



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

Кафедра инженерной гидрологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(выпускная квалификационная работа)

На тему **Прогноз притока воды в**  
**Саратовское водохранилище**

Исполнитель Алексеев Виктор Евгеньевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Викторова Наталья Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«13» 06 2022г.

Санкт-Петербург  
2022

## Содержание

Введение.....	4
1 Физико-географическая характеристика бассейна Саратовского водохранилища.....	6
1.1 Географическое положение .....	6
1.2 Геология.....	6
1.3 Почвы и растительность.....	7
1.4 Климатическая характеристика.....	7
1.5 Гидрография .....	12
1.6 Водный режим рек района .....	14
1.6 Гидрометеорологическая изученность .....	15
2 Методы прогнозирования стока рек в весенний период .....	18
2.1 Основные факторы формирования стока весеннего половодья и методические основы его прогнозирования .....	19
2.2 Метод водного баланса.....	20
2.3 Физико-статистический метод.....	22
2.4 Статистические методы.....	25
3 Методы расчета и прогноза суточного притока воды в водохранилища..	27
4 Прогноз характеристик весеннего половодья притоков Саратовского водохранилища.....	33
4.1 Исходные данные.....	33
4.2 Прогноз характеристик половодья статистическими методами.....	33
4.3 Прогноз стока половодья физико-статистическими методами.....	38
4.3 Прогноз весеннего притока воды в водохранилище .....	41
5 Долгосрочный прогноз притока воды в водохранилище в меженный период.....	43
Заключение .....	47
Список использованных источников .....	48

Приложение А – Гидрологические и метеорологические данные по основным притокам Саратовского водохранилища.....	50
---	----

## Введение

Развитие многих отраслей экономики зависит от эффективной работы гидроэлектростанций и грамотного управления их работой. Это возможно при наличии оперативных гидрологических прогнозов и специализированного гидрологического обеспечения ГЭС. Наилучший эффект от работы водохранилища достигается при заранее известном притоке воды в водохранилище, который дает возможность планировать регулирование водохранилища с определенной заблаговременностью. Прогноз притока – один из основных видов деятельности прогностических отделов подразделений Росгидромета. В связи с этим решение вопросов прогнозирования притока является очень актуальной.

Целью данной работы является разработка методики прогноза притока воды в Саратовское водохранилище.

Объектом исследования является Саратовское водохранилище, образованное плотиной Саратовской ГЭС. Площадь водного зеркала водохранилища составляет 1831 км<sup>2</sup>. Водоохранилище было введено в эксплуатацию в 1967 – 1968 гг. и создавалось для целей энергетики, судоходства, а также водоснабжения. На момент его открытия электростанция Саратовской ГЭС занимала среди волжских ГЭС третье место.

Задачи работы включают:

- сбор сведения о физико-географических условиях района водохранилища (информации о географических и геологических особенностях региона, характере климата и его параметрах, гидрографических особенностях, особенностях водного режима);
- изучение методов расчета и прогноза притока воды в водохранилище;
- разработка методики прогноза притока воды в водохранилище в межженный период;
- выпуск поверочных прогнозов;

– оценка эффективности разработанных методов и анализ результатов.

При выполнении работ используются методы водного баланса и статистические методы.

Результаты работы могут быть использованы при разработке рекомендаций при выпуске оперативных прогнозов, что позволит принимать решения по регулированию режима наполнения и сработки.

# 1 Физико-географическая характеристика бассейна Саратовского водохранилища

## 1.1 Географическое положение

Объект исследования – Саратовское водохранилище административно располагается на территории Саратовской и Самарской области, географически – на территории Среднего и частично Нижнего Поволжья. Водоохранилище вытянуто с севера на юг на 357 км. Суммарная площадь водосбора реки Волга в створе Саратовской ГЭС составляет 1 290 000 км<sup>2</sup>, площадь собственного водосбора водохранилища – 80 000 км<sup>2</sup>.

Водосбор имеет ассиметричную форму. Правобережная часть водосбора расположена на склонах Приволжской возвышенности имеет возвышенный рельеф. В пределах правобережной части водосбора Саратовского водохранилища в верховьях р. Сызрани на фоне довольно высоких (до 300 м) сильно расчлененных склонов Приволжской возвышенности резко выделяется гора Вотлама высотой 342 м.

Левобережная часть водосбора, которая имеет значительно большую площадь, имеет более низкий рельеф, представляющий собой древнюю долину р. Волги. К непосредственной пойме Волги примыкает несколько террас, ширина которых может достигать 35 км [6].

## 1.2 Геология

Поверхность водосбора сложена мощным слоем четвертичных отложений, представленных глинами, суглинками и песками, которые покоятся на породах юрского, мелового и третичного периодов. К особенностям геологического строения данной территории следует отнести близкое залегание к поверхности растворимых пород, таких как известняки, мел, доломиты. Эта

особенность обуславливает наличие карта в пределах рассматриваемого района.

Левобережная часть, расположенная в долине древней Волги, сложена древнеаллювиальными отложениями, поверх которых располагаются супесчаные и глинистые породы речных отложений.

### 1.3 Почвы и растительность

В связи с большой протяженностью бассейна с севера на юг, в нем прослеживается широтная зональность распространения как видов почв, так и растительности. В северной части водосбора преобладают черноземы и серые лесные почвы, на которых произрастают широколиственные леса. В основном произрастают ель, сосна, дуб, клен, липа, береза, осина. К югу они сменяются лесостепью, почвы которой в основном представлены черноземом. Степное Заволжье покрыто разнотравно-типчаково-ковыльными степями, сменяющимися по мере увеличения сухости климата типчаково-ковыльными сухими степями, а затем злаково-полынными и солянковыми ассоциациями зоны полупустынь и пустынь. Лесостепь сменяется степью. Следует отметить, что естественная растительность в регионе значительно преобразована хозяйственной деятельностью человека.

### 1.4 Климатическая характеристика

Климат рассматриваемой относится к умеренному атлантико-континентальному, характеризующемуся умеренно-теплым летом и продолжительной холодной зимой. Континентальность климата увеличивается с запада на восток. В течение года в районе преобладает влияние умеренных морских и континентальных воздушных масс. Адвекция воздушных арктических и тропических воздушных масс формирует также влияют на формирование климата в рассматриваемом регионе. Поскольку циркуляция воздуха

не устойчива во времени, это неустойчивость климата, если рассматривать такие характеристики, как влажность и температура [6].

Климатическая характеристика района изысканий составлена по метеостанциям Самара на основе данных справочника по климату [4], согласно СП 131.13330.2020 [7]. Основные климатические характеристики приведены в таблице 1.1.

На рассматриваемой территории в течение почти всего года преобладает интенсивная циклоническая деятельность, сопровождаемая усилением западного переноса воздушных масс. Весной имеют место меридиональные переносы, способствующие обмену воздушных масс между севером и югом, что вызывает как интенсивное таяние снега, так и типичные для весны возвраты холодов. Летом погода формируется в основном за счет трансформации воздушных масс в антициклонах, чему способствует большой приток солнечной энергии. Район характеризуется холодной зимой и жарким летом.

Среднегодовая температура воздуха в районе составляет 5.5 °С. Абсолютный минимум температуры воздуха в отдельные годы может достигать минус 43 °С. Самый холодный месяц – январь, среднемноголетняя температура минус 12.1°С. Самый теплый месяц – июль, средняя температура 20.8°С, абсолютный максимум достигает 39.9 °С.

Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной обычно происходит в первых числах апреля, осенью – в последних числах сентября – первых числах октября.

Средняя годовая температура поверхности почвы 6.6 °С. Средняя из максимальных глубин промерзания почвы в районе составляет 50 – 90 см. В наиболее морозные и малоснежные зимы почва промерзает до глубины 1.5 м и более.

Относительная влажность достаточно высока в течение всего года, среднее значение – 72 %. Наибольших значений влажность достигает в зимние месяцы – ноябрь – декабрь. В это время относительная влажность достигает 85 %.



В среднем в год выпадает 547 мм осадков. Внутри года осадки распределяются неравномерно. Количество осадков за теплый период года составляет более 59% от годовой суммы. Максимум осадков приходится на июнь – июль. Несмотря на то, что летние осадки превышают зимние, на сток они не оказывают влияния, так как большая их часть расходуется на испарение и просачивание. Большая часть осадков выпадает в виде слабых и незначительных по величине дождей или снегопадов; иногда бывают затяжные дожди или сильные ливни. Величина суточных максимумов по годам очень различна. Согласно СП 131.13330.202, суточный максимум осадков по м/с Самара составляет 60 мм.

Снежный покров появляется в последней декаде октября, устойчивый снежный покров в среднем устанавливается через 20 – 25 дней после выпадения первого снега. Максимальная высота снежного покрова составляет 42 см, наблюдается обычно в первой – второй декаде марта. Сход снега начинается, в среднем, во второй половине апреля. Нередко после разрушения снежного покрова снег выпадает вновь, но обычно через несколько дней полностью стает.

На рассматриваемой территории в течение большей части года наблюдаются ветры юго-западного и южного направлений, значительно реже – ветры восточного направления. Зимой наибольшую повторяемость имеют ветры южной четверти (юго-западные, южные, реже юго-восточные), а летом преобладают ветры северо-западных и северных направлений.

Среднегодовая скорость ветра составляет 3.1 м/с. Максимальные скорости ветра приходятся на ноябрь – декабрь (3.4 м/с). Наименьшие скорости ветра наблюдаются в июле – августе.

В среднем в году наблюдается 23 дня с грозой. Также за год имеет место в среднем 41 день с туманом. Метель в районе наблюдается 46 дней в году.

Гололедно-изморозевые явления наблюдаются с января по май. В среднем за год наблюдается 15 дней с гололедом и 31 день с различными видами изморози.

