



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: **Формирование снеготаяния и  
снеготаяние на Европейской территории России**

Исполнитель Тихомиров Игорь Викторович  
(фамилия, имя, отчество)

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

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«14» июня 2017г.

Санкт-Петербург  
2017

## Оглавление

	Оглавление	2
	Введение	
1	Физико-географическое описание Европейской территории России	
1.1	Рельеф	
1.1.1		
1.1.2		
1.1.3		
1.1.4		
1.2	Климат	
1.2.1		
1.2.2		
1.2.3		
1.2.4		
1.3	Растительность	
1.3.1		
1.3.2		
1.3.3		
1.3.4		
1.4.	Гидрографическая сеть	
1.4.1		
1.4.2		
1.4.3		
1.4.4		
2		


## Введение

Главным фактором, который определяет объем стока, максимальный расход и уровень половодья, является «интенсивность поступления талых вод на водосборы рек» [12]. Поэтому изучение процессов снегонакопления и снеготаяния является актуальной задачей.

Снежный покров является ключевым звеном экосистемы. Он относится к абиотической части природных комплексов. Снежный покров, являясь функцией климата, определяет многие показатели экосистем, изменяя их гидротермический режим. Поэтому между ним и остальными элементами экосистем имеется тесная взаимосвязь.

Снежный покров делится по критерию продолжительности залегания на: временный и устойчивый. Временный снежный покров характеризуется тем, что он может существовать от нескольких часов до нескольких дней, а устойчивый – более продолжительное время, от нескольких месяцев. Так же в распределении снежного покрова прослеживается зональность. В его формировании важную роль играют климат, рельеф и растительный покров.

На формирование и распределение снежных покровов оказывает существенное влияние его ветровой перенос. Так в ландшафтах, где преобладают высокие приземные скорости ветра, снежный покров залегает неравномерно.

Процесс снеготаяния, который вытекает из снегонакопления, начинается после установления в снежной толще нулевой температуры. Существует два типа снеготаяния - адвективный и радиационный.

Адвективный тип протекающий за счет тепла воздуха или конденсирующегося на поверхности снега водяного пара. Радиационный – связан с проникновением солнечной радиации в снежную толщу. Скорость снеготаяния определяется количеством образованной талой воды на единицу площади в единицу времени.

Начиная со второй половины 70-х годов XX в. на территории России происходят значимые изменения во внутригодовом распределении стока большинства рек. Создана гидрометеорологическая база ежедневных данных:

- приземной температуры воздуха;
- осадков;
- материалам маршрутных снегомерных съемок;
- материалам спутникового зондирования проекта GlobSnow.

Апробирована математическая модель расчета ежедневных запасов воды в снеге.

В данной работе будетоценена степень точности расчетов изменения снегозапасов с материалами маршрутных снегомерных съемок на Европейской территории России.

## 1 Физико-географическое описание Европейской территории России

Европейская территория России простирается от северного ледовитого океана до черного и каспийского морей, от западной государственной границы до Урала. Практически вся эта территория располагается на Русской равнине. Расстояния измеряются тысячами километров, а площадь около 4 млн. км<sup>2</sup>.

Для этой территории характерны постепенные смены ландшафтов на коротких расстояниях и большие различия между удаленными одна от другой территориями. Холодные тундры и солнечные степи, заболоченная тайга и безводные пустыни, еловая лесотундра и дубовая лесостепь – таково разнообразие ландшафтов Европейской части России.

Условно всю территорию Европейской части России можно разделить на несколько территориальных зон.

– Северно-Восточную: рассматриваемая территория, обычно называемая Северным краем, занимает северо-восточную окраину Европейской территории России. На севере она омывается Белым и Баренцевым морями. С запада на восток Северный край простирается от меридиана г. Каргополя до Уральских гор и включает в себя бассейны рек Онеги, Северной Двины, Мезени, Печоры и Кары, а также многих сотен малых рек, впадающих в Белое и Баренцево моря между устьями Онеги и Кары. Охватывая около миллиона квадратных километров площади. Крайние южная и северная точки расположены соответственно на 58 и 70° с. ш., а западная и восточная — на 38 и 65° в. д. Описываемая территория представляет собой огромную лесистую равнину, почти ничем не защищенную от западных и северо-западных ветров, с которыми связано поступление влажных воздушных масс. Для нее характерны избыточное увлажнение и относительно однообразные природные условия, коренным образом меняющиеся только вблизи полярного круга, где

тайга уступает место лесотундре и тундре, да у восточных ее пределов, где равнина сменяется возвышенностями западного Урала.

– Северо-Западную, рассматриваемая территория расположена на северо-западе Европейской части России между  $67^{\circ} 40'$ — $55^{\circ} 36'$  с. ш. (протяжение около 1200 км) и  $27^{\circ} 20'$ — $37^{\circ} 57'$  в. д. (протяжение около 420 км) и занимает площадь 396 тыс. км<sup>2</sup>, территория разделяется на две области: Карелию и Северо-Запад.

– Центральную, рассматриваемая территория расположена в пределах Русской равнины между  $61^{\circ} 13'$  и  $52^{\circ} 16'$  с. ш. и  $31^{\circ} 59'$  и  $48^{\circ} 00'$  в. д. Протяженность ее с севера на юг 1000 км, с востока на запад 900 км, занимаемая площадь 604 тыс. км<sup>2</sup>. Район охватывает бассейн р. Волги до г. Чебоксары, большая его часть расположена в лесной зоне и, только южная – в лесостепной. На севере граница проходит по водоразделу с бассейнами рек Онеги и Северной Двины, на западе с бассейнами рек Волхова, Западной Двины и Днепра, на востоке – с бассейном р. Вятки и правобережных притоков р. Волги и на юге – с бассейном р. Дона.

– Южную, рассматриваемая территория полностью охватывает бассейны рек Восточного Приазовья, Кубани, Восточного Маныча, Кумы и Терека. Расположена на перешейке между Черным и Азовским морями на западе и Каспийским на востоке. Границей территории, площадь которой около 242000 км<sup>2</sup>, являются южный и юго-восточный участки водораздела бассейна Дона, уступ правого склона долины Волги на участке от Волго-Донского судоходного канала до вершины дельты, линия, отделяющая с запада зону придельтовых ильменей Волги до устья Терека. В горной части граница выражена отчетливо и проходит по водоразделу бассейнов Терека и Сулака и водораздельному гребню Большого Кавказа.

## 1.1 Рельеф местности

Общие черты рельефа predeterminedены тектоникой, принадлежностью большей части ее территории к древней докембрийской платформе, с давнего времени не испытывающей процессов горообразования. Поэтому она лишена высоких горных хребтов и характеризуется небольшим колебанием высот. Средняя ее высота составляет 170 м.

Несмотря на общий равнинный характер поверхности, территория европейской части не однообразна по рельефу. Здесь есть возвышенности и низменности. Среднерусская, Валдайская, Приволжская, Подольская и другие возвышенности достигают до 400 м высоту. Причерноморская, Днепровская, Окско-Донская, Прикаспийская. Печерская и другие низменности не достигают и 100 м в высоту; а южная часть Прикаспийской низменности лежит ниже уровня мирового океана.

### 1.1.1 Северо-Восточная территория

Рельеф, несмотря на существенные различия в геологическом строении и истории развития отдельных частей территории, весьма однообразен и преимущественно является равнинным. Только в узкой полосе на восточной границе рельеф приобретает совершенно иной характер, свойственный горным странам, а с ним существенно меняются климат, гидрографический облик и гидрологический режим рек и озер.

В целом поверхность Северного края понижается с юга на север, что и определяет общее направление речного стока – к Белому и Баренцеву морям.

Абсолютные отметки низменностей 30-80 м, а вблизи морского побережья еще меньше. На возвышенных равнинах и плато отметки в среднем 100-160 м, местами до 200-250 м. Переходы от низменностей к возвышенным равнинам и плато выражены отчетливо и имеют характер уступов относи-

тельной высотой 50-100 м. Такие уступы наветренной экспозиции являются причиной местных аномалий осадков и речного стока с малых водосборов.

### 1.1.2 Северо-Западная территория

Карелия в основном характеризуется холмисто-равнинным рельефом с абсолютными отметками, не превышающими 200 м; на северо-западе и западе отдельные массивы достигают высоты 350-600 м.

Частая смена гряд и холмов различного рода понижениями придает поверхности Карелии чрезвычайно расчлененный характер, несмотря на сравнительно малые относительные высоты. Для южных районов республики характерна северо-западная ориентировка форм рельефа, для северных – преимущественно широтная, реже северо-восточная и северо-западная.

Территория Северо-Запада по характеру рельефа отчетливо разделяется на две части: северо-западную – низменную и восточную, юго-восточную и южную – возвышенную. Северо-западная часть расположена в основном в пределах Прибалтийской низменности, уходящей на западе на территорию Эстонии и Латвии, а на севере и северо-востоке – в Карелию.

### 1.1.3 Центральная территория

Поверхность в общем равнинной территории района представляет собой чередование равнин и возвышенностей с колебанием абсолютных высот в пределах 100-300 м. На формирование рельефа большое влияние оказало геологическое строение и тектонические особенности Русской платформы. В западной и юго-западной частях простираются Валдайская, Смоленско-Московская, среднерусская возвышенности, а в юго-восточной части – Приволжская возвышенность. В северных и восточных частях располагаются обширные низменности: Верхневолжская, Ветлужско-Унжинская, Мещерская, Окско-Донская.

#### 1.1.4 Южная территория

Территория Северного Кавказа расположена на перешейке между Черным и Азовским морями на западе и Каспийским на востоке. Границей территории, являются южный и юго-восточный участки водораздела бассейна Дона, уступ правого склона долины Волги на участке от Волго-Донского судоходного канала до вершины дельты, линия, отделяющая с запада зону придельтовых ильменей Волги до устья Терека. В горной части граница выражена отчетливо и проходит по водоразделу бассейнов Терека и Сулака и водораздельному гребню Большого Кавказа.

Наиболее крупными орографическими зонами, вытянутыми в западо-северо-западном восточно-юго-восточном направлении и совпадающими с основными структурными элементами Кавказа являются Предкавказская (Предкавказье) равнина на севере и горная система Большого Кавказа на юге.

Предкавказье в большей своей части представляет обширную слабо-расчлененную равнину, сложенную на поверхности четвертичными отложениями, направленную с запада-северо-запада на восток-юго-восток от Азовского до Каспийского моря в виде широкой 200-300 км полосы протяженностью 700-800 км.

Предкавказье делится на три крупных орографических элемента: Азово-Кубанскую равнину, Терско-Кумскую низменность и разделяющее их Ставропольское плато.

Большой Кавказ образован системой хребтов, вытянутых примерно параллельно друг другу. Центральное положение в этой системе занимает Водораздельный или Главный Кавказский хребет, который в общем совпадает с осевой зоной мегантиклинория Большого Кавказа, но местами несколько отклоняется к северу и югу. Линия Главного Кавказского хребта отделяет более широкий северный склон от более узкого южного склона Большого Кавказа.

