



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Методы учета стока в зимний
период**

Исполнитель Павлюкова Анастасия Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

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

Векшина Татьяна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)
Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2019г.

Санкт-Петербург
2019



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Методы учета стока в зимний
период**

Исполнитель Павлюкова Анастасия Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Векшина Татьяна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

К.Г.Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2019г.

Санкт–Петербург
2019

Оглавление

Введение	2
Глава 1. Физико-географическое описание	4
1.1 Физико-географическое описание ЕТР	4
1.2 Физико-Географическое описание расчетных рек	7
1.2.1 Река Ветлуга	7
1.2.2 Река Зуша	9
1.2.3 Река Ловать	13
1.2.4 Река Полисть	16
1.2.5 Река Молога	17
Глава 2. Режим рек в зимний период	21
2.1. Типы зимнего режима и замерзания рек	21
2.2. Оценки гидравлических сопротивлений	23
2.3. Режим ледяного покрова в предледоходный период	26
2.4. Ледовый режим рек ЕТР (Верхнего Поволжья)	29
Глава 3. Методы учета стока в зимний период	33
3.1. Особенности вычисления стока в зимний период	33
3.2. Методы, применяемые на гидрологической сети	34
3.3. Интерполяционно-гидравлические модели	40
3.4. Метод, использующий параметр Великанова	44
Глава 4. Анализ результатов расчетов	46
Заключение	51
Список Литературы	52

Введение

Повышение точности учета стока – одно из важнейших условий эффективного использования водных ресурсов. Надежные данные о расходах воды особенно необходимы в переходные периоды, когда происходит резкое изменение водности реки.

Нормативным документом для выполнения учета стока является устаревшее Наставление 1958 года, включающее в основном методы, опирающиеся на интуитивные приемы и формальные схемы и не отвечающие современным требованиям и современным возможностям. Это в полной мере касается и методов учета стока в зимний и переходные периоды, к которым относится метод использующий хронологический график переходных коэффициентов $K_{зим}$ и интерполяция измеренных расходов воды, также выполняемая графическим способом. Интерполяция измеренных расходов имеет существенные ограничения так как дает надежные результаты только при большом числе измерений, выполнение которых в осенне-зимний период часто невозможно.

Более обоснованы физически и точны интерполяционно-гидравлические модели, получившие развитие в исследованиях И.Ф.Карасева. Одним из результатов этих исследований был выход в 1980 году рекомендаций по учету стока на реках в зимний и переходные периоды, разработанных отделом гидрометрии ГГИ и сотрудниками ВВУГКС под руководством И.Ф.Карасева. В частности, для рек с устойчивым ледоставом рекомендовалась регрессионно-гидравлическая модель (РГМ), использующая в качестве предикторов не только гидравлические характеристики, но и фактор времени, тем самым учитывалась закономерность изменения гидравлических сопротивлений в зимний и переходные периоды. Предлагаемые физико-математические модели проверялись в частности ВВУГКС и оказались эффективней применяемых способов, но не получили распространения из-за отсутствия в то время на гидрологической сети вычислительной техники.

К настоящему времени большинство станций гидрологической сети оснащено компьютерами и имеет возможность использовать, методы учета стока требующие выполнения большого объема вычислений, что открывает перспективу повышения точности учета стока за счет внедрения современных методик и технологий, основы которых были заложены в конце прошлого века.

Цель данного исследования заключается в дальнейшем обосновании перехода при учете стока в осенне-зимний период на более физически обоснованные и отвечающие современным требованиям, методы.

В качестве объекта исследований выбраны реки Верхнего Поволжья, ледовый режим которых в осенне-зимний период, как правило, не осложненный заторами, является типичным для рек, течение которых ориентированно преимущественно с севера на юг.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выявить особенности учета стока в осенне-зимний период.
2. На основе сравнительного анализа результатов расчета оценить эффективность применения рассматриваемых методов.
3. Выполнить оценку методов с точки зрения их универсальности и пригодности для использования при разработке компьютерной технологии учета стока.

В качестве исходных данных использовались материалы наблюдений на гидрологической сети Росгидромета. Решение поставленных задач проводилось путем регрессионно-статистического анализа гидрометрических данных и численных экспериментов, выполняемых на ПЭВМ.

Глава 1. Физико-географическое описание.

1.1 Физико-географическое описание ЕТР.

Географическое положение.

На европейскую часть России приходится 1/3 территории страны, она включает Восточно-Европейскую равнину, которая занимает большую часть, Кавказские и Уральские горы. На Европейской территории России проживает около 80% населения страны, здесь сосредоточено примерно 85% промышленного и сельскохозяйственного производства и около 90% непроемственной сферы страны. Европейская часть России образует Западный макрорегион, который включает шесть природно-хозяйственных регионов: Европейский Север, Северо-Запад, Центральная Россия, Поволжье, Европейский Юг, Урал.

Тектоническое строение и рельеф.

В основании Восточно-Европейской равнины залегает крупная тектоническая структура – Восточно-Европейская платформа (рис. 1.1).

Большая часть фундамента платформы покрыта мощным слоем горизонтально залегающих осадочных пород разного возраста. Поэтому здесь преобладает равнинный рельеф.

На северо-западе фундамент платформы приподнят, здесь располагается Балтийский щит. С Балтийским щитом связаны возвышенные равнины Карелии, Кольского полуострова и горы Хибинны.

Поднятый фундамент служит основанием Среднерусской возвышенности и Высокому Заволжью. Тектонические поднятия отдельных частей платформы привели к формированию Приволжской возвышенности, а северные и южные окраины равнины подвергались неоднократным наступлениям вод моря на сушу, в результате чего образовались плоские приморские низменности – Прикаспийская и Печорская.

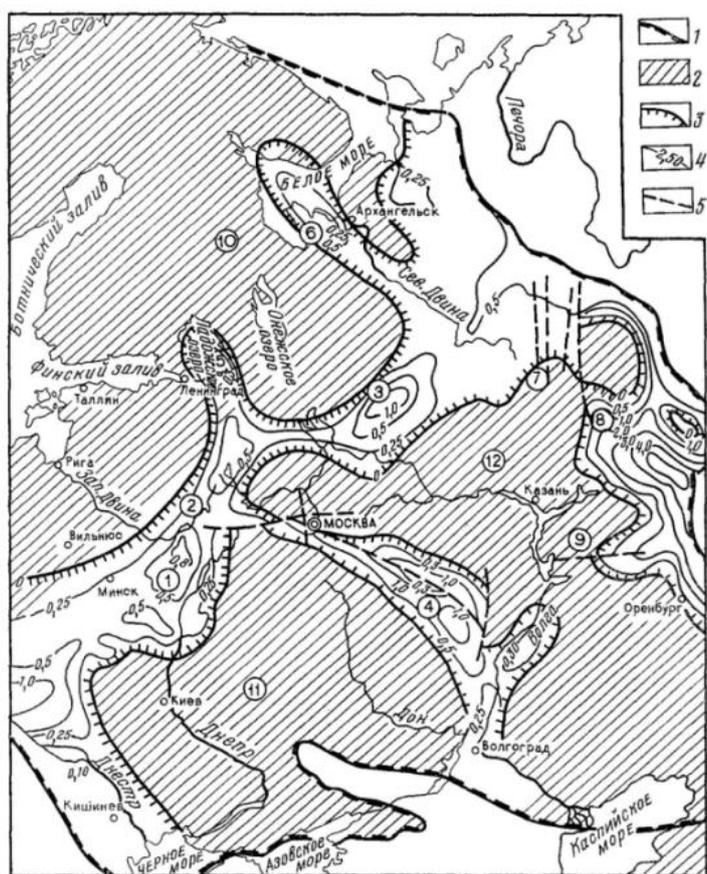


Рис. 1.1 Тектоническое строение Восточно-Европейской платформы

Основные возвышенности северной части – Валдайская и Смоленско-Московская, образовались в результате накопления ледникового материала. Между крупными возвышенностями располагаются плоские песчаные низменности – Верхневолжская, Мещерская, Окско-Донская.

Восточно-Европейская равнина по характеру поверхности – это холмистая равнина. В рельефе преобладают низменности и возвышенности. Средняя ее высота от 200 до 500 метров. Характер рельефа определяется особенностями строения земной коры этой территории и историей её формирования. Равнинный рельеф благоприятен для хозяйственной деятельности людей.

Природные зоны.

Большая протяженность равнины с севера на юг определила хорошо выраженную зональность в распределении её ландшафтов. Побережье Баренцева моря занято холодными, сильно переувлажненными равнинами.

Эта часть территории равнины находится в зоне тундры и лесотундры. Здесь нет условий для развития земледелия, зато развито оленеводство и охотничье-промысловое хозяйство, расположены крупные месторождения угля, нефти, газа, железной руды, руд цветных металлов и апатитов.

В средней полосе Восточно-Европейской равнины раньше преобладали типичные лесные ландшафты – темнохвойная тайга, смешанные, широколиственные дубовые и липовые леса. В настоящее время многие леса вырублены, а лесные ландшафты превратились в лесополья – сочетание лесов и полей. В этой части равнины проживает основная часть населения, располагаются города и промышленные предприятия.

На юге равнины раскинулись пространства степей и лесостепей на плодородных черноземных почвах. Это район с наиболее благоприятными для сельского хозяйства климатическими условиями. Здесь расположена основная земледельческая зона страны, богатейшие месторождения железных руд КМА, нефть и газ Поволжья и Приуралья.

Климат.

Материковая часть Европейской России расположена в субарктическом и умеренном климатических поясах. При этом большая часть – в умеренном климатическом поясе. Воздушные массы с Атлантического океана приносят на равнину основную массу осадков.

Количество осадков убывает с запада на юг и юго-восток. На западе выпадает от 600 до 800 мм осадков в год, а к югу, юго-востоку количество осадков сокращается до 200–300 мм.

Самое сухое место Восточно-Европейской равнины располагается на Прикаспийской низменности. Здесь выпадает менее 200 мм осадков. Воздух с Атлантики оказывает влияние на климат не только летом, но и зимой. С ним связаны частые оттепели в зимнее время, циклональная погода в любое время года.

Вторжение арктического воздуха летом приводит к похолоданию и засухам. Зимой – к установлению холодной, ясной и морозной погоды. Арктический воздух зимой распространяется на всю территорию Восточно-Европейской равнины, вплоть до крайнего юга. В целом климат умеренно-континентальный, благоприятный для хозяйственной деятельности человека

Поверхностные воды.

Так как климат влажный, то по территории протекает много рек. На Валдайской, Смоленско-Московской, и Среднерусской возвышенностях берут своё начало крупные реки – Волга, Днепр, Дон. Эти реки текут на юг.

На север несут свои воды многоводные, но относительно короткие реки Печора, Северная Двина, Онега. На запад в Балтийское море текут Западная Двина, Нева, Неман.

Все реки равнины замерзают. Продолжительность ледостава зависит от местоположения реки и уменьшается при движении на юг. Весной в связи с таянием снега, реки разливаются, летом мелеют. На многих построены водохранилища и гидроэлектростанции.

Так как верховья и русла многих рек часто располагаются близко друг от друга, в настоящее время они соединены каналами – канал им. Москвы, Волго-Балтийский, Волго-Донской, Беломорско-Балтийский. Реки и каналы образуют единую водную систему на Европейской части территории России. Наличие густой речной сети, системы каналов обеспечивает хорошую транспортную способность равнины.

