



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему

**Восстановление ряда
ежедневных расходов воды
р. Великой (д. Пятоново) за 2003 г.**

Исполнитель Породников Антон Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

В.К.
(подпись)

Д.Т.Н., профессор
(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2016г.

Санкт-Петербург
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему **Восстановление ряда
ежедневных расходов воды
р. Великой (д. Пятоново) за 2003 г.**

Исполнитель Породников Антон Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

Д.Т.Н., профессор
(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург
2016

Содержание

Введение	3
1 Физико-географическое описание района исследования	5
1.1 Географическое понижение и рельеф	5
1.2 Геологическое строение	7
1.3 Почвенный покров	8
1.4 Растительность	8
1.5 Климатическая характеристика	9
1.6 Водный режим	12
1.7 Исходные данные	14
2 Математический аппарат	18
2.1 Регрессионная зависимость	18
2.2 Модель формирования стока	19
2.3 Оценки точности метода прогнозирования и оправдываемости прогнозов	20
3. Восстановление расходов воды за 2003 год	23
3.1 Регрессивная зависимость	23
3.2 Параметризация математической модели	25
3.3 Снегозапасы и водоотдача	32
3.4 Поверочные прогнозы	33
3.5 Расчет расходов за 2003 г.	34
Выводы	45

Введение

Многие отрасли народного хозяйства, деятельность которых тесно связана с использованием водных ресурсов, нуждаются в различного рода, гидрологических прогнозах. Прежде всего, укажем на прогнозы уровней воды, необходимые для обеспечения судоходства и лесосплава на реках. Также большое значение имеют гидрологические прогнозы в деле борьбы с последствиями наводнений, вызываемых интенсивным снеготаянием, сильными ливнями, заторами и зажорами льда. Предупреждения о наводнениях позволяют принять меры, значительно снижающие убытки, причиняемые разливами рек. Сельское хозяйство нуждается в прогнозах водности, являющихся источником орошения.

Весеннее половодье, которое обычно наблюдается на реках, представляет собой чрезвычайно сложное многофакторное явление, определяемое целым комплексом взаимосвязанных во времени процессов, а именно: поступление (подачи) воды на поверхность бассейна за счет таяние снега и осадков, процессов поглощения, задержание и потери этой воды, процессов стаивания её избытков в русловую сеть. К этому добавляется еще приток в русловую сеть подземных вод, постоянно питающих реки. Поэтому, основными задачами в данной работе являются:

1. Выбор и анализ исходных данных для моделирования процесса формирования половодья на реке Великая за 2003 г.
2. Выбор модели формирования стока, учитывающий процесс водоотдачи из снежного покрова.
3. Выполнение параметризации модели, с целью нахождения оптимальных параметров.
4. Оценка эффективности поверочных прогнозов расходов воды на зависимом и независимом материале.
5. Моделирование гидрографа стока за 2003 г.

Цель работы – восстановить сток р. Великой (д. Пятоново) за 2003 г. в виду отсутствия данных в ежегодниках по данным температуры и осадков. Новизна в восстановлении стока всего года при делении его на 4 периода:

- первый период накопления снеготаяния с начала календарного года до устойчивого перехода температуры к положительным значениям,
- второй период снеготаяния до даты суммы положительных температур равной сумме отрицательных предыдущего периода,
- третий летне-осенний период до устойчивого перехода температуры через 0 к отрицательным значениям,
- четвертый период зимней межени до конца календарного года.

Для восстановления года использовались фактические и рассчитанные снеготаяния. Параметры модели определялись по годам аналогичным по метеоусловиям. Поиск параметров модели велся вручную, а затем уточнялся программой “Поиск решения” пакета Excel. Так же выполнялось сравнение расходов 2003 года с 2002 и 2004гг. по измеренным уровням по связи $Q(H)$.

Карта водосбора



1 Физико-географическое описание района исследования

1.1 Географическое понижение и рельеф

Длина реки – 430 км, площадь её водосборного бассейна – 25 200 км², среднегодовой расход воды в устье – 134 м³/сек. Исток реки находится на Бежаницкой возвышенности, впадает в Псковско-Чудское озеро. Весной половодье до полутора метров. Ледостав с ноября по апрель. Судоходна в нижнем течении. На реке расположены города Опочка, Остров, Псков. На берегах реки расположено множество объектов культурно-исторического значения. В верховьях Великая пользуется популярностью у рыбаков, водных туристов и любителей отдыха на природе.

Исток Великой находится на Бежаницкой возвышенности, в 4 км к северу от озера Большой Вяз и в 1 км к востоку от озера Ельно в Вязовской волости Новосокольнического района. В верховьях протекает цепочку озёр — Большой Вяз, Ходшо, Большое Остриё, Хвойно, Ченое. После них на протяжении 15 километров река шириной 7—10 метров быстро течёт в лесистых берегах, сильно петляя. На этом участке на реке две плотины. Ниже по течению река протекает большое озеро Верято (Копылковское водохранилище). По выходу из озера ширина реки составляет 15—20 метров, здесь же, у деревни Копылок находится частично демонтированная и сейчас недействующая Копылковская ГЭС. Далее река течёт на запад чередуя плёсы с мелкими каменистыми перекатами. Берега очень живописные, покрыты сосновым лесом. На участке до устья правого притока Алоли Великая проходит ещё несколько озёр — Быстрое, Яское, Звериное и Езерище. Между Быстрым и Яским у деревни Поддубье — разрушенная плотина Поддубской ГЭС.

На участке между устьями Алоли и Идрицы река преодолевает порожистый участок, который, однако, в половодье полностью скрывается под водой. За устьем Идрицы (в 5 километрах вверх по притоку расположен посёлок Идрица) Великая резко поворачивает на север.

В этом районе, недалеко от деревни Максютино находится действующая Максютинская ГЭС. Ширина реки увеличивается до 30—40 метров, лесов по берегам становится меньше, населённость берегов больше, перекаты попадаются реже. На участке до Опочки на реке ещё несколько плотин, в том числе и действующая Шильская ГЭС у деревни Шильское.

Ниже Опочки после впадения справа Кудки леса по берегам почти исчезают, скорость течения ослабевает. В месте, где в Великую впадает Сороть, она протекает в 5 километрах от посёлка Пушкинские Горы и Пушкинского заповедника. Начиная от устья Синеи ширина Великой возрастает до 60—70 метров. До города Остров река преодолевает ещё один порожистый участок и образует здесь многочисленные острова с протоками между ними.

Ниже Острова Великая на протяжении пяти километров принимает сразу три больших левых притока — Утрою, Кухву и Вяду. Ширина реки увеличивается до 100 метров, скорость течения сильно ослабевает. Берега здесь безлесые, населённые.

Непосредственно перед Псковом на Великой расположен ещё один короткий и крайне мелкий порожистый участок — Выбутские пороги. После того, как река принимает уже в черте города два правых притока Черёху и Пскову, ширина Великой составляет более 100 метров. Далее Великая впадает в Псковское озеро 15 километрами ниже Пскова, формируя небольшую дельту, основными протоками которой являются Гладышная, Средняя, Ворона.

Река Великая – деревня Пятоново

Пост находится у деревни, в 5.4 км ниже впадения р. Щепец.

Прилегающая местность – распаханная равнина, местами поросшая кустарником и смешанным лесом, сложенная супесчаными и суглинистыми грунтами. Долина реки ясно выражена, шириной 50-75 м, затопляемой при уровне 330 см над нулем поста. Русло реки прямолинейное, с пологими (правый более высоким) берегами, местами подверженными деформациями. Дно сложено известняком.

В 2.5 км выше поста-сравнительно большой остров, в 1,8 км ниже начинается Выбутские пороги. В 1.7 км выше поста на левом берегу при высоких уровнях образуется протока, которая в 0.5 выше поста соединяется с рекой. В 1.8 выше поста и в 2.5 ниже почти ежегодно наблюдаются заторы льда. Зимой на всем участке поста наблюдаются заторы льда. Зимой на всем участке поста наблюдается сильнейшая зашугованность русла, оказывающая заметное влияние на точность измерения расходов воды в этот период.

Пост расположен на правом берегу и состоит из свай и реперов. Высота БС реперам поста передана нивелировкой ГМС IV кл. 1954 г. Отметка нуля поста 39.54 м БС. Гидроствор № 2 расположен в створе поста.

1.2 Геологическое строение

Территория расположена в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании. Осадочные коренные образования области представлены преимущественно отложениями палеозоя: толщами нижнего кембрия, нижнего, среднего и верхнего ордовика, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона.

Древние стратиграфические горизонты палеозойской группы осадков полого под углом 10 -15 ° разгружаются по более молодые в направлении с северо-запада на юго-восток.

Некоторое развитие карст имеет в пределах распространения карбонатно-гипсовых отложений среднего девона на территории Псковской области. В левобережной части долины р. Великой встречаются карстовые воронки и провалы, приуроченные к участкам неглубокого залегания чудовских и буречских известняков. Довольно сильно закарстованы доломиты псковско-чудских слоев в верховьях р. Великой.

Карстовые массивы служат хорошими аккумуляторами подземных вод. Карстовые формы рельефа развиваются на тех участках, где мощность четвертичных отложений сокращается до нескольких метров, или они представлены водопроницаемыми породами.

1.3 Почвенный покров

Основными процессами почвообразования на данной территории являются подзолообразование и заболачивание, что обусловлено положением территории в зоне с холодным, влажным климатом, а также преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительности. Для северной части Псковской области характерно сочетание подзолистых почв легкого механического состава от песчаных до легких суглинков и заболоченных. Для южной части области характерна значительно большая связность почв (более тяжелый механический состав) и меньшая их оподзоленность, чем в северной части.

Рассматриваемая территория расположена в зоне достаточного и избыточного увлажнения. Однако влагозапасы в почвогрунтах также находятся в прямой зависимости от механического состава и глубины залегания грунтовых вод.

1.4 Растительность

Территория расположена в основном в зоне смешанных лесов. Наиболее характерны темнохвойные (еловые) леса. Они приурочены к водоразделам с суглинистыми и частично супесчаными почвами. Широко распространены заболоченные еловые леса (сфагновые ельники). На более легких песчаных и супесчаных почвах широко распространены сосновые леса. Состав лиственных лесов представлен главным образом мелколиственными породами (березой, осиной, ольхой).

Под влиянием вырубок и пожаров широко распространились производные березовые и осиновые леса, а также серо-ольховые заросли. В нижнем течении р. Великой залесенность уменьшается до 40-30 %.

1.5 Климатическая характеристика

Радиационный баланс. Значение годового радиационного баланса изменяется в пределах 32 -35 ккал/см², составляя 40 - 45 % суммарной радиации. Период с положительным радиационным балансом длится от третьей декады марта до начала ноября. Наибольших значений радиационный баланс достигает в мае-июле, составляя 7,0 ккал/см, т.е. 50 -60 % суммарной радиации, наименьших - в декабре - январе. Сумма отрицательного радиационного баланса в среднем равна 2-3 ккал/см.

Температура воздуха. Средняя годовая температура воздуха колеблется от 2 °С в северо-восточной части до 4,5 °С в южной.

Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Средняя месячная январская температура около -7 °С. Самым теплым месяцем является июль со средней температурой воздуха 16-17 °С.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через нуль. Весна начинается в конце марта - начале апреля. Весна характеризуется частыми возвратами холодов, а иногда и кратковременными установлениями снежного покрова. К концу апреля вся территория освобождается от снежного покрова.

Лето, за начало которого принимается переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С, наступает в первой декаде мая. Наибольшая продолжительность лета - около 4 месяцев. Осень наступает в конце первой - начале второй декады сентября. Продолжительность осени около двух месяцев. Зима начинается во второй декаде.

Приблизительно с половины декабря средняя суточная температура воздуха переходит через -5°C . Этот период длится до середины марта, т.е. в среднем три месяца.

Осадки. Данная территория относится к зоне избыточного увлажнения. Это объясняется сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все сезоны года.

На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность, ведущие к нарушению плавного характера изменения осадков.

В среднем в год выпадает 550 - 750 мм осадков. Годовое количество их возрастает с юго-запада на северо-восток.

Внутри года осадки распределяются неравномерно. Характер их распределения по территории в теплый и холодный период имеет много общего с годовым, однако в теплый период года влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно, нежели в холодный.

Количество осадков за теплый период колеблется от 450 до 550 мм (апрель - октябрь). Осадки холодного периода (ноябрь - март) составляют примерно 40-45 % годовых. За холодный период выпадает 150 - 200 мм осадков.

Снежный покров. Устойчивый снежный покров устанавливается во второй декаде декабря. В начале зимнего сезона высота снежного покрова невелика - менее 10 см. Максимальной мощности он достигает в третьей декаде февраля - второй декаде марта. Средняя из наибольших высот снежного покрова составляет менее 30 см. Запас воды в снеге распределяется по территории в соответствии с мощностью снежного покрова. Наибольших своих значений снегозапасы достигают к моменту снеготаяния. Средний из наибольших запасов воды в снежном покрове в поле не превышает 70 мм.

Продолжительность устойчивого снежного покрова колеблется от 100-110 дней. Разрушение устойчивого снежного покрова происходит в конце марта.

Влажность воздуха. Упругость водяного пара наименьших значений достигает в феврале (2,4 - 2,8 мб). Начиная с марта происходит увеличение влагосодержания воздуха, особенно интенсивное от мая к июню и от июня к июлю (на 3 - 4 мб). Максимального значения упругость водяного пара достигает в июле (12 - 14 мб). В августе влажность начинает понижаться в среднем на 0,4 - 0,6 мб, а в сентябре и октябре на 3 - 4 мб.

Максимальное значение относительной влажности воздуха наблюдается в ноябре-январе (85 %).

В период минимума (май-июнь) величины относительной влажности не опускаются ниже 50 - 55 %. Дефицит влажности наименьшие значения имеет в холодное время года.

Испарение с суши. Величина испарения является одним из основных расходных элементов водного баланса, на который затрачивается 50 - 70 % атмосферных осадков, поступающих на поверхность водосборов. Суммарное испарение в верхнем течении р. Великой - 500 мм, в среднем - 480 мм, в Чудско-псковском озере - 460 мм.

Ветер. На рассматриваемой территории в течение всего года преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений. Повторяемость этих направлений, как правило, превышает 50 %. При этом наиболее часто они отмечаются в холодный период года.

Под влиянием орографии преобладающее направление ветра искажается. Так, в долинах рек преобладают ветры, дующие вдоль долин. Еще в большей степени от местных условий зависит скорость ветра. Максимальные скорости ветра приходятся на октябрь-декабрь (3,5 - 5 м/с, а на озерах 8, 9 м/с).

Наименьшие скорости наблюдаются в июле-августе (2 - 4 м/с и до 5,0 м/с - над крупными водоемами). Преобладают ветры со скоростью 3 - 4 м/с.

1.6 Водный режим

Наблюдения над уровнем воды рек были начаты в 1876-1880 гг. Река Великая и ее притоки относятся к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. В годовом ходе уровня воды четко выражены 4 фазы: весеннее половодье, летне-осенняя межень, почти ежегодно нарушаемая дождевыми паводками, затем короткий осенне-зимний период с несколько повышенной водностью рек, и, наконец, устанавливается зимняя межень, в некоторые годы прорываемая подъемами уровней в периоды оттепелей; чаще подъем уровней вызван подпором от зажорных явлений.

Распределение весеннего (снегового), дождевого и грунтового стока в году находится в прямой зависимости от физико-географических факторов: рельефа, характера почвогрунтов, распределения по территории осадков, геологического строения местности. В таблице приводятся данные распределения стока в % от годового за многолетний период. Наибольшая доля грунтового стока (22-28 %, в отдельных случаях до 43 %) характерна для рек, расположенных в районах с преобладанием песчаных и супесчаных почв (верховье р. Великой).

Весеннее половодье в бассейне р. Великой начинается в третьей декаде марта. Средняя интенсивность подъема по территории составляет 22 мм/сутки, но в зависимости от дружности весны, особенностей местных условий, она может колебаться в больших пределах, как по территории, так и от года к году.

Высота подъема весеннего половодья над меженным уровнем колеблется от -2,0 м на притоках до 5 - 6 м на самой р. Великой.

Для рек бассейна р. Великой характерна одна волна половодья, форма гидрографа одновершинная. В формировании весеннего половодья помимо талых вод участвуют дожди, доля которых в объеме половодья не велика (2-5% суммарного стока). Основная доля стока половодья формируется талыми водами. Величина грунтового стока незначительна и составляет приблизительно 5-15%. Спад весеннего половодья, как правило, носит затяжной характер. Средняя продолжительность его колеблется от 39 дней до 49. При неблагоприятных условиях погоды до 60 - 69 дней. Общая продолжительность весеннего половодья составляет 55 - 65 дней, наибольшая 89-105 дней.

Весенний ледоход сопровождается заторами, которые вызывают значительные подъемы уровня. На р. Великой почти ежегодно наблюдаются заторы. Летне-осенняя межень обычно наступает в начале - середине июня и заканчивается в октябре. В бассейне р. Великой отмечается наиболее раннее начало межени (в первой декаде июня) и наибольшая ее продолжительность (120 дней).

Летне-осенняя межень характеризуется незначительными колебаниями уровней. Наименьшие уровни отмечаются в июле, августе, реже в сентябре; средняя продолжительность стояния их на большинстве рек 15-20 дней, наибольшая - до 70 дней.

Ежегодно 2-3 раза межень нарушается дождевыми паводками. Особенно дождливыми бывают август - октябрь. Наиболее высокие паводки в бассейне р. Великой наблюдаются потому, что здесь преобладает более расчлененный рельеф и суглинистые слабопроницаемые почвы, благодаря чему происходит быстрое стекание воды при малых потерях на инфильтрацию.

Зимняя межень устанавливается в конце ноября - середине декабря; наиболее ранние даты приходятся на конец октября, начало ноября, наиболее поздние - на январь. Заканчивается зимняя межень с началом подъема весеннего половодья в среднем в конце марта - первой декаде апреля.

Средняя продолжительность межени изменяется от 84 до 115 дней, увеличивается с северо-запада на северо-восток. Наиболее маловодный период в феврале, марте; средняя продолжительность его 15- 20 дней.

В бассейне р. Великой явления пересыхания и перемерзания отмечаются редко.

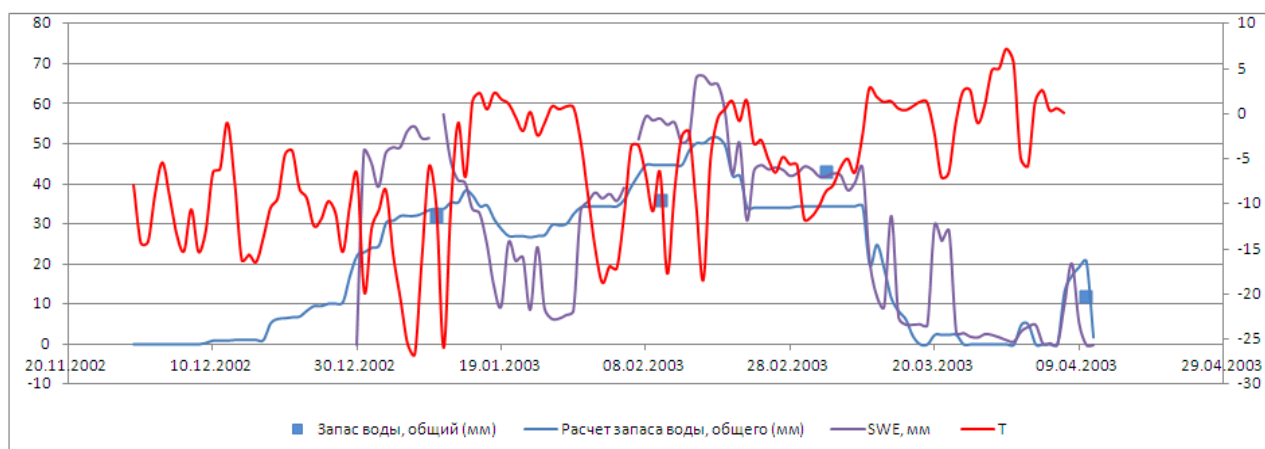
Роль зимних паводков в режиме рек невелика. Более характерными для этих рек являются подъемы уровней воды за счет подпоров от зажоров, которые имеют место на большинстве рек, независимо от размеров последних. Повторяемость этих подъемов в многолетнем разрезе и в пределах одного года на разных реках различна. На р. Великой подъемы уровней наблюдаются ежегодно. Наибольшая продолжительность стояния подпорного уровня в 77 дней отмечена на данной реке у д. Гуйтово в 1958 году, наименьшая - 2 дня на р. Сороть у д. Осинкино в 1960 году.

1.7 Исходные данные

Были использованы данные наблюдений за период с 1954 по 2014 гг. База данных состоит из ежедневных значений:

- 1) приземной температура воздуха для станций Псков, Пушкинские Горы, Великие Луки;
- 2) осадков по указанным станциям.
- 3) рассчитанных запасов воды в снеге по данным станций Пушкинские Горы и Великие Луки;
- 4) ежедневные расходы воды р. Великая для поста Пятоново, а также уровни воды за период с 2002 по 2004 гг.

На рисунке 2 представлен пример использованных материалов расчета ежедневных снегозапасов для станции Великие Луки за зимний период 2002 – 2003 гг.



Квадратами отмечены общие запасы воды в снеге по материалам маршрутных снегосъемок. Расчет общего запаса воды в снеге выполнен по специально разработанной модели. Выполнено сравнение с данными спутникового зондирования (SWE). Т – приземная температура воздуха.

Пример таблицы исходных данных для 2002 года (частично, за первые четыре месяца).