Севернее, параллельно Главному Кавказскому хребту, протягивается другой высокий хребет, который на западе носит название Передового, а к востоку от Эльбруса – Бокового.

По основным орографическим критериям — ширине горной системы, расположению хребтов и абсолютным высотам — Большой Кавказ можно разделить на четыре сегмента, что полностью согласуется с особенностями геологического строения отдельных его участков.

В качестве двух главных частей выделяются Западный и Восточный Кавказ, имеющие почти равную протяженность. Граница между ними проходит в верховьях Терека через меридиан Крестового перевала. Каждая из этих частей расширяется до 160-180 км в своей средней части и резко сужается на северо-западных и юго-восточных окончаниях Большого Кавказа, а также в полосе, разделяющей Западный и Восточный Кавказ.

С запада и востока к этой полосе примыкают основные наиболее широкие и высокие отрезки Западного и Восточного Кавказа — так называемые Центральный Кавказ и Восточный Кавказ. От них отходят сильно суженные и относительно резко пониженные, ниже 2—2,5 км, к северо-западу от горы Фишт (2852 м) Северо-Западный, или Причерноморский Кавказ, а к юго-востоку от горы Бадаг (3632 м) – Юго-Восточный, или Прикаспийский Кавказ.

## 1.2 Климат

Климат Европейской части России определяется главным образом географическим положением и равнинным рельефом.

Эта часть территории России более чем какая-либо другая находится под воздействием Атлантического океана и его теплого Североатлантического течения. Воздух влажный, сравнительно теплый зимой и прохладный летом. Именно поэтому зима на ней не отличается суровостью, а лето – зноем.

Средняя температура января на северо-востоке близка к минус 20 °С, а на западе к минус 5 °С. Средняя температура июля на большей территории ниже 20 °С и лишь на юго-востоке поднимается до 25 °С.

Годовая сумма осадков на северо-западе достигает 600-700 мм, на северо-востоке – 500-600 мм, а на юге – 300-500 мм уменьшаясь в юго-восточном направлении, куда практически не проникает влажный западный воздух.

### 1.2.1 Северо-Восточная территория

Большая протяженность территории как в меридианном, так и в широтном направлениях и наряду с этим некоторая неоднородность рельефа создают значительное различие климата отдельных частей. Особенности климата определяются малым количеством солнечной радиации зимой, воздействием северных морей, особенно заметным в северной части, и интенсивным западным переносом воздушных масс.

Для Северного края характерна частая смена воздушных масс при прохождении циклонов со стороны Атлантики. С циклонами связана пасмурная с осадками погода, теплая и нередко с оттепелями зимой и прохладная летом. Циклоничность наиболее развита зимой и осенью, летом она ослабевает.

Влияние морей сильно сказывается на распределение температуры воздуха по территории. Зимой температура воздуха на побережье морей выше, чем в удалении от моря, а летом – наоборот. В глубь материка в направлении с запада на восток ослабевает влияние Атлантики.

Совокупность перечисленных факторов обуславливает короткое прохладное лето и длинную зиму с устойчивым снежным покровом, более мягкую в западных районах, более суровую в восточных.

Зима продолжается 5-6 месяцев на западе и 6-7 месяцев на востоке. Средняя температура воздуха за наиболее холодный месяц достигает минус 20 °С. Снежный покров устойчив. Осадков в зимнее время выпадает от 100

до 200 мм. Наибольшее количество осадков наблюдается в горах и предгорьях Урала.

Лето продолжается 3-4 месяца в юго-западных районах и 1-2 месяца в северо-восточных. Средняя температура за месяц не превышает 17 °С, заморозки возможны в любом из летних месяцев. Осадков за летние месяцы выпадает 400-500 мм.

Снежный покров.

Снежный порог появляется в конце сентября-начале октября. Первый снег обычно стает при оттепелях. Устойчивый снежный покров образуется в первой декаде ноября, в горах Урала – в первой декаде октября.

Максимальная высота снежного покрова колеблется от 10 до 85 см. В предгорьях и горах Урала наибольшая высота достигает 150 см.

Большая часть территории освобождается от снега в третьей декаде апреля, в предгорьях и горах Урала – во второй декаде мая.

Число дней со снежным покровом колеблется от 200-230 дней на побережье до 160-170 дней на юге территории.

Плотность изменяется от 0.22-0.25 в лесной зоне до 0.32-0.35 в тундре. Запас воды к началу снеготаяния в лесу 140-200 мм, на полях и болотах 120-180 мм. Наибольших значений плотность достигает в предгорьях и горах Урал до 400 мм.

### 1.2.2 Северо-Западная территория

Температура воздуха.

Средняя годовая температура воздуха на территории Северо-запада колеблется от 2°С в северо-восточной части до 4.5°С в южной. По территории Карелии она изменяется нуля на севере до трех градусов на юге.

Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Средняя месячная их температура в Карелии составляет 12-13 °С в северной

части и 10 °С в южной части. Средняя месячная температура Северо-Запада около 7 °С.

На территории Карелии понижение температуры до минус 40°С наблюдается 1-2 раза в 10 лет, в отдельные годы (1 раз в 100 лет) она может снизиться до минус 50 °С и более. Абсолютный минимум температуры воздуха на территории Ленинградской, Новгородской и Псковской областей достигает 52 °С.

Самым теплым месяцем на всей рассматриваемой территории является июль, со средней температурой воздуха 15 °С на севере Карелии и 21.1 °С на остальной части территории. Максимум температуры воздуха составляем 31 °С.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через нуль. На севере Карелии он осуществляется в конце апреля, на юге в середине апреля. В Псковской и Новгородской областях, начинается в конце марта начале апреля, в Ленинградской в конце первой декады апреля между датами перехода температуры через нуль и разрушением снежного покрова проходит не более 7 дней. Весна характеризуется частыми возвратами холодов, а иногда и кратковременными заморозками. К концу апреля освобождается от снежного покрова вся территория.

Осень наступает раньше всего на севере Карелии в конце августа, а в конце первой начале второй декады сентября на юге Карелии и в восточных районах Ленинградской и Новгородской областей. Через 7-10 дней осень наступает на остальной территории. Продолжительность осени около двух месяцев.

В Карелии зима хотя и не суровая, но длительная. На Северо-Западе зима начинается в конце октября в восточной части Ленинградской области и во второй декаде ноября – в южной части Псковской и Новгородской областей, а также в западной части Псковской и Ленинградской областей.

Осадки.

Территория Карелии и Северо-Запада относится к зоне избыточного увлажнения. Это объясняется сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется в течение всего сезона года.

На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность, ведущие к нарушению плавного характера изменения осадков. Даже небольшие возвышенности обуславливают перераспределение осадков: увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных склонах и в понижениях за возвышенностями. Заметно уменьшаются осадки вблизи крупных водоемов таких, как Белое море, Финский залив, Ладожское, Онежское, Ильмень, Псковское и Чудское озера. Все это обуславливает неравномерность распределения осадков по территории.

В среднем в год на большей части рассматриваемых районов выпадает 550-750 мм осадков. Годовое количество их в Карелии возрастает в направлении с севера на юг, а на территории Северо-Запада – в направлении с юго-запада на северо-восток.

Внутри года осадки распределяются неравномерно. Характер их распределения по территории в теплый и холодный период имеет много общего с годовым, однако в теплый период года влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно, нежели в холодный. Количество осадков за теплый период в Карелии (май-октябрь) колеблется от 350 до 400 мм, на Северо-Западе (апрель-октябрь) от 450 до 550 мм.

В теплый период увеличение осадков наблюдается на возвышенностях, расположенных в западной и восточной частях территории, а в пониженной центральной части Северо-Запада заметно выражено понижение их. Кроме того, понижение осадков отмечается на низменностях, прилегающих к Финскому заливу и Ладожскому озеру. На теплый период здесь приходится 55-60 % годового количества осадков.

Осадки холодного периода (ноябрь-март) составляют примерно 40-45 % годовых. За холодный период в Карелии выпадает 150-250 мм, а на Северо-Западе 150-200 мм осадков.

Максимум количества осадков на большей части территории приходится на июль-август и лишь иногда на сентябрь.

Снежный покров.

На севере Карелии первый снежный покров появляется в середине октября. В отдельные годы он может образоваться даже в третьей декаде сентября. По мере продвижения к югу появление снега задерживается до конца октября, а на побережье Белого моря, Онежского и Ладожского озер и в юго-западной части Северо-Запада – до начала ноября. В начале зимнего сезона высота снежного покрова невелика — менее 10 см. Максимальной мощности он достигает в третьей декаде февраля—второй декаде марта. Средняя из наибольших высот снежного покрова на полевых участках составляет от 35 до 55 см в Карелии и восточной части Ленинградской и Новгородской областей. На лесных полянах и в лесу под кронами деревьев средняя из наибольших высот снежного покрова колеблется от 60 см и более в Карелии и северо-восточной части Ленинградской области до 40 см и менее в юго-западной части территории

Запас воды в снеге распределяется по территории в соответствии с мощностью снежного покрова. Наибольших своих значений снеготаяния достигают к моменту снеготаяния. На большей части Карелии средний из наибольших запасов воды в снежном покрове в поле составляет 110-160 мм; в северо-восточной части Ленинградской области более 100 мм.

На юго-западе территории запас воды в снеге уменьшается и в бассейне рек Ловати, Полисти и Шелона не превышает 70 мм на полевых участках. Значительное увеличение запаса воды в снеге наблюдается в лесистой и пересеченной местности. Так, в Карелии в лесу и на лесных полянах средний из наибольших запасов воды в снеге составляет 140-200 мм и лишь в районах, прилегающих к крупным водоемам, эти величины уменьшаются до 90-110

мм. Заметно выражено такое увеличение также на Карельском перешейке и в восточной части Ленинградской и Новгородской областей. Наибольшие запасы воды в снеге отмечены здесь в районах метеостанций Лесогорский (159 мм) и Охоны (152 мм). Однако величина запаса воды в снеге в лесу зависит от характера леса, породы деревьев, сомкнутости крои и т. п. В глубине елового леса мощность снежного покрова и запас воды в нем может быть меньше, чем в поле из-за задержки снега кронами деревьев, с которых он испаряется, не достигая земли.

Снежный покров держится 170-180 дней на севере и 155-170 дней на юге Карелии. На Северо-Западе продолжительность устойчивого снежного покрова колеблется от 100-110 дней в юго-западной части – до 130-150 дней в северо-восточной его части.