1.2 Физико-Географическое описание расчетных рек.

1.2.1 Река Ветлуга.

Ветлуга — река в центре Европейской части России, левый приток Волги. Протекает по территории Кировской, Комстромской и Нижегородской областей и республики Марий Эл.

Длина реки — 889 км, площадь бассейна 39 400 км². Среднегодовой расход воды — в низовье 255 м³/с.

Левый берег низменный, правый высокий (до 100 м) сложен мергелями и песчаниками. Течение медленное, много стариц. Притоки: р. Нея, р. Большая Какша, р. Уста, Юронга — левые; р. Вохма, р. Люнда — правые. Питание снеговое. Ледостав с начала ноября по апрель. Во время половодья судоходна на 700 км от устья.

На реке расположены города Шарья и Ветлуга, посёлки городского типа Варнавино, Ветлужский (Костромская область), Ветлужский (Нижегородская область), Красные Баки, Воскресенское. На берегу Чебоксарского водохранилища, при впадении Ветлуги находится посёлок городского типа Юрино.

В Кировских землях Ветлуга представлена своим верховьем. Исток реки Ветлуга - это слияние речек Большая Быстрая и Быстру, населенный пункт, расположенный в этих краях село Быстри (Шабалинский район).

Но по некоторым данным настоящим истоком Ветлуги стало место слияния речек Быстрая и Матюга, оно расположено недалеко от старинного села Круглыж. В Кировской области находятся не только истоки реки Ветлуга, но и родники.

В Нижегородской области река представлена в виде 103 различных водоемов, включая крупные и мелкие речки. На реке расположены города Ветлуга и Воскресенское, а также рабочий поселок Красные Баки. Все это достаточно крупные населенные пункты.

Недалеко от этих мест расположено озеро Светлояр, являющееся не только экологически чистым местом, но и отличным кладезем чистой воды.

Река имеет по большей части ровное, песчаное дно, но местами возможно наличие ила. В верховье река течет быстро, а в нижней части намного медленнее. Скорость в среднем до 7 км/ч. В период половодья эта скорость доходит до 10.

Берега имеют совершенно разный рельеф, но при этом на большинстве участков имеются песчаные берега, которые позволяют устроить пляжи. Правая часть более крутая, встречаются участки с обрывами, при приближении к населенным пунктам берега Ветлуги луговые.

Лес, произрастающий по правому берегу, в основном хвойник. Левая сторона низкая, покатая, растет много кустарников, и есть многочисленные луга. Много хороших пляжных зон в низине.

Глубина реки в основном составляет 2-3 метра. Если сравнить два берега, не высок левый.

Протяженность реки по областям:

Кировская чуть более 160 км;

Костромская 298 км;

Нижний Новгород 323 км;

В республике Марий Эл 100 км.

Река имеет важное значение как судоходный маршрут, связанный с Волгой, поэтому навигация продолжается весь допустимый сезон. Очень много грузовых легких пароходов.

Основными источниками загрязнения воды является размываемый грунт. Чтобы река не подмывалась за счет разрушения берегов, необходимо контролировать их состояние.

В целом, ситуация с загрязнением не является критичной, река находится в хорошем состоянии. Вода признана удовлетворительной, но ежегодно необходимо проводить контроль качества воды в реке. Наличие большого разнообразия рыбы также говорит о неплохой экологической составляющей.

1.2.2 Река Зуша.

Зуша относится к водному бассейну р. Оки и протекает по Европейской части России через территории Тульской и Орловской областей. Протяженность реки составляет 234 км, а площадь водосборного бассейна —

6950 км². Зуша завершает свой путь на границе с Болховским районом, где впадает в Оку в качестве правостороннего притока.

Зуша — относительно широкая, но неглубокая река с быстрым течением. Она берет начало на Алаунских высотах, расположенных в Тепло-Огаренском районе Тульской области у деревни Большое Минино. Устье расположено вблизи деревни Городище в пределах координат 53°26'56" с. ш. и 36°23'08" в. д.

Место впадения в Оку выше уровня моря на 134 метра. Величина среднего уклона реки Зуши составляет 0,3 м/км. По ходу течения значение этого параметра постепенно уменьшается. В верховьях уклон составляет 1,33%, в средней части — 0,4%, а в низовьях — 0,2%.

Бассейн Зуши сильно залесен. К берегам плотно подступает растительность. Густота речной сети в пределах бассейна (вместе с притоками) составляет 0,32 км/км².

Озерность данной территории достаточно низкая (1%), практически отсутствуют заболоченные места (1%). Река Зуша имеет 19 притоков, среди которых наиболее крупными являются р. Грунец, р. Филинка, р. Грязная, р. Раковка и р. Верещага. Остальные реки имеют протяженность менее 150 км. В пределах Орловской области река Зуша является самым крупным притоком р. Оки.

Зуша характеризуется весьма неглубоким руслом (до 2 метров), сильно варьирующимся по ширине. Самыми узкими частями являются верховья (от 5 до 40 м). По направлению от истока к устью ширина постепенно увеличивается, но в конце вновь сужается.

В среднем течении расстояние между берегами достигает до 60 м.

В низовьях реки ширина варьируется от 35 до 100 м. На участках реки в верховьях и в среднем течении низовья, русло слабо извилистое, с овражной эрозией на берегах, представляет собой чередование практически прямолинейных двухкилометровых участков с излучинами, местами врезанное, с периодически встречающимися разветвлениями.

Глубина изменяется от 0,4 м - 0,8 м на перекатах, а на плесах достигает до 4,5 м, средняя глубина примерно составляет от 1,3 м до 1,8 м. Дно каменистое и каменисто-песчаное.

Ширина речной поймы достигает 250 м, однако в основном на всем протяжении реки ширина поймы составляет от 30 м до 80 м, и широкие места заливного типа на реке Зуше отсутствуют.

Берега в основном обрывистые и скалистые. Пойма лугового типа, используется в сельскохозяйственных нуждах. Бассейн характеризуется развитым карстом.

В начале река Зуша течет на юго-запад, проходя через Корсаковский и Новосильский районы, а затем круто меняет направление на северо-западное, сохраняя его до устья. Этот поворот имеет вид живописного округлого изгиба.

На территории Орловского региона расположена основная часть реки Зуши. В Тульской области находится небольшой начальный отрезок русла. Вдоль берегов Зуши расположено множество старинных населенных пунктов. Самыми крупными из них являются города Мнецк и Новосиль.

При этом Зуша протекает на значительном удалении от областных столиц (г. Орла и г. Тулы).

Река Зуша имеет преимущественно снеговой характер питания. Объем годового стока составляет 0,918 км³/год, а за секунду через отдельную точку русла проходит 29,1 кубических метров воды (среднее значение многолетних замеров, которые производили в 37 км от устья).

Большую часть года река Зуша находится в режиме межени. Период половодья очень короткий (около 30 дней), но на него приходится большая часть годового стока (52%). Самое минимальное значение водного расхода зафиксировано для зимней межени (17%).

На летне-осенний период приходится 31% годового стока. Половодье обычно начинается в третьей декаде марта и заканчивается примерно в тех

же числах апреля. В это время максимальная величина расхода воды составляет $511 \text{ м}^3/\text{с}$, а пиковая — $1790 \text{ м}^3/\text{с}$.

В период летне-осенней межени, дожди могут приводить к паводкам, которые длятся не более двух недель. В это время расход воды увеличивается до $254 \text{ м}^3/\text{с}$. При отсутствии паводков он может опускаться до $138 \text{ м}^3/\text{с}$. Зимой водный расход самый минимальный ($12,4 \text{ м}^3/\text{с}$).

Ледостав на Зуше довольно продолжительный (около 122 дней). Река замерзает уже в середине ноября, а ледоход начинается только в первой декаде апреля. В начале марта верховья Зуши покрыты самой мощной ледяной коркой. В низовьях пласт замерзшей воды достигает максимальной толщины к концу февраля.

Весеннее таяние льдов занимает около 11 дней. Река отличается быстрым течением ($0,2-0,3 \text{ м/сек}$), на некоторых участках имеющим порожистый характер. Однако Зушу все-таки не стоит сравнивать с горными реками, которые развивают скорость от 1 до $4,5 \text{ м/сек}$.

В настоящее время Зушу используют в трех направлениях: отдых, рыбалка, энергоснабжение. По участку реки от устья до точки на 35 км выше по течению раньше ходили суда. От города Мценска до места впадения в Оку транспортировали грузы. В настоящее время судоходство на Зуше отсутствует.

На реке построена Лыковская гидроэлектростанция, дающая мощность 1300 кВт/ч . Другие действующие ГЭС в Орловской области отсутствуют. На русле Зуши также сооружены 3 плотины, которые в настоящий момент заброшены.

В рейтинге рыбных рек Зуша занимает далеко не последнее место. Здесь обитает более 20 представителей ихтиофауны. На самый эффективный улов можно рассчитывать в период с мая по июнь. Наиболее рыбным участком считается начало реки (первые 10 км русла).

1.2.3 Река Ловать.

Лóвать — река в Белоруссии и России. Протекает по территории Витебской, Псковской и Новгородской областей. Длина 530 км, площадь бассейна 21,9 тыс. км², средний расход воды в устье 169 м³/с.

Река Ловать принадлежит к бассейну реки Нева - Балтийского моря. На реке расположены города Великие Луки, Холм и посёлок городского типа Парфино.

На Ловати весной, со второй половины марта по май включительно, проходит около 55 % годового стока; с июня по октябрь — около 23 % и зимой, с ноября по начало марта — около 22 % годового стока.

Река относится к типично равнинным рекам малой водности, со слабой скоростью течения и преимущественно низкими, заболоченными берегами. Возвышенные, местами обрывистые берега Ловати расцвечены белыми, желтыми, голубыми, зелеными и красными глинами, а также песчаниками.

В низовье р. Ловать судоходна, это примерно участок протяженностью 70 км.

Ловать протекает по древней ледниковой долине. Глубоко врезаясь в коренные породы, она имеет многочисленные пороги и перекаты длиной от 50 до 1500 и более метров, а порог Семиводские острова тянется на два км.

В среднем течении наиболее известными являются пороги - Кучиж (в 10 км выше Подберезья), Леготь, Ситня, Хворощина (между Подберезьем и Холмом), Сучий Солп, Бабья Голень, Желйин, Вертучая заводь (ниже Ракова), Метлинская коса, Осетище, Горская коса и др.

Река Ловать берёт начало к северо-западу от озера Завесно в районе болота Чистик Витебской области Белоруссии (к юго-западу от озера Ловатец Невельского района Псковской области России).

Впадает в озеро Ильмень, образуя вместе с рекой Пола дельту, площадью около 400 км². До г. Великие Луки река мелководна и порожиста, имеет узкую долину.

В окрестностях Полибина и Купуя ее берега достигают высоты 20 м, глубина на плесах не превышает 1,25, а на перекатах – 0,3 м, дно на плесах илистое, на перекатах – песчаное, изобилует валунами.

