



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Долгосрочный прогноз элементов  
весеннего половодья рек Карелии  
(на примере р.Водла)**

Исполнитель

Кислицына Оксана Александровна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

К.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Шаночкин Сергей Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

Д.т.н., профессор

(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич

(фамилия, имя, отчество)

«2» 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**  
(бакалаврская работа)

На тему Долгосрочный прогноз элементов весеннего половодья рек Карелии (на примере р.Водла)

Исполнитель Кислицына Оксана Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.г.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Шаночкин Сергей Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

Д.т.н., профессор

(ученая степень, ученое звание)

Коваленко Виктор Васильевич

(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016г.

Санкт–Петербург

2016

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1. Закономерности и факторы весеннего стока	6
1.1. Общие закономерности и факторы весеннего стока	8
1.2. Водопоглощение и потери талых и дождевых вод.	10
1.3. Инфильтрация воды в мерзлую почву	11
1.4. Косвенные характеристики водопоглощающей способности речных бассейнов.	14
2. Методические основы долгосрочных прогнозов весеннего стока	15
2.1. Основные методы прогнозирования	15
3. Формирование весеннего стока на реках Карелии	17
3.1. Физико-географические особенности территории	17
3.2. Особенности гидрологического режима рек Карелии	21
4. Разработка методик прогноза элементов весеннего стока на р. Водла	25
4.1. Физико-географические характеристики	25
4.2. Гидрологическая изученность	27
4.3. Факторы формирования весеннего стока	28
4.4. Статистический метод прогноза	31
4.4.1. Методика прогноза весеннего стока	31
4.4.2. Методика прогноза максимальных расходов воды и даты их наступления.	40
4.4.3. Методика прогноза продолжительности весеннего половодья	55
4.5. Физико-статистический водно-балансовый метод прогноза стока	62
4.5.1. Разработка методики прогноза стока за весеннее половодье	65
Заключение	77
Список используемых источников	78
Приложение А	79

Приложение Б

81

Приложение В

84

## ВВЕДЕНИЕ

Выпуск долгосрочных прогнозов весеннего половодья в Карельском Республиканском Центре по гидрометеорологии осуществляется на сравнительно простой методической основе, в основном применяются связи графического вида. Иногда используется принцип аналогии: в предыстории выявляются года со схожими стокоформирующими факторами. Ситуация выбранных таким образом лет учитывается при разработке прогноза весеннего стока.

Данная квалификационная работа посвящена анализу условий формирования весеннего половодья на реках Карелии и разработке методик прогноза основных элементов весеннего стока: продолжительности половодья, слоя стока, максимальных расходов воды и даты их наступления.

В качестве исследуемого объекта для получения прогностических рекомендаций была выбрана река Водла. Она является одной из многоводных рек Карелии и имеет большое хозяйственное значение. В прогнозах максимальных расходов воды на этой реке и датах их наступления, продолжительности половодья и объеме стока заинтересованы в первую очередь такие потребители гидрологической информации как Беломорско-Онежское пароходство, лесная промышленность, сельское хозяйство. По реке Водле в ее нижнем течении осуществляется судоходство, рассоложены причалы и постройки Беломорско-Онежского пароходства (БОП). Работникам лесной промышленности важно знать уровни воды и расходы на реке в связи с планированием и осуществлением лесосплавных работ. В отдельные годы при высоких уровнях воды на реке отмечается подтопление прилегающей территории. Так, например, весной 1992 года были затоплены причалы БОП-а, расположенные вблизи реки сельскохозяйственные угодья. Поэтому очень важно более точно предсказать, каким будет весеннее половодье, учесть все

факторы его формирования и вовремя донести до потребителя надлежащую информацию во избежание ущерба.

Своевременное принятие оперативных мер по предотвращению негативных последствий, вызванных весенним половодьем, требует качественной прогностической информации. В связи с этим, разработка эффективных методик прогноза основных элементов гидрологического режима реки в период весеннего половодья, является весьма актуальной.

## 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ФАКТОРЫ ВЕСЕННЕГО СТОКА РАВНИННЫХ РЕК.

Весеннее половодье и его элементы.

Весеннее половодье — это характерная особенность годового весеннего режима равнинных рек, обусловленная быстрым таянием накопленного за зиму снега. На большинстве рек сток за этот период составляет 50 — 70% годового, а в остальных районах — даже более 80%. Расходы воды в период половодья в сотни раз превышают меженные, поэтому половодье сопровождается, как правило, разливами рек. В многоводные годы эти разливы приобретают иногда характер стихийных бедствий, наблюдается подтопление прибрежных территорий, выход воды на пойму и зачастую наносит большой ущерб народному хозяйству.

Основными элементами, которыми характеризуются половодья, являются: сток за половодье, максимальных расход, наивысший уровень, время их наступления и дата начала половодья. Сток и другие характеристики половодья отличаются большой изменчивостью от года к году, поэтому их заблаговременные прогнозы приобретают особый интерес.

Сток за половодье, который еще называют объемом половодья или в более общем понимании весенним стоком, в отличие от других элементов половодья может выражаться в трех различных величинах: в единицах слоя на площадь бассейна (мм), в единицах объема ( $\text{м}^3$  или  $\text{км}^3$ ) и в виде среднего секундного расхода воды за период половодья ( $\text{м}^3/\text{с}$ ). Единицы слоя предпочтительнее для воднобалансовых расчетов и разработке методики прогнозов, поскольку в этих же единицах выражаются осадки, запасы воды в снеге, испарение.

Весенний сток имеет некоторую условность, в том смысле, что этим подчеркивается не столько календарный период, сколько генезис стока, то есть факт его формирования за счет весеннего таяния снега.

В низовьях таких крупных рек как Волга, Обь и др. половодье захватывает значительную часть лета. Это связано с географическим положением и размерами речных бассейнов, то есть продолжительностью стекания весенних талых вод. Характеристикой изменчивости стока, как и других элементов половодья, является коэффициент вариации, вычисляемый по данным многолетних наблюдений. Большой изменчивостью обладают также максимальные расходы и уровни воды.

Если определение стока за половодье требует выполнения специальных расчетов, с учетом средних суточных расходов воды, то другие элементы половодья могут определяться непосредственно из данных наблюдений за уровнем воды. И в том и в другом случае возникают погрешности в определении. Так, погрешности в определении максимального уровня и расхода половодья чаще всего связаны с заторами льда и пониженной точностью гидрологических данных в период ледохода. Деление начала половодья и сроков прохождения максимума стока выполняются достаточно надежно. Труднее определить сроки окончания половодья. Возникающие по этой причине погрешности относительно невелики.

## 1.1 Общие закономерности и факторы весеннего стока.

Половодье представляет собой чрезвычайно сложное многофакторное явление, определяемое целым комплексом взаимосвязанных во времени природных процессов, а именно поступлением воды на поверхности бассейна за счет таяния снега и осадков, процессом поглощения, задержания и потерь этой воды, процессом стекания ее избытка в русловую сеть и по ней к замыкающему створу. К этому добавляется еще поток в русловую сеть подземных вод, постоянно питающих реки. Сложность этих процессов определяется уже тем, что протекают они на обширные пространства в условиях неоднородности и многообразия физико-географической среды (рельеф, почва, растительный покров, глубина залегания подземных вод), а кроме того отличаются еще неравномерности по времени. Все факторы определяющие процессы формирования стока в речном бассейне делятся на две категории: относительно постоянные физико-географические и на переменные гидрометеорологические факторы.

К постоянным факторам относятся: размеры, конфигурация бассейна, геологическое строение, рельеф и связанные с ним густота речной сети, уклоны поверхности и русел, почвенный и растительный покров, озерность и заболоченность бассейна.

К переменным относятся: запасы воды в снеге, осадки (их количество и интенсивность), теплообмен, определяющие интенсивность таяния снега и испарение, водопоглощающая способность бассейна. Эти факторы, в конечном счете, определяют изменчивость стока и других элементов половодья.

С физической точки зрения любой речной бассейн представляет собой своего рода динамическую систему, которая в общем виде отражает генезис стока, то есть закономерности его формирования. Применительно к речному бассейну этот закон выражается в виде уравнения водного баланса, которое можно записать с различной степенью детализации в отношении участвующих

в формировании стока факторов. Если из общего весеннего стока исключить сток, обусловленный независимым от поступления воды на поверхность подземным питанием, то уравнение водного баланса речного бассейна за период половодья будет иметь вид:

$$S + x - (I + A + Z) - y = 0, \quad (1.1)$$

где  $S$ — запас воды в снеге и ледяной корке на поверхности почвы к моменту начала таяния;

$x$ —осадки, участвующие формировании половодья;

$I$ — суммарная инфильтрация талой и дождевой воды в почву;

$A$  — количество воды, задержанной на поверхности бассейна;

$Z$ —суммарные потери воды на испарение за период половодья;

$y$ — тало-дождевой сток за период половодья.

Суммарные потери на испарение складываются из испарения с поверхности снега и стекающей по склонам и руслу воды.

Потери воды на испарение за время снеготаяния, по экспериментальным данным и расчетами, как правило, не велики. Невелико и испарение с водной поверхности русловой сети ввиду малой испаряющей площади. В связи с этим, колебания испарения от года к году, в большинстве случаев, не могут оказать решающего влияния на колебания весеннего стока, который в каждом году определяется тремя главными факторами: количеством снега, количеством осадков в период формирования весеннего половодья и водопоглощающей способности речного бассейна.

При наличии данных о запасах воды в снежном покрове и осадков, задача прогноза стока сводится к оценке суммарных потерь, то есть количества воды, которое будет поглощаться почвой, задержано на поверхности речного бассейна и потеряно на испарение.

Показателем соотношения весеннего стока и его потерь служит коэффициент стока — соотношение стока за половодье (за вычетом подземной составляющей и дождевого стока, вызванного осадками после схода снега) к запасу воды в снежном покрове и ледяной корке на поверхности почвы, сложившемуся с осадками за время снеготаяния. Среднее значение этого коэффициента на Европейской части России изменяется в широких пределах. Так, в засушливо-степной зоне оно меньше 0,30, в степной зоне от 0,30 до 0,50, в лесостепной зоне от 0,40 до 0,70, в лесной от 0,65 до 0,85.

## 1.2 Водопоглощение и потери талых и дождевых вод.

Причиной того, что не вся вода, поступающая на поверхность бассейна, стекает в реку, является инфильтрация ее в почву и задержание на поверхности бассейна в очагах задержания (поры верхнего слоя почвы, отрицательные формы рельефа, водосборы замкнутых низин, болот, бессточных озер и прудов).

Специфика формирования весеннего талого стока состоит в том, что почва в этот период находится, как правило, в мерзлом состоянии. Поэтому интенсивность и процесс инфильтрации талой воды в почву в этот период отличаются от инфильтрации дождевой воды летом и осенью.

Так как микрорельеф равнинных бассейнов состоит из множества понижений, то прежде чем попасть в русловую сеть, стекающая талая вода сначала заполняет емкости.

Хорошо увлажненная почва близка к водонепроницаемой, но может задерживать меньшее или большее количество вод, в зависимости от того много или мало в бассейне крупных некапиллярных пор в верхнем слое.

Общее количество, поглощенной бассейном воды, складывается из суммарной инфильтрации и поверхностного задержания.

Малоувлажненная почва очень хорошо впитывает талую воду. Если скорость впитывания талой воды превышает интенсивность поступления воды, то затопление поверхностной емкости происходит за счет избытка поступления воды над просачиванием. При этом общее количество поступившей в бассейн воды будет складываться из суммарной инфильтрации и поверхностного задержания. А если в бассейне имеется бессточная площадь, то добавляется вся вода, поступившая на эту площадь.

### 1.3 Инфильтрация воды в мерзлую почву

Инфильтрация воды в мерзлую почву — явление физически сложное. Вода в почву проникает под действием гравитационных и молекулярных сил, а также вследствие теплофизических процессов, обуславливающих изменение агрегатного состояния почвенной влаги, проникающей в почву талой воды, изменение льдистости почвы.

Основными факторами, определяющими степень водопроницаемости мерзлой почвы, являются ее начальная увлажненность, температура, глубина промерзания, состав и структура почвы. Очень важна такая характеристика почвы, как пористость, распределение пор, влагоемкость, содержание органических веществ и коллоидный состав.

Степень водопроницаемости почвы характеризуется интенсивностью инфильтрации (скорость впитывания), которая выражается слоем воды, просочившейся в почву за единицу времени, например, в миллиметрах в минуту, миллиметрах в час или в миллиметрах в сутки. Общее количество просочившейся воды определяется по формуле:

$$I = i \times T,$$

где:  $i$  — интенсивность инфильтрации,

$T$  — время, равно продолжительности поступления воды.

Интенсивность инфильтрации талой воды в мерзлую почву значительно меньше, чем интенсивность инфильтрации дождевой воды в летний период.

Талая вода, проникающая в мерзлую почву, замерзает в крупных порах, а выделяющееся при этом тепло затрачивается на повышение температуры почвы и таяние связанной воды в мелких порах. Образуется водонепроницаемый слой, который сохраняется до весны и в период снеготаяния.

В зонах избыточного увлажнения при высоком стоянии грунтовых вод происходит подтягивания влаги из нижних горизонтов почвы к границам мерзлого слоя, что может привести к переувлажнению почв.

Образование во время оттепели ледяной корки на поверхности почвы говорит о большой льдистости почвы и наличие в ней водонепроницаемого слоя.

Косвенным признаком водонепроницаемости мерзлые почвы служит степень цементации (твердость). Если почва сильно сцементирована, то она водонепроницаема. Слабосцементированная почва способна легко впитывать влагу.

Хорошо поглощают и впитывают влагу подзолистые, лесные дерново-подзолистые, торфяно-подзолистые болотные почвы. У таких почв очень рыхлый верхний горизонт, бесструктурный слой подзола и плотный иллювиальный горизонт. Количество воды, которое способна поглотить такого типа почва, определяется водовместимостью верхнего ее горизонта, лесной подстилки и равносильна поверхностному задержанию.

Для определения суммарного водопоглощения почвой в бассейне, нужно знать распределение в нем различных типов почв, их водно-физические свойства, начальную увлажненность, температуру и глубину промерзания.

Менее влажная почва промерзает глубже, чем хорошо увлажненная, так как при замерзании более влажной почвы выделяется больше тепла, что ограничивает глубину проникновения в почву отрицательной температуры.

