		
Площадь	км <sup>2</sup>	8 000 ± 400
Запас	куб.км.	500
Талые воды	куб.км. (м <sup>3</sup> /с)	13 412
Талые воды/запас	%	2,60
Талые воды/площадь	м	1,63
Толщина льда	м	62,5
Время истощения запасов	лет	38
<b>Ледник Федченко</b>		
Потери ледника Федченко (100 лет)	10 <sup>6</sup> м3	2 000
Потери ледника Федченко (годовые)	10 <sup>6</sup> м3 (м <sup>3</sup> /с)	20 0,634
L (Федченко-Муксу)	км	171
<b>Ледник Гармо</b>		
Потери ледника Гармо (69-86 гг.)		
L(Гармо)	км	73
Запас	10 <sup>6</sup> м3	1 235
Годовые потери	10 <sup>6</sup> м3 (м <sup>3</sup> /с)	5,81 0,184
Талые воды/запас	%	0,47
Время истощения запасов	лет	213
Потери ледников Федченко + Гармо	(м <sup>3</sup> /с)	0,818
<b>Ледники реки Вахш</b>		
Ледниковое питание	куб.км. (м <sup>3</sup> /с) %	5 159 26
Питание за счет снега и подземных вод	куб.км. (м <sup>3</sup> /с) %	14 444 74
Всего	куб.км. (м <sup>3</sup> /с) %	19 602 100

**Б. Ледники реки Вахш**

Бассейн	Площадь ледника (км <sup>2</sup> )	% (Всего)	% (Рогун)
Западная Кызылсу	649	16,7	2,1
Муксу	2 120	54,6	7,0
Сурхоб (Вахш) вниз по течению от Кызылсу и Муксу	401	10,3	1,3
Обихингоу	712	18,3	2,3
<b>Вахш (Всего)</b>	<b>3 882</b>	<b>100,0</b>	<b>12,8</b>

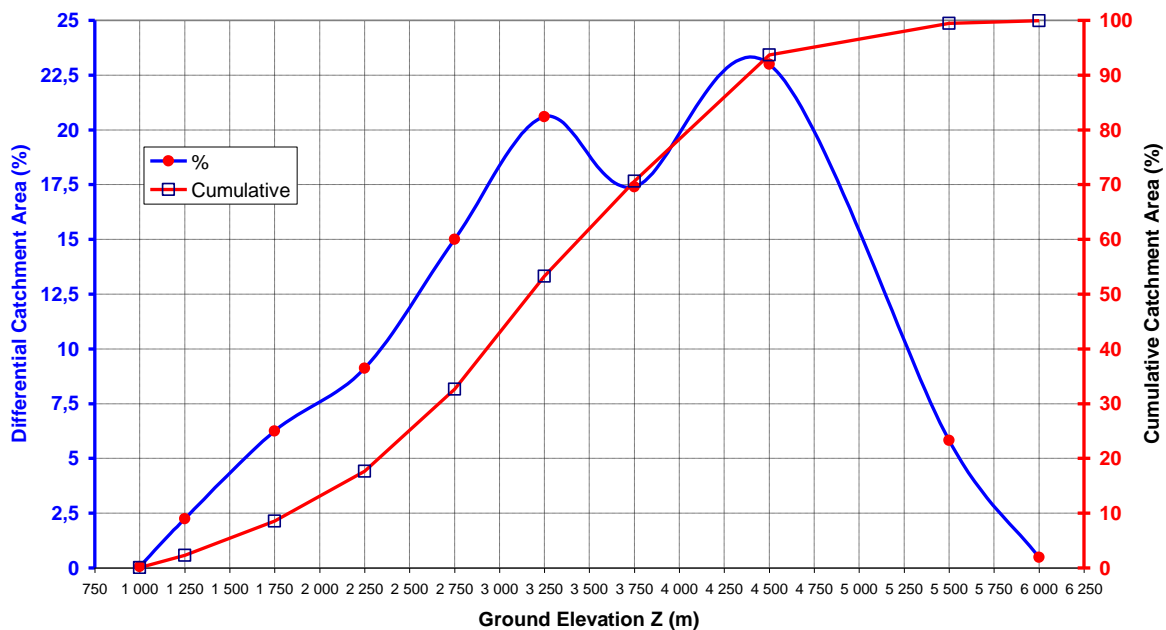
### С. Описание бассейна реки Вахш

<b>Гипсометрическая кривая</b>					
	<b>Z (м)</b>	<b>%</b>	<b>Суммарно</b>		
	1 000	0,06	0,1		
	1 250	2,24	2,3		
	1 750	6,25	8,6		
	2 250	9,11	17,7		
	2 750	15,00	32,7		
	3 250	20,60	53,3		
	3 750	17,40	70,7		
	4 500	23,00	93,7		
	5 500	5,82	99,5		
	6 000	0,48	100,0		
<b>Годовая температура и осадки</b>					
<b>%</b>	<b>Z</b>	<b>T(°C)</b>	<b>Тмес. (°C)</b>	<b>Ргод (мм)</b>	<b>Рмес. (мм)</b>
0	1 000	12,8		775	
10	1 900	7,5	10,1	903	839
20	2 300	5,1	6,3	960	931
30	2 700	2,8	4,0	1 016	988
40	2 900	1,6	2,2	1 045	1 031
50	3 150	0,1	0,9	1 080	1 063
60	3 400	-1,4	-0,6	1 116	1 098
70	3 750	-3,4	-2,4	1 166	1 141
80	4 100	-5,5	-4,5	1 215	1 190
90	4 300	-6,7	-6,1	1 244	1 229
100	6 000	-16,7	-11,7	1 485	1 364
Средний показатель			-0,2		1 087
				округленный до	1 090