В черте г. Великие Луки Ловать делится на два рукава, образуя невысокий Дятлинский остров. За городом Ловать выходит на равнину, и долина реки расширяется до 3-4 км, образуя обширные пойменные излучины – луки. Русло расширяется от 10-25 м до 120-140 м, глубина на плесах увеличивается до 3,8-6 м, а на перекатах – до 0,7 м. В районе г. Холмы склоны берегов достигают высоты от 30 до 50 м.

Крупные притоки: р. Насва, р. Локня, р. Редья, р. Полисть (слева); р. Кунья (справа). Самый крупный приток — р. Кунья впадает в р. Ловать в черте г. Холм.

В верховьях р. Ловать проходит через несколько озёр: Завесно, Задратье, Межа, Сосно, Чернявское (Чернясто), Сесито, Цаство. В пределах Белорусии протекает по Городокской возвышенности. Пойма реки луговая, во многих местах заболочена.

Ширина реки в верховье 10—15 м. После впадения р. Насвы русло р. Ловати проходит по лесистой местности. Берега высокие и в некоторых местах обрывисты (п. Селеево).

В среднем течении реки много перекатов и порогов. Основные сосредоточены в районе впадения р. Локни и ниже города Холм. В этом месте ширина реки достигает 50—60 метров, а после впадения р. Куньи — более 100 м.

На Приильменской низменности берега р. Ловати в основном пологие. В 22 км от устья она соединяется протокой с р. Полой.

Весной пойменные луга, расположенные в дельте этих рек, затопляются на глубину 2—3 м.

Два заповедника Рдейский и Полистовский были организованы в 1994 году для сохранения и изучения массива сфагновых болот южной тайги —

Полисто-Ловатской системы верховых болот, одной из крупнейших в Европе.

Почти каждую весну, в половодье, вода поднималась в реке Ловать в центре города Великие Луки на два и три метра и частенько затопляла Правую набережную. Например, в 1915 году снесло Волоцкий мост и была затоплена половина Торговой площади.

Большое наводнение произошло в апреле 1795 года. Водой было снесено большое количество жилых домов, хозяйственных построек, залиты были и окрестные деревни. А в декабре 1927 года разбушевавшаяся река натворила столько бед, что оставшихся без крова жителей пришлось размещать в городских школах.

На участке от г. Холм до устья, на расстоянии около 196 км, р. Ловать сильно извилиста. Так, если по прямой до Парфина примерно 100 км, то по реке 160 км. Здесь в долине реки много стариц - свидетельство того, что река много раз меняла свое основное русло.

От Холма до Погостья правый берег р. Ловати покрыт дубовым и сосновым лесом, ниже берега понижаются, и лес исчезает. На 186, 172, 127, 124, 122, 117 и 112-м км от устья находятся самые значительные пороги. Не только русло, но и берега местами усеяны множеством валунов, некоторые из них достигают огромной величины. Так, высота валуна у д. Перегино равна 8,5 м. Ниже пороги кончаются, р. Ловать становится шире, но мельче.

Весной и осенью уровень воды в реке достигает своего максимума. Так, в районе Холма вода поднимается на 4-6 м, а в иные годы – до 10 м, осенью уровень воды на 0,5-1,0 м выше летней межени. Средний уровень воды в р. Ловати лежит выше уровня океана на 49 метров.

Вскрывается Ловать и ее притоки обычно в конце марта – начале апреля.

Впадает р. Ловать в оз. Ильмень, образуя обширную дельту площадью около четырехсот квадратных километров. На 22-м км от устья р. Ловать соединяется с р. Полой, но после шестисотметрового совместного течения

она отбрасывает р. Полу в особое русло – р. Верготь. Весной дельта затапливается на глубину 2-3,5 м.

Верхняя часть дельты занята пашней, смешанным и реже хвойным лесом, средняя – болотами и лугами, нижняя - болотами и влажными лугами. Несмотря на затопление, большая часть дельты находится в хозяйственном использовании.

Многочисленные рукава и протоки имеют свои особые названия: Старая Ловать, Прямая Ловать, Ловатка, Псковенка, Переметь, Добрыня, Пупыня, Часыня, Рапля, Прость и др.

В дельте более 60 больших и малых озер: Волоковицкое, Чагодовское, Зеленское, Ситовец, Никольское, Морицкое, Серебра, Горыньское, Благи, Свинуха, Кривуха, Жирослов, Любжир, Часыньское, Лебединое, Рясинское, Жирохлицкое, Табачное, Вешенское, Дубовое, Пудовое, Бедовое, Синец и др.

Судоходство на р. Ловати вследствие мелководности и порожистости затруднено, до Великих Лук река вообще была несудоходной. В 60-е годы прошлого века судоходство по р. Ловати начиналось от пог. Марьино (ниже г. Великие Луки), и только во время весеннего половодья, и продолжалось примерно три недели.

В настоящее время судоходство по р. Ловати ограничивается движением пассажирского катера по линии Новгород – Парфино и далее в первую половину лета по реке Полисти до г. Старой Руссы.

1.2.4. Река Полисть

Полисть - средняя река на северо-западе европейской части Российской Федерации, протекает в Псковской и Новгородской областях, левый приток реки Ловать.

Длина - 176 км, площадь бассейна - 3630 км², расход воды - 22м³/с. Крупнейшие притоки: р. Холынья, р. Снежа (левые); р. Порусья (правый).

Крупнейший населённый пункт на реке - город Старая Русса. Р. Полисть вытекает из озера Полисто в восточной части Псковской области. Течёт на северо-восток на всём своём протяжении.

Первые километры р. Полисть петляет в болотистых берегах, ширина реки 10 - 20 метров. В среднем течении начиная от деревни Карабинец характер реки меняется.

Берега повышаются, одеваются лесом, скорость течения резко ускоряется, в русле появляются камни, перекаты и порожки. Такой характер река сохраняет на протяжении около 80 километров до впадения слева рек Холыньи и р. Снежи.

Самый серьёзный порог на реке расположен у деревни Бракловицы.

В нижнем течении река успокаивается, течение очень слабое, берега безлесые, ширина реки 30 - 40 метров. В черте города Старая Русса р. Полисть принимает справа крупнейший приток – р. Порусью. Р. Полисть впадает в р Ловать на Приильменской низменности в нескольких километрах выше места впадения Ловати в Ильмень.

Притоки:

10 км: река Соминка (Вороток, Большая Соминка)

20 км: ручей Войе

22 км: река Порусья

23 км: ручей Соляной

25 км: река Снежа

39 км: река Холынья

1.2.5 Река Молога

Моло́га — река в Тверской, Новгородской и Вологодской областях России, впадает в Весьегонский плёс Рыбинского водохранилища на р. Волге.

Длина 456 км (до создания Рыбинского водохранилища — 607 км), площадь бассейна 29,7 тыс. км², берет исток на Валдае.

Крупные притоки — р. Ривица, р. Волчина, р. Кеза, р. Сарагожа, р. Кирва, р. Кобожа, р. Чагодоша (левые); р. Остречина, р. Осень, р. Ратыня (правые). До создания Рыбинского водохранилища притоками р. Мологи были р. Реня, р. Кесьма, р. Ламь, р. Сить. На реке расположены города Бежецк, Устюжна, Пестово, посёлок Максатиха.

Молога вскрывается в первой половине апреля, ледоход длится от 3 до 10 дней, весеннее половодье 3-6 недель, ледостав в ноябре. Средний годовой расход воды 60 м³/сек (в среднем течении) и 237 м³/сек (в устье).

Исток в районе деревни Ключевая Максатихинского района Тверской области. В верховьях Молога — медленнотекущая извилистая река шириной 10-20 метров. Перед Бежецком и в черте города разливается широко, превращаясь в цепочку озёр шириной от 100 до 600 метров с заболоченными берегами, с многочисленными островами и старицами. Русло реки разбивается на протоки.

За городом Молога протекает большое озеро Верестово с заболоченными берегами и сильно заросшее тростником. В районе этого озера ширина долины до 4 км, поймы - 1-1,5 км. За озером ширина реки 30-40 метров, берега луговые вплоть до посёлка Максатиха, течение очень слабое.

В Максатихе р. Молога принимает в себя р. Ривицу и р. Волчину и поворачивает на север. Ширина увеличивается до 60 метров, увеличивается и скорость течения, на берегах появляются сосновые леса.

На участке до устья р. Сарагожи — несколько порожистых участков в местах, где р. Молога пересекает моренные гряды, отроги Бежецкого Верха. У села Борисовское через реку перекинут пешеходный подвесной мост, соединяющий Борисовское и деревнями Нивище и Заречье, расположенными на другом берегу. На рисунке 1.2 представлена река Молога с притоками и находящимися на берегах основными населенными пунктами.

Около Пестово ширина р. Мологи составляет около 100 метров, на реке много пляжей, по берегам лес.

После впадения р. Кобожи ширина уже превышает 150 метров, от города Устюжна река становилась доступной для судоходства только в начале половодья.

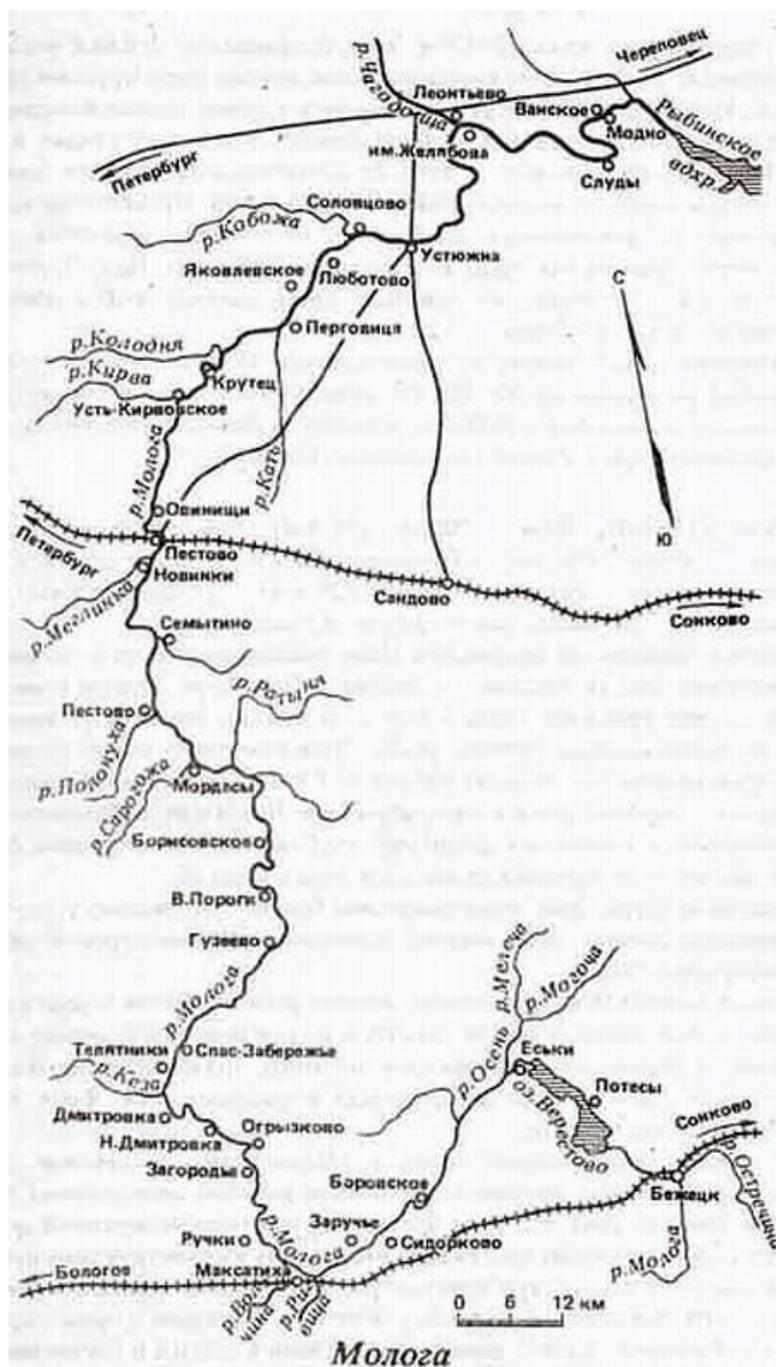


Рис.1.2 Река Молога

После устья р. Чагоды сказывается подпор Рыбинского водохранилища, течение почти исчезает, а ширина реки увеличивается до 200 метров и более.

