

НИЦ МКВК

**Моделирование процесса стока рек:
Адаптация модели HBV к
Чирчик-Ахангаран-Келескому бассейну**

Тюгай В.К., к.ф.м.н

ДП «Исследовательский Центр
Водохозяйственных систем»

Модель HBV

- Модель HBV – моделирование процесса стока рек.
- Разработана в Шведском Метеорологическом и Гидрологическом институте (Bergstrom, 1995).
- Модифицирована в Институте Гидрологической Инженерии Университета Штуттгарта (IWS) и представляется как HBV-IWS модель (A.Bardossy, 1998-1999).

Математическое описание процессов

Модель HBV (HBV-IWS) состоит из трех блоков -

- 1) поступление воды на поверхность бассейна в виде твердых и жидких осадков;
- 2) потери воды, поступающей в речной бассейн - увеличение влажности почвы и эвапотранспирация;
- 3) Трансформация поступающей в бассейн воды в речной сток.

1. Аккумуляция и таяние снега. Поступление воды в водосборный бассейн.

- Аккумуляция снега при $T \leq T_T$:

$$MELT = 0, \quad SNOW = SNOW + P$$

- Таяние снега при $T > T_T$:

$$MELT = \text{Min}(SNOW, C_{MELT} \cdot (T - T_T))$$

$$SNOW = SNOW - MELT$$

- Поступление воды в бассейн

$$Q_{\text{пост.}} = P + MELT$$

Здесь MELT – глубина тающего снега, мм/ед.врем.;

SNOW – глубина снега, мм;

C_{MELT} – фактор градус/день, мм/(ед.врем..град.);

T_T – критическая температура для снег/дождь, оС;

P – осадки, мм/ед.врем.

2. Влажность почвы

- Изменение влажности грунтов:

$$\Delta SM = P + MELT - P_{eff}$$

где P_{eff} – эффективные осадки, которая определяется из уравнений

$$P_{eff} = P + MELT - (FC - SM) \quad \text{при} \quad \left[1 - \left(\frac{SM}{FC} \right)^\beta \right] \cdot (P + MELT) > (FC - SM)$$

$$P_{eff} = \left(\frac{SM}{FC} \right)^\beta \cdot (P + MELT) \quad \text{при} \quad \left[1 - \left(\frac{SM}{FC} \right)^\beta \right] \cdot (P + MELT) \leq (FC - SM)$$

Здесь SM - влажность почвы, мм;

FC - полевая влагоемкость почвы, мм;

β – калибровочный параметр.

3. Эвапотранспирация

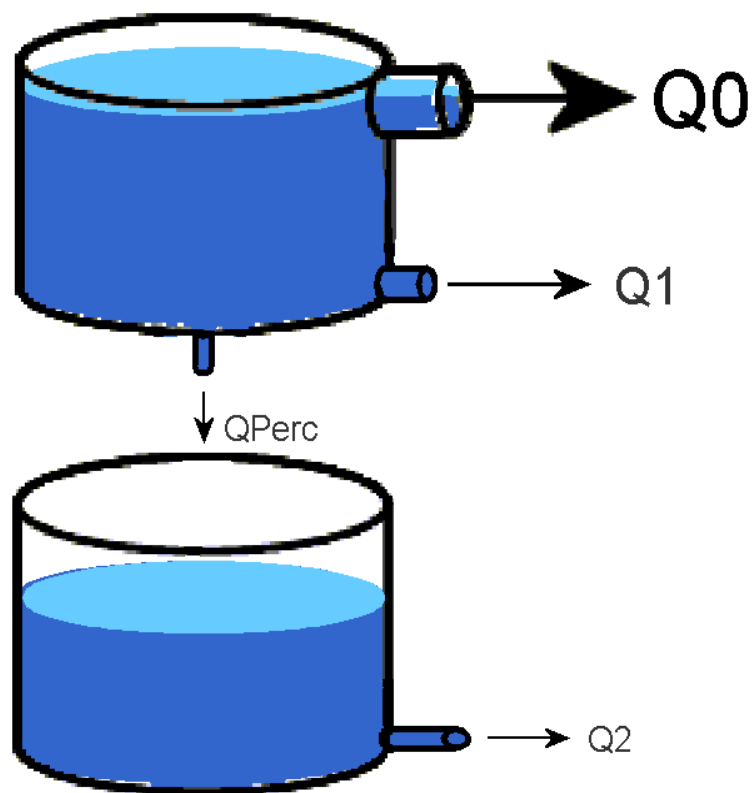
$$ET_A = PE_A \quad , \text{ если } SM \geq PWP$$

$$ET_A = PE_A \cdot \frac{SM}{PWP} \quad , \text{ если } SM < PWP$$

$$PE_A = (1 + C_E(T - T_M)) \cdot PE_M$$

- Здесь ET_A – «реальная» эвапотранспирация, мм/сут.;
- PWP – влажность увядания, мм;
- PE_A – потенциальная эвапотранспирация, мм/сут.;
- C_E – параметр, 1/°C; T_M – среднемесячная температура;
- PE_M – среднемесячная эвапотранспирация, мм/сут.

В модели НВУ водосборный бассейн представлен в виде двух резервуаров, расположенных друг над другом:



- Поток воды из верхнего резервуара:

$$Q_0 = \frac{1}{k_0} \cdot (h_1 - L) \cdot \frac{A}{86,4} \quad , \text{если } P_{eff} > L \quad Q_0 = 0 \quad , \text{если } P_{eff} \leq L$$

$$Q_1 = \frac{1}{k_1} \cdot h_1 \cdot \frac{A}{86,4}$$

- Переток воды из верхнего резервуара в нижний

$$Q_{пер.} = \frac{1}{k_{пер.}} \cdot h_1 \cdot \frac{A}{86,4}$$

- Поток воды из нижнего резервуара:

$$Q_2 = \frac{1}{k_2} \cdot h_2 \cdot \frac{A}{86,4}$$

где $k_0, k_1, k_{пер.}, k_2$ – коэффициенты для верхнего и нижнего резервуаров;

h_1, h_2 – уровень воды в верхнем и нижнем резервуарах, мм;

L – глубина верхнего резервуара, мм;

A – площадь накопителя, км²;

α – свободный параметр

4. Гидрограф

- Трансформация поступающей в водосборный бассейн воды в речной сток

$$Q_T(t) = g(t, Maxbas) \cdot (Q_0 + Q_1 + Q_2)$$

где $Maxbas$ – калибровочный параметр;

Параметры модели

- В модели NBV параметры T_M , TT, FC, PWR, PE_M определяются на основе результатов натуральных измерений и корректируются в процессе калибровки.
- Свободные параметры модели β , C_{MELT} , C_E , L, k_0 , k_1 , k_2 , $k_{пер}$, α , MaxBas определяются в процессе калибровки.

