



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

Тема: Методы ускоренных измерений расходов воды на
основе линейных интерполяционно-гидравлических
моделей

Исполнитель

Хромова Екатерина Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

К.Г.Н. ДОЦЕНТ
(ученая степень, ученое звание)

Субботина Елена Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

«Зачитаю»
Заслуживший кафедрой

К.Г.Н. ДОЦЕНТ
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

30.06 2016г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Местоположение гидрометрического створа	6
2 Природные условия Кольского полуострова	7
2.1 Общие сведения	7
2.2 Геологическое строение и рельеф	8
2.3 Климат	10
2.4 Почвенный покров	12
2.5 Растительный покров	14
3 Общая характеристика водных объектов Кольского полуострова	16
3.1 Гидрография	16
3.2 Водный режим рек	18
3.3 Распределение стока по территории Кольского полуострова	19
4 Описание водосбора и гидрографической сети в бассейне р. Умба	21
4.1 Краткая физико-географическая характеристика р. Умба	21
4.2 Особенности гидрологического режима р. Умба	23
5 Методы ускоренных измерений расходов воды	25
5.1 Линейно-детерминированная модель расхода воды «ЛДС»	26
5.2 Линейные интерполяционно-гидравлические модели расхода воды «ЛИГ»	27
5.3 Вероятностно-гидравлическая модель расхода воды «ВРГ»	35
6 Расчетная методика и результаты вычислений	39
6.1 Анализ исходных данных	39
6.2 Описание водомерного поста р. Умба – порог Паялка	41
6.3 Методика расчета расходов воды по «ЛДС», «ЛИГ» и «ВРГ» моделям	43

6.4	Краткий обзор гидрологических и метеорологических данных	57
6.5	Анализ результатов	58
	Выводы	59
	Список использованной литературы	60
	Приложение	62

Введение

В настоящее время огромное внимание уделяется охране окружающей среды и рациональному использованию всех видов земных ресурсов, в том числе и водных. Учёт водных ресурсов является, одной из важнейших задач в современных условиях. Очень важно обеспечить их всестороннее изучение и государственный учет. Необходимо точно знать, где и в каком объеме требуются водные ресурсы, каков объем забора и возврата воды, а также то количество воды, на которое можно рассчитывать в каждом рассматриваемом районе. Запасы водных ресурсов в различных речных бассейнах определяют в результате постоянных гидрологических наблюдений, а также теоретических и экспериментальных исследований в области гидрологии, гидравлики расчетов комплексного использования. Огромный вклад в наблюдении и изучении за водными ресурсами возложен на сеть гидрологических постов расположенных на всей территории России. Большое внимание на гидрологических станциях и постах уделяется наблюдению за уровнями и температурой, а также измерениям расхода воды.

Расходы воды определяются различными способами, в основном зависящими от вида движения жидкости (напорное или безнапорное) и величины расхода. Самые точные способы - весовой и объёмный, которые изучались в курсе «Методы и средства гидрометеорологических измерений», однако они применимы только для определения малых расходов воды.

Одним из наиболее распространённых видов измерения расходов воды на сети гидрологических постов является метод «скорость-площадь» с применением гидрометрических вертушек; где река по ширине разбивается на участки, так называемыми скоростными вертикалями. На каждом участке измеряют площади водного сечения и вычисляют средние скорости

течения между скоростными вертикалями. В последующем определяют расход воды в реке с использованием зависимости:

$$Q = w_{(i-1)} v_{cp(i-1)} + w_i v_{cpi} + w_{(i+1)} v_{cp(i+1)} + \dots;$$

где Q – расход воды в заданном створе реки, м³/с;

w_i – площадь водного сечения (живого сечения) между промеренными вертикалями глубины, м²;

v_{cpi} – средняя скорость течения воды в данном отсеке между промерными вертикалями, м/с.

Однако такие измерения связаны с большими затратами времени и труда наблюдателей. Что касается погрешности измеренных расходов воды, как мгновенной характеристики потока, то при неустановившемся режиме, она возрастает с увеличением длительности измерений расхода. Таким образом, необходимость оптимизации измерений расходов воды предопределяется как требованиями сокращения трудовых затрат на их выполнения, так и задачей повышения точности получаемых результатов. При решении этой задачи важная роль отведена сокращенным или ускоренным измерениям расходов. Целью нашей работы является оптимизация методов ускоренных измерений расходов воды на основе линейных интерполяционно-гидравлических моделей, при применении наиболее распространенного метода «скорость-площадь», с учетом особенностей кинематической структуры потока и его гидравлических характеристик. При этом ставится условие, чтобы погрешность измерения расхода воды не превышала допускаемую.

Для этого рекомендуются экспресс измерения на основе интерполяционно-гидравлических моделей расхода воды. Основные из которых (ЛИГ и ВРГ), приняты нами для исследования на основе натурной информации.

Рассмотрим более детально несколько сокращенных способов измерения расходов воды, для отдельно взятой реки Умба протекающей на Кольском

полуострове. Попробуем определить, как действуют и на чем основываются данные способы, оценим достоинства и недостатки этих методов к данной территории России.

1 Местоположение гидрометрического створа

Умба — посёлок городского типа в Мурманской области.

Административный центр и крупнейший населённый пункт Терского района и городского поселения Умба. Посёлок расположен на берегу Белого моря в Кандалакшском заливе, в устье реки Умба (рисунок 1).

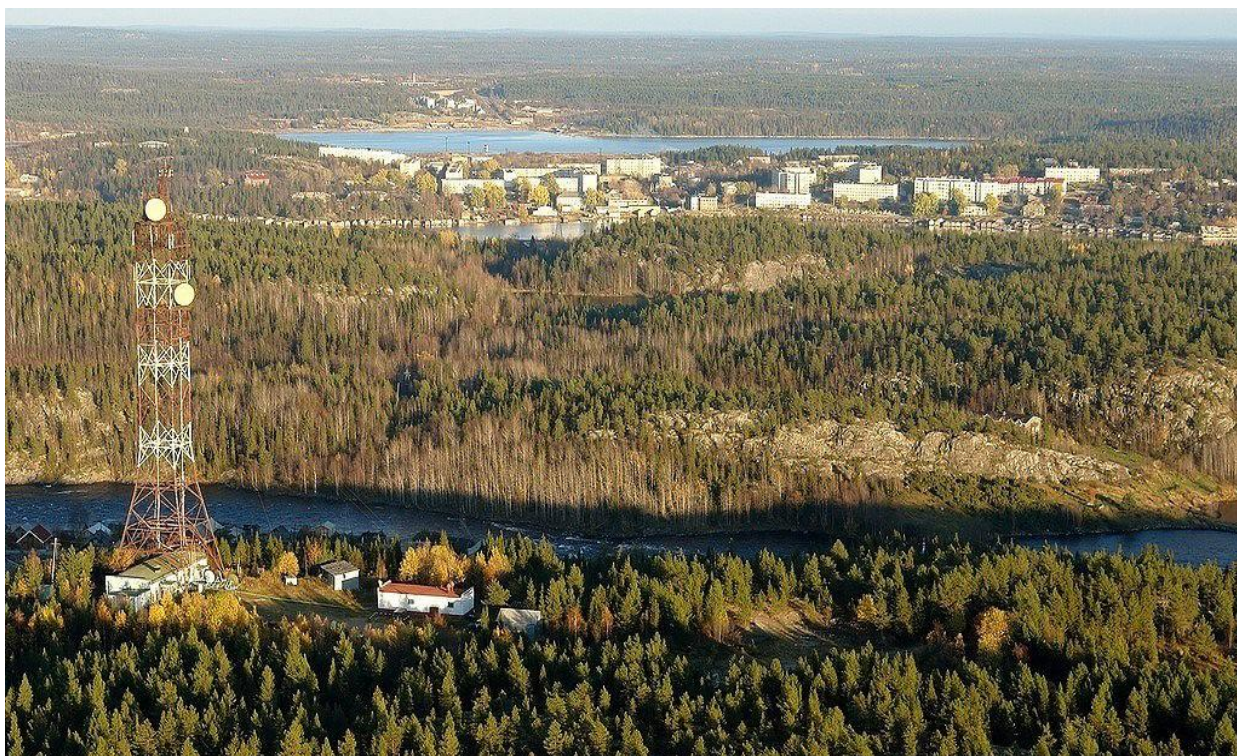


Рисунок 1 - Общий вид посёлка Умба расположенного на берегу Белого моряКандалакшского залива в устье реки Умба

2 Природные условия Кольского полуострова

2.1 Общие сведения

Кольский полуостров расположен на крайнем северо-западе Европейской территории России. С трех сторон - севера, востока и юга – полуостров омывается Баренцевым и Белым морями, образующими его естественно-географические границы; на западе граница рассматриваемой территории совпадает с государственной границей России с Норвегией и Финляндией, на юге она проходит между границей и Белым морем, по южному водоразделу бассейна реки Нивы. Общая площадь территории составляет 130 000 км², большая ее часть расположена за Полярным кругом.