Таяние снега в Карелии начинается на юге с середины марта, на остальной части территории – в третьей декаде марта и продолжается в среднем 30-35 дней. По мере перемещения к северу разрушение снежного покрова задерживается от конца апреля, а на самом крайнем севере до начала мая. На Северо-Западе разрушение устойчивого снежного покрова происходит в конце марта в юго-западной его части и во второй декаде апреля в северо-восточной. Окончательно снег исчезает в первой – третьей декаде апреля в отдельных районах Северо-Запада и в теплые малоснежные зимы в Карелии.

### 1.2.3 Центральная территория

Территория Верхневолжского района расположена в умеренно-континентальном климате с холодной зимой и умеренно-теплым летом. Континентальность увеличивается с северо-запада на юго-восток.

Температура воздуха.

Среднегодовая температура воздуха изменяется от 1.4 °С на северо-востоке до 4.8 °С на юге и юго-западе. Величина годовой амплитуды между среднемесячной температурой в самый холодный и самый теплый месяца

увеличивается с запада на восток от 27 до 32 °С. Наиболее холодным месяцем является январь среднемесячная температура колеблется от минус 9.0 до минус 14 °С. Самый теплый месяц июль среднемесячная температура повышается до 20 °С.

Начало весны определяется устойчивым переходом температуры через 0 °С на юго-западе 1-3 апреля, на северо-востоке 3-6 апреля. Продолжительность лета 55-60 дней на севере и северо-востоке и 90-100 дней на юге.

Понижение температуры осенью происходит медленнее, чем повышение ее весной. Переход через 0 °С происходит 22-25 октября на севере и 2-8 ноября на юге.

На протяжении всей зимы наблюдаются оттепели.

Осадки.

Территория верхневолжского района относится к территории влажного климата, и только крайний юго-восток находится в зоне недостаточного увлажнения.

Средняя многолетняя сумма осадков изменяется по территории от 800 до 600 мм и уменьшается с северо-запада на юго-восток.

Средняя сумма осадков за теплый период изменяется по территории от 500 до 350 мм. Наибольшее ее количество отмечается на северо-западе, на наименьшее – на юго-востоке.

Снежный покров.

На северо-востоке территории снежный покров появляется в среднем 22-25 октября, на юге и юго-западе – в конце первой декады ноября. Первый снежный покров чаще всего быстро стаивает во время оттепелей.

Устойчивый снежный покров образуется на северо-востоке 15-18 ноября, в центральной части 20-25 ноября и на юго-западе в первой декаде декабря.

Наибольшая высота снежного покрова наблюдается на северо-востоке - 55-60 см, в центральной части – 35-50 см и на юге 25-35 см.

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет от 160 дней на северо-востоке до 115 дней на юге.

Наибольшая плотность снежного покрова (в поле) изменяется по территории в небольших пределах от 0.55 до 0.29 г/м<sup>3</sup>. Запас воды в снежном покрове убывает в направлении с северо-востока на юго-запад от 150 до 70 мм.

#### 1.2.4 Южная территория

Важным фактором, влияющим на климат Северного Кавказа, является циркуляция атмосферы. Проникающий сюда арктический воздух сменяется морскими воздушными массами, холодные вторжения из Казахстана – выносами тропического воздуха из Средиземного моря и Ирана.

Весьма существенное влияние на общую циркуляцию оказывает система хребтов Большого Кавказа, пересекающая всю территорию почти в широтном направлении. Задержка холодных масс при подходе их к хребту, замедление движения фронтов. Близость двух больших незамерзающих морей, омывающих территорию Кавказа, также имеет большое значение.

Приходящие извне воздушные массы морского и арктического происхождения на территорию Северного Кавказа поступают обычно в значительной мере трансформированными и под влиянием подстилающей поверхности в довольно короткие сроки окончательно перерождаются в континентальные.

На рассматриваемой территории выделено несколько климатических областей:

– Прикаспийская климатическая область включает в пределах рассматриваемой территории восточные районы Астраханской области, Калмыцкую и северные районы Чеченской и Ингушской республик. Характерным для климата этой области является его континентальность: очень сухое и жаркое лето, значительные морозы зимой. Весна и осень непродолжительны. Безморозный период составляет 165 дней на севере и 140 дней на юге. В середине

октября начинаются первые заморозки и средняя суточная температура устойчиво переходит через 10 °С, в конце октября – начале ноября наблюдается устойчивый переход температуры через 5 °С, а во второй половине ноября – через 0 °С. Наиболее суровая зима наблюдается в северных районах, где средняя месячная температура самого холодного месяца января составляет от минус 8 до минус 11 °С. Почва промерзает здесь на глубину до 1 м. Снежный покров от 10 до 20 см, устойчив лишь в северных районах, в центральных и южных в течение зимы наблюдаются частые оттепели. С ноября по март наблюдаются метели, максимум их повторяемости приходится на февраль.

– Кубано-Приазовская климатическая область включает южные районы Ростовской области и равнинные районы Краснодарского края. Климат этой области значительно мягче. Безморозный период длительный. Заморозки начинаются лишь во второй половине октября, тогда же средняя суточная температура воздуха устойчиво переходит через 10 °С. В первой половине ноября происходит устойчивый переход ее через 5 °С, а через 0 °С только в первой половине декабря. И уже во второй половине февраля – начале марта средние суточные температуры становятся выше 0 °С. Средняя температура июля 22-23 °С, абсолютный максимум достигает – 40 °С. Количество осадков в теплый период составляет 300-360 мм. Максимум осадков (60-80 мм в месяц) приходится на июнь-июль.

– Предкавказская западная климатическая область включает зону предгорий. Климат отличается мягкой зимой в предгорьях, повышенной увлажненностью и большим количеством ясных безоблачных дней.

Заморозки в этой области начинаются в первой половине октября. Длительность безморозного периода 180-190 дней. В течение неустойчивой зимы снежный покров неоднократно устанавливается и сходит. Средняя температура января составляет минус 3 °С, понижаясь с высотой на каждые 100 м на 0.5 °С. Лето прохладное и влажное. В предгорьях среднемесячная температура июля составляет 18-23 °С, с подъемом в горы она понижается на 0.5 °С на

каждые 100 м. Осадки за теплый период составляют 400-600 мм, увлажненность достаточная, даже избыточная.

– Предкавказская восточная климатическая область. Эта область охватывает равнины и предгорья до высоты 1 км Ставропольского края, Кабардино-Балкарской и Северо-Осетинской республики. Климат области довольно разнообразен: жаркий, засушливый на равнине, в предгорьях он сменяется более прохладным и влажным. Заморозки в предгорьях начинаются в первой половине октября, на равнине – во второй. Зима неустойчивая, часто выпадают морозящие дожди, резко увеличена пасмурность. Средняя температура в январе в предгорьях составляет минус 4 °С. Весной заморозки прекращаются на равнине в середине, в предгорьях – во второй половине апреля. В это же время температура воздуха переходит через 10 °С. На равнинах лето сухое и жаркое с температурой воздуха в июле 23-24 °С, в предгорьях – несколько прохладнее. Средняя температура июля здесь 18-22 °С, с высотой на каждые 100 м подъема она понижается на 0.5 °С. На равнине, относящейся к полузасушливой зоне, количество осадков составляет 200-320 мм, причем почти все выпавшие осадки испаряются. Ставропольское плато и склоны предгорий Большого Кавказа до высоты 600 м относятся к зоне неустойчивого увлажнения. Сумма осадков здесь за теплый период составляет 300-600 мм, постепенно повышаясь с подъемом в горы.

– Горная область Кавказа выше 1 км. В горной области отчетливо прослеживается различие в климате западной и восточной частей, обусловленное в основном общим уменьшением количества выпадающих осадков с запада на восток. Климат Западного Кавказа влажный, относительно теплый, с большим количеством осадков, сумма которых на высоте 2 км составляет 2600 мм за год. При продвижении на восток климат становится более сухим, континентальным, годовое количество осадков в высокогорной зоне достигает 900-1000 мм; уменьшаясь в замкнутых горных долинах и котловинах между Главным и Скалистым хребтами до 300-400 мм. Максимум осадков приходится на лето. На Восточном Предкавказье на высоте 1.5-2.0 км продолжи-

тельность залегания снежного покрова составляет 3 месяца, на высоте 2-3 км возрастает от 6 до 7.5 месяцев. Снежный покров на Западном Кавказе удерживается до конца июня, а высота его к концу зимы составляет 4-5 м, а в горных долинах в отдельные зимы – 10-12 м; в высокогорной зоне Центрального Кавказа она не превышает 1 м. Температура января на западе составляет минус 7 °С, на востоке минус 9 °С. Лето в горах короткое, холодное, пасмурное и дождливое. Температура воздуха с высотой понижается на 0.5 °С на 100 м подъема, и на высоте 2-3 км в июле она менее 12 °С. Температура воздуха. Перед наступлением зимы обычно наблюдается более или менее длительный период предзимья, когда вследствие неустойчивых температур происходит неоднократная смена похолоданий с установлением снежного покрова и оттепелей с полным сходом снега. Продолжительность этого периода в некоторых районах от 25 до 40 дней. К югу, на равнинах Предкавказья, в предгорьях Кавказа этот период длится почти всю зиму, приобретая более устойчивый характер в январе. Зима на большей части равнинной территории начинается во второй декаде декабря и продолжается в течение 6-9 декад. Наиболее холодным на всей территории является январь. Наиболее низкие годовые температуры воздуха наблюдаются в высокогорной части территории. На остальной территории годовые температуры колеблются от 6 до 11 °С, преимущественно от 8 до 10 °С.

### 1.3 Растительность

Европейская часть России представляет собой образец территории с отчетливо выраженной широтной зональностью растительности. Здесь наблюдается сложный зональный спектр от арктических пустынь на севере до пустынь умеренного пояса на юге.

Безлесные тундры охватывают побережья Баренцева моря. Неширокая зона лесотундры образована березовым (на западе) и еловым (восточнее Тимана) криволесьем. На обширной лесной области пересекаются ареалы за-

падных (европейских) и восточных (сибирских) видов. В зависимости от состава преобладающих пород лесная область распадается на две зоны: тайгу и смешанные леса.

Тайга по преимуществу темнохвойная. Тайга занимает большую часть площади лесов. Зона смешанных лесов простирается на юг до линии Рязань - Казань. Южная граница лесной области совпадает с границей нейтрального баланса влаги. Чем дальше на юг, тем меньше лесов, тем просторнее становятся степи. Сочетание леса с травянистыми степями образует лесостепной тип растительности. Лесостепь растянута с севера на юг. Южные лесостепи вследствие возросшей континентальности климата переходят в степную зону.

### 1.3.1 Северо-Восточная территория

Растительный покров в основном представлен хвойными лесами, а к северу от полярного круга – лесотундровым редколесьем, мхами и лишайниками в сочетании с кустарничковыми и кустарниковыми зарослями. В горах Урала выше границы леса (300-350 м) распространена горно-альпийская растительность с пятнами альпийских лугов. Лес преимущественно еловый с примесью березы, сосны, а местами и осины.