Дата	Температура, °C	Осадки, мм	Расход воды, м ³ /с	Уровень воды, см
01.01.2002	-18,8	0,2	75,8	111
02.01.2002	-18,8	0,0	75,2	111
03.01.2002	-23,7	0,1	74,5	110
04.01.2002	-8,0	2,5	73,9	109
05.01.2002	-1,2	1,0	73,3	109
06.01.2002	-0,2	1,1	72,7	108
07.01.2002	-15,5	0,1	72	108
08.01.2002	-9,9	0,7	71,4	108
09.01.2002	-0,4	0,5	70,8	106
10.01.2002	-1,6	0,1	70,8	106
11.01.2002	1,8	0,0	70,8	106
12.01.2002	1,7	0,0	72,5	107
13.01.2002	0,2	0,0	72,5	107
14.01.2002	1,4	1,6	70,8	106
15.01.2002	0,5	0,4	70,8	106
16.01.2002	-2,3	0,0	70,8	106
17.01.2002	-5,6	0,3	72,5	107
18.01.2002	-1,4	1,9	74,8	108
19.01.2002	-1,9	1,0	76,6	109

20.01.2002	-1,7	1,4	78,3	110
21.01.2002	0,7	2,5	78,3	110
22.01.2002	0,7	1,3	80	111
23.01.2002	2,9	0,2	78,3	110
24.01.2002	1,3	3,6	78,3	110
25.01.2002	1,9	1,1	95,6	118
26.01.2002	-3,2	0,9	113	126
27.01.2002	-2,7	7,2	136	135
28.01.2002	-7,5	0,5	143	137
29.01.2002	1,1	4,3	145	138
30.01.2002	-2,6	0,7	150	139
31.01.2002	-8,8	3,6	161	142
01.02.2002	-8,0	8,0	166	143
02.02.2002	-4,7	4,7	168	143
03.02.2002	5,4	0,0	177	144
04.02.2002	1,1	0,0	230	160
05.02.2002	3,9	0,0	268	169
06.02.2002	3,8	1,8	307	179
07.02.2002	1,9	7,5	369	193
08.02.2002	2,6	0,3	459	212
09.02.2002	1,6	0,5	474	231
10.02.2002	3,8	4,9	489	213
11.02.2002	2,9	1,7	503	223
12.02.2002	3,1	6,4	518	218
13.02.2002	0,1	3,2	532	220
14.02.2002	-2,8	1,3	552	225
15.02.2002	-3,3	0,0	592	233
16.02.2002	1,5	0,0	577	230
17.02.2002	2,7	0,0	524	218
18.02.2002	1,9	0,0	514	216
19.02.2002	1,9	0,7	505	214
20.02.2002	-1,7	8,5	502	212
21.02.2002	-9,4	3,2	489	208
22.02.2002	-9,6	1,9	529	215
23.02.2002	-5,8	2,1	546	216
24.02.2002	0,7	2,1	527	211
25.02.2002	-0,9	1,7	494	202
26.02.2002	-4,4	0,0	441	189
27.02.2002	0,8	3,1	412	180
28.02.2002	2,4	4,4	357	166
01.03.2002	1,8	1,9	388	170
02.03.2002	-1,3	2,2	393	171
03.03.2002	-2,3	0,6	418	176
04.03.2002	-2,5	0,3	408	174
05.03.2002	1,9	0,5	403	173
06.03.2002	3,3	0,5	383	169
07.03.2002	3,4	3,0	363	165

08.03.2002	-2,4	0,3	413	175
09.03.2002	-1,7	3,7	464	185
10.03.2002	3,1	0,3	454	183
11.03.2002	1,2	2,1	438	180
12.03.2002	4,4	2,6	418	176
13.03.2002	3,9	1,6	423	177
14.03.2002	0,6	4,3	443	181
15.03.2002	-2,4	0,0	490	190
16.03.2002	-0,3	0,0	501	192
17.03.2002	2,2	0,0	495	191
18.03.2002	4,3	0,2	501	192
19.03.2002	6,8	0,0	501	192
20.03.2002	5,2	0,3	454	183
21.03.2002	2,7	1,7	448	182
22.03.2002	1,3	0,8	448	182
23.03.2002	0,9	0,2	443	181
24.03.2002	-0,2	0,1	438	180
25.03.2002	0,2	0,0	433	179
26.03.2002	0,3	0,0	413	175
27.03.2002	2,6	0,0	398	172
28.03.2002	4,8	0,0	368	166
29.03.2002	6,5	0,0	368	166
30.03.2002	6,5	0,0	348	162
31.03.2002	4,3	0,0	343	161
01.04.2002	6,0	0,0	328	158
02.04.2002	1,8	0,0	319	156
03.04.2002	-0,5	0,0	314	155
04.04.2002	-0,4	0,0	309	154
05.04.2002	-2,3	0,2	286	149
06.04.2002	-0,7	0,9	272	146
07.04.2002	1,9	0,0	268	145
08.04.2002	3,9	0,0	259	143
09.04.2002	5,5	0,0	242	139
10.04.2002	6,2	0,0	230	136
11.04.2002	8,0	0,0	218	133
12.04.2002	9,7	0,0	202	129
13.04.2002	10,9	0,0	199	128
14.04.2002	9,9	0,2	195	127
15.04.2002	10,3	4,5	195	127
16.04.2002	7,0	0,7	195	127
17.04.2002	3,2	0,0	195	127
18.04.2002	5,1	0,0	191	126
19.04.2002	8,1	0,0	188	125
20.04.2002	10,6	0,2	180	123
21.04.2002	9,8	0,0	173	121
22.04.2002	9,3	0,0	166	119
23.04.2002	11,0	0,0	162	118

2 Математический аппарат

2.1 Регрессионная зависимость

Для проверки используется регрессионная зависимость $Q(H)$ за период времени, где эта зависимость является однородной.

Используется уравнение линейной регрессии для двух переменных, так называемый метод наименьших квадратов. Суть метода состоит в том, чтобы определить такие расчетные параметры a и b , при которых сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений y_i от рассчитанных по формуле (2) будет иметь минимальное значение.

$$y_i = ax_i + b \quad (2)$$

Коэффициент a , который характеризует тангенс угла наклона искомой прямой, принято называть коэффициентом регрессии зависимости $\tilde{y}(x)$. Коэффициент регрессии можно представить в виде:

$$a_{y/x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

где σ_y и σ_x – среднеквадратические отклонения выборок из Y и X ; r – выборочный коэффициент парной корреляции.

Коэффициент r представляет собой эмпирическую меру линейной зависимости между Y и X . Он может принимать значения от -1 до +1. Если коэффициент корреляции по модулю равен единице, зависимость является функциональной (точки лежат на прямой без разброса). Знак “плюс” указывает на то, что зависимость прямая, знак “минус” – зависимость обратная. Чем ближе абсолютное значение r к нулю, тем слабее линейная зависимость между Y и X .

2.2 Модель формирования стока

Для решения второй поставленной задачи использовалась модель стока первого порядка

$$\tau \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{k} = X, \quad (2.1)$$

где X – интенсивность внешних воздействий, м³/с;

Q – расходы воды;

t – время;

k – коэффициент стока;

τ – параметр, характеризующий инерционные свойства бассейна.

Время добегания можно определить различными способами, в частности по эмпирическим формулам:

$$\tau = \frac{16.7LK_1}{Zl^{\frac{1}{3}} * Q^{\frac{1}{4}}},$$

где L – длина главного лога, км;

I – уклон реки, %;

Z – коэффициент, зависящий от шероховатости русла водотока;

K_1 – коэффициент, зависящий от физико- географической зоны, в которой расположен речной бассейн (0,75 – степная зона, 2 – лесная зона и горные реки);

Q – характерный расход воды.

Однако параметр τ определялся при параметризации методом обратной задачи.

Конечно - разностная аппроксимация модели представлена следующим образом:

$$\tau \frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta t} + \frac{Q_i}{k} = X_i,$$

Эффективность поверочных прогнозов оценивалась по стандартной методике $\bar{s}/\bar{\sigma}$ и $\bar{s}/\bar{\sigma}_\Delta$.

2.3 Оценки точности метода прогнозирования и оправдываемости прогнозов

За погрешность прогноза принимается разность между фактическим значением величины y и значением, указанным в прогнозе y^* :

$$\sigma = y - y^*$$

Понятие допустимой погрешности является условным, поскольку её значение назначается с учётом современных возможностей составления прогнозов. Для сравнимости оценок различных методик прогнозов допустимую погрешность назначают в зависимости от изменчивости предсказываемого явления

За допустимую погрешность прогноза принимается вероятное отклонение значений прогнозируемого элемента гидрологического режима (стока и т.п.) от среднего, где σ - среднее квадратическое отклонение значений прогнозируемого элемента гидрологического режима от среднего (стандартное отклонение):

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}},$$

где y_i - значение элемента;

$\bar{y}$ - среднее значение;

n - число членов ряда.

В случаях, когда прогнозируется изменение какой-либо величины за период заблаговременности прогноза, допустимая погрешность определяется по формуле:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n - 1}},$$

где Δ_i - изменение предсказываемой переменной за период заблаговременности прогноза (разность между начальным и конечным значениям); $\bar{\Delta}$ - среднее значение эти изменений.

Методика может использоваться на практике, если она достаточно точна. Мерой её точности служит средняя квадратичная погрешность проверочных прогнозов. При большом числе членов ряда n :

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_n^1 (y - y')^2}{n - 1}},$$

при малом числе членов ряда

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_n^1 (y - y')^2}{n - m}},$$

где y - фактическое значение величины;

y' - предсказанное значение;

n - число параметров в прогностическом уравнении.

За критерии применимости и качества методики принимается отношение $\bar{s}/\bar{\sigma}$ или $\bar{s}/\bar{\sigma}_\Delta$, т.е. отношение средней квадратичной погрешности проверочных прогнозов к квадратичному отклонению предсказываемой величины а либо к её вменению за период заблаговременности $\bar{\sigma}_\Delta$. Величина $\bar{s}/\bar{\sigma}$ является показателем того, в какой мере вариация функции определяется вариацией аргумента.

Методика прогноза считается практически приемлемой, если обеспеченность допустимой погрешности проверочных прогнозов не менее чем на 10% превышает обеспеченность вероятного отклонения предсказываемой величины от среднего. Это означает, что

при $n \leq 15$ должно быть $\bar{s}/\bar{\sigma}$;

при $15 < n < 25$ должно быть $\bar{s}/\bar{\sigma} \leq 0,75$;

при $n > 25$ должно быть $\leq 0,80$.

где n - число проверочных прогнозов.

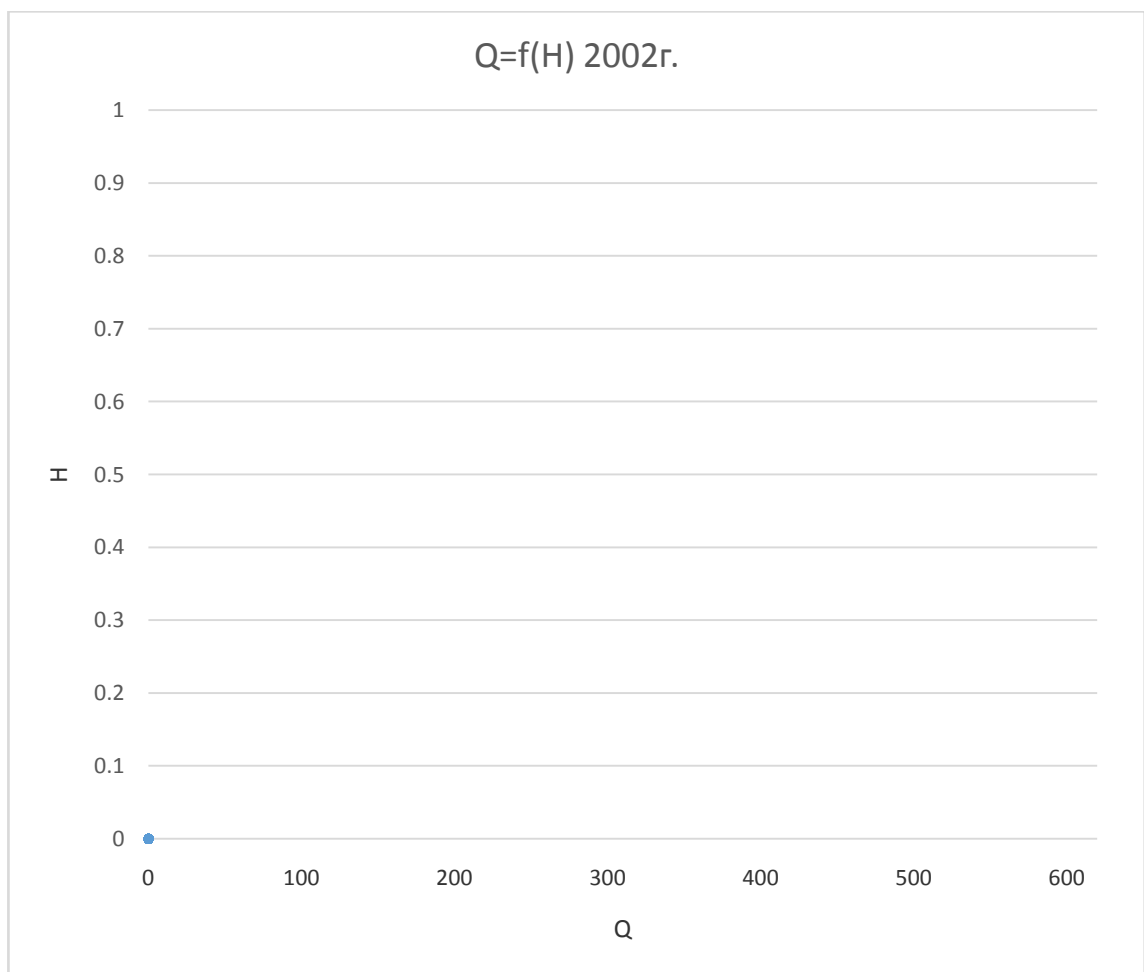
Качество методики установленное по величине $\bar{s}/\bar{\sigma}$, определяется следующим образом, если $\bar{s}/\bar{\sigma} \leq 0,50$; удовлетворительная, если $\bar{s}/\bar{\sigma} = 0.51-0.80$; хорошая.

3. Восстановление расходов воды за 2003 год

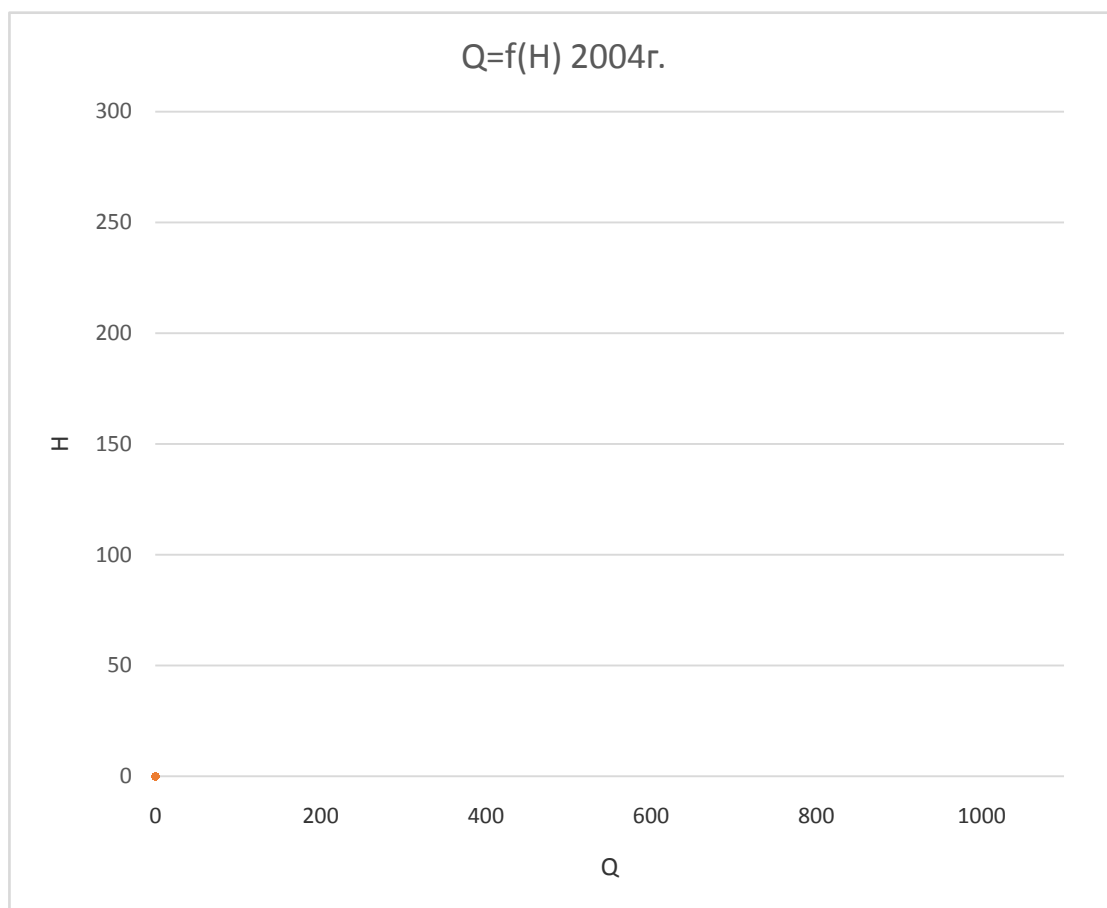
3.1 Регрессивная зависимость

Пример зависимостей за 2002 и 2004 года.

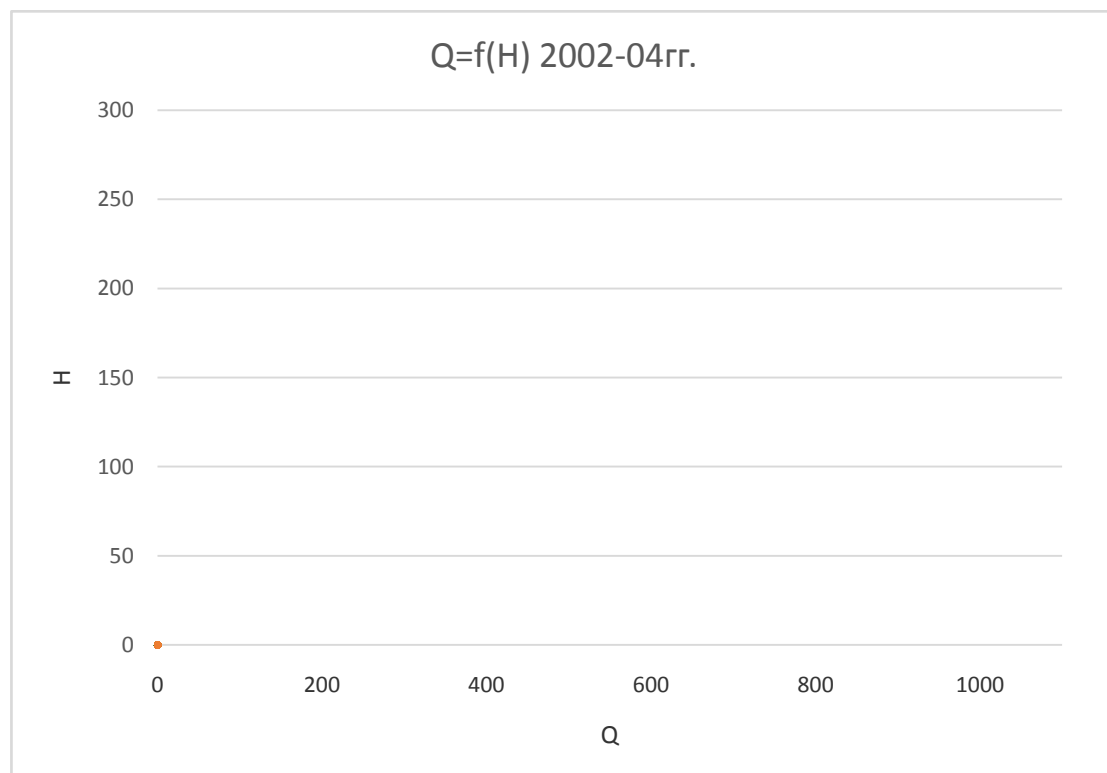
Зависимость за 2002 год



Зависимость за 2004 год



Выделяем однородный период для 2002 и 2004 годов



Графики выше показывают, что зависимость $Q(H)$ за 2002 и 2004 гг. стабильна. При наличии уровней за 2003 год, $Q(H)$ можно было бы использовать для расчета расходов, либо для проверки оных.

3.2 Параметризация математической модели

До начала расчетов год разбивается на четыре периода: период накопления снеготаяния, период снеготаяния, летне-осенний период, период зимней межени. Для расчетов использовались фактические и рассчитанные снеготаяния. Расчеты прогнозных значений Q , велись по выше перечисленным формулам, (см. раздел 2).

Параметризация модели велась путём ручного подбора параметров, и окончательным их уточнением с помощью программы “Поиск решения” пакета Excel (в программе “Поиск решения” пакета Excel используется алгоритм нелинейной оптимизации Generalized Reduced Gradient (GRG2), разработанный Леоном Ласдоном (Leon Lasdon, University of Texas at Austin) и Аланом Уорреном (Allan Waren, Cleveland State University). Алгоритмы симплексного метода и метода «branch-and-bound» для решения линейных и целочисленных задач с ограничениями разработаны Джоном Уотсоном (John Watson) и Деном Филстра (Dan Fylstra) из Frontline Systems, Inc.)

В качестве целевых ячеек для каждого из четырех периодов использовалась сумма абсолютных отклонений фактических значений расходов воды от прогнозных за данный период. Изменяемыми параметрами были k - коэффициент стока, τ - параметр.

Такая работа была проведена для всех лет с аналогичным метеорологическим режимом. То есть проведена выборка лет схожих с 2003 годом по метеопараметрам. Результат ниже в таблице.

Таблица, выборка лет по метеопараметрам

№	сортировка температуры по		сортировка осадков по	
	среднему	коэффициенту корреляции	среднему	коэффициенту корреляции
1	2003	2003	2003	2003
2	1988	1960	1987	1962
3	2004	1987	1998	1987
4	1957	1958	1990	1974
5	1972	1982	2009	1979
6	2005	1976	2010	1980
7	1974	1985	2008	1988
8	1997	1981	1978	1967
9	1981	2004	1985	1978
10	2001	2008	2012	1971
11	2012	1975	1997	1966
12	1982	1971	1960	1965
13	2010	1969	1966	1989
14	1984	1963	1977	1993
15	1959	2012	1989	1969
16	1998	2011	1988	1956
17	2009	1954	2004	2011
18	1961	2010	1986	2006
19	2006	2009	1981	1963
20	1994	1966	1957	2005
21	2002	1965	1967	1964
22	1995	1996	2006	1983
23	1971	1986	2007	2004
24	1992	1997	1962	1986
25	1991	1994	1995	1954
26	1967	1991	1991	1957
27	1983	1999	1984	2012
28	1973	1972	1994	1961
29	1993	1974	1993	2007
30	1986	2005	2001	2000
31	2013	1970	1970	1990
32	1977	1983	1992	1994
33	1964	1979	1983	1998
34	1979	1956	1968	1999
35	1990	1984	2013	1958
36	1999	2001	1956	2014
37	2014	1973	1979	1970
38	1975	1955	1958	2008
39	1996	1964	2000	1968
40	2007	1990	2005	1977
41	2000	1980	1980	2002

42	2011	2013	2011	1960
43	1960	2006	1974	1972
44	1962	2002	1996	1981
45	1954	1967	1961	2001
46	1958	1957	2002	1975
47	1970	1988	1972	1959
48	1966	1977	2014	1973
49	2008	1968	1954	1985
50	1989	1962	1973	1955
51	1955	1992	1982	2009
52	1980	1959	1999	2010
53	1968	1993	1976	1982
54	1978	1995	1975	1997
55	1965	1961	1969	2013
56	1985	1998	1971	1984
57	1963	2007	1955	1976
58	1976	1978	1965	1995
59	1969	2000	1959	1991
60	1987	2014	1963	1992
61	1956	1989	1964	1996

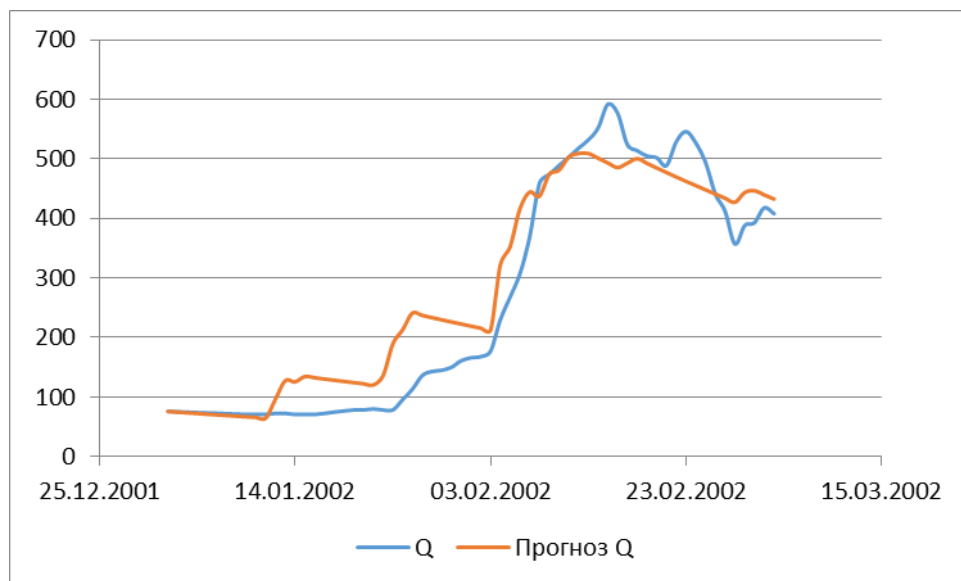
В процессе оптимизации были получены оптимальные значения параметров для каждого расчетного года, далее с помощью осреднения были найдены параметры для 2003 года.