Таблица 1.1 – Метеорологическая характеристика по метеостанции Самара

Характеристика	Единицы измерения	Месяцы												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Температура воздуха, средняя	°С	-11.1	-10.4	-3.7	7.2	15.3	19.2	21.3	19.5	13.4	5.4	-2.1	-8.3	5.5
Средняя суточная амплитуда температуры наружного воздуха	°С	6.4	7.1	7.2	9.1	11.1	10.7	10.4	10.6	9.6	6.9	4.9	5.6	-
Максимальная суточная амплитуда температуры наружного воздуха	°С	27.7	23.1	22.8	20.2	21.3	29.6	22.2	19.7	18.6	20.8	16.1	24.5	-
Среднемесячное и годовое парциальное давление водяного пара	гПа	2.5	2.5	3.7	6.3	8.7	12.7	15.1	13.6	9.9	6.7	4.6	3.1	7.5
Температура воздуха, абс. максимум по месяцам и за год	°С	5.2	6.8	16.5	31.1	33.7	38.4	39.4	39.9	33.8	26.0	13.6	7.3	9.2
Температура воздуха, абс. минимум по месяцам и за год	°С	-43	-37	-31	-21	-4.9	-0.4	6.3	2.3	-3.4	-16	-28	-41	0.9
Относительная влажность	%	83	80	78	64	52	61	64	64	67	76	85	85	72
Температура поверхности почвы, средняя по месяцам и за год	°С	-11	-11	-5.4	6.7	18.8	24.8	26.5	22.9	14.3	5.3	-3.2	-9.3	6.6
Осадки	мм	49	40	33	38	34	55	57	46	43	52	51	49	547

Продолжение таблицы 1.1

Характеристика	Единицы измерения	Месяцы												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Средняя скорость ветра	м/с	3.5	3.3	3.3	3.3	3	2.8	2.6	2.5	2.8	3.2	3.4	3.4	3.1
Максимальная высота снежного покрова	см	33	42	42	12	0	0	0	0	0	1	6	18	42
Атмосферные явления														
Туман	ср. кол-во дней	5	4	5	3	0	0	0	1	2	4	9	7	41
Гроза	ср. кол-во дней	0	0	0	0	2	7	7	4	1	0	0	0	23
Метель	ср. кол-во дней	5	13	20	6	0	0	0	0	0	0	0	2	46
Изморозь	ср. кол-во дней	3	9	9	6	4	0	0	0	0	0	0	0	31
Гололед	ср. кол-во дней	3	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	15

## 1.5 Гидрография

Саратовское водохранилище имеет вытянутую с севера на юг форму: при незначительной ширине (максимальная 25 км) оно протянулось на 357 км. Особенности геологического строения и рельефа определили распределение гидрографической сети.

Наиболее крупной рекой, впадающей с правого берега, является река Сызрань. С левого берега наиболее крупным притоком является река Самара, бассейн которой имеет густую и разветвленную сеть водотоков. После ее впадения речная сеть левобережья становится совсем редкой. Южнее г. Самара реки незначительные по своей величине и очень часто в летний период они пересыхают, а в зимний – пересыхают. В целом гидрографическая сеть района характеризуется сильной извилистостью и незначительной длиной, обусловленной извилистостью рельефа. Озер в районе крайне мало и они, в основном, расположены в поймах рек.

Грунтовые воды залегают достаточно близко к поверхности, в среднем – на глубине 10 – 20 метров, а в междуречьях – на глубине 3 метров. Вследствие близкого залегания грунтовые воды практически все года равномерно питают поверхностные воды. Для левобережных притоков это питание может составлять 25 – 30% речного стока.

В таблице 1.2 приведены ресурсы поверхностных вод бассейна Саратовского водохранилища.

Как уже указывалось выше, в Саратовском водохранилище очень развита левобережная часть. Схема бассейна приведена на рисунке 1.1. По левому берегу впадают: р. Сок (основной приток – Кондурча), р. Самара (основной приток – Большой Кипень), р. Чапаевка, р. Чагра, р. М. Иргиз. На правобережной части имеется только одна река Сызрань с притоком Крымзой.

Таблица 1.2 – Ресурсы поверхностных вод (млн. м<sup>3</sup>) бассейна Саратовского водохранилища

Реки	Площадь, км <sup>2</sup>	Средний годовой сток, мм
Сок	11700	1048
Самара	46500	3681
Чапаевка	4310	243
Чагра	3440	188
М.Иргиз	3900	202
Сызрань	5650	458

Рисунок 1.1 – Схема бассейна Саратовского водохранилища

Основные гидрографические характеристики рассматриваемых рек приведены в таблице 1.3

Таблица 1.3 – Основные гидрологические характеристики рек Заволжья

Реки	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Средне-годовой сток, млн. м <sup>3</sup>	Сток за характерные годы, млн. м <sup>3</sup>		
			Многоводный год (5%)	Маловодный год (80%)	Очень маловодный год (97%)
Левобережная часть					
Сок	11700	1048	1941	701	328
Самара	46500	3681	7274	1805	1041
Чапаевка	4310	243	550	129	46.2
Правобережная часть					
Сызрань	5650	458	822	340	248

### 1.6 Водный режим рек района

Реки Самара, Б. Кинель, Чапаевка, Сок и Чагра равнинные с весенним половодьем. Формирование весеннего стока, в основном происходит за счет таяния снега, накопившегося в бассейне за период зимы, а также осадков, выпавших в весенний период. В период летне-осенней межени реки питаются за счет грунтовых вод, за этот период происходят и дождевые паводки, приводящие в отдельные годы, к значительному увеличению расходов воды. Но для целого ряда лет выпадающие осадки могут и не формировать значительных паводков, но приводит к существенному замедлению истощения расходов, связанных с истощением накопившихся в бассейне запасов влаги, например в 1966 г. и в 2009 – 2010 г. За период с 1962 по 2010 гг. самым многоводным годов является 1979 год, самым маловодным 1975 и 2010 год.

Самая крупная река в области – Самара, которая впадает в Саратовское водохранилище в самом городе, слева. Она берет свое начало в 25 км восточ-

нее п. Новониколаевское Оренбургской области. Длина реки 594 км, площадь водосбора 46500 км<sup>2</sup>. Наибольшее превышение максимального уровня весеннего половодья над средней меженью в многоводные годы в верхнем течении 3 – 6 м, в среднем течении 9 м, в нижнем 10 – 15 м. Начало половодья приходится по всей реке на начало апреля. Средняя продолжительность половодья составляет в верхнем течении реки 23 дня, среднем и нижнем 30 – 36 дней.

Река Сок берет начало в 0.5 км к югу от с. Курско-Васильевки Карамлинского района Оренбургской области, впадает в Саратовское водохранилище слева. Длина реки 363 км, площадь водосбора 11700 км<sup>2</sup>. Максимальное превышение уровня весеннего половодья над средней меженью составляет 3.5 – 5 м. Подъем уровня начинается в начале апреля, происходит с наибольшей интенсивностью 1.5 м/сут, достигая максимальной величины в середине апреля. Средняя продолжительность половодья у ст. Сургут – 31 день. На крупных изгибах образуются заторы льда.

Река Большой Кинель берет начало на западном склоне Общего Сырта, в 9 км к юго-востоку от д. Алябьево Понаморевского района Оренбургской области, является правым притоком р. Самара. Длина реки 442 км, площадь водосбора 14 900 км<sup>2</sup>. Максимальное превышение уровня весеннего половодья над средней меженью составляет 5.6 – 9.4 м. Подъем уровня начинается в начале апреля, происходит с наибольшей интенсивностью 1.5 м/сут., достигая максимальной величины в середине апреля. Средняя продолжительность половодья 24 дня. Максимальные уровни наблюдаются в середине апреля.

Река Чапаевка берет начало у с. Николаевка Алексеевского района Самарской области, впадает слева. Длина реки 264 км, площадь водосбора составляет 404 км<sup>2</sup>.

## 1.6 Гидрометеорологическая изученность

Наблюдения на р. Волге в районе производства изысканий начаты еще в 19 в. Первые водомерные посты были организованы Министерством путей

сообщения на р. Волге с целью изучения условий судоходства. В частности, у г. Самары водомерный пост был открыт в 1876 г.

После ввода в эксплуатацию Саратовского водохранилища, входящего в каскад Волжских ГЭС, на водохранилище были организованы озерные посты и озерные станции. Всего на Саратовском водохранилище действовало 9 озерных постов, в настоящее время – пять. Озерные станции расположены в г. Сызрань и г. Балаково. Средняя продолжительность наблюдений на действующих постах составляет около 50 лет. В таблице 1.4 представлена информация об озерных и речных постах.

Информация о метеостанциях, используемых при составлении метеорологической характеристики района перехода, представлена в таблице 1.5.

Таблица 1.4. Гидрологическая изученность

№ поста	Название водного объекта	Название поста	Период действия		Принадлежность
			открыт	закрыт	
1	Саратовское водохранилище	Жигулевская ГЭС (Волжская ГЭС им. Ленина) (нижний бьеф)	01.01.1958	действ.	Приволжское УГМС
2		пгт Зольное	29.02.1968	закрыт	Приволжское УГМС
3		г. Самара (г.Куйбышев)	03.11.1967 (08.09.1876)	действ	Приволжское УГМС
4		р.п. Переволоки	22.10.1968 (29.07.1929)	закрыт	Приволжское УГМС
5		г. Сызрань	21.07.1968	действ	Приволжское УГМС
6		р.п. Приволжье	01.01.1970	закрыт	Приволжское УГМС
7		г. Хвалынский	31.05.1963	действ	Приволжское УГМС
8		р.п. Алексеевка	26.09.1974	закрыт	Приволжское УГМС
9		г. Балаково	02.11.1967 (06.10.1931)	действ	Приволжское УГМС



Таблица 1.5. Основные сведения о метеостанциях

Название метеостанции	Синоптический индекс	Абсолютная высотная отметка, м БС	Географические координаты	
			широта	долгота
Сызрань	27983	103	53.2 с.ш.	48.4 в.д.
Самара обсерватория	28900	130	53.3 с.ш.	50.1 в.д.