В административном отношении рассматриваемая территория принадлежит к Мурманской области. Гидрометеорологическое обслуживание осуществляется ФБ ГУ Мурманским УГМС (рисунок 2).



Рисунок 2 - Карта Кольского полуострова
и Кандалакшского залива Белого моря

2.2 Геологическое строение и рельеф

Территория Кольского полуострова занимает восточную часть Балтийского щита, сложенного породами кристаллического фундамента и рыхлыми четвертичными отложениями.

Четвертичные отложения представлены комплексом ледниковых образований верхнечетвертичного возраста: основной мореной, песчаными водно-ледниковыми отложениями (зандры, озы, флювиогляциальные дельты), торфяниками, крупнообломочными элювиальными и делювиальными образованиями горных районов, песчано-глинистыми морскими и озерными отложениями. Наибольшее распространение имеют валунные пески и супеси основной морены.

Распространение того или иного комплекса указанных выше пород обуславливает развитие в них определенных форм рельефа.

В целом значительная расчлененность Кольского полуострова тесно связана с геологической историей Балтийского кристаллического щита. В формировании современной поверхности района выделяют два основных периода:

- а) доледниковый, в течение которого были созданы основные формы поверхности кристаллических пород, котловины больших озер и крупные возвышенности;
- б) ледниковый и послеледниковый, главными рельефообразующими факторами которого являлась ледниковая эрозия, аккумуляция и последующая деятельность позднее- и послеледниковых озер и морей.

Большое количество разломов и трещин на данной территории указывает на важную роль сбросовых явлений и расколов в формировании рельефа в первый период. К местам пересечения основных тектонических линий приурочены наиболее пониженные участки суши, заполненные чаще всего озерами, а также наиболее глубокие впадины в окружающих морях.

Неоднократное оледенение территории во второй период несколько сгладило резко выступающие формы, но в основном не изменило доледниковый рельеф.

В период таяния ледника между его краем и конечными моренами талые воды образовали крупные языковые бассейны, остатками которых являются мощные покровы ленточных глин и горизонтально-слоистых песков, отмеченные в среднем течении реки Стрельна и в верхнем и среднем течении реки Варзуги. Образование слоистых глин встречаются и по среднему течению рек Умбы и Нивы. Громадные болотные массивы в верхних реках Поноя, Стрельны и Варзуги, по всей вероятности также являются остатками крупного древнего водоема.

Крупная депрессия Кольского полуострова, расположенная на западе представляет собой цепь низменностей, сильно заболоченных и прерываемых невысокими холмами и грядами. Эта низина протягивается вдоль северного поднятия Хибинских и Ловозерских тундр и переходит далее в центральный болотный массив в верховьях рек Поноя и Варзуги. Территория Кольского полуострова по орографическому признаку делится на три провинции.

Западная провинция (до меридиана рек Воронья – Умба) характеризуется горным рельефом с амплитудами относительных высот более 1000 м. В центре ее сосредоточены все основные горные системы с абсолютными высотами до 1000 – 1200 м: Хибинские и Ловозерские массивы, Сальные, Волчьи, Монче, Чуна и другие тундры. Они чередуются с глубокими впадинами, занятыми озерами и болотами. Среди озер наиболее крупными являются Имандра, Умб-озеро, Ловозеро, озера Нижняя и Верхняя Пиренга, Нот-озеро, Колветское.

Глубокой меридиональной впадиной по линии Кольский залив – Кандалакшский залив провинция делится на две части: материковую и полуостровную (Кольского полуострова).

Северо-восточная провинция ограничивается на юге грядой Большие Кейвы.

Провинция характеризуется увалистым рельефом с амплитудами относительных высот до 150 – 250 м. и обилием озер.

Юго-восточная провинция (к югу от гряды Большие Кейвы) характеризуется равнинным рельефом с абсолютными высотами в основном менее 200 м. и амплитудами относительных высот в пределах 20 – 50 м. Только некоторые вершины достигают здесь 300 м. и немного больше. Провинция имеет общий незначительный уклон к югу. Приморские части обычно террасированы.

Юго-восток провинции характеризуется обилием ледниковых форм рельефа: конечно-моренных гряд, камов, озов, зандровых конусов и т.п.

2.3 Климат

Климат Кольского полуострова находится под смягчающим влиянием окружающих его морей и особенно запасов тепла, приносимых северной ветвью теплого течения Гольфстрим. Благодаря этому Баренцево море у города Мурманска не замерзает. Термический режим южного побережья полуострова несколько суровее, т.к. Белое море зимой покрывается льдом. При удалении вглубь полуострова влияние морей довольно быстро исчезает.

Поскольку климатические условия в значительной степени связаны с рельефом и в особенности с высотой местности над уровнем моря, в горных частях района наблюдается зональность: падения температуры воздуха, увеличение осадков, силы ветра и продолжительности залегания снежного покрова с возрастанием высоты местности.

Характерной особенностью погоды является ее неустойчивость и резкая изменчивость, вызываемая частой сменой воздушных масс, перемещением циклонов и фронтов.

На побережье зима продолжается в течение шести месяцев (ноябрь – апрель), а в центральной части до 7 месяцев (октябрь – апрель). Среднемесячная температура в этот период изменяется от -2 до -14°C. Самыми холодными месяцами в году считаются январь – февраль, а теплыми июль – начало августа.

Май и октябрь – переходные месяцы. Теплый сезон продолжается 4 месяца; среднемесячная температура наиболее теплого месяца – июля не превышает +13 – +14°C, при этом довольно часто наблюдается возвраты холодов и заморозков.

Годовое количество осадков для большей части территории составляет 550 - 600 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в горах до 1000 мм и более. Весьма неравномерно распределяются осадки в центральных и западных частях полуострова, где расположены основные горные массивы, на равнинных территориях полуострова распределение осадков происходит более равномерно.

В течение года осадки выпадают неравномерно. Большая часть их, примерно 60% годовой суммы, выпадает на теплый период. Наименьшее количество осадков выпадает в марте, в горах в апреле; наибольшее в августе, в горах в сентябре. За холодный период выпадает 40% осадков, при этом наибольшее их количество наблюдается во внутренней возвышенной части полуострова.

Снежный покров образуется в среднем в первых числах ноября, в горных районах с увеличением высоты установление снежного покрова наблюдается раньше примерно на 3 – 4 дня на каждые 100 м подъема. Разрушение снежного покрова наблюдается в среднем в первой декаде мая, с запаздыванием в горах на 3 – 4 дня на 100 м подъема. Наибольшие запасы воды в снежном покрове накапливаются к концу марта началу апреля. Высота в этот период, на большей части территории составляет в среднем от 60 до 80 см, а в отдельные годы и до 100 см и более. Максимальная плотность снега достигает 0,20 – 0,26, запас воды в снеге на

лесных маршрутах составляет в среднем 120 – 180 мм и на полевых 100 – 160 мм.

В горах высота снега значительно больше примерно 150 – 250 см при плотности 0,30 – 0,40 и выше; запас воды в снеге составляет 300 – 600 мм и больше. Снег в горах распределяется очень неравномерно вследствие ветрового снегопереноса. Отлагается снег у различных препятствий, в углублениях рельефа, на подветренных склонах, затем он уплотняется. Такие снегонакопления могут достигать по высоте весьма больших размеров, часть из них представляет собой снежники, полностью не тающие в течение всего года.