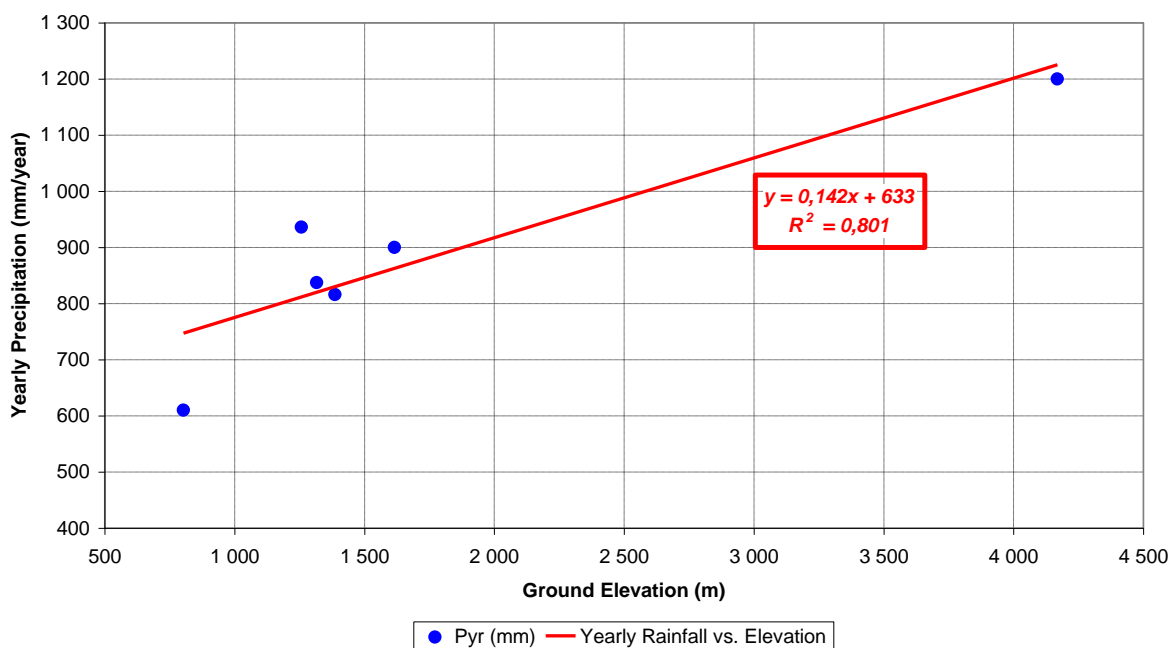
<b>Станция</b>	<b>Z</b>	<b>Ргод (мм)</b>	<b>Градиент (мм/100 м)</b>	<b>Источник</b>
Душанбе	803	610		Махмадалиев, 2002 год
Комсомолабад	1 258	936	71,6	ЛГ, 2006 год
Гарм	1 316	837	-170,7	ЛГ, 2006 год
Обигарм	1 387	816	-29,6	ЛГ, 2006 год
Тавильдара	1 616	900	36,7	Махмадалиев, 2002 год
Ледник Федченко	4 169	1 200	11,8	Махмадалиев, 2002 год



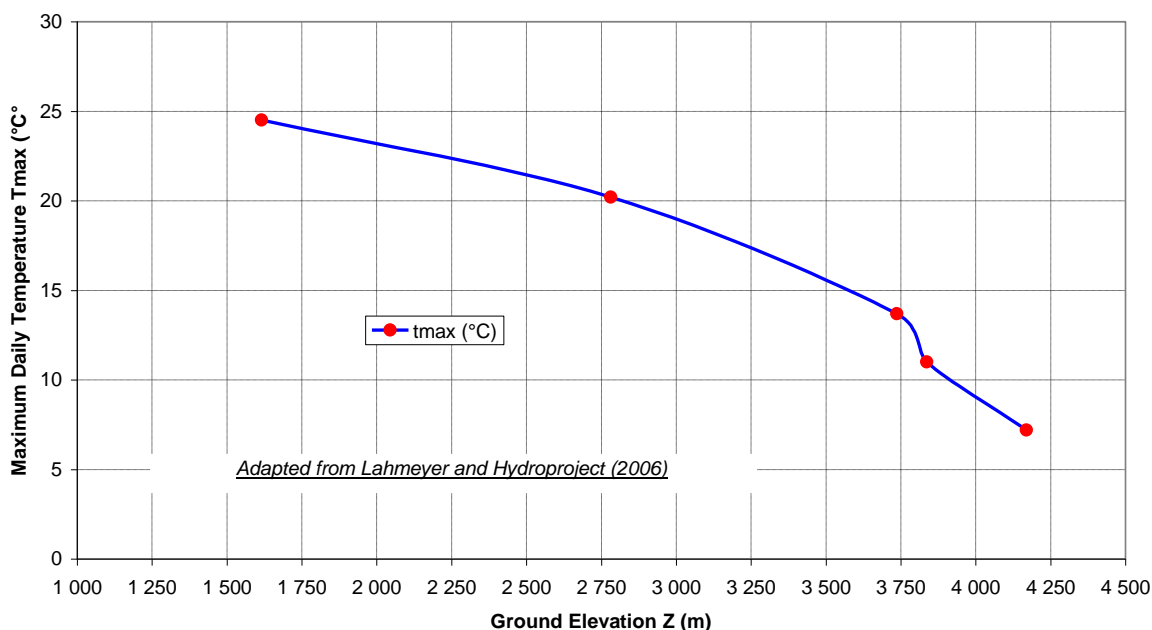
**Бассейн реки Вахш на участке Рогунской плотины - гипсометрическая кривая**