Таблица, первичные оптимальные параметры

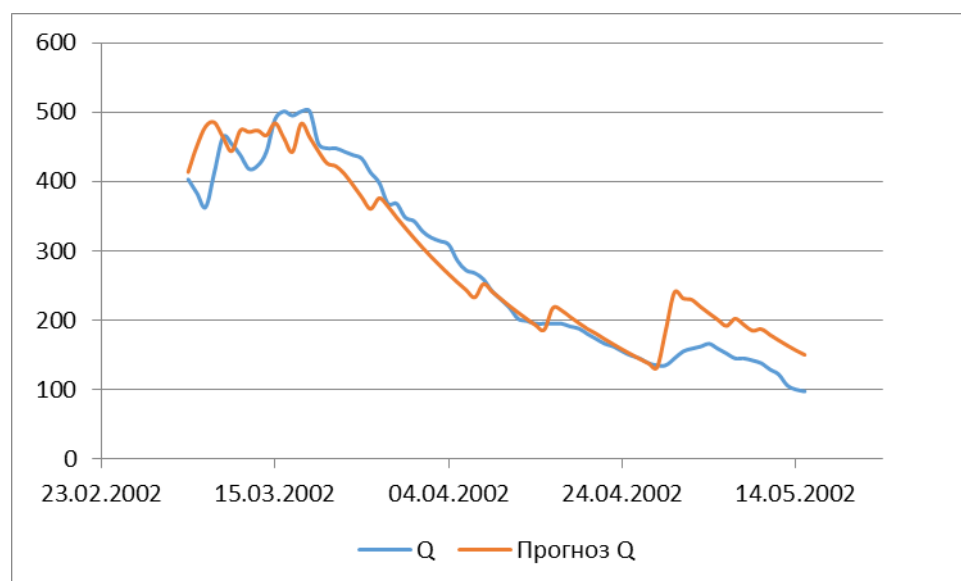
год	1 период		2 период		3 период		4 период	
	k	τ	k	τ	k	τ	k	τ
1971	0,76	78	1,39	8	0,05	275	28072,22	44
1972	0,35	62	0,29	76	0,09	185	53,81	3
1974	0,49	86	0,48	53	0,18	69	313,4	229752
1975	0,01	5334	0,94	28	0,07	225	0,5	296
1976	0,04	2414	0,35	50	0,07	140	0,38	155
1982	6074405,93	131	0,79	22	0,11	90	14162,7	22
1983	1,12	36	0,87	19	0,08	220	26218,01	116
1999	0,89	35	0,74	35	0,06	114	6601,49	104
2005	0,87	114	0,67	26	0,08	228	0,27	282
2011	5755,58	138	0,8	20	0,06	147	-	-
2002	1,19	52	0,88	26	0,05	275	0,5	265
2004	0,02	11299	0,73	26	0,11	73	2,12	7

Были построены гидрографы фактических и прогнозных расходов воды за изучаемые года (для каждого из четырех периодов и за весь год целиком). Ниже представлены гидрографы за 2002 год.

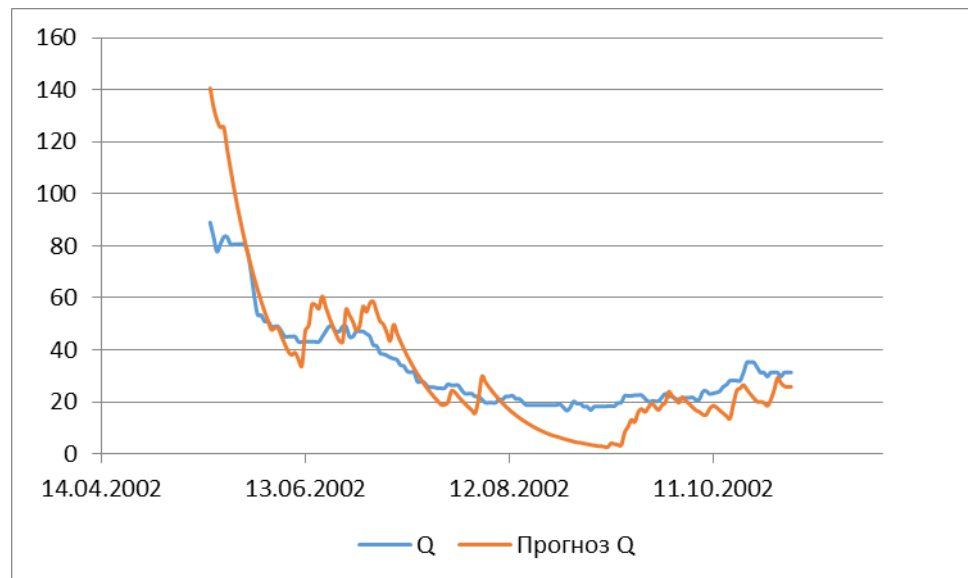
1. Период накопления снеготаяния



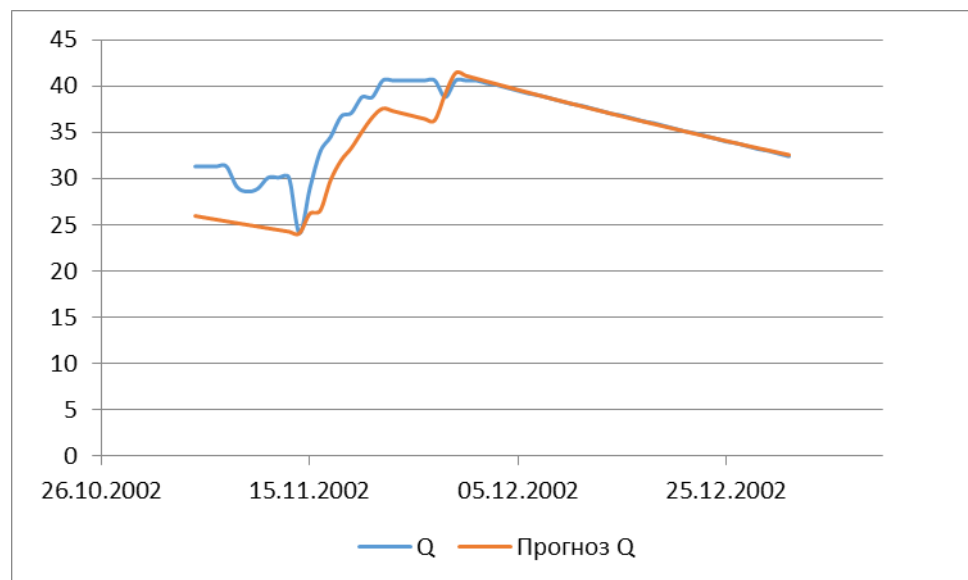
2. Период снеготаяния



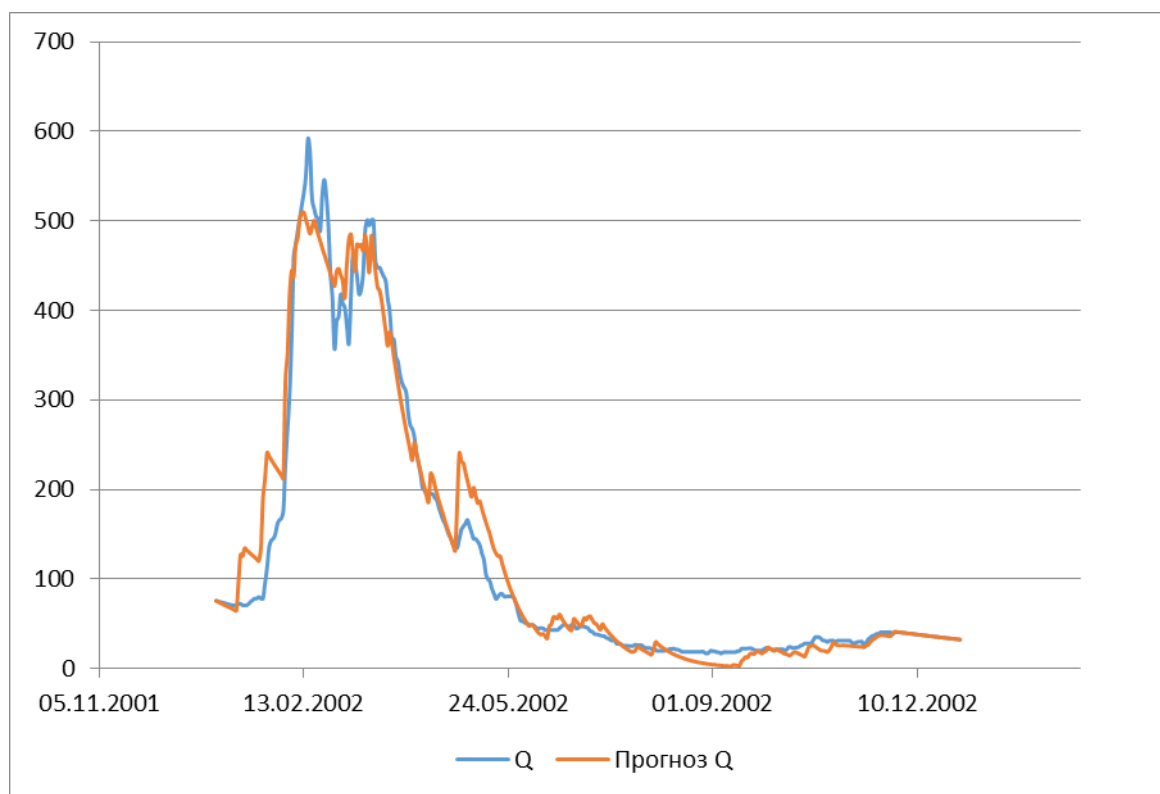
3. Летне-осенний период



4. Период зимней межени



За весь год



Гидрографы за остальные года представлены в приложении.

По полученным результатам была составлена сводная таблица, в которой была описана качественная сходимость прогнозируемого и фактического гидрографов половодья по трем параметрам (подъем, пик, спад) с комментариями.

№	Год	1-й период	2-ой период	3-й период	4-й период
1	1971	На расчетном гидрографе отсутствует пик	Спад половодья моделируется удовлетворительно	Летне-осенний период смоделирован хорошо	Наблюдается расхождение в начале периода
2	1972	Результат моделирования первого периода надежен	Расчетный гидрограф не повторяет пик фактического	Не наблюдается подъема на конце периода	Наблюдается расхождение в начале периода
3	1974	Первый период смоделирован хорошо	Имеются расхождения по всему периоду	Результат моделирования третьего периода надежен	Конец периода моделируется ненадежно
4	1975	Скачки фактических расходов не наблюдаются на расчетном	Период моделируется удовлетворительно	Отличный итоговый результат	Период смоделирован надежно
5	1976	Первый период смоделирован удовлетворительно	Расчетный гидрограф не повторяет пик фактического	Результат моделирования третьего периода надежен	Период смоделирован удовлетворительно
6	1982	Отличный итоговый результат	Пики гидрографов не сходятся	Конец периода моделируется ненадежно	Период смоделирован хорошо
7	1983	Пик на расчетном гидрографе не наблюдается	Период моделируется удовлетворительно	Отличный итоговый результат	Четвертый период смоделирован хорошо
8	1999	Первый период смоделирован хорошо	Расчетный гидрограф не повторяет пик фактического	Период смоделирован удовлетворительно	Период смоделирован удовлетворительно
9	2005	На расчетном гидрографе отсутствует пик	В начале периода отсутствует пик на расчетном гидрографе	Отличный итоговый результат	Расхождения в начале периода
10	2011	Период смоделирован хорошо	Период смоделирован хорошо	Скачки фактических расходов не наблюдаются на расчетном	Отсутствует
11	2002	Отличный итоговый результат	Отличный итоговый результат	Отличный итоговый результат	Отличный итоговый результат
12	2004	Отличный итоговый результат	Отличный итоговый результат	Пик на расчетном гидрографе не наблюдается	Период смоделирован удовлетворительно

3.3 Снегозапасы и водоотдача

Расчет интенсивности снеготаяния воды на водосборы является важным этапом построения моделей краткосрочного прогноза уровней и расходов воды в период весеннего половодья. Интенсивность снеготаяния с водоотдачи снега определяется комплексом метеорологических факторов, а также характеристиками подстилающей поверхности (абсолютная высота, уклон и экспозиция склонов, заселенность и типы лесной растительности).

В существующих оперативных методиках расчета поступления воды на водосборы в период половодья используются данные с сети метеостанций, осредненные по площади водосбора. При этом не всегда учитываются вертикальные градиенты температуры воздуха, запасов воды в снеге и сумм осадков, что приводит к большим ошибкам в расчетах для возвышенных и предгорных районов.

Применение инструментария геоинформационных систем позволяет учесть характеристики подстилающей поверхности, влияющие на снегонакопление и снеготаяние, оценить пространственное распределение интенсивности снеготаяния, рассчитать объем поступающей на водосбор воды с заданным временным шагом.

В данной работе снегозапасы и водоотдачу мы имеем как исходные данные.

3.4 Поверочные прогнозы

Оценка эффективности методики прогнозирования позволяет установить возможность ее практического применения. При оценке эффективности методики и оправдываемости прогнозов требуется выполнение двух условий:

- должна быть соблюдена объективность системы оценки прогнозов
- необходимо иметь возможность проводить сравнительную оценку

Выполнение первого условия способствует совершенствованию методик прогнозирования, а второе условие позволяет выявить среди большого числа методик наиболее эффективные.

При оценке прогнозов предполагается, что ошибки каждого прогноза случайны, а их распределение подчиняется уравнению нормального распределения. Распределение погрешностей имеет ассиметричный характер.

Всегда есть определённый предел их минимальных значений. Опытные данные показывают, что в пределах обеспеченности от 10 до 90% распределение ошибок близко к нормальному. Это и позволяет при оценке эффективности методики и оправдываемости гидрологических прогнозов использовать уравнение нормального распределения.

Поверочные прогнозы показаны ниже в разделе 3.5

3.5 Расчет расходов за 2003г.

Для расчета расходов за 2003 год используется математическая модель, с ее прямыми задачами, то есть имея осадки, водоотдачу и оптимальные параметры, рассчитывались расходы.

Оптимальные параметры нуждались в фильтрации. S/σ менее 0,8, коэффициент стока k больше нуля и менее единицы. Далее подходящие параметры усреднялись. Для каждого из четырех периодов вычислялись отдельные параметры.

Ниже представлены вычисленные оптимальные параметры:

Для первых двух периодов

$k_1 =$	$\tau_1 =$	$k_2 =$	$\tau_2 =$
0,02	8321,66	0,83	23,52

Для третьего и четвертого периодов

$k_3 =$	$\tau_3 =$	$k_4 =$	$\tau_4 =$
0,07	244,51	0,44	209,83

Ниже приведены таблицы S/σ обще годовые и для каждого периода, таблицы с общими параметрами и отфильтрованными.

год			1 период			ë			3 период			4 период		
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ
97,59	99,37	155,59	89,67	39,92	48,71	303,71	225,99	268,60	31,43	18,02	67,31	63,60	32,29	13,35
1971	S/σ =	0,64		S/σ (1) =	0,82		S/σ (2) =	0,84		S/σ (3) =	0,27		S/σ (4) =	2,42
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =		k4 =	tau4 =	
			0,76	78,17		1,39	7,62		0,05	274,72		28072,22	43,70	
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ
75,13	51,66	63,78	38,37	9,78	19,79	138,58	78,88	80,92	54,24	43,40	36,30	94,62	49,03	20,67
1972	S/σ =	0,81		S/σ (1) =	0,49		S/σ (2) =	0,97		S/σ (3) =	1,20		S/σ (3) =	2,37
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =		k4 =	tau4 =	
			0,35	61,92		0,29	75,90		0,09	185,24		53,81	3,15	
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ
101,18	56,44	65,28	47,11	9,49	14,66	146,31	83,65	76,59	96,35	39,73	47,67	127,41	90,97	79,16
1974	S/σ =	0,86		S/σ (1) =	0,65		S/σ (2) =	1,09		S/σ (3) =	0,83		S/σ (4) =	1,15
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =		k4 =	tau4 =	
			0,49	85,69		0,48	52,63		0,18	69,03		313,40	229752,06	
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ
112,01	34,26	133,13	143,37	37,64	65,51	360,96	80,54	118,83	58,49	8,81	79,61	29,38	5,18	5,68
1975	S/σ =	0,26		S/σ (1) =	0,57		S/σ (2) =	0,68		S/σ (3) =	0,11		S/σ (4) =	0,91
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =		k4 =	tau4 =	
			0,01	5344,04		0,94	28,47		0,07	225,12		0,50	296,18	
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ
81,61	56,25	90,97	36,44	6,95	7,54	195,88	108,21	112,86	39,06	17,14	19,31	46,47	8,15	18,49
1976	S/σ =	0,62		S/σ (1) =	0,92		S/σ (2) =	0,96		S/σ (3) =	0,89		S/σ (4) =	0,44
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =		k4 =	tau4 =	
			0,04	2413,84		0,35	49,99		0,07	139,55		0,38	154,53	
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ
161,82	92,23	148,86	102,42	6,69	12,90	303,34	145,85	208,21	95,17	75,69	52,10	248,69	80,59	134,50
1982	S/σ =	0,62		S/σ (1) =	0,52		S/σ (2) =	0,70		S/σ (3) =	1,45		S/σ (4) =	0,60
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =		k4 =	tau4 =	
			6074405,93	130,57		0,79	22,16		0,11	90,06		14162,70	21,69	

среднее 160,78 1983	S 86,06 S/σ =	σ 207,37 0,41	среднее 254,24	S 113,01	σ 130,01 0,87	среднее 470,48	S 174,33	σ 305,04 0,57	среднее 55,13	S 19,81	σ 41,22 0,48	среднее 57,80	S 20,62	σ 32,05 0,64
			k1 = 1,12	tau1 = 36,22		k2 = 0,87	tau2 = 18,53		k3 = 0,08	tau3 = 219,74		k4 = 26218,01	tau4 = 115,58	
среднее 153,31 1999	S 125,54 S/σ =	σ 214,74 0,58	среднее 179,79	S 40,56	σ 68,06 0,60	среднее 399,72	S 257,11	σ 318,49 0,81	среднее 33,20	S 25,23	σ 12,49 2,02	среднее 62,97	S 16,90	σ 29,16 0,58
			k1 = 0,89	tau1 = 35,05		k2 = 0,74	tau2 = 34,65		k3 = 0,06	tau3 = 114,13		k4 = 6601,49	tau4 = 104,17	
среднее 121,42 2002	S 30,81 S/σ =	σ 151,73 0,20	среднее 262,66	S 57,91	σ 194,58 0,30	среднее 277,19	S 40,20	σ 131,02 0,31	среднее 33,40	S 12,44	σ 17,18 0,72	среднее 35,67	S 2,87	σ 4,04 0,71
			k1 = 1,19	tau1 = 52,07		k2 = 0,88	tau2 = 26,07		k3 = 0,05	tau3 = 274,50		k4 = 0,50	tau4 = 265,14	
среднее 181,18 2004	S 71,46 S/σ =	σ 193,86 0,37	среднее 138,15	S 1,23	σ 11,41 0,11	среднее 390,42	S 79,67	σ 311,96 0,26	среднее 91,29	S 80,10	σ 74,87 1,07	среднее 262,18	S 82,34	σ 123,74 0,67
			k1 = 0,02	tau1 = 11299,28		k2 = 0,73	tau2 = 26,37		k3 = 0,11	tau3 = 72,52		k4 = 2,12	tau4 = 7,37	
среднее 137,44 2005	S 77,09 S/σ =	σ 135,71 0,57	среднее 187,42	S 110,12	σ 121,67 0,91	среднее 339,80	S 128,76	σ 131,60 0,98	среднее 66,03	S 27,04	σ 46,31 0,58	среднее 36,80	S 10,85	σ 4,87 2,23
			k1 = 0,87	tau1 = 113,92		k2 = 0,67	tau2 = 25,89		k3 = 0,08	tau3 = 228,45		k4 = 0,27	tau4 = 281,54	
среднее 117,28 2011	S 78,10 S/σ =	σ 180,22 0,43	среднее 89,09	S 16,78	σ 19,43 0,86	среднее 347,50	S 161,25	σ 305,07 0,53	среднее 46,64	S 41,43	σ 26,30 1,58	отсутствует период с устойчивым переходом температуры к отрицательным значениям		
			k1 = 5755,58	tau1 = 137,73		k2 = 0,80	tau2 = 19,50		k3 = 0,06	tau3 = 146,92				

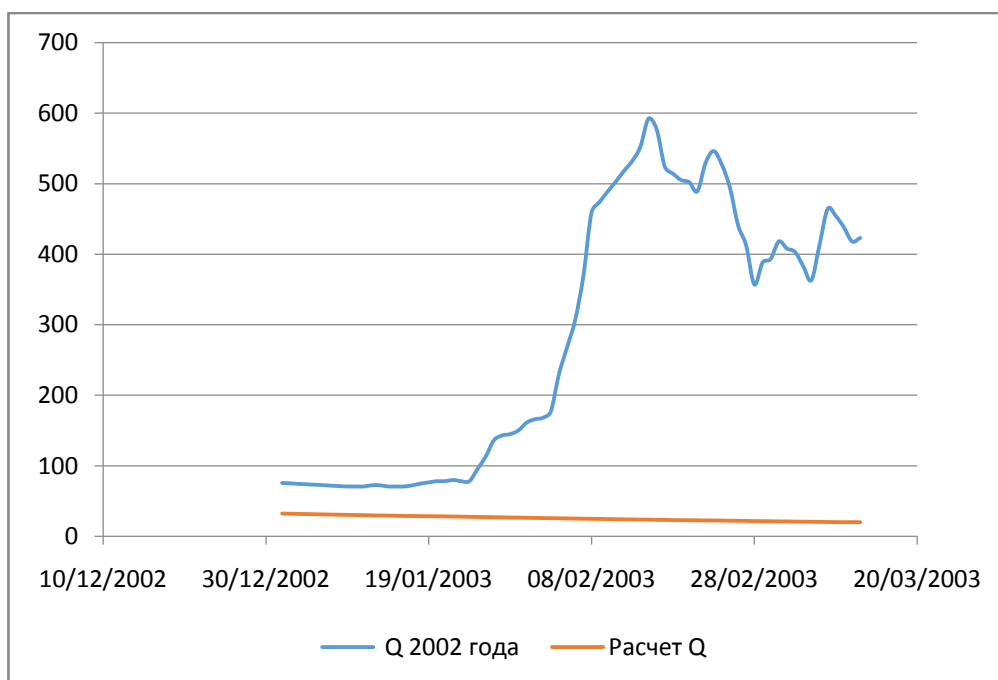
Далее представлена таблица с итоговыми параметрами, используемыми для расчета расходов за 2003 год.