Годовой приход суммарной радиации на территории полуострова колеблется от 55 – 60 ккал/см² в северной, и до 75 ккал/см² в южной части. При этом под влиянием переноса воздушных масс с Баренцева моря западная часть полуострова получает несколько больше солнечного тепла, чем восточная. В центральной части территории по сравнению с западной и восточной ее частями наблюдается повышение величины радиации.

В сумме за год деятельной поверхностью отражается от 25 до 35% поступающей солнечной радиации. Примерно в таком же процентном соотношении изменяется и эффективное излучение. Таким образом, на долю радиационного баланса на большей части территории приходится 35 – 40% суммарной радиации. В абсолютных величинах радиационный баланс составляет 20 - 30 ккал/см² и увеличивается с севера на юг.

2.4 Почвенный покров

Но Кольском полуострове получили развитие почвы четырех типов: тундровые, подзолистые, болотные, в небольшой степени дерновые и производные от них: подзолисто-болотные или дерново-подзолистые.

Тундровые почвы свойственны зоне тундр, а также горным вершинам и склонам, поднимающимся над границей лесной растительности. Почвы этого типа относятся к начальной стадии почвообразовательных процессов и представлены в основном примитивными горно тундровыми почвами, которые развиваются почти исключительно на обломках коренных пород. Слой их редко достигает 10 см., и они никогда не покрывают значительных пространств, часто образуя пятна площадью в несколько квадратных метров.

Тундровые мелкоземистые почвы сравнительно редки на Кольском полуострове и распространены на ледниковых отложениях востока полуострова, на предгорьях Кейв.

Наиболее характерными для Кольского полуострова являются подзолистые почвы. К подзолам относится большая часть минеральных почв территории. Они развиваются на любых породах (кроме элювия) в зоне тайги, в подзоне лесотундры, часто встречаются в тундровой зоне, там где нет избыточного увлажнения. На Кольском полуострове типичны подзолы с мощностью слоя 15 – 50 см; маломощные подзолы слоем менее 15 см. встречаются в предгорьях Хибин и некоторых других местах, подзолы большой мощностью (слоем более 50 см.) мало распространены и встречаются в основном в низинах. Особое место занимают суглинистые подзолы, развитые на берегу Белого моря, в районе сел Стрельна и Тетрино.

Болотные почвы на Кольском полуострове распространены на очень больших площадях, образуя массивы в несколько сотен квадратных километров. Они занимают не только впадины, но и широкие плоские равнины, встречаются и на пологих склонах. Большая часть болотных почв, территории характеризуется слаборазложившимся торфом, очень кислым, низко насыщенным основаниями.

Небольшие площади Кольского полуострова заняты дерновыми почвами естественного происхождения, связанными с особенностями речных

отложений, богатых питательными веществами. Такие почвы зарегистрированы пока на площади всего 15 км². Наибольший из известных участков дерновых почв находится в долине реки Ены, небольшие участки имеются в низовьях реки Печенги, в долинах рек Уры, Туломы, Поноя, Варзуги и Умбы.

2.5 Растительный покров

Леса состоят в основном из ели, сосны и березы. Площади еловых и сосновых лесов примерно одинаковые, но ель сосредоточена главным образом на востоке, то сосна – на западе и юге территории. Еловые и сосновые леса почти не бывают без примеси березы, которую часто составляет около половины древостоя. Распространены здесь и смешанные леса из сосны, ели и березы. Вследствие разреженного древостоя леса имеют парковый характер.

Подлесок состоит из можжевельника, лишайник занимает пространства между деревьями, ими покрыто 10 – 70% поверхности. Среди кустарничков преобладает вороника; заметную роль играет ельник, особенно в субальпийских криволесьях.

Растительность болот представлена очень большим числом разнообразных сообществ, составляющих сложные комплексы. Наибольшее распространение имеют грядово-мочажинные комплексные болота и кустарничко-сфагновые. Осоковые чаще всего встречаются в комплексе с другими болотами. На болотах различного вида произрастают мхи, осока, хвощи, пушица, небольшими группами или одиночно – ивы, ерник. На болотных грядах встречаются пухоносприцветниковый, ерник, вороника, морошка, брусника, голубика. По обочинам и на вершинах гряд всегда растут зеленые мхи, а нередко и лишайники. Большое распространение имеют болота, заросшие сосной и берёзой так называемый окраинный комплекс, окаймляющий открытые болота.

Луговая растительность занимает очень небольшие площади. Естественные луга преимущественно встречаются в долине реки Варзуга. Луга представлены вейниковыми, щучковыми, овсянническими, полевицевыми, мятликовыми, канареечниковыми, злаково-разнотравными, осоковыми и некоторыми другими ассоциациями.

3 Общая характеристика водных объектов Кольского полуострова

3.1 Гидрография

Сложность геологических и орфографических условий, наличие вблизи земной поверхности водоупорной кристаллической основы, большое количество выпавших осадков и относительно малое испарение наложили свой отпечаток на характер гидрографической сети Кольского полуострова. Здесь весьма развита речная сеть, а по количеству озер полуостров занимает одно из первых мест в России; низменные и слаборасчлененные участки территории нередко представляют собой крупные заболоченные пространства.

Реки принадлежат к бассейнам двух морей – Баренцева и Белого; водораздел проходит с запада на восток – от государственной границы с Финляндией к горлу Белого моря через Сальные, Хибинские, Ловозерские тундры и горную гряду Кейвы. Отсюда на север и юг текут главнейшие реки полуострова.

Все реки в зависимости от рельефа и других географических особенностей можно разделить на три группы:

- полуравнинные – протекающие в пределах большей части своего течения по плоским слаборасчлененным участкам, к ним относятся такие реки как Поной, Стрельна, Варзуга.
- реки озерного типа – это более распространенная группа рек. На своем пути они пересекают ряд озер, образуют каналы, перепады, пороги, водопады. Озерные реки собирают воду с обширных территорий и отличаются большой водностью. Руслу таких рек обычно располагаются в высоких скалистых берегах, к ним относятся такие реки как Уру. Рында, Харловка, Дроздоака, Чаваньга, Умба.

- к горным рекам – относятся малые водотоки, стекающие с возвышенностей Кольского полуострова. Они представляют собой небольшие стремительные потоки, бегущие в узких скалистых долинах с многочисленными порогами и водопадами.

Всего на Кольском полуострове насчитывается 20616 рек. Общая протяженность их равна 60485 км. Большинство рек относятся к разряду малых: 19597 рек имеют длину менее 10 км каждая, они составляют 95,1% общего числа водотоков, а их суммарная длина 61,2% общей длины всех рек. Рек длиной более 100 км всего 15.

Многие реки хорошо изучены в гидрографическом отношении. Площади водосборов 1000 км² имеют 44 рек. На их долю приходится 108520 км² или 84% общей площади рассматриваемой территории.

Озер в пределах полуострова насчитывается 107146, общее зеркало которых составляет 8195 км², или 6,3% всей территории. В среднем здесь на 1 км² приходится одно озеро, но в некоторых районах на 1 км² расположено до 20 и даже 30 небольших водоемов. По происхождению озера делятся на две группы:

- ледниковые – это небольшие водоемы, нередко расположены среди болот, чаще всего имеют округлую форму и малые глубины. Встречаются также запрудные озера, которые образовались в результате преграждения мореной какого-либо водотока поверхностного стока воды. Ложа этих озер обычно имеют вытянутую овальную форму и глубину до 4 – 6 м.

- тектонические озера лежат в глубоких котловинах, имеют вытянутую форму и сложную конфигурацию береговой линии. Рельеф дна таких озер неровный; встречаются впадины глубиной до 100 м. К озерам тектонического происхождения относятся почти все крупные водоемы Кольского полуострова.

- болота занимают 20% площади, распределение их по территории неравномерно. В прибрежной тундровой зоне болота с наличием торфяной

залежки встречаются редко и как элемент ландшафта не оказывают существенного влияния составляющей водного баланса.

3.2 Водный режим рек

Реки Кольского полуострова относятся к рекам преимущественно снегового питания. Режим стока в годовом разрезе характеризуется высоким весенним половодьем, низкой зимней и летней меженью и относительно небольшими летне-осенними подъемами, вызванными дождями.

Весеннее половодье, как правило, начинается в конце апреля – начале мая, на северо-востоке полуострова и в горных районах примерно на 10 дней позже. В отдельные годы сроки начала половодья колеблются в значительных пределах: от первой декады апреля до третьей декады мая и в горных районах от середины апреля до середины июня.