Интенсивность инфильтрации, когда она не равна нулю, может быть или меньше интенсивности поступления ( $i > h$ ), или равна ей ( $i = h$ ).

В первом случае  $i > h$  сток формируется за счет избытка воды над просачиванием, общие потери стока и сам сток должны зависеть от интенсивности инфильтрации и от продолжительности поступления воды.

Во втором случае, при  $i = h$ , в силу большой водопроницаемости почвы вся поступившая вода поглощается с той интенсивностью, с какой она поступает до тех пор, пока не заполнится вся свободная емкость. И если эта емкость на какой-то площади больше запаса воды в снеге, то эта площадь станет бессточной.

Пока экспериментальные данные об интенсивности инфильтрации в сравнении с интенсивностью поступления талой воды для различных типов почв весьма ограничены. Существуют лишь приближенные оценки средней интенсивности инфильтрации воды за период снеготаяния.

Процесс поглощения речным бассейном жидких осадков, выпадающих в период формирования весеннего стока, имеет также свою специфику.

В период снеготаяния, когда бассейн еще остается, покрыт снегом, поглощение, задержание и потери дождевой воды идут так же, как и талой воды, так как почва до схода снега остается еще мерзлой. Когда площадь бассейна освобождается от снега, происходит разморозание почвы, меняется и процесс инфильтрации выпадающих осадков. Здесь резко возрастает испарение и впитывающая способность почвы. Потери жидких осадков на спаде половодья возрастают, а вклад их в формирование весеннего стока снижается. В степной и лесостепной зонах, где почвы быстрее оттаивают и просыхают это проявляется заметно. А в лесной зоне, из-за продолжительного периода переувлажненного состояния почвы, снижение вклада осадков проявляется в меньшей степени.

Потери дождевых вод важно учитывать в воднобалансовых расчетах, при выделении талой и дождевой составляющих весеннего стока и при разработке приемов прогнозов стока за половодье.

#### 1.4. Косвенные характеристики водопоглощающей способности речных бассейнов.

Главными характеристиками водопроницаемости мерзлых почв является их влажность и температура, поскольку от них зависит содержание льда в почве. В зонах избыточного увлажнения при большой заболоченности речных бассейнов, водопоглощающая способность почв определяется также свободной емкостью болотных массивов. Но так как непосредственные наблюдения за влажностью, температурой почвы на разных глубинах или вообще отсутствуют, или недостаточны для расчетов, так и зачастую отсутствуют прямые наблюдения за водным режимом болотных массивов, глубиной грунтовых вод, по этой причине важное место в практике прогнозов весеннего стока занимают косвенные характеристики водопоглощающей способности речных бассейнов.

В качестве таких показателей используются: вычисленная приближенными способами влажность почвы, глубина промерзания почвы, льдистость, степень цементации почвы, осенний паводочный сток, уровень грунтовых вод и др.

Так, по физическим соображениям, например, в зонах избыточного увлажнения и весной мерзлоты, где превалирует поверхностное задержание, в качестве показателей общего увлажнения бассейна могут служить не только запасы влаги в почве, но и осенний сток в отношении к норме. В зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения льдистость и доля площади с водонепроницаемым слоем почвы — наиболее показательные характеристики водопоглощающей способности речных бассейнов.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ВЕСЕННЕГО СТОКА.

### 2.1. Основные методы прогнозирования.

В настоящее время выделяются три основных метода долгосрочных прогнозов весеннего стока:

- 1) Прямой воднобалансовый метод;
- 2) Физико-статистический воднобалансовый метод;
- 3) Статистический метод.

В основе прямого воднобалансового расчета лежит элементарное алгебраическое суммирование за период половодья составляющих водного баланса речного бассейна в целом или отдельно для полевой и лесной его частей. Метод применяется в условиях лесной зоны избыточного увлажнения, где водопоглощающая способность речных бассейнов определяется, главным образом, свободной емкостью верхних слоев почвы, болот и других емкостей, затратой воды на пополнение грунтовых вод и потерями воды на испарение с поверхности снега и водной поверхности в период половодья.

В основу физико-статистического воднобалансового метода положена достаточно общая детерминистическая модель речного бассейна как системы с неравномерным распределением емкости и переменной инфильтрационной способностью почв. Вытекающие из этой модели интегральные уравнения стока и приближенные формулы дают достаточно определенное физическое представление об общем виде воднобалансовых эмпирических зависимостей стока от основных его факторов.

Статистический метод, включает, главным образом, корреляцию, в том числе множественную, с отбором предикторов методами просеивания.

Во всех трех случаях разработка методики долгосрочных прогнозов стока за половодье сводится, в первом случае, к ежегодной оценке по данным наблюдений значений составляющих элементов водного баланса в бассейне, а в двух других — к определению параметров уравнений по доступным материалам многолетних наблюдений за стоком и другими влияющими на него факторами, которые необходимы для расчета ожидаемого стока.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВЕСЕННЕГО СТОКА НА РЕКАХ КАРЕЛИИ

#### 3.1. Физико-географические особенности территории

Карелия расположена на северо-западе Европейской территории России. На севере она граничит с Мурманской областью, на востоке — с Архангельской и Вологодской областями, на юге — с Ленинградской областью.

На западе граница проходит по государственной границе с Финляндией. Фактически, вся территория Карелии сложена из кристаллических водонепроницаемых пород: гранитов, гнейсов, кристаллических сланцев, диабазов, покрытых небольшим слоем четвертичных отложений из гравия, песка и глины. Нередко коренные породы выходят на поверхность, придавая порожистый, ступенчатый характер в профилях рек, затрудняя разработку долин реками.

Рельеф Карелии обязан своим происхождением взаимодействию тектонических расколов третичного времени и четвертичного оледенения. Древние расколы создали ряд озёр и возвышенностей, некоторые из которых послужили в четвертичный период ложем наступающего ледника. В результате движения ледника многочисленные скалы и гряды, сложенные твердыми кристаллическими породами, образовали, так называемые, "бараньи лбы" и "курчавые скалы". Деятельностью талых вод в послеледниковый период были созданы многочисленные образования: озы, камы, волнистые песчаные и плоские равнины. В местах крупных тектонических впадин образовались озера: Онежское, Ладожское, Сегозеро, Куйто и др. Низинные участки, покрытые озерными отложениями, в большинстве своем сильно заболочены. Бассейны рек Кемь, Верхнего и Нижнего Выга расположены в зоне, где заболоченные пространства занимают 25 — 30% всей площади. К югу, в бассейнах рек Приладожья заболоченность уменьшается до 6 — 12%.

Карелия в основном характеризуется холмисто-равнинным рельефом с абсолютными отметками, не превышающими 200 метров над уровнем моря; на северо-западе и западе отдельные массивы достигают 350 — 600 метров.

Рельеф определил особенности гидрографической сети Карелии. Большинство рек территории Карелии текут в направлении с северо-запада на юго-восток, также ориентирована и большая часть озер. Более крупные реки в северной части территории текут преимущественно в широтном направлении, в южной части в меридиональном направлении.

С запада и северо-запада местность в целом понижается по направлению к трем крупным водным бассейнам, где наблюдаются наименьшие абсолютные высоты (5 — 40 м). Это бассейны Онежского озера (Восточно-Онежская равнина), Белого моря (Прибеломорская низменность), Ладожского озера (северное Приладожье) и Олонецкая равнина.

В геологическом отношении территория Карелии является восточной частью Балтийского или Финно-скандинавского кристаллического щита и представляет собой область распространения преимущественно древних кристаллических пород архейско-протерозойского комплекса.

По характеру растительности Карелия относится к таежной зоне и характеризуется преобладанием хвойных лесов, состоящих преимущественно из сосен и елей. Леса северной подзоны редкостойные, малорослые, с преобладанием полукустарников, мхов и лишайников. На возвышенностях северной части Карелии преобладает тундровая растительность. В южной половине республики в связи с более благоприятными почвенно-климатическими условиями преобладают высокоствольные леса.

Почти вся площадь рассматриваемой территории занята торфяно-подзолистыми почвами, лишь на крайнем западе и юго-западе преобладают супесчаные и суглинистые почвы.

В связи с небольшим слоем четвертичных отложений, основные подземные воды относятся к грунтовым безнапорным водам и тесно связаны с

атмосферными осадками. На террасах западного побережья Онежского озера встречаются напорные артезианские воды.

В геоморфологическом отношении реки Карелии являются молодыми со слабо развитыми руслами и представляют собой сочетание более или менее значительных плесов и порогов с наличием системы проточных озер.

Климат Карелии характеризуется сравнительно малой континентальностью: погодный режим отличается значительной изменчивостью. Район расположен на путях движения масс Атлантики и Арктики. Арктические вторжения воздушных масс придают некоторую суровость климату, особенно в зимнее время, а морской воздух, поступающий с Атлантики, оказывает смягчающее действие зимой: при большой продолжительности поступления теплых воздушных масс с Атлантики отмечается зимнее потепление. В летний период поступление Атлантических масс воздуха, напротив, обуславливает понижение температуры воздуха. Влияние Атлантики проявляется также в наличии повышенной влажности воздуха над температурой Карелии. Поступление теплых и влажных воздушных масс с Атлантики осуществляется, в основном, в теплых секторах циклонов, перемещающихся с запада на восток. В холодное время года циклоны развиваются преимущественно на арктических фронтах. В это время года они перемещаются, в основном, севернее Кольского полуострова. Арктические воздушные массы поступают в тылу циклонов или их серий в виде гребней или ядер высокого давления. Как следствие этих циркуляционных условий, зима в Карелии оказывается наиболее теплой по сравнению с другими районами севера ЕТР, расположенных в тех же широтах.

Особенностью климата Карелии является зональное распределение термических характеристик (средней месячной температуры воздуха, дат перехода средней суточной температуры через определенные градации и т.д.) в течение всего года, поэтому климатические условия в северной и южной частях республики имеют значительные отличия: наиболее суровыми являются

северные районы, по мере продвижения к югу зимой климат становится мягче и наиболее мягким климатом обладают южные и юго-западные районы республики.

Среднегодовое количество осадков по территории Карелии возрастает с севера на юг, от 400 — 500 мм до 500 — 600 мм в год. Несколько большее их количество (примерно 700 мм) характерно для западного склона Олонецкой возвышенности. В холодную часть года на севере республики осадки составляют около 100 — 130 мм, увеличиваясь до 200 мм в южных районах. В теплый период осадки составляют 300 — 450 мм по всей территории.

Максимум количества осадков на большей части территории приходится на июль-август, иногда сентябрь. Изменчивость месячных сумм осадков из года в год для теплого периода особенно велика.

Высота снежного покрова имеет также зональное распределение: на севере республики к концу зимы она составляет в среднем 40-50 см, на юге 70-80 см. Снежный покров устанавливается в первой декаде ноября в северной половине республики, в середине ноября в центральных областях, в конце ноября по крайнему югу, в бассейнах рек Приладожья. Нарастание снежного покрова продолжается в течение всей зимы.

Максимальные снегозапасы наблюдаются к концу марта—началу апреля. Сход снега начинается, в первую очередь, с открытых участков, затем с лесных массивов. Массовое снеготаяние на юге Карелии происходит часто уже в первой декаде апреля, на севере — в конце апреля.

Ветровой режим зависит от общей циркуляции атмосферы, и тесно связан с особенностями распределения барических центров, располагающихся вокруг района. Преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений. В летние месяцы увеличивается повторяемость ветров северной части. Максимум скоростей ветра приходится на октябрь — декабрь (3 — 7 м/сек, на озерах до 8 — 10 м/сек).

Величина испарения является одним из основных расходных элементов водного баланса, на который в условиях Карелии затрачивается 50 — 60% атмосферных осадков, поступающих на поверхность водосборов.

Из-за недостаточности измерения величин испарения для получения по ним расчетных величин, была посчитана величина годового испарения, предложенная А.Р.Константиновым, согласно которому, величина испарения за месяц определяется по температуре и влажности воздуха. По вычисленным величинам годовых сумм испарения построены карты суммарного испарения с поверхности речных водосборов Карелии.

### 3.2. Особенности гидрологического режима рек Карелии

Гидрография Карелии представлена множеством рек и озер. Короткие по своей протяженности, они создают сложные системы из цепочек проточных озер, соединенных протоками с большим числом порогов и водопадов, имея во многих случаях существенное падение от истока к устью. В местах пониженного рельефа реки промывают широкие долины с поймами. Холмистый рельеф и слабоподдающиеся размыву кристаллические породы придают речной сети Карелии характер горных порожистых потоков, обладающих большими уклонами и скоростями течения.

Общая направленность рек на севере Карелии с запада на восток (р. Кереть, р. Паньгама, р. Кемь и др.), в центральной Карелии с северо-запада на юго-восток (р. Суна с притоками), а восточные притоки Онежского озера (р. Водла, р. Пяльма, р. Андома и др.) текут сначала с севера на юг, затем на запад. Реки Приладожья (р. Олонка, р. Уксу, р. Видлица и др.) имеют меридиональное направление: с севера на юг.

Характер и густота речной сети определяются геологическими и геоморфологическими особенностями, обуславливающими формирование достаточного избыточного увлажнения речных бассейнов. Речная сеть Карелии

хорошо развита и довольно равномерно распределена по территории. Густота речной сети составляет в среднем по республике 0,46 км на 1 кв.м.

Общими для всех речных бассейнов Карелии особенностями являются: лесистость, заболоченность, значительная озерность водосборных площадей и однородность климатических условий.

Особенностью рек Карелии является их смешанное питание с преобладанием снегового. Доли снегового, дождевого и грунтового питания находятся в прямой зависимости от физико-географических факторов: рельефа, почво-грунтов, осадков, озерности и т.д.

В годовом ходе уровня воды четко выражены четыре фазы: весеннее половодье, летняя межень, осенний паводок и зимняя межень. В течение года на реках наблюдается два максимума: весенний (наибольший за год) и осенний и два минимума: летний и зимний (наименьший).

Основной особенностью рек Карелии является их естественная зарегулированность озерами и болотами. Все реки Карелии можно разделить на три группы, классифицируемые по степени естественной зарегулированности:

- 1) Высокозарегулированные реки с озерностью в бассейне 13% и более
- 2) Реки со средней зарегулированностью озерность которых 5 — 13%
- 3) Слабозарегулированные реки с озерностью менее 5%

Влияние озерности бассейна хорошо прослеживается на характере гидрографов. Чем выше озерность, тем более распластаны и сглажены фазы годового хода уровней. Весеннее половодье характеризуется небольшой высотой подъема и значительной продолжительностью во времени. Подъемы уровней воды начинаются в начале мая, а спад заканчивается в конце августа.