## 2 Методы прогнозирования стока рек в весенний период

В основе методов прогноза весеннего стока лежат физические предпосылки, которые определяют процесс формирования стока. Обычно методы базируются на некоторой модели, которая либо в полной мере, либо с некоторыми приближениями связывает между собой причины (факторы, определяющие сток) и последствия (сток воды в период половодья).

Как любой метод прогноза, прогностические модели прогноза стока весеннего половодья имеют некоторую неопределенность. Во многом это определяется недостаточным объемом исходной гидрометеорологической информации, неполным учетом всех факторов, определяющих этот процесс. Еще одним фактором является то, что в основе прогноза всегда лежит прогностическая информация о метеорологических условиях, которая тоже несет в себе неопределенность. Еще одной отличительной особенностью методов является то, что они базируются на эмпирических данных, которые необходимы для определения параметров моделей и методов, и применяются только к конкретным водным объектам.

Обычно в практике прогнозов выделяют три основных типа метода.

Первый метод включает в себя прямой воднобалансовый расчет. Суть этого метода состоит в том, что производится суммирование всех составляющих водного баланса за период весеннего половодья. Непосредственное использование этого метода затруднено тем, что не всегда есть данные по всем элементам водного баланса.

Вторая группа методов базируется на построении физико-статистических воднобалансовых зависимостей. Эти зависимости описывают физику процесса в виде эмпирических зависимостей стока половодья от определяющих его факторов.

В основе третьи группы методов лежат статистические регрессионные методы, с помощью которых производится отбор наиболее значимых факторов (предикторов).

Для разработки всех указанных методов необходима информация о наблюдениях за основными гидрометеорологическими элементами за многолетний период. В связи с этим возникают сложности из-за ограниченности рядов наблюдений, а иногда и их невысокой точности. Поэтому при разработке методов всегда следует проводить тщательную обработку и анализ исходных данных.

## 2.1 Основные факторы формирования стока весеннего половодья и методические основы его прогнозирования

Сток весеннего половодья определяется очень многими факторами. К переменным факторам, которые определяют его величину в конкретном году, могут быть отнесены: снеготопления; влажность воздуха; температурный режим в конце зимы, начале весны; предшествующее увлажнение почвогрунтов.

Снежный покров является наиболее важным фактором. При этом важна не только его величина, но и распределение по площади бассейна. Последнюю характеристику ранее определяли по данным снегомерных маршрутов, а в настоящее время широко применяются данные спутникового зондирования.

Если на более ранних этапах в расчетах использовали данные, осредненные по бассейну, то сейчас строят карты изолиний снежного покрова

Еще одним важным фактором является водопоглощительная способность почв, так как именно эта характеристика во многом определяет потери талого стока. На водопоглощительную способность почв влияют такие факторы, как глубина промерзания, влажность почвы в предшествующий зимнему период, а также температуры воздуха. Еще одним фактором является характер дру-

ности весны. Если происходит быстрое стаивание снега, то влага не успевает впитываться и формирует более интенсивный склоновый сток.

Поскольку за глубиной промерзания не везде ведутся наблюдения, то ее определяют в зависимости от температуры воздуха и толщины снежного покрова.

Для ряда районов наиболее важной характеристикой является не глубина промерзания, а влажность почвы, так как если почвы переувлажнена, то глубина промерзания уже не оказывает влияния. В практике гидрологических прогнозов обычно используется величина влажности почвы перед началом снеготаяния. Но наблюдений за влажностью почвы в этот период не ведется, поэтому используют данные об осенней влажности или косвенные показатели. Но осеннее увлажнение не в полной мере может отражать влагоемкость почвы перед началом снеготаяния. Это связано с тем, что в ряде районов в течение зимы наблюдаются оттепели, из-за которых может наблюдаться явление переувлажнения почвы. Таким образом, осенняя влажность почвы, как правило, не соответствует влажности перед началом снеготаяния.

В последние годы измерения влажности почвы в зимний период практически прекратились. В связи с этим в методах гидрологических прогнозов либо применяется осенняя измеренная при редкой сети наблюдений влажность, либо она заменяется косвенной характеристикой в виде среднего расхода воды за осенний либо осенне-зимний периоды.

## 2.2 Метод водного баланса

Метод водного баланса в основном применяется для прогнозов стока половодья на реках, расположенных в лесной зоне избыточного увлажнения. Это связано с тем, что в этих районах потери стока идут в основном на увлажнение верхней зоны почвогрунтов, испарение с поверхности снега и почвы, а также на пополнение запасов грунтовых вод.

В общем виде уравнение водного баланса записывается в следующем виде:

$$Y = S + X_1 + X_2 + P, \quad (2.1)$$

где  $Y$  – величина весеннего стока, мм;

$S$  – максимальные запасы влаги в снежном покрове, мм;

$X_1$  – количество осадков от даты максимальных снеготпасов до даты схода снега в лесу, мм

$X_2$  – количество осадков от даты схода снега в лесу до конца половодья, мм

$P$  – потери стока.

При всей простоте, применение метода определено с рядов трудностей. Прежде всего это связано со сложностью определения потерь талого стока [8]. Суммарные потери обычно определяются по эмпирическим зависимостям, которые позволяют учесть водопоглотельную способность речных водосборов.

Согласно рекомендациям Государственного гидрологического института сток половодья необходимо определять как сумму стока с полевых и лесных частей бассейна.

При раскрытии потерь стока, формула для определения талого стока может быть представлена в идее уравнения

$$Y_m = (S + \bar{X}_1) - P = (S + \bar{X}_1) - (\Delta W + \Delta U_{zp} + \Delta U_{\delta} + E) \quad (2.2)$$

где  $\Delta W$  – потери воды, идущие на пополнение запасов воды в почвогрунтах;

$\Delta U_{zp}$  – потери воды, идущие на пополнение запасов грунтовых вод;

$\Delta U_{\delta}$  – потери воды, идущие на пополнение запасов болотных вод;

$E$  – потери воды на испарение.

Величины  $\Delta W$  и  $\Delta U_{zp}$  могут быть определены как разность влагозапасов на начало и конец половодья. Потери, идущие на пополнение запасов воды в болотах, ввиду отсутствия данных наблюдений, обычно приравниваются к потерям на увлажнение почвогрунтов.

В связи с тем, что наблюдения за испарением воды проводятся не на всех речных бассейнах, его величину рекомендуется определять в зависимости от максимальных снегозапасов к началу весны.

Суммарный сток за половодье формируется из базисного стока (подземного  $Y_n$ ), талого стока ( $Y_m$ ) и дождевого стока ( $\bar{Y}_d$ )

$$Y = Y_m + Y_n + \bar{Y}_d. \quad (2.3)$$

При этом в качестве дождевого стока выступает норма стока на спаде половодья.

Предложенный ГГИ метод не учитывает аккумуляция талой воды в понижениях рельефа. Это связано с тем, что величина эта не измеряется и зависит от очень большого числа факторов: характера рельефа, почвогрунтов и их распределения по площади водосбора, степени увлажнения почвогрунтов, уровня грунтовых вод, степени заболоченности, озерности и распаханности водосбора [1]. Приблизительная оценка этой составляющих потерь показала ее незначительность, и дала возможность ей пренебречь.

### 2.3 Физико-статистический метод

В основу этого метода также положено уравнение водного баланса, но его отличие состоит в том, что потерь и сток рассчитываются на основе теоретических моделей. Это позволяет уйти от эмпирических данных и получить интегральное уравнение стока для разных типов водопоглощения, кото-

рые дают физическое представление об общем виде зависимости стока от определяющих его факторов [8].

Подача воды рассчитывается по уравнению

$$X = S + X_1, \quad (2.4)$$

$$\text{или } X = S + X_1 + kX_2, \quad (2.5)$$

где  $S$  – максимальные запасы влаги в снежном покрове и ледяной корке, мм;

$X_1$  – количество осадков от даты максимальных снеготпасов до даты схода снега в лесу, мм

$X_2$  – количество осадков от даты схода снега в лесу до конца половодья, мм

$k$  – коэффициент, подобный коэффициенту стока дождевых вод во время спада половодья.

Величины  $X_1$  и  $X_2$  на момент выпуска обычно неизвестны и их принимают равными многолетним нормам.

Самую большую сложность составляет определение потерь стока. В основу их определения легла теоретическая модель, предложенная Е.Г. Поповым, который выделил два типа водопоглощения.

При емкостном типе модели предполагается, что сток в реку начинается, когда будут насыщены влагой все пустоты в почве и все микропонижения рельефа. С этого моменты остаются только потери на испарение. Согласно этой модели потери будут зависеть от подачи талой воды и распределения свободной емкости в бассейне.

Выражения для расчета стока при данном типе водопоглощения имеют вид

$$Y = X - E(U) \left( 1 - e^{(-X/E(U))} \right), \quad (2.6)$$

$$Y = X - E(U)th(X / E(U)), \quad (2.7)$$

где  $X$  – общее количество поступившей влаги, мм;

$E(U)$  – предшествующее увлажнение речного бассейна, мм\$

$th$  – гиперболический тангенс.

Величина  $E(U)$  отражает свободную емкость бассейна может зависеть от предшествующего и глубины промерзания. Этой величине придают смысл величины, характеризующей максимально возможные потери стока  $P_0$ . В этом случае уравнения (2.6) и (2.7) можно написать в следующем виде

$$Y = X - P_0 \left( 1 - e^{(-X/P_0)} \right), \quad (2.8)$$

$$Y = X - P_0 th(X / P_0), \quad (2.9)$$

$$Y = X e^{(-X/P_0)}, \quad (2.10)$$

Формулы (2.8), (2.9), (2.10) могут быть использованы для расчетов и прогнозов весеннего стока в зоне избыточного увлажнения и вечной мерзлоты, где потери в основном идут на поверхностное задержание.