Продолжительность половодья зависит главным образом от размеров водосборов и их озёрности: на малых и средних реках, не зарегулированных озерами, средняя продолжительность половодья составляет 40 – 50 дней; на сильно зарегулированных и крупных реках 80 – 90 дней; крайние пределы продолжительности половодья соответственно 22 – 60 и 40 – 130 дней.

Весеннее половодье сменяется летне-осенней меженью, которая почти ежегодно прерывается небольшими увеличениями водности от дождевых осадков.

Летне-осенняя межень обычно наступает в середине июля первых числах августа и заканчивается в сентябре начале октября. Средняя продолжительность летне-осенней межени без учета дождевых паводков колеблется от 30 до 70 дней. Наиболее маловодный период летне-осенней межени наблюдается в основном в июле – августе, реже в сентябре, в отдельные годы в октябре.

Дождевые паводки чаще всего проходят в период с июля по сентябрь. Максимальные расходы дождевых паводков, за некоторыми исключениями, по величине значительно меньше снеговых. Средняя продолжительность дождевых паводков на крупных и озерных реках составляет 10 – 20 дней, продолжительность отдельных паводков достигает 30 – 40 дней. На маловодных водотоках в аномальные по гидрометеорологическим условиям годы наблюдается пересыхания.

Зимняя межень устанавливается обычно в конце октября – середине ноября. Наиболее ранние даты приходятся на начало октября, поздние на конец ноября начало декабря. Оканчивается межень обычно в конце апреля начале мая, крайние сроки окончания конец марта начало июня. Средняя продолжительность зимней межени составляет 160 – 190 дней, на севере полуострова на 5 – 10 дней больше, чем на юге. Зимние меженные уровни воды, как правило, бывают несколько ниже уровней летне-осенней межени, и для преобладающего числа рек наинизшие годовые уровни приходятся на зимнюю межень, чаще всего на март – апрель. В это же время наблюдается самая низкая водность рек.

3.3 Распределение стока по территории Кольского полуострова

На территории Кольского полуострова наблюдается общее увеличение стока, в направлении с юга на север по мере приближения к побережью Баренцева моря вследствие уменьшения испарения и увеличения количества выпавших осадков.

Годовой сток рек северного побережья превышает 20 л/сек·км². Существенное влияние на зональное распределение стока оказывает рельеф. К повышенным местам приурочены бóльшие значения осадков и стока, к пониженным – меньшие. Максимумы стока приходятся на районы возвышенностей – Хибинские, Ловозерские и другие горные тундры, где

за год выпадают более 1000 мм осадков. Значение годовых модулей стока небольших рек в этих районах составляют 30 – 40 л/сек·км².

Минимум годового стока наблюдаются в Понойско - Варзугской низменности, бассейнах рек Вирма, Нивки, где значения модуля стока, снижаются до 9 л/сек·км² и меньше.

В условиях полуострова, расположенного в зоне избыточного увлажнения, где грунтовые воды находятся вблизи от поверхности и поэтому дренируются полностью большими и малыми реками, зависимость нормы стока от площади водосбора практически отсутствует.

4 Описание водосбора и гидрографической сети в бассейне р.Умба

4.1 Краткая физико-географическая характеристика р.Умба

Река Умба берет начало из оз.Умбозеро, и впадает в Кандалакшский залив Белого моря. Координаты у истока реки $67^{\circ} 31' \text{ с.ш.}, 34^{\circ} 20' \text{ в.д.}$, у устья $66^{\circ} 40' \text{ с.ш.}, 34^{\circ} 18' \text{ в.д.}$ (рисунок 3).



Рисунок 3 – Устье реки Умба

Общее направление течения с севера на юг с большими отклонениями на восток и запад. Река является своеобразной водной системой протяжением 123 км, из которых половины приходится на проточные озера, соединенные между собой сравнительно короткими и порожистыми речными участками.

Бассейн р.Умба(рисунок 4) изобилует озерами; более или менее значительных озер насчитывается около 80. Крупные озера – Умбозеро, Канозеро и Пончозеро – расположены в системе самой реки; из больших озер, расположенных на левобережье, выделяются – Вялозеро, Мунозеро и Ингозеро. Особенно много малых озер в правобережной части бассейна, на участке исток оз. Капустный.



Рисунок 4 – Карта бассейна реки Умба

Река протекает по лесотундре, имеющей крупнохолмистый рельеф. Высота холмов и гряд от 10 до 50 м и возрастает по мере удаления от русла и вниз по течению реки. Холмы и гряды поросли хвойным лесом, сложены коренными породами, прикрытыми с поверхности валунами супесями; их склоны рассечены ложбинами и отдельными ямами, местами - отвесные, скалистые. Понижение местности заболочены и покрыты мхом и смешанными лесами.

4.2 Особенности гидрологического режима р. Умба

Долина реки занимает область тектонической трещины-разлома, пересекающей Кольский полуостров меридионально, по линии р. Воронья и р. Умба.

Современная долина слабо выражена, заполненная ледниковыми отложениями.

Русло реки слабоизвилистое, с озеровидными расширениями, порожистое. Пороги расположены более или менее равномерно, на реке имеются 36 порогов.

В акватории реки встречаются небольшие (100 X 300 м) каменистые, поросшие хвойным лесом острова, располагающиеся обычно по 2 – 3.

Пойма шириной 100 – 200 м, в отдельных местах до 1 – 2 км, в порогах отсутствует. Поверхность ее ровная, заболоченная, поросшая редким лесом. Преобладающая ширина реки около 100 м; в озеровидных расширениях, которые встречаются довольно часто, она увеличивается до 500 м, а в порогах уменьшается до 20 м.. В плесах глубина 2,0 – 3,2 м; на порогах – около 1,0 м, иногда 0,3 – 0,5 м.. Скорость течения в порогах 1,2 – 2,7 м/сек., в плесах – 0,3 – 0,5 м/сек.

Дно на речных участках преимущественно каменистое, местами песчаное; в озерах – илистое, реже песчаное.

Уровневый режим реки сильно зарегулирован оз. Умбозеро, поэтому в годовом ходе уровней выделяется не высокое, но сильно растянутое по

времени половодья, после которого уровень медленно спадает вплоть до устойчивой зимней межени. Весенний подъем воды обычно начинается в конце апреля – начале мая. Максимум половодья наступает в среднем в последней декаде июня; его высота в истоке колеблется от 0,2 до 0,5 м над условным уровнем. Спад полных вод происходит медленно и заканчивается в августе – сентябре. Летние дождевые паводки бывают очень редко, только при сильных и затяжных дождях; их высота не превышает 0,3 м, а продолжительность составляет 30 – 50 дней. Осенние дожди почти ежегодно вызывают повышение уровня на 0,2 – 0,4 м; после наступления устойчивых морозов уровень начинает спадать.

5 Методы ускоренных измерений расходов воды

Современные требования по информационно-гидрологическому обеспечению народного хозяйства обуславливают усовершенствование методик и моделей измерения расходов воды в направлении снижения продолжительности и трудоемкости процесса измерений. Самый простой и доступный метод ускорения измерений, состоит в уменьшении количества скоростных вертикалей без изменения состава и детальности измерений, предусматривает измерение расхода воды по средней скорости на одной-двух репрезентативных вертикалях или единичной скорости в точке 0,2 ее рабочей глубины. Измерение расходов этими способами допускается на реках с практически устойчивым руслом. Возможность перехода на сокращенный способ устанавливается в результате анализа имеющихся материалов наблюдений.

При этом ставится условие, что погрешность измерения расхода воды не превышала допустимую. Сохранить заданную точность при уменьшении дискретизации скоростного поля потока позволяют современные специально разработанные для экспресс-измерений модели вычисления расхода воды.

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы оптимизировать применение наиболее распространенного метода «скорость-площадь» с учетом особенностей кинематической структуры потока и его гидравлических характеристик для выбранной нами реки. При достижении выгодного результата в точности получаемых данных и трудоемкости измерений задача усовершенствования методики измерения расхода воды может считаться решенной. Это решение кроме методического имеет ещё и обще социальное значение, поскольку приводит к повышению производительности труда наблюдателей на сети гидрологических постов.