Интересным моментом является то обстоятельство, что характер прохождения пика половодья неодинаков по длине реки, по мере приближения к устью влияние зарегулированности ослабевает. Именно поэтому максимальные уровни на реках первой группы в нижнем течении наступают

раньше, чем в верховьях этих рек. Максимумы половодья в низовьях рек первой группы наступают в конце первой — начале второй декады мая. В верховьях этих рек заметно позднее, в конце мая — начале июня развивается здесь весеннее половодье.

К группе рек со средней зарегулированностью (вторая группа) относятся реки Поньгома, Шуя (Онежская), Водла. Этим рекам свойственно более интенсивное развитие весеннего половодья. Пик на них, как правило, проходит в первой декаде мая. Раннее прохождение пика половодья, в среднем, приходится на конец второй — начало третьей декады апреля, позднее — на конец мая.

Своеобразно протекает весеннее половодье на р. Шуя у д. Бесовец. Весенний паводок здесь развивается медленнее, чем на остальных реках этой группы, что объясняется влиянием озер, расположенных вблизи пункта.

К третьей группе рек с зарегулированностью менее 5% относятся реки Верхний Выг и Олонка. Для них характерно дружное развитие весеннего половодья. Максимум здесь наступает рано, уже в последних числах апреля — начале мая. Невелика и амплитуда сроков прохождения пика половодья.

Таким образом, характер гидрографа реки определяется ее зарегулированностью. И чем выше озерность в бассейне реки, тем больше распластаны фазы годового хода уровней и тем позднее наступает гребень весеннего половодья, и наоборот.

Основными факторами весеннего половодья являются запасы снега, накопившегося за зимний период и характер сброса снега весной в реки, последний из которых зависит от характера погодных условий, главным образом, от температуры воздуха, а также весенних осадков.

Большое значение имеет и режим температуры воздуха в предшествующее зимнее время. Зимние оттепели, довольно характерные для Карелии, способствуют ускорению процесса снеготаяния. Интенсивность поступления на территорию республики теплых воздушных масс с Атлантики в

конце зимы и весной обуславливают прохождение максимальных величин весеннего половодья в ранние сроки. Наоборот, частые вторжения весной холодных масс воздуха из Арктики обуславливают вялое развитие весенних процессов.

Подъемы уровней воды в реках начинаются с момента водоотдачи из снега, которая происходит после устойчивого перехода температуры воздуха к положительным значениям (через 0°C). Для условий Карелии характерны неоднократные переходы температуры воздуха через 0°C не только в начале весны, но и в зимний период.

На большей части территории процесс весеннего снеготаяния происходит в апреле. Таким образом, с температурой воздуха на большей части территории связано время наступления определяемых фаз развития весеннего половодья.

Характер температурного режима весной определяет на некоторых реках Карелии наличие двух — трех пиков весеннего половодья, вызванных перерывами в снеготаянии при неоднократных возвратах холодов. При этом в зависимости от продолжительности и интенсивности волн тепла основным пиком может быть первый, второй и даже третий пик. Такой многопиковый гидрограф наиболее характерен для южной реки — Олонки.

#### 4.РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРОГНОЗА ЭЛЕМЕНТОВ ВЕСЕННЕГО СТОКА НА Р. ВОДЛА

Для методической разработки долгосрочных прогнозов весеннего половодья была выбрана река Водла створ город Пудож.

На этой реке наиболее продолжительные и непрерывные ряды наблюдений за стоком. Она является одной из многоводных рек Карелии, уступая по водности лишь таким рекам как Кемь, Выг и Ковда.

В прогнозах расходов весеннего половодья, дат их прохождения заинтересовано, например, Беломорско - Балтийское пароходство, сельское хозяйство и лесная промышленность.

В отдельные годы при прохождении высокого половодья на реке отмечается подтопление, прилегающие к ней территории с находящимися хозяйственными постройками, сельскохозяйственными угодьями. Поэтому гидропрогнозистам важно заранее оповестить потребителей гидрологической информации об ожидаемом на реке весеннем половодье, каким оно будет, для принятия соответствующих мер, во избежание ущерба, нанесённого в случае стихийного явления.

##### 4.1. Физико-географические характеристики

Река Водла протекает в юго-восточной части Карелии. Бассейн располагается между  $61^{\circ}30'$  и  $64^{\circ}00'$  северной широты,  $36^{\circ}00'$  и  $38^{\circ}00'$  восточной долготы. Бассейн вытянут в широтном направлении

Западная сторона бассейна реки Водлы и граничит с Онежским озером, северная сторона с бассейном верхний Выг и Онега, с восточной стороны бассейн реки Водлы тянется вдоль границы с Архангельской областью и с юга примыкает к Ленинградской области.

Характерной особенностью для Карелии в морфологическом строении является наличие огромного количества разломов и трещин в кристаллических породах.

Бассейн реки воды в этом отношении заметно отличается от общего характера республики. Выход кристаллических пород на земную поверхность в бассейне реки почти не наблюдается. В создании современного рельефа рассматриваемого бассейна большую роль сыграл ледниковый период. Наибольшее распространение из ледниковых образований получила Средняя островная морена и образования, состоящие из глинистого песка, гальки, щебня и валунов.

В отличие от остальной части Республики, юго-восточная часть, где расположена река Водла, характеризуется наличием пород средне-девонского возраста (наличие постболотных гранитов), развитием древних и современных дюн (нижнее течение реки Водла), наличием мощного слоя четвертичных отложений. Это объясняется, более ранним освобождением территории бассейна от ледника. Долина реки в Водлы ярко выраженная в отличие от остальных рек республики, русло которых почти не разработано. В нижнем течении реки Водлы присутствуют террасы. Коренные кристаллические породы в бассейне - граниты, гранитогнейсы, кристаллические сланцы.

Климат на территории, занимаемой бассейном реки Водлы, как и климат в Карелии мягкие и влажный. Территория республики относится к лесной зоне ЕТР, зоне избыточного увлажнения. Мягкости влажность климата обусловлены близким расположением Белого и Балтийского морей, наличием большого количества озер, а значит и большей испаряемости с их поверхности. Но так как бассейн реки Водлы расположен в юго-восточной части Республики, имеет процент озёрности 3 — 7%, климат более континентальный, чем в остальных частях Карелии. Смена сезонов в юго-восточной части Республики происходит чаще, чем на остальной территории Республики, то есть зима холоднее, а лето жарче.

Количество выпадающих за год осадков в бассейне реки Водлы колеблется в пределах 700 — 750 мм. В южной части бассейна количество осадков выше, чем в северной. Превышение происходит главным образом за счет выпадения осенне-зимних осадков, тогда как в остальное время года расхождение в количестве выпавших осадков по территории бассейна незначительно.

#### 4.2. Гидрологическая изученность

Река Водла образуется слиянием реки Вамы и рукава Сухая Водла, вытекающих из озера, и впадает с Восточной стороны в Онежское озеро. Длина реки Водлы до устья равна 149 километров. А площадь водосбора примерно 13000 квадратных километров. Рукав Сухая Водла обычно после окончания половодья пересыхает. Таким образом, река Водла является основным притоком.

Бассейн реки асимметричен с наиболее развитой левобережной частью. На своем протяжении река Водла принимает следующие крупные притоки: с левой стороны река Нетома, Колода, Сомба, с правой стороны Сума, Рагнукса, Шалица.

Ширина реки в верхнем течении 80 — 150 метров, тогда, как в нижнем она достигает до 250 м, а на участке от устья до Подпорожья даже до 400 метров при глубине 3 — 4 метра. В этой части река Водла судоходна. Характерной особенностью реки является отсутствие ступенчатости в продольном профиле в противоположность остальным рекам Карелии.

В среднем падение реки воду и составляет 0, 22 литра на 1 километр, увеличивается постепенно к верховьям. Средняя скорость течения реки от 0, 10 до 0,5 м. Максимальная скорость половодья до 0,6 м/с. В отличие от других рек Карелии река Водла имеет значительно меньшее количество озер в своей системе. Относясь к разряду наиболее крупных рек Карелии, на своем

протяжении не имеет ни одного озера, что является исключительное редкостью для рек Карелии. Озерная с площади бассейна реки колеблется в пределах 3 — 7%. Залесенность бассейна составляет 65 — 90%. Заболоченность территории изменяется в пределах 5 — 25%.

Первые водомерные посты на реке были открыты в 1925 — 1926 года в устьевой части реки (Подпорожье, Харловская (ныне Пудож)). В основном развития гидрологической сети произошло с 1932 года. С этого момента были открыты посты на реке Водла (д. Водла, г. Пудож) и на крупных притоках.

По своей водности река Водла, в условиях Карелии, относится к ряду многоводных, уступая по водности, только реке Ковда и реке Кемь. Максимальные расходы на реке Водла достигают 1000м<sup>3</sup>/с. Максимум весеннего половодья чаще всего наблюдается в первой—второй декаде мая. Весеннее половодье характеризуется резким подъемом и замедленным спадом уровней воды. Осенью, в результате обильных осадков, наблюдаются высокие паводки.

#### 4.3. Факторы формирования весеннего стока

Река Водла относится к типу рек со смешанным, снегодождевым питанием. Основными факторами, формирующими весеннее половодье на реке, как и для всех рек Карелии, являются запасы воды в снежном покрове перед началом снеготаяния и осадки, участвующие в формировании объема половодья. К факторам второстепенной значимости можно отнести показатели водопоглотительной способности и глубины промерзания почв. Нельзя пренебрегать и зональными (местными) характеристиками ландшафта и климатическими условиями района.

##### Запас воды в снеге

На территории Карелии максимальные снегозапасы увеличиваются с запада на восток от 134мм до 170 мм.

Лесные массивы способствуют накоплению снега. Залесенность бассейна реки Водла составляет 70% от всей площади бассейна. Средние максимальные снегозапасы варьируются от 90 мм в малоснежные годы до 180 мм в годы с обильным количеством, выпавших в зимний период, осадков. Норма максимальных снегозапасов в лесной части — 136 мм. Средняя дата наступления максимальных снегозапасов третья декада марта — первая декада апреля. Средняя дата схода снега в лесной части — первая декада мая.

Река Водла расположена в юго-восточной части Карелии, где наблюдаются обильные дождевые и осадки в виде снега. Годовое количество осадков приблизительно 750мм, что больше, чем на остальной территории Карелии.

График изменения снегозапасов на территории бассейна реки Водлы приведен в приложении А (рис.1).

#### Весенние осадки

Осадки, выпавшие в период прохождения весеннего половодья, в некоторые годы оказывают заметное влияние на величину весеннего максимума, если они выпали в период подъема, и значительно задерживают падение уровней, если выпадают на спаде.

В годы обычных и непрерывно повторяющихся весенних осадков такого не наблюдается. Высокие уровни поддерживаются продолжительное время и к осени, за счет осенних дождей, повышаются.

При разработке и выпуске долгосрочных прогнозов элементов весеннего половодья используется норма осенних осадков, так как прогнозы составляются в конце февраля, а предсказание величины осадков не совсем качественно, чтобы учесть их при выпуске весенних прогнозов.

График изменения осадков на территории бассейна река Водла приведен в приложении А (рис.2).

### Увлажненность почвы

Осеннее увлажнение — один из факторов, влияющих на формирование весеннего стока, в частности на величину его потерь, рассчитывается по методу А.С.Конторщикова и Н.Я.Подвишинской.

Данные о запасах влаги в почве на начало таяния весьма ограничены и недостаточны для разработки методов прогнозов весеннего стока. Поэтому запасы влаги в почве обычно рассчитываются по уравнению баланса почвы или оцениваются с помощью различных индексов увлажнения почвы, которые могут применяться и для оценки увлажнения почвы перед началом зимы, в частности это относится к индексу увлажнения  $I_w$ , определяемому по формуле:

$$I_w = \frac{Q_{IX-XII}}{\bar{Q}_{IX-XII}} \quad 4.1$$

где  $Q_{IX-XII}$  — среднегодовой расход воды осеннего периода (сентябрь — декабрь),

$\bar{Q}_{IX-XII}$  — многолетний среднегодовой расход осеннего периода (сентябрь — декабрь).

График изменения увлажненности почвы бассейна реки Водла приведен в приложении А (рис.3).

### Глубинам промерзания

Почва в бассейне реки Водла, по сравнению с остальной частью Карелии, промерзает не глубоко. Средняя максимальная глубина промерзания на данной территории за многолетний период составляет 23 см. В малоснежные и холодные зимы почва может промерзнуть до 40 —45 см. Наибольшая из максимальных отметок достигала в 1969 году и равнялась 46 см.

График изменения промерзания почв на территории бассейна река Водла приведен в приложении А (рис.4).

#### 4.4. Статистический метод прогноза

Для выполнения статистического метода прогнозов применяется корреляция — один из приемов, который получил широкое применение еще на ранней стадии развития гидрологического анализа и прогнозов. К этому методу прибегают тогда, когда в силу недостатка и невысокой точности гидрометеорологических данных невозможен физико-статистический воднобалансовый метод расчета и определенное представление о возможности прогнозов могут дать только методы регрессионного(корреляционного) анализа.

Метод прогноза объема стока за весеннее половодье на реке Водла у города Пудож основывается на использовании уравнений, составленных по величинам, влияющим на формирование стока.