По состоянию на 2007 год судоходство осуществлялось только до города Весьегонск, 2 раза в неделю ходили теплоходы Метеор до г. Ярославля. Большого флота на реке больше нет, есть только малый.

Глава 2. Режим рек в зимний период.

2.1 Типы зимнего режима и замерзания рек.

При классификации зимнего режима рек учитывают различные факторы: продолжительность ледостава и наличие наледей, степень устойчивости ледовых фаз, особенности ледообразовательных процессов и их влияние на режим свободного потока.

Многообразие характеристик зимнего режима наиболее полно учитывает классификация, предложенная Б.П.Пановым, но она не получила распространения ввиду слишком большой детализации.

Применительно к особенностям гидрометрического учета стока могут быть выделены четыре основных типа зимнего режима рек: длительный устойчивый ледостав с оттепелями и без них, неустойчивый ледостав, подпор от зажора, перемерзание и наледи. В таблице 1 представлены типы зимних режимов и их основные характеристики.

Анализируя данную таблицу, можно сделать следующие выводы, что замерзание рек, как правило, принимает две основные формы: путем постепенного расширения и смыкания заберегов (1 тип) или посредством одновременного образования ледяных перемычек в ряде мест с последующим заполнением пространств между ними плывущим льдом (2 тип).

Кроме этих основных форм, на реках с большими скоростями течения наблюдаются еще две: перемещение кромки льда снизу вверх по течению (3 тип) и образование ледяных перемычек, через которые проходит шуга и всплывший донный лед (4 тип).

Таблица 2.1. Типизация зимнего режима рек.

Типы зимнего режима	Характеристика
1. Длительный устойчивый ледостав а) без оттепелей б) с оттепелями	Сплошной ледостав при отсутствии шуги или наличия в небольших количествах при замерзании. а) изменение расхода носит характер постепенного уменьшения. б) колебания расхода разного знака
2. Неустойчивый ледостав	Отсутствие непрерывного сплошного ледостава, подвижки льда, временные вскрытия, полыньи, ограниченная шугоносность.
3. Подпор от зажора	Длительные периоды подпора от зажора на нижележащем участке
4. Перемерзание и наледи	Промерзание водотока и образование наледного течения воды.

Для учета стока большое значение имеют такие особенности зимнего режима рек, как характер процессов замерзания и вскрытия, устойчивость ледостава, возможность образования заторов и зажоров, закономерности изменения водности зимой.

Вскрытие рек может быть в виде:

- Преимущественного теплового разрушения льда;
- Подвижек и разрушения льда под влиянием гидродинамического воздействия потока на ледяной покров;
- Одновременного термического и гидродинамического разрушения льда.

По характеру режима ледообразовательных процессов, уровней и расходов воды зимний сезон на реках подразделяют на следующие периоды: предледоставный, зажорно-заторный, устойчивого-ледяного покрова,

предвесеннего повышения уровней и расходов воды, подвижек ледяного покрова (предледоходный) и весеннего ледохода (вскрытия).

При этом все периоды кроме третьего следует отнести к двум переходным: осенне-зимнему (первый и второй) и зимне-весеннему (третий, четвертый и пятый).

Важно отметить, что процессы, происходящие в так называемый “зимний сезон”, как правило, тесно взаимосвязаны и нельзя каждый из приведенных выше периодов рассматривать полностью обособлено. Так, например, от того как происходило замерзание реки порой зависит и характер процессов вскрытия реки.

2.2. Оценки гидравлических сопротивлений.

Водный поток подо льдом – это поток, движущийся под действием силы тяжести между двумя тормозящими поверхностями: неподвижной нижней – плоским дном и верхней – движущейся при ледоходе и неподвижной при ледоставе.

При этом он может быть:

- а) равномерным в период ледостава,
- б) неравномерным при зажорах и заторах льда,
- в) напорным в речных наледях,
- г) неустановившимся при прорыве заторов льда и зимой в нижних бьефах гидроузлов.

Одним из главных параметров такого потока является шероховатость нижней поверхности льда. Величину и характер ее изменения в течение зимы определяет тип замерзания реки. Он зависит от водности реки в период замерзания и направления ее течения относительно стран света.

Можно выделить в отдельную группу большие реки, текущие с юга на север. Это, в первую очередь, большие сибирские реки: Обь, Енисей и Лена, а также реки, протекающие по европейской территории страны: Печора, Северная Двина, Мезень и другие.

На большинстве из них наблюдается довольно интенсивный осенний ледоход (шугоход), обычно сопровождаемый образованием заторов и зажоров льда.

Ледяной покров на этих реках образуется в результате смерзания шуги и отдельных льдин различных размеров и ориентации (горизонтальных, вертикальных или промежуточных положений) и подвижек льда. Именно это приводит к большой шероховатости нижней поверхности ледяного покрова ($n_{л}$) в начале ледостава.

Немногочисленные полевые исследования на ряде рек страны (например, на Енисее и Ангаре), позволили получить графики зависимости $n_{л} = f(t)$.

Как видно на рис.3.1, значения коэффициента шероховатости ($n_{л}$) после образования ледяного покрова находятся в пределах от 0,08 до 0,12 и уменьшаются по экспоненциальной зависимости до значений 0,016-0,022 в конце зимы.

Такой характер зависимости $n_{л} = f(t)$ обусловлен замерзанием реки, сопровождаемым зажорами, нижняя поверхность которых имеет очень большую шероховатость. Затем под влиянием нарастания льда на его нижней поверхности и размыва текущей водой высота выступов шероховатости уменьшается, они как бы обтаивают, острые выступы сглаживаются, что приводит к постепенному уменьшению значений коэффициентов шероховатости.

Этот процесс практически продолжается весь зимний период и только весной перед вскрытием реки отмечается небольшое увеличение значений $n_{л}$, обусловленное изменением структуры льда.

График на рис.2.1 является типичным для рек с устойчивым ледоставом в зимний период, текущих на север.

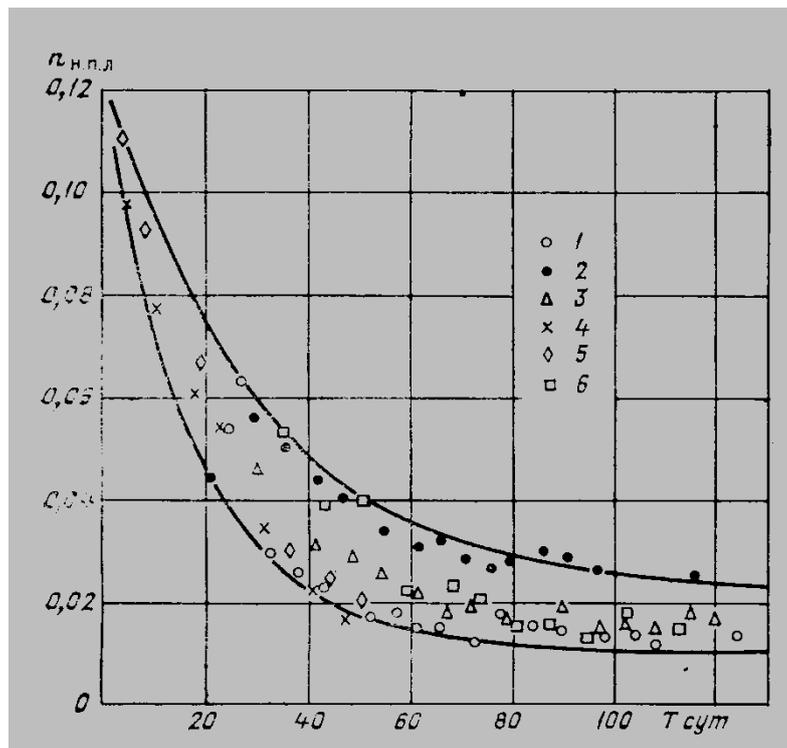


Рис 2.1. Изменение коэффициента шероховатости нижней поверхности льда в зависимости от числа суток, прошедших после установления ледостава на р.Ангара у с.Невон.

Несколько отличный процесс замерзания наблюдается на малых и средних реках, текущих с севера на юг. Замерзание их начинается с появления заберегов сначала у берегов, где скорости течения воды наименьшие.

В дальнейшем нижняя поверхность льда сглаживается и принимает волнистые очертания, подобные грядовому профилю песчаного дна. Коэффициент шероховатости постепенно снижается до конечных значений (от 0,008 до 0,012) при достаточно длительном ледоставе в течении T_l суток. Влияние фактора времени на сопротивление русла, закрытого льдом, отражает отношение $n_0/n_{зим}$. В начале ледообразования и после вскрытия реки $n_0/n_{зим}=1$.

В течение периода закрытого русла T_l соотношение коэффициентов шероховатости изменяется неоднозначно: сначала резко снижается до

минимальных значений 0,4-0,6, а затем по экспоненте приближается к предельному значению $n_0/n_{зим}=1$.

Таким образом, изменение $n_0/n_{зим}$ во времени аналитически можно описать следующим выражением:

$$\frac{n_0}{n_{зим}} = 1 - m_2 \frac{T}{T_l} e^{-5 \frac{T}{T_l}} \quad (2.1)$$

где T – время в сутках от начала ледообразования;

T_l – продолжительность зимнего периода;

m_2 – коэффициент пропорциональности.

2.3. Режим ледяного покрова в предледоходный период

Изменения в состоянии ледяного покрова в предледоходный период могут существенно влиять на характер вскрытия реки. В то же время режим ледяного покрова в конце зимы остается мало освещенным исследованиями и поэтому здесь приводятся только некоторые сведения о режиме ледяного покрова в этот период.

На реках, протекающих с юга на север, например, на р. Сев.Двине, р. Енисее и др., к моменту вскрытия ледяной покров почти полностью сохраняет свою мощность, что объясняется преобладанием в его разрушении механического фактора над тепловым.

Иначе говоря, вскрытие на таких реках совершается ранее, чем успевает проявиться в сколько-нибудь заметной мере фактор стаивания. Описываемое явление отмечено в работах Л.К.Давыдова, А.П.Бурдыкиной и получило до некоторой степени количественное определение.