В случае фильтрационно-емкостной модели предполагается, что начинается тогда, когда интенсивность поступления воды превышает интенсивность просачивания в почвогрунты. В этом случае потери могут быть определены по формуле:

$$P = (1 - \Phi)(X - I) + A, \quad (2.11)$$

где  $I$  – инфильтрация;

$\Phi$  – относительная действующая площадь, зависящая от  $(X - I)$ ;

$A$  – величина поверхностного задержания;



$X$  – подача воды на водосбор.

Для фильтрационно-емкостной модели сток может быть определен по формуле:

$$Y = \Phi(X - I) - A, \quad (2.12)$$

Интегрирование уравнения (2.12) позволило получить формулы для расчета стока

$$Y = X - I - E_{max} \left( 1 - e^{\left( -\frac{X-I}{E_{max}} \right)} \right), \quad (2.12)$$

$$Y = X - I - E_{max} th((X - I) / E_{max}), \quad (2.12)$$

где  $E_{max}$  – параметр, характеризующий емкость бассейна при отсутствии просачивания.

Формулы (2.12) и (2.13) могут быть использованы для оценки стока весеннего половодья в зонах недостаточного увлажнения. Они могут быть использованы как в аналитическом, так и графоаналитическом виде.

Зависимости обоих типов учитывают количество воды, поступившей на водосбор, а также потери. При их построении сначала строят зависимость стока от поступления воды на водосбор и увлажнения. Показатели увлажнения обычно коррелируют с глубиной промерзания, продолжительностью снеготаяния, количеством осадков за весенний период.

## 2.4 Статистические методы

Статистические методы основаны на построение регрессионных зависимостей. Их используют тогда, когда из-за недостатка данных или их невы-

сокой точности, выполнить расчет (прогноз) описанными выше методами невозможно.

В общем виде суть этих методов заключается в том, что необходимо найти связь между прогнозируемой величиной (предиктантом) и факторами, которые на него влияют (предикторами). Конечно, прежде чем искать подобные зависимости, необходимо провести физический анализ явления с целью выявления этих факторов.

У статистических есть ряд недостатков, которые связаны с наличием корреляционной связи между самими предикторами, незначительная длина выборки по сравнению с число независимых переменных и др. Однако эти методы довольно часто применяются на практике. В основном они представляются в виде аналитических или графических зависимостей.

### 3 Методы расчета и прогноза суточного притока воды в водохранилища

В рамках подготовки выпускной работы были проведен анализ публикаций, отражающих современные подходы к прогнозу бокового притока в водохранилища.

В статье «Методика оперативного расчета и прогноза суточного притока воды в водохранилище Зейской ГЭС», подготовленной специалистами Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации Борща С.В. и Буракова Д.А, а также Симонова Ю.А (КГАУ), подробно изложена методика суточного прогноза бокового притока [9].

Представленная в статье методика была разработана и внедрена в ходе реализации «Технического проекта восстановления, модернизации и развития гидрометеорологической сети наблюдений и системы гидрологического прогнозирования в бассейне реки Амур».

Как указывают авторы, до разработки методики при определении притока воды в водохранилище использовался воднобалансовый метод, однако его применение не давало хороших результатов при суточных шагах расчета.

Авторами была разработана методика, которая использует четыре метеорологических модели и позволяет на основе концептуальной гидрологической модели давать прогноз с заблаговременностью в 4 суток.

Суть применяемого ранее воднобалансового метода отражает следующее уравнение

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{сбр}} + (V_{\text{к}} - V_{\text{н}})/T, \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{сбр}}$  – сток воды из водохранилища, м<sup>3</sup>/с;

$V_{\text{к}}, V_{\text{н}}$  – объемы воды в водохранилище на конец и начало интервала, м<sup>3</sup>;

$T$  – продолжительность расчетного интервала времени, с.

Это уравнение просто в применении и используется тогда, когда отсутствуют данные наблюдений на притоках. Недостатком этого метода является то, что в уравнении водного баланса в величину притока косвенно входят все те элементы водного баланса, которые не были учтены при расчете. Это и испарение, и грунтовый сток и другие. Туда же входят и ошибки расчетов [10]. Кроме того, с уменьшением расчетных интервалов времени, точность определения притока существенно уменьшается, что связано с ошибками определения аккумуляции воды в водохранилище. В связи с этим при коротких интервалах расчетов (сутки), не рекомендуется использовать данный метод.

При гидрометрическом методе боковой приток  $Q_b(t)$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) определяется по формуле

$$Q_b(t) = \Sigma Q_{ai}(t)K_i, \quad (3.2)$$

где  $Q_b(t)$  – среднесуточный расход воды бассейна-аналога,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$K_i$  – коэффициент стоковой приводки,  $K_i = F_i/F_{ai}$ ,

где  $F_i$  – площадь  $i$ -ого района бассейна водохранилища;

$F_{ai}$  – площадь  $i$ -ого района бассейна-аналога.

Гидрометрические створы на реках-аналогах расположены в основном на некотором отдалении от устьевых створов. В связи с этим, авторы предлагают рассчитывать боковой приток с учетом времени добегания до замыкающих створов.. Определить время можно по картам бассейна с изохронами руслового времени добегания.

Для реализации прогноза притока воды может быть использована модель, разработанная под руководством Буракова Д.А. [11, 12, 13]. Модель разработана при целом ряде допущений. Во -первых, предполагается, что на водосборе выделены однородные ландшафтно-гидрологические районы. Модель предполагает определение неравномерности процессов снеготаяния и

водопоглощения учитывать с помощью вероятностных распределений. Русловое добегание воды рассчитывается с применением функции плотности вероятностного распределения времени добегания элементарных объемов воды и теоретических формул моментов.

Для реализации математической модели прогноза ежедневных расходов (уровней) воды в рассматриваемом бассейне были выделены высотные зоны. Косвенной характеристикой увлажнения выступали либо предшествующие расходы воды, либо предшествующие осадки [13].

Для каждой зоны была разработана своя подмодель, в рамках которой последовательно проводится расчет снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи, склонового, а затем руслового стока [12, 13].

Расчет водоотдачи проводится по методике Е.Г. Попова [14] и начинается тогда, когда поступление влаги в бассейн превышает испарение и просачивание.

В основе подмодели динамической составляющей склонового притока в русловую сеть  $q(t)$  лежит концепция динамического (гравитационного) запаса воды  $W(t)$  на склонах, связанного с  $q(t)$  в общем случае не линейно [12, 13]:

$$W(t+1) = W(t) + \varphi(t) * (h - Z - I)_{t+1} - q(t+1), \quad (3.3)$$

$$q(t) = \alpha \{0.50 [W(t+1) + W(t)]\}^p, \quad (3.4)$$

где  $t$  — время;

$q(t)$  — относительная действующая площадь, в пределах которой происходит пополнение динамического запаса воды (изменяется от нуля в состоянии высыхания бассейна, до  $(1-\omega)$  при насыщении почвы водой);

$\omega$  — доля постоянно бессточной площади в бассейне;

$h$  — слой подачи дождевой (талой) воды за расчетный интервал;

$Z$  — испарение;

- $I$  – впитывание, связанной с пополнением базисного стока и определяемое по расходу воды  $Q_{\min}$  в конце истощения ( $I = 86.4Q_{\min}/F$ ), мм/сут.;
- $\alpha$  – переменный коэффициент, учитывающий гидравлические условия и другие факторы;
- $p$  – показатель степени (в первом приближении  $p = 1$ );
- $F$  – площадь водосбора.

Величина, отвечающая за поглощение воды (потери стока) определяется по эмпирической зависимости от косвенных показателей предшествующего увлажнения бассейна.

Для расчета изменения величины склонового стока используется формула так называемого «интеграла свертки»:

$$Q(t + \Delta t) = \left[ \sum_{i=1}^n \int_0^{\Delta t} q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau \right] + Q_w(t + \Delta t) + Q_{\min}, \quad (3.5)$$

где  $Q(t + \Delta t)$  – расход воды в замыкающем створе;

$t$  – дата выпуска прогноза;

$\Delta t$  – заблаговременность прогноза;

$n$  – число ландшафтно-гидрологических районов, на которые разбит речной бассейн

$q_i(t)$  – суммарный приток в русловую сеть с  $i$ -го района;

$f_{q_i}(\tau)$  – кривая добегания бокового притока с  $i$ -го района (функция влияния), рассматриваемая как плотность распределения времени добегания элементарных объемов воды в гидрологической системе;

$Q_w(t + \Delta t)$  – составляющая расхода воды, обусловленная истощением начального (на момент  $t$ ) запаса воды в русловой сети;

$Q_{\min}$  – устойчивое (базисное) питание реки.

Выразив запас воды в русловой сети в зависимости от высот уровней воды  $H_i(t)$  в пунктах наблюдений речной системы, получим следующее уравнение:

$$Q(t + \Delta t) = \left[ c_0 \sum \int_0^{\Delta t} q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau + \sum c_i (H_i(t) - H_{i \min})^{y_1} + \sum c_i (H_i(t) - H_i(t - 1)) \right]^{1/y_2} + Q_{min}, \quad (3.6)$$

где  $Q(t + \Delta t)$  – прогнозируемый расход (уровень) воды в замыкающем створе (или приток воды в водохранилище);

$c_i, y_1, y_2$  – коэффициенты;

$H_{i \min}$  – минимальный уровень воды в  $i$ -ом пункте речной системы, принятый за условный нуль отсчета;

$Q_{min}$  – устойчивое (базисное) питание реки в замыкающем створе.

Кроме методики прогноза суточного притока был также рассмотрен метода прогнозирования за период весеннего половодья, представленная в статье Мухина В.М. «Методы прогнозирования притока воды в водохранилище за период весеннего половодья» [15].