##### 4.4.1 Методика прогноза весеннего стока

Таблица 4.1 Исходные данные для уравнений регрессии

Год	$y$ , мм	$S$ , мм	$x$ , мм	$(S+x)$ , мм	$(S+\bar{x})$ , мм	$I_w$
1961	171	249	43	292	295	0,51
1962	180	241	34	275	287	1,38
1963	76	147	71	218	193	0,46
1964	108	143	22	165	189	1,34
1965	91	148	13	161	194	1,10

Продолжение таблицы 4.1

Год	$y$ , мм	$S$ , мм	$x$ , мм	$(S+x)$ , мм	$(S+\bar{x})$ , мм	$I_w$
1966	192	232	35	267	278	0,84
1967	101	142	40	182	188	1,43
1968	182	182	32	214	228	0,82
1969	101	152	36	188	198	0,86
1970	121	160	51	211	206	1,20
1971	164	237	20	257	283	1,03
1972	96	149	56	205	195	0,96
1973	132	137	101	238	183	0,66
1974	102	201	20	221	247	0,55
1975	85	105	73	178	151	0,83
1976	128	193	86	279	239	0,60
1977	100	122	35	157	168	1,22
1978	57	142	36	178	188	0,90
1979	118	127	59	186	173	1,33
1980	73	156	31	187	202	0,78
1981	237	285	56	341	331	0,75

Продолжение таблицы 4.1

Год	$y$ , мм	$S$ , мм	$x$ , мм	$(S+x)$ , мм	$(S+\bar{x})$ , мм	$I_w$
1982	168	208	59	267	254	1,11
1983	101	147	45	192	193	1,08
1984	80	247	38	285	293	0,32
1985	62	118	27	145	164	1,25
1986	76	152	71	223	198	0,70
1987	87	116	28	144	162	1,40
1988	170	139	82	221	185	1,64
1989	153	211	37	248	257	1,41
1990	168	167	71	238	242	1,01
1991	132	192	78	270	267	0,64

Таблица 4.2 Исходные данные для уравнений регрессии

Годы	$y$ , мм	$S$ , мм	$x$ , мм	$I_w$	$W$ , км <sup>3</sup>	$L$ , см
1961	171	249	43	0,51	2,05	39
1962	180	241	34	1,38	2,16	18

Продолжение таблицы 4.2

Годы	у, мм	S, мм	х, мм	$I_w$	W, км <sup>3</sup>	L, см
1963	76	147	71	0,46	0,92	38
1964	108	143	22	1,34	1,30	17
1965	91	148	13	1,10	1,09	36
1966	192	232	35	0,84	2,30	14
1967	101	142	40	1,43	1,21	29
1968	182	182	32	0,82	2,18	21
1969	101	152	36	0,86	1,22	46
1970	121	160	51	1,20	1,46	15
1971	164	237	20	1,03	1,97	28
1972	96	149	56	0,96	1,16	14
1973	132	137	101	0,66	1,59	20
1974	102	201	20	0,55	1,23	4
1975	85	105	73	0,83	1,02	3
1976	128	193	86	0,60	1,53	16
1977	100	122	35	1,22	1,21	36
1978	57	142	36	0,9	0,68	28

Продолжение таблицы 4.2

Годы	$y$ , мм	$S$ , мм	$x$ , мм	$I_w$	$W$ , км <sup>3</sup>	$L$ , см
1979	118	127	59	1,33	1,42	35
1980	73	156	31	0,78	0,88	20
1981	237	285	56	0,75	3,29	0
1982	168	208	59	1,11	2,33	0
1983	101	147	45	1,08	1,22	15
1984	80	247	38	0,32	0,96	11
1985	62	118	27	1,25	0,75	40
1986	76	152	71	0,70	0,91	30
1987	87	116	28	1,40	1,04	33
1988	170	139	82	1,64	2,04	27
1989	153	211	37	1,41	1,84	15
1990	168	167	71	1,01	2,02	30
1991	132	192	78	0,64	1,58	19

В таблицах 4.1 и 4.2 приведены такие исходные данные как:

где  $y$ , мм — слой стока за период половодья;

$S$ , мм — максимальные снегозапасы, общие для поля и леса;

$x$ , мм — осадки, выпавшие в период снеготаяния;

$(S+x)$ , мм — суммарные снегозапасы и осадки, выпавшие за период снеготаяния;

$(S+\bar{x})$ , мм — суммарные снегозапасы и осредненное количество осадков, выпавших за период снеготаяния;

$I_w$  — индекс увлажнения почвы, вычисленный по данным о стоке за сентябрь — декабрь, отнесенный к его норме;

$W$ , мм — эффективные снегозапасы;

$L$ , мм — глубина промерзания почвы;

Таблица 4.3 Регрессионные уравнения

№	Уравнение	$S/\sigma$
1	$y = a_1 \times S + a_0$	0,71
2	$y = a_1 \times (S+x) + a_0$	0,54
3	$y = a_1 \times (S+x) + a_2 \times W + a_0$	0,51
4	$y = a_1 \times (S+x) + a_2 \times I_w + a_0$	0,40
5	$y = a_1 \times (S+x) + a_2 \times I_w + a_3 \times L + a_0$	0,40

$a_1, a_2, a_3$  — коэффициенты уравнения регрессии

$a_0$  — свободный член уравнения

$S/\sigma$  — отношение средней квадратической ошибки к среднеквадратическому отклонению

Значение  $S/\sigma \leq 0,7$  для 29 лет наблюдений.

Из таблицы 4.3 видно, что все уравнения, кроме №1, входят в допустимый предел погрешности, но наиболее показательным является уравнение № 4 и №5  $S/\bar{\sigma}=0,40$ , это говорит о том, что сток весеннего половодья зависит, в основном, от суммы снегозапасов и садков, выпавших в период весеннего снеготаяния ( $S+x$ ) и от увлажненности почв ( $I_w$ ), а глубина промерзания почв ( $L$ ) не влияет на сток на данной территории.

Был выполнен прогноз стока за весеннее половодье с помощью уравнения  $y = 0,86 \times (S+x) + 66,20 \times I_w - 131,50$ , результаты которого приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4 Прогноз стока за весеннее половодье

Годы	$y$ , мм	$\hat{y}$ , мм	$\Delta y$ , мм	$(\Delta y)^2$ , мм	$\Delta$	$\Delta^2$
1961	171	153,4	17,6	310,4	49,90	2489,67
1962	180	196,4	-16,4	267,5	58,90	3468,80
1963	76	86,4	-10,4	108,8	-45,10	2034,32
1964	108	99,1	8,9	79,1	-13,10	171,70
1965	91	79,8	11,2	125,9	-30,10	906,22
1966	192	153,7	38,3	1464,7	70,90	5026,32
1967	101	119,7	-18,7	349,2	-20,10	404,15
1968	182	106,8	75,2	5651,4	60,90	3708,39
1969	101	87,1	13,9	192,9	-20,10	404,15
1970	121	129,4	-8,4	70,6	-0,10	0,01

Продолжение таблицы 4.4

Годы	$y$ , мм	$\hat{y}$ , мм	$\Delta y$ , мм	$(\Delta y)^2$ , мм	$\Delta$	$\Delta^2$
1971	164	157,7	6,3	39,6	42,90	1840,11
1972	96	108,4	-12,4	152,6	-25,10	630,18
1973	132	116,9	15,1	228,9	10,90	118,73
1974	102	95,0	7,0	49,4	-19,10	364,94
1975	85	76,5	8,5	71,8	-36,10	1303,46
1976	128	148,2	-20,2	406,4	6,90	47,56
1977	100	84,3	15,7	247,0	-21,10	445,36
1978	57	81,2	-24,2	583,7	-64,10	4109,25
1979	118	116,5	1,5	2,2	-3,10	9,63
1980	73	81,0	-8,0	63,3	-48,10	2313,94
1981	237	211,4	25,6	654,8	115,90	13432,01
1982	168	171,6	-3,6	13,0	46,90	2199,29
1983	101	105,1	-4,1	16,9	-20,10	404,15
1984	80	134,8	-54,8	3001,3	-41,10	1689,49
1985	62	76,0	-14,0	194,6	-59,10	3493,22
1986	76	106,6	-30,6	937,6	-45,10	2034,32
1987	87	85,0	2,0	3,9	-34,10	1163,05

Продолжение таблицы 4.4

Годы	у, мм	$\hat{y}$ , мм	$\Delta y$ , мм	$(\Delta y)^2$ , мм	$\Delta$	$\Delta^2$
1988	170	167,1	2,9	8,2	48,90	2390,87
1989	153	175,1	-22,1	489,4	31,90	1017,39
Среднее	121,10	—	—	—	—	—
Сумма	—	—	—	—	—	58274

По формуле 4.2 рассчитывается среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\Delta)^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{57620,7}{28}} = 45,6 \text{ мм}, \quad (4.2)$$

которое необходимо для определения допустимой погрешности прогноза, которая, в свою очередь, имеет формулу расчета:

$$\delta_{\text{дон.}} = 0,674 \times \sigma \quad (4.3)$$

$$\delta_{\text{дон.}} = 0,674 \times 45,6 = 31,0 \text{ мм}$$

Прогноз считается оправдавшимся при  $|\Delta y| \leq \delta_{\text{дон.}}$

По уравнению №4 из таблицы 4.3 был выполнен проверочный прогноз на независимом материале.

Таблица 4.5 Проверочный прогноз стока за весеннее половодье на независимом материале

Год	$y$ , мм	$\hat{y}$ , мм	$\Delta y$ , мм	$(\Delta y)^2$ , мм	$\Delta$	$\Delta^2$
1990	168	140,0	-2,4	5,8	16,54	273,56
1991	132	143,1	-2,5	6,1	19,49	379,80

Погрешность прогноза ( $\Delta y$ ) за 1990 и 1991 годы в пределах  $\delta_{\text{доп.}}$ , а значит прогноз оправдался.

Процентное значение оправдываемости прогнозов весеннего стока определяется по формуле:

$$P_1\% = \frac{\text{Количество оправдавшихся прогнозов}}{\text{Общее число пргнозов}} \quad (4.4)$$

$$P_1\% = \frac{26}{29} \times 100\% =$$

Прогноз стока за весеннее половодье, рассчитанный для периода с 1961 по 1991 год по уравнению №4 из таблицы 4.3, в котором учтены сумма снегозапасов и фактических осадков, в период снеготаяния, и увлажненности почв, оправдался на 90%.

4.4.2. Методика прогноза максимальных расходов воды и даты их наступления

Таблица 4.6 Исходные данные для уравнений регрессии

Годы	$Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$S$ ,мм	$(S+x)$ ,мм	$(S+\bar{x})$ ,мм	$\Delta N_{10}$	$\Delta N_{20}$	$\Delta N_{30}$	$\Delta N_{40}$	$\Delta N_{50}$
1961	1120	249	292	295	4	8	12	10	9
1962	747	241	275	287	-10	-9	-13	-15	-15
1963	699	147	218	193	-3	-3	-4	-6	-7
1964	665	143	165	189	0	1	0	3	3
1965	530	148	161	194	2	1	-1	-4	-4
1966	908	232	267	278	12	14	14	14	14
1967	435	142	182	188	-17	-14	15	-17	-17
1968	846	182	214	228	-4	-4	9	6	6
1969	487	152	188	198	0	0	-2	-3	-4
1970	916	160	211	206	-9	9	-4	-1	0
1971	1120	237	257	283	21	19	-12	16	15
1972	634	149	205	195	-3	-4	-3	3	4
1973	685	137	238	183	-13	-11	-9	-8	-8
1974	766	201	221	247	15	15	17	14	14
1975	487	105	178	151	-12	-10	-11	-13	-12
1976	944	193	279	239	-1	-1	-1	0	8

Продолжение таблицы 4.6

Годы	$Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$S$ ,мм	$(S+x)$ ,мм	$(S+\bar{x})$ ,мм	$\Delta N_{10}$	$\Delta N_{20}$	$\Delta N_{30}$	$\Delta N_{40}$	$\Delta N_{50}$
1977	648	122	157	168	1	1	3	0	-1
1978	340	142	178	188	-1	-1	12	10	14
1979	895	127	186	173	12	11	10	7	6
1980	555	156	187	202	7	6	4	1	1
1981	1165	285	341	331	18	18	16	14	13
1982	969	208	267	254	-6	-3	-3	0	1
1983	674	147	192	193	-18	-19	-18	-21	-21
1984	811	247	285	293	1	-1	2	3	3
1985	685	118	145	164	8	10	9	6	5
1986	1005	152	223	198	7	5	3	1	0
1987	594	116	144	162	12	11	9	6	5
1988	658	139	221	185	3	14	13	10	9
1989	926	211	248	257	-2	-2	-3	-5	-5
1990	881	167	238	242	-5	-6	-6	-9	-10
1991	794	192	270	267	-10	-11	-12	-15	-15

В таблице 4.6 приведены такие исходные данные как:

$Q_{max}$ , м<sup>3</sup>/с — максимальный сток за многолетний период наблюдений;

$\Delta N_{10}$  — количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха +10°C;

$\Delta N_{20}$  — количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха +20°C;

$\Delta N_{30}$  — количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха +30°C ;

$\Delta N_{40}$  — количество дней, в отклонении от среднего значения, а которое набирается суммарные температуры воздуха +40°C;

$\Delta N_{50}$  — количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха +50°C

Средние даты наступления вышеперечисленных величин приведены в приложении Б таб.Б.1

Таблица № 4.7 Регрессионные уравнения

№	Уравнение	S/Б
1	$Q_{max} = a_1 \times S + a_0$	0,70
2	$Q_{max} = a_1 \times S + a_2 \times (\Delta N_{10}) + a_0$	0,51
3	$Q_{max} = a_1 \times S + a_2 \times (\Delta N_{20}) + a_0$	0,49
4	$Q_{max} = a_1 \times S + a_2 \times (\Delta N_{30}) + a_0$	0,54
5	$Q_{max} = a_1 \times S + a_2 \times (\Delta N_{40}) + a_0$	0,52
6	$Q_{max} = a_1 \times S + a_2 \times (\Delta N_{50}) + a_0$	0,52
7	$Q_{max} = a_1 \times (S + \bar{x}) + a_0$	0,52

Продолжение таблицы 4.7

№	Уравнение	S/σ
8	$Q_{max} = a_1 \times (S + \bar{x}) + a_2 \times (\Delta N_{10}) + a_0$	0,52
9	$Q_{max} = a_1 \times (S + \bar{x}) + a_2 \times (\Delta N_{20}) + a_0$	0,50
10	$Q_{max} = a_1 \times (S + \bar{x}) + a_2 \times (\Delta N_{30}) + a_0$	0,54
11	$Q_{max} = a_1 \times (S + \bar{x}) + a_2 \times (\Delta N_{40}) + a_0$	0,52
12	$Q_{max} = a_1 \times (S + \bar{x}) + a_2 \times (\Delta N_{50}) + a_0$	0,52
13	$Q_{max} = a_1 \times (S + x) + a_0$	0,50
14	$Q_{max} = a_1 \times (S + x) + a_2 \times (\Delta N_{10}) + a_0$	0,44
15	$Q_{max} = a_1 \times (S + x) + a_2 \times (\Delta N_{20}) + a_0$	0,43
16	$Q_{max} = a_1 \times (S + x) + a_2 \times (\Delta N_{30}) + a_0$	0,50
17	$Q_{max} = a_1 \times (S + x) + a_2 \times (\Delta N_{40}) + a_0$	0,46
18	$Q_{max} = a_1 \times (S + x) + a_2 \times (\Delta N_{50}) + a_0$	0,47

Из таблицы 4.7 видно, все уравнения входят в допустимый диапазон, но наиболее показательным является уравнение №15,  $S/\sigma=0,43$ , это говорит о том, что это уравнение лучше остальных подходит для расчета максимального расхода половодья.