год			1 период			2 период			3 период			4 период		
среднее	S	σ							среднее	S	σ			
97,59	99,37	155,59							31,43	18,02	67,31			
1971	S/σ =	0,64								S/σ (3) =	0,27			
									k3 =	tau3 =				
									0,05	274,72				
среднее	S	σ	среднее	S	σ									
75,13	51,66	63,78	38,37	9,78	19,79									
1972	S/σ =	0,81		S/σ (1) =	0,49									
			k1 =	tau1 =										
			0,35	61,92										
среднее	S	σ	среднее	S	σ									
101,18	56,44	65,28	47,11	9,49	14,66									
1974	S/σ =	0,86		S/σ (1) =	0,65									
			k1 =	tau1 =										
			0,49	85,69										
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ			
112,01	34,26	133,13	143,37	37,64	65,51	360,96	80,54	118,83	58,49	8,81	79,61			
1975	S/σ =	0,26		S/σ (1) =	0,57		S/σ (2) =	0,68		S/σ (3) =	0,11			
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =		k3 =	tau3 =				
			0,01	5344,04	0,42	0,94	28,47	0,47	0,07	225,12				
среднее	S	σ										среднее	S	σ
81,61	56,25	90,97										46,47	8,15	18,49
1976	S/σ =	0,62											S/σ (4)=	0,44
												k4 =	tau4 =	
												0,38	154,53	
среднее	S	σ	среднее	S	σ	среднее	S	σ				среднее	S	σ
161,82	92,23	148,86	102,42	6,69	12,90	303,34	145,85	208,21				248,69	80,59	134,50
1982	S/σ =	0,62		S/σ (1) =	0,52		S/σ (2) =	0,70					S/σ (4) =	0,60
			k1 =	tau1 =		k2 =	tau2 =					k4 =	tau4 =	
			6074405,93	130,57	0,57	0,79	22,16	0,66				14162,70	21,69	

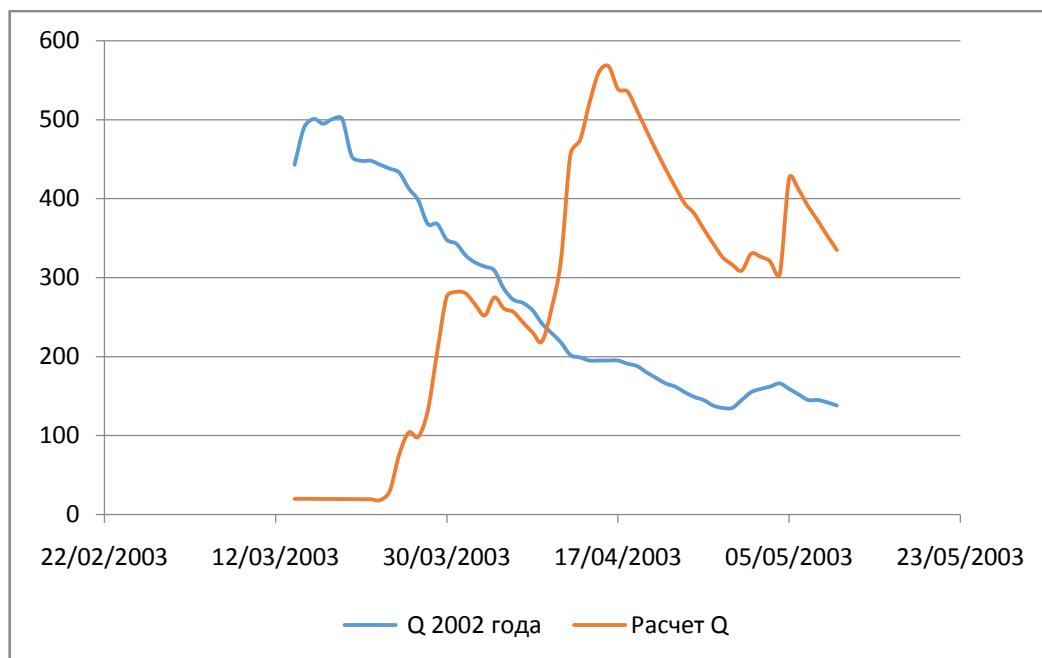
среднее 160,78 1983	S 86,06 S/σ =	σ 207,37 0,41		среднее 470,48	S 174,33 S/σ (2) =	σ 305,04 0,57	среднее 55,13	S 19,81 S/σ (3) =	σ 41,22 0,48	среднее 57,80	S 20,62 S/σ (4) =	σ 32,05 0,64		
				k2 = 0,87	tau2 = 18,53	0,49	k3 = 0,08	tau3 = 219,74		k4 = 26218,01	tau4 = 115,58			
среднее 153,31 1999	S 125,54 S/σ =	σ 214,74 0,58	среднее 179,79	S 40,56 S/σ (1) =	σ 68,06 0,60					среднее 62,97	S 16,90 S/σ (4) =	σ 29,16 0,58		
			k1 = 0,89	tau1 = 35,05	0,59					k4 = 6601,49	tau4 = 104,17			
среднее 121,42 2002	S 30,81 S/σ =	σ 151,73 0,20	среднее 262,66	S 57,91 S/σ (1) =	σ 194,58 0,30	среднее 277,19	S 40,20 S/σ (2) =	σ 131,02 0,31	среднее 33,40	S 12,44 S/σ (3) =	σ 17,18 0,72	среднее 35,67	S 2,87 S/σ (4) =	σ 4,04 0,71
			k1 = 1,19	tau1 = 52,07	0,25	k2 = 0,88	tau2 = 26,07	0,25	k3 = 0,05	tau3 = 274,50		k4 = 0,50	tau4 = 265,14	
среднее 181,18 2004	S 71,46 S/σ =	σ 193,86 0,37	среднее 138,15	S 1,23 S/σ (1) =	σ 11,41 0,11	среднее 390,42	S 79,67 S/σ (2) =	σ 311,96 0,26				среднее 262,18	S 82,34 S/σ (4) =	σ 123,74 0,67
			k1 = 0,02	tau1 = 11299,28	0,24	k2 = 0,73	tau2 = 26,37	0,31				k4 = 2,12	tau4 = 7,37	
среднее 137,44 2005	S 77,09 S/σ =	σ 135,71 0,57					среднее 66,03	S 27,04 S/σ (3) =	σ 46,31 0,58					
							k3 = 0,08	tau3 = 228,45						
среднее 117,28 2011	S 78,10 S/σ =	σ 180,22 0,43				среднее 347,50	S 161,25 S/σ (2) =	σ 305,07 0,53				отсутствует период с устойчивым переходом температуры к отрицательным значениям		
						k2 = 0,80	tau2 = 19,50	0,48						

Расчетные гидрографы за 2003 год в сравнении с расходами за 2002 год.

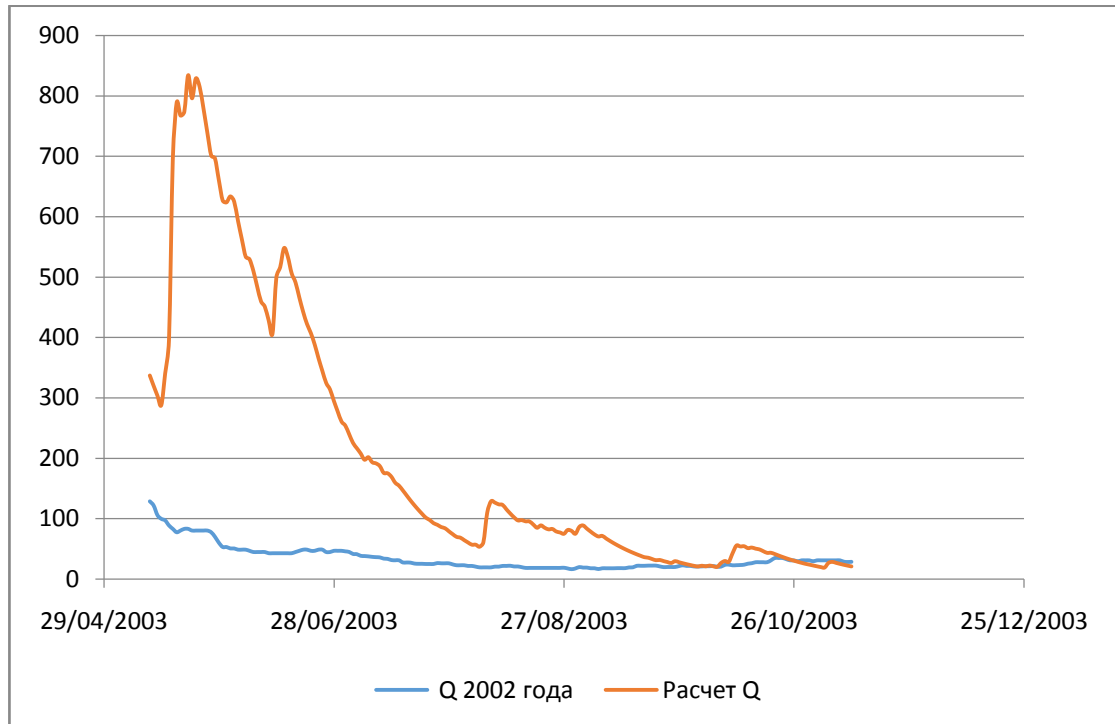
1. Период накопления снеготалыков



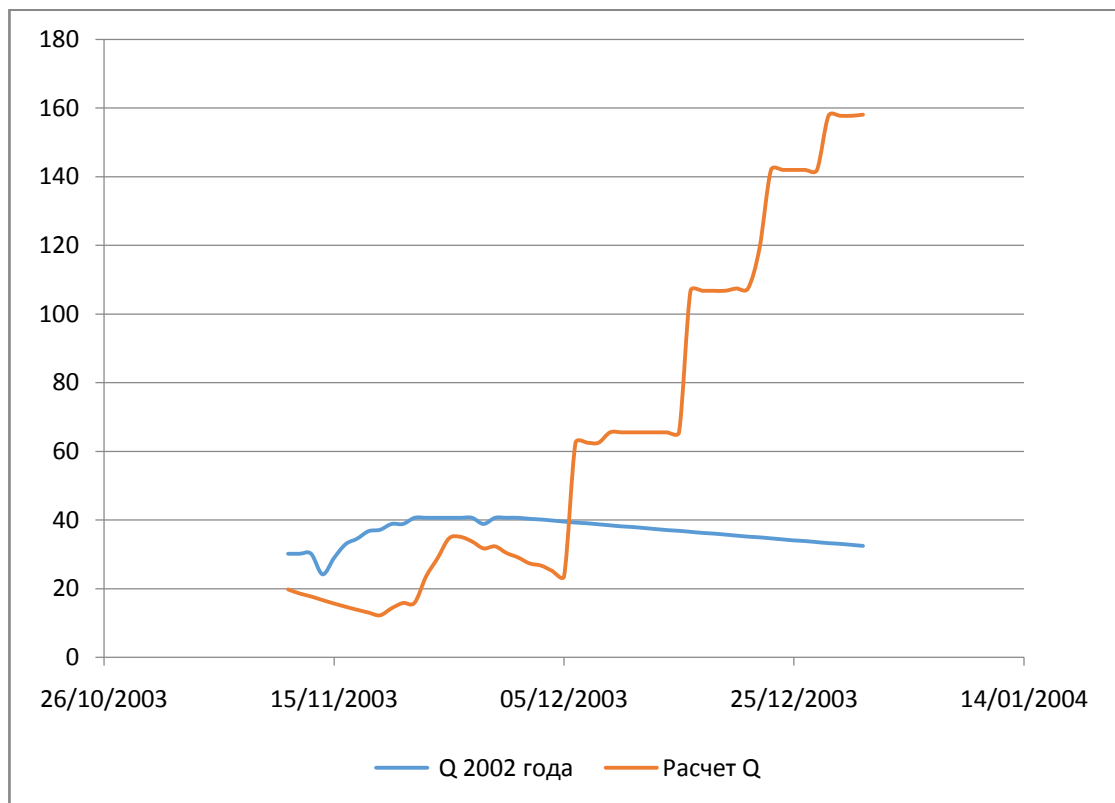
2. Период снеготаяния



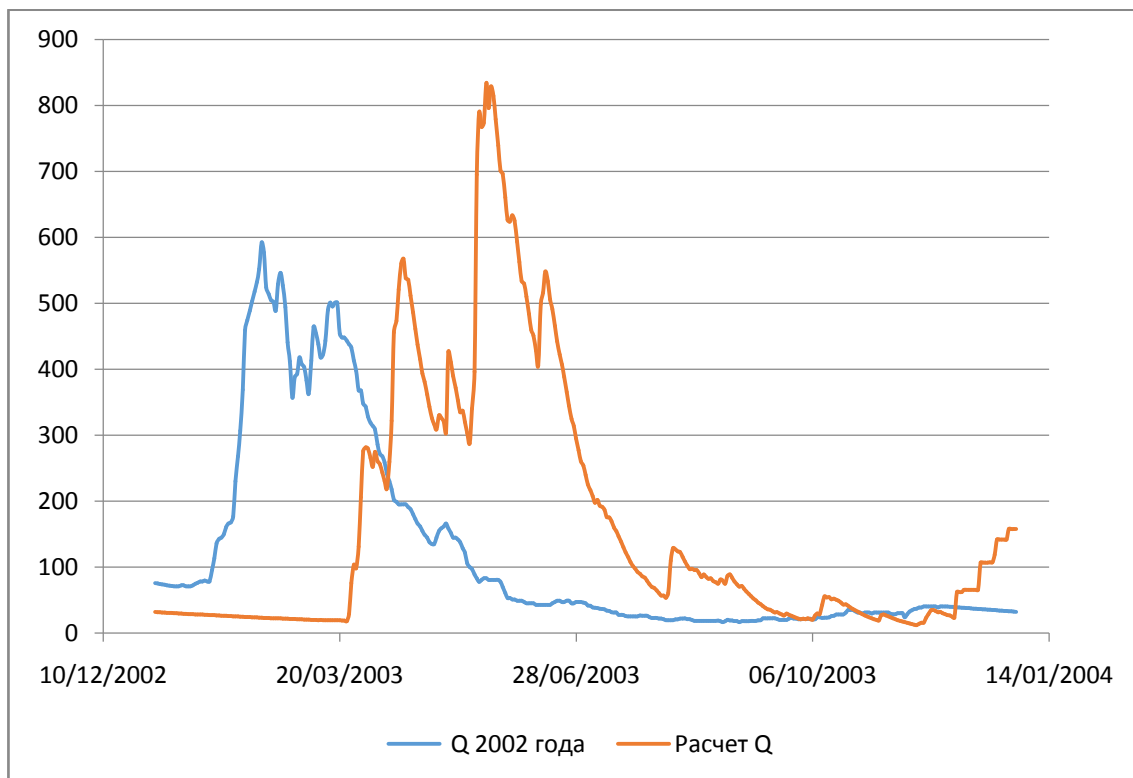
3. Летне-осенний период



4. Период зимней межени



За весь год



Ниже представлена таблица с рассчитанными расходами за 2003 год.

Дата	Расход, м³/с	Дата	Расход, м³/с	Дата	Расход, м³/с
Январь		Февраль		Март	
01.01.2003	32,2	01.02.2003	26,0	01.03.2003	21,3
02.01.2003	31,9	02.02.2003	25,8	02.03.2003	21,2
03.01.2003	31,7	03.02.2003	25,6	03.03.2003	21,0
04.01.2003	31,5	04.02.2003	25,4	04.03.2003	20,9
05.01.2003	31,2	05.02.2003	25,2	05.03.2003	20,7
06.01.2003	31,0	06.02.2003	25,0	06.03.2003	20,5
07.01.2003	30,8	07.02.2003	24,8	07.03.2003	20,4
08.01.2003	30,5	08.02.2003	24,6	08.03.2003	20,2
09.01.2003	30,3	09.02.2003	24,5	09.03.2003	20,1
10.01.2003	30,1	10.02.2003	24,3	10.03.2003	19,9
11.01.2003	29,9	11.02.2003	24,1	11.03.2003	19,8
12.01.2003	29,6	12.02.2003	23,9	12.03.2003	19,9
13.01.2003	29,4	13.02.2003	23,8	13.03.2003	19,8
14.01.2003	29,2	14.02.2003	23,6	14.03.2003	19,8
15.01.2003	29,0	15.02.2003	23,4	15.03.2003	19,8
16.01.2003	28,8	16.02.2003	23,2	16.03.2003	19,7
17.01.2003	28,7	17.02.2003	23,1	17.03.2003	19,6
18.01.2003	28,5	18.02.2003	22,9	18.03.2003	19,5

19.01.2003	28,4	19.02.2003	22,7	19.03.2003	19,5
20.01.2003	28,3	20.02.2003	22,6	20.03.2003	19,4
21.01.2003	28,2	21.02.2003	22,5	21.03.2003	19,3
22.01.2003	27,9	22.02.2003	22,3	22.03.2003	19,2
23.01.2003	27,7	23.02.2003	22,3	23.03.2003	18,2
24.01.2003	27,6	24.02.2003	22,1	24.03.2003	29,3
25.01.2003	27,3	25.02.2003	22,0	25.03.2003	75,8
26.01.2003	27,1	26.02.2003	21,8	26.03.2003	103,7
27.01.2003	26,9	27.02.2003	21,6	27.03.2003	98,4
28.01.2003	26,7	28.02.2003	21,5	28.03.2003	131,2
29.01.2003	26,5	-	-	29.03.2003	206,1
30.01.2003	26,4	-	-	30.03.2003	275,7
31.01.2003	26,2	-	-	31.03.2003	281,8
Апрель		Май		Июнь	
01.04.2003	279,8	01.05.2003	330,1	01.06.2003	633,4
02.04.2003	265,5	02.05.2003	326,1	02.06.2003	624,9
03.04.2003	251,9	03.05.2003	320,4	03.06.2003	592,9
04.04.2003	274,7	04.05.2003	304,0	04.06.2003	562,6
05.04.2003	260,7	05.05.2003	426,2	05.06.2003	533,8
06.04.2003	256,3	06.05.2003	410,8	06.06.2003	529,4
07.04.2003	243,2	07.05.2003	389,8	07.06.2003	510,3
08.04.2003	230,7	08.05.2003	371,9	08.06.2003	484,2
09.04.2003	218,9	09.05.2003	352,8	09.06.2003	459,9
10.04.2003	259,9	10.05.2003	334,8	10.06.2003	450,8
11.04.2003	321,7	11.05.2003	337,1	11.06.2003	428,2
12.04.2003	455,7	12.05.2003	319,8	12.06.2003	406,3
13.04.2003	473,4	13.05.2003	303,5	13.06.2003	498,9
14.04.2003	520,8	14.05.2003	287,9	14.06.2003	516,1
15.04.2003	560,2	15.05.2003	340,3	15.06.2003	547,9
16.04.2003	567,5	16.05.2003	396,0	16.06.2003	533,3
17.04.2003	538,5	17.05.2003	694,9	17.06.2003	506,0
18.04.2003	535,3	18.05.2003	788,6	18.06.2003	491,1
19.04.2003	511,4	19.05.2003	767,1	19.06.2003	465,9
20.04.2003	485,8	20.05.2003	773,6	20.06.2003	442,1
21.04.2003	460,9	21.05.2003	834,0	21.06.2003	422,2
22.04.2003	437,3	22.05.2003	795,8	22.06.2003	407,3
23.04.2003	415,0	23.05.2003	828,7	23.06.2003	388,3
24.04.2003	393,7	24.05.2003	814,6	24.06.2003	365,6
25.04.2003	381,1	25.05.2003	778,9	25.06.2003	344,6
26.04.2003	361,6	26.05.2003	739,1	26.06.2003	324,7
27.04.2003	343,1	27.05.2003	701,3	27.06.2003	313,9
28.04.2003	325,5	28.05.2003	696,2	28.06.2003	295,1
29.04.2003	316,3	29.05.2003	660,6	29.06.2003	277,5
30.04.2003	308,6	30.05.2003	626,8	30.06.2003	260,9
-	-	31.05.2003	623,6	-	-
Июль		Август		Сентябрь	
01.07.2003	253,9	01.08.2003	64,5	01.09.2003	88,9

02.07.2003	239,7	02.08.2003	60,6	02.09.2003	83,5
03.07.2003	225,4	03.08.2003	57,0	03.09.2003	78,5
04.07.2003	216,6	04.08.2003	57,0	04.09.2003	73,9
05.07.2003	207,9	05.08.2003	53,6	05.09.2003	70,6
06.07.2003	197,6	06.08.2003	61,0	06.09.2003	71,6
07.07.2003	201,8	07.08.2003	110,0	07.09.2003	67,3
08.07.2003	193,5	08.08.2003	128,8	08.09.2003	63,3
09.07.2003	191,5	09.08.2003	126,7	09.09.2003	59,5
10.07.2003	187,0	10.08.2003	123,8	10.09.2003	55,9
11.07.2003	175,8	11.08.2003	122,9	11.09.2003	52,6
12.07.2003	175,3	12.08.2003	115,5	12.09.2003	49,4
13.07.2003	169,5	13.08.2003	108,6	13.09.2003	46,5
14.07.2003	159,6	14.08.2003	102,3	14.09.2003	43,7
15.07.2003	154,6	15.08.2003	97,2	15.09.2003	41,1
16.07.2003	146,7	16.08.2003	97,7	16.09.2003	38,6
17.07.2003	138,4	17.08.2003	95,6	17.09.2003	36,3
18.07.2003	130,1	18.08.2003	95,5	18.09.2003	35,4
19.07.2003	122,3	19.08.2003	90,4	19.09.2003	33,3
20.07.2003	115,0	20.08.2003	85,0	20.09.2003	31,3
21.07.2003	108,1	21.08.2003	88,9	21.09.2003	31,7
22.07.2003	101,7	22.08.2003	85,0	22.09.2003	29,8
23.07.2003	97,9	23.08.2003	82,4	23.09.2003	28,3
24.07.2003	92,6	24.08.2003	83,0	24.09.2003	26,7
25.07.2003	89,9	25.08.2003	78,9	25.09.2003	29,8
26.07.2003	86,2	26.08.2003	77,2	26.09.2003	28,0
27.07.2003	84,2	27.08.2003	75,0	27.09.2003	26,3
28.07.2003	79,2	28.08.2003	81,4	28.09.2003	24,7
29.07.2003	74,4	29.08.2003	79,8	29.09.2003	23,3
30.07.2003	70,0	30.08.2003	75,0	30.09.2003	21,9
31.07.2003	68,6	31.08.2003	86,4	-	-
Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
01.10.2003	20,9	01.11.2003	21,2	01.12.2003	29,1
02.10.2003	22,2	02.11.2003	20,0	02.12.2003	27,3
03.10.2003	21,1	03.11.2003	19,2	03.12.2003	26,7
04.10.2003	22,5	04.11.2003	26,9	04.12.2003	25,1
05.10.2003	21,1	05.11.2003	28,5	05.12.2003	23,6
06.10.2003	20,4	06.11.2003	26,9	06.12.2003	62,5
07.10.2003	26,8	07.11.2003	25,3	07.12.2003	62,5
08.10.2003	30,0	08.11.2003	23,8	08.12.2003	62,5
09.10.2003	28,6	09.11.2003	22,3	09.12.2003	65,5
10.10.2003	43,0	10.11.2003	21,0	10.12.2003	65,5
11.10.2003	55,6	11.11.2003	19,7	11.12.2003	65,5
12.10.2003	54,1	12.11.2003	18,6	12.12.2003	65,5
13.10.2003	54,4	13.11.2003	17,7	13.12.2003	65,5
14.10.2003	51,3	14.11.2003	16,6	14.12.2003	65,5
15.10.2003	52,3	15.11.2003	15,6	15.12.2003	65,5
16.10.2003	50,4	16.11.2003	14,7	16.12.2003	106,7

17.10.2003	49,2	17.11.2003	13,8	17.12.2003	106,7
18.10.2003	46,2	18.11.2003	13,0	18.12.2003	106,7
19.10.2003	43,5	19.11.2003	12,2	19.12.2003	106,7
20.10.2003	43,6	20.11.2003	14,3	20.12.2003	107,4
21.10.2003	41,5	21.11.2003	15,8	21.12.2003	107,4
22.10.2003	39,1	22.11.2003	15,9	22.12.2003	119,1
23.10.2003	36,7	23.11.2003	23,5	23.12.2003	141,9
24.10.2003	34,5	24.11.2003	28,8	24.12.2003	141,9
25.10.2003	32,5	25.11.2003	34,6	25.12.2003	141,9
26.10.2003	30,5	26.11.2003	35,0	26.12.2003	141,9
27.10.2003	28,7	27.11.2003	33,7	27.12.2003	141,9
28.10.2003	27,0	28.11.2003	31,7	28.12.2003	157,7
29.10.2003	25,4	29.11.2003	32,3	29.12.2003	157,7
30.10.2003	24,0	30.11.2003	30,3	30.12.2003	157,7
31.10.2003	22,6	-	-	31.12.2003	158,0

Выводы

Создана гидрометеорологическая база ежедневных данных за многолетний период для водосбора р. Великой (д. Пятоново).