**Бассейн реки Вахш - Годовые атмосферные осадки в сравнении с отметкой высоты**



### Максимальная суточная температура в сравнении с отметкой высоты

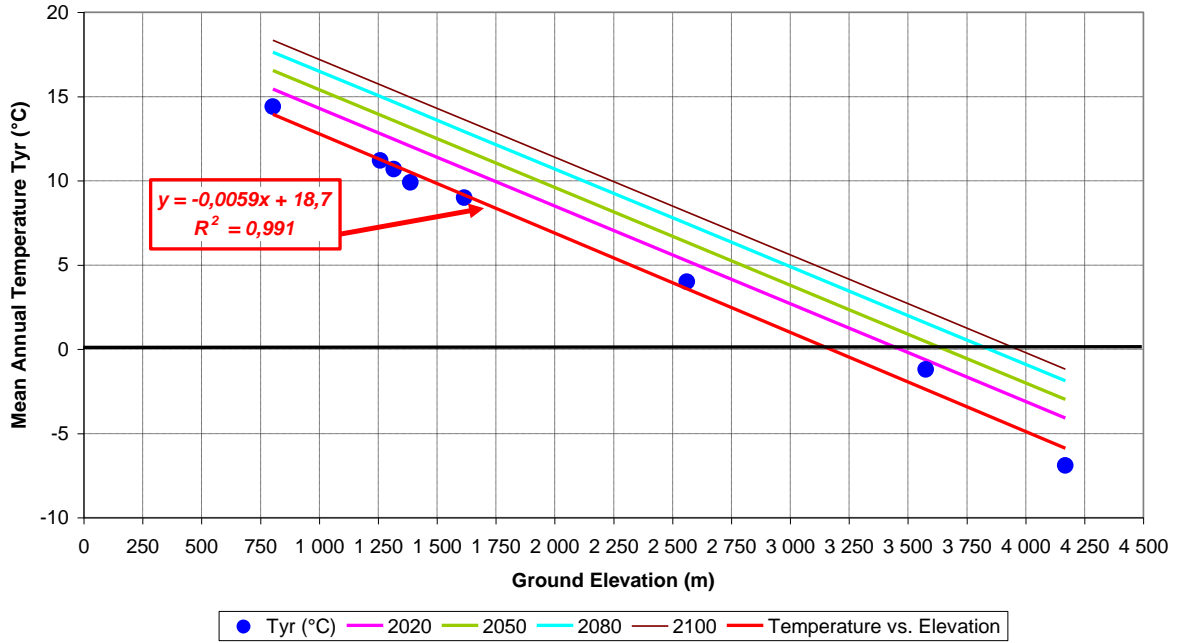


### D. Прогнозы температуры и площади снега/льда до 2100 года

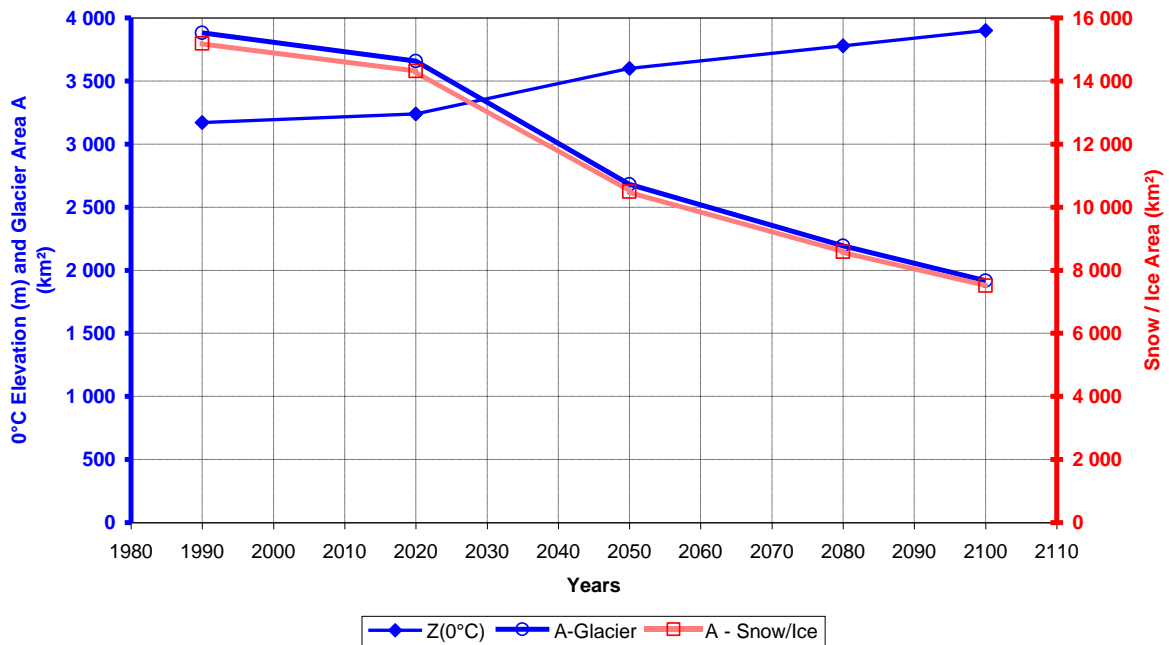
Станция	Z	Tгод (°C)	2020	2050	2080	2100	Градиент (°C/100 м)	Источник
Душанбе	803	14,4	15,4	16,5	17,6	18,3		Махмадалиев, 2002 год
Комсомолабад	1 258	11,2	12,8	13,9	15,0	15,7	-0,70	ЛГ, 2006 год
Гарм	1 316	10,7	12,5	13,6	14,7	15,4	-0,86	ЛГ, 2006 год
Обигарм	1 387	9,9	12,1	13,2	14,3	15,0	-1,13	ЛГ, 2006 год
Тавильдара	1 616	9,0	10,7	11,8	12,9	13,6	-0,39	Махмадалиев, 2002 год
Дехавз	2 561	4,0	5,2	6,3	7,4	8,1	-0,53	Махмадалиев, 2002 год
Мургаб	3 576	-1,2	-0,6	0,5	1,6	2,3	-0,51	Махмадалиев, 2002 год
Ледник Федченко	4 169	-6,9	-4,1	-3,0	-1,9	-1,2	-0,96	Махмадалиев, 2002 год
Z(0°C)		3 170	3 240	3 600	3 780	3 900		

Год	Z(0°C) (м)	A - снег/лёд (км <sup>2</sup> )	A/A (1990 г.) (%)	3882/A-S/I (%)	A-ледник (км <sup>2</sup> )	Изменение (%)	Сток (тенденция) (м <sup>3</sup> /с)
1990	3 170	15 194	100	26	3 882	0	638
2020	3 240	14 317	94	27	3 658	6	641
2050	3 600	10 491	69	37	2 680	31	649
2080	3 780	8 588	57	45	2 194	43	657
2100	3 900	7 506	49	52	1 918	51	663

**Бассейн реки Вахш - температура в сравнении с отметкой высоты**



**Бассейн реки Вахш - Эволюция площади снежного и ледяного покрова до 2100 года**



### 5.3.3. **Сценария 1: Влияние исчезновения ледника**

В данной части Консультант рассмотрел влияние исчезновения ледника при условии, что все остальные гидрологические параметры остаются такими же, как сейчас. Так не будет в будущем, поскольку влияние изменение климата является более сложным феноменом. Но с помощью этого была получена оценка максимального потрясения вахшской гидрологии.

Данные по Аральскому морю приводят к возможному выводу, что в 2080-2100 годах ледники Аральского моря могут исчезнуть. Таджикские данные четко показывают, что ледники уменьшаются. Исследования, проведенные таджикским институтами ясно показывают, что ледники отступают.

Общий сток является суммой трех компонентов, как показано на следующих графиках, наземный компонент, компонент снега и льда.