В тундровой зоне болота в основном имеют реликтовый характер, многие из них подвергаются интенсивному разрушению. Обычно они неглубокие мохово-осоковые. Луговая растительность встречается как в лесной, так и в тундровой зоне. Распространена она в поймах рек. Представлена она многолетними травянистыми растениями, состоящими из верховых злаковых, мелкотравья и низкотравья.

### 1.3.2 Северо-Западная территория

Рассматриваемая территория расположена преимущественно в пределах таежной зоны. Карелию пересекают две широтные полосы этой зоны: се-

веро-таежная, или полоса воротнично-лишайниково-зеленомошных хвойных лесов, и среднетаежная, или полоса зеленомошных хвойных лесов.

Территория Северо-Запада расположена в основном в южной подзоне тайги; лишь небольшая северо-восточная часть ее находится в подзоне средней тайги, а крайняя юго-западная — в зоне смешанных лесов.

Состав лиственных лесов представлен главным образом мелколиственными породами (березой, осиной, ольхой). На юго-западе значительна примесь широколиственных пород (липы, клена, дуба, ясеня, вяза). По побережью Финского залива и по рекам Волхову и Луге встречаются небольшие дубравы. Всего под лесом находится половина площади Северо-Запада.

### 1.3.3 Центральная территория

Большая часть территории расположена в лесной зоне. В направлении с северо-запада на юго-восток типы лесной растительности меняются от хвойных до широколиственных.

Южная часть района относится к лесостепной зоне. Леса располагаются по балкам, чаще всего это дубняки и орешники с подлеском из степных видов кустарником.

Луговая растительность повсеместно распространена в лесной зоне небольшими участками. В лесостепной зоне луговая растительность сохранилась преимущественно на склонах долин, балок и лощин.

### 1.3.4 Южная территория

Основными типами растительности Кавказа являются: степная, полупустынная и пустынная, лесостепная, лесная, высокогорная. Низменные части Северного Кавказа заняты степной и полупустынной растительностью. Предгорья и склоны заняты лесостепной и лесной, высокогорье субальпийской и альпийской растительностью.

Степная растительность занимает низменную часть Западного и Центрального Предкавказья, являясь непосредственным продолжением степей Восточно-Европейской равнины. На востоке степи доходят до Ачикулака, сменяясь затем полупустынями и пустынями. В предгорьях степи переходят в лесостепь. Верхнюю границу степной зоны трудно установить, так как растительность сильно видоизменена деятельностью человека.

На равнинах Западного и Центрального Предкавказья распространены первичные природные степи, которые раньше занимали громадные пространства на Северном Кавказе, и в настоящее время почти полностью распаханы. Уцелели лишь отдельные участки, главным образом, на каменистых горных склонах.

Растительность полупустыни и пустыни. Природная зона полупустыни характерна для низменности восточной части Предкавказья, где она распространена на Терско-Кумской равнине, в северной части дельты Терека. Далее к востоку она тянется на узкой прибрежной полосе Прикаспийской низменности. Западная граница полупустыни на Северном Кавказе проходит по нижнему течению Кумы.

Растительность пустыни. Пустыня занимает наиболее засоленные почвы – солончаки. Растительность солянковой пустыни представлена большим разнообразием формаций галофитов: сарсазан, галостаксис; на бугристых солончаках – калидиум. Кроме них, для засоления почв характерны заросли сведы, петросимонии, гамантуса, солянки. На участках равнин они местами образуют однородные на больших площадях сообщества. Формация с солянкой древовидной, занимающая наибольшие площади, в экономическом отношении близка к полынным. Она приурочена к относительно малозасоленным, пригодным для сельскохозяйственного освоения почвам.

Лесостепная растительность. В пределах Северного Кавказа расположена лесостепная зона умеренного пояса, в пределах которой травянистые и лесные группировки являются одинаково зональными. Лесостепной ландшафт распространен в наиболее приподнятой юго-западной и центральной

частях Ставропольской возвышенности и занимает высоты от 100 до 300 м над уровнем моря. Южные склоны Терского хребта почти полностью обезлесены и лишь одиночные деревья и кустарники говорят об их былой лесистости. Южные склоны Сунженского хребта также мало лесисты. На северных склонах этих хребтов леса сохранились лучше. Здесь на серых лесных почвах произрастают леса из дуба скального с примесью ясеня, клена полевого, липы, граба, груши лесной, березы и других пород. Подлесок представлен боярышником, свидиной, кизилом, бересклетом, мушмулой, лещиной. Равнинная часть рельефа, как вдающаяся между склонами, так и продолжающаяся после окончания склонов в сторону степей, занята степной растительностью, произрастающей на черноземах, богатых гумусом и солями. В степях господствуют пырей и овсяница.

Лесная растительность приурочена к природной зоне, которая объединяет находящиеся в различных частях Кавказа низменности, покрытые лесами. Низменные участки, приуроченные, как правило, к бассейнам нижнего течения рек Кавказа (Кубани, Терека, Сунжи и др.), имеют некоторые общие особенности. В этой природной зоне преобладают наносные аллювиальные почвы. Большая часть растительности зоны в основном питается грунтовыми водами, близкое стояние которых обуславливается влиянием рек, протекающих в этих низменностях. Ведущей древесной породой для всех низинных лесов являются различные виды дуба.

Высокогорная растительность. Растительный покров высокогорий представлен растительностью субальпийского, альпийского и нивального поясов. Наиболее богат растительный покров субальпийского пояса. Субальпийское криволесье представлено березой, буком. Субальпийское редколесье состоит преимущественно из березы, рябины, клена высокогорного, иногда сосны, а на южных склонах бука, дуба, ели и пихты. Деревья редколесья искривленные, саблевидные, сильно ветвящиеся, высотой в среднем 3-4 м. Из подлесочных пород наиболее характерны рододендрон кавказский, смороди-

на, жимолость, калина. Травяной покров состоит из представителей субальпийского высокоотравья.

Для альпийской зоны Кавказа характерны в основном два типа растительности: а) альпийские ковры, где задернение почвы производится элементами разнотравья, а злаки и осоки играют второстепенную роль и б) плотнодерновые луга со злаковыми и основными компонентами.

Альпийские ковры создаются из карликовых высотой в несколько сантиметров, розеточных и шпалерных растений в виде плотно сомкнутого травостоя.

Плотнодерновые луга представлены в основном осокой грустной и осокой Мейннгаузена. Луга эти произрастают в разнообразных условиях рельефа, но встречаются большей частью на его выпуклых частях со среднемогучными слаботорфянистыми горно-луговыми почвами. Растения лугов этого типа отличаются большой густотой.

Нивальная зона занимает самые верхние части горных вершин, покрытых вечными снегами и ледниками. Эта зона занимает верховья рек Белой, Лабы, Зеленчука, Марухи, Баксана и др. По направлению к Каспийскому морю оледенение почти полностью исчезает. В настоящее время площадь зоны вследствие отступления ледников сокращается. Субстратом для развития растительности являются снежный покров, скальные обнажения, смесь валунов, обломков горных пород различной величины, гравия и песка.

#### 1.4 Гидрография речной сети

##### 1.4.1 Северо-восточная территория

Речная сеть густая и развита сравнительно равномерно, что связано с избыточным увлажнением и относительно однородными природными условиями на большей части территории.

Всего в пределах Северного края насчитывается 138500 рек. Общая их протяженность 521200 км. Преобладают малые реки и ручьи длиной до 10 км (93.6 % общего числа рек). Рек длиной более 100 км всего 280, а свыше 500 км – 14.

Питание реки получают преимущественно снеговое. Водный режим характеризуется высоким весеннем половодьем и низкой зимней меженью. В летне-осенней период нередко проходят дождевые паводки, особенно частые осенью, благодаря чему водность рек в летне-осенний период больше, чем в зимний.

#### 1.4.2 Северо-западная территория

Обширная территория Карелии и Северо-Запада имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, принадлежащую бассейнам Белого и Балтийского морен. Наличие большого количества рек, озер и болот обуславливается в первую очередь избыточно влажным климатом этого района.

Общее число рек здесь составляет 85654, а их суммарная длина достигает 221157 км. Причем характерным для гидрографической сети является большое количество мелких рек. Число рек и ручьев длиной менее 10 км составляет 97% общего числа, а длина их 70% общей длины. Рек. длиной более 50 км насчитывается всего 231, а суммарная длина их составляет 23417 км.

Гидрографическая сеть Карелии и Карельского перешейка представлена большей частью либо небольшими реками, либо короткими протоками, которые, соединяя между собой многочисленные озера, образуют отдельные озерно-речные системы.

Большая часть рек Северо-Запада берет начало на главном водоразделе между Балтийским и Каспийским морями, который проходит по Валдайской возвышенности и простирающейся на северо-восток от нее Вепсовской возвышенности. Второй водораздел тянется с юга на север по Вязовской, Бежанецкой и Судомской возвышенностям и далее по повышенным точкам релье-

ефа к западу от реки Волхова, примерно параллельно ему. Этот водораздел внутренний и разделяет бассейны рек, впадающих в Балтийское море. На нем находятся истоки рек Великой и Луги. Почти все реки по своему типу относятся к равнинным. Однако близость основного водораздела к главному базису эрозии рек Балтийскому морю и к отдельным базисам эрозии, которыми для многих рек являются озера: Ладожское, Онежское, Ильмень, Чудское, Псковское, придала рекам довольно значительные падения. Большинство из них, в особенности в верховье и в среднем течении, порожисты, а в местах размыва твердых пород имеют значительное сосредоточенное падение.

Главной водной артерией района является р. Нева с площадью водосбора 281000 км<sup>2</sup>, значительная часть которой расположена на территории Карелии. Собственный бассейн р. Невы 5000 км<sup>2</sup>, что составляет 1.8% общей площади водосбора.

Река Нева имеет обширную долину, которую называют Приневской впадиной или Приневской низменностью. Ширина ее достигает 3550 км. Пойма отсутствует. Берега реки довольно высокие, постепенно снижающиеся от истока к устью.

Русло сложено песчаными грунтами, только в районе Ивановских порогов река прорезает известняковый кряж. Средняя ширина реки 400 000 м, преобладающая глубина 8 11 ж, средняя скорость течения 0,9 1,2 м/сек.

Многие притоки р. Невы берут начало из озер и болот. Почти все они имеют пологие берега, широкие заливные поймы и отличаются небольшим падением.

Основными крупными реками в бассейне Невы являются реки Свирь и Волхов. Как и р. Нева они представляют собой реки-протоки, соединяющие крупные водоемы, образовавшиеся путем размыва перемычек, отделявших их ранее друг от друга.

#### 1.4.3 Центральная территория

Гидрографическая сеть принадлежит бассейну Каспийского моря. Главной артерией является река Волга.

Общие число рек 66500, а их суммарная длина составляет 26100 км. Основная доля речной сети приходится на самые малые реки (длиной менее 25 км), количество которых составляет 98 % от общего числа рек.