В настоящее время в Российской Федерации в среднем на один гидрологический пост Росгидромета приходится около 5000 км<sup>2</sup>. На информационные посты, данные с которых поступают ежедневно, названная площадь почти в два раза больше (порядка 9000 км<sup>2</sup>). Следует заметить, что, например, в Индии и Китае на один пост приходится от 1400 до 2000 км<sup>2</sup>, т.е. в 5 – 6 раз меньшая площадь [16].

В Российской Федерации в службе гидрологических прогнозов действует около 3000 гидрологических станций и постов, 83 областных, 23 территориальных гидрометеорологических центров при управлении Росгидрометом и ФГБУ «Гидрометцентр России» – ведущей организацией в области гидрометеорологических прогнозов.

Автором даны рекомендации по использованию прогностических моделей, особенно для горных рек.

1. В случае прогнозов на больших реках рекомендуется использовать известную кривую добегаания или метод единичного паводка плюс приток с части бассейна, примыкающий к этому участку. А в случае получения морфометрических данных по руслу и скоростям течения, можно использовать модели, базирующиеся на уравнениях баланса и неразрывности Сен-Венана.

2. Комбинированные модели, которые учитывают процесс стекания стекания талой воды по склонам и руслам, рекомендуется применять для бассейнов средних рек.

3. Для малых бассейнов рек наиболее сложно разработать модели. Для них в настоящее время имеется наименьшее число наблюдений, а требуется как раз большее. Здесь большую роль в формировании стока играют снеготаяние, таяние ледников. Кроме того, играют роль чаще происходящие процессы стекания воды внутри рыхлых пород. Распределение приходных факторов значительно больше: от поверхностного стока по голым скалам, от многократного превышения по сравнению со средними по бассейну запасами воды в снежном покрове (включая лавины) до голых скал, а также неравномерное по площади бассейна выпадение жидких и твердых осадков, от морозящих некоторое время до ливневых [15].



## 4 Прогноз характеристик весеннего половодья притоков Саратовского водохранилища

### 4.1 Исходные данные

Исходными гидрологическими данными для разработки методики являлись ряды многолетних наблюдений за максимальных расходами и уровнями воды, а также о величине слоя стока половодья на основных притоках Саратовского водохранилища за 1968 – 2008 год: р. Самара – с. Елшанка, р. Большой Кипень – пгт Тимашево, р. Сок – с. Сургут, р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка.

Исходными метеорологическими данными являлись данные о максимальных снеготзапасах, данные о снеготзапасах на 28.02 (дату выпуска прогноза), данные об общих снеготзапасах, сведения о влажности почвы, сведения о глубине промерзания, сведения о величине весенних осадках и суммарной температуре воздуха по метеостанции Самара.

Исходные данные приведены в Приложении А.

### 4.2 Прогноз характеристик половодья статистическими методами

Для прогноза стока весеннего половодья было принято решение использовать статистические методы. Для основных притоков Саратовского водохранилища строились регрессионные зависимости по четырем вариантам. В первом варианте предиктантов выступал сток весеннего половодья ( $Y$ ), предикторами выступали основные стокоформирующие факторы – максимальные снеготзапасы ( $S_{\max}$ ) и осадки за весенний период ( $X_{\text{вес}}$ ). Во втором варианте, зависимостей переменной остается сток весеннего половодья, а к числу предикторов добавляется глубина промерзания ( $L$ ). В третьем варианте вместо глубины промерзания будет влажность почвы ( $U$ ). В четвертом вари-

анте в качестве прогнозируемой величину будет рассматриваться максимальный слой половодья ( $H_{\max}$ ), а в качестве предикторов слой стока весеннего половодья ( $Y$ ) и сумма положительных температуры за 5 дней ( $\Sigma t$ ). При четвертом варианте рассматривалась зависимость уровня только от стока половодья. При построении зависимостей использовались данные с 1968 по 2005 год.

Для оценки эффективности методики необходимо рассчитать допустимую ошибку  $\delta_{\text{доп}}$ . Поскольку предполагается выпускать долгосрочные прогнозы, то ошибка допустимая ошибка вычисляется по формуле

$$\delta = \pm 0.674\sigma, \quad (4.1)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение от нормы.

В таблице 4.1 приведены полученные значения допустимой ошибки и  $\sigma$ .

Таблица 4.1 – Значения допустимой ошибки и  $\sigma$

Река – Пост	$\delta_{\text{доп}Y}$ , мм	$\sigma_Y$ , мм	$\delta_{\text{доп}H}$ , см	$\sigma_H$ , см
р. Самара – с. Елшанка	12	18	123	182
р. Большой Кинень – пгт Тимашево	17	26	109	161
р. Сок – с. Сургут	19	28	33	49
р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка	21	31	114	169

Для оценки эффективности методик использовались показатели качества, применяемые при числе прогнозного ряда более 25 и приведенные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатели качества методик

Категория качества методики	S/ $\sigma$	Обеспеченность допустимой погрешности прогнозов, %
Хорошая	< 0.50	>82
Удовлетворительная	0.51 – 0.80	81 – 60

Полученные прогностические зависимости и оценка коэффициент детерминации приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Прогностические зависимости

№	Вид уравнения	$R^2$	S/σ	P, %
р. Самара – с. Елшанка				
1	$Y_1 = -0.01S_{\max} - 0.0001X_{\text{вс}} + 39.80$	0.00	1.01	42
2	$Y_1 = 0.03S_{\max} + 0.098X_{\text{вс}} + 0.114L + 25.65$	0.05	0.99	47
3	$Y_1 = 0.035S_{\max} + 0.21X_{\text{вс}} + 0.50U - 4.93$	0.35	<b>0.72</b>	<b>58</b>
4	$H_1 = 9.48Y - 0.86\Sigma t + 278.35$	0.82	<b>0.43</b>	<b>89</b>
5	$H_1 = 9.28Y + 271.70$	0.81	<b>0.44</b>	<b>89</b>
р. Большой Кинень – пгт Тимашево				
1	$Y_2 = 0.13S_{\max} + 0.53X_{\text{вс}} + 21.97$	0.17	0.92	53
2	$Y_2 = 0.14S_{\max} + 0.53X_{\text{вс}} - 0.033L + 24.06$	0.17	0.92	53
3	$Y_2 = 0.19S_{\max} + 0.50X_{\text{вс}} + 0.55U - 27.54$	0.49	<b>0.72</b>	<b>71</b>
4	$H_2 = 4.91Y - 0.59\Sigma t + 557.87$	0.61	<b>0.75</b>	<b>61</b>
5	$H_2 = 4.84Y + 492.83$	0.60	<b>0.64</b>	<b>71</b>
р. Сок – с. Сургут				
1	$Y_3 = 0.12S_{\max} + 0.91X_{\text{вс}} + 24.06$	0.25	0.88	61
2	$Y_3 = 0.12S_{\max} + 0.89X_{\text{вс}} - 0.136L + 35.57$	0.28	0.86	63
3	$Y_3 = 0.17S_{\max} + 0.77X_{\text{вс}} + 0.55U - 26.89$	0.54	<b>0.68</b>	<b>76</b>
4	$H_3 = 1.20Y - 0.18\Sigma t + 415.16$	0.47	0.84	63
5	$H_3 = 1.17Y + 397.80$	0.45	<b>0.75</b>	<b>68</b>
р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка				
1	$Y_4 = 0.44S_{\max} + 0.30X_{\text{вс}} + 8.60$	0.13	0.94	58
2	$Y_4 = 0.36S_{\max} + 0.35X_{\text{вс}} - 0.19L + 28.72$	0.22	0.90	55
3	$Y_4 = 0.40S_{\max} + 0.24X_{\text{вс}} + 0.74U - 42.56$	0.48	<b>0.73</b>	<b>68</b>
4	$H_4 = 4.78Y + 1.86\Sigma t + 406.74$	0.75	1.29	29
5	$H_4 = 4.67Y + 444.20$	0.73	<b>0.53</b>	<b>76</b>

Анализ результатов позволил сделать следующие выводы, эффективными методиками для прогноза слоя стока половодья для всех рассматриваемых рек признаны зависимости третьего типа, где в качестве предикторов выступают максимальные снегозапасы, весенний осадки и влажность почвы. Методики можно отнести к удовлетворительным.

При прогнозе максимальных уровней воды эффективными являются зависимости, использующие в качестве предиктора только слой стока половодья. Методики можно отнести к удовлетворительным, а для р. Самара – к хорошим.

Для формирования полной картины разработанные методики были проверены на независимом материале 2006 – 2008 гг., данные по которым не были использованы при построении зависимостей. Проверке подвергались те уравнения, результаты использования которых были признаны удовлетворительными. В таблице 4.4 приведены результаты поверочных прогнозов слоя стока половодья, в таблице 4.5 – уровней воды.