На крупных реках, протекающих в широтном направлении или с севера на юг, стаивание льда до вскрытия развивается весьма продолжительное время. Так для р.Оби продолжительность периода стаивания может достигать месяц и более, а величина стаивания может изменяться в

значительных пределах от 13% до 40% относительно максимальной толщины льда за зиму.

Перед началом весеннего уменьшения толщины ледяного покрова во многих случаях происходит некоторое ее увеличение, что может произойти от образующегося наслуда.

Уменьшение толщины ледяного покрова начинается еще до того, как стаивает на нем снег, но вскрытие крупных рек, как правило совершается при очистившейся от снега ледяной поверхности.

У средних по размеру рек также просматриваются вышеуказанные закономерности режима ледяного покрова. Так, например, у рек, протекающих с севера на юг, р. Унжа и р. Ветлуга величина слоя стаивания ледяного покрова довольно значительная – порядка 10-20 см (при максимальной толщине 50-70 см). Значительно меньшее стаивание наблюдается у рек противоположного направления, например, на реке Суре, где оно в большинстве случаев составляет 1-2 см.

На малых реках указанные закономерности могут не прослеживаться, так, например, малые реки бассейна Дона: р. Мамыра, р. Московская Ряса, р. Сосна, р. Умань, протекающие в различных направлениях, вскрываются при толщине ледяного покрова, почти не уменьшенной весенним таянием.

Строительство плотин, как правило, может существенно изменять режим ледяного покрова, увеличивая толщину льда и уменьшая стаивание в верхних бьефах и вызывая обратный эффект в нижних бьефах. Так ледяной покров стал меньше стаивать в верхнем бьефе на р. Битюг у с. Бродово, например, в 1949 г. наибольшая толщина льда была порядка 72 см, а при вскрытии 70 см.

Как показал В. В. Пиотрович для рек, протекающих с севера на юг стаивание происходит не только с верхней, но и с нижней кромки льда. Вопрос о том какая доля стаивает снизу, а какая сверху остается открытым. Так М. А. Великанов оценил стаивание снизу в 30% от суммарной величины. В то же время по данным В. В. Пиотровича для р. Оки у с. Новинки

стаивание снизу в период, предшествующий очищению ледяного покрова от снега, представляет доминирующее явление.

Величина стаивания ледяного покрова с нижней поверхности зависит от интенсивности прихода тепла в реку, главным образом от грунтовых вод, от перехода механической энергии русловых вод в тепловую, от тепла грунта дна, а после схода снега с ледяного покрова и от проникающей сквозь него длинноволновой части солнечного спектра.

Теплоприход последнего рода действует кратковременно, а первые два совершаются в течение всего сезона и на реках с большими уклонами и мощным грунтовым питанием проявляются весьма интенсивно.

Такие реки даже в условиях суровой зимы обладают ледяным покровом, значительно уменьшающимся в своей мощности уже начиная с февраля.

В качестве иллюстрации можно привести следующие данные по р. Зее у урочища Зейские Ворота, на которой в этом участке в зиму 1947/48 г.г., начиная с 5 февраля, к 31 марта толщина льда уменьшилась с 122 до 32 см, причем наибольшая интенсивность стаивания (17 см за пентаду) зарегистрирована в середине марта.

Произведенный анализ сведений о величине стаивания ледяного покрова в весенний период приводит к ряду выводов:

- На реках, вскрывающихся под влиянием главным образом механического фактора, уменьшение мощности ледяного покрова если и происходит, то в незначительных размерах.
- На реках, вскрывающихся под действием одновременно механического и теплового факторов, стаивание ледяного покрова происходит на величину в 10-20% от максимальной мощности за зиму.
- На реках, вскрывающихся преимущественно под влиянием теплового фактора, стаивание льда в весенний период особенно велико – около 50% от максимальной его мощности за зиму.
- В верхних бьефах плотин образовавшийся за зиму мощный ледяной покров мало стаивает, так как вскрытие в них происходит под

влиянием механических воздействий. В нижних бьефах плотин за зиму создается пониженной мощности ледяной покров и стаивание его к весне происходит в значительных размерах.

2.4. Ледовый режим рек ЕТР (Верхнего Поволжья).

Ледовые явления на реках начинаются через 3-5 дней после перехода температуры воздуха через 0°C, в отдельные годы в зависимости от интенсивности понижения температуры воздуха длительность этого периода изменяется от 0 до 15 дней.

Первые ледяные образования – сало и забереги – появляются обычно в первой декаде ноября, почти одновременно на всех реках бассейна, независимо от величины реки и направления течения. Разница в датах появления сала и заберегов на разных реках составляет большей частью 4-10 дней. Нередко первые ледовые образования разрушаются в результате повышения температуры воздуха, и появление их наблюдается повторно.

Размеры заберегов зависят от водности реки, скорости течения и погодных условий. При сильных морозах на небольших реках со спокойным течением забереги, увеличиваясь в размерах, соединяются и образуют сплошной ледостав. Таким путём замерзают малые реки и верховья средних и крупных рек.

Осенний ледоход наблюдается не ежегодно и не на всех реках района, а преимущественно на средних и крупных (р. Волга, р. Ока, р. Клязьма, р. Сура, р. Унжа, р. Ветлуга, р. Молога и др.).

Средняя продолжительность осеннего ледохода на участках с естественным ледовым режимом составляет от 4 до 12 дней.

На участках рек, ледовый режим которых искажён попусками вышележащих водохранилищ (р. Тверца, р. Алатырь и др.) средняя продолжительность ледохода составляет около 20 дней.

Установление ледостава на реках разного размера происходит не одновременно. Крупные реки, такие как р. Ока и р. Волга вне зоны подпора замерзают позднее, чем впадающие в них притоки. Средняя продолжительность периода ледообразования 8-15 дней, а на участках с нарушенным естественным режимом или усиленным грунтовым питанием 20-40 дней.

В сроках установления ледостава прослеживается широтная зональность. Крупные реки, обладающие большим запасом тепла, замерзают на 8-12 дней позднее. Крайние ранние и поздние даты установления ледостава отклоняются от средних до 10-20 дней.

При возвратах тепла в отдельные годы может наблюдаться временный ледостав или временное вскрытие реки после установления ледостава.

Для большинства рек района характерно наличие устойчивого ледостава, средняя продолжительность которого 120-170 дней. На участках с повышенным грунтовым питанием, а также на реках в бассейнах Верхней Оки, Цны, Мокши и Верхней Суры в период ледостава отмечаются полыньи и временные вскрытия, а в отдельные тёплые зимы наблюдается неустойчивый ледостав.

Небольшая интенсивность роста толщины льда наблюдается в начале ледостава, когда снег на льду отсутствует или имеет небольшую высоту. Средняя интенсивность прироста льда в этот период 0,8-1 см/сутки, а максимальная 4 см/сутки. В последующие месяцы интенсивность прироста льда постепенно уменьшается; в январе – 0,4 см/сутки, феврале – 0,3 см/сутки, марте 0,2-0,1 см/сутки.

В середине марта рост толщины льда обычно прекращается и только в отдельные годы в марте наблюдается увеличение толщины льда за счёт образования наслуда – замерзания талой воды поверх льда.

Наибольшая толщина льда на реках наблюдается в марте: в суровые зимы – 70-90 см и 30-40 см - в тёплые.

Один из основных факторов, определяющих толщину льда на реках, является температура воздуха.

Разрушение ледового покрова (стаивание льда) начинается с момента наступления положительных средних суточных температур воздуха. Ко времени вскрытия толщина льда на реках уменьшается на 20-30%

За 10-20 дней до вскрытия появляются промоины и закраины. Вскрытие рек по району происходит более дружно, чем замерзание. Начинается вскрытие на реках Верхней Оки в первых числах апреля и заканчивается в конце месяца в верховьях левобережных притоков реки Волги.

Средняя продолжительность периода от даты перехода температуры воздуха через 0°C до даты вскрытия изменяются от 2-8 дней на реках бассейнов Верхней Оки и Суры до 10-18 дней на реках бассейнов Мологи, Костромы, Унжи и Ветлуги.

Разрушение и таяние льда обусловлено действием теплового и механического факторов.

Под действием солнечной радиации и теплообмена с атмосферой, а также тепла, приносимого тальми водами и атмосферными осадками, происходит таяние льда.

Механический фактор – подъём уровня воды, или взламывающая сила потока – нарушает целостность ледяного покрова и ускоряет процесс таяния льда.

Весенний ледоход наблюдается ежегодно на всех реках бассейна с площадью водосбора больше 300 км².

Весенние заторы льда и осенние зажоры не характерны для рек района. Осенние зажоры наблюдаются обычно в начале зимы. По данным

наблюдения на постах шуга в среднем 1 раз в 2 года отмечена на 27 реках в 52 пунктах.

Наиболее шугоносные – р. Тверца, р. Молога, р. Песь, р. Суда, р. Унжа, р. Нея и др. На реках, где наблюдается шуга, периодически образуются зажоры. Подъёмы уровня воды, вызванные зажорами, изменяются в больших пределах от 2-3 дней до 1,5-2 месяцев. Наиболее мощные зажоры были отмечены на реках Молга (1957), Тверца (1953), Ока (1947).

Глава 3. Методы учета стока в зимний период.

3.1. Особенности вычисления стока в зимний период.

В зимний и период учёт стока осложняется изменчивостью и многообразием факторов, определяющих пропускную способность русла. Появление льда и ледяных образований на реках всегда сопровождается уменьшением пропускной способности русла.

Большое значение имеют такие особенности зимнего режима рек, как характер процессов замерзания и вскрытия, устойчивость ледостава, возможность образования заторов и зажоров, закономерности изменения водности зимой.

Учет хода уровня в условиях переходных периодов и периодов временных вскрытий осложняется следующими обстоятельствами:

- Сложным влиянием ледяных образований на участке станции, отличающихся в рассматриваемые периоды большим разнообразием в качественном отношении и различным количественным развитием.
- Невозможностью в общем случае учесть степень стеснения сечения потока льдом посредством коэффициента стеснения α , поскольку сплошной ледостав наблюдается в рассматриваемые периоды редко, а если и наблюдается, то обычно сопровождается шугообразованием.
- Влиянием ледяных образований, главным образом зажоров и заторов, на нижележащем участке реки.

Переменный подпор от зажоров и заторов является фактором, наиболее осложняющим учет уровня при вычислении стока. В некоторых случаях подпор от зажора или затора может настолько резко нарушить связь между расходом и уровнем, что учет хода уровня в подпорный период становится нецелесообразным. Поэтому в переходные периоды применение изложенных выше простых приемов учета хода уровня недостаточно.

Кроме хода уровня, должен учитываться ряд других элементов гидрологической обстановки, а кроме того, могут привлекаться косвенные

соображения для уточнения вычислений в интервалах между измерениями расходов.

Рассмотрим основные варианты учёта стока.

Прежде всего проверяется возможность построения зимних кривых расхода. Для зимнего периода может быть получено несколько самостоятельных кривых, соответствующих:

- 1) переходному периоду осеннего замерзания;
- 2) периоду сплошного ледостава;
- 3) весеннему предледоходному периоду;
- 4) переходному периоду весеннего вскрытия.

При невозможности построения зимних кривых расхода наиболее простым решением задачи вычисления стока является интерполяция расходов воды в интервале между их измерениями.

Для построения зимних кривых расходов, а тем более для интерполяции измеренных расходов воды надо располагать достаточно большим количеством этих измерений, но их выполнение в холодное время года – нелёгкий труд.