#### 1.4.4 Южная территория

Данная территория представлена реками, озерами, болотами, ледниками и ирригационной сетью. Наибольшее значение имеют реки.

Общее количество рек 10895, из них длиной более 25 км насчитывается 89, до 100 км – 17. Общая протяженность всех рек – 23289 км.

В предгорьях и низменных районах развита сеть ирригационных каналов, гидрологическая роль которых заключается в рассеивание стока, сформированного в горах.

## 2 Математический аппарат

### 2.1 Математическая модель снегозапасов

Чтобы определить дату начала снегонакопления на водосборе, необходимо назначить дату устойчивого перехода приземной температуры к отрицательным значениям по сумме температур в осенний период. Для этого, начиная с даты, когда температура становится ниже  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выполняется суммирование температур до даты, когда сумма принимает численные значения меньше 5-ти. Дата, соответствующая первому значению после максимума суммы температур и принимается за устойчивый переход к отрицательным значениям представлено на рисунке 2.1.

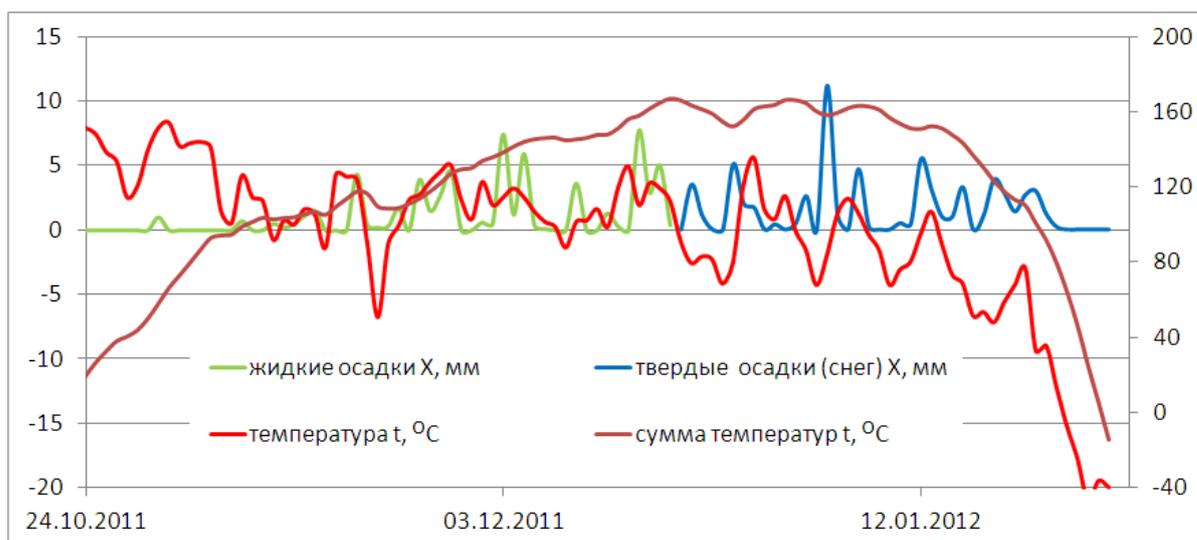


Рисунок 2.1 – Дата устойчивого перехода к отрицательным значениям

С даты устойчивого перехода температур к отрицательным значениям выполнялось суммирование твердых осадков (снега,  $X$ ) с коэффициентом потерь ( $kf$ ). В период оттепелей водоотдача учитывалась температурным коэффициентом ( $kt$ ) и положительными температурами ( $t+$ ).

Формула для расчета снеготпасов, как суммы выпавших твердых осадков (снега) с учетом водоотдачи в период оттепелей на каждый ( $i$ -ый) день:

$$S_i = \sum_{i=1}^m kf \cdot X_i - kt \cdot t_i^+ \quad (2.1)$$

Параметры модели  $kf$  и  $kt$  определялись при решении обратной задачи по известным запасам воды в снежном покрове (по данным снегомерных наблюдений), температуре и осадкам. Оптимизация выполнялась с помощью процедуры поиска решения *MSExcel* и решения системы линейных уравнений с переопределенной матрицей.

## 2.2 Поиск решения в *Excel*

Оптимизация значений таблицы *Excel*, удовлетворяющих определенным критериям, может быть сложным процессом. В *MicrosoftOffice* имеется возможность использования надстройки Решение проблем для численной оптимизации. Он является инструментом для решения задачи «что-если».

«Поиск решений» – надстройка *Excel*, которая помогает найти решение с помощью изменения значений целевых ячеек. Целью может быть минимизация, максимизация или достижение некоторого целевого значения. Проблема решается путем регулировки входных критериев или ограничений, определенных пользователем.

Чтобы применить сервис «Поиск решения», необходимо определить ряд требований, правил и ограничений, которые позволят надстройке найти правильный ответ.

С помощью этого инструмента, в данной работе, было произведено сравнение входных данных: расчетных и данных маршрутных снегосъежек. Результат расчетов позволил выстроить математическую модель, с помощью которой можно получить данные для прогнозов стаивания снега. Данные о снеготаянии из модели позволят прогнозировать возможные увеличения весеннего половодья и наводнения.

### 2.3 Переопределенная система линейных уравнений

Переопределенные системы совместных линейных уравнений часто встречаются в задачах аппроксимации экспериментальных данных при помощи различных эмпирических кривых. Решение переопределенных систем уравнений является весьма трудоемким и зачастую практически нереализуемо без помощи ЭВМ.

Решается система  $AX=B$ , где

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

а общее число уравнений ( $m$ ) в системе больше числа неизвестных ( $n$ ). Её решением считается скаляр ( $AX-B$ ) ( $AX-B$ ) принимает наименьшее значение. Решение сводится к решению системы:

$$[A^T A] \cdot [A B] \quad (2.3)$$

где:

$A^T$  – транспонированная матрица  $A$ . Для этого используется метод квадратных корней.

Решение системы  $AX=B$  методом квадратных корней реализуется по следующим формулам прямого хода:

$$a_{II}^I = \sqrt{a_{II}}, \quad a_{Ij}^{(I)} = \frac{a_{Ij}}{a_{II}^I} \quad (2.4)$$

$$f_I^{(I)} = \frac{f_I}{a_{II}^I}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2.5)$$

$$a_{ii}^{(I)} = \sqrt{a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} a_{ki}^{(I)2}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.6)$$

$$a_{ij}^{(I)} = \left( a_{jj} - \sum_{k=1}^{i-1} \frac{a_{ki}^{(I)} a_{kj}^{(I)}}{a_{ii}^{(I)}} \right), \quad j > i \quad (2.7)$$

$$f_I^{(I)} = \left( f_i - \sum_{k=1}^{i-1} f_k^{(I)} a_{kj}^{(I)} \right) / a_{ii}^{(I)}, \quad x_n = f_n^{(I)} / a_{nn}^{(I)} \quad (2.8)$$

Затем проводится обратный ход:

$$x_i = \left( f_i^{(I)} - \sum_{k=i+1}^n a_{ik}^{(I)} x_k \right) / a_{ii}^{(I)}, \quad i = n, n-1, \dots, 1 \quad (2.9)$$

## 2.4 Оценка расчетов по критерию $S/\sigma$

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

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

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

При оценке прогнозов предполагается, что ошибки каждого прогноза случайны, а их распределение подчиняется уравнению нормального распределения. Распределение погрешностей прогнозов имеет асимметричный характер. Всегда есть определенный предел их минимальных значений. Опытные данные показывают, что в пределах обеспеченности от 10 до 90 % распределение ошибок близко к нормальному. Это и позволяет при оценке эффективности методики и оправдываемости гидрологических прогнозов использовать уравнение нормального распределения:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (2.10)$$

где:

$p(x)$  – вероятность данного отклонения случайной переменной от ее нормы  $\bar{x}$ ;

$\Delta$  – заданное значение этого отклонения;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение величины  $x$ .

О вероятности того, что переменная заключена в диапазоне  $(x \pm t \sigma)$ , можно судить по представленным в табличном виде результатам интегриро-

вания уравнения, В таблице приводятся значения вероятности  $p(x \pm 1t_p \sigma)$ , отвечающие разным значениям  $t_p = \frac{\Delta}{\sigma}$ , где  $t_p$  – отклонения от нормы в долях среднеквадратического. Зная вероятность доверительного интервала, можно перейти к обеспеченности крайних в данном интервале значений ожидаемой переменной по выражению:

$$p[x \geq (\bar{x} + t_p \sigma)] = \frac{1 - p(\bar{x} \pm t_p \sigma)}{2} \quad (2.11)$$

Для верхнего предела,

$$p[x \geq (\bar{x} - t_p \sigma)] = \frac{1 + p(\bar{x} \pm t_p \sigma)}{2} \quad (2.12)$$

Для нижнего предела.

По этим выражениям можно установить обеспеченность различных значений предсказываемой переменной.

В пределах  $\pm 0,674\sigma$  заключена половина площади нормированной кривой нормального распределения. Отклонение от нормы, равное  $\pm 0,674\sigma$ , называют вероятным отклонением, которое принимается за допустимую погрешность прогнозов  $\sigma_{\text{доп}}$ . В краткосрочных прогнозах расходов и уровней воды в случае, если предшествующая водность в какой-то степени может определять прогнозируемую характеристику, величина  $\sigma_{\text{доп}}$  вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\text{доп}} = \pm 0,674\sigma_{\Delta} \quad (2.13)$$

где:

$\sigma_{\Delta}$  – среднеквадратическое отклонение изменения прогнозируемой величины за период заблаговременности прогноза от среднего значения этого изменения:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.14)$$

где:

$\Delta_i$ , – изменение прогнозируемой величины за период заблаговременности прогноза;

$\bar{\Delta}$  – среднее значение этих изменений;

$n$ – число изменений.

В долгосрочных прогнозах за допустимую погрешность принимается вероятное отклонение:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674\sigma \quad (2.15)$$

здесь  $\sigma$ – среднеквадратическое отклонение прогнозируемого значения элемента от среднего:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (2.16)$$

где:

$y_i$ – значение прогнозируемой величины;

$y$  – ее среднее значение;

$n$ – число членов ряда.

При вычислении допустимой погрешности прогнозов в зависимости от даты выпуска прогноза используют формулы (2.13) или (2.15). Если прогноз

выпускается до начала половодья, паводка, вегетационного периода, допустимую погрешность за указанные периоды определяют по формуле (2.15). Если же прогноз составляется после начала периода, то используют формулу (2.13).

Допустимая погрешность прогноза максимальных расходов дождевых паводков, минимальных уровней воды периода навигации, зимней межени, осеннего ледообразования определяется по формуле (2.13). По формуле (2.15) вычисляется допустимая погрешность прогноза характерных уровней весенних ледовых явлений, составляемого до начала весенней прибыви воды, по формуле (2.13) – во время развития половодья.