Для восстановления стока р. Великой в 2003 г. использована модель формирования стока первого порядка, учитывающая внешние воздействия в виде водоотдачи из снежного покрова и осадков.

Выполнение параметризации модели, с целью нахождения оптимальных параметров для лет, аналогичных 2003-му году по метеоусловиям.

Выполнена оценка эффективности поверочных прогнозов расходов воды на зависимом и независимом материале, которая позволила использовать параметры модели для восстановления стока.

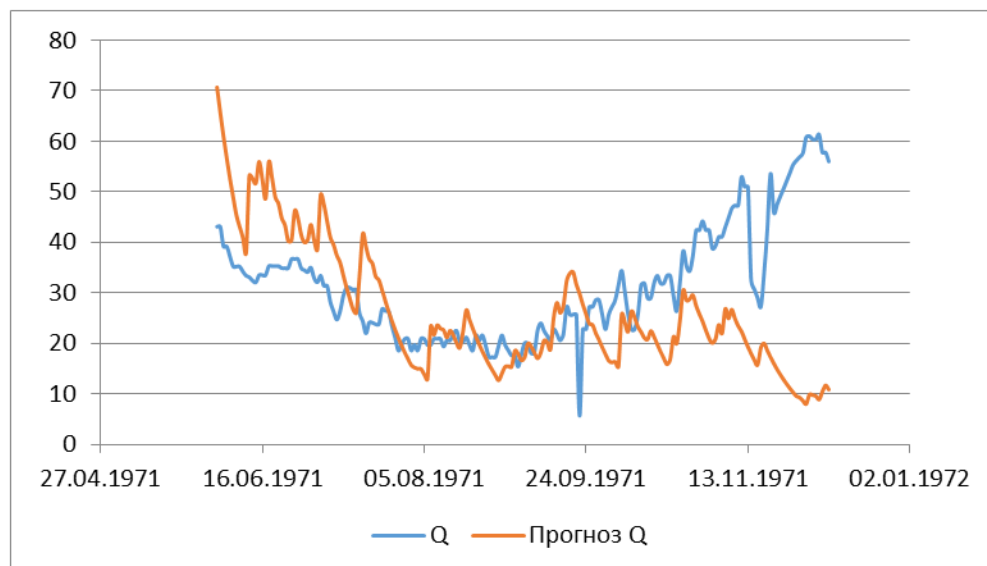
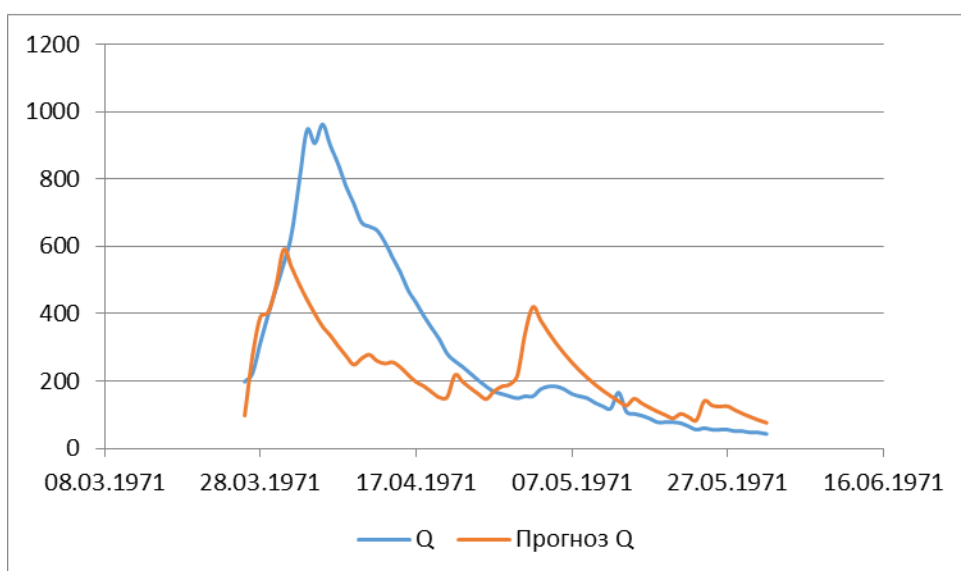
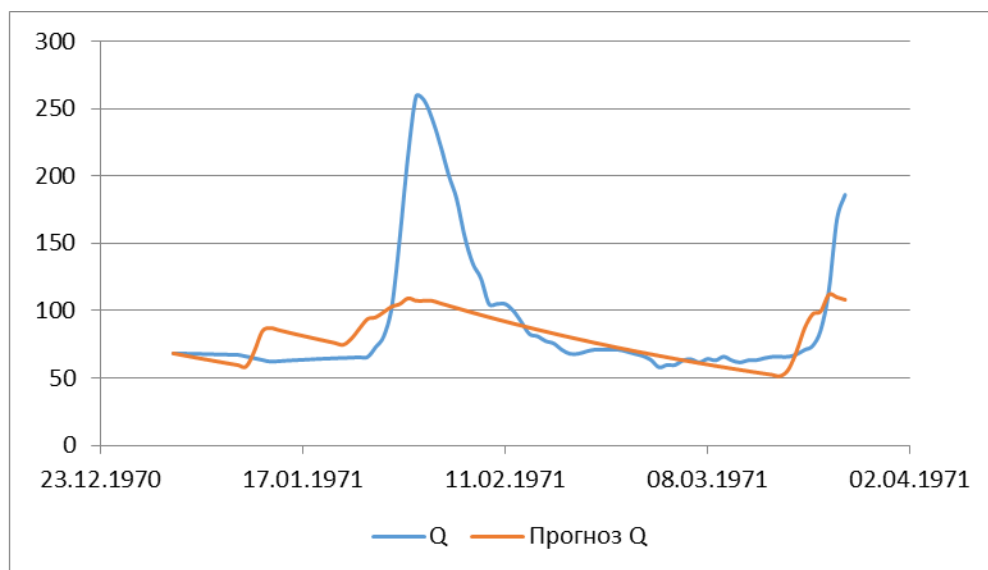
Выполнено моделирование гидрографа стока за 2003 г.

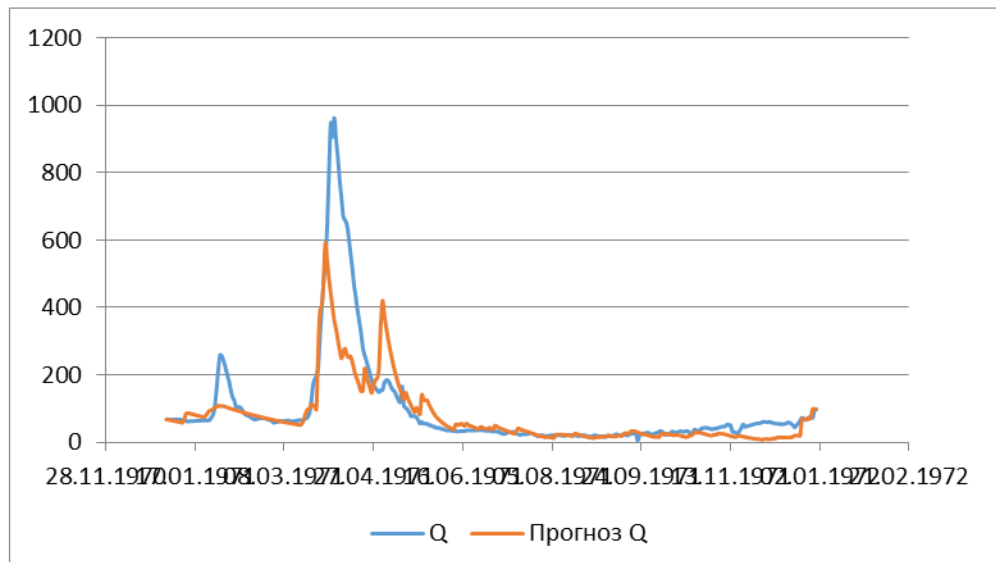
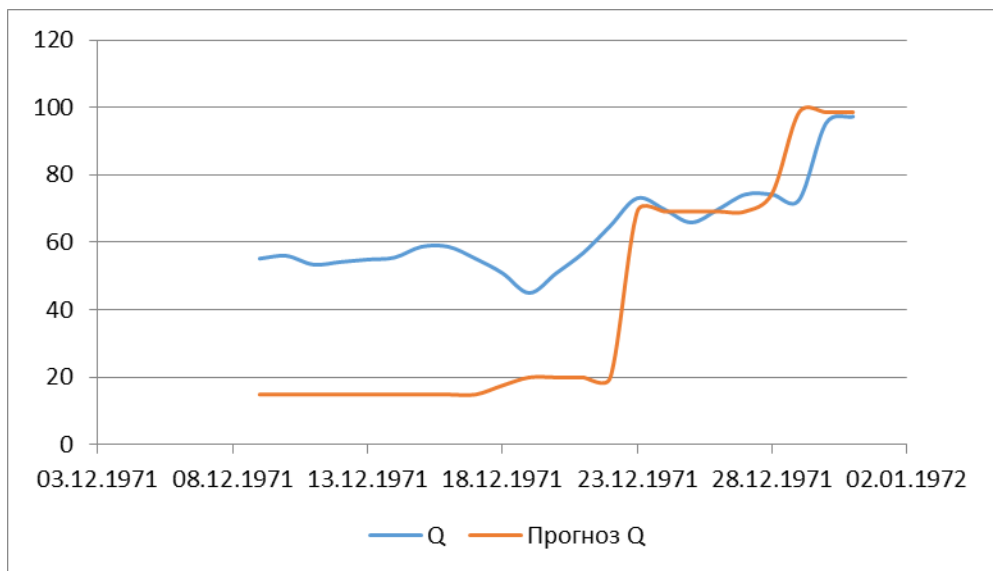
Литература

1. Коваленко В.В. Моделирование гидрологических процессов,- СПб: Гидрометеиздат, 1993.-255 с.
2. Бефани Н.ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам,-Л.: Гидрометеиздат, 1983,-390с.
3. Георгиевский Ю.М. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Учебное пособие. - М., Изд. ЛПИ,1982, с. 100.
4. Гидрологические ежегодники (1955-1995гг). Том 1.Бассейн Балтийского моря. Вып. 0-3. Бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела реки Салацо. Под ред. Урываевой Р.М. и Эйпре Т.Е.
5. Интернет-ресурс www.meteo.ru

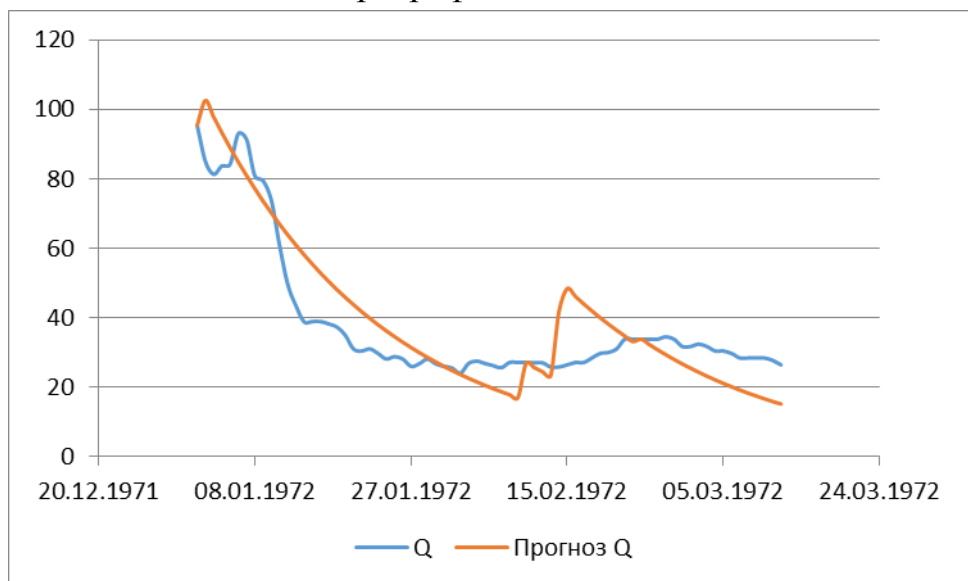
ПРИЛОЖЕНИЯ

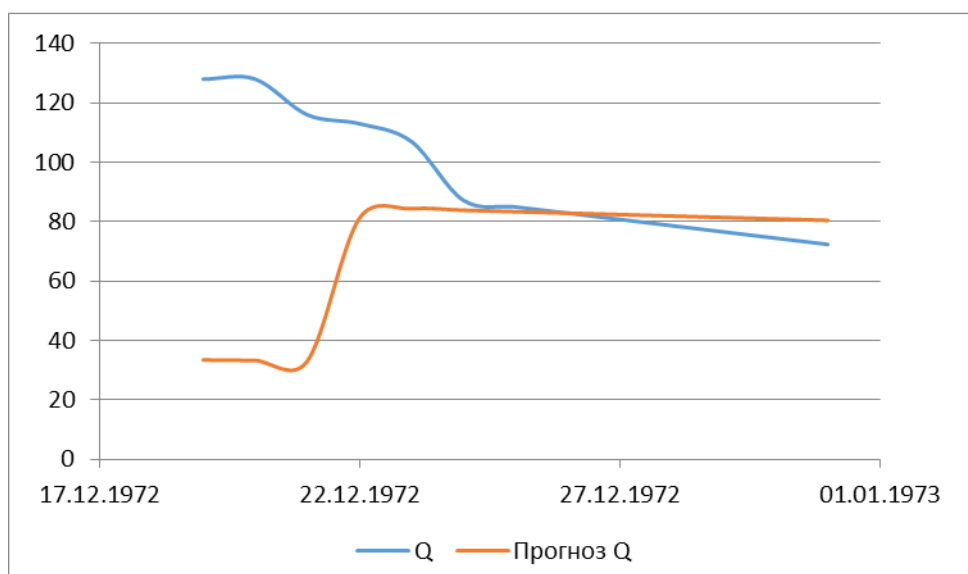
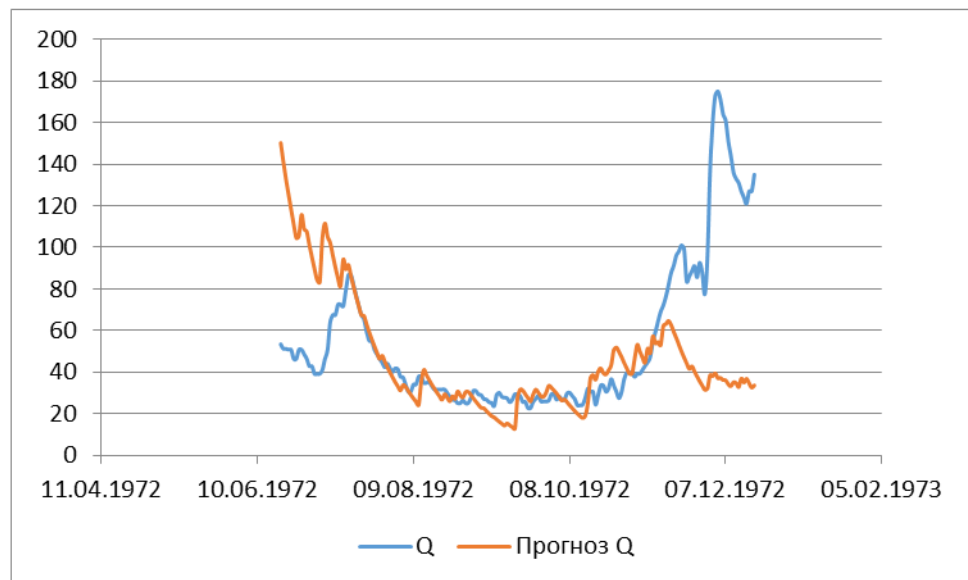
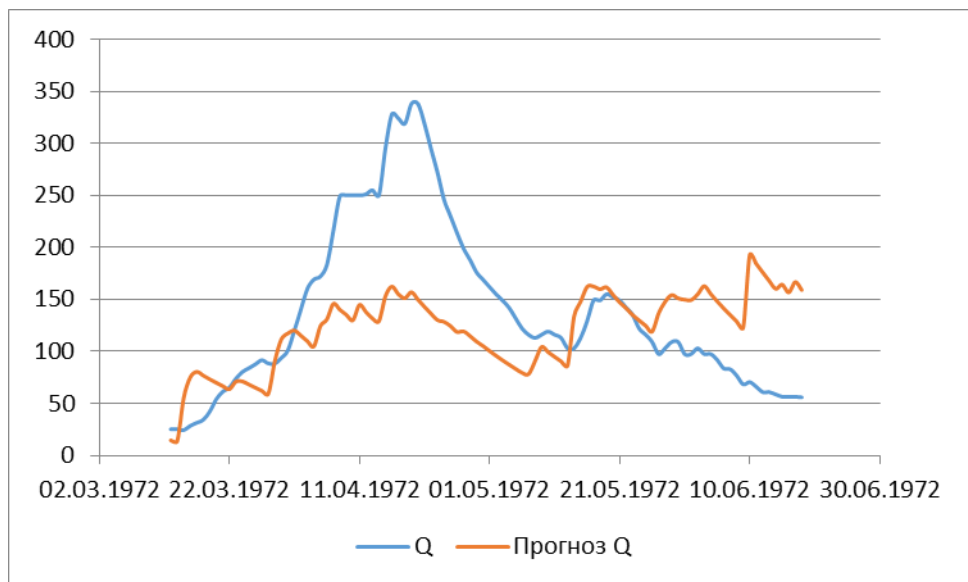
Гидрографы за 1971 год в порядке: с 1-4 периоды, общегодовой

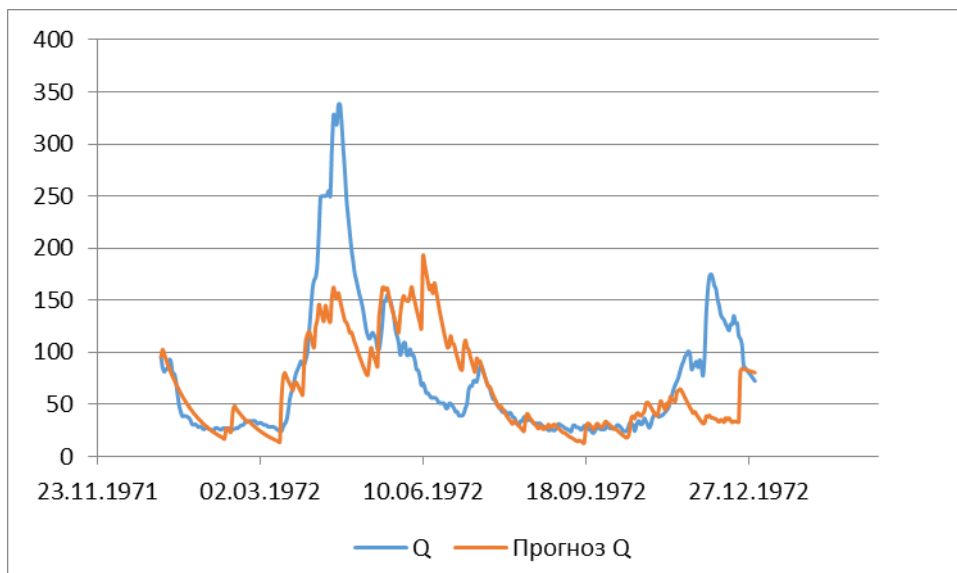




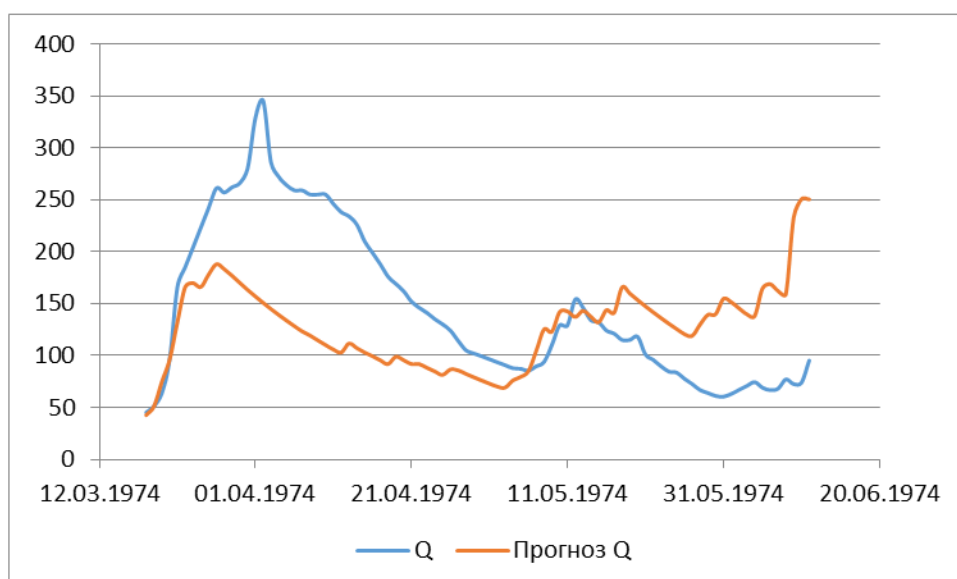
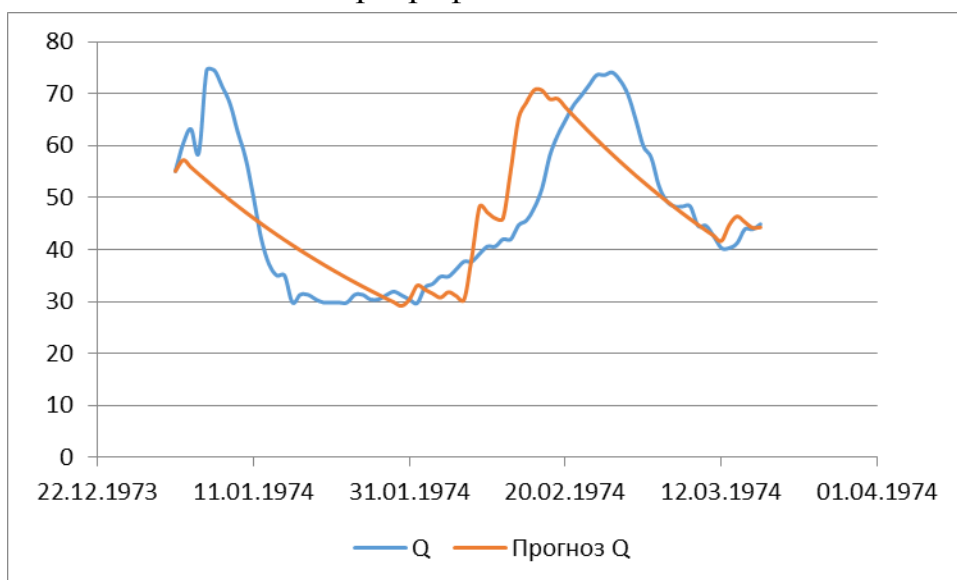
Гидрографы за 1971 год