Структура программы

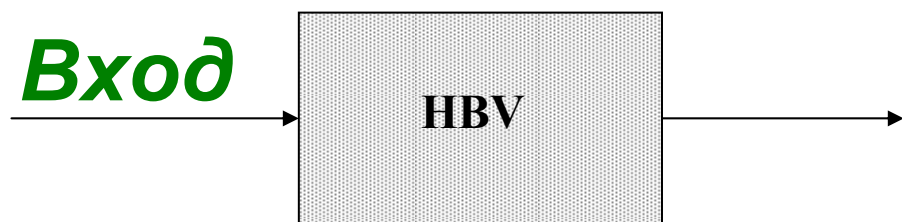
- ❖ Программа написана на FORTRAN.
- Программа состоит из
 - головной программы,
 - **27** подпрограмм и
 - **3** функций - подпрограмм.
- ❖ Ввод исходных данных производится из **6** внешних текстовых файлов.
- ❖ Результаты расчетов объемов стока, эвапотранспираций и статистических данных выводятся в **4** внешние текстовые файлы.

- **Водосборный бассейн разбивается на суббассейны**
- **Каждый суббассейн разбивается на высотные зоны с определенным шагом по высоте**

Для каждой высотной зоны:

- определяется площадь;
- подготавливаются данные климатические (температура и осадки), по грунтам, многолетних среднемесячных температур и эвапотранспираций

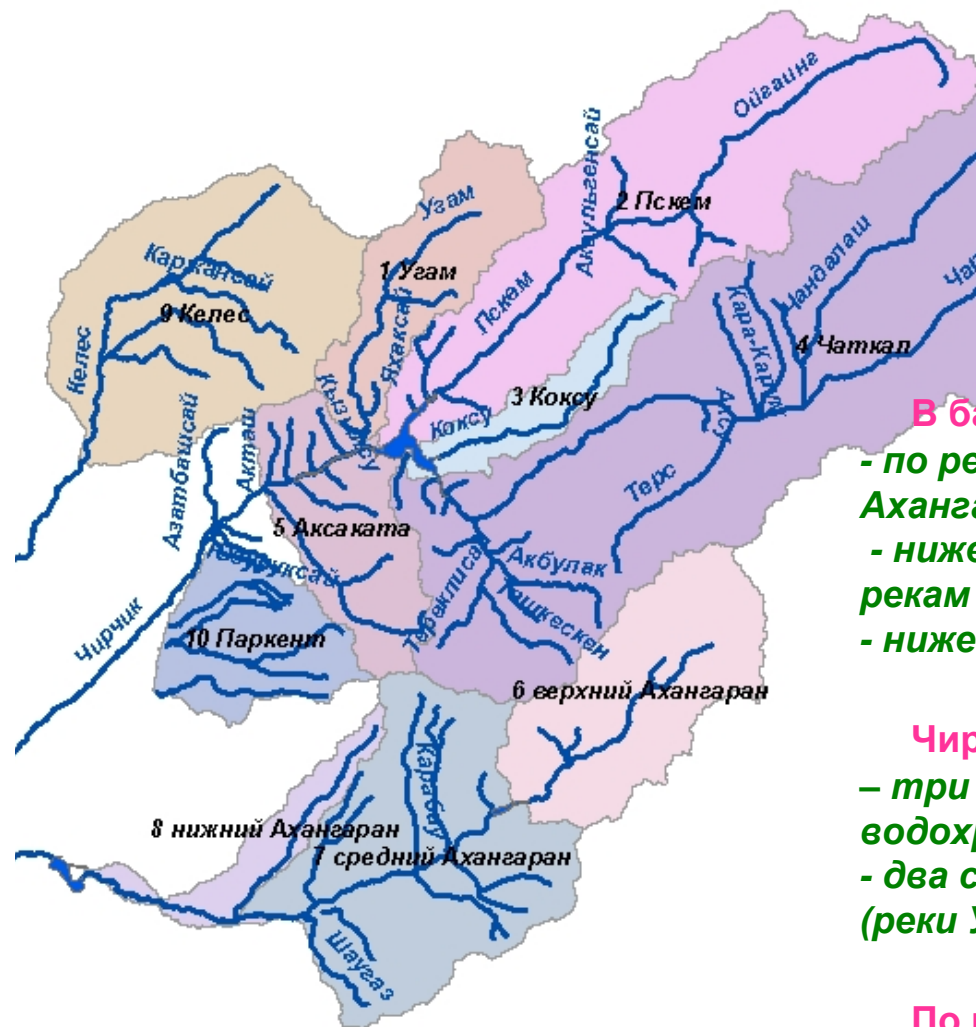
1. Среднесуточные температуры
2. Суточные осадки
3. Многолетние среднемесячные температуры и эвапотранспирации
4. Характеристики грунтов
5. Данные гидропостов по суточным объемам стока
6. Конфигурация бассейна



Выход

1. Суточные объемы стоков
2. Среднемесячные и максимальные объемы стоков
3. Эвапотранспирация
4. Статистика

Структура Чирчик-Ахангаран-Келесского бассейна (зона формирования)



Зона формирования рек Чирчик, Ахангаран, Келес и саев Паркентского района представлена в виде 10 суббассейнов:

В бассейне реки Ахангаран выделены 3 суббассейна
- по реке Ахангаран с ее притоками выше Ахангаранского водохранилища;
- ниже водохранилища до Шархинского гидроузла по рекам Дукент и Наугарзан;
- ниже Шархизанского гидроузла до дюзера Ташканала.

Чирчикский бассейн представлен 5 суббассейнами
– три суббассейна по притокам к Чарвакскому водохранилищу (реки Пскем, Коксу, Чаткал);
- два суббассейна ниже Чарвакского водохранилища (реки Угам, Аксаката).

По реке Келес выделен 1 суббассейн
в зоне формирования стока, расположенного выше гидропоста Степной.

Выделен 1 суббассейн саев Паркентского района,
впадающих в Левобережный Карасу.

Выделенные 10 суббассейна объединены в следующие проекты:

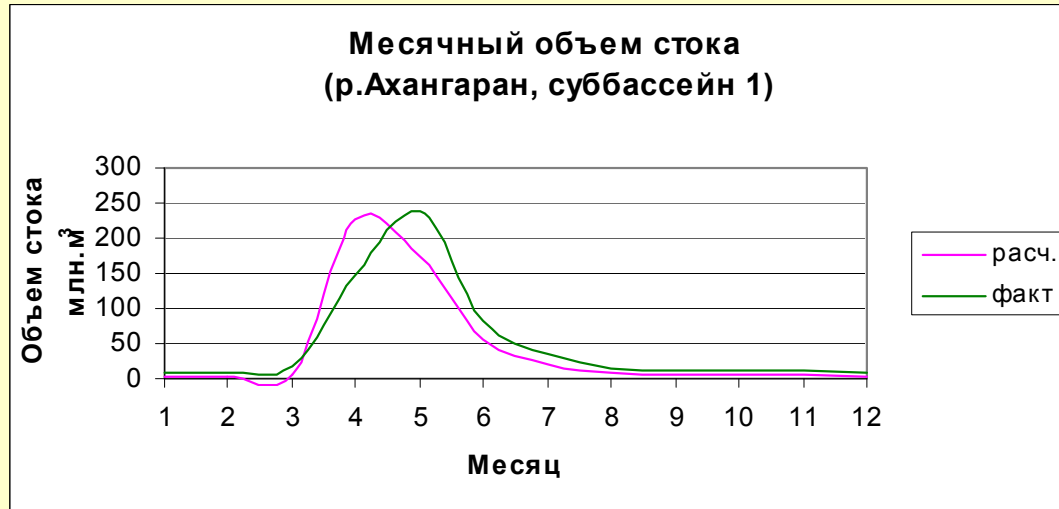
- **Проект *Ahangaran-HBV*** - суббассейны по реке Ахангаран и ее притокам (всего 3 суббассейна);
- **Проект *Chirchik-HBV*** - суббассейны рек Угам, Пскем, Коксу, Чаткал и Аксагата (всего 5 суббассейнов);
- **Проект *Keles-HBV*** - суббассейны рек Келес и саев Паркентского района (всего 2 суббассейна).