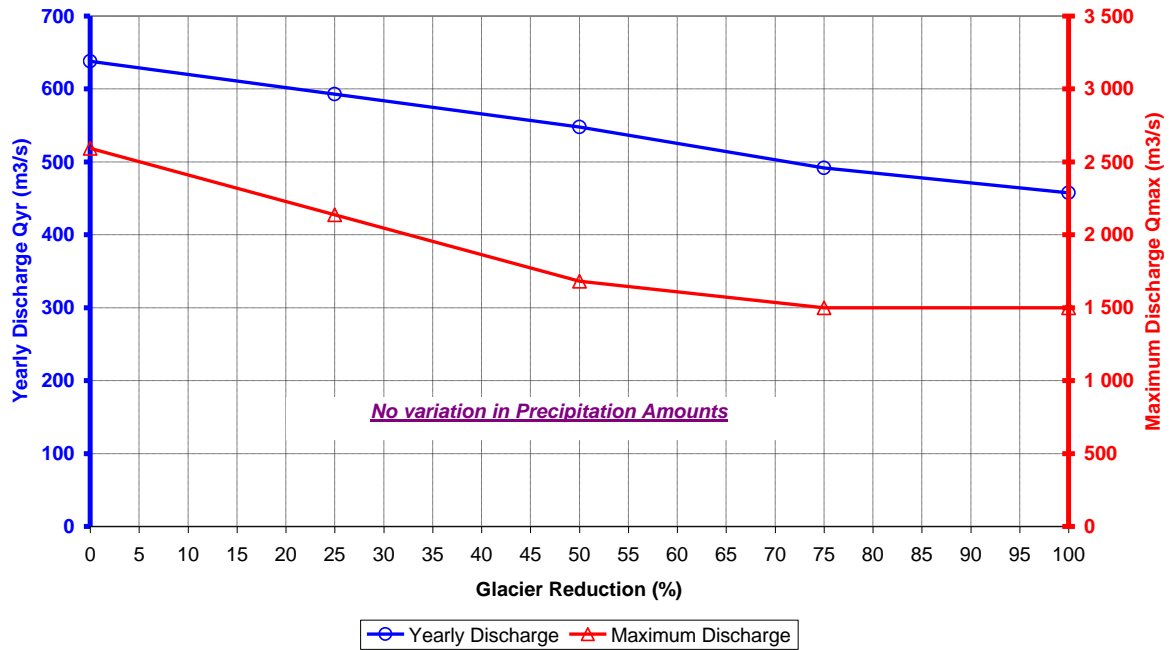
Ежегодный сток реки Вахша вычисляется для сокращения ледников 0% (фактическое состояние) 25% сокращение, 50% сокращение, 75% сокращение и полное исчезновение ледников. Предусматривается, что полное исчезновение ледников на водосборе реки Вахш приводит к уменьшению на 28% вклад льда к ежегодному стоку реки Вахш и уменьшение среднегодового потока связанного с сезону оттепелью на 42%.

Для иллюстрации этого факта в следующей таблице 20 приведены данные эволюции стоков Вахша в соответствии с уменьшением данного ледника:

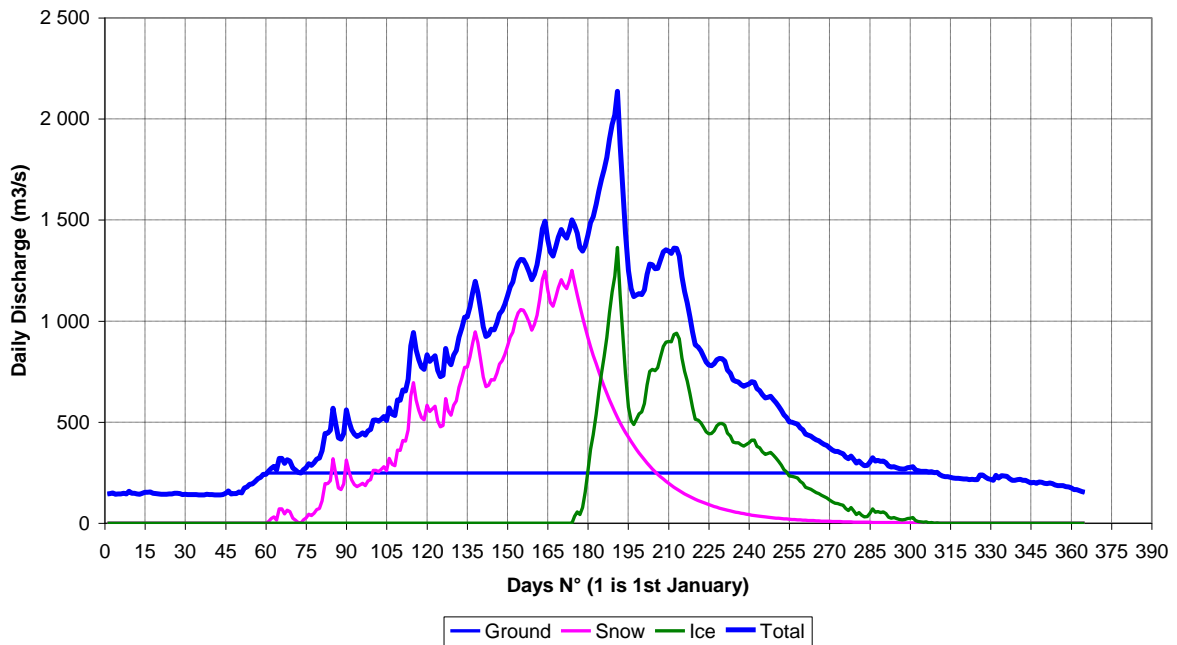
**Таблица 20: Максимальное влияние исчезновения ледника**

Уменьшение ледника (%)	Годовой сток (м <sup>3</sup> /с)	%	Максимальный сток (м <sup>3</sup> /с)	%
0	638	100	2 592	100
25	593	93	2 137	82
50	548	86	1 682	65
75	492	77	1 500	58
100	458	72	1 500	58

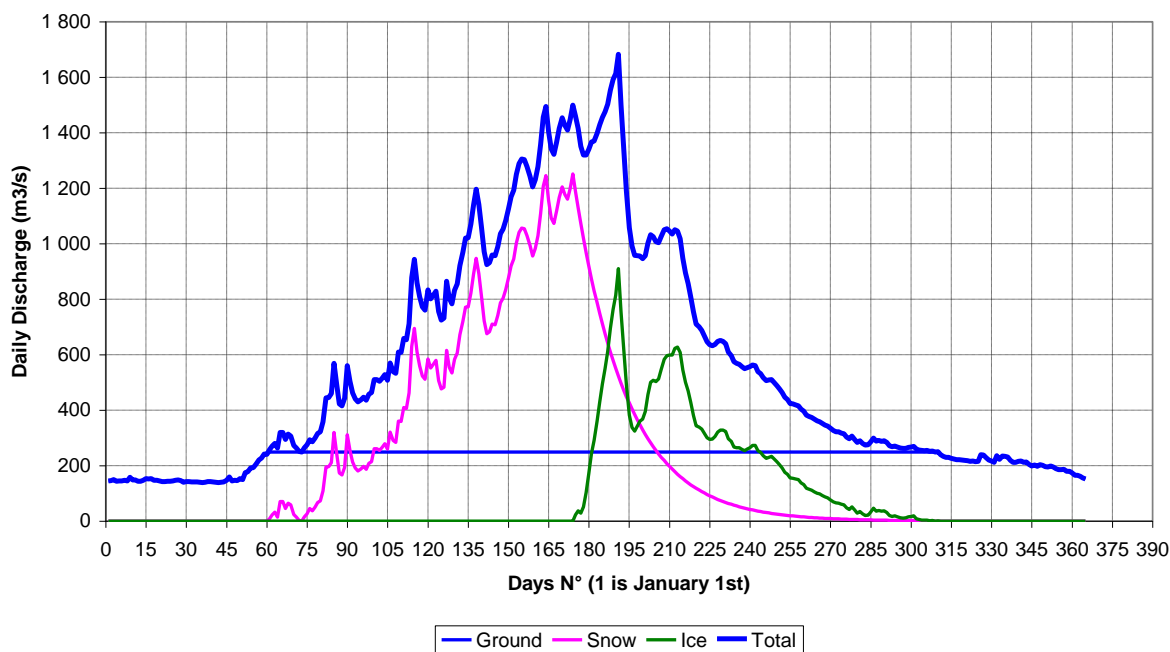
**Влияние уменьшения ледника на годовые и максимальные стоки - средний год**