Перечень уравнений также показывает, что максимальный расход лучше рассчитывать, имея фактические осадки, чем осредненные за многолетний

период, так как последние не достаточно точно отражают поступление влаги на водосбор в конкретный год.

Был выполнен прогноза максимальных расходов с помощью уравнения,  $Q_{max} = 2,95 \times (S+x) + 7,60 \times (\Delta N_{20}) + 96,00$  результаты которого приведены в таблице 4.8

Таблица 4.8 Прогноз максимальных расходов воды

Годы	$Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\overline{Q_{max}}$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$(\Delta Q_{max})^2$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta$	$\Delta^2$
1961	1120	1018	101,8	10363	364,9	133175
1962	747	838,9	-91,85	8436,4	-8,1	65
1963	699	716,3	-17,3	299,29	-56,1	3144
1964	665	590,4	74,65	5572,6	-90,1	8112
1965	530	578,6	-48,55	2357,1	-225,1	50656
1966	908	990,1	-82,05	6732,2	152,9	23388
1967	435	526,5	-91,5	8372,3	-320,1	102444
1968	846	696,9	149,1	22231	90,9	8268
1969	487	650,6	-163,6	26765	-268,1	71861
1970	916	786,9	129,2	16680	160,9	25899
1971	1120	998,6	121,5	14750	364,9	133175
1972	634	670,4	-36,35	1321,3	-121,1	14658

Продолжение таблицы 4.8

Годы	$Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\widehat{Q}_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$(\Delta Q_{max})^2$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta$	$\Delta^2$
1973	685	714,5	-29,5	870,25	-70,1	4910
1974	766	862	-95,95	9206,4	10,9	119
1975	487	545,1	-58,1	3375,6	-268,1	71861
1976	944	911,5	32,55	1059,5	188,9	35695
1977	648	566,8	81,25	6601,6	-107,1	11464
1978	340	613,5	-273,5	74802	-415,1	172282
1979	895	728,3	166,7	27789	139,9	19581
1980	555	693,3	-138,3	19113	-200,1	40028
1981	1165	1239	-73,75	5439,1	409,9	168043
1982	969	860,9	108,2	11696	213,9	45766
1983	664	518	146	21316	-91,1	8294
1984	811	929,2	-118,2	13959	55,9	3128
1985	678	599,8	78,25	6123,1	-77,1	5940
1986	1005	791,9	213,2	45433	249,9	62466
1987	594	604,4	-10,4	108,16	-161,1	25943

Продолжение таблицы 4.8

Годы	$Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\widehat{Q}_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$(\Delta Q_{max})^2$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta$	$\Delta^2$
1988	658	854,4	-196,4	38553	-97,1	9422
1989	926	812,4	113,6	12905	170,9	29217
Среднее	755,1	—	—	—	—	—
Сумма	—	—	—	—	—	1289004

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\Delta^2)}{N-1}} = 214,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\delta_{дон.} = 0,674 \times \sigma = 144,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

По уравнению №15 из таблицы 4.7 был выполнен проверочный прогноз на независимом материале.

Таблица 4.9 Проверочный прогноз максимального расхода воды на независимом материале

Год	$Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\widehat{Q}_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /с	$(\Delta Q_{max})^2$ , м <sup>3</sup> /с	$\Delta$	$\Delta^2$
1990	881	752,5	128,5	16512	125,9	15859
1991	794	808,9	-14,9	222	38,9	1516

Погрешность прогноза ( $\Delta Q_{max}$ ) за 1990 и 1991 годы в пределах  $\delta_{доп.}$ , а значит прогноз оправдался .

Процентное значение оправдываемости прогноза максимальных расходов за весеннее половодье определяется по формуле:

$$P_1 \% = \frac{24}{29} \times 100\% = 83\%$$

Прогноз максимальных расходов вода за весеннее половодье, рассчитанный для периода с 1961 по 1991 год по уравнению №15 из таблицы 4.7, в котором учтены сумма снегозапасов и фактических осадков, в период снеготаяния( $S+x$ ), и количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta N_{20}$ ), оправдался на 83%.

Таблица № 4.10 Исходные данные для уравнений регрессии

Годы	$\Delta D_{Q_{max}}$	$\Delta N_0$	$\Delta D_N$	$\Delta N_{10}$	$\Delta N_{20}$	$\Delta N_{30}$	$\Delta N_{40}$	$\Delta N_{50}$
1961	64	4	14	4	8	12	10	9
1962	67	-9	-13	-10	-9	-13	-15	-15
1963	63	-3	2	-3	-3	-4	-6	-7
1964	70	3	7	0	1	0	3	3
1965	58	3	-2	2	1	-1	-4	-4
1966	88	8	2	12	14	14	14	14
1967	55	-15	-6	-17	-14	15	-17	-17
1968	64	-7	-8	-4	-4	9	6	6

Продолжение таблицы 4.10

Годы	$\Delta D_{Qmax}$	$\Delta N_0$	$\Delta D_N$	$\Delta N_{10}$	$\Delta N_{20}$	$\Delta N_{30}$	$\Delta N_{40}$	$\Delta N_{50}$
1969	50	-2	0	0	0	-2	-3	-4
1970	56	-9	-6	-9	9	-4	-1	0
1971	59	21	7	21	19	-12	16	15
1972	64	-6	-1	-3	-4	-3	3	4
1973	82	-13	-5	-13	-11	-9	-8	-8
1974	48	16	-7	15	15	17	14	14
1975	46	-17	-9	-12	-10	-11	-13	-12
1976	55	1	-5	-1	-1	-1	0	8
1977	54	-3	0	1	1	3	0	-1
1978	45	0	1	-1	-1	12	10	14
1979	56	14	14	12	11	10	7	6
1980	30	7	-15	7	6	4	1	1
1981	80	17	17	18	18	16	14	13
1982	78	-3	-2	-6	-3	-3	0	1
1983	43	-16	-13	-18	-19	-18	-21	-21
1984	65	2	3	1	-1	2	3	3

Продолжение таблицы 4.10

Годы	$\Delta D_{Qmax}$	$\Delta N_0$	$\Delta D_N$	$\Delta N_{10}$	$\Delta N_{20}$	$\Delta N_{30}$	$\Delta N_{40}$	$\Delta N_{50}$
1985	32	4	16	8	10	9	6	5
1986	24	8	8	7	5	3	1	0
1987	41	13	16	12	11	9	6	5
1988	80	6	-6	3	14	13	10	9
1989	57	-1	1	-2	-2	-3	-5	-5
1990	61	-7	2	-5	-6	-6	-9	-10
1991	49	-9	-6	-10	-11	-12	-15	-15

В таблице № 4.10 приведены такие исходные данные, как:

$\Delta D_{Qmax}$  — количество дней, в отклонении от среднемноголетней даты наступления максимального расхода воды;

$\Delta N_0$  — дата перехода температур воздуха через 0°C, в отклонении от среднемноголетнего;

$\Delta D_N$  — количество дней, в отклонении от среднемноголетней даты начала половодья;

Таблица № 4.11 Регрессионные уравнения

№	Уравнение	S/б
1	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_0$	0,85

Продолжение таблицы 4.11

№	Уравнение	S/б
2	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_2 \times (\Delta D_N) + a_0$	0,69
3	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_2 \times (\Delta N_{10}) + a_0$	0,60
4	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_2 \times (\Delta N_{20}) + a_0$	0,57
5	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_2 \times (\Delta N_{30}) + a_0$	0,48
6	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_2 \times (\Delta N_{40}) + a_0$	0,55
7	$\Delta D_{Qmax} = a_1 \times (\Delta N_0) + a_2 \times (\Delta N_{50}) + a_0$	0,36

Из таблицы № 4.11 видно, все, кроме уравнения №1 входят в допустимый диапазон, наиболее показательным является уравнение №7,  $S/\bar{b}=0,36$ , значит это уравнение лучше остальных подходит для прогноза даты максимального расхода, но из-за того, что в этом уравнении учитывается количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры  $+50^\circ\text{C}(\Delta N_{50})$ , заблаговременность прогноза очень мала.

Был выполнен прогноз даты наступления максимального расхода с помощью уравнения,  $\Delta D_{Qmax} = -0,15 \times (\Delta N_0) + 0,9 \times (\Delta N_{50}) - 0,17$  результаты которого приведены в таблице 4.12

Таблица 4.12 Прогноз даты максимальных расходов воды за весеннее половодье

Годы	$\Delta D_{Qmax}$	$\Delta \widehat{D}_{Qmax}$	$\Delta(\Delta D_{Qmax})$	$(\Delta(\Delta D_{Qmax}))^2$	$\Delta$	$\Delta^2$
1961	8	7	0,5	0,3	7,2	51,4
1962	-13	-13	-0,8	0,7	-13,8	191,2
1963	-1	-6	4,9	23,9	-1,8	3,3
1964	2	2	-0,2	0,0	1,2	1,4
1965	-3	-5	1,1	1,2	-3,8	14,7
1966	14	11	2,6	6,9	13,2	173,5
1967	2	-14	15,1	227,6	1,2	1,4
1968	6	6	-0,4	0,2	5,2	26,8
1969	-7	-4	-3,7	13,4	-7,8	61,3
1970	1	1	-0,3	0,1	0,2	0,0
1971	10	10	-0,3	0,1	9,2	84,1
1972	4	4	-0,5	0,2	3,2	10,1
1973	-12	-6	-6,7	45,1	-12,8	164,5
1974	14	10	3,8	14,7	13,2	173,5
1975	-7	-9	1,3	1,7	-7,8	61,3
1976	9	7	2,0	3,9	8,2	66,8
1977	-4	-1	-3,5	12,3	-4,8	23,3
1978	13	12	0,4	0,2	12,2	148,2

Продолжение таблицы 4.12

Годы	$\Delta D_{Qmax}$	$\widehat{\Delta D}_{Qmax}$	$\Delta(\Delta D_{Qmax})$	$(\Delta(\Delta D_{Qmax}))^2$	$\Delta$	$\Delta^2$
1979	1	3	-2,3	5,1	0,2	0,0
1980	6	-1	6,2	38,3	5,2	26,8
1981	9	9	-0,1	0,0	8,2	66,8
1982	-1	1	-2,3	5,4	-1,8	3,3
1983	-25	-17	-8,5	71,6	-25,8	667,1
1984	2	2	-0,4	0,1	1,2	1,4
1985	2	3	-1,9	3,5	1,2	1,4
1986	-5	-2	-3,8	14,2	-5,8	34,0
1987	-1	2	-3,5	12,3	-1,8	3,3
1988	4	7	-3,2	10,0	3,2	10,1
1989	-4	-5	0,4	0,1	-4,8	23,3
Среднее	0,4	—	—	—	—	—
Сумма	—	—	—	—	—	2094

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\Delta^2)}{N - 1}} = 8,65 \text{ сут.}$$

$$\delta_{доп.} = 0,674 \times \sigma = 6 \text{ сут.}$$

По уравнению №7 из таблицы 4.11 был выполнен проверочный прогноз на независимом материале.

Таблица 4.13 Прогноз даты максимально расхода на независимом материале

Год	$\Delta D_{Qmax}$	$\Delta \overline{D}_{Qmax}$	$\Delta(\Delta D_{Qmax})$	$(\Delta(\Delta D_{Qmax}))^2$	$\Delta$	$\Delta^2$
1990	-13	-8	-5,0	25,1	-13,8	191,4
1991	2	-13	14,2	201,2	1,2	1,4

Погрешность прогноза ( $\Delta D_{Qmax}$ ) за 1990 год в пределах  $\delta_{доп.}$ , а значит в этот год прогноз оправдался, но погрешность прогноза за 1991 год выходит за пределы нормы, в этот год прогноз не оправдался.

$$P_1 \% = \frac{25}{29} \times 100\% = 86\%$$

Прогноз даты максимальных расходов вода за весеннее половодье, рассчитанный для периода с 1961 по 1991 год по уравнению №7 из таблицы 4.11, в котором учтены дата перехода температур воздуха через 0°C, в отклонении от среднего ( $\Delta N_0$ ) и количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха +50°C оправдался на 86%.

#### 4.4.2. Методика прогноза продолжительности весеннего половодья

Таблица 4.14 Исходные данные для уравнений регрессии

Годы	$T$ , сут.	$(S+x)$ ,мм	$(S+\bar{x})$ ,мм	$\Delta D_N$	$\Delta N_{10}$
1961	64	292	295	14	4
1962	67	275	287	-13	-10
1963	63	218	193	2	-3
1964	70	165	189	7	0
1965	58	161	194	-2	2
1966	88	267	278	2	12
1967	55	182	188	-6	-17
1968	64	214	228	-8	-4
1969	50	188	198	0	0
1970	56	211	206	-6	-9
1971	59	257	283	7	21
1972	64	205	195	-1	-3
1973	82	238	183	-5	-13
1974	48	221	247	-7	15
1975	46	178	151	-9	-12

Продолжение таблицы 4.14

Годы	$T$ , сут.	$(S+x)$ ,мм	$(S+\bar{x})$ ,мм	$\Delta D_N$	$\Delta N_{10}$
1976	55	279	239	-5	-1
1977	54	157	168	0	1
1978	45	178	188	1	-1
1979	56	186	173	14	12
1980	30	187	202	-15	7
1981	80	341	331	17	18
1982	78	267	254	-2	-6
1983	43	192	193	-13	-18
1984	65	285	293	3	1
1985	32	145	164	16	8
1986	24	223	198	8	7
1987	41	144	162	16	12
1988	80	221	185	-6	3
1989	57	248	257	1	-2
1990	61	238	242	2	-5
1991	49	270	267	-6	-10

В таблице 4.14 приведены такие исходные данные, как  
 $T$ , сут.— средняя многолетняя продолжительность весеннего половодья;  
 $(S+x)$ , мм — суммарные снегозапасы и осадки, выпавшие за период  
 снеготаяния;

$(S+\bar{x})$ , мм — суммарные снегозапасы и осредненное количество осадков,  
 выпавших за период снеготаяния;

$\Delta D_N$ — количество дней, в отклонении от среднемноголетней даты начала  
 половодья;

$\Delta N_{10}$  — количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое  
 набирается суммарные температуры  $+10^\circ\text{C}$ ;

Таблица 4.15 Регрессионные уравнения

№	Уравнение	$S/\bar{b}$
1	$T = a_1 (S+x) + a_2 (\Delta D_N) + a_0$	0,67
2	$T = a_1 (S+x) + a_2 (\Delta D_N) + a_3 (\Delta N_{10}) + a_0$	0,65
3	$T = a_1 (S+\bar{x}) + a_2 (\Delta D_N) + a_0$	0,73
4	$T = a_1 (S+\bar{x}) + a_2 (\Delta D_N) + a_3 (\Delta N_{10}) + a_0$	0,70

Из таблицы № 7 видно, что все уравнения, кроме № 3 входят в допустимый диапазон, наиболее показательным является уравнение №2,  $S/\bar{b}=0,65$ , значит, это уравнение показывает лучшую зависимость продолжительности весеннего половодья от суммарных снегозапасов с действительными осадками, даты начала половодья и не значительно зависит от количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры от  $+10^\circ\text{C}$  до  $+50^\circ\text{C}$ .