Рассматриваемые суббассейны рек разбиты на высотные зоны шириной 200м (по высоте):

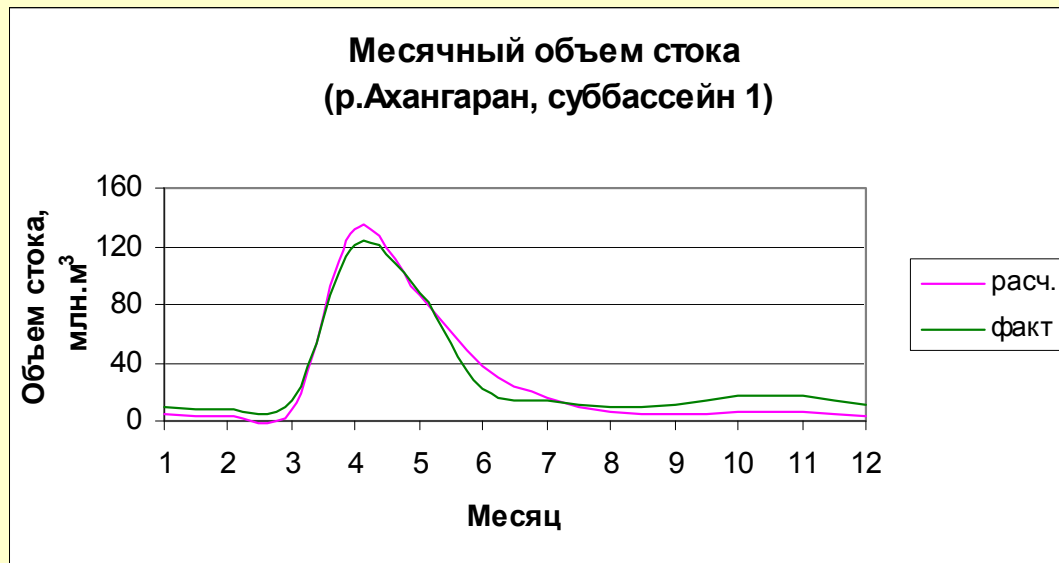
- в проекте *Ahangaran-HBV* - по **19** высотных зон в суббассейнах;
- в проекте *Chirchik-HBV* - по **20** высотных зон в суббассейнах;
- в проекте *Keles-HBV* - по **14** высотных зон в суббассейнах.

Результаты расчета объема стока

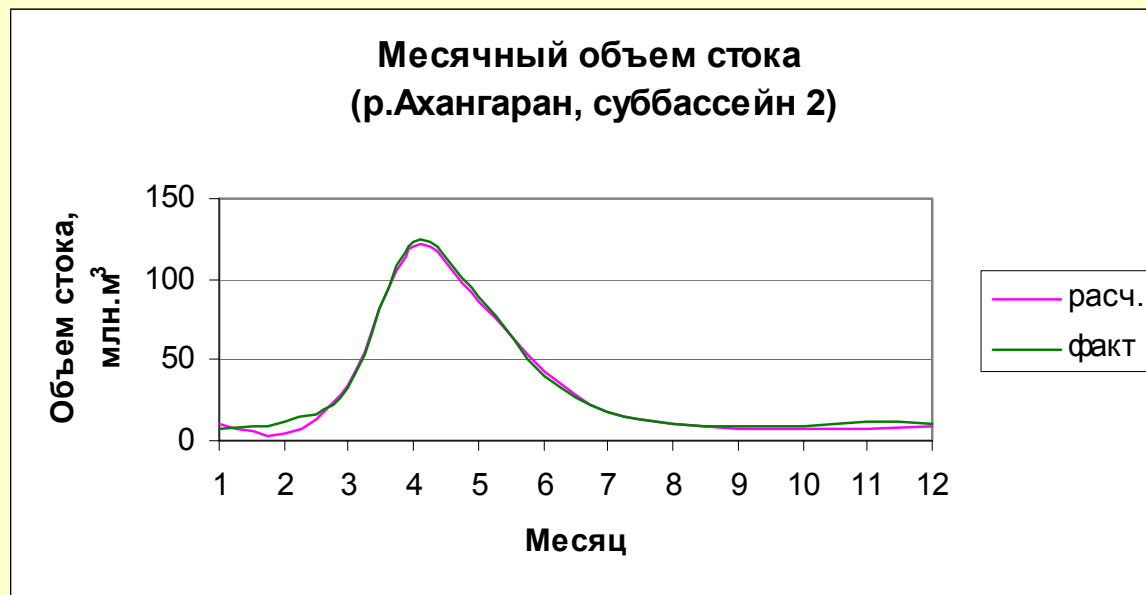
1980г.



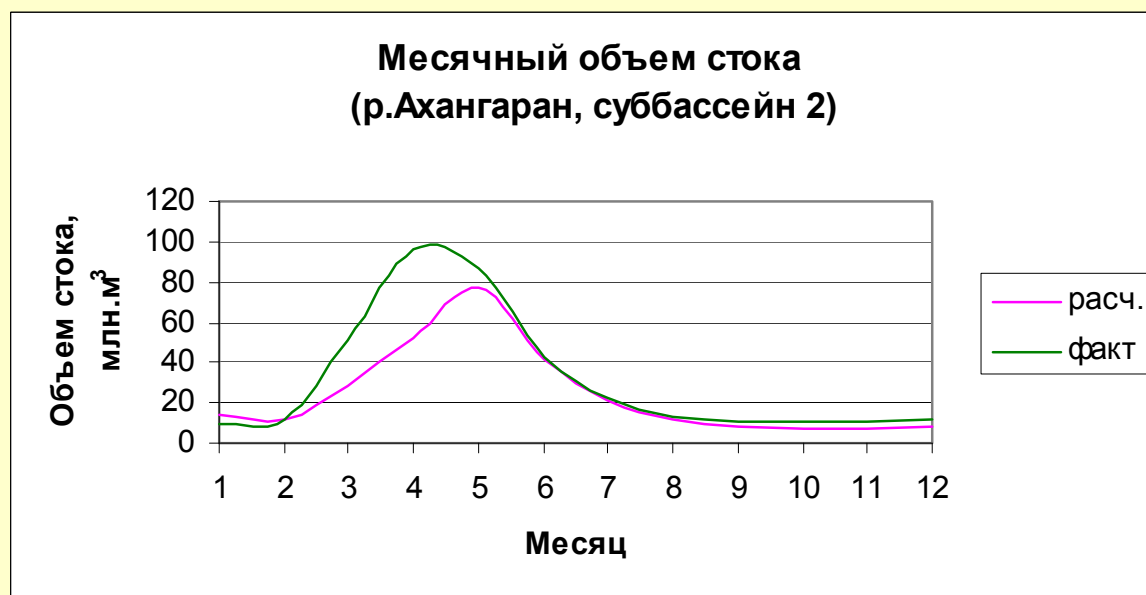
1981г.