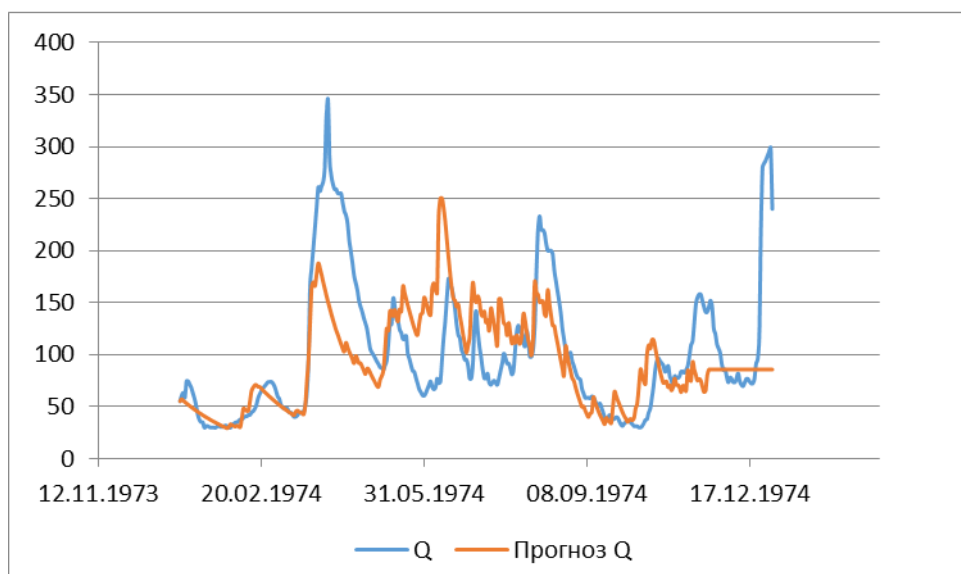
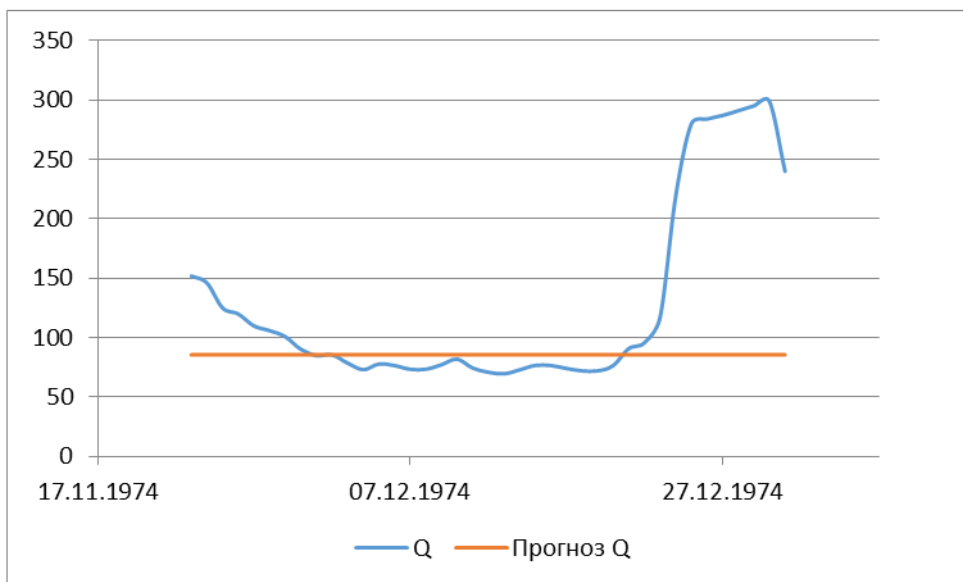
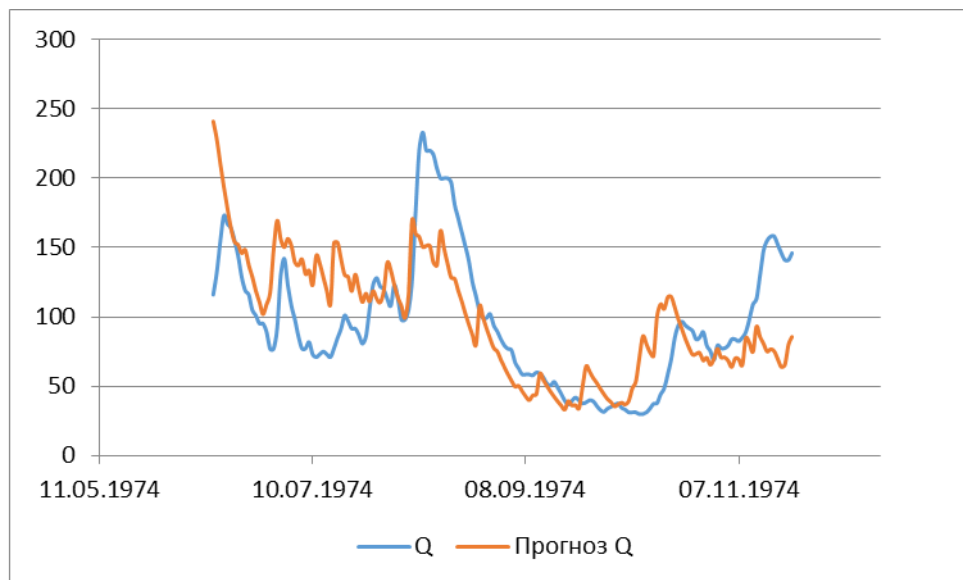




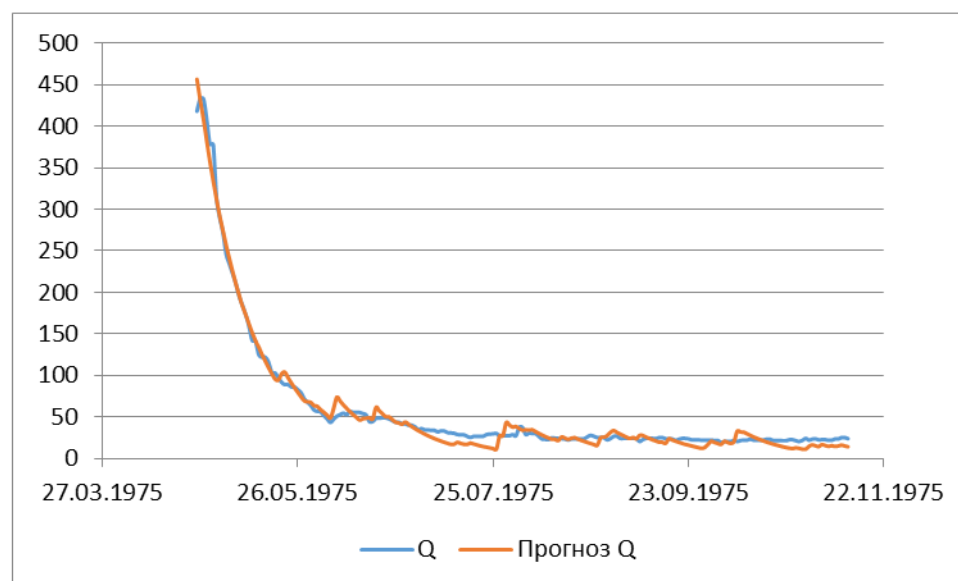
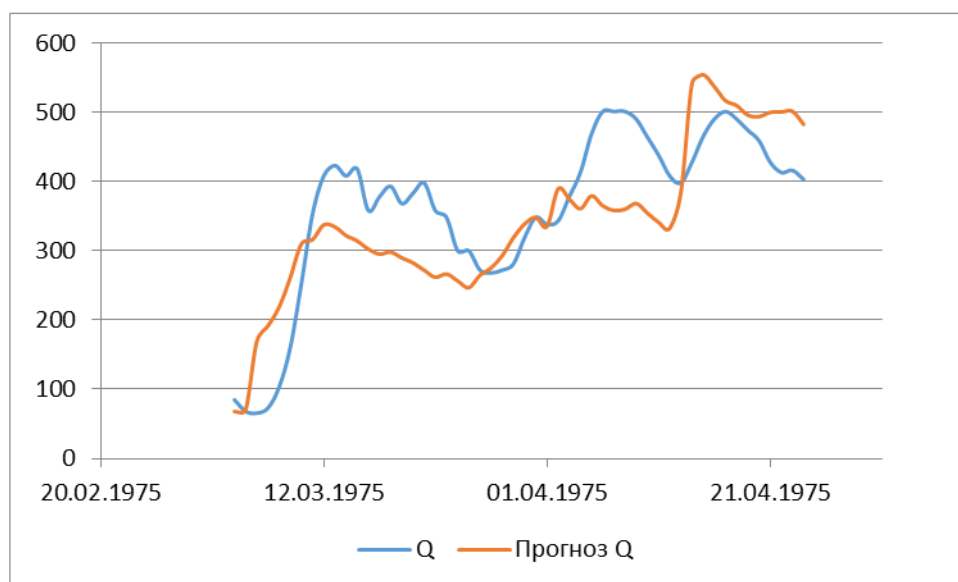
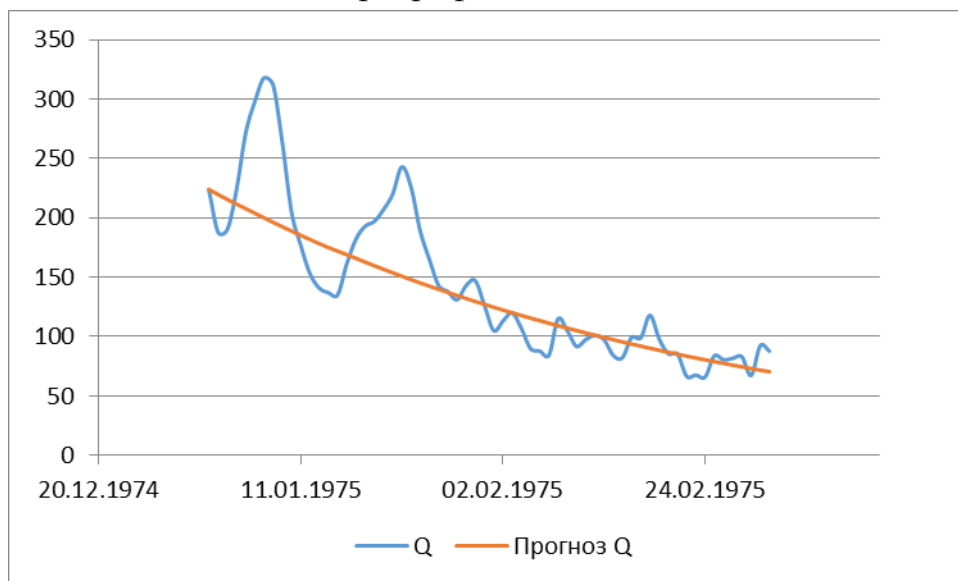


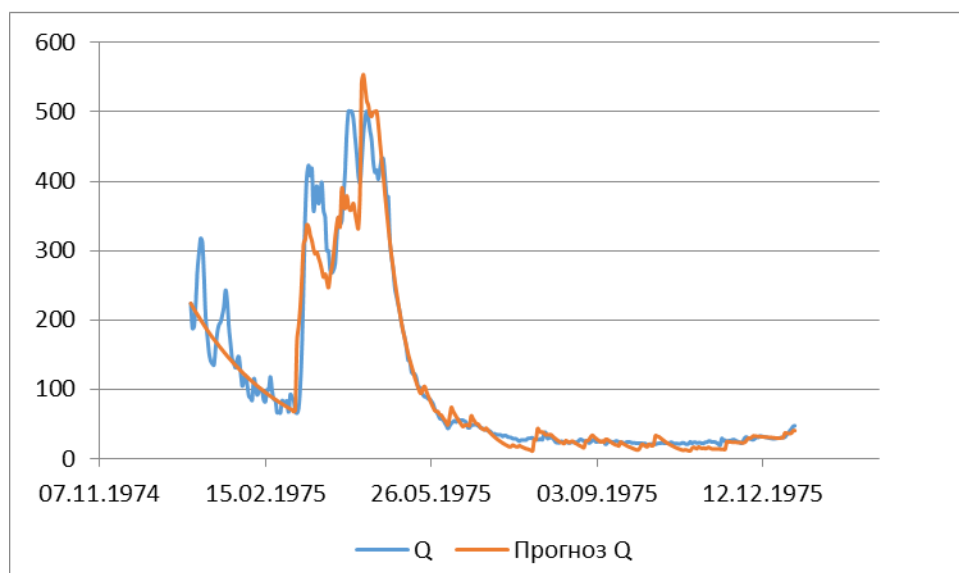
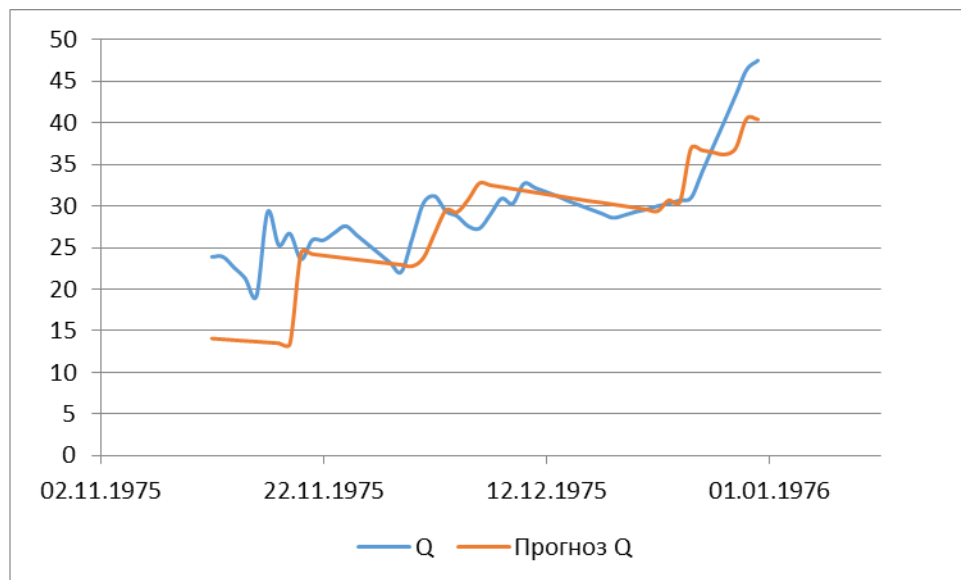
Гидрографы за 1974 год



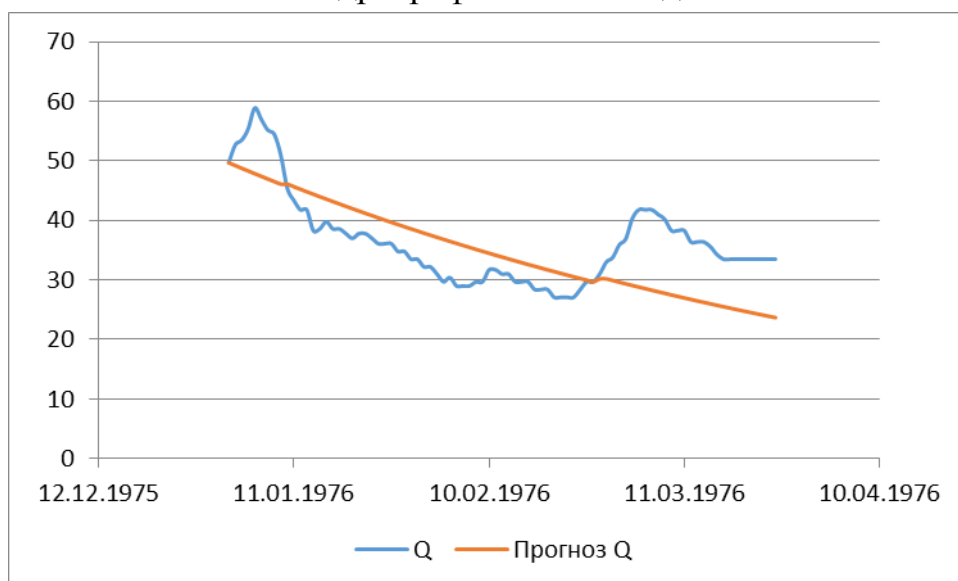


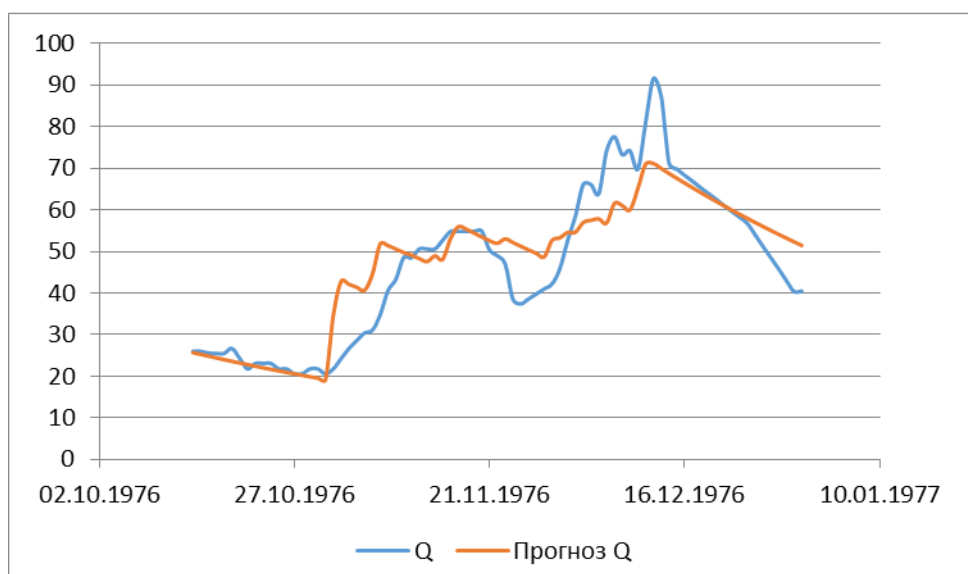
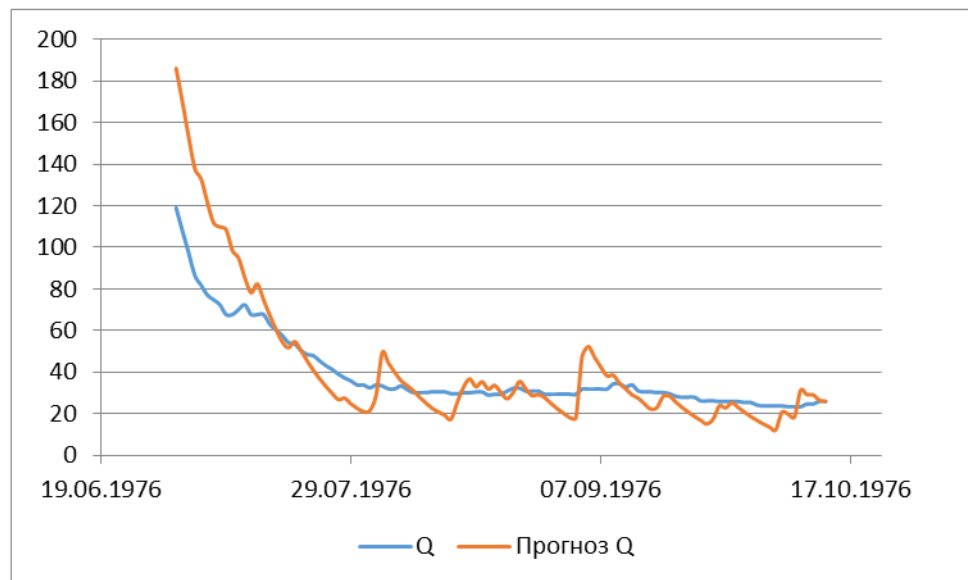
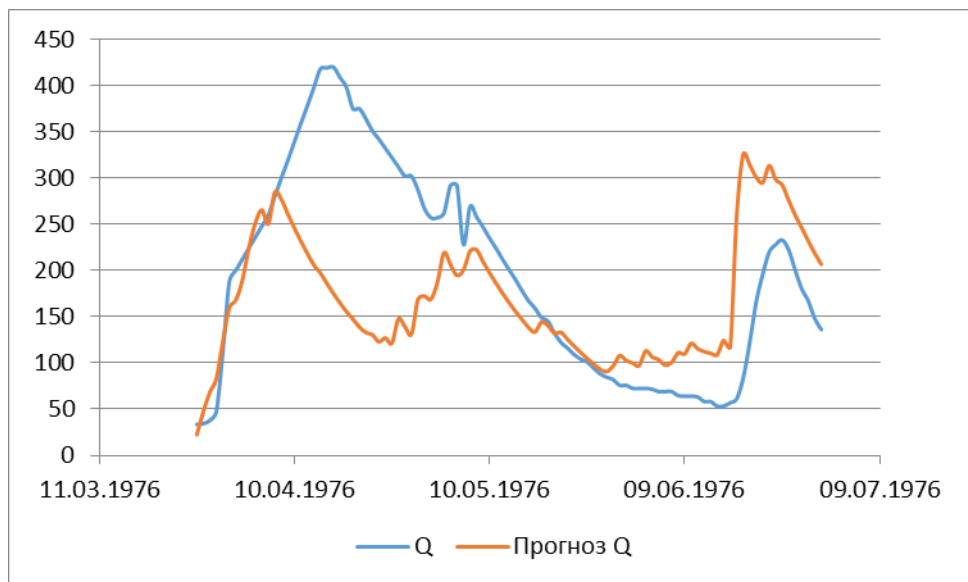
Гидрографы за 1975 год