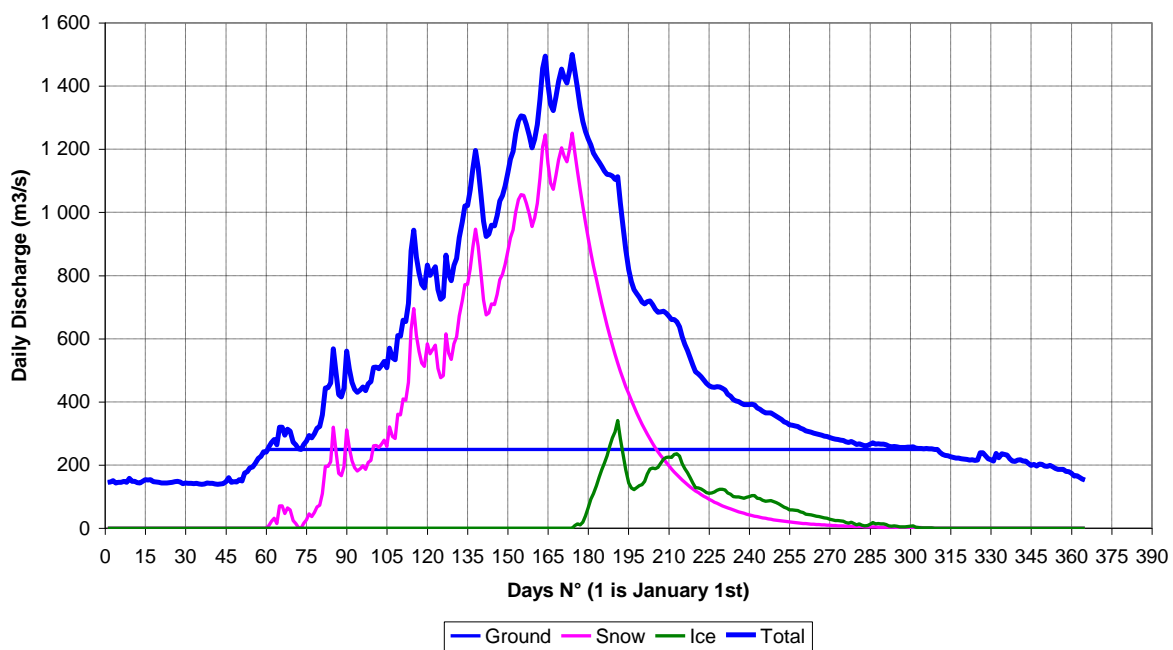
**Средний год -  $Q_{год} = 593 \text{ м}^3/\text{с}$  - 25% Уменьшение ледникового питания**



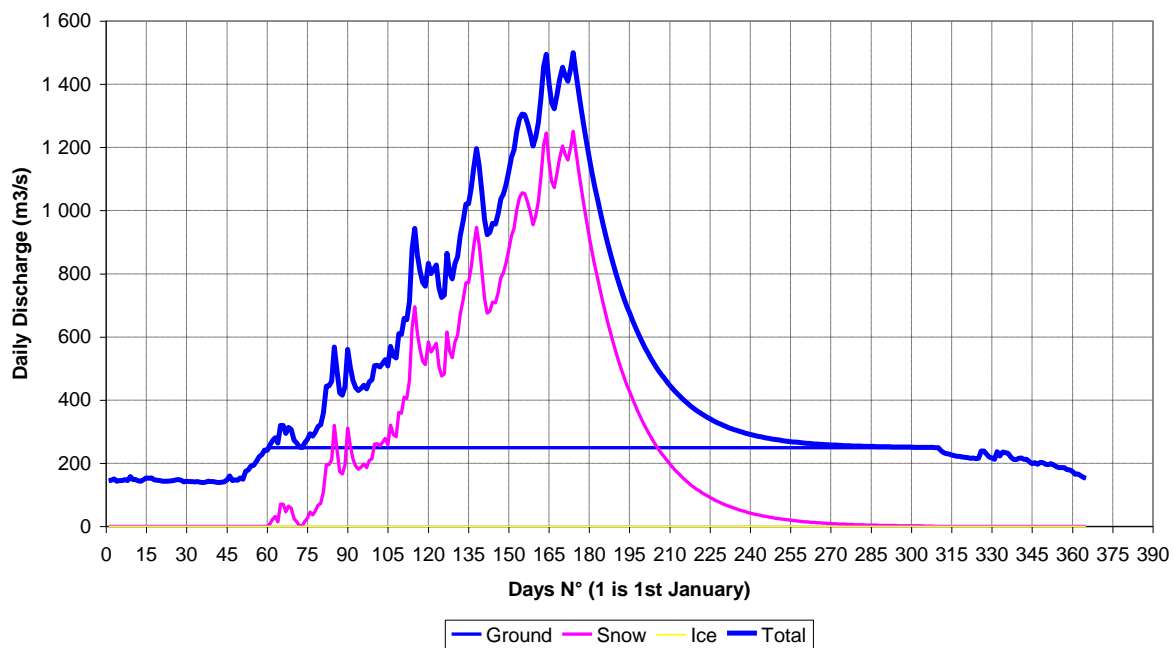
**Средний год -  $Q_{год} = 548 \text{ м}^3/\text{с}$  - 50% Уменьшение ледникового питания**



**Средний год -  $Q_{год} = 492 \text{ м}^3/\text{с}$  - 75% Уменьшение ледникового питания**



**Средний год - Qгод = 458 м<sup>3</sup>/с - 100% Уменьшение ледникового питания**



## 5.4 Сценария 2: Эволюция стоков с 1990 до 2100 года

После проведения данного специального исследования, касающегося исчезновения ледника, Консультант произвел оценку изменения стока реки Вахш с учетом предполагаемой тенденции к увеличению стока (на том же уровне, что и при тенденции предыдущего периода  $0,8^{\circ}\text{C}/\text{столетие}$ ), связанной с уменьшением питания ледника в связи с увеличением температуры, о чем свидетельствуют климатические модели и данные, приведенные выше. Два явления были связаны в этой ситуации: сокращение ледяного питания в связи с повышением температуры и увеличением вклада грунтовых вод после исторической тенденции.