Был выполнен прогноза стока за весеннее половодье с помощью уравнения,  $T = 0,2 (S+x) + 0,2 (\Delta D_N) - 0,3 (\Delta N_{10}) + 18$  результаты которого приведены в таблице 4.16

Таблица 4.16 Прогноз продолжительности весеннего половодья

Годы	$T$ , сут.	$\hat{T}$ , сут.	$\Delta T$ , сут.	$(\Delta T)^2$ , сут.	$\Delta$	$\Delta^2$
1961	64	71	-7	51	6	39
1962	67	68	-1	1	9	86
1963	63	58	5	24	5	28
1964	70	48	22	466	12	151
1965	58	46	12	153	0	0
1966	88	62	26	669	30	917
1967	55	55	0	0	-3	7
1968	64	56	8	62	6	39
1969	50	51	-1	2	-8	60
1970	56	57	-1	2	-2	3
1971	59	58	1	1	1	2
1972	64	55	9	76	6	39
1973	82	64	18	331	24	589

Продолжение таблицы 4.16

Годы	$T$ , сут.	$\hat{T}$ , сут.	$\Delta T$ , сут.	$(\Delta T)^2$ , сут.	$\Delta$	$\Delta^2$
1974	48	51	-3	12	-10	95
1975	46	52	-6	36	-12	137
1976	55	67	-12	152	-3	7
1977	54	46	8	72	-4	14
1978	45	50	-5	26	-13	162
1979	56	49	7	43	-2	3
1980	30	47	-17	276	-28	769
1981	80	76	4	17	22	496
1982	78	67	11	116	20	411
1983	43	56	-13	165	-15	217
1984	65	69	-4	16	7	53
1985	32	44	-12	137	-26	662
1986	24	57	-33	1074	-34	1137
1987	41	42	-1	2	-17	280
1988	80	55	25	603	22	496

Продолжение таблицы 4.16

Годы	$T$ , сут.	$\hat{T}$ , сут.	$\Delta T$ , сут.	$(\Delta T)^2$ , сут.	$\Delta$	$\Delta^2$
1989	57	63	-6	36	-1	1
Среднее	57,7	—	—	—	—	—
Сумма	—	—	—	—	—	6900

$$6 = \sqrt{\frac{\sum(\Delta^2)}{N-1}} = 15,7 \text{ сут.}$$

$$\delta_{\text{доп.}} = 0,674 \times 6 = 11 \text{ сут.}$$

По уравнению №2 из таблицы 4.15 был выполнен проверочный прогноз на независимом материале.

Таблица 4.17 Проверочный прогноз продолжительности половодья на независимом материале

Год	$T$ , сут.	$\hat{T}$ , сут.	$\Delta T$ , сут.	$(\Delta T)^2$ , сут.	$\Delta$	$\Delta^2$
1990	61	62	-1	2	3	11
1991	49	68	-19	378	-9	76

Погрешность прогноза ( $\Delta T$ ) за 1990 год в пределах  $\delta_{\text{доп.}}$ , а значит прогноз оправдался, погрешность прогноза на 1991 год больше  $\delta_{\text{доп.}}$ , это значит что прогноз на этот год не оправдался.

$$P_1 \% = \frac{22}{29} = 76\%$$

Прогноз продолжительности весеннего половодья, рассчитанный для периода с 1961 по 1991 год по уравнению №2 из таблицы 4.15, в котором учтены сумма снегозапасов и фактических осадков, в период снеготаяния, количество дней, в отклонении от среднемноголетней даты наступления половодья ( $\Delta D_N$ ) и количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха  $+10^\circ\text{C}$  оправдался на 76%.

#### 4.5. ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ВОДНО-БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА СТОКА

Разработка методики прогнозов элементов весеннего половодья должна основываться на всестороннем изучении условий весеннего стока и условий его формирования в данном районе. Весенний сток зависит не только от снеготаяния, но и потерь талых вод. Потери включают в себя: потери на поверхностное задержание; испарение с поверхности снега и почвы, освобождающейся от снега; инфильтрацию талых и дождевых вод во время снеготаяния и при стоке их по склонам.

Поверхностное задержание стока — мало изменяющаяся величина, определяющаяся постоянным объемом, заполняющихся водой, понижений.

Испарение с поверхности тающего снега не велико из-за низких температур воздуха и снега, также из-за небольшой продолжительности снеготаяния. Величину потерь считают постоянной.

Основные потери весеннего стока — потери талых вод на инфильтрацию в почву.

Разработка методики долгосрочного прогноза стока за весеннее половодье в бассейне реки Водла сводится, в одном случае, к ежегодной оценке по данным наблюдений значений составляющих элементов водного баланса, в другом случае — к определению параметров уравнений по доступным материалам многолетних наблюдений.

В общем виде, уравнение водного баланса выглядит как:

$$y = x - P, \quad (4.5)$$

где:  $y$ , мм — слой поверхностного стока;

$x$ , мм — общее количество поступивших осадков;

$P$ , мм — общее количество поглощенной бассейном воды;

Практическое решение этого уравнения для вычисления прогноза стока, сводится к вычислению поглощения и потерь воды. Трудности в расчете потерь стока на инфильтрацию связаны с тем, что поглощение обусловлено многими причинами и складывается из нескольких составляющих, ни одна из которых не бывает заранее известна и точно измерена.

Поэтому суммарную величину поглощения и потерь принимают приближенно, по разности между количеством поступившей воды и стоком.

В лесной зоне потери талых вод определяются дефицитом влажности почвы перед началом таяния и задерживающей способностью бессточных углублений. Влияние глубины промерзания почвы влияет очень незначительно. Потери на испарение зависят от продолжительности таяния и поэтому косвенно связаны со снегозапасами, следовательно, в прогнозе могут самостоятельно не учитываться.

Из-за трудности определения отдельных составляющих уравнения водного баланса, обычно устанавливаются зависимости только от главных факторов.

Для прогноза слоя весеннего стока используются приближенные уравнения Е.Г.Попова, выражающие потери и сток через снегозапасы и весенние осадки:

$$y = X - P_0 \times \text{th} \frac{X}{P_0} \quad (4.6)$$

$$y = X - P_0 \times [1 - \exp\left(-\frac{X}{P_0}\right)] \quad (4.7)$$

$$y = X \times \exp\left(-\frac{P_0}{X}\right) \quad (4.8)$$

где:  $X$ , мм — сумма снегозапасов и осадков ( $X = S+x$ );

$P_0$  — параметр потерь воды — максимально возможный слой потерь на инфильтрацию вместе с поверхностным задержанием и испарением.

Для расчета по формулам (4.6), (4.7) и (4.8) необходимо выполнить расчет величины максимальных потерь:

$$P = P_0 \times \text{th} \left( \frac{X}{P_0} \right) \quad (4.9)$$

$$P = P_0 \times \left[ 1 - \exp \left( - \frac{X}{P_0} \right) \right] \quad (4.10)$$

$$P = X \times \left[ 1 - \exp \left( - \frac{P_0}{X} \right) \right] \quad (4.11)$$

Для применения этих формул необходимо определить параметр  $P_0$  и найти его зависимость от предвесеннего увлажнения почвы. Исходные данные получают путем обратного расчета по стоку  $y$  и запасам воды ( $S+x$ ).

Значения  $P_0$  снимаются с помощью номограмм (Приложение В рис. 1 и 2)

По уравнению 4.8 величина  $P_0$  вычисляется так:

$$P_0 = -X \times \ln \left( \frac{y}{X} \right) \quad (4.12)$$

В.Д.Комаров для рек центральной части степной и лесостепной зон ЕТР предложил зависимость вида

$$P_0 = B \times \exp(-b I_w) \quad (4.13)$$

где:  $B$  и  $b$  — параметры.

$I_w$  — увлажненность почв

Главными факторами весеннего стока являются снеготзапасы и стокоформирующие осадки, а косвенным является индекс увлажненности почвы—  $y = f[(S + x), I_w]$

Уравнение, связывающее объем стока и запасы воды в бассейне:

$$y = (S + x) - P_0 \times \text{th} \frac{(S + x)}{P_0} \quad (4.14)$$

Из этого следует, что суммарные потери рассчитываются по формуле:

$$P = P_0 \times \text{th} \frac{(S + x)}{P_0} \quad (4.15)$$

Параметр  $P_0$  определяется обратным расчетом по данным о стоке в период половодья и индексе увлажненности почв. Для расчета параметров  $B$  и  $b$ , уравнение для  $P_0$  приводится к линейному виду:

$$\lg P_0 = \lg B - b \times I_w \times \lg e \quad (4.16)$$

Далее строится график зависимости:  $\lg P_0 = f(I_w)$

По графику определяются параметры  $B$  и  $b$ , которые необходимы для расчета максимальных потерь талых вод ( $P_0$ ).

#### 4.5.1. Разработка методики прогноза стока за весеннее половодье.

Таблица 4.18 Исходные данные и вычисленное прогнозное значение максимально возможных потерь ( $\widehat{P}_0$ ) по формуле 4.16 для расчета стока за весеннее половодье.

Год	$y, \text{мм}$	$S, \text{мм}$	$x, \text{мм}$	$(S+x), \text{мм}$	$(S+\bar{x}), \text{мм}$	$I_w$	$P_0$	$\lg P_0$	$\widehat{P}_0$
1961	171	249	43	292	295	0,51	121	2,08	131,7
1962	180	241	34	275	287	1,38	95	1,98	67,4
1963	76	147	71	218	193	0,46	160	2,20	136,8
1964	108	143	22	165	189	1,34	58	1,76	69,5
1965	91	148	13	161	194	1,10	73	1,86	83,6
1966	192	232	35	267	278	0,84	75	1,88	102,1
1967	101	142	40	182	188	1,43	82	1,91	64,8
1968	182	182	32	214	228	0,82	31	1,49	103,7
1969	101	152	36	188	198	0,86	90	1,95	100,6
1970	121	160	51	211	206	1,20	93	1,97	77,4
1971	164	237	20	257	283	1,03	95	1,98	88,2
1972	96	149	56	205	195	0,96	114	2,06	93,1
1973	132	137	101	238	183	0,66	109	2,04	117,3
1974	102	201	20	221	247	0,55	121	2,08	127,7
1975	85	105	73	178	151	0,83	99	2,00	102,9
1976	128	193	86	279	239	0,60	138	2,14	122,8
1977	100	122	35	157	168	1,22	58	1,76	76,2
1978	57	142	36	178	188	0,90	130	2,11	97,5

Продолжение таблицы 4.18

Год	у,мм	S,мм	x,мм	(S+x),мм	(S+x̄),мм	I <sub>w</sub>	P <sub>0</sub>	lg P <sub>0</sub>	$\widehat{P}_0$
1979	118	127	59	186	173	1,33	70	1,85	70,0
1980	73	156	31	187	202	0,78	121	2,08	106,9
1981	237	285	56	341	331	0,75	100	2,00	109,4
1982	168	208	59	267	254	1,11	100	2,00	82,9
1983	101	147	45	192	193	1,08	95	1,98	84,9
1984	80	247	38	285	293	0,32	240	2,38	152,4
1985	62	118	27	145	164	1,25	90	1,95	74,5
1986	76	152	71	223	198	0,70	170	2,23	113,7
1987	87	116	28	144	162	1,40	58	1,76	66,3
1988	170	139	82	221	185	1,64	51	1,71	55,2
1989	153	211	37	248	257	1,41	98	1,99	65,8
1990	168	167	71	238	242	1,01	45	—	—
1991	132	192	78	270	267	0,64	145	—	—

Для расчета прогнозных значений максимально возможных потерь по формуле (4.13) строится зависимость:  $lg P_0 = f(I_w)$  (Приложение Г рис.1), по графику снимаются значения параметров  $B$  и  $b$ :

$$B=195$$

$$b=0,77$$

По формуле (4.10) рассчитывается  $y_{1,2}$ .

Погрешность прогноза ( $\Delta y_{1,2}$ ) по формуле:

$$\Delta y_{1,2} = y - y_{1,2} \quad (4.12)$$

$y$  — фактическое значение стока за весеннее половодье

$y_1$  — прогнозное значение стока весеннего половодья и фактическими осенними осадками.

$y_2$  — прогнозное значение сток весеннего половодья с, осредненными за многолетний период, осадками.

Таблица 4.19 Прогноз стока весеннего половодья при наличии фактических осадков.