Таблица 4.4 – Результаты поверочных прогнозов слоя стока половодья

Год	$Y_{ф}$ , мм	$Y_{пр}$ , мм	$\Delta Y$ , мм	$\delta Y$ , %	Оправдываемость
р. Самара – с. Елшанка					
2006	13	24	11	85	Оправдался
2007	29	32	3	10	Оправдался
2008	27	24	3	10	Оправдался
среднее			5	35	
р. Большой Кинень – пгт Тимашево					
2006	23	14	9	39	Оправдался
2007	67	36	31	47	Не оправдался
2008	24	22	2	9	Оправдался
среднее	38	24	14	32	

Продолжение таблицы 4.4

Год	$Y_{ф}$ , мм	$Y_{пр}$ , мм	$\Delta Y$ , мм	$\delta y$ , %	Оправдываемость
р. Сок – с. Сургут					
2006	34	42	8	22	Оправдался
2007	62	81	19	31	Не оправдался
2008	32	16	16	49	Оправдался
среднее	43	46	14	34	
р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка					
2006	11	12	1	11	Оправдался
2007	55	66	11	20	Оправдался
2008	15	8	7	44	Оправдался
среднее	27	29	6	25	

Таблица 4.5 – Результаты поверочных прогнозов максимальных уровней

Год	$H_{ф}$ , см	$H_{пр}$ , см	$\Delta H$ , см	$\delta H$ , %	Оправдываемость
р. Самара – с. Елшанка					
2006	361	399	38	11	Оправдался
2007	411	549	138	34	Не оправдался
2008	413	527	114	28	Оправдался
среднее	395	492	97	24	
р. Большой Кинень – пгт Тимашево					
2006	449	604	155	35	Не оправдался
2007	615	817	202	33	Не оправдался
2008	444	609	165	37	Не оправдался
среднее	503	677	174	35	

Продолжение таблицы 4.5

Год	$H_f$ , см	$H_{пр}$ , см	$\Delta H$ , см	$\delta_H$ , %	Оправдываемость
р. Сок – с. Сургут					
2006	428	437	9	2	Оправдался
2007	447	470	23	5	Оправдался
2008	438	435	3	1	Оправдался
среднее	438	448	12	3	
р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка					
2006	489	496	7	1	Оправдался
2007	667	701	34	5	Оправдался
2008	534	514	20	4	Оправдался
среднее	563	570	20	3	

Анализ результатов прогноза слоя стока половодья показывает, что на реках Самара и Чапаевка прогнозы оправдались во все годы. На реках Б. Кипень и Сок не оправдались прогнозы на 2007 год. Следует отметить, что 2006 и 2008 годы отличались пониженной водностью по сравнению с 2007 годом.

Анализ результатов прогноза максимальных уровней показывает, что на реках Сок и Чапаевка прогнозы оправдались во все годы. На реках Б. Кипень ни один прогноз не оправдался. На р. Самара не оправдался прогноз на 2007 год.

#### 4.3 Прогноз стока половодья физико-статистическими методами

В главе 2.3 были представлены основные уравнения физико-статистического метода. В работе для прогноза стока использовалось уравнение вида

$$Y = (S + X_{всес}) - P_0 \left( 1 - e^{-(S+X_{всес})/P_0} \right), \quad (4.2)$$

где  $Y$  – талодождевой сток за период половодья;

$X_{вес}$  – количество осадков за период от даты максимального запаса воды до схода снега;

$S$  – максимальный запас воды в снежном покрове и деляной корке;

$P_0$  – общие потери стока.

Величина запаса воды в снежном покрове перед началом снеготаяния определяется на основе данных снегомерных съемок. Значение осадков за период снеготаяния определяется на основе наблюдений на метеостанциях. По сути, возможность заблаговременного прогноза будет определяться возможностью прогноза суммарных потерь талых вод. Потери складываются из потерь на увлажнение почвы (инфильтрацию), поверхностную аккумуляцию и испарение. Существует несколько методов для определения потерь. В районах, для которых характерно глубокое промерзание почв может быть использована следующая зависимость

$$P_0 = A \cdot e^{(-U \cdot (a + b\bar{L}))}, \quad (4.3)$$

где  $U$  – относительная характеристика увлажнения метрового слоя почвы;

$\bar{L}$  – средняя глубина промерзания почвы;

$A$ ,  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты.

Значения  $P_0$  определялись по номограмме, представленной на рисунке 4.1. Эмпирические коэффициенты находились по методу наименьших квадратов. Для их нахождения формула (4.3) была приведена к линейному виду путем логарифмирования:

$$\ln P_0 = \ln A - aU - bU\bar{L}. \quad (4.4)$$

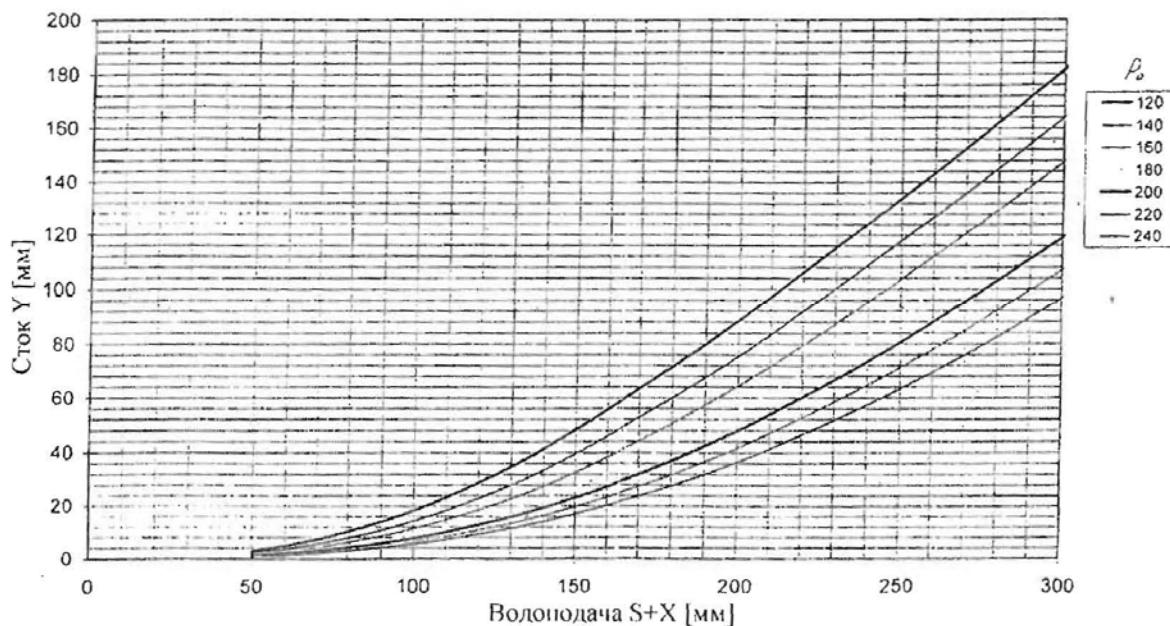


Рисунок 4.1 – Зависимость  $Y = f(P_0, (S+X))$

Обозначив  $\ln P_0 = y$ ,  $\ln A = c$ ,  $U = x_1$ ,  $U\bar{L} = x_2$ , имеет линейное уравнение, коэффициенты которого  $a$ ,  $b$  и  $c$  могут быть найдены методом наименьших квадратов. Определив значение этих коэффициентов, мы можем найти аналитическое выражение искомой зависимости. Полученные зависимости представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Вид зависимостей  $P_0 = A \cdot e^{(-U \cdot (a+b\bar{L}))}$

Река – Пост	Вид зависимости
р. Самара – с. Елшанка	$P_0 = 1.3 \cdot e^{(-U \cdot (1.15 + 0.002\bar{L}))}$
р. Большой Кинель – пгт Тимашево	$P_0 = 1.72 \cdot e^{(-U \cdot (-0.81 - 0.002\bar{L}))}$
р. Сок – с. Сургут	$P_0 = 1.75 \cdot e^{(-U \cdot (2.51 - 0.003\bar{L}))}$
р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка	$P_0 = 1.29 \cdot e^{(-U \cdot (0.003 - 0.004\bar{L}))}$

Полученные выражения для  $P_0$  были использованы при разработке прогностических уравнения для прогноза стока половодья. Уравнения и ре-



зультаты их оценки на зависимом материале представлены в таблице 4.7. Методики для всех водотоков оказались эффективными.

Таблица 4.7 – Вид зависимостей  $P_0 = A \cdot e^{(-U \cdot (a+b\bar{L}))}$

Река – Пост	Вид зависимости	S/σ
р. Самара – с. Елшанка	$Y = (S + X_{вес}) - 14.04 \left( 1 - e^{-(S+X_{вес})/14.04} \right)$	0.68
р. Большой Кинель – пгт Тимашево	$Y = (S + X_{вес}) - 3.2 \left( 1 - e^{-(S+X_{вес})/3.2} \right)$	0.74
р. Сок – с. Сургут	$Y = (S + X_{вес}) - 10.8 \left( 1 - e^{-(S+X_{вес})/10.8} \right)$	0.67
р. Чапаевка – с. Подъ- ем-Михайловка	$Y = (S + X_{вес}) - 2.18 \left( 1 - e^{-(S+X_{вес})/2.18} \right)$	0.73

#### 4.3 Прогноз весеннего притока воды в водохранилище

Исходными данными для уравнений множественной регрессии, являются многолетние ряды (1968 – 2008 гг.) среднегодового бокового притока по четырем постам наблюдений. В качестве предиктанта выступает прогнозируемый приток в Саратовское водохранилище, в качестве предикторов – слой стока рек, впадающих в водохранилище.

В результате анализа было получено следующее уравнение (S/σ=0.35):

$$Y_{np} = 5.59Y_1 + 0.37Y_2 + 1.43Y_3 + 0.32Y_4 + 23,6. \quad (4.5)$$

Реки, впадающие в водохранилище, отличаются по водности. Косвенной характеристикой водности, как известно, является площадь водосбора. Поэтому был проведен анализ с учетом площадей водосборов притоков. В качестве предикторов в этом случае выступали взвешенные на по относительной площади водосбора стоки отдельных рек.

В результате была получена следующая зависимость ( $S/\sigma=0.33$ ):

$$Y_{np} = 3.7Y'_1 + 2.18Y'_2 + 0.87Y'_3 + 13.5Y'_4 + 340. \quad (4.6)$$

Полученные зависимости были проверены на независимом материале по двум годам – 2009 и 2010.

Результаты представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Оценка методики долгосрочного прогноза весеннего притока воды в Саратовское водохранилище

Год	Прогнозный сток $Y_{пр}$ , мм	Фактические сток $Y_{факт}$ , мм	Допустимая ошибка, мм	Ошибка прогноза, мм
Без учета относительной водности				
2009	127	146	+ 21	19
2010	133	154	+ 21	21
С учетом относительной водности				
2009	134	146	+ 21	12
2010	149	154	+ 21	15

Полученные результаты свидетельствуют, что методика, учитывающая относительную водность рек, впадающих в водохранилище, является более эффективной.