В следующей таблице 21 представлены наши результаты. Прогнозы показывают, что вклад питания за счет ледников увеличиться в 2100 году, в Вахшской средний расход на  $88 \text{ м}^3/\text{с}$  вместо  $180 \text{ м}^3/\text{с}$  в настоящее время (т.е. 50% меньше вклада льда). Наоборот, предполагая, что вклад грунтовых вод увеличиться на том же уровне, как историческая тенденция, его вклад оценивается в 2100 году в  $344 \text{ м}^3/\text{с}$  (т.е. 50% больше по сравнению с фактическим вкладом грунтовых вод).

Следует принять во внимание, что на результаты влияет ряд неточностей:

- Гипотеза 50% об увеличении температуры, возможно, неправильна.
- Прогнозы атмосферных осадков по климатическим моделям имеют такой большой разброс, что самым благоразумным выбором является вариант «без изменений».
- Предположение того, что тенденция стоков будет продолжаться, может быть правильным для последующих 10-30 лет, но неправильным после этого срока.
- Знание закономерностей выпадения атмосферных осадков является ограниченным.

Для оперативного исследования консервативным допущением будет оставить имеющиеся данные, так как мы знаем, что они отображают уменьшение ледника на протяжении прошлого столетия.



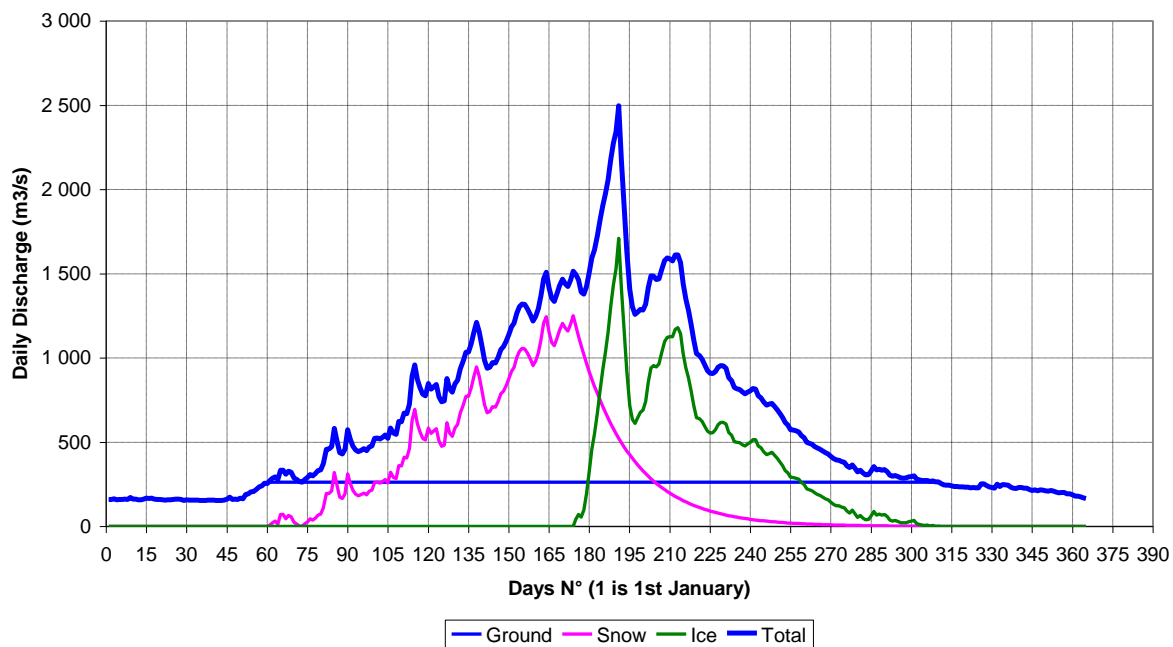
**Таблица 21: Эволюция стоков с 1990 до 2100 года**

Наименование	Настоящее (1990 г.)	2020	2050	2080	2100
Среднее значение (м <sup>3</sup> /с)	638	641	649	657	663
%	100	100,5	102	103	104
Суточный пик (м <sup>3</sup> /с)	2 600	2 500	2 100	1 910	1 790
%	100	96	81	74	69

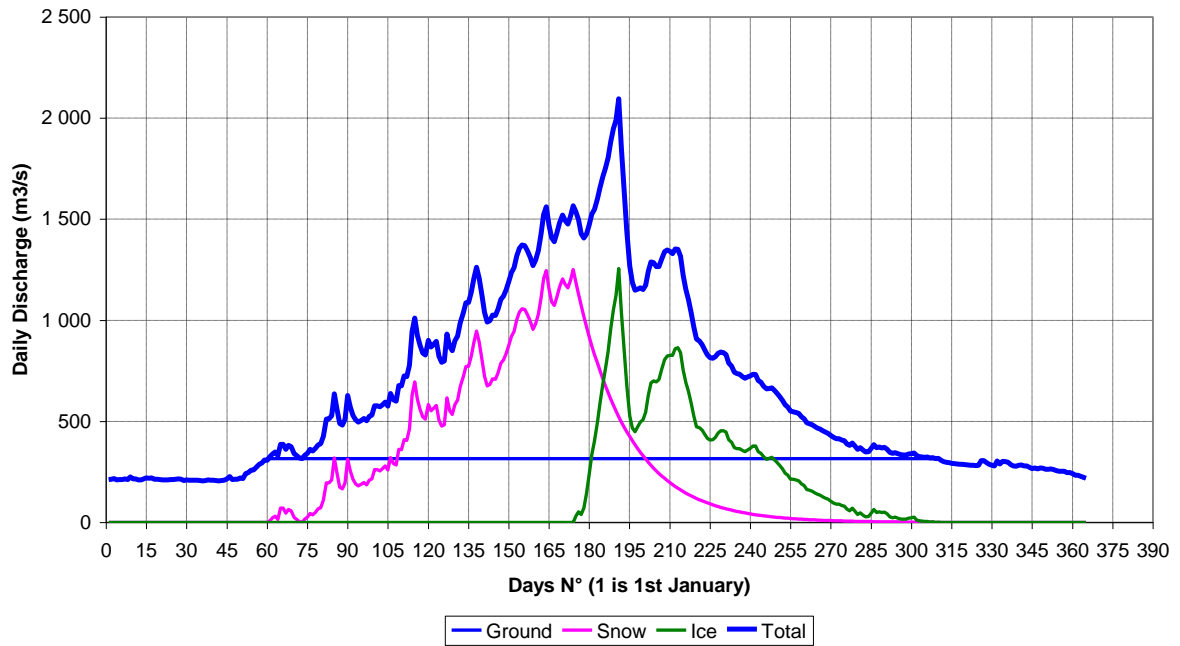
Год	Грунтовые воды	Снег	Лёд	Всего	Qdmx
1 990	227	230	180	638	2 600
2 020	241	230	169	641	2 500
2 050	294	230	124	649	2 100
2 080	324	230	103	657	1 910
2 100	344	230	88	663	1 790