Год	$th((S+x)/\widehat{P}_0)$	$y_1$	$\Delta y_1$	$(\Delta y_1)^2$
1961	0,98	163,4	7,58	57
1962	1,00	207,7	-27,66	765
1963	0,92	92,0	-16,03	257
1964	0,98	96,7	11,29	128
1965	0,96	80,9	10,11	102
1966	0,99	166,0	26,03	677
1967	0,99	117,6	-16,64	277
1968	0,97	113,6	68,41	4680
1969	0,95	92,1	8,89	79
1970	0,99	134,3	-13,27	176

Продолжение таблицы 4.19

Год	$th((S+x)/\widehat{P}_0)$	$y_1$	$\Delta y_1$	$(\Delta y_1)^2$
1971	0,99	169,3	-5,30	28
1972	0,98	114,1	-18,15	329
1973	0,97	124,7	7,31	53
1974	0,94	101,1	0,90	1
1975	0,94	81,4	3,63	13
1976	0,98	158,7	-30,74	945
1977	0,97	83,2	16,78	281
1978	0,95	85,4	-28,43	808
1979	0,99	116,7	1,34	2
1980	0,94	86,3	-13,34	178
1981	1,00	232,0	5,02	25
1982	1,00	184,3	-16,32	266
1983	0,98	108,9	-7,94	63
1984	0,95	139,7	-59,67	3560
1985	0,96	73,5	-11,50	132
1986	0,96	113,7	-37,68	1420

Продолжение таблицы 4.19

Год	$th((S+x)/\widehat{P}_0)$	$y_1$	$\Delta y_1$	$(\Delta y_1)^2$
1987	0,97	79,4	7,64	58
1988	1,00	165,9	4,12	17
1989	1,00	182,2	-29,23	854

Таблица № 4.20 Прогноз стока весеннего половодья при наличии, осредненных за многолетний период, осадков.

Год	$th((S+\bar{x})/\widehat{P}_0)$	$y_2$	$\Delta y_2$	$(\Delta y_2)^2$
1961	0,98	166,39	4,61	21
1962	1,00	219,75	-39,75	1580
1963	0,89	71,63	4,37	19
1964	0,99	120,22	-12,22	149
1965	0,98	112,11	-21,11	445
1966	0,99	176,86	15,14	229
1967	0,99	123,66	-22,66	513
1968	0,98	126,92	55,08	3034
1969	0,96	101,38	-0,38	0

Продолжение таблицы 4.20

Год	$th((S+\bar{x})/\widehat{P}_0)$	$y_2$	$\Delta y_2$	$(\Delta y_2)^2$
1970	0,99	129,46	-8,46	72
1971	1,00	195,17	-31,17	972
1972	0,97	104,77	-8,77	77
1973	0,92	75,71	56,29	3169
1974	0,96	124,65	-22,65	513
1975	0,90	58,56	26,44	699
1976	0,96	121,17	6,83	47
1977	0,98	93,72	6,28	39
1978	0,96	94,63	-37,63	1416
1979	0,99	104,07	13,93	194
1980	0,96	99,93	-26,93	725
1981	1,00	222,17	14,83	220
1982	1,00	171,52	-3,52	12
1983	0,98	109,99	-8,99	81
1984	0,96	147,07	-67,07	4499
1985	0,98	91,43	-29,43	866

Продолжение таблицы 4.20

Год	$th((S+\bar{x})/\widehat{P}_0)$	$y_2$	$\Delta y_2$	$(\Delta y_2)^2$
1986	0,94	91,14	-15,14	229
1987	0,99	96,75	-9,75	95
1988	1,00	130,08	39,92	1593
1989	1,00	191,32	-38,32	1468

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum(\Delta y_1)^2}{N-2}} = \sqrt{\frac{16235}{27}} = 24,5\text{мм} \quad (4.13)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum(\Delta y_2)^2}{N-2}} = \sqrt{\frac{22978}{27}} = 29,2\text{ мм} \quad (4.14)$$

$S_{1,2}$  — средние квадратические ошибки

$N$  — период наблюдений (29 лет).

Таблица 4.21 Расчет погрешности прогноза весеннего стока

Год	$\Delta = y - \bar{y}$	$(\Delta)^2$
1961	49,90	2489,67
1962	58,90	3468,80

Продолжение таблицы 4.21

Год	$\Delta = y - \bar{y}$	$(\Delta)^2$
1963	-45,10	2034,32
1964	-13,10	171,70
1965	-30,10	906,22
1966	70,90	5026,32
1967	-20,10	404,15
1968	60,90	3708,39
1969	-20,10	404,15
1970	-0,10	0,01
1971	42,90	1840,11
1972	-25,10	630,18
1973	10,90	118,73
1974	-19,10	364,94
1975	-36,10	1303,46
1976	6,90	47,56
1977	-21,10	445,36
1978	-64,10	4109,25

Продолжение таблицы 4.21

Год	$\Delta = y - \bar{y}$	$(\Delta)^2$
1979	-3,10	9,63
1980	-48,10	2313,94
1981	115,90	13432,01
1982	46,90	2199,29
1983	-20,10	404,15
1984	-41,10	1689,49
1985	-59,10	3493,22
1986	-45,10	2034,32
1987	-34,10	1163,05
1988	48,90	2390,87
1989	31,90	1017,39
1990	46,90	2199,29
1991	10,90	118,73

$\sigma$  — среднеквадратическое отклонение, которое рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\Delta)^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{57620,7}{28}} = 45,4 \text{ мм} \quad (4.15)$$

По данным расчетов  $S_1/\sigma = 0,54$  и  $S_2/\sigma = 0,64$ , оба эти результата входят в допустимый диапазон  $S/\sigma \leq 0,7$ .

В данном методе также 1990 и 1991 года являются независимым материалом для проверки оправдываемости прогноза.

Как и в статистическом методе, уравнение

$y = 0,86 \times (S+x) + 66,20 \times I_w - 131,50$  с отношением  $S_1/\sigma = 0,40$ , используется для проверки физико-статистического водно-балансового метода.

Таблица 4.22 Прогноз стока за весеннее половодье на независимом материале

Год	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\Delta y_1$	$\Delta y_2$
1990	140,1	143,1	28	25
1991	143,1	140,1	-11	-8

Для вычисления допустимой погрешности методики используется формула:

$$\delta_{\text{доп}} \leq 0,674 \times \sigma \quad (4.16)$$

$$\delta_{\text{доп}} \leq 31 \text{ мм}$$

$$P_1\% = \frac{26}{29} = 90\%$$

$$P_2\% = \frac{22}{29} = 76\%$$

Прогноз стока весеннего половодья, рассчитанный для периода с 1961 по 1991 год с помощью статистического метода, с помощью данных о фактических осадках оправдался на 90%, а с помощью, осредненных за многолетний период, осадков оправдался на 76%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были выполнены расчеты прогнозов элементов формирования весеннего половодья по двум методам — статистическому и физико-статистическому воднобалансовому. Также произведены проверки прогнозов на независимом материале. В итоге расчетов было выявлено, что на формирование стока в период весеннего половодья влияют, в основном, такие факторы, как общие снегозапасы в сумме с действительными осадками, выпавшими в период снеготаяния и степень увлажненности почв на территории. Зачастую, реальные осадки не известны и для расчетов используются осадки, осредненные за многолетний период. В таком случае оправдываемость прогнозов несколько снижается.

В расчетах прогноза максимальных расходов воды в период весеннего половодья предпочтительнее использовать общие снегозапасы в сумме с действительными осадками, выпавшими в период снеготаяния и количество дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$ , для таких расчетов также действительные осадки дают процентное значение оправдываемости прогнозов выше, чем осадки, осредненные за многолетний период.

На дату наступления максимальных расходов влияет только количество дней, в отклонении от среднего значения, от даты перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  до набора суммы температур  $+50^{\circ}\text{C}$ .

На продолжительность половодья влияют такие факторы, как общие снегозапасы в сумме с действительными осадками, выпавшими в период снеготаяния, количество дней, в отклонении от среднемноголетней даты начала половодья и от количества дней, в отклонении от среднего значения, за которое набирается суммарные температуры воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1 Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ [Текст] / Отв.ред. Е.Г.Попов, Гл.ред. Г.Г.Доброумова, Сост. Е.Г.Попов, Е.П.Чемеренко, А.И.Афанасьев, В.М.Мухин. — Л: Гидрометеиздат, 1989.— 108с.
2. Попов, Е.Г. Гидрологические прогнозы [Текст] / Е.Г.Попов. —Л: Гидрометеиздат, 1979. — 129 с.
3. Бефани, Н.Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам [Текст] / Н.Ф.Бефани, Г.П.Калинин. —Л: Гидрометеиздат, 1983. — 159 с.
4. Георгиевский, Ю.М. Гидрологические прогнозы [Текст] / Ю.М. Георгиевский, С.В.Шаночкин. — СПб: Изд. РГГМУ, 2007. — 177 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Графики изменения стокоформирующих характеристик