5.1 Линейно-детерминированная модель расхода воды «ЛДС»

Сущность метода «скорость-площадь» заключается в определении объема модели расхода воды в открытом русле, который моделируется как некоторое жидкое «тело», образованное элементарными объемами.

Метод «скорость-площадь» продолжают успешно применяться в гидрометрической практике, аналитическая основа этого метода представляется следующим выражением:

$$Q = \sum_{S=1}^N \omega_S \bar{v}_S \quad (5.1.1)$$

N – количество S -тых отсеков, на которые разбивается скоростными вертикалями живое сечение;

$\omega_S, \bar{v}_S$ – площадь и средняя скорость течения S -того отсека.

Применительно к стандартным–основному и детальному способу, предусмотрена наставлениями модель расхода воды выражается формулой:

$$Q = \sum_{S=1}^N \omega_S P_S (\bar{v}_i + \bar{v}_j) \quad (5.1.2)$$

$\bar{v}_{i,j}$ – средние скорости на ограничивающих S -тых отсек вертикалях;

P_S – весовой коэффициент $P_S = 0,5$ при $1 < S < N$, а в прибрежных отсеках

(при $S=1, N$) величина P_S определяется в зависимости от формы профиля данных отсеков.

Если количество скоростных вертикалей в створе составляет не менее $N_g - 8 \div 10$; то точность дискретного измерения скоростей потока считается приемлемой. Если условия измерений сложны, что бывает, обусловлено сложной кинематической структурой потока, неоднородным профилем дна в

створе, тогда необходимое количество вертикалей надо увеличить, вот почему стандартные способы по формуле (5.1.2) характеризуются высокой трудоёмкостью и большой длительностью измерений.

5.2 Линейные интерполяционно-гидравлические модели

расхода воды «ЛИГ»

В 1989 году вышел руководящий документ РД 52.08.163-88 (Дополнение к наставлению гидрологическим станциям и постам, выпуск 6 часть 1), где для экспресс измерений на сети рекомендуют интерполяционно-гидравлические модели расхода воды.

Интерполяционно-гидравлические модели расхода воды не отменяют стандартных способов в условиях, где последние обеспечивают заданную точность получаемых результатов и характеризуются удовлетворительной трудоёмкостью измерительного процесса.

Прямой путь ускоренного процесса измерения расходов воды основным способом - сокращение числа скоростных вертикалей приводит обычно к снижению точности из-за потерь информации о распределении скоростей по ширине реки. Это объясняется тем, что скорости между скоростными вертикалями аппроксимируются линейной независимостью (рисунок 5.1). Поэтому наиболее важным условием при сокращении числа скоростных вертикалей является учет изменения скоростей течения по ширине русла. В рассматриваемой ниже модели определение расхода воды эта задача решается на интерполяционно-гидравлической основе. Известно, что скорость течения гидравлически связана с глубиной потока, и, следовательно, характер распределения глубин, в общем, предопределяет характер распределения скоростей. Однако в естественных условиях это соответствие часто затушевывается местными структурными особенностями кинематики потока. В связи с этим скорости течения на любой i -й вертикали

может быть представлена в виде суммы двух компонентов: гидравлической и структурной составляющей скорости (рисунок 5.2)

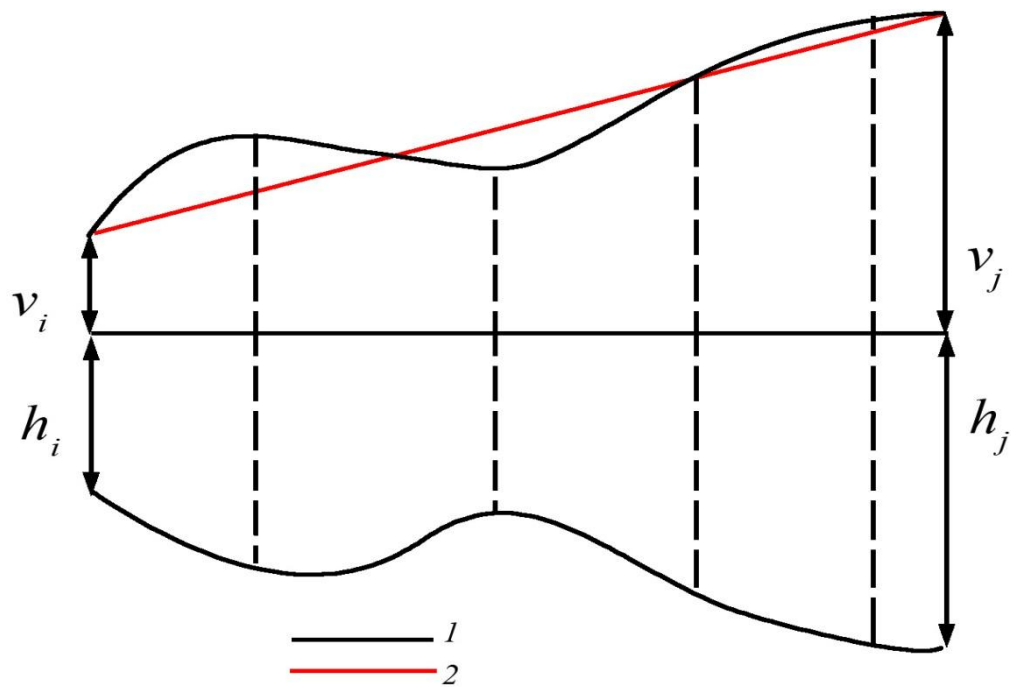


Рисунок 5.1 - Эпюра распределения средних скоростей течения по ширине отсека и её аппроксимация при линейной интерполяции.

- 1- скоростные вертикали при стандартном способе измерения расхода воды:
- 2- линейная интерполяция скоростей между их измеренными значениями v_i и v_j