(м<sup>3</sup>/с)

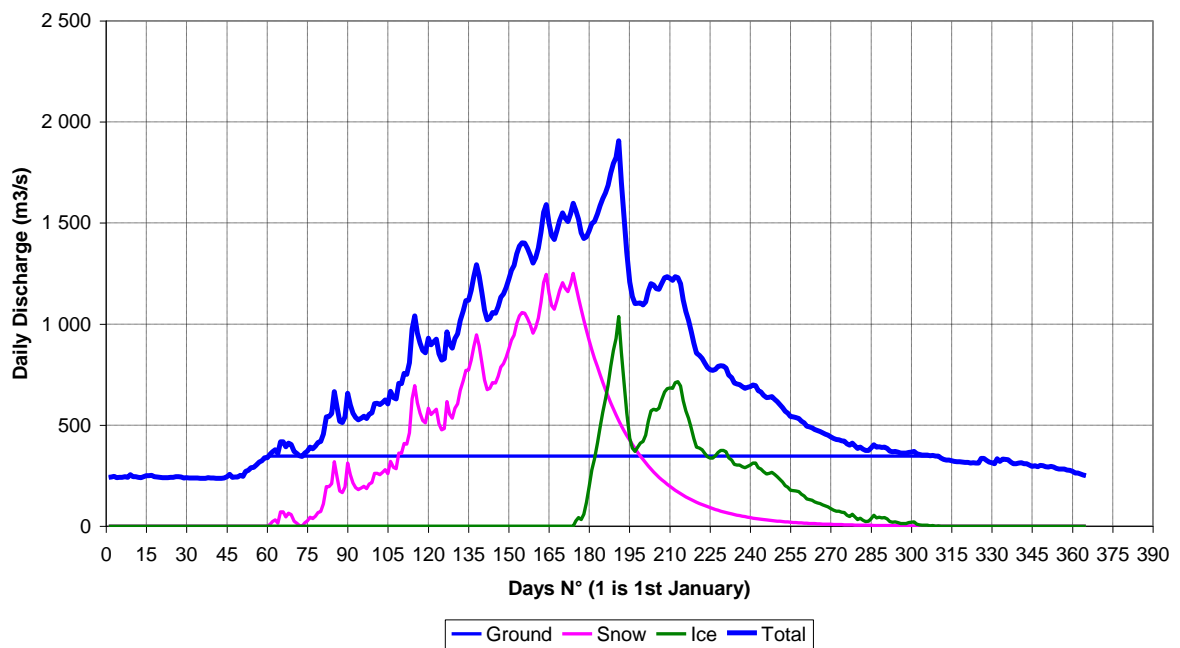
**2020 год- Средний год - Тенденция стока и уменьшение ледникового питания**



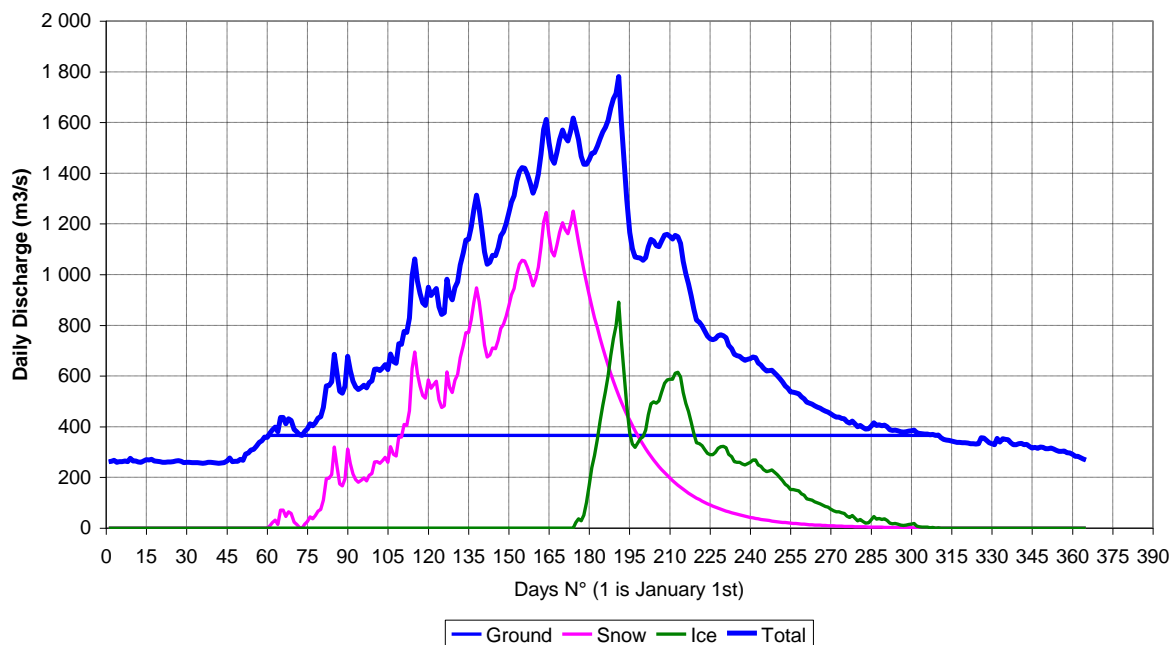
**2050 год- Средний год - Тенденция стока и уменьшение ледникового питания**