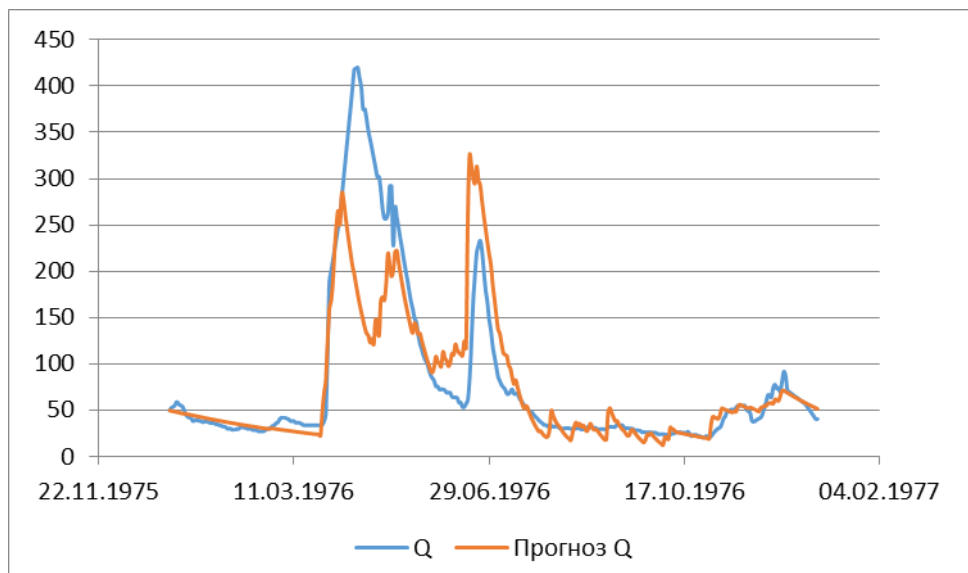




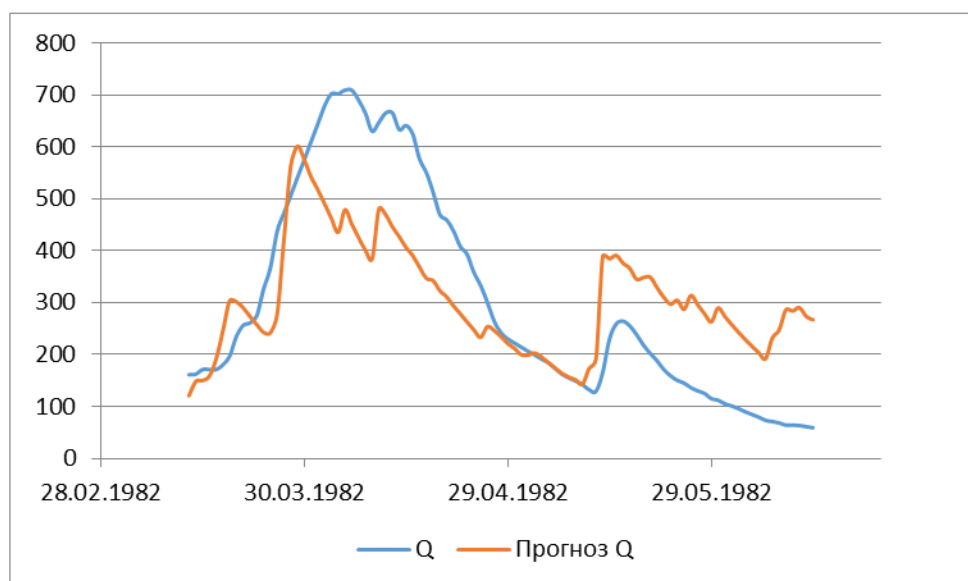
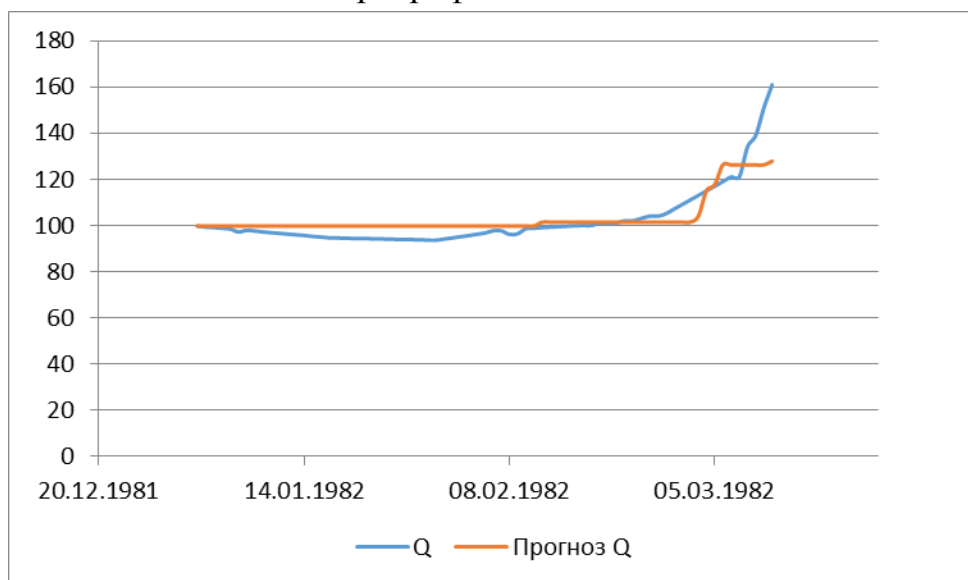
Гидрографы за 1976 год

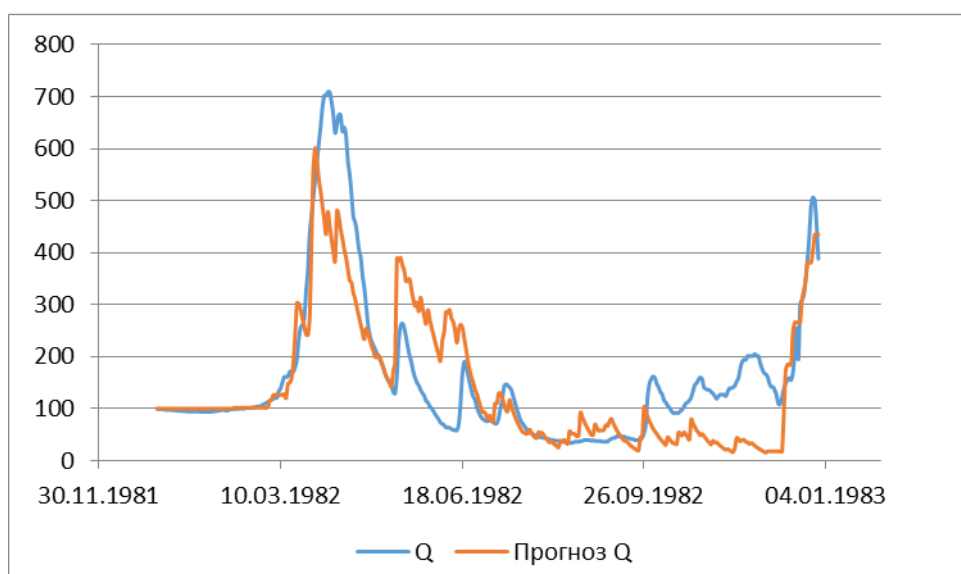
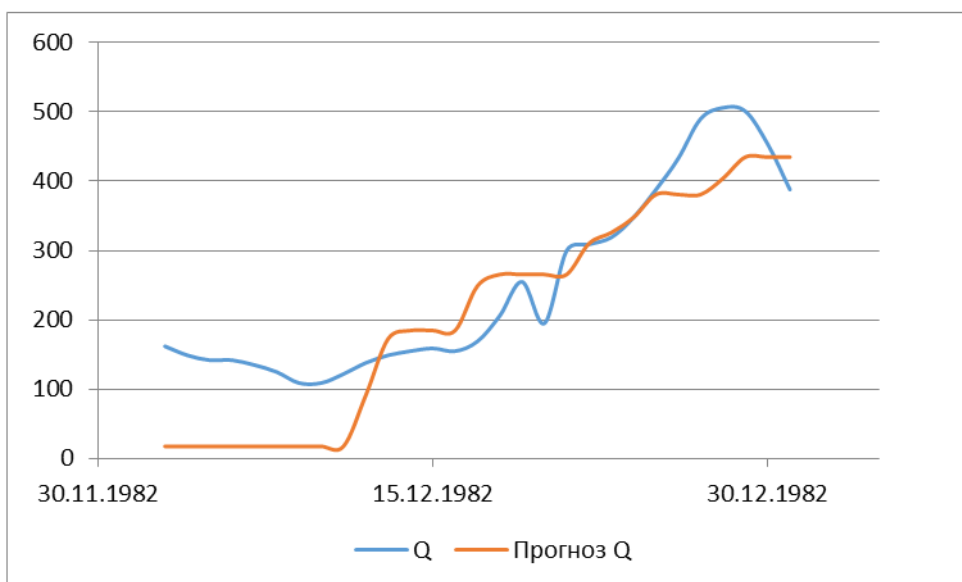
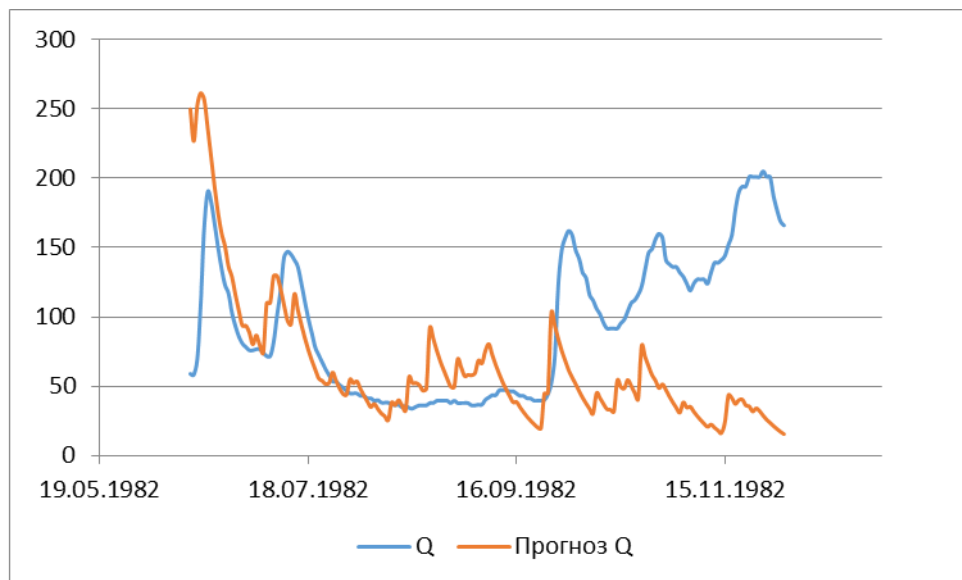




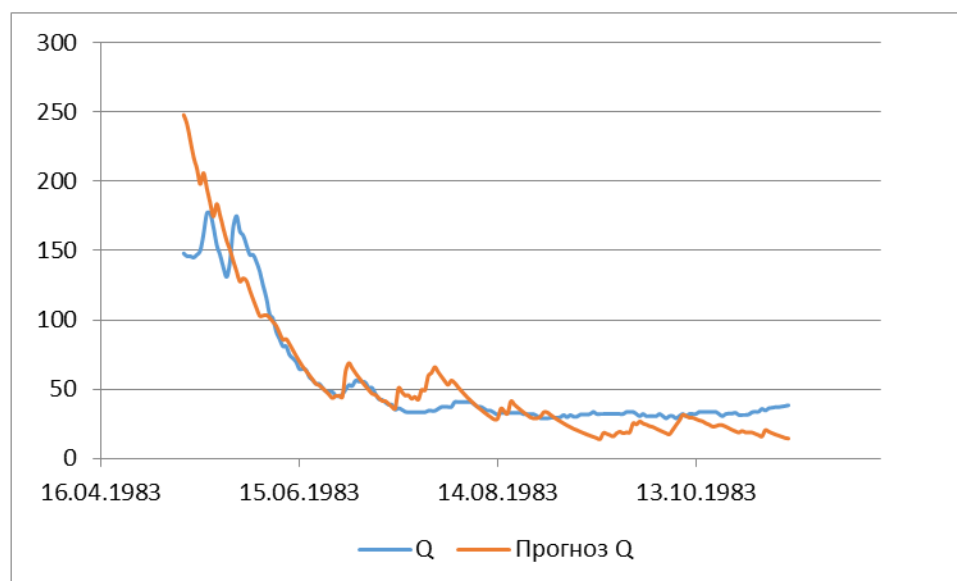
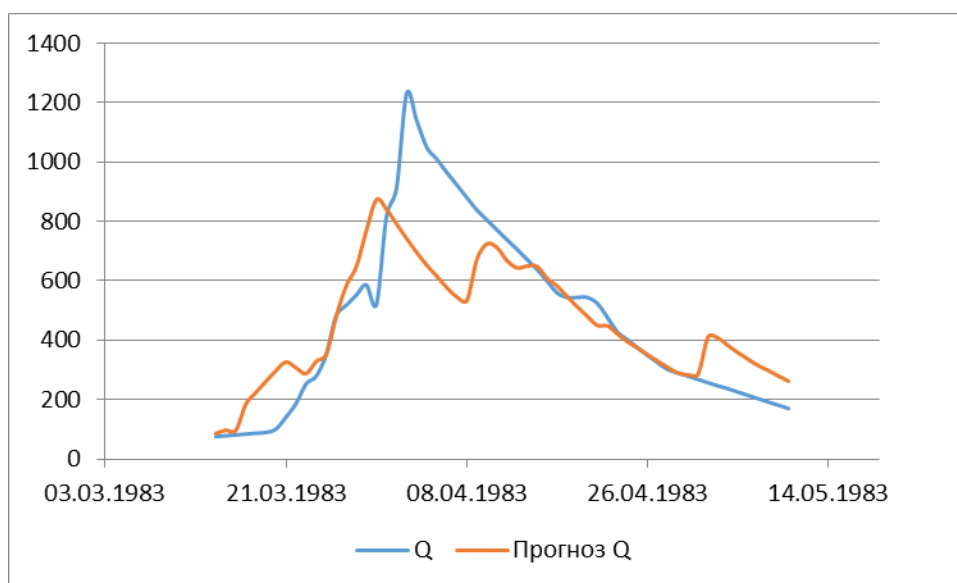
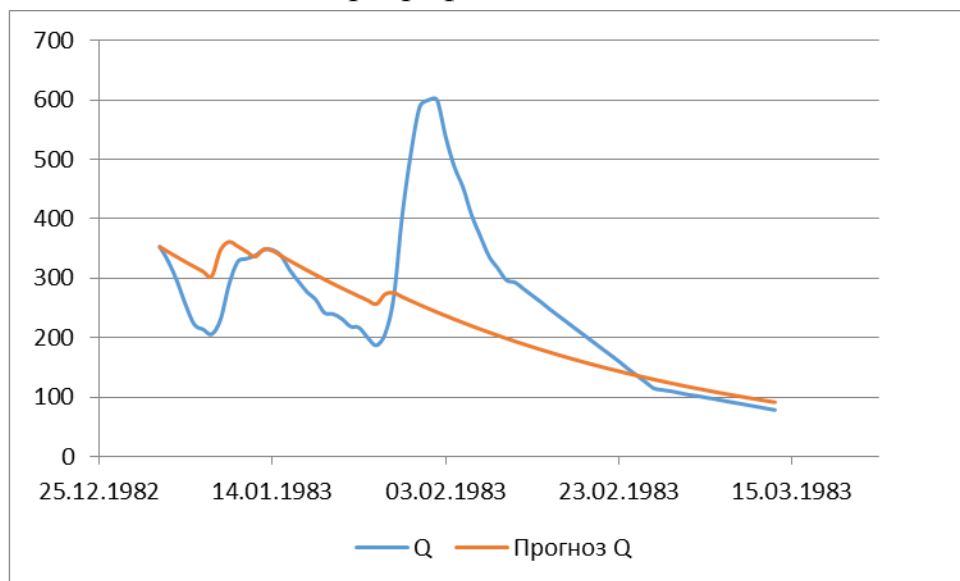


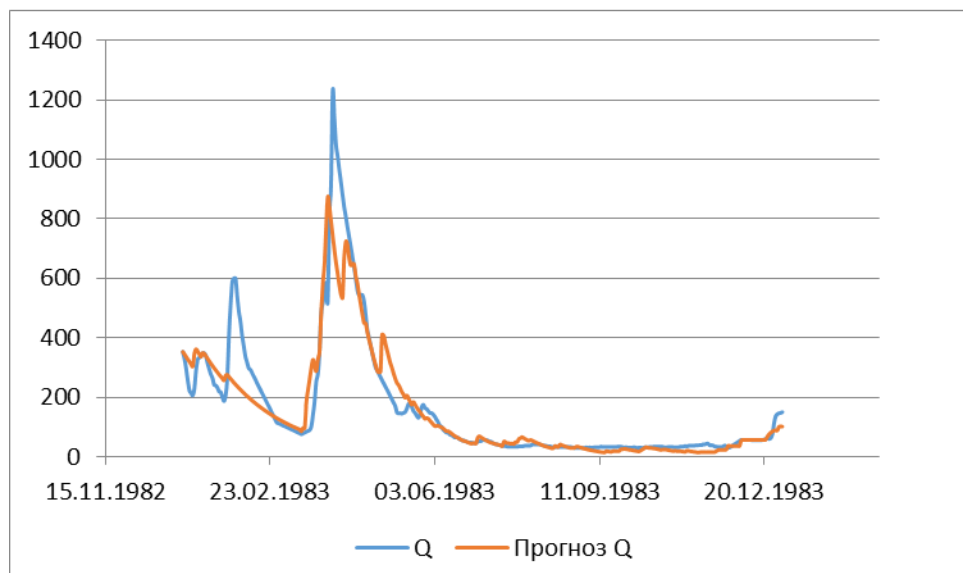
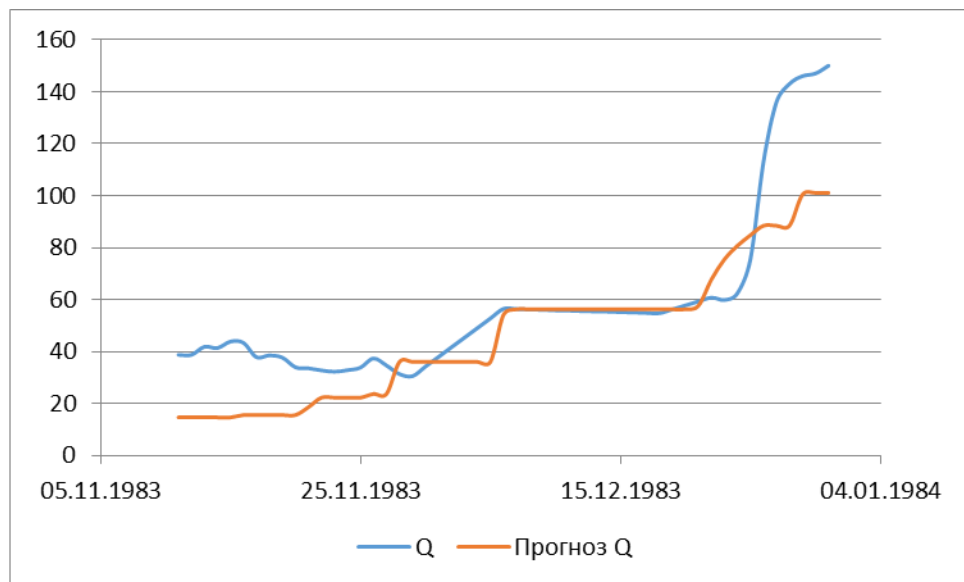
Гидрографы за 1982 год