## 5 Долгосрочный прогноз притока воды в водохранилище в меженный период

Исходными данными для разработки методики являлись многолетние ряды среднемесячных расходов притока Саратовского водохранилища за 1968 – 2008 гг.

Спад расходов воды во времени, который обусловлен истощением запасов грунтовых вод в период межени можно описать двухпараметрическим экспоненциальным уравнением

$$Q(t) = (Q_0 - q)e^{-\alpha t} + q, \quad (5.1)$$

где  $Q_0$  – расход воды в начальный момент времени;

$q$  – минимальный расход воды, обусловленный грунтовым питанием;

$t$  – время от момента времени, на которое берется  $Q_0$ ;

$\alpha$  – константа, характеризующая истощение сезонного запаса воды.

Уравнение 5.1 позволяет получить линейную зависимость между средние расходами предшествующего ( $\bar{Q}_i$ ) и последующего  $\bar{Q}_{i+1}$  периодов одинаковой длительности:

$$\bar{Q}_{i+1} = a\bar{Q}_i + b(1-a)q. \quad (5.2)$$

На основании исходных данных был построен график связи для среднемесячных расходов притока (рисунок 5.1), описываемый уравнением

$$\bar{Q}_{i+1} = 0.74\bar{Q}_i + 0.06. \quad (5.3)$$

Согласно этому графику можно найти параметры уравнения истощения:  $\alpha = -(lna/T) = 0.001$ , где величина  $T$  составляет 30 суток (период, за который вычисляется средний расход на графике связи);  $q = b/(1 - a) = 0.24$ . Таким образом уравнение пример вид

$$Q(t) = (Q_0 - 0.24)e^{-0.01t} + 0.24. \quad (5.4)$$

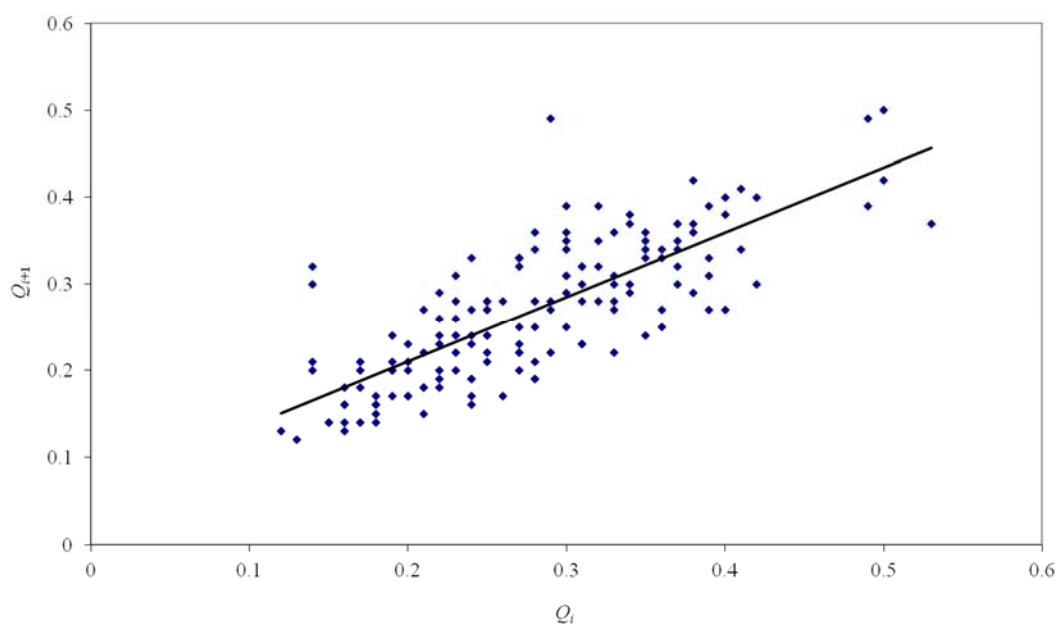


Рисунок 5.1 – Зависимость между среднемесячными расходами притока воды Саратовского водохранилища в предшествующие и последующие месяцы за период с сентября по март

Параметры полученных зависимостей приведены в таблице 5.1. Для проверки работоспособности методики были выпущены поверочные прогнозы на 2009 и 201 год. Результаты представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Параметры прогностических уравнений

Период	T, сут.	T <sub>0</sub> , сут.	t	K <sub>T0</sub>	K <sub>T</sub>	K <sub>T</sub> /K <sub>T</sub> o	e	B	(1-B) <sup>q</sup>
XI-III	151	31	31	0.862	0.52	0.605	0.74	0.45	0.133
XI-XII	61	31	31	0.862	0.75	0.873	0.74	0.64	0.086
I-III	90	31	92	0.862	0.66	0.771	0.41	0.31	0.166
XI	30	31	31	0.862	0.866	1.005	0.74	0.74	0.062
XII	31	31	61	0.862	0.862	1.000	0.55	0.55	0.108
I	31	31	92	0.862	0.862	1.000	0.41	0.41	0.143
II	28	31	123	0.862	0.875	1.014	0.30	0.30	0.168
III	31	31	151	0.862	0.862	1.000	0.23	0.23	0.186

Таблица 5.2 – Оценка методики долгосрочного прогноза притока в Саратовское водохранилище за межлетний период

Период	Q <sub>пр</sub>	Q <sub>факт</sub>	ΔQ	δ, %
2008-2009				
	Q <sub>0</sub> =	35.63		
XI-III	25.77	28.31	2.5	9.0
XI-XII	26.63	28.05	1.4	5.1
I-III	26.11	25.46	-0.6	2.6
XI	31.01	35.33	4.3	12.2
XII	28.09	30.54	2.5	8.0
I	24.05	26.20	2.2	8.2
II	24.59	21.89	-2.7	12.3
III	20.56	28.02	7.5	26.7
			средняя	10.5

Продолжение таблицы 5.2

Период	Qпр	Qфакт	$\Delta Q$	$\delta, \%$
2009-2010				
	Q <sub>0</sub> =	21.53		
XI-III	23.08	24.65	1.6	6.4
XI-XII	29.68	28.43	-1.3	4.4
I-III	19.85	22.33	2.5	11.1
XI	19.53	21.56	2.0	9.4
XII	37.92	35.09	-2.8	8.1
I	24.96	23.64	-1.3	5.6
II	18.52	21.57	3.1	14.1
III	20.41	23.48	3.1	13.1
			средняя	9.0

Как видно из результатов таблицы 5.2, прогноз в среднем оправдался для 2008 – 2010 водохозяйственных лет. Для марта прогноз оправдался только в одном случае. В целом методика является эффективной.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе разработаны два метода прогноза весеннего стока и максимальных расходов воды для четырех рек, впадающих в Саратовское водохранилище.

В рамках создания водно-балансового статистического метода решена задача получения аналитического выражения для прогноза максимально возможных потерь.

На основе полученных результатов для отдельных рек построены уравнения регрессии для прогноза бокового притока в водохранилище.

Кроме того, предложен метода прогноза притока в меженный период за различные отрезки времени.

Все разработанные методики отвечают предъявляемым требованиям.

## Список использованных источников

- 1 Георгиевский В.Ю., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. – СПб, изд. РГГМУ, 2007. – 436 с.
- 2 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. Выпуск 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
- 3 Государственный водный кадастр. Характерные уровни воды рек, каналов, озер и водохранилищ (погодичные данные). Том 1. Выпуск 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
- 4 Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Вып.12. Татарская АССР, Ульяновская, Куйбышевская, Пензенская, Оренбургская, саратовская области. – Л.: Гидрометеиздат, 1988.
- 5 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том.12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып.1. Нижнее Поволжье (период по 1962; 1963-1970; 1971-1975 гг.).
- 6 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып.1. Бассейн р. Волги ниже г. Чебоксары. – Л.: Гидрометеиздат, 1971.
- 7 СП 131.13330.2020. Строительная климатология
- 8 Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 358 с.
- 9 Борщ С.В., Бураков Д.А., Симонов Ю.А. Методика оперативного расчета и прогноза суточного притока воды в водохранилище Зейской ГЭС. – Труды Гидрометцентра России. Вып. 359. 2016. С. 106-127.



- 10 Нежиховский Р.А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ и озер. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 295 с.
- 11 Бураков Д.А., Гордеев И.Н., Ромасько В.Ю. Использование спутниковой информации для оценки динамики снегового покрытия в гидролого-математической модели стока весеннего половодья на примере бассейна Саяно-Шушенской ГЭС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Том 7, № 2. – С. 113–121.
- 12 Бураков Д.А. Кривые добегания и расчет гидрографа весеннего половодья. – Томск: Томский госуниверситет, 1978. –129 с.
- 13 Бураков Д.А., Мельникова О.В. Аппроксимация кривых добегания при отрицательной асимметрии с использованием зеркального преобразования гамма-распределения // Метеорология и гидрология. – 2000 – № 2. – С. 75–87
- 14 Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 256 с.
- 15 Мухин В.М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации volod@mecom.ru
- 16 Христофоров А.В. Эколого-экономические основы водопользования. – М.: Издательство МГУ, 2010. – 160 с.