За допустимую погрешность прогноза средних, минимальных и максимальных уровней (расходов) воды на календарные периоды принимается меньшее из значений  $-0,674\sigma$  или  $0,674\sigma$ . Изменение уровней (расходов) воды определяется как разность между начальным средним уровнем (расходом) воды и характерным уровнем (расходом) воды периода, на который дается прогноз. Начальный расход определяется в зависимости от даты выпуска прогноза. Если прогноз составляется в первый день расчетного календарного периода, то за начальный расход принимается средний расход за предшествующую декаду. В случае, когда прогноз составляется в середине или конце какой-либо из предшествующих декад, за начальный расход принимается средний расход за ту же декаду. Например, прогноз среднего (максимального или минимального) расхода на первую декаду августа или на август составляется 16 июля. Тогда за начальный расход принимается средний расход за вторую декаду июля. Если же прогноз составляется в начале какой-либо из декад, то за начальный расход принимается средний расход за предшествующую декаду.

Заблаговременность краткосрочных прогнозов времени наступления гидрологических явлений (водных и ледовых) определяется периодом от даты выпуска прогноза до указанной в прогнозе даты.

Заблаговременность долгосрочных прогнозов водного и ледового режимов определяется по разности между датами выпуска прогноза и окончания или наступления прогнозируемого явления.

Средняя заблаговременность прогнозов, составляемых по конкретной методике, равна средней заблаговременности всех проверочных прогнозов.

Допустимая погрешность долгосрочных прогнозов времени наступления ледовых явлений в пункте определяется следующим образом:

– если прогноз составляется раньше даты наступления прогнозируемого явления, то допустимая погрешность определяется по выражению (2.15), при этом используется среднеквадратическое отклонение дат наступления явления от среднего многолетнего;

– если прогноз выпускается позже самой ранней даты наступления предсказываемого явления, то допустимая погрешность принимается равной вероятному отклонению от нормы с учетом сокращенной амплитуды  $A$ , которая определяется по разности между самой поздней датой наступления прогнозируемого явления и датой выпуска прогноза.

Таким образом, допустимая погрешность:

$$\delta_{\text{доп}} = f\left(\sigma; \frac{A_c}{A_M}\right), \quad (2.17)$$

где:

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение от нормы,

$\frac{A_c}{A_M}$  – отношение сокращенной амплитуды к многолетней.

Допустимая погрешность берется из таблицы 1 Наставления [39].

Прогнозы времени наступления ледовых явлений выпускаются для пункта и участка реки, озера или водохранилища. В последнем случае прогнозируется отдельно дата начала явления и дата его распространения на весь участок.

Допустимые погрешности краткосрочных прогнозов дат наступления явлений назначаются в зависимости от заблаговременности прогнозов, как в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Допустимые погрешности краткосрочных прогнозов

Заблаговременность, сут.	1-3	4-5	6-9	10-13	14-15
Допустимая погрешность, сут.	1	2	3	4	5

В краткосрочных прогнозах толщины ледяного покрова даются сведения об ее изменении за период заблаговременности прогноза. Допустимые погрешности прогноза толщины льда определяются в зависимости от фактического изменения ее значения за период от даты выпуска прогноза до даты, на которую составляется прогноз, как в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Допустимые погрешности прогноза толщины льда

Фактическое изменение толщины льда, см	10	11-15	16-20	21-25	26-30	>30
Допустимая погрешность, см	±3	±4	±5	±6	±8	±10

Прогноз считается оправдавшимся, если абсолютная величина его погрешности меньше или равна допустимой.

Постоянное значение допустимой погрешности приводит к тому, что оправдавшиеся прогнозы имеют разную точность. При малых значениях предсказываемого стока (расхода, объема и т.п.) допустимая погрешность может даже превышать это значение.

Мерой точности методики прогнозирования является среднеквадратическая погрешность проверочных прогнозов, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n - m}} \quad (2.18)$$

где:

$y_i$  и  $y'_i$  – соответственно фактическое и предсказанное значения;

$n$  – число членов ряда;

$m$  – число степеней свободы, равное числу постоянных в прогностическом уравнении.

Исходя из того, что распределение погрешностей прогнозов и распределение отклонений гидрологических величин от нормы близки к нормальному, за критерий применимости и качества методики принято отношение  $S/\sigma_{\Delta}$  и  $S/\sigma$ . Эти отношения являются показателями эффективности и точности прогнозирования, ибо показывают выигрыш в распределении погрешностей, который дает метод прогнозирования по сравнению с распределением погрешностей при принятии ожидаемой величины по ее норме или норме изменения за период заблаговременности прогноза.

Методика прогнозирования считается приемлемой, если обеспеченность допустимой погрешности проверочных прогнозов не менее чем на 10 % превышает обеспеченность вероятного отклонения от нормы. Учитывая, что погрешности определения  $S$  и  $\sigma$  зависят также и от числа членов ряда  $n$ , установлены следующие условия применимости методик прогнозирования:

При $n \leq 15$	$S/\sigma \leq 0.70$
При $15 < n < 25$	$S/\sigma \leq 0.75$
При $n \geq 25$	$S/\sigma \leq 0.80$

Точность связи между предсказываемым явлением и его факторами характеризует также корреляционное отношение:

$$\rho = \sqrt{1 - \left(\frac{S}{\sigma}\right)^2} \quad (2.19)$$

Для линейных зависимостей корреляционное отношение численно совпадает с коэффициентом корреляции  $r = \rho$ . Уменьшение соотношения  $S/\sigma$  или возрастание значения  $\rho$  свидетельствует о повышении точности прогнозирования.

Качество методики устанавливается по величине  $S/\sigma$  или  $\rho$ , как в таблице 2.3

Таблица 2.3– Показатели качества методики при  $n \geq 25$

Категория качества методики	$S/\sigma$	$\rho$	Обеспеченность допустимой погрешности прогноза, %
Хорошая	$\leq 0.5$	$\geq 0.87$	$\geq 82$
Удовлетворительная	0.51-0.80	0.86-0.60	81-60

Примечание. При числе членов ряда  $n < 15$  табличные значения  $S/\sigma$  уменьшаются на 0.1, а при  $15 < n < 25$  на 0.05.

Оценка применимости и качеств методик прогнозов времени наступления гидрологических явлений производится в зависимости от даты выпуска прогноза:

– при выпуске прогнозов раньше самой ранней даты наступления явления – по отношению  $S/\sigma$ ;

– при выпуске прогнозов на дату в пределах многолетней амплитуды наступления явления – по соотношению  $S/\sigma_c$ , где  $\sigma_c$  – среднеквадратическое

отклонение в пределах сокращенной амплитуды (от даты составления прогноза до самой поздней даты явления);

– методики, не имеющие фиксированной даты составления прогноза, оцениваются по среднеквадратической погрешности проверочных прогнозов в зависимости от допустимой погрешности данного метода, таблица 2.4

Таблица 2.4– Показатели качества методики прогноза дат

Оценка методики	Допустимая погрешность, сут.						
	1	2	3	4	5	6	7
Хорошая при $S \leq$	0.7	1.5	2.2	3.0	3.7	4.5	5.2
Удовлетворительная при $S \leq$	1.2	2.4	3.6	4.8	5.9	7.1	8.2

Оценка методик краткосрочных гидрологических прогнозов, использующих прогнозы элементов погоды (температура воздуха, скорость ветра и др.), производится по фактическим значениям метеорологических величин. Методика считается приемлемой для выпуска прогнозов, если погрешность проверочных прогнозов в 85 % случаев из их общего числа не превышает допустимую. Допустимая погрешность назначается исходя из средней заблаговременности прогнозов времени наступления осенних (4 сут.) и весенних (6 сут.) явлений.

Оценка точности может не совпадать с оценкой тесноты связи через коэффициент корреляции. Например, связь между соответственными уровнями двух постов реки может характеризоваться высоким коэффициентом корреляции, а отношение  $S/\sigma_{\Delta}$  близко к единице.

В этом случае методика не дает выигрыш, а по сравнению с прогнозом по среднему изменению уровня на нижнем посту за период заблаговременности прогноза.

Высокое значение коэффициента корреляции может иметь место при наличии систематических ошибок в сторону завышения или занижения.

Анализ ошибок прогнозирования может быть проведен путем построения кривых обеспеченности погрешностей прогнозов и отклонений предсказываемой величины от нормы. На основе сопоставления этих кривых можно установить преимущество, которое дают прогнозы по методике в сравнении с прогнозом по норме.

### 3 Расчет ежедневных снегозапасов

#### 3.1 Определение устойчивого перехода температуры через 0 °С к отрицательным значениям

Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через различные градации (минус 5°С, 0°С, 5°С, 10°С и т.п.) относятся к характеристикам погоды, указывающим на климатические особенности конкретного года.

Важной характеристикой зимнего периода является число дней с температурой, равной или ниже заданного предела. Эта информация является косвенной характеристикой продолжительности периодов с определенными температурами воздуха. Число дней за время от даты перехода температуры через 0°С осенью до даты устойчивого перехода температуры через 0°С весной определяют продолжительность холодного периода года.

«Существуют различные способы оценки даты устойчивого перехода температуры через 0°С.» [9].

Дату перехода температуры через определенные пределы устанавливают по результатам ежедневных или средних декадных метеорологических наблюдений. Устойчивой датой перехода температуры через определённые пределы считается дата, после которой не наблюдается возврата температуры ниже искомой.

За дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0°С осенью принимается первый день периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений среднесуточной температуры воздуха через данный уровень.

При графическом способе определения даты перехода температуры через определенные пределы строится график хода средней декадной температуры за анализируемый период. При этом принимается во внимание, что

уровень декадной температуры отражает значение этого показателя, приходящегося на середину декады: 5, 15, и 25 числа месяца.

Затем на вертикальной оси находят значение температуры, переход через которую необходимо определить, в нашем случае  $0^{\circ}\text{C}$ , и от нее проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией хода средней декадной температуры. Проекция точки пересечения на горизонтальную ось и дает возможность установить искомую дату. Например, дата устойчивого перехода температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  градусов произошла в третьей декаде ноября (рисунок 3.1).

### 3.2. Результаты моделирования накопления снеготпасов

По результатам моделирования минимальное отношение  $S/\sigma$ , для спутниковых данных, составило 0.50, для расчетных – 0.25. Максимальное отношение  $S/\sigma$  для спутниковых данных – 2.09, для расчетных – 1.15.

В результате расчетов получили следующие значения коэффициентов потерь ( $kf$ ) и температур ( $kt$ ):

минимальное значение  $kf=0.25$ ;  $kt=0.02$ ;

максимальное значение  $kf=1.43$ ;  $kt=32.3$ .