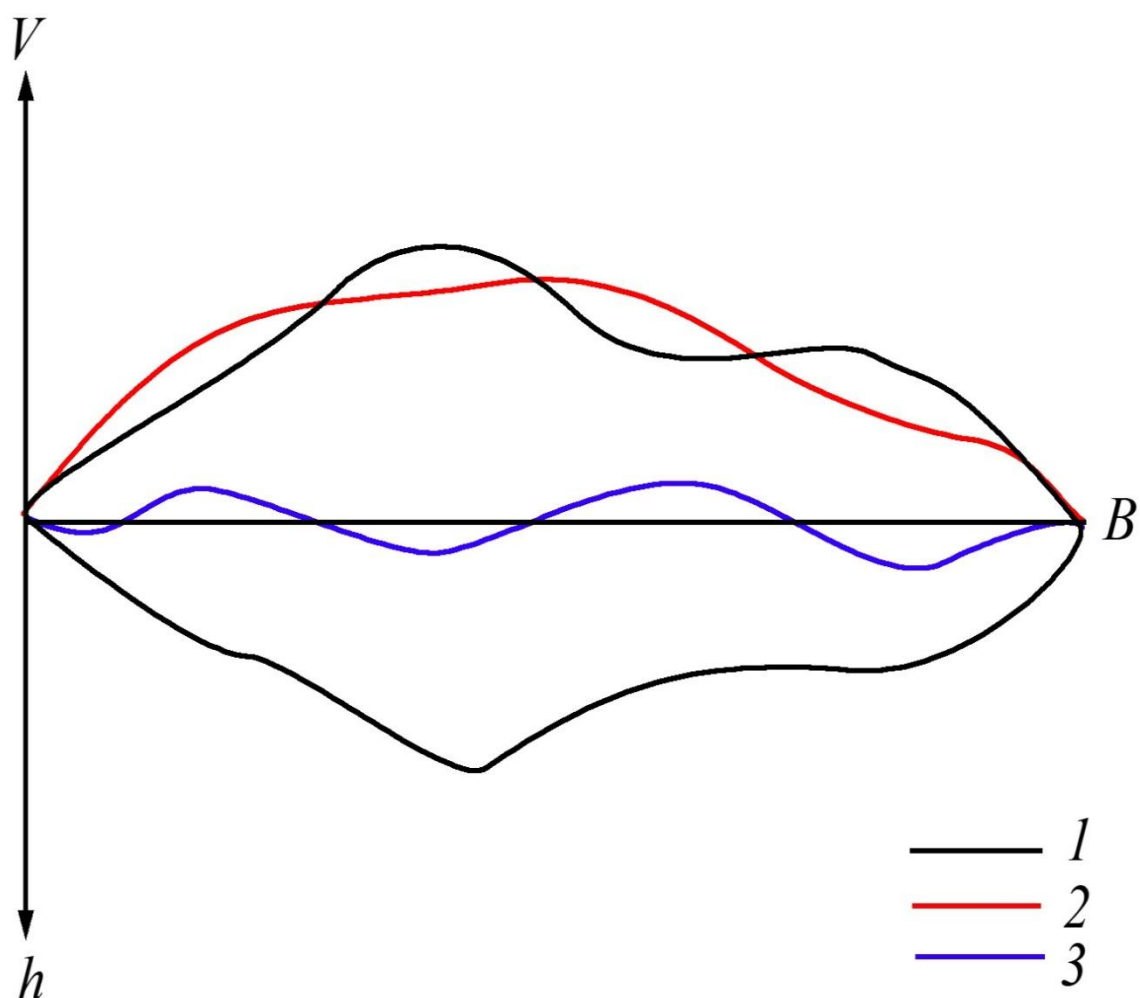


Рисунок 5.2 - Разложение плановой эпюры измеренных скоростей (1) на сумму гидравлической (2) и структурной (3) составляющих.

Из рисунка (5.2) видно, что гидравлическая составляющая ϑ образует как бы гидравлическое ядро Q , определяющее его значение формулы:

$$\vartheta_i = \dot{\vartheta}_i + \Delta\vartheta_i$$

где $\dot{\vartheta}_i$ и ϑ_i – гидравлическая и структурная составляющие скорости течения соответственно. Гидравлическая составляющая скорости течения связана с глубиной потока и представляется в соответствии с формулой Шези-Манинга:

$$\dot{\vartheta}_{i(j)} = \frac{1}{n} J_0^{1/2} h_{i(j)}^{2/3} = a_{i(j)} h_{i(j)}^{2/3} \quad (5.2.1)$$

J_0 – уклон водной поверхности;

n – коэффициент шероховатости;

$h_{i(j)}$ – глубина на $i(j)$ вертикали

$a_{i(j)}$ – гидравлические коэффициенты соответственно для i -й и j -й вертикалей.

Среднее значение структурных составляющих скорости ($\Delta\vartheta_s$) для s -го отсека представляется выражением:

$$\Delta\vartheta_{1s} = P_{1s}(\vartheta_1 i - a_1 i h_1 h_{(2/3)}^\uparrow) + \vartheta_i - a_1 J h_1 J_{(2/3)1s}^\uparrow \quad (5.2.2)$$

где P_s – весовой коэффициент.

Строго говоря, значение коэффициента P_s должно определяться в зависимости от коррекции скоростей течения в s -ом отсеке методами, так называемой оптимальной интерполяции. Однако учитывая сложность такого подхода, обычно ограничиваются линейной интерполяцией структурных составляющих, принимая $P_s = 0,5$ при $1 < S < N$, для береговых отсеков принимается $P_s = 0,7$ при $S = 1, N$. Рассматриваемая модель расхода воды получила название линейно-интерполяционно-гидравлической (ЛИГ). Ниже рассматриваются два варианта модели, отличающиеся способами определения гидравлических коэффициентов a_i и a_s . В модели ЛИГ-1 значение коэффициента a_i и a_s определяется с помощью графиков связи $a_i = a_i(h_i)$ и $a_s = a_s(h_s)$, которые строятся на основании предварительных измерений расходов воды основным или детальным способом при полном количестве скоростных вертикалей. Таким образом, применение этой модели возможно только, на изученных гидростворах при фиксированном положении

скоростных вертикалей. Подсчет измеренного расхода воды в этом случае ведется по формуле:

$$Q = \sum_1^N \omega_s \left[a_s h_s^{2/3} + P_s (\vartheta_i - a_i h_i^{2/3} + \vartheta_j - a_j h_j^{2/3}) \right] \quad (5.2.3)$$

где N- число отсеков;

ω_s – площадь сечения s-го отсека;

ϑ_i и ϑ_j – скорости течения, измеренные на i-ой и j-ой вертикалях, ограничивающих s-й отсек.

При использовании ЛИГ-2 рассчитывается среднее для всего потока значение гидравлического коэффициента a_0 в зависимости от скоростей и глубин на вертикалях, полученных при данном измерении.

$$a_0 = \frac{1}{N_v} \sum_{i=1}^{N_v} \frac{\vartheta_i}{h_i^{2/3}} \quad (5.2.4)$$

где N_v – количество скоростных вертикалей в сечении. Формула для подсчета измеренного расхода воды в этом случае имеет следующий вид:

$$Q = \sum \omega_s \left[a_0 h_s^{2/3} + P_s (\vartheta_i - a_0 h_i^{2/3} + \vartheta_j - a_0 h_j^{2/3})^3 \right] \quad (5.2.5)$$

Выражение формулы (5.2.5) можно преобразовать и показать связь ЛИГ-моделей со стандартными ЛД-моделями расхода воды.

$$Q = \sum_{s=1}^N P_s \omega_s (\bar{\vartheta}_i + \bar{\vartheta}_j)_s + \sum_{s=1}^N a_0 \omega_s \left[h_s^{2/3} - P_s (h_i^{\frac{2}{3}} + h_j^{\frac{2}{3}})_s \right] = Q_{\text{ЛД}} + \Delta Q$$

(5.2.6)

где $Q_{\text{ЛД}}$ – расход, определяемый стандартным (основным) способом;
 ΔQ – некоторый корректив, отражающий форму профиля дна в частных отсеках сечения.

По формуле (5.2.6) видно, что корректив ΔQ при увеличении дискретизации изменений стремится к нулю: при увеличении количества отсеков разница между h_s, h_i и h_j становится всё меньше в пределах данного отсека. Следовательно, при увеличении количества скоростных вертикалей ЛИГ - модели дают тот же результат, что и модели ЛД. Что касается сокращенного варианта измерений (при малом N_v) значение расхода оказывается систематически меньше значений, полученных с помощью ЛИГ - модели. Модель ЛИГ – 2 в отличии от модели ЛИГ-1 может использоваться, на не изученных гидростворах, поскольку она основана исключительно на результатах выполняемого измерения расхода воды.

Обоснование ЛИГ – моделей начинается с анализа формы живого сечения и поля скоростей потока. Положение скоростных вертикалей должно быть постоянным, а распределение измеренных расходов воды по амплитуде колебания уровня воды – равномерным.

Графически зависимости $a(h)$ рассчитываются в следующем порядке:

а) для всех скоростных вертикалей вычисляются значения гидравлических коэффициентов a_i по формуле:

$$a_i = \frac{\vartheta_i}{h_i^{2/3}} \quad (5.2.7)$$

и на основании этих данных для каждой вертикали строятся графики связи ;

б) из общего числа скоростных вертикалей в качестве рабочих вертикалей для измерения расходов воды в соответствии с моделью ЛИГ – 1 назначаются те, для которых связи $a_i = f(h)$ имеют наибольшую тесноту.

в) для отсеков, ограниченных выбранными вертикалями, вычисляются значения гидравлического коэффициента a_s формуле:

$$a_s = \frac{v_s}{h_s^{2/3}} \quad (5.2.8)$$

и на основе этих данных строят графики связи $a_s = f(h_s)$. Вид графических связей $a_i = f(h_i)$ и $a_s = f(h_s)$ определяется особенностями водности режима рек, но при однородности связей расходов и уровней получаемые зависимости отличаются достаточной устойчивостью и теснотой.

О качестве работы ЛИГ – моделей к конкретному створу можно судить по степени расхождения результатов детальных и сокращенных измерений расходов воды. При этом в качестве эталона для сравнения принимается расход воды, полученный по ЛД – модели при полном количестве скоростных вертикалей, и в каждом случае определяется относительное отклонение единичного измерения;

$$\delta_Q = \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right) \quad (5.2.9)$$

Q_0 – расход, измеренный детальным способом;

Q – расход, измеренный сокращенным способом.