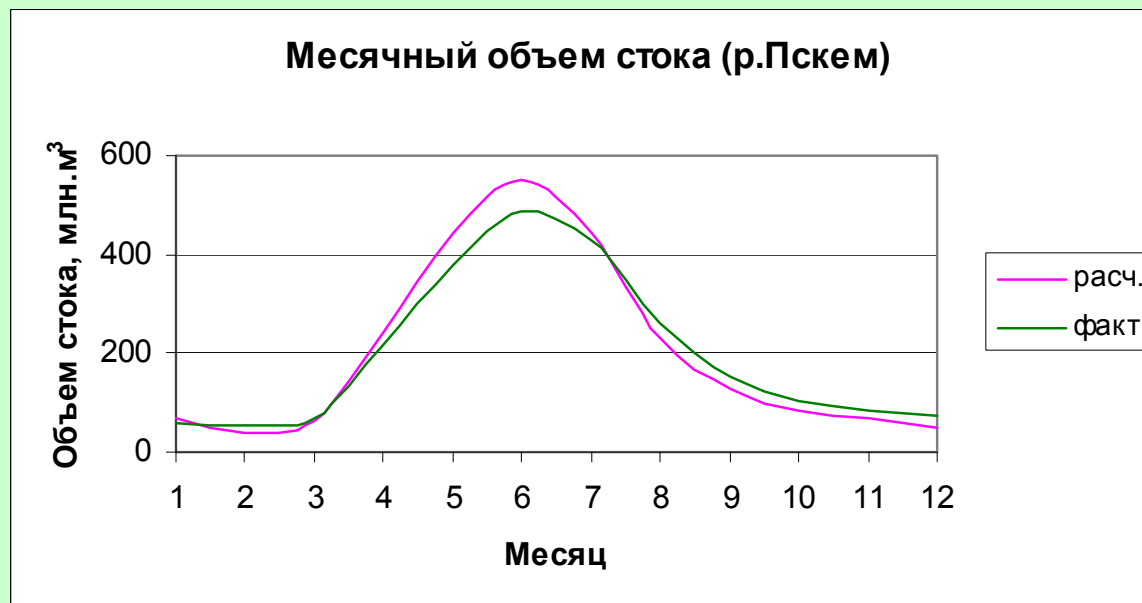
1980г.



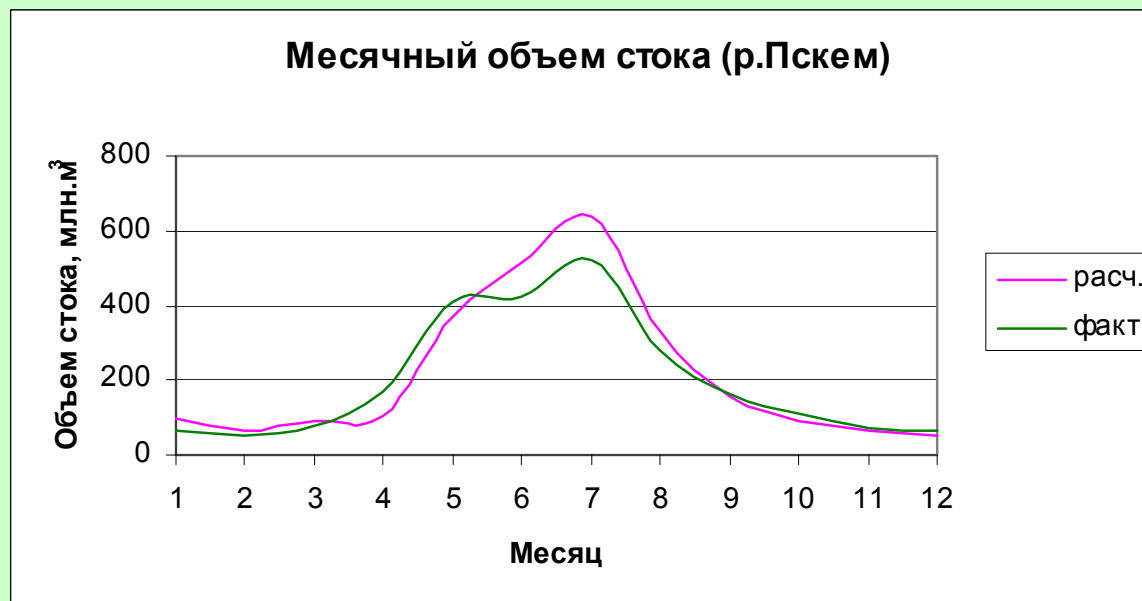
1981г.



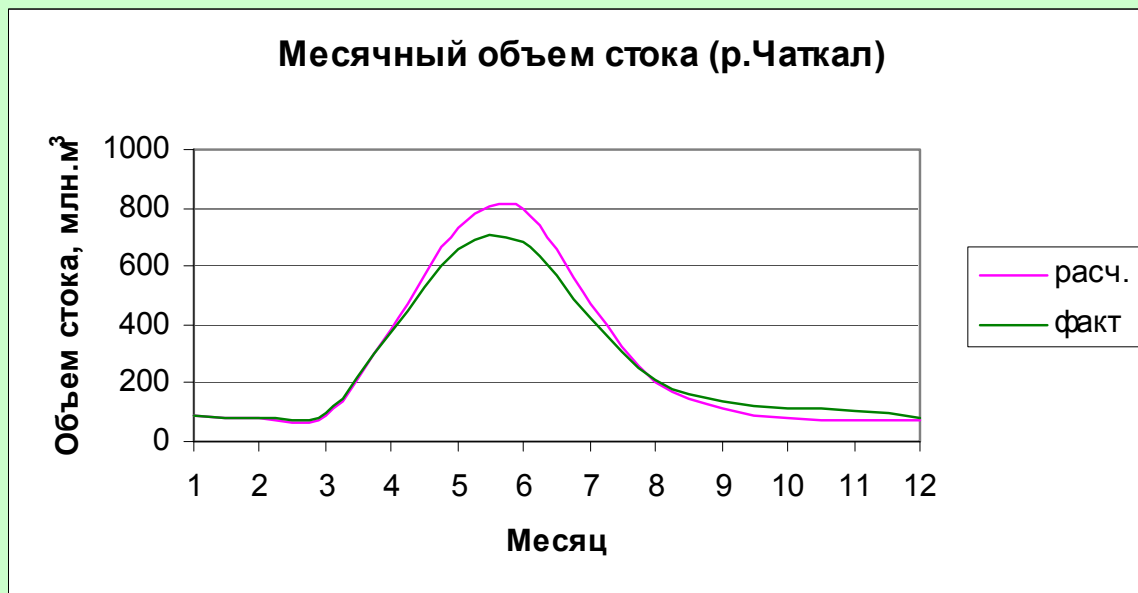
1980г.