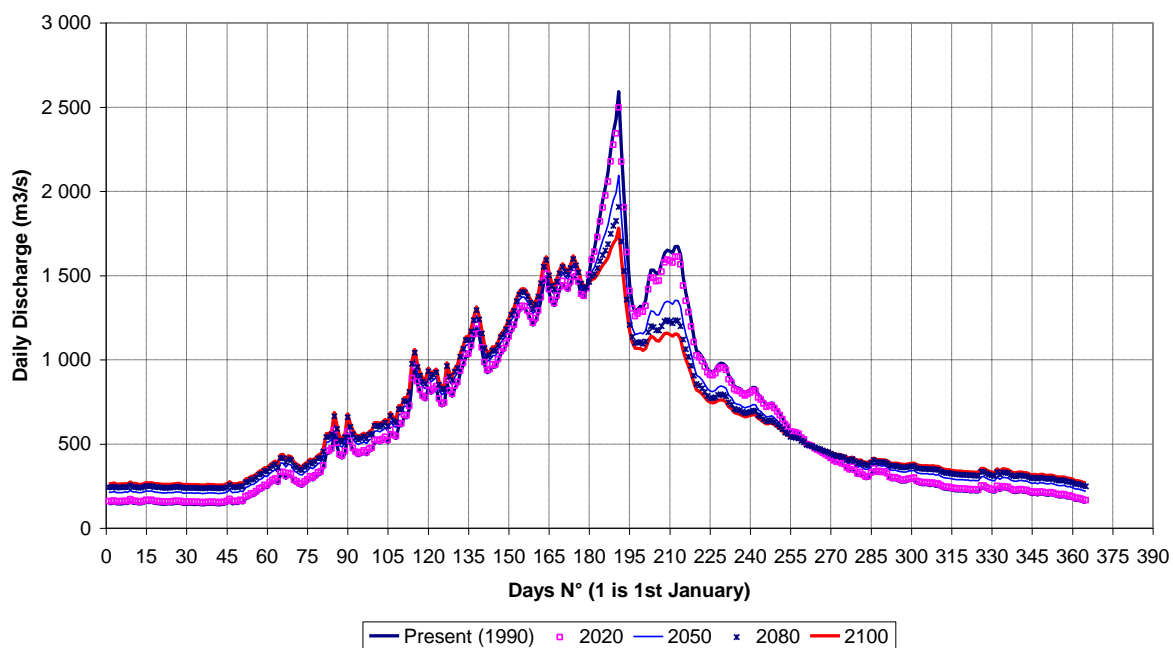
**2080 год- Средний год - Тенденция стока и уменьшение ледникового питания**



**2100 год- Средний год - Тенденция стока и уменьшение ледникового питания**



**Средний год - Сравнение стоков с 1990 до 2100 года**



## **5.5 Изменение климата и адаптивное управление:**

### **5.5.1. Модели по изменению климата в качестве инструмента установления приоритетов:**

Современные модели изменения климата дают значимые прогнозы больших масштабов, которые коррелируют с долгосрочными физическими наблюдениями драматических изменений климата, как, например, сокращение ледников. Поэтому, эти модели являются отличными инструментами для создания приоритетов адаптации, поскольку они уже указывают основные будущие последствия: изменения режимов течения рек берущее начало от таяние ледников, изменения в сезонном распределении стоков, больше крайней изменчивость событий и т.д. Эти явления имеют большое влияние на объектов гидроэнергетики и поэтому их следует рассматривать при планировании новых проектов, как Рогунская ГЭС.

Однако, как показано в критический обзор существующих моделей по изменению климата в Центральной Азии и, в частности, в Таджикистане и Аму-Дарьи, нет никаких сомнений, что необходимы дальнейшие исследования, чтобы уменьшить неопределенность уменьшенным результатам, и сделать их в соответствие с уровнем требуемой точности при разработке проекта Рогунской ГЭС.

По состоянию на сегодня, в частности в плане осадков, тенденции, предоставленные моделям, не являются достаточно точными для того, чтобы попытаться понять локальное воздействие изменения климата на проекте Рогунской ГЭС. Получение адаптивных мер в плане критерии проектирования, основанные на текущих прогнозах на уровне проекта было бы неуместным. Тем не менее, адаптация к изменению климата должны быть включены в общее планирование гидроэнергетических и ирригационных развития в Центральной Азии.

Особенностью проекта Рогунской ГЭС является трансграничный аспект водных ресурсов конкурирующее с национальными интересами, требующее комплексного подхода на уровне бассейна на водопользование (как уже координируются МКВК и БВО Амударья), а также для работы с последствиями изменения климата на водные режимы. Адаптация к изменению климата потребует эффективного использования и охраны водных ресурсов с учетом новых стрессов, улучшение ирригационных технологий для лучшего сохранения ресурсов и международного сотрудничества в области использования гидроэнергетических ресурсов на национальном и региональном уровне.

### **5.5.2. Меры по адаптации к изменению климата:**

Борьба с изменением климата требует высокого уровня сотрудничества на основе поэтапного подхода:

- **Снижение неопределенности:** Исследования в области изменения климата должны быть направлены на лучшее понимание и вариации моделирования климата и позволяют точного разукрупнения результатов для получения надежных тенденций на краткосрочной, так и долгосрочный периоды. Это позволит включения тенденции в планировании средств (критерии проектирования), но и в экономической жизнеспособности проекта (изменчивости притоков могут быть включены в финансовые и экономические прогнозы для жизнеспособности проекта).
- **Снижение уязвимости:** Лучшее понимание потенциальных угроз позволит также выявление наиболее уязвимых групп населения, которые будут затронуты и включать меры по смягчению последствий в планировании проектов (управление паводками и т.д.).
- **Изменение использование, местоположение и т.д.:** Когда такие меры по смягчению последствий окажутся трудным или нежизнеспособным, чтобы их реализовать, то прямая корректировка систем человека в ответ на воздействие климата должна быть спланирована. Это может также включать потенциальные выгоды от изменения климата, как изменение экономических возможностей.
- **Адаптировать меры и сообщить:** В текущее состояние знаний, любые меры, принимаемые в целях борьбы с изменением климата, по сути, с учетом адаптации на короткий срок на основе наблюдений. Даже очень надежный и консервативный проект должен обеспечить определенную гибкость для обновления, чтобы справиться с ожидаемым резким изменениям. Это требует сильной сети наблюдения и мониторинга окружающей среды, чтобы убедиться, пересмотреть и обновить мер по адаптации как, например, модернизация существующих сооружений. Данная система мониторинга может также укрепить прогноз погоды и системы раннего предупреждения для минимизации рисков стихийных бедствий и повышению готовности к экстремальным явлениям.

Эти ключевые аспекты используются на международной арене для обсуждения на уровне бассейнов реки для развития сотрудничества между странами, которые будут непосредственно затронуты в довольно короткий срок по изменению климата.