Поэтому в практике учёта зимнего стока всегда стремились опираться не только на измерения расходов, но и на некоторые дополнительные физические предпосылки.

К числу таких предпосылок относится предложенная С.Колупайло относительная характеристика пропускной способности русла – переходный коэффициент $K_{зим}$.

Описание упомянутых выше методов учета стока дается в следующем разделе.

3.2. Методы, применяемые на гидрологической сети.

В настоящее время, согласно Наставлению, в зимний и переходные периоды применяются способы учета стока, перечисленные в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Способы учёта стока для различного типа зимнего режима*.

Тип 1		Тип 2	Тип 3	Тип 4
А	Б			
1. Интерполяция между измеренными расходами	$K_{зим}=f(t)$	$K_{зим}=f(t)$ в сочетании со срезкой уровней	Интерполяция между измеренными расходами	Интерполяция между измеренными расходами
2. Интерполяция между измеренными расходами с использованием $K_{зим}$	Зимние кривые расходов	$K_{зим}=f(a)$	Срезка уровней	Зимние кривые расходов
3. Зимние кривые расходов	$K_{зим}=f(a)$	Интерполяция между измеренными расходами	Восстановление уровней по графику связи с неподпорным ростом	

- * 1 тип - непрерывный ледостав (А- без оттепелей, Б- с оттепелями);
 2 тип - неустойчивый ледостав;
 3 тип - подпор от зажора;
 4 тип – перемерзание и надледи.

Интерполяция между измеренными расходами.

Применяют графическую криволинейную интерполяцию, т.е. непосредственное построение гидрографа по точкам (Q, t) измеренных расходов.

При проведении линии гидрографа необходимо стремиться к осреднению случайных отклонений значений измеренных расходов, однако это возможно только при весьма частом измерении расходов (5-6 измерений в месяц).

Кроме того, при осреднении необходимо учитывать характер питания водотока в рассматриваемый период. При отсутствии притока поверхностных вод, т.е. при выраженном спаде осреднение является

обязательным, а при колебаниях расходов разного знака осреднение не рекомендуется.

Важно отметить, что применение интерполяции между измеренными расходами прежде всего целесообразно во всех тех случаях, когда с одной стороны, учёт хода уровня не может дать уточнения вычислений, а именно при наличии переменного подпора от ледяных образований на нижележащем участке (тип 3), при движении потока поверх льда в результате перемерзания (тип 4), а с другой стороны, когда изменение расхода имеет характер монотонного однонаправленного изменения, т.е. для зимы с устойчивым ледоставом и без оттепелей (тип 1, вариант А), при постепенном уменьшении расходов (случай отсутствия поверхностного питания) и, что для нас важно, на подъеме половодья (даже если при этом имели место колебания разного знака). Но в любом случае данный способ требует значительного числа измерений.

Построение хронологического графика зимних переходных коэффициентов.

Переходный коэффициент $K_{зим}$ выражает степень нарушения связи между расходом и уровнем, свойственной свободному руслу, в результате суммарного влияния ледяных образований:

$$K_{зим} = Q_{зим} / Q_0, \quad (3.1)$$

где $Q_{зим}$ - расход воды при наличии ледяных образований;

Q_0 - расход, снятый при том же уровне с кривой расходов свободного русла.

При применении этого способа предварительно вычисляются и наносятся на график ($K_{зим}, t$) значения зимних переходных коэффициентов измеренных расходов. Затем по полученным точкам строится хронологический график зимних коэффициентов $K_{зим} = f(t)$.

Для построения хронологического графика используются схемы построения, разработанные Огиевским, предпринявшим попытку гидрометеорологического обоснования учета зимнего стока. Эти схемы построены на общих закономерностях в зависимости от температуры воздуха и гидрологических факторов.

Для периода сплошного ледостава линия графика проводится как плавная кривая, проходящая непосредственно по точкам значений $K_{зим}$; при очень частых измерениях линию графика проводят осреднённо.

Расчет стока с помощью хронологического графика зимних переходных коэффициентов целесообразен в тех случаях, когда учёт хода уровня может дать уточнение результатов вычислений, следовательно, когда колебания уровня отражают изменения расхода, и в то же время колебания расхода имеют разный знак или же происходят не плавно.

Наиболее сложным случаем является использование переходных коэффициентов в переходные периоды. Так при построении $K_{зим}$ в осенне-зимний период следует учитывать:

- а) ход температуры воздуха и осадков (по комплексному графику);
- б) сведения о характере и количественном развитии ледяных образований (балл ледохода, ширина и толщина заберегов, особенно данные о шуге и т.д.);
- в) сведения о ледовой обстановке на нижележащем участке реки, особенно сведения о заторах;
- г) ход уровня на других постах, расположенных на данной реке (по совмещенному графику);
- д) материалы вычислений стока, сведения о ледовых явлениях и комплексные графики прошлых лет

При отсутствии видимой связи между расходом и уровнем, что имеет место при зажорно-заторном режиме, использование зимних переходных коэффициентов недопустимо, так как может повлечь грубые ошибки.

Таким образом, как и в случае интерполяции расходов метод переходных коэффициентов строится на графических построениях (более сложных) и не имеет аналитического обоснования.

Вычисление зимних переходных коэффициентов с учётом стеснения живого сечения потока ледяными образованиями (методика Л.И. Ковалёва).

Л.И.Ковалев разработал достаточно общие и простые схемы расчета зимних расходов воды. В их основу была положена зависимость $K_{зим}=f(\alpha)$, где степень стеснения живого сечения потока ледяными образованиями учитывается коэффициентом α , равным отношению площади живого сечения ω потока под ледяным покровом к полной площади поперечного сечения, ограниченной сверху линией уровня воды в лунке $\omega_{полн}$:

$$\alpha = \frac{\omega}{\omega_{полн}} = \frac{(\omega_{полн}-\omega_{пл})}{\omega_{полн}} \quad (3.2)$$

Величина $\omega_{полн}$ представляет площадь живого сечения потока для данного уровня при свободном состоянии русла, а $\omega_{пл}$ – площадь погруженного льда.

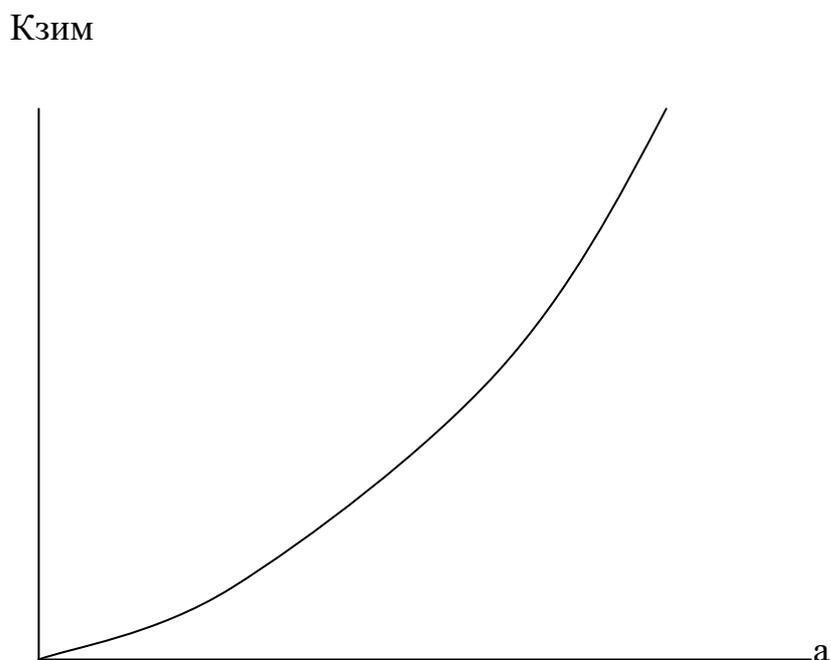


Рис. 3.1. Вид кривой $K_{зим}=f(\alpha)$

Критерием применимости способа является величина отклонения вычисленных по измеренным расходам точек ($K_{зим}$, a) для основного ледоставного периода от кривой, при отклонениях по ординате свыше +15-20% способ не может быть использован. Опыт показал, что связь $K_{зим}=f(a)$ действительна для малых и средних по водности рек и не обладает необходимой общностью.

Зимние кривые расходов.

Вычисление по зимним кривым прежде всего целесообразно использовать в целях сокращения числа измеренных расходов в период сплошного ледостава, при устойчивом ледоставе без оттепелей и для получения однозначной связи в условиях сплошного ледостава при наличии оттепелей, вызывающих увеличение расходов, но не нарушающих устойчивость ледяного покрова.

Однако нужно иметь в виду, что в данном варианте зимнего режима применение кривых оправдывает себя только для крупных рек. На средних и малых реках при рассматриваемом режиме могут иметь место колебания уровня, обусловленные только ходом ледообразования, учет которых при вычислении стока ошибочен.

Подпор от затора осложняет применение кривых, но если такой подпор носит кратковременный и ясно выраженный характер, то кривые все же могут применяться в сочетании со срезкой подпорных уровней.

Кривые расходов периода весеннего вскрытия являются кривыми неустойчивой связи, выражающими связь между расходом и уровнем, изменяющуюся во времени, вследствие постепенного убывания влияния ледообразований.

Срезка подпорных уровней за подпорный период.

Метод применяется, когда подпор от ледяных образований на нижележащем участке резко выражен, границы начала и конца подпорного

периода чётко определяются по графику уровня и в то же время указанный период не освещён измерениями расходов. Сущность рассматриваемого приёма заключается в том, что наблюдаемые уровни за подпорный период не учитываются.

Восстановление уровней по кривой связи с бесподпорным постом.

Необходимым условием для применения этого способа является отсутствие влияния подпора на уровни смежного поста, т.е. этот пост должен либо находиться ниже места возникновения подпора, либо быть вне зоны распространения подпора.

Способ применим, как правило, только в тех случаях, когда подпор от заторно-зажорных явлений возникает при свободном состоянии русла на обоих постах, так как кривая связи для несвободного состояния русла обычно не получается.

Ценность рассматриваемого приёма заключается в том, что он позволяет исключить влияние подпора даже в тех случаях, когда в подпорный период имеет место немонотонный и неплавный ход изменений расхода.

3.3. Интерполяционно-гидравлические модели.

Анализ применяемых в настоящее время методов учета стока в зимний период показал, что они в основном опираются на графические построения и имеют существенные ограничения.

Более обоснованы физически и точны интерполяционно-гидравлические модели, получившие развитие в исследованиях И.Ф.Карасева. Одним из результатов этих исследований был выход в 80 году рекомендаций по учету стока на реках в зимний и переходные периоды, разработанных отделом гидрометрии ГГИ и сотрудниками ВВУГкс под руководством И.Ф.Карасева.

Особое преимущество предлагаемых моделей состоит в возможности экстраполяции пропускной способности русла для получения оперативных

данных о расходах воды в реках. Предлагаемые физико-математические модели проверялись в частности ВВУГКС и оказались эффективней применяемых способов, но не получили распространения из-за отсутствия в то время на гидрологической сети вычислительной техники.