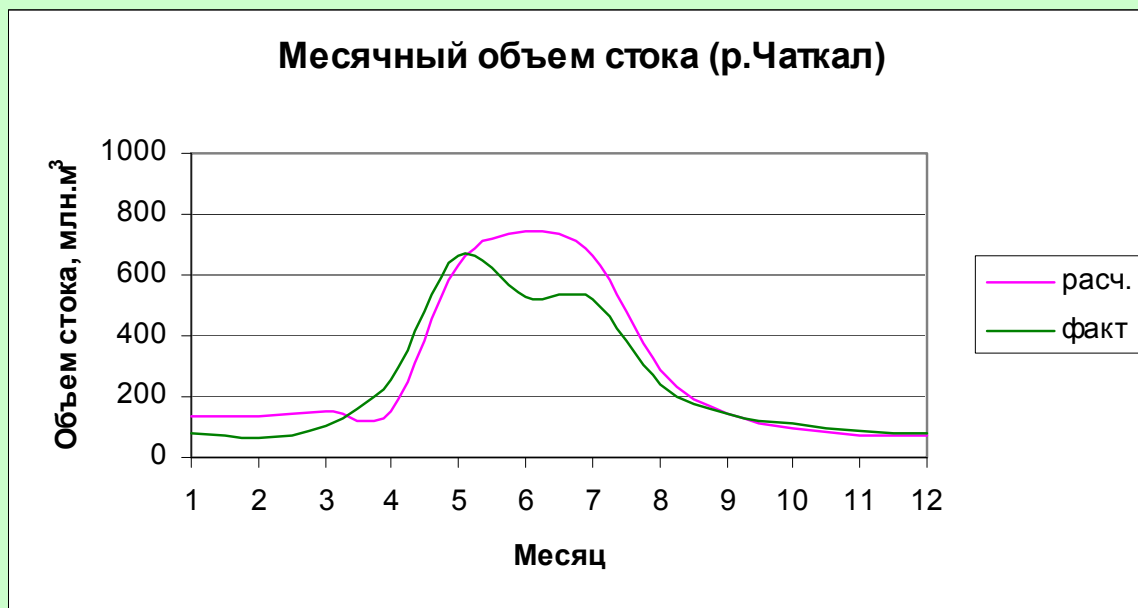
1981г.



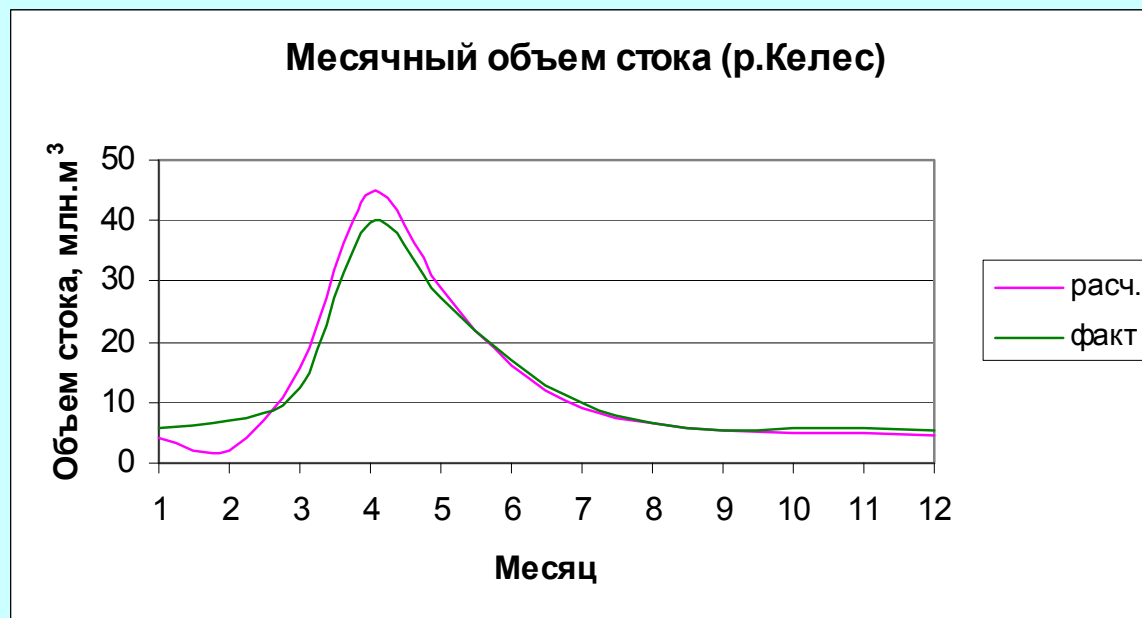
1980г.



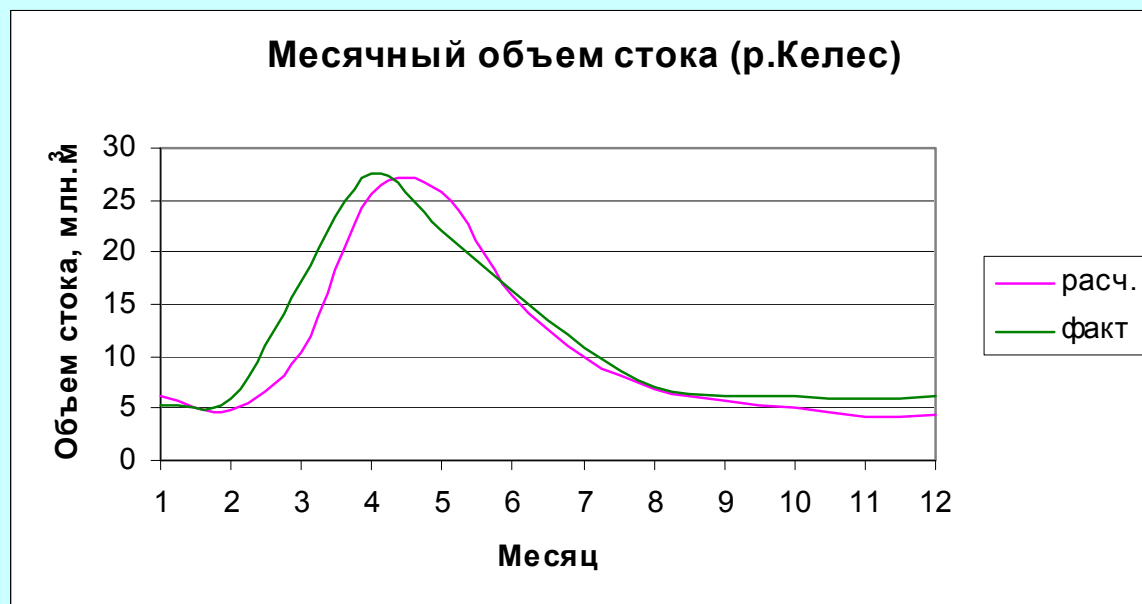
1981г.