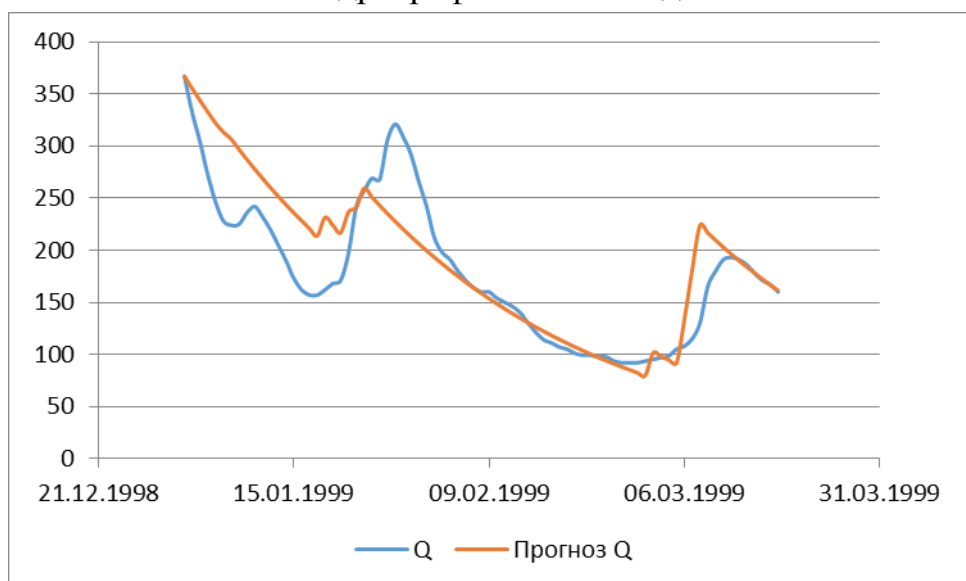


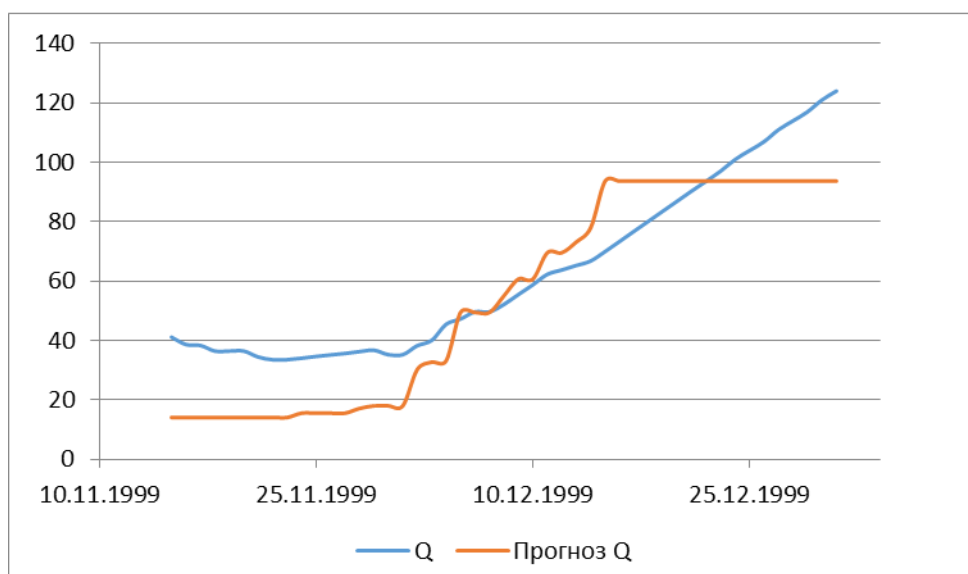
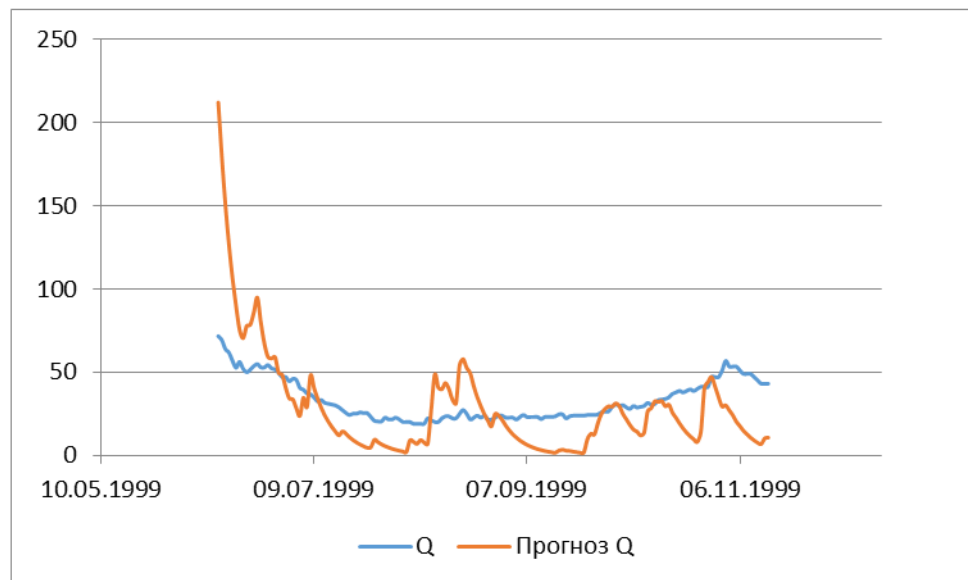
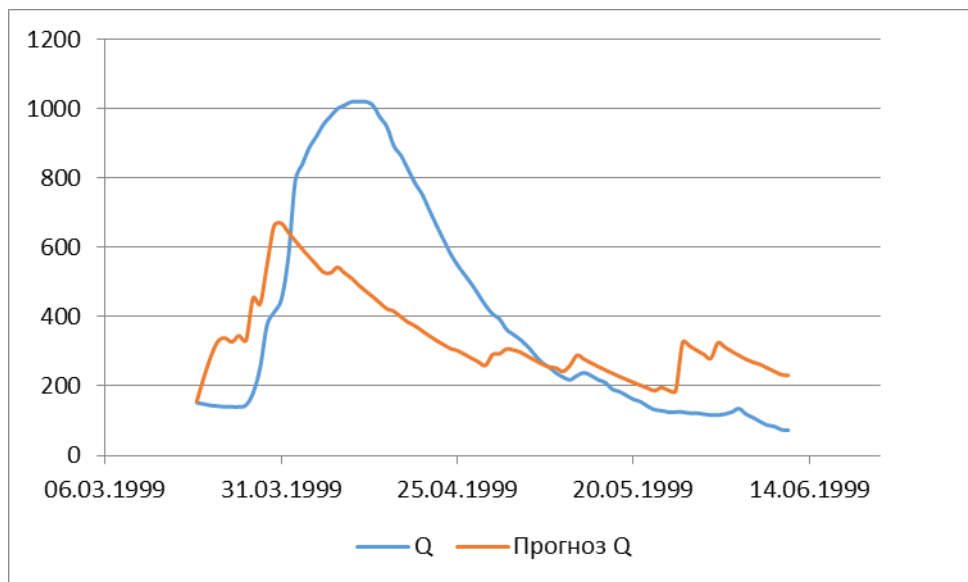
Гидрографы за 1983 год

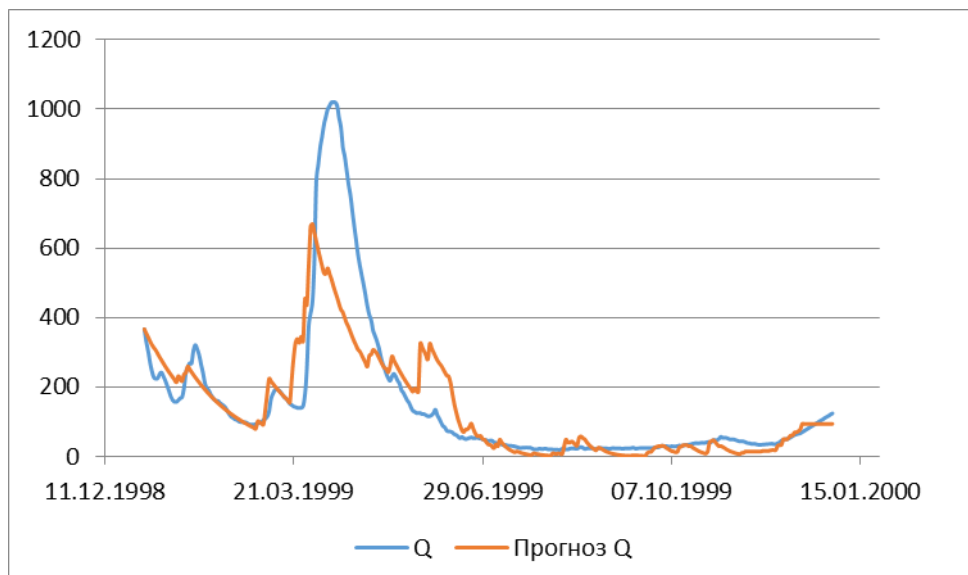




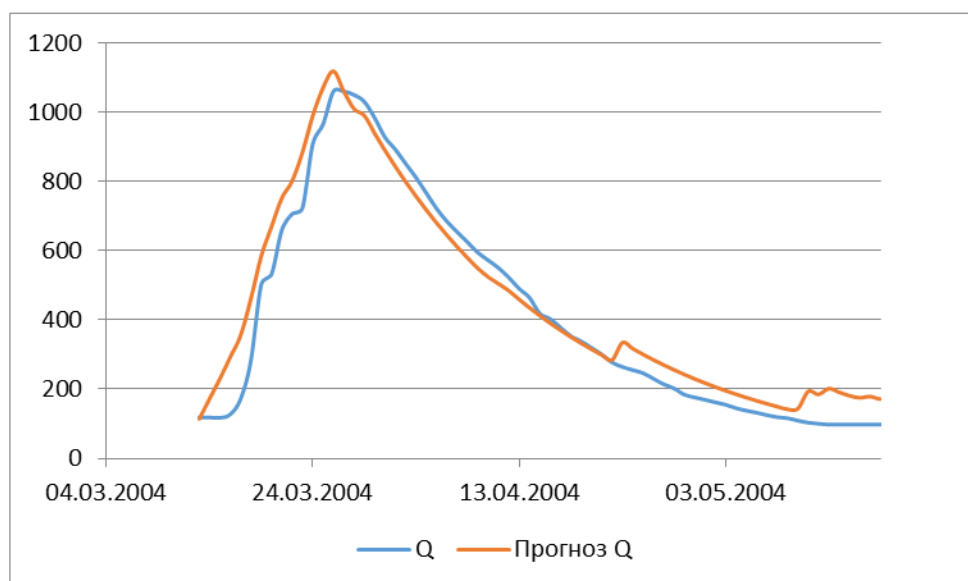
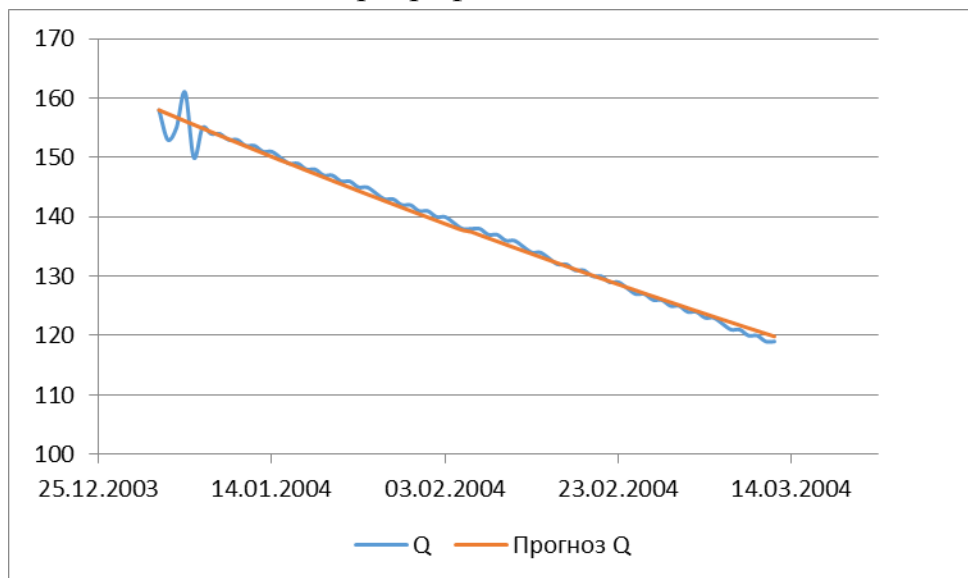
Гидрографы за 1999 год

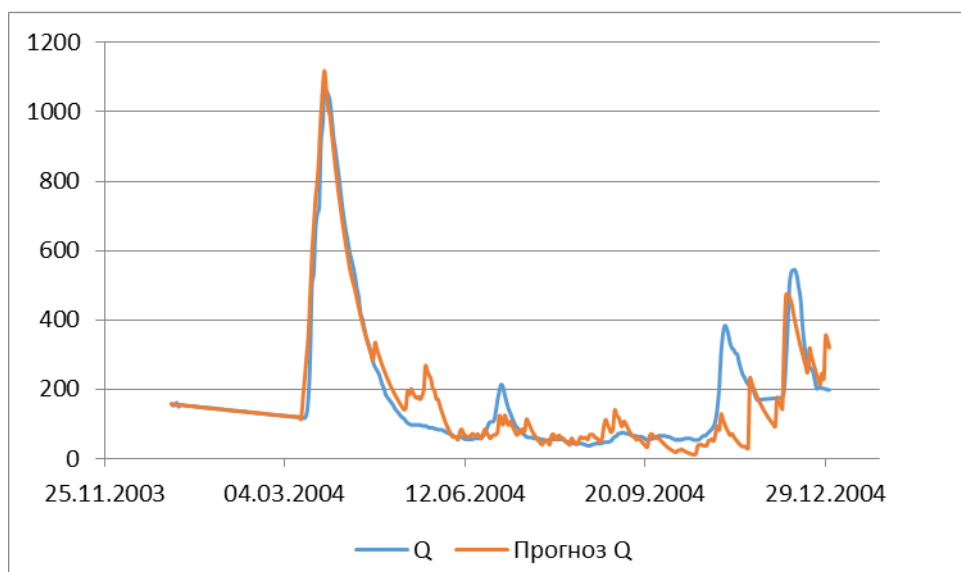
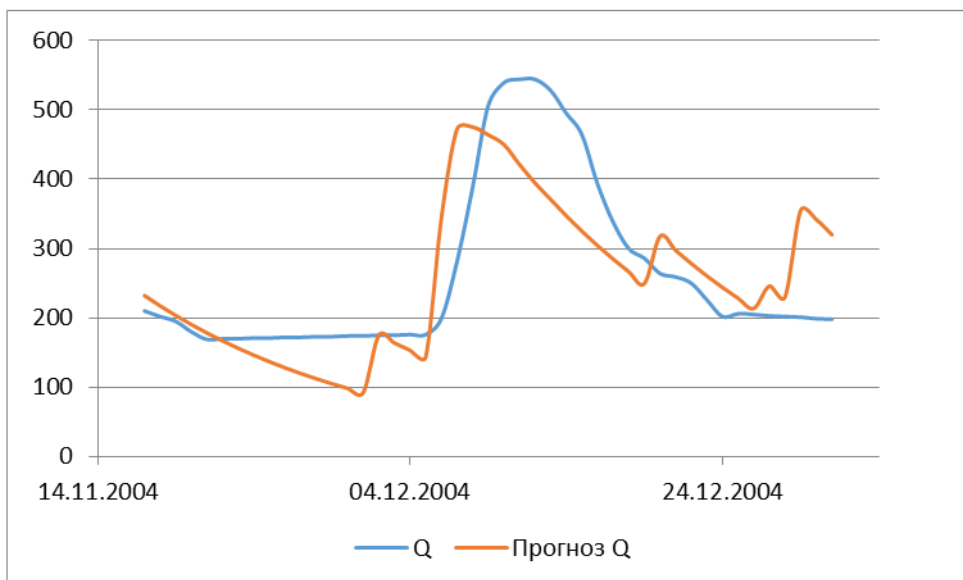
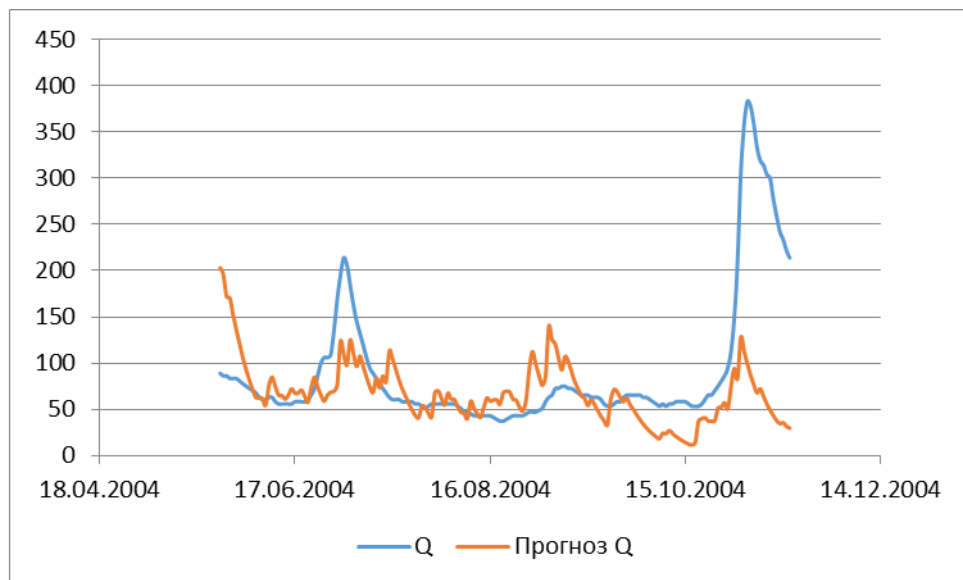




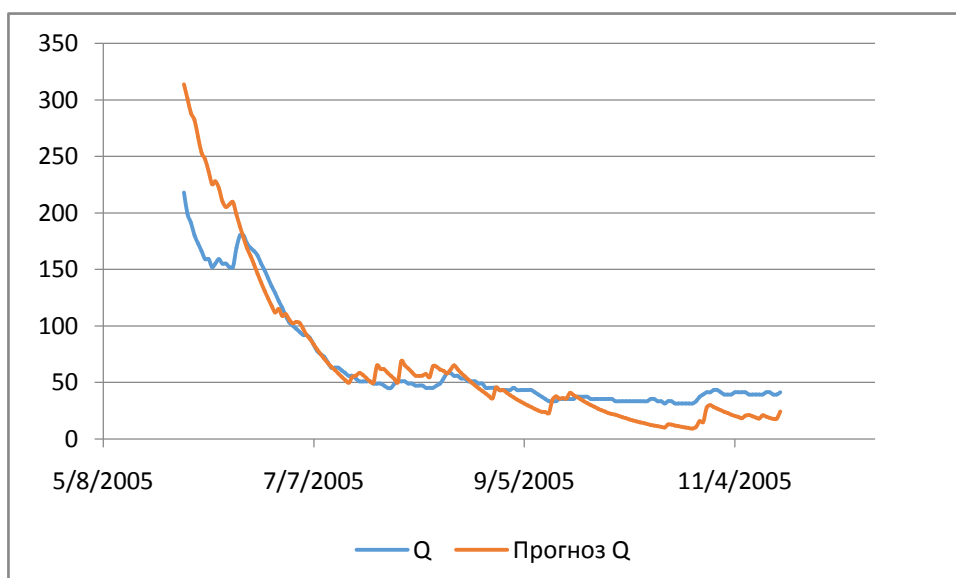
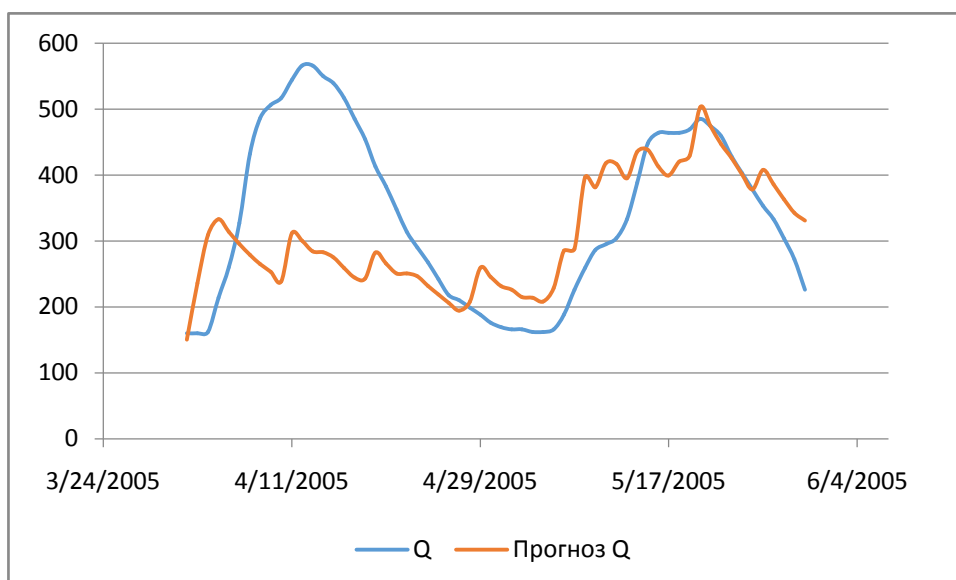
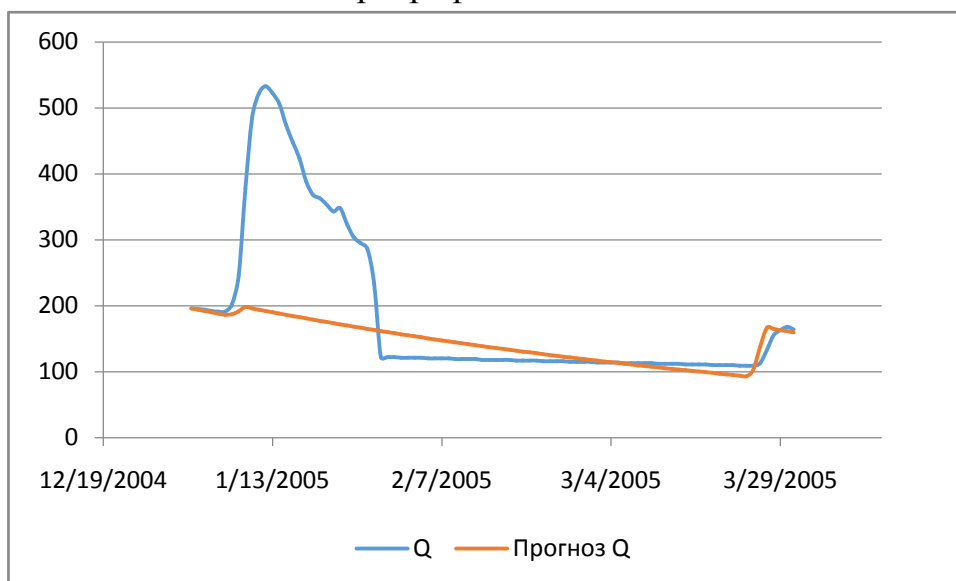


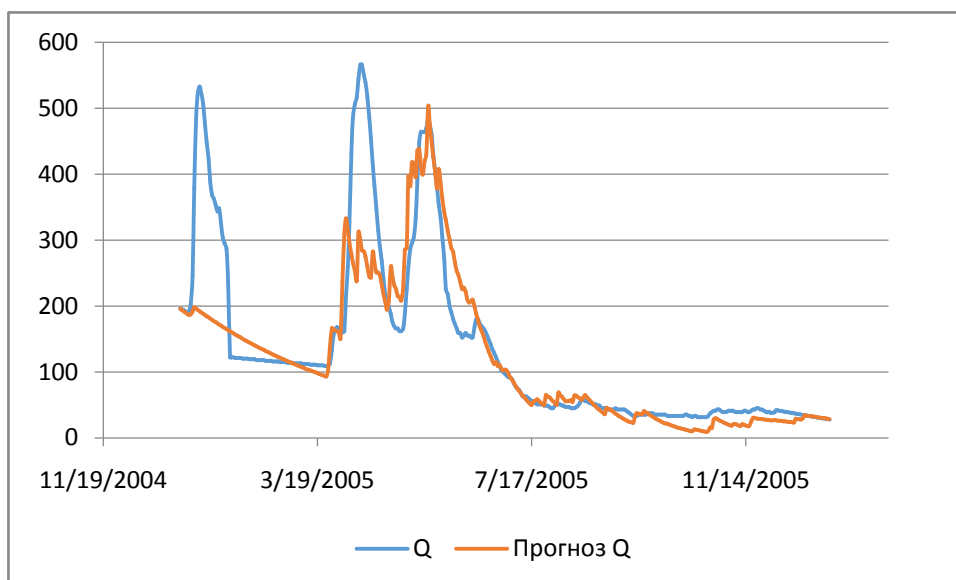
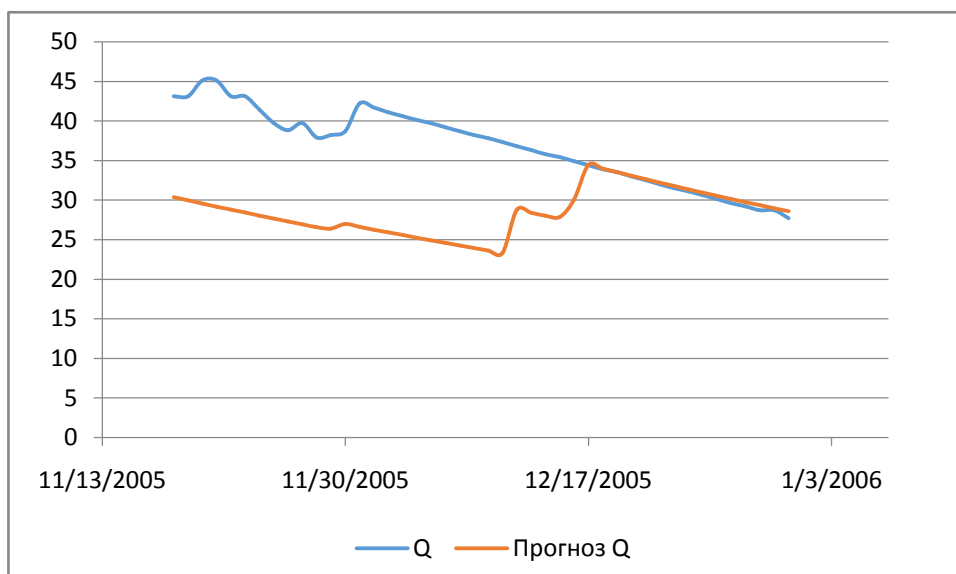
Гидрографы за 2004 год





Гидрографы за 2005 год





Гидрографы за 2011 год