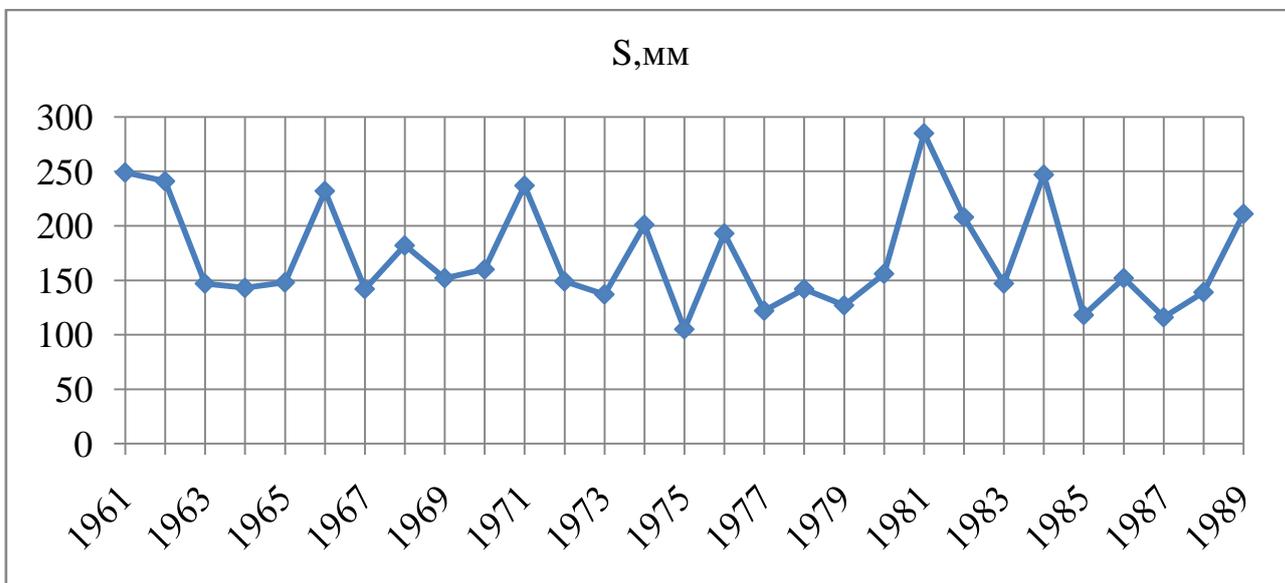


Рисунок А.1 — График изменения снегозапасов на территории бассейна реки Водлы

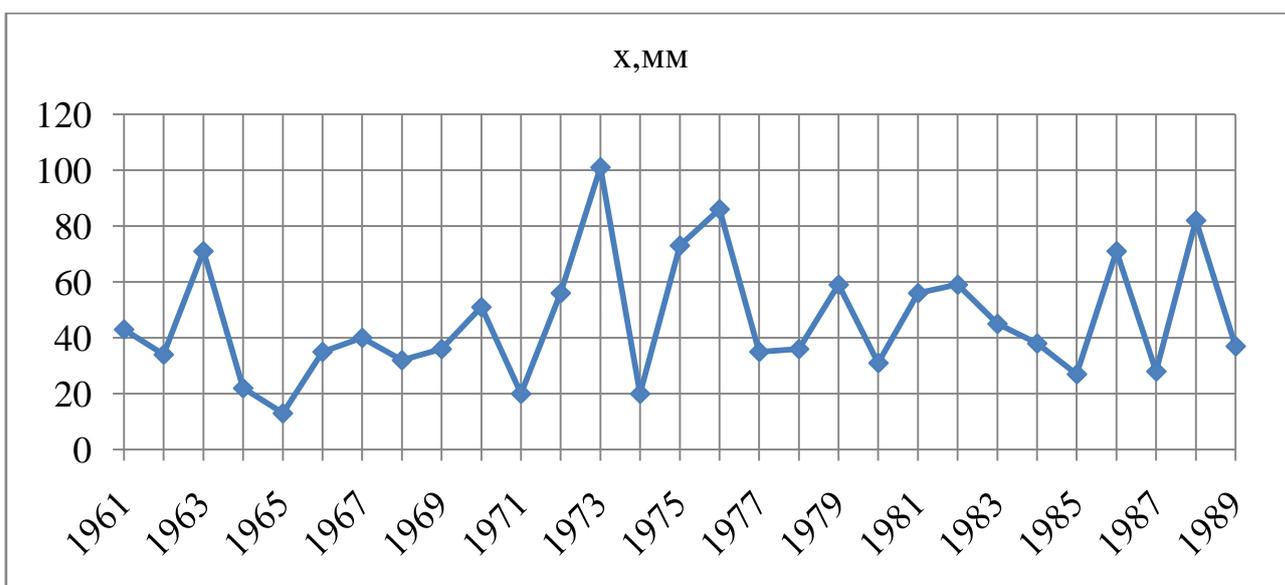


Рисунок А.2 — График изменения осадков на территории бассейна реки Водла

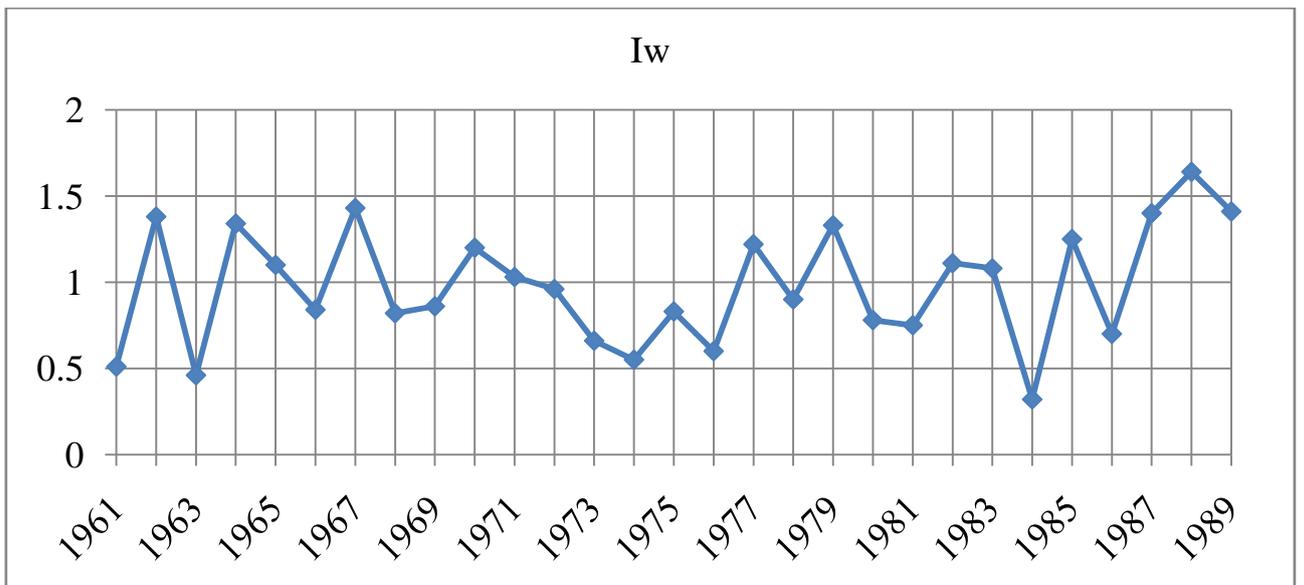


Рисунок А.3 — График изменения увлажненности почвы бассейна реки Водла

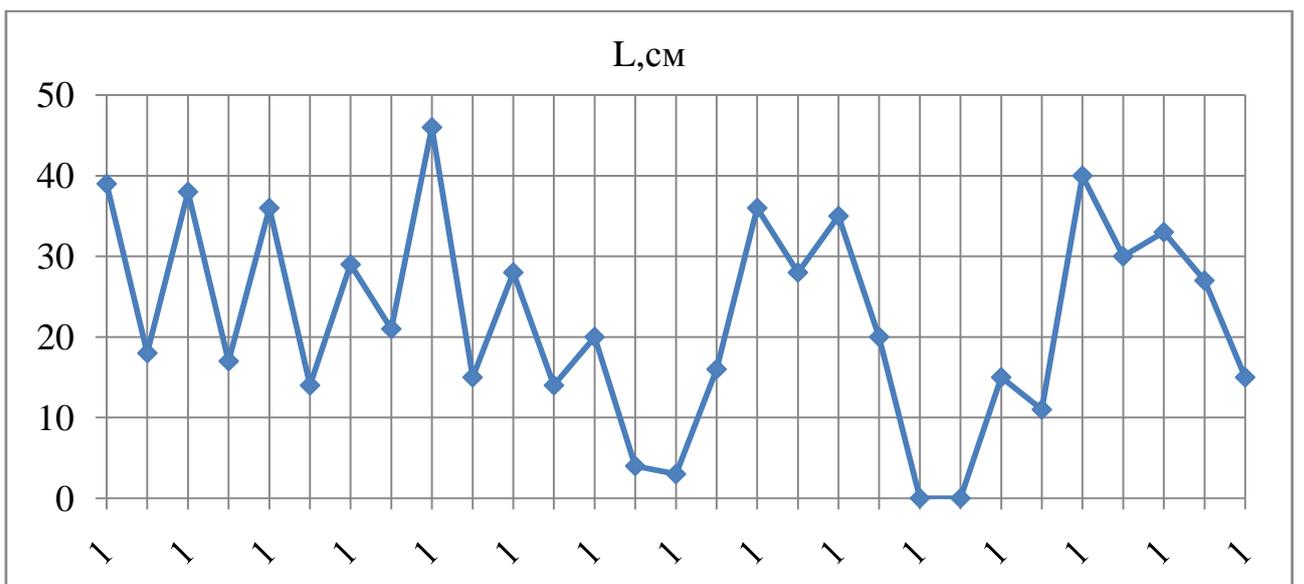


Рисунок А.4 — График изменения промерзания почв на территории бассейна реки Водла

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 — Таблица дат наступления начала половодья( $D_N$ ),перехода температур через  $0^{\circ}\text{C}$ ( $D_0$ ),перехода суммы температур воздуха через  $+10^{\circ}\text{C}$ ( $D_{10}$ ),  $+20^{\circ}\text{C}$  ( $D_{20}$ ), $+30^{\circ}\text{C}$  ( $D_{30}$ ), $+40^{\circ}\text{C}$  ( $D_{40}$ ), $+50^{\circ}\text{C}$  ( $D_{50}$ )

Годы	$D_N$	$D_0$	$D_{10}$	$D_{20}$	$D_{30}$	$D_{40}$	$D_{50}$
1961	27 апр.	15 апр.	19 апр.	26 апр.	03 май	05 май	06 май
1962	05 апр.	02 апр.	05 апр.	07 апр.	08 апр.	10 апр.	12 апр.
1963	19 апр.	08 апр.	12 апр.	15 апр.	17 апр.	19 апр.	20 апр.
1964	21 апр.	14 апр.	15 апр.	19 апр.	21 апр.	28 апр.	30 апр.
1965	21 апр.	14 апр.	17 апр.	19 апр.	20 апр.	21 апр.	23 апр.
1966	01 апр.	19 апр.	27 апр.	02 май	05 май	09 май	11 май
1967	06 апр.	27 мар.	29 мар.	04 апр.	06 апр.	08 апр.	10 апр.
1968	22 апр.	04 апр.	11 апр.	14 апр.	30 апр.	01 май	03 май
1969	21 апр.	09 апр.	15 апр.	18 апр.	19 апр.	22 апр.	23 апр.
1970	15 апр.	02 апр.	06 апр.	09 апр.	17 апр.	24 апр.	27 апр.
1971	01 май	02 май	06 май	07 май	09 апр.	11 май	12 май
1972	12 апр.	05 апр.	12 апр.	14 апр.	18 апр.	28 апр.	01 май
1973	07 апр.	29 мар.	02 апр.	07 апр.	12 апр.	17 апр.	19 апр.

Продолжение таблицы Б.1

Годы	$D_N$	$D_0$	$D_{10}$	$D_{20}$	$D_{30}$	$D_{40}$	$D_{50}$
1974	30 апр.	27 апр.	30 апр.	03 май	08 май	09 май	11 май
1975	04 апр.	25 мар.	03 апр.	08 апр.	10 апр.	12 апр.	15 апр.
1976	17 апр.	12 апр.	14 апр.	17 апр.	20 апр.	25 апр.	05 май
1977	20 апр.	08 апр.	16 апр.	19 апр.	24 апр.	25 апр.	26 апр.
1978	16 апр.	11 апр.	14 апр.	17 апр.	03 май	05 май	11 май
1979	24 апр.	25 апр.	27 апр.	29 апр.	01 май	02 май	03 май
1980	28 апр.	18 апр.	22 апр.	24 апр.	25 апр.	26 апр.	28 апр.
1981	30 апр.	28 апр.	03 май	06 май	07 май	09 май	10 май
1982	13 апр.	08 апр.	09 апр.	15 апр.	18 апр.	25 апр.	28 апр.
1983	30 мар.	26 мар.	28 мар.	31 мар.	03 апр.	04 апр.	06 апр.
1984	16 апр.	13 апр.	16 апр.	17 апр.	23 апр.	28 апр.	30 апр.
1985	27 апр.	15 апр.	23 апр.	28 апр.	30 апр.	01 май	02 май
1986	21 апр.	19 апр.	22 апр.	23 апр.	24 апр.	26 апр.	27 апр.
1987	29 апр.	24 апр.	27 апр.	29 апр.	30 апр.	01 май	02 май
1988	05 апр.	17 апр.	18 апр.	02 май	04 май	05 май	06 май
1989	09 апр.	10 апр.	13 апр.	16 апр.	18 апр.	20 апр.	22 апр.

Продолжение таблицы Б.1

Годы	$D_N$	$D_0$	$D_{10}$	$D_{20}$	$D_{30}$	$D_{40}$	$D_{50}$
1990	13 апр.	04 апр.	10 апр.	13 апр.	15 апр.	16 апр.	17 апр.
1991	06 апр.	02 апр.	05 апр.	07 апр.	09 апр.	10 апр.	12 апр.
Среднее	16 апр.	11 апр.	15 апр.	18 апр.	21 апр.	25 апр.	27 апр.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Номограммы для определения параметра  $P_0$ .

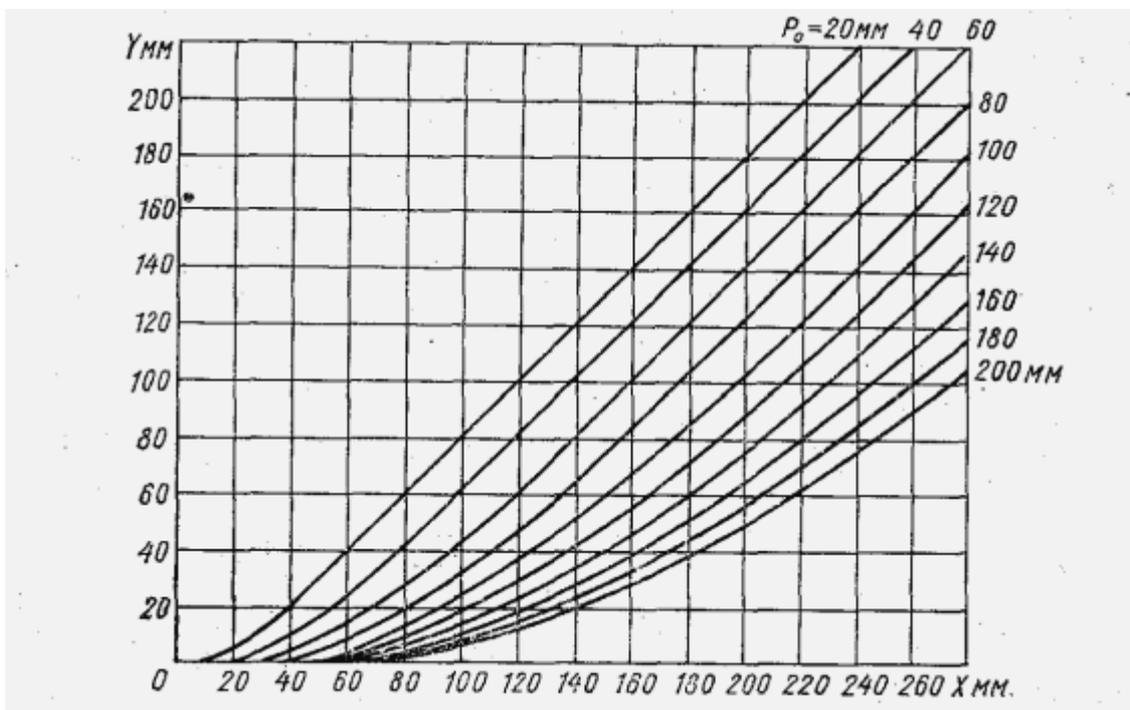


Рисунок Б.1 — Номограмма для определения параметра ( $P_0$ )

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

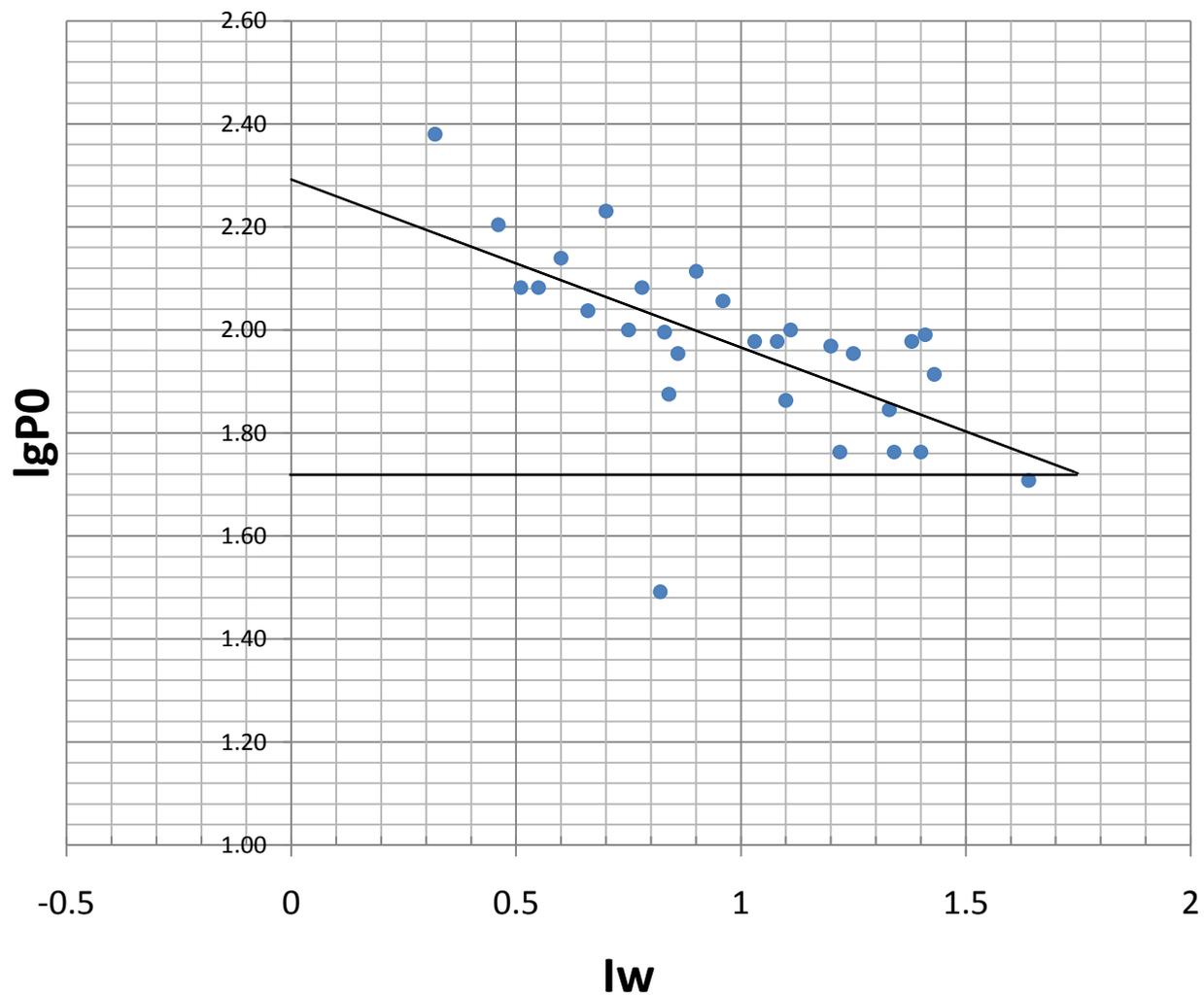


Рисунок В.1 —