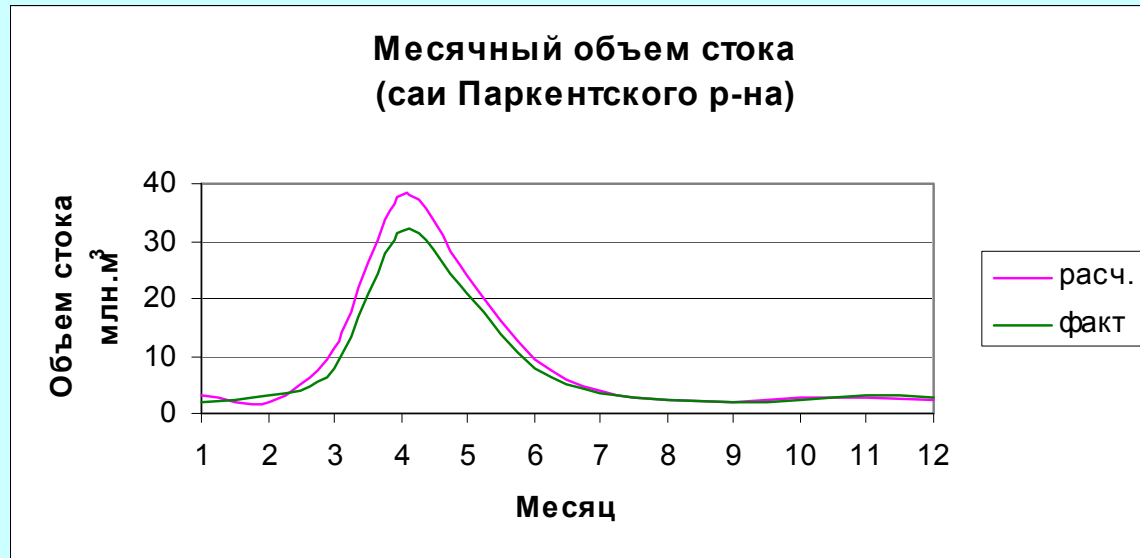
1980г.



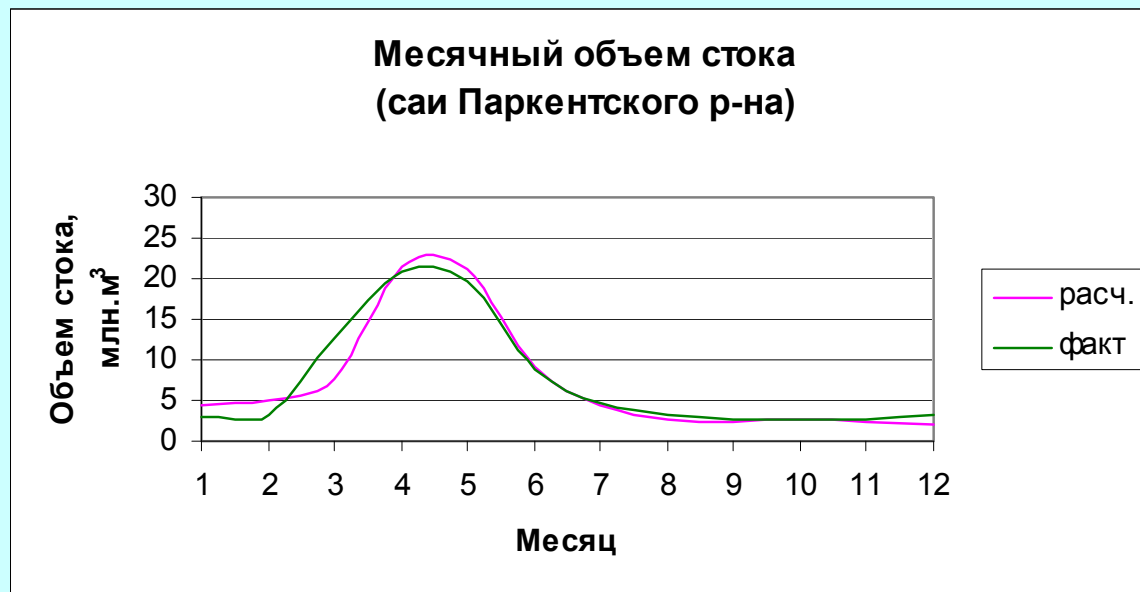
1981г.



1980г.



1981г.