К настоящему времени большинство станций гидрологической сети оснащено компьютерами и имеет возможность использовать, методы учета стока требующие выполнения большого объема вычислений, что открывает перспективу повышения точности учета стока за счет внедрения современных методик и технологий, основы которых были заложены в конце прошлого века.

Поэтому возникла необходимость в обосновании перехода на новые методы. Здесь рассматриваются два метода, рекомендуемые для учета стока в зимний период на реках с устойчивым ледоставом: регрессионно-гидравлическая модель (РГМ) и модель, предназначенная для расчета ветви подъема гидрографа.

Регрессионно-гидравлическая модель.

Данная модель использует уравнение регрессии, предикторами которого являются факторы, определяющие величину $K_{зим}$:

- фактор шероховатости, представленный как фактор времени, тем самым учитывается закономерность изменения гидравлических сопротивлений в зимний и переходные периоды

$$x_1 = \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}}, \quad (3.3)$$

где T – время в сутках от начала ледообразования;

T_l – продолжительность зимнего периода

- факторы, отражающие степень стеснения русла льдом

$$x_2 = \frac{\omega_l}{\omega_0}; \quad x_4 = \frac{\omega_l^2}{\omega_0^2}, \quad (3.4)$$

где ω_l – площадь погруженного льда;

ω_0 – полная площадь сечения

- смешанные факторы

$$x_3 = \frac{\omega_l}{\omega_0} \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}}; \quad x_5 = \frac{\omega_l^2}{\omega_0^2} \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}}; \quad (3.5)$$

Таким образом, получаем уравнение множественной линейной регрессии

$$y = K_{зим} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5. \quad (3.6)$$

Включение в модель РГМ нелинейных членов (x_3 и x_5) считается весьма целесообразным, так как показано, что оно существенно расширяет возможности регрессионного анализа.

В уравнении (3.6) непосредственно не учтены факторы, определяющие процесс вскрытия ото льда: механическое воздействие воды на ледяной покров, нарушающее его целостность, и тепловое разрушение льда под действием солнечной радиации и положительных температур воздуха. Их физическая оценка чрезвычайно затруднена.

В структуре уравнения (3.6) совместное проявление механического и теплового факторов вскрытия рек в порядке первого приближения учтено фактором времени.

Для получения режимных данных учета стока предлагается использовать как годовые зависимости (полученные по данным измерений текущего года), так и многолетнюю зависимость (полученную по всей совокупности наблюдений) или многолетние зависимости (полученные с учетом суровости зимы). При этом параметры уравнения определяются по данным измерений всего зимнего периода.

Модель спада зимних расходов и истощения стока

Одна из особенностей гидрографа в устойчивые зимы без оттепелей – спад расходов воды по мере убывания запасов влаги в бассейне реки. На основе этой физической тенденции построена одна из моделей гидрометрического учёта стока.

Уменьшение расходов воды с наступлением межени, в том числе и зимней, происходит по экспоненциальному закону. Он впервые был получен Буссинеском, как частное решение линеаризованного уравнения неустановившегося движения грунтовых вод при большой мощности водоносного пласта.

В действительности же подземное питание рассредоточено по различным водоносным горизонтам, располагающимся на разных высотах. Применительно к этим условиям кривая спада гидрографа стока эффективно описывается формулой, выведенной Буссинеском как решение дифференциального уравнения фильтрации

$$Q=Q_0/(1+\alpha_0 T)^2 \quad (3.7)$$

где α_0 – константа истощения грунтового питания, T – время.

Уравнение (3.7) относится к отдельному водоносному горизонту, при этом за Q_0 принимается расход, при котором река переходит на подземное питание.

Для рек с относительно малыми потерями стока на ледообразование при отсутствии интенсивного уменьшения расходов в начальный период ледостава будем иметь:

$$Q_0/Q=1+2 \alpha_0 T+ \alpha_0 T^2 \quad (3.8)$$

Ветвь подъема гидрографа стока требует особой аппроксимации. Задача упрощается тем, что нарастание расходов воды в предвесенний период во многих случаях описывается монотонной кривой. В данном случае в качестве отправной величины служит минимальный расход воды, измеренный в начале подъема гидрографа, а ветвь подъема аппроксимируется зависимостью:

$$Q_t = Q_{\text{мин}} * e^{(a_0 + a_1 T)} \quad (3.10)$$

где T – время в сутках от начала подъема,

a_0, a_1 – коэффициенты регрессионного уравнения:

$$\ln(Q_t / Q_{\text{мин}}) = a_0 + a_1 T \quad (3.11)$$

Как показали численные эксперименты указанная зависимость неплохо аппроксимирует начало подъема гидрографа, но как правило существенно занижает расходы воды в период вскрытия, несомненно лучшие результаты для периода вскрытия дает модель РГМ.

3.4. Метод основанный на применении параметра Великанова.

Гидравлическое сопротивление движению руслового потока в зимний период значительно меняется, особенно в период вскрытия. На постах гидрологической сети измеряются уровни H , расходы Q , толщина льда и температура воды t , но, как правило, не выполняются измерения уклонов I и тем более не оцениваются коэффициенты шероховатости n , служащие основной характеристикой сопротивления русла, поэтому для оценки гидравлических сопротивлений целесообразно использовать комплекс:

$$m = \sqrt{I/n} = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}} \quad (3.12)$$

где ω площади живого сечения потока под ледяным покровом,

B – ширина русла;

Комплекс $m = \sqrt{I/n}$ играет особую роль в динамике русловых потоков. Его использовал М.А.Великанов при разработке метода построения плана течений, а в гидрометрии он принят в качестве основополагающего параметра интерполяционно-гидравлических моделей расходов воды. Особенность комплекса m (он получил название параметр Великанова) состоит в том, что при однородной шероховатости русла он сохраняет относительное постоянство, независимо от колебаний расходов воды.

В нашем случае посредством использования параметра Великанова открывается возможность: во-первых, учета изменения гидравлических

сопротивлений в зимний период (в том числе при вскрытии реки); во-вторых, получения расходов воды, при этом формула для вычисления ЕРВ имеет следующий вид:

$$Q = \frac{m\omega^{5/3}}{B^{2/3}} \quad (3.13)$$

где величины ω и B , определяются для каждого расчетных суток по среднесуточным уровням H на основе зависимостей $\omega(H)$ и $B(H)$ (получаемых для каждого створа), а параметр m находится по результатам линейной интерполяции значений m , определяемых по данным измерений расходов воды.

Глава 4. Анализ результатов расчетов

Для дальнейшего обоснования применения новых методов в данной работе продолжена апробация модели РГМ и проверялась возможность применения параметра Великанова при вычислении стока в зимний период. С этой целью выполнены сравнительные расчеты для 5 рек, протекающих на Европейской территории России. При этом использовались данные наблюдений на реках с устойчивым ледоставом.

Предварительно, на основе значений параметра Великанова, полученных по данным измерений расходов воды, производилась оценка изменения гидравлического сопротивления в зимний период (таблица 4.1).

Анализ этих оценок показывает, что в большинстве случаев характерно закономерное уменьшение значения параметра Великанова, это свидетельствует о значительном изменении гидравлических сопротивлений в зимний период.

Таблица 4.1 Динамика изменения параметра Великанова (m)

№	река-пост	год	при своб. русле		в начале ледост.		при устойчивом ледост.		
			m	dm	m	dm	m	m min	dm
1	р.Ветлуга-Ветлужский	1970	0,3554	0,0005	0,3549	0,0929	0,2620	0,2088	0,0532
2	р.Зуша-Мценск	1970	0,4070	0,0685	0,3385	0,0199	0,3186	0,3179	0,0007
3	р.Ловать-Холм	1968	0,3499	0,0587	0,2912	0,0592	0,2320	0,2309	0,0010
4	р.Полисть-Подтополье	1970	0,2581	0,0074	0,2507	0,0607	0,1900	0,1808	0,0091
5	р.Молога-Устина	1970	0,3809	0,0173	0,3637	0,0876	0,2761	0,2480	0,0281

При вычислении стока в зимний период в отдельные годы (выбирались годы, достаточно освещенные измерениями расходов воды), сравнивались способы: метод переходных коэффициентов (данные ГЕ), регрессионно-гидравлическая модель и метод, основанный на интерполяции параметра

Великанова. Для оценки эффективности методов выполнялся вариант расчета при наличии данных измерений расходов воды.

Метод переходных коэффициентов, являющийся основным из применяемых в настоящее время методов, рассматривался как реперный. Хотя очевидно, что более физически обоснованные новые методы (РГМ и интерполяция m) в отдельные периоды (например, в период вскрытия) могут давать более точные результаты.

Таким образом при наличии измерений РВ в качестве эталонных принимались ежедневные расходы воды, приведенные в гидрологическом ежегоднике ($Q_{ге}$).

Расчетное уравнение регрессионно-гидравлической модели получалось по данным измерений не за весь период ледовых явления, как рекомендуется разработчиками метода, а только за расчетный осенне-зимний период, включающий период свободного русла, начала ледостава и устойчивого ледостава. Как показали численные эксперименты в этом случае возможно использование только четырех и менее факторов. Параметры модели РГМ при полном и сокращенном числе измерений приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Параметры модели РГМ при полном и сокращенном числе измерений

№	река-пост	год	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	R	σ %
1	р.Ветлуга-Ветлужский	1970	-0,72	24,36	-1,49	0	-0.629	0	0,88	11,6
2	р.Зуша-Мценск	1970	0,92	0,00	-0,22	0,15	0.049	0	0,89	11,5
3	р.Ловать-Холм	1968	1,15	0,79	-2,67	0	-0.198	0	0,91	10,3
4	р.Полисть-Подтополье	1970	1,08	-13,17	2,49	1,7	1,3	0	0,97	4,8
5	р.Молога-Устина	1970	-0,04	0,000	4,41	1,1	0.04	0	0,84	18

Вычисление стока на основе параметра Великанова производилась следующим образом:

- на каждый день измерения расхода воды, вычислялось значения параметра m ;

- для дней между измерениями РВ параметра m определялся посредством линейной интерполяции
- для дней между измерениями РВ по значению среднесуточного уровня по зависимостям $\omega(H)$ и $B(H)$ (построенным для каждого створа) определялись значения площади живого сечения потока (ω) и ширины русла (B)
- расход воды на данные сутки вычислялся по формуле:

$$Q = \frac{m\omega^{5/3}}{B^{2/3}} \quad (4.1)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 4.3, где сравниваются средние за осенне-зимний период расходы, приведенные в ежегоднике ($Q_{ег}$) и рассчитанные: по модели РГМ ($Q_{ргм}$) и на основе линейной интерполяции параметра Великанова ($Q_{инт.м}$) и измеренных расходов воды ($Q_{инт.РВ}$).

Таблица 4.3 Результаты расчета стока в осенне-зимний период

№	река-пост	год	$Q_{ег}$	$Q_{ргм}$ М	σ	$Q_{великано}$ В	σ	$Q_{кзи}$ М	σ
1	р.Ветлуга-Ветлужский	1970	53,32	47,44	11,66	53,78	4,65	52,73	4,10
2	р.Зуша-Мценск	1970	13,43	12,15	11,54	13,47	4,90	12,37	10,79
3	р.Ловать-Холм	1968	60,56	63,30	10,33	60,27	4,80	61,25	6,41
4	р.Полисть-Подтополье	1970	5,39	5,33	4,83	5,08	7,38	5,38	3,33
5	р.Молога-Устина	1970	37,92	33,26	18,23	38,28	6,09	40,05	6,17

Сопоставление результатов расчета по модели РГМ с данными ГЕ свидетельствует, о не достаточной близости результатов, так как относительные расхождения (σ) варьировали в пределах 10,3-50,9% и в среднем составили 21,5%.