Объективным критерием качества ЛИГ – моделей служит соответствие случайной ($\widetilde{\sigma}_Q$) и систематической ($\widetilde{m}_Q$) (погрешностей измерения расхода следующим условиям:

$$\widetilde{\sigma}_Q = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k^2 \right]^{1/2} \quad (5.2.10)$$

$$\widetilde{m}_Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k \quad (5.2.11)$$

N –длина ряда сравнительных измерений расхода воды;

k- текущий номер расхода из совокупности k расходов.

Точность ЛИГ – моделей признается удовлетворительной, если выполняются следующие условия: $(\widetilde{\sigma}_Q) \leq 5\%$, $(\widetilde{m}_Q) \leq 2-3\%$

Несоблюдение условий формул(5.2.10) и (5.2.11) свидетельствует о том, что данная ЛИГ – модель ещё не может считаться оптимальной в конкретных условиях, и следовательно, необходимо или изменить положение скоростных вертикалей или увеличить их количество в створе, добиваясь удовлетворения требований формул (5.2.10) и (5.2.11).

Контроль качества измерений в практике учета стока можно произвести опытным способом по отклонению точек от стандартной кривой $Q_{(H)}$, если отклонение измеряемых расходов не превышает допускаемой величины, точность измерений данного расхода считается приемлемой.

В теории оптимизации известен подход, когда минимизации подлежит частота повторяемости наибольших погрешностей рассчитываемой величины (в нашем случае – расхода воды). В такой постановке оптимальная модель совпадает с моделью(*).

$$Q = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 \quad (*)$$

где Q_1 - расход, вычисленный по модели, не зависящей от согласованности $\vartheta_1 h$;
 $\vartheta_1 h$ - распределения (хотя возможно, и не слишком высокой точности);
 Q_2 - расход, вычисленный по более точной модели.

Причем коэффициенты a_1 и a_2 вычисляются с учетом корреляционных характеристик рассматриваемого процесса.

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= 1 - z_{02} \frac{\tau_{01}}{\tau_{02}} \\ a_2 &= z_{02} \frac{\tau_{01}}{\tau_{02}} \end{aligned} \right\} \quad (5.2.12)$$

где z_{02} – коэффициент корреляции рядов Q_0 и Q_2 ;

Q_0 – действительные значения расхода воды;

τ_{01} - среднеквадратичное отклонение Q_0 от Q_1 ;

τ_{02} - среднеквадратичное отклонение Q_1 от Q_2 ;

Смысл Q_1 и Q_2 ; – такой же, как и в общей формуле комбинированной модели (*).

5.3 Вероятностно-гидравлическая модель расхода воды «ВРГ»

По предложению И.Ф.Карасева, введен параметр согласованности ϑ, h – распределения ($K_{\vartheta h}$) в следующей форме:

$$K_{\vartheta h} = \frac{1}{N_{\vartheta}} \sum_{i=1}^{N_{\vartheta}} |F_{\vartheta} - F_h|_i \quad (5.3.1)$$

Где $F_{\vartheta i}$ и F_{hi} – соответственно, функции распределения вероятностей скоростей и глубин, измеренных на i -той вертикали, которые определяются по методу геометрических вероятностей.

$$F_{\vartheta i} = \left(\frac{\vartheta_i}{\vartheta_m}\right)^{1/m_{\vartheta}} \quad (5.3.2)$$

$$F_{hi} = \left(\frac{h_i}{h_m}\right)^{1/m_h} \quad (5.3.3)$$

ϑ_m и h_m – максимальные из скоростей и глубин на вертикали для данного измерения расхода воды.

m_{ϑ} и m_h – параметры формы функций распределения. Для оценки m_{ϑ} и m_h И.Ф.Карасев предложил использовать метод максимального правдоподобия Фишера согласно которому (на примере m_{ϑ}) получили:

$$m_{\vartheta} = \arg \left(\frac{\max L}{m_{\vartheta}} \right) = \arg \left\{ \frac{\partial L}{\partial m_{\vartheta}} = 0 \right\} \quad (5.3.4)$$

где L – функция максимального правдоподобия

$$L = l_n(P_1 P_2 \dots P_{N_{\vartheta}}) \quad (5.3.5)$$

Вероятность P_i реализации скорости ϑ_i связана с функцией распределения F известным равенством.

$$P_i = F_{\vartheta} 1/\vartheta = \frac{1}{m_{\vartheta}} \left(\frac{\vartheta_i}{\vartheta_m} \right)^{\frac{1-m_{\vartheta}}{m_{\vartheta}}} \quad (5.3.6)$$

Решение оптимизационной процедуры формулы (5.3.4) с учетом формул (5.3.5) и (5.3.6) приводит к результату:

$$m_{\vartheta} = \frac{1}{N_{\vartheta}} \sum_{i=1}^{N_{\vartheta}} \ln \frac{\vartheta_m}{\vartheta_i} \quad (5.3.7)$$

Из аналогических соображений для распределения глубин по формуле (5.3.3) получим:

$$m_{\vartheta} = \frac{1}{h_n} \sum_{i=1}^{h_n} \ln \frac{h_m}{h_i} \quad (5.3.8)$$

h_n - число промерных вертикалей в сечении. Таким образом параметр согласованности ϑ, h - распределения $K_{\vartheta, h}$ однозначно определяется выражениями формул (5.3.1),(5.3.7),(5.3.8).

Далее предложено отождествить параметр $K_{\vartheta h}$ с весовым коэффициентом a_1 и a_2 вычисляются с учетом корреляционных характеристик рассматриваемого процесса по формуле (5.2.12):

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= 1 - z_{02} \frac{\mathcal{T}_{01}}{\mathcal{T}_{02}} \\ a_2 &= z_{02} \frac{\mathcal{T}_{01}}{\mathcal{T}_{02}} \end{aligned} \right\}$$

где z_{02} – коэффициент корреляции рядов Q_0 и Q_2 ;

Q_0 – действительные значения расхода воды;

τ_{01} - среднеквадратичное отклонение Q_0 от Q_1 ;

τ_{02} - среднеквадратичное отклонение Q_1 от Q_2 ;

приняв в качестве a_1 расхода Q_1 расход , вычисленный по традиционной линейно-детерминированной модели. Таким образом, согласно формуле (5.3.2) $a_2 = 1 - K_{gh}$ и расчетное выражение вероятностно-гидравлической модели расхода приобретает вид:

$$Q = K_{gh} Q_{\text{ЛД}} + (1 - K_{gh}) Q_{\text{ЛИГ}} \quad (5.3.9)$$

6 Расчетная методика и результаты вычислений

6.1 Анализ исходных данных

Для выполнения различного рода гидрологических расчетов и анализа гидрологических процессов необходимы исходные данные. Это, прежде всего, материалы наблюдений на государственной и ведомственной сети метеорологических и гидрологических станций, материалы, полученные в экспедициях и научных лабораториях.

При анализе гидрологических явлений часто возникает необходимость установление связи между гидрологическими и метеорологическими факторами, между гидрологическими и морфометрическими характеристиками реки и ее бассейна.

Одной из задач гидрологических наблюдений ведущих планомерное изучение и учет речного стока, является поведение систематических исследований с целью выяснения действительной точности измерений и величины учетного стока воды и принятия, необходимых мер для повышения точности измерений.

Данные полученные в ходе исследования водных объектов представляет большой научный интерес, имеют весьма важное практическое значение в народном хозяйстве.

Расходы воды естественных водотоков в основном в настоящее время измеряются способом «скорость-площадь». Он подразделяется на две разновидности в зависимости от способа измерений скоростей: вертушечный и поплавочный.

Ускоренное измерение расхода воды при сохранении заданной точности, одна из важнейших задач речной гидрометрии. Преследующая цель повышения производительности труда наблюдателей на сети

гидрологических постов, более оперативного и точного контроля за состоянием водных объектов.

Для выяснения возможности перехода на измерение расходов воды на водном объекте по сокращенному способу должно быть проанализировано не менее 50 книжек измеренных расходов воды (за период 2 года), выполненных при устойчивом русле гидроствора многоточечным детальным или основным способами.

Анализ заключается в выборе одной постоянной репрезентативной скоростной вертикали, расположенной в прибрежной или стержневой части потока с наибольшей скоростью течения (на динамической оси потока). При этом необходимым условием является устойчивое в течение всего года местоположение репрезентативной вертикали от постоянного начала по всей амплитуде колебания уровня.