Частота повторений для расчетных данных представлена в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Частота повторений для расчетных данных

S/ $\sigma$ для расчета	0.16	0.25	0.43	0.61	0.79	0.97	1.15	1.24
Частота повторений	0	1	14	2	5	2	4	0

Данные таблиц совмещены на рисунке 3.2.

Таблица 3.1 – Результаты моделирования накопления снегозапасов

№ п/п	№ станции	Название станции	Период	число промеров	$S/\sigma$ для расчета	$I\Delta SI$ (%)	параметры		изменения в %	
							$kf$	$kt$	$\Delta kf$	$\Delta kt$
1	26069_лес	Белогорка	1	117	0.63	41	0.59	0.88		
			2	178	0.64	43	0.64	1.70	9	92
			3	151	0.48	57	0.71	2.69	11	59
2	22408_поле	Калевала	1	171	0.57	39	0.84	1.32		
			2	318	0.33	20	1.06	3.32	27	152
			3	262	0.45	23	1.04	3.26	-2	-2
3	22408_лес	Калевала	1	146	0.47	26	1.21	2.00		
			2	263	0.39	18	1.29	2.50	7	25
			3	225	0.43	21	1.10	3.12	-15	25
4	22471_поле	Мезень	1	284	0.86	42	0.64	0.00		
			2	284	0.71	25	0.75	1.56	18	
			3	186	0.62	29	0.84	2.02	12	29

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	№ станции	Название станции	Период	число промеров	$S/\sigma$ для расчета	$I\Delta SI$ (%)	параметры		изменения в %	
							$kf$	$kt$	$\Delta kf$	$\Delta kt$
5	22583_лес	Койнас	1	121	0.30	18	0.86	2.23		
			2	256	0.40	16	0.86	1.61	0	-28
			3	208	0.39	21	0.87	1.78	1	11
6	22602_лес	Реболы	1	148	0.71	34	0.85	1.43		
			2	255	0.67	21	1.03	2.01	21	40
			3	233	0.65	27	1.05	2.77	2	38
7	22641_поле	Онега	1	144	0.47	25	0.96	1.44		
			2	236	1.99	64	0.99	13.33	3	823
			3	194	1.64	52	0.99	13.33	0	0
8	22676_поле	Сура	1	182	0.41	27.09	0.77	2.20		
			2	281	0.44	19.93	0.83	2.30	7.60	4.22
			3	209	0.42	22.25	0.82	1.95	-0.59	-14.96

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	№ станции	Название станции	Период	число промеров	$S/\sigma$ для расчета	$I\Delta SI$ (%)	параметры		изменения в %	
							$k_f$	$k_t$	$\Delta k_f$	$\Delta k_t$
9	22768_лес	Шенкурск	1	105	1.23	60.33	0.66	0.00		
			2	217	0.35	15.65	0.89	1.67	34.73	
			3	176	0.47	21.78	0.80	1.36	-9.35	-19.00
10	22768_поле	Шенкурск	1	183	1.22	75.50	0.63	0.00		
			2	269	0.42	20.20	1.00	2.64	59.13	
			3	189	0.42	31.62	0.94	2.55	-5.97	-3.20
11	22802_поле	Сортавала	1	157	0.55	63.96	0.99	3.08		
			2	278	0.38	30.39	1.18	3.74	18.22	21.15
			3	278	0.38	30.39	1.18	3.74	0.00	0.00
12	22820_лес	Петрозаводск	1	126	0.77	24.89	0.83	1.39		
			2	226	0.73	29.92	0.63	1.32	-24.00	-5.17
			3	191	0.63	34.11	0.63	1.38	-0.76	5.14

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	№ станции	Название станции	Период	число промеров	$S/\sigma$ для расчета	$I\Delta SI$ (%)	параметры		изменения в %	
							$kf$	$kt$	$\Delta kf$	$\Delta kt$
13	22845_лес	Каргополь	1	108			1.05	2.90		
			2	230	0.42	15.25	0.88	1.52	-16.55	-47.60
			3	182	0.41	17.08	0.70	1.29	-19.73	-15.27
14	22845_поле	Каргополь	1	189	0.66	35.01	0.74	2.18		
			2	265	0.34	15.77	0.91	3.49	23.31	59.92
			3	197	0.39	20.11	0.84	2.03	-7.91	-41.83
15	22887_лес	Котлас	1	76	1.00	100.00	0.80	1.36		
			2	130	0.56	21.03	0.66	0.84	-17.47	-37.92
			3	111	0.42	23.25	0.71	1.31	7.49	56.04
16	22887_поле	Котлас	1	76	1.00	100.00	0.80	1.36		
			2				0.80	1.36	0.00	0.00
			3				0.80	1.36	0.00	0.00

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	№ станции	Название станции	Период	число промеров	$S/\sigma$ для расчета	$I\Delta SI$ (%)	параметры		изменения в %	
							$k_f$	$k_t$	$\Delta k_f$	$\Delta k_t$
17	22892_лес	Выборг	1	136	0.61	33.99	0.64	1.39		
			2	216	0.69	34.65	0.83	2.17	29.26	56.23
			3	169	0.37	22.46	0.76	2.29	-8.55	5.47
18	22981_поле	Великий Устюг	1	165	0.71	33.80	0.54	0.60		
			2	253	0.39	18.95	0.93	2.83	71.12	373.14
			3	195	0.38	22.77	0.94	2.54	1.06	-10.02
19	23219_поле	Хоседа-Хард	1	217	0.62	26.62	0.78	4.40		
			2	328	0.63	29.82	0.90	2.80	15.76	-36.28
			3	262	0.64	30.65	0.87	3.96	-3.23	41.26
20	23418_лес	Печора	1	135	0.41	25.13	0.97	3.00		
			2	284	0.36	17.59	1.00	2.38	2.64	-20.65
			3	209	0.50	22.86	0.84	1.94	-15.89	-18.77

Продолжение таблицы 3.1

21	23711_лес	Троицко-Печорское	1	101	0.40	17.71	0.83	1.76		
			2	264	0.37	17.74	0.92	1.75	11.46	-0.51
			3	219	0.63	25.70	0.88	1.56	-4.27	-10.77
22	23711_поле	Троицко-Печорское	1	143	0.30	22.72	0.71	3.01		
			2	289	0.31	19.15	0.88	3.32	24.21	10.14
			3	233	0.48	25.27	0.97	2.57	10.76	-22.41
23	26069_поле	Белогорка	1	181	0.64	33.15	0.77	1.92		
			2	200	0.39	34.23	0.92	3.27	18.48	69.98
			3	172	0.37	38.00	0.78	3.36	-15.27	2.79
24	26094_лес	Тихвин	1	120	1.47	57.51	0.67	1.80		
			2	240	0.75	36.62	0.50	1.17	-24.75	-34.63
			3	180	0.54	28.61	0.64	1.95	27.13	65.82

Продолжение таблицы 3.1

25	26094_поле	Тихвин	1	157	1.17	54.70	0.81	3.82		
			2	262	0.51	25.91	0.73	2.44	-10.01	-36.11
			3	209	0.46	28.09	0.95	3.04	30.10	24.75
26	26157_поле	Гдов	1	147	1.90	68.82	0.98	2.80		
			2	154	0.62	32.04	1.05	6.65	7.21	137.69
			3	133	0.41	34.75	1.03	4.68	-2.10	-29.55
27	26275_поле	Старая Русса	1	149	0.70	28.38	0.66	0.73		
			2	163	0.55	34.55	0.91	3.45	39.02	370.03
			3	107	0.46	22.73	0.67	2.06	-26.50	-40.34
28	26298_поле	Бологое	1	196	0.45	24.98	0.72	1.94		
			2	236	0.68	35.54	0.74	3.16	2.62	62.74
			3	205	0.37	23.20	0.81	2.68	9.62	-15.31

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	№ станции	Название станции	Период	число промеров	$S/\sigma$ для расчета	$I\Delta SI$ (%)	параметры		изменения в %	
							$kf$	$kt$	$\Delta kf$	$\Delta kt$
29	26359_поле	Пушкинские Горы	1	113	1.22	75.71	0.56	1.38		
			2	148	0.51	38.78	0.74	3.22	31.61	133.77
			3	145	0.45	24.69	0.80	1.97	9.16	-38.88
30	26477_поле	Великие Луки	1	127	0.66	27.89	0.81	3.19		
			2	146	0.66	31.14	0.85	3.25	4.69	2.04
			3	135	0.44	30.81	0.67	1.06	-21.18	-67.28
31	26499_поле	Старица	1	184	0.90	40.08	0.87	1.89		
			2	234	0.43	29.31	0.80	2.70	-8.06	42.81
			3	195	0.30	21.65	0.88	2.25	9.42	-16.42
32	26898_поле	Брянск	1	165	0.70	42.56	0.75	1.04		
			2	197	0.44	30.67	0.84	4.48	11.33	329.52
			3	171	0.49	23.69	0.85	4.44	1.31	-1.00

Продолжение таблицы 3.1

33	26976_поле	Красная Гора	1	124	0.89	93.37	0.87	0.80		
			2	108	0.41	33.98	0.87	7.47	-0.16	836.18
			3	138	0.62	29.47	0.94	6.30	7.82	-15.76
34	26997_поле	Трубчевск	1	166	0.42	34.67	0.80	3.46		
			2	136	0.69	42.38	0.74	4.03	-7.18	16.72
			3	139	0.53	28.27	0.84	3.15	13.22	-21.84
35	27008_поле	Бабаево	1	143	0.40	30.10	1.18	3.69		
			2	258	0.43	23.13	0.97	2.94	-17.15	-20.25
			3	165	0.42	28.18	0.93	2.42	-4.11	-17.57
36	27051_лес	Тотьма	1	122	0.48	22.45	1.05	1.84		
			2	213	0.73	29.41	0.77	0.50	-26.71	-72.81
			3	163	0.63	39.96	0.83	2.69	7.15	438.34

Продолжение таблицы 3.1

37	27051_поле	Тотьма	1	169	0.65	31.24	0.91	2.16		
			2	246	0.44	25.28	0.92	3.47	1.51	60.46
			3	187	0.47	31.99	0.92	2.68	0.10	-22.90
38	27066_лес	Никольск	1	116	0.56	29.49	0.86	1.14		
			2	225	0.45	22.73	1.03	1.68	19.76	46.76
			3	180	0.50	20.16	0.93	1.43	-9.94	-14.89
39	27066_поле	Никольск	1	159	0.51	24.85	0.78	1.54		
			2	257	0.44	23.38	0.94	2.63	20.88	70.49
			3	196	0.48	23.53	0.87	2.38	-6.91	-9.47
40	27083_лес	Опарино	1	139	0.76	41.48	0.78	0.71		
			2	259	0.53	23.52	1.12	1.93	42.66	174.29
			3	245	0.49	24.43	0.88	1.71	-21.17	-11.71