Приложение А – Гидрологические и метеорологические данные по основным притокам Саратовского водохранилища

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{вес}}$ , мм	$\Sigma t$ , °С
р. Самара – с. Елшанка. F = 22800 км <sup>2</sup> . Отметка «0» поста 54.23 м БС										
1968	425	512	132	108	142	57	29	82	45	20
1969	318	472	68	73	86	22	14	157	19	7
1970	1600	823	113	68	98	127	63	136	30	2
1971	557	608	86	64	85	66	37	147	36	19
1972	490	569	73	72	99	80	28	154	29	4
1973	376	497	94	68	97	68	24	70	19	3
1974	572	606	94	87	107	99	38	106	17	32
1975	255	393	85	65	114	28	14	95	27	13
1976	432	546	127	115	121	36	30	130	11	21
1977	375	631	78	58	84	52	22	149	30	4
1978	823	737	100	76	90	123	40	71	15	12
1979	525	636	129	145	164	67	40	92	35	10
1980	1270	941	50	44	87	66	53	130	34	9
1981	420	562	79	67	126	54	33	88	46	7

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{вс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
1982	675	725	72	78	120	59	36	120	46	9
1983	551	627	96	93	117	69	35	72	33	5
1984	200	336	110	102	119	67	17	149	15	7
1985	791	758	91	81	101	91	55	159	21	58
1986	1280	843	122	111	115	67	58	150	11	3
1987	1530	913	153	130	154	102	75	147	3	19
1988	1580	886	75	65	118	71	57	150	24	1
1989	229	385	135	134	162	39	18	116	30	2
1990	274	445	97	88	144	61	27	133	42	31
1991	1320	910	87	79	98	110	69	148	9	24
1992	249	414	103	97	108	55	16	142	11	33
1993	845	790	108	84	113	79	43	149	20	4
1994	1560	906	113	106	141	89	70	150	35	34
1995	494	620	105	82	106	57	35	126	21	6
1996	144	292	122	84	98	32	12	142	10	31

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °С
1997	215	367	84	92	145	29	12	130	47	7
1998	720	766	87	108	159	59	54	129	59	4
1999	786	733	98	88	133	60	41	97	33	44
2000	357	467	112	122	143	77	22	85	21	3
2001	475	613	89	114	158	60	58	105	43	24
2002	402	542	76	91	129	92	41	85	56	3
2003	951	791	83	98	111	105	56	118	15	27
2004	500	496	78	68	126	43	42	118	68	19
2005	962	821	42	92	152	93	57	140	43	75
2006	215	361	80	77	122	22	13	141	42	3
2007	216	411	69	98	112	83	29	124	29	5
2008	312	413	78	76	122	25	27	141	42	9
р. Большой Кинель – пгт Тимошево. F = 12 000 км <sup>2</sup> . Отметка «0» поста 32.00 м БС										
1968	332	698	154	166	208	45	48	72	57	20
1969	354	712	79	97	125	40	27	80	21	7

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{вс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
1970	1530	1047	143	152	175	106	87	113	35	2
1971	494	806	96	130	166	68	58	97	42	19
1972	486	789	64	82	102	97	48	75	25	4
1973	234	600	112	134	169	68	34	67	14	3
1974	383	717	120	119	137	114	53	86	26	3
1975	193	550	104	87	125	48	22	95	28	43
1976	302	673	149	140	154	41	51	130	14	13
1977	336	732	111	88	114	37	35	95	24	21
1978	574	855	119	115	138	129	46	82	25	4
1979	1170	1003	187	169	212	97	109	81	52	12
1980	820	954	76	54	104	85	65	110	54	10
1981	379	793	138	91	164	90	66	80	77	9
1982	780	966	114	106	151	74	53	111	31	7
1983	275	692	158	129	159	79	33	57	15	9
1984	123	459	113	100	124	82	15	77	19	5

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
1985	555	853	115	108	134	94	67	100	4	7
1986	630	896	105	150	160	91	58	67	3	58
1987	655	961	156	155	192	104	107	67	39	3
1988	1140	1043	86	82	134	100	72	76	83	19
1989	200	572	156	168	190	55	35	27	20	1
1990	285	701	118	126	174	88	54	39	37	2
1991	970	950	104	105	122	132	107	60	17	31
1992	116	519	114	152	164	53	18	44	12	24
1993	393	737	132	120	127	69	28	78	17	33
1994	830	898	113	131	167	79	72	86	36	4
1995	890	848	121	107	134	92	75	72	27	34
1996	134	449	129	97	112	36	17	104	15	6
1997	184	578	146	124	177	38	24	100	33	31
1998	715	789	94	98	158	70	112	61	60	7
1999	541	710	110	104	137	95	57	14	33	4

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
2000	270	677	100	126	151	112	50	20	25	45
2001	397	830	95	147	197	66	64	49	42	3
2002	193	575	100	119	174	92	54	66	57	24
2003	450	813	86	128	138	112	50	59	10	3
2004	230	533	88	105	172	49	36	66	62	28
2005	429	802	115	105	158	103	68	64	40	19
2006	119	449	42	81	133	18	23	85	47	7
2007	223	615	85	122	140	79	67	45	7	5
2008	134	444	89	77	111	28	24	79	34	3
р. Сок – с. Сургут. F = 4730 км <sup>2</sup> . Отчетка «0» поста 47.09 м БС										
1968	275	474	159	127	180	58	661	141	50	13
1969	263	479	93	86	118	74	47	141	32	23
1970	630	537	104	86	120	85	79	123	31	13
1971	328	488	122	103	139	61	36	128	41	5
1972	340	501	64	51	112	87	65	68	44	9

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °С
1973	89	420	119	114	134	53	27	50	28	29
1974	166	451	110	81	107	132	55	114	14	5
1975	170	454	73	56	71	68	38	87	16	4
1976	134	451	143	125	139	59	31	119	14	23
1977	302	497	91	64	93	50	48	143	34	5
1978	253	480	110	99	121	154	45	104	22	13
1979	943	578	202	186	229	135	143	104	45	5
1980	370	514	43	44	83	95	88	134	31	50
1981	196	474	81	66	110	122	73	76	33	10
1982	544	536	83	65	110	101	74	90	43	9
1983	132	449	120	101	125	93	43	77	23	6
1984	69	389	84	55	67	72	22	100	14	38
1985	470	531	103	86	127	108	98	120	38	10
1986	200	481	122	105	109	91	53	81	3	24
1987	272	500	146	118	143	96	91	77	36	13



Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
1988	413	573	84	78	126	100	86	79	58	5
1989	141	430	158	148	175	49	62	28	43	1
1990	224	477	142	130	178	109	90	42	36	20
1991	368	548	113	94	126	138	146	28	31	6
1992	142	434	92	127	140	69	42	45	13	3
1993	153	443	122	94	114	92	53	53	20	5
1994	350	529	141	97	122	104	95	88	25	21
1995	252	488	155	113	140	122	93	64	47	16
1996	107	379	118	94	109	62	40	90	15	15
1997	241	477	155	99	144	60	63	94	45	25
1998	197	465	94	131	207	99	95	69	60	4
1999	179	461	103	161	183	113	76	19	22	4
2000	162	450	95	105	150	124	101	22	45	25
2001	140	503	145	140	192	71	65	52	52	24
2002	66	424	109	101	135	129	53	33	46	1

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °С
2003	264	507	93	98	106	126	66	48	30	32
2004	69	355	130	93	144	60	52	48	8	8
2005	218	496	43	105	155	105	81	35	49	5
2006	125	428	98	101	149	42	34	78	38	7
2007	192	447	108	106	123	121	62	45	31	6
2008	228	438	100	134	172	37	32	54	8	2
р. Чапаевка – с. Подъем-Михайловка. F = 1480 км <sup>2</sup> . Отметка «0» поста 47.98 м БС										
1968	207	870	107	110	170	67	91	150	55	12
1969	311	362	43	45	60	22	6	150	14	24
1970	230	828	86	61	72	88	65	145	26	5
1971	65	633	56	59	98	83	29	150	30	4
1972	30	463	46	34	38	69	12	148	13	22
1973	55	511	56	39	66	78	25	63	18	5
1974	732	583	82	59	65	104	28	131	5	7
1975	20	392	62	50	78	46	7	141	28	39

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{вс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
1976	37	484	93	76	81	40	6	144	8	15
1977	36	456	66	51	74	59	19	165	28	15
1978	239	864	125	75	100	121	71	46	20	19
1979	95	632	106	114	146	82	70	88	45	2
1980	92	593	38	37	82	68	42	140	60	7
1981	61	577	60	52	93	85	54	40	62	12
1982	82	630	56	47	80	77	43	93	44	9
1983	99	659	55	49	68	108	58	33	22	22
1984	25	421	86	68	77	32	14	83	4	24
1985	119	754	66	72	83	69	61	111	5	14
1986	201	930	99	98	100	89	78	60	1	27
1987	238	907	75	116	133	90	131	73	7	12
1988	288	973	135	71	125	64	98	82	42	22
1989	70	609	82	98	125	34	39	28	31	7
1990	103	719	110	78	116	88	81	55	19	23

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{вс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °С
1991	225	876	68	76	91	107	97	50	30	6
1992	37	544	82	86	97	50	13	74	17	34
1993	162	804	84	65	120	71	42	44	25	35
1994	203	887	84	85	121	77	95	69	40	25
1995	95	704	104	91	117	54	37	8	16	13
1996	15	429	99	63	79	23	7	39	15	16
1997	41	671	104	72	116	50	20	140	46	22
1998	86	686	80	87	139	52	67	36	42	6
1999	151	815	65	97	129	51	48	5	32	53
2000	83	669	89	96	127	74	47	26	31	34
2001	150	754	98	66	87	101	82	29	3	19
2002	80	678	64	55	78	100	56	67	14	16
2003	220	901	68	96	108	96	59	59	10	5
2004	97	656	33	55	78	61	44	51	20	2
2005	228	895	71	69	114	104	72	46	29	20

Продолжение приложение А

Год	$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$H_{\max}$ , см	$S_{\max}$ , см	$S_{28.02}$ , см	$S_{\text{общ}}$ , см	$U$ , мм	$Y$ , мм	$L$ , мм	$X_{\text{всс}}$ , мм	$\Sigma t$ , °C
2006	19	489	39	84	127	25	11	59	59	9
2007	86	667	70	34	45	106	55	39	8	7
2008	43	534	48	78	106	28	15	43	32	5