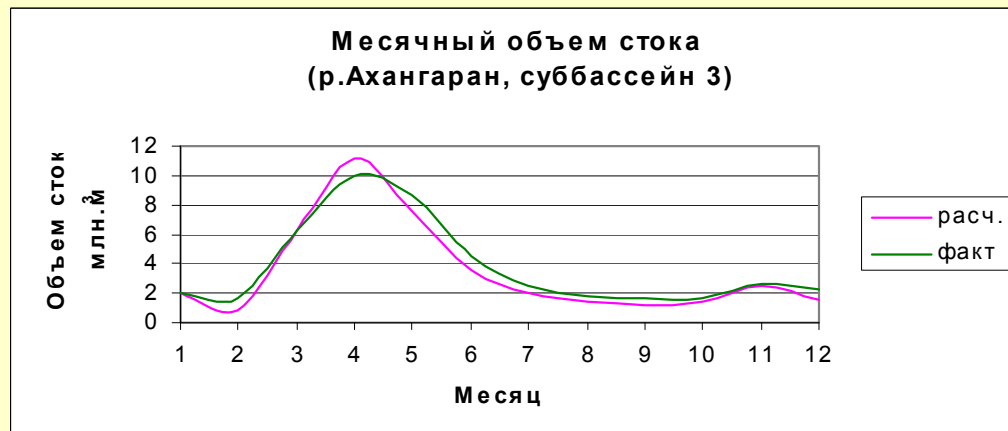
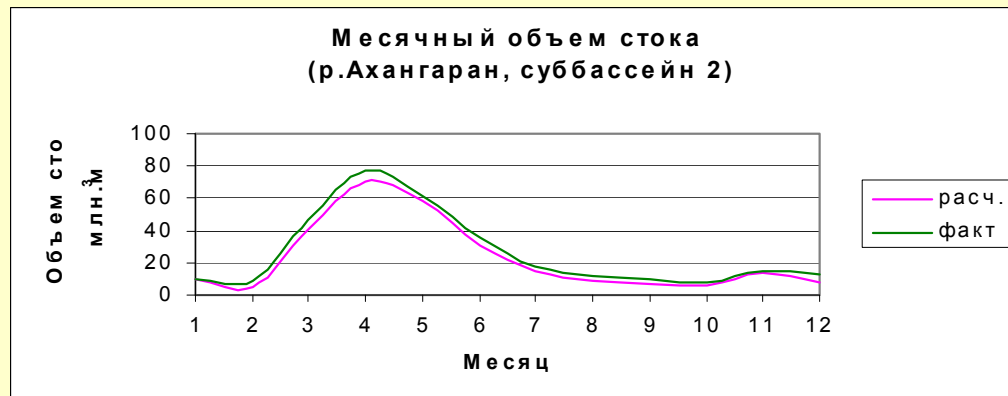
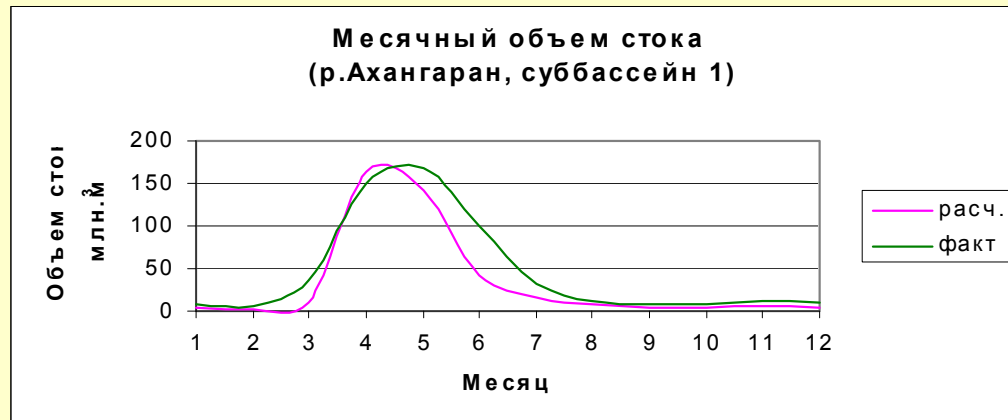
Анализ результатов расчета

Суббассейн	Корреляция			Средняя погрешность расчета месячных стоков, %			Погрешность расчета годового объема стока, %		
	1980г.	1981г.	1982г.	1980г.	1981г.	1982г.	1980г.	1981г.	1982г.
р.Ахангаран, суббассейн 1	0.912	0.989	0.983	51.6	39.9	46.1	13.6	38.7	7.3
р.Ахангаран, суббассейн 2	0.997	0.931	0.746	16.1	22.3	35.3	5.1	23.0	25.9
р.Ахангаран, суббассейн 3	0.995	0.968	0.895	19.0	25.7	34.5	8.4	22.4	35.8
р.Угам	0.986	0.942	0.746	15.4	19.3	28.9	6.4	3.6	20.8
р.Пскем	0.993	0.975	0.848	15.2	21.2	27.4	1.7	7.4	0.5
р.Коксу	0.989	0.988	0.898	18.7	19.9	38.6	17.6	1.5	3.6
р.Чаткал	0.998	0.950	0.818	12.1	32.3	31.0	4.9	13.6	9.5
р.Аксагата	0.987	0.945	0.831	18.4	21.7	32.5	0.6	2.3	0.9
р.Келес	0.990	0.951	0.935	17.1	16.6	24.8	0.3	9.1	22.5
Саи Паркентского района	0.996	0.968	0.901	21.1	21.3	25.5	15.5	1.8	18.8

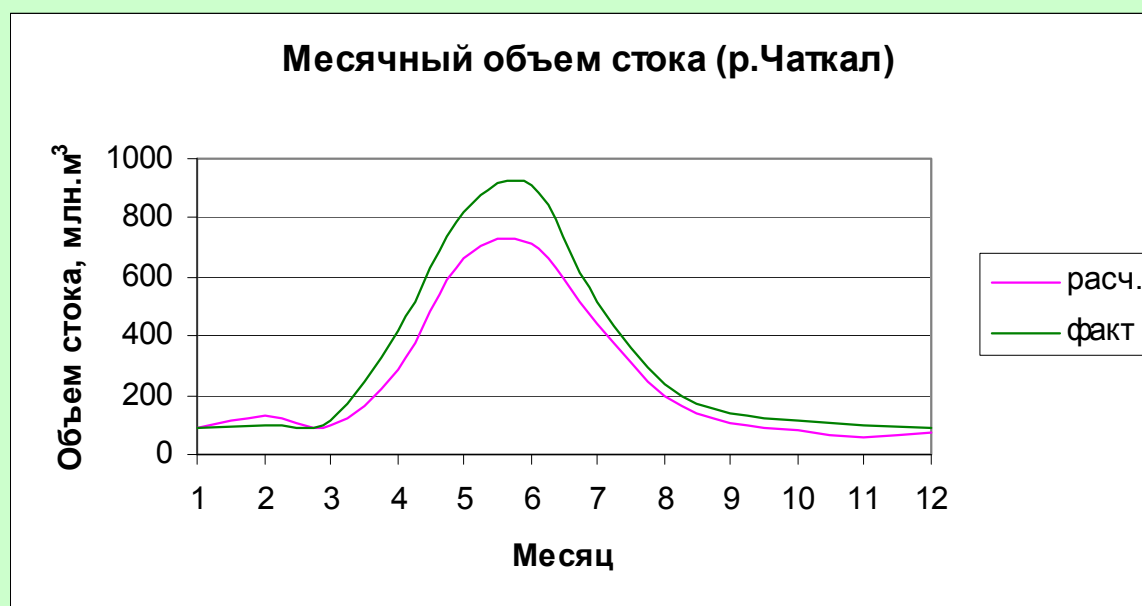
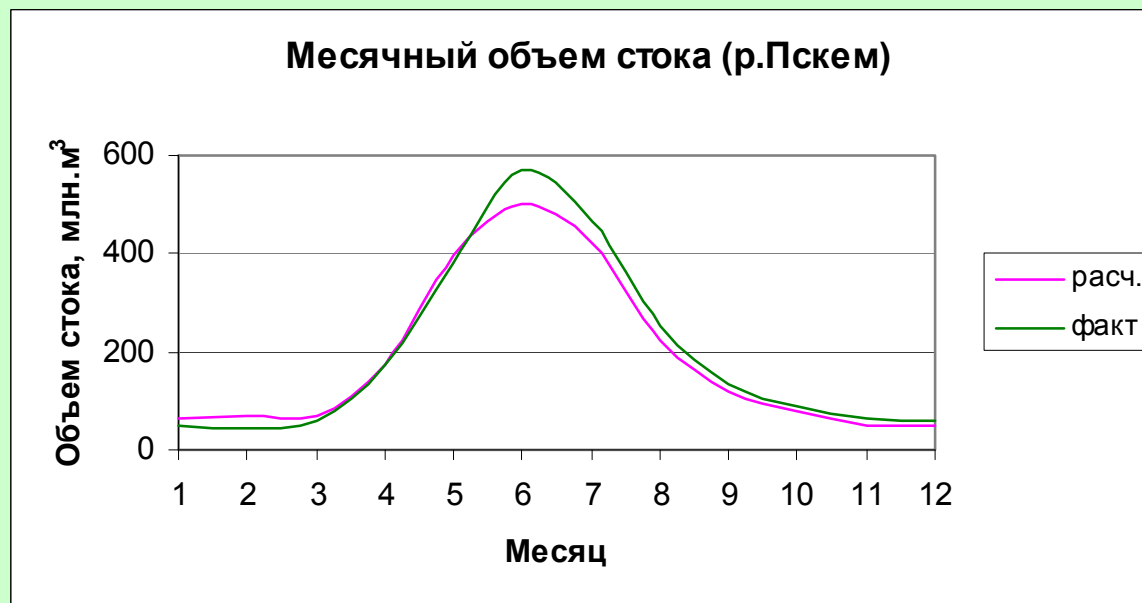
Тестирование калиброванной модели