Примеры расчетов гидрографов по модели РГМ, методом линейной интерполяции параметра Великанова и методом переходных коэффициентов $K_{зим}$, сопоставленные с гидрографом, построенным по данным гидрологического ежегодника представлены на рисунках 4.1, 4.2 и 4.3.

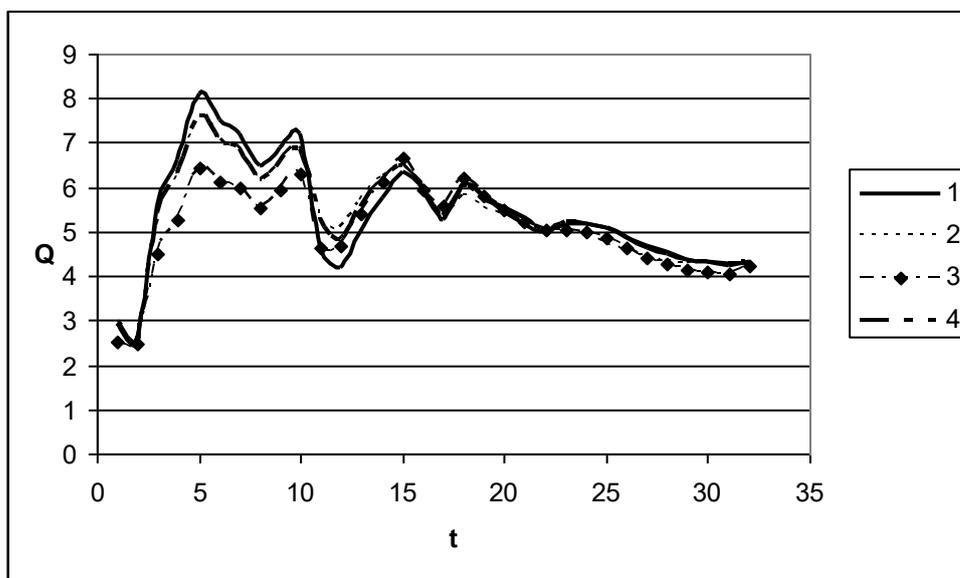


Рис.4.1. Гидрограф р.Полисть-д.Подтополье в зимний период, 1970 г.
1 – данные ГЕ; 2 – РГМ; 3 - интерполяция m ; 4- интерполяция $K_{зим}$;

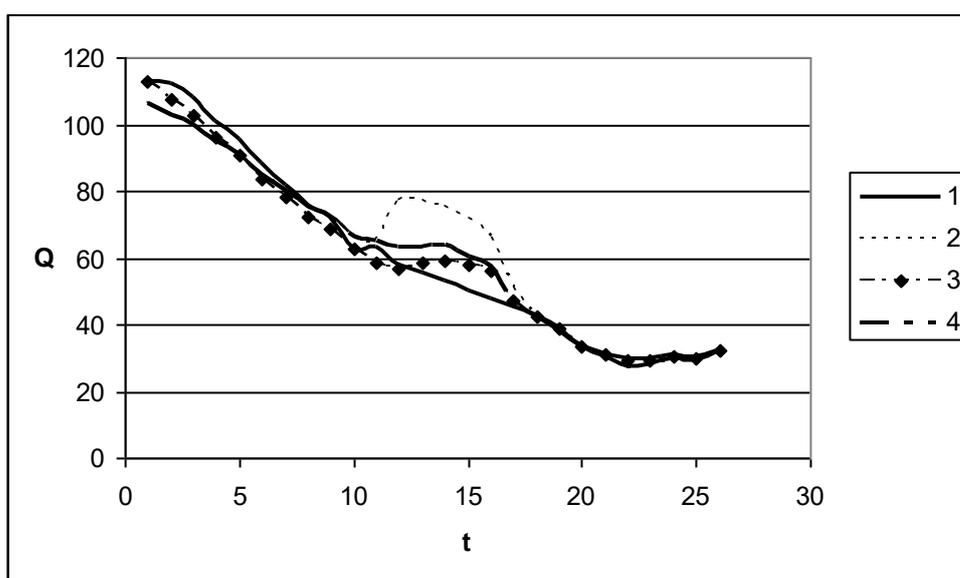


Рис.4.2. Гидрограф р.Ловать – г.Холм в зимний период, 1968 г.

1 – данные ЕГ; 2 – РГМ; 3 - интерполяция m; 4- интерполяция Кзим

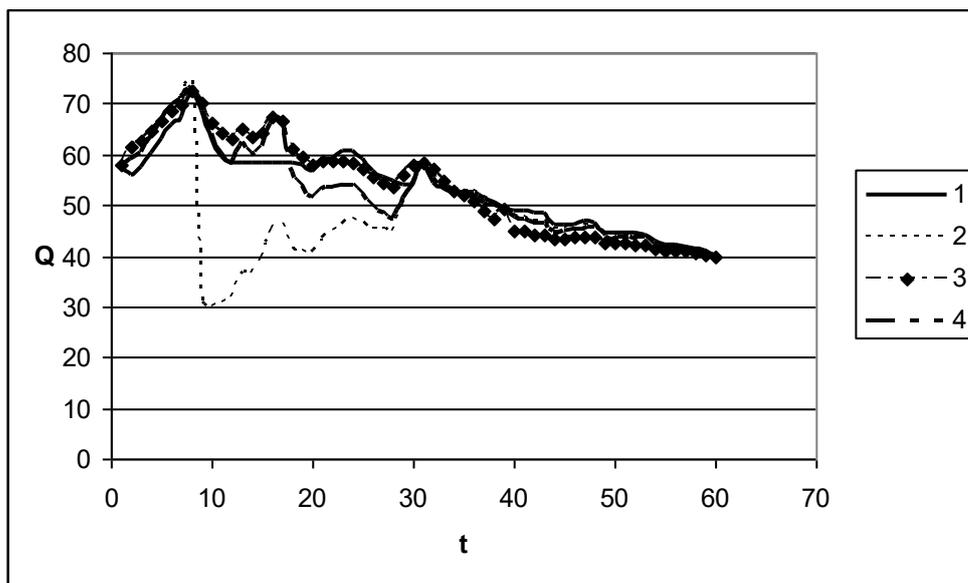


Рис.4.3. Гидрограф р.Ветлуга-п.Ветлужский в зимний период, 1970 г.
1 – данные ГЕ; 2 – РГМ; 3 - интерполяция m; 4- интерполяция Кзим

Заключение

Выполненный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- применяемые на сети методы вычисления стока в зимний период (переходных коэффициентов), могут давать существенные погрешности при учете стока и мало пригодны для использования в компьютерной технологии вычисления стока, так как сводятся к графическим построениям и во многом опираются на опыт специалиста.
- модель РГМ хоть, и более физически обоснована, и должна достаточно адекватно описывать изменение гидравлических условий в зимний период, но надежных результатов для большинства рек по ней получить не удалось. Возможно это произошло из-за изменения гидравлического режима этих рек или неточности исходных данных (в частности толщины льда в период заберегов и начала ледостава и соответственно площади сечения ледяного покрова).
- параметр Великанова позволяет оценить характер изменения гидравлического сопротивления русла в зимний период.
- вычисление стока на основе интерполяции параметра Великанова дает надежные результаты при нормативном числе измерений расходов воды в переходный период (4-6 расходов в месяц); для повышения точности метода при недостаточном числе измерений необходима дальнейшая его апробация.
- метод, основанный на интерполяции параметра Великанова, следует рекомендовать в качестве наиболее рациональной математической основы для компьютерной технологии вычисления стока в зимний период.

Список использованной литературы

1. Векшина Т.В., Большаков В.А. Математическая модель влияния зарастания на гидравлические сопротивления речных русел // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право / Вып. 3 (21) / Под ред. д.т.н., проф. Истомина Е.П. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом» – 2017 г – С. 145-147
2. Векшина Т.В., Большаков В.А. Оптимизация гидрометрического учета стока зарастающих рек//Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов 29 апреля 2017 г. по материалам XVI международной научно-практической конференции/ Под общ. Ред. А.В. Туголукова – Москва: ИП Туголуков А.В., 2017 – 259с.
3. Догановский А.М. Гидрология суши (общий курс). – СПб.:РГГМУ, 2012. – 524 с.
4. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 314 с.
5. Карасев И.Ф. Математические модели гидрометрического учета речного стока.- Труды ГГИ, 1978, вып.256, с.3-35.
6. Карасев И.Ф., Коваленко В.В. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии.- СПб.: Гидрометеиздат, 1994
7. И.Ф.Карасев, И.Г. Шулепов. Гидрометрия. - Ленинград,Гидрометеиздат,1985.
8. А.А. Лучшева. Практическая гидрометрия. - Ленинград, Гидрометеиздат,1983.
9. Р.А. Нежиховский. Типы замерзания рек и типы зажоров льда. - Метеорологи и гидрология. N2, 1974.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып.6, ч. 3 - Л.: Гидрометеиздат, 1978.
11. Нежиховский Р.А. Коэффициенты шероховатости нижней поверхности шуголедного покрова.- Труды ГГИ, 1964, вып.110, с.15-35.

12. Ковалев Л.М. Расчеты зимнего стока рек с ледяным покровом. - М., Л.: Гидроэнергоиздат, 1950. – 104 с.
13. Нежиховский Р.А. Типы замерзания рек и типы зажоров льда. – Метеорология и гидрология, 1974, №2, с.68-74.
14. Панов Б.П. Зимний режим рек СССР. – издательство ЛГУ, 1960. - 239 с.
15. Пиотрович В.В. Аминова В.Я. Расчет толщины ледяного покрова на реках и водохранилищах для целей прогноза ледовых явлений. - В кн. Труды IV Всесоюзн. гидролог. Съезда. Т.7. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с.288-295.
16. Румянцев В.А., Зорин М.В. Некоторые особенности применения аппарата множественной линейной регрессии при построении нелинейных моделей. – В кн. Труды IV Всесоюзн. гидролог. Съезда. Т.7. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с.30-40.
17. Рязанов В.С. Вычисление стока воды в зимний и переходные периоды. – Метеорология и гидрология, 1980, №7.
18. Соколов Б.Л. Наледи и речной сток. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 190 с.
19. Чалов Р.С. Общее географическое и инженерное русловедение: предмет исследований и положение в системе наук. Вестн. Моск. Ун-та. Сер.5, География. 1992, №6, с.10-16.
20. Фромберг А.Э. Экономическая и социальная география. – 2011г.
21. Гладкий Ю.Н., Доброскок В.А., Семенов С.П. Экономическая география России: Учебник – М.: Гардарики, 2000г.
22. Экономическая и социальная география России: Учебник для вузов/Под ред. проф. А.Т. Хрущева. – М.: Дрофа, 2001г.
23. Российский статистический ежегодник. 2011: Стат.сб./Госкомстат России. – М., 2002г
24. <http://elib.rshu.ru>