Продолжение таблицы 3.1

41	27083_поле	Опарино	1	139	1.45	42.12	0.97	1.79		
			2				0.87	2.38	-9.50	32.89
			3				0.87	2.38	0.00	0.00
42	27208_лес	Максатиха	1	72	0.90	46.48	0.61	1.48		
			2	214	0.70	34.11	0.57	1.50	-6.07	1.04
			3	171	0.56	28.61	0.66	1.48	15.09	-0.80
43	27208_поле	Максатиха	1	195	0.81	37.11	0.61	0.76		
			2	244	0.68	34.12	0.70	1.90	14.10	150.00
			3	200	0.29	20.69	0.81	2.39	16.48	25.85
44	27277_лес	Ветлуга	1	104	0.53	18.25	0.73	0.67		
			2	233	0.54	18.98	0.76	2.03	4.22	204.22
			3	156	0.49	21.09	0.73	1.75	-4.80	-13.72

Продолжение таблицы 3.1

45	27277_поле	Ветлуга	1	181	1.13	37.39	0.84	1.69		
			2	284	0.49	24.08	0.81	3.12	-2.75	85.06
			3	204	0.55	24.04	0.81	3.08	-1.06	-1.27
46	27333_лес	Кострома	1	149	0.39	21	0.86	1.91		
			2	235	0.61	28.36	0.76	1.81	-11.15	-5.21
			3	240	0.69	32.22	0.79	1.33	3.78	-26.63
47	27333_поле	Кострома	1	270	0.44	24.04	0.91	4.04		
			2	291	0.58	26.81	0.86	3.69	-4.74	-8.50
			3	254	0.48	27.46	1.02	3.27	17.55	-11.40
48	27509_поле	Можайск	1	129	0.34	22.56	0.95	4.29		
			2	211	0.52	32	0.73	3.00	-23.11	-30.20
			3	181	0.29	21.65	0.81	3.39	11.75	13.08

Продолжение таблицы 3.1

49	27625_поле	Коломна	1	148	0.51	29.72	1.02	4.37		
			2	194	0.53	30.59	0.85	2.58	-16.83	-40.92
			3	169	0.41	22	0.90	3.76	6.00	45.73
50	27648_поле	Елатьма	1	155	0.54	43.09	0.68	5.99		
			2	240	0.43	47.79	0.84	4.05	23.82	-32.43
			3	232	0.40	24.67	0.79	3.89	-5.61	-3.97
51	27665_лес	Лукоянов	1	131	0.61	17.60	0.83	0.69		
			2	218	0.47	18.61	0.88	3.19	6.03	362.13
			3	206	0.54	23.78	0.75	2.69	-14.79	-15.53
52	27665_поле	Лукоянов	1	220	1.05	36.98	0.65	1.07		
			2	258	0.60	33.20	0.71	3.19	8.57	198.15
			3	237	0.51	29.45	0.77	3.58	8.31	12.35
53	27675_поле	Порецкое	1	144	0.99	62.76	0.70	0.53		

			2	232	0.67	42.58	0.84	2.90	20.65	450.38
			3	192	0.43	31.75	1.19	5.04	40.66	73.77
54	27707_поле	Сухиничи	1	169	0.99	63.90	0.64	0.00		
			2	213	0.46	34.42	0.76	4.53	17.61	
			3	166	0.43	28.70	0.74	2.78	-2.29	-38.51
55	27823_поле	Павелец	1	169	0.45	30.22	0.92	9.50		
			2	192	0.72	34.02	1.00	4.20	8.29	-55.80
			3	206	0.56	36.94	1.28	11.61	28.27	176.41
56	27962_поле	Пенза.ЦГМС	1	134			1.28	11.61		
			2	176	0.52	27.15	0.81	4.37	-36.98	-62.32
			3	173	0.61	32.56	0.73	2.67	-9.64	-38.95
57	27995_поле	Безенчук	1	135	0.76	28.04	0.56	2.45		
			2	210	0.43	23.12	0.77	4.24	39.27	73.03
			3	176	0.43	24.64	0.78	3.26	1.19	-23.17
58	28224_лес	Пермь	1	89	0.49	19.82	0.85	2.37		
			2	236	0.49	31.88	0.80	2.51	-6.33	5.50
			3	225	0.41	20.13	0.85	1.88	6.49	-24.78

59	28224_поле	Пермь	1	110	0.35	21.02	0.88	4.24		
			2	283	0.37	23.21	0.85	3.74	-3.15	-11.72
			3	257	0.34	18.47	0.89	2.50	4.54	-33.25
60	28704_поле	Чулпаново	1	161	0.54	32.23	1.09	4.26		
			2	208	0.51	23.03	1.02	4.07	-5.89	-4.40
			3	193	0.45	21.71	1.21	4.42	18.24	8.57
61	34003_поле	Поныри	1	198	0.60	50.90	0.79	4.53		
			2	218	0.44	26	0.80	3.87	0.52	-14.62
			3	172	0.54	24.39	0.71	3.63	-10.83	-6.34
62	34152_поле	Балашов	1	130	0.75	92.67	0.67	2.19		
			2	177	0.57	28.86	0.81	4.16	20.94	90.30
			3	159	0.53	28.78	0.66	2.44	-18.91	-41.40
63	34163_поле	Октябрьский Городок	1	126	0.44	58.98	0.84	6.62		
			2	183	0.49	29.58	0.88	4.79	3.66	-27.52
			3	156	0.51	29	0.88	5.42	0.02	13.07
64	34202_лес	Готня	1	82	0.44	33.60	0.76	4.83		
			2	169	0.49	31.76	0.83	4.54	9.48	-6.08

			3	136	0.57	30.49	0.62	2.82	-24.91	-37.83
65	34202_поле	Готня	1	144	0.44	34.89	0.69	5.68		
			2	178	0.47	25	0.74	4.95	7.06	-12.87
			3	145	0.51	28.14	0.72	3.63	-2.79	-26.58
66	34247_поле	Калач	1	120	0.64	79.31	0.48	1.31		
			2	149	0.62	45.23	0.85	2.65	76.63	102.05
			3	100	0.66	46.80	0.67	2.20	-21.52	-16.93
67	34321_лес	Валуйки	1	105	0.52	48.87	0.67	0.66		
			2	179	0.40	24.63	0.91	2.18	35.83	230.57
			3	123	0.65	29.09	0.73	2.24	-19.78	2.48
68	34321_поле	Валуйки	1	105	0.49	53.77	0.42	0.25		
			2	159	0.38	23.51	0.79	3.50	90.77	1306.24
			3	102	0.78	48.98	0.66	2.83	-16.75	-19.06
69	34391_поле	Александров Гай	1	78	0.58	44.12	0.57	9.36		
			2	108	0.69	39.61	0.60	4.61	6.30	-50.76
			3	114	0.57	32.48	0.64	1.37	6.67	-70.33
70	34432_поле	Чертково	1	76	1.78	100.00	0.00	0.00		

			2	129	0.79	47.63	0.44	1.68		
			3	77	0.82	41.97	0.99	13.33	122.96	694.89
71	35011_поле	Сорочинск	1	116	1.01	49.91	0.57	0.00		
			2	187	0.62	46.71	0.93	11.73	63.05	
			3	158	0.78	45.37	1.04	7.84	11.62	-33.22
72	35121_поле	Оренбург ЦГМС	1	133	0.43	23.91	0.99	8.37		
			2	189	0.64	36.62	0.96	6.87	-3.02	-17.90
			3	173	0.46	18.87	1.18	6.74	22.49	-1.88
73	35127_поле	Акбулак	1	154	0.69	40.06	0.77	5.28		
			2	187	0.51	25.96	0.90	6.52	16.76	23.45
			3	166	0.49	30.65	1.01	7.59	12.40	16.57
74	37126_поле	Шаджатмаз	1				0.67	2.06		
			2	274	0.69	52	0.85	0.66	27.56	-67.91
			3				0.67	2.06	-21.61	211.58

## Выводы

В ходе выполнения работы для Европейской территории России создана база данных за последние 51 год (периоды с 1966 по 1982, с 1983 по 1999 и с 2000 по 2016 гг.) для 58 станций, состоящая из

- материалов снегомерных съемок (запас воды в снеге общий в мм) в среднем 182 съемки за период;
- ежедневных значений осадков и температуры.

2. По модели формирования снеготаяния рассчитаны:

- ежедневные значения общего запаса воды в снеге с начала устойчивого перехода температуры к отрицательным значениям до окончания снеготаяния;
- интенсивность водоотдачи из снега в период оттепелей и весеннего снеготаяния.

3. Выполнена параметризация модели формирования снеготаяния - рассчитаны оптимальные значения параметров модели для 3-х периодов ( $kt$  - коэффициент потерь,  $kt$  - температурный коэффициент), которые имеют прогностические свойства (по соотношению  $S/\sigma$  меньше 0.8) для большинства станций (93 % случаев) Европейской территории России.

Все основные задачи, поставленные в задании к выпускной квалификационной работе, были успешно выполнены.

## Литература

Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974, -419 с.

Бережных Т.В., Резников А.П. Фоновое прогнозирование речного стока на основе его пространственно-временных закономерностей. - География и природные ресурсы, 1996, № 4, с. 17-24.

Боровикова Л.Н. и др. Статистические методы прогноза стока горных рек. - Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 51 (132). - 86 с.

Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижней Тунгуски). - Метеорология и гидрология, 1996, № 10, с. 75-87.

[Гайдукова Е.В.](#), [Хаустов В.А.](#), Дехтярев А.А., Голованова Е.Ю., Куасси М. Оценка долгосрочных изменений вероятностных характеристик максимального стока // // ученые записки рггму. – 2013, №16. – с. 60-64.  
Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы // РГГМУ. – 2007. – С. 435с

Игловская Н.В., Нарожный Ю.К. //Определение снеготопливных запасов Алтая с использованием спутниковой информации // [Науки](#) о Земле - 2010, № 334 – Томск. 160-165.

Земцов А.А., Мизеров Б.В., Николаев В.А. и др. Рельеф Западно – Сибирской равнины Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1988. 192с.

Карлин Л.Н., Ефимова Ю.В., Никифоров А.В. Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления // Ученые записки РГГМУ. – 2005, № 1. – С. 22–29.

Коваленко В.В. Моделирование гидрологических процессов. - СПб.: Гидрометеиздат, 1993. - 256 с.

[Коваленко В.В.](#), [Викторова Н.В.](#), [Гайдукова Е.В.](#) Моделирование гидрологических процессов: учеб. -изд. 2-е, испр. и доп. -СПб.: изд. РГГМУ, 2006. -559 с.

Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова // Гидрометеоздат – 1961. – Л. 344с

Ларин С.И. Физико-географические условия формирования качества поверхностных вод западнойсибири // [Вестник Тюменского государственного университета](#) - 2011, № 12 – Тюмень. 70-77.

[http://tapemark.narod.ru/geograf/2\\_1.html](http://tapemark.narod.ru/geograf/2_1.html)