Тестирование калиброванной модели
проведено по климатическим данным
1984 и 1985г.г.

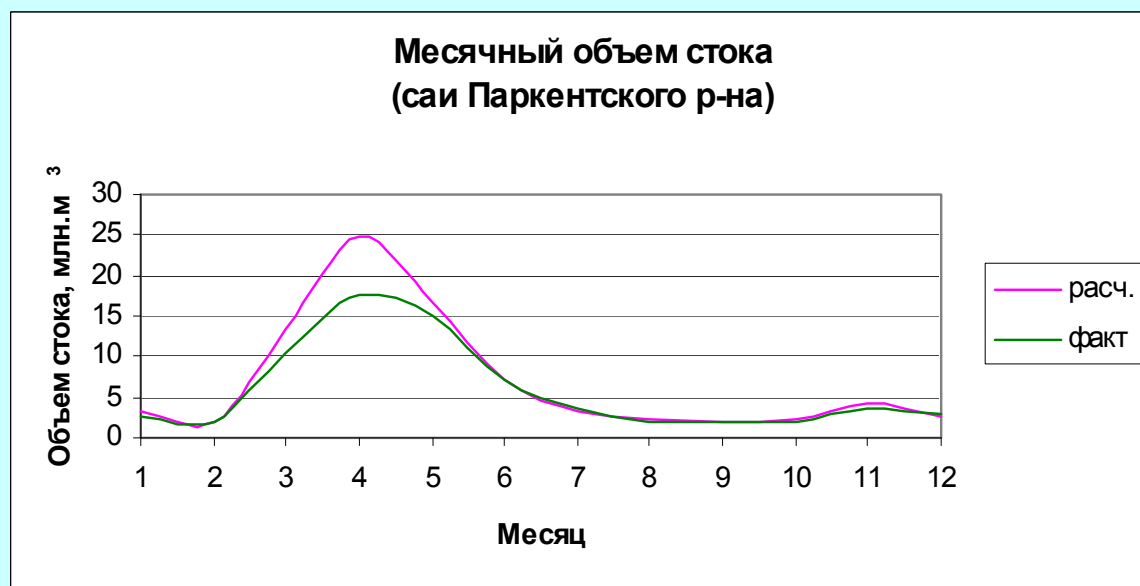
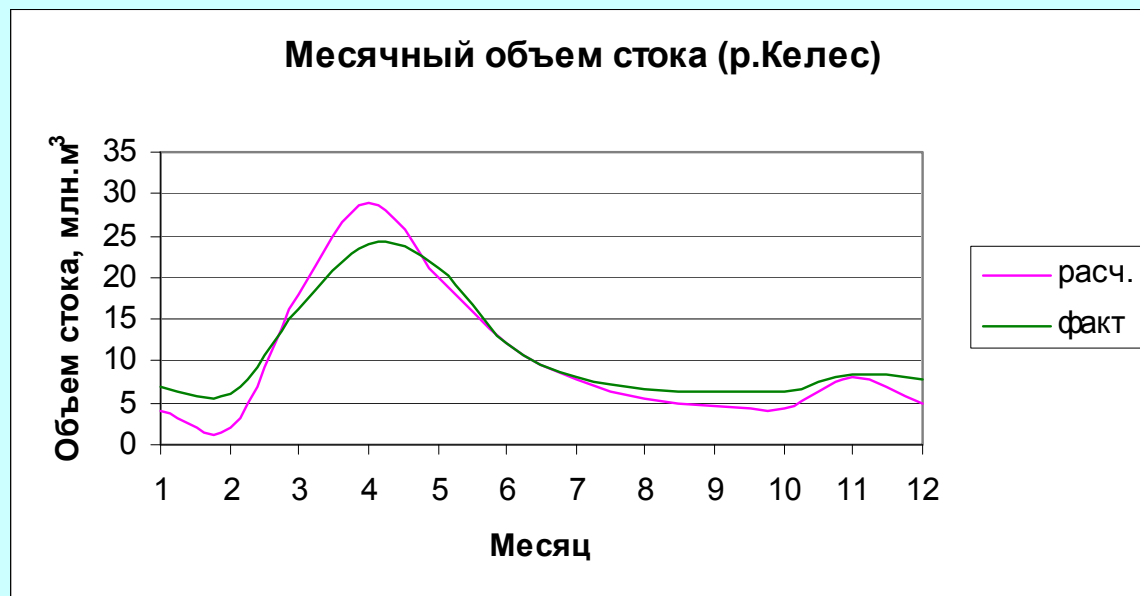
1984г.



1985г.



1984г.



Результаты тестирования калиброванной модели

Суббассейн	Корреляция		Ср.погрешность расч.мес.стоков,%		Пограшность расч.год.стока,%	
	1984г.	1985	1984	1985	1984	1985
р.Ахангаран, суббассейн 1	0.952	0.948	46.7	51.9	26.2	24.9
р.Ахангаран, суббассейн 2	0.998	0.957	19.2	25.6	13.2	33.3
р.Ахангаран, суббассейн 3	0.986	0.988	19.2	24.9	9.7	29.9
р.Угам	0.986	0.987	17.3	14.2	1.0	5.8
р.Пскем	0.966	0.993	22.6	16.8	13.8	5.6
р.Коксу	0.960	0.992	23.8	20.8	21.1	5.1
р.Чаткал	0.966	0.994	26.7	22.7	23.4	19.7
р.Аксагата	0.964	0.966	22.3	25.3	1.3	22.9
р.Келес	0.982	0.972	22.0	23.7	7.4	24.4
Саи Паркентского района	0.987	0.979	14.7	24.3	17.8	12.7