Сокращенные способы измерения расходов воды отличаются простотой и значительно сокращают объем полевых работ и затрат рабочего времени. По точности сокращенные способы для проанализированных створов соизмеримы с точностью исходных данных, принятых для построения вспомогательных графиков.

В данной работе мы приступим к рассмотрению расчету и анализу методов ускоренных измерений расходов воды на основе линейных интерполяционно-гидравлических моделей: ЛДС, ЛИГ и ВРГ, позволяющих по измеренным глубинам, средней скорости течения и расстояниями от постоянного начала вычислить расход воды, при этом ускорение наблюдений достигается, посредством сокращения числа скоростных вертикалей в сечении потока в 1,5 – 2 раза против установленного наставлениями количество вертикалей $N_v = 8 \dots 12$, отвечающего однорукавному руслу и нормальным условиям измерений.

В данном проекте мы рассмотрим и проанализируем все гидрологические и метеорологические факторы, влияющие на речной сток реки Умба, за

2014- 2015 год. Исходя из исходных данных, попытаемся рассчитать расходы воды сокращенными методами. Подведем итоги о целесообразности, применения данных методов расчета расходов воды к данной реке.

6.2 Описание водомерного поста река Умба – порог Паялка

Гидрологический пост порог Паялка существует с 14 июня 1930 года. Пост свайный расположен в 3,7 км от устья Белого моря, на левом берегу реки Умба. Координаты поста $66^{\circ}42'$ с. ш. и $34^{\circ}18'$ в.д.(рисунок 6), площадь водосбора составляет 6470 км^2 .

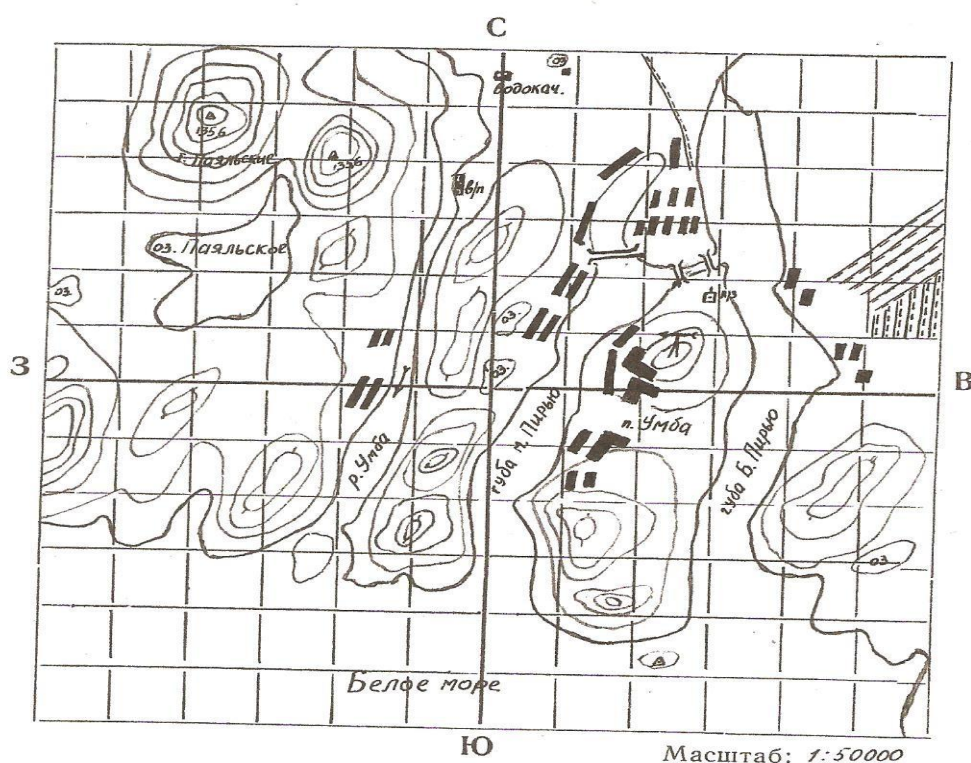


Рисунок 6 -План расположения гидрологического поста р.Умба порог Паялка

Прилегающая местность характеризуется крупно-холмистым рельефом, с наличием большого количества заболоченных котлованов и незначительных озер.

Долина реки U – образной формы с котловидными расширениями. Склоны рассечены оврагами, балками - высотой до 50 м, крутые, каменистые поросшие смешанным лесом.

Русло умеренно – извилистое, порожищенное с озеровидными плесами. Температура воды и уровень - измеряется в створе водпоста, термометром для измерения температуры воды, закрепленном в металлической оправе. Глубина в месте измерения 0,5 м, участок проточный.

Температура воздуха и количество осадков берется с метеостанции Умба к которой прикреплен водпост.

Ближайшие пороги расположены: в 1 км выше водпоста – *порог Падун*, в 50м ниже водпоста – *порог Паялка*. Пороги незамерзающие в зимнее время.

В створе водпоста, в период ледостава, длительное время сохраняется полынья.

Ледовый режим на участке поста устойчив. Образования левого покрова чаще всего начинается с заберегов, нередкие зажоры выше и ниже поста, вызванные скоплением шуги. Зажоры преграждают путь прибывшей сверху воде, вызывая тем подъем уровней воды.

Толщина льда измеряется на 2-х участках каждые 5 дней на середине реки. 1-й участок, расположен на 10 – 15 м выше основного водпоста, характеризуется как порожищенный - стремительный участок реки. 2 –й участок, в 150 м выше водпоста, характеризуется как плесовый участок.

Ледообразование на реке в среднем начинается в конце октября, на плесах и озерах появляются забереги, а в порогах происходит интенсивное образование донного льда, который обуславливает массовое появление шуги. Осенний ледоход (чаще плывет шуга) продолжается 10 – 30 дней. Ледяной покров устанавливается только на участках реки со спокойным течением, на порогах обычно всю зиму держаться полыньи, замерзающие только при сильных морозах. Донный лед, который образуется на порогах, выстилает все дно реки, а на плесах забивает русло и обуславливает возникновение мощных зажоров. Толщина льда на плесах и озерах к концу зимы достигает 50–90 см.

Вскрытию предшествует появление трещин в ледяном покрове, закраины, подвижки льда. Вскрываются от льда раньше всего участки реки, лежащие ниже озер. Плесы освобождаются от ледяного покрова в апреле – мае; ледоход сопровождается заторами льда, причем часто происходит нагромождение льда на берег. На озерах и плесах большая часть льда тает на месте; кроме того при ледоходе на порожистых участках лед сильно разрушается и обычно не доходит до устья. Продолжительность ледохода в истоке реки 8 - 20 дней, у устья – всего 1 - 5 дней.

Весенний ледоход наблюдается ежегодно, но, по сути, он неинтенсивный.

Полное очищение реки ото льда наблюдается примерно в середине мая.

На рисунке 7в приложении[1] представлен поперечный профиль гидроствора указанной реки с нанесенными эпюрами распределения средних скоростей по ширине потока при полном количестве скоростных вертикалей.

6.3 Методика расчета расходов воды по ЛДС, ЛИГ и ВРГ моделям

Для исследования характеристик точности указанных моделей, нами были взяты исходные данные, за период 2 года при устойчивом русле гидроствора по 50 книжкам измеренных расходов воды при полном количестве скоростных вертикалей представлены в (приложении [2] таблицы 2.1(А),(Б) и 2.2(А),(Б)). Далее была составлена программа вычислений расхода воды сокращенными способами на – компьютере, позволяющая оценить относительные отклонения значений расхода воды от «эталонных» (вычисленных по линейно-детерминированной (ЛД) при полном числе скоростных вертикалей N_{ϑ} 9... 12).

Рассмотрим алгоритмы расчета расхода воды, реализованные программой.

Принятые обозначения:

Q - расход воды;

h_i - глубина потока на i -той вертикали;

ϑ_s - скорости потока на s -той вертикали;

ϑ_c - скорость потока на с-той вертикали (при сокращенном числе скоростных вертикалей k);

i,s,c- индексы нумерации;

ℓ_i - расстояние i-той вертикали от постоянного начала;

$\bar{\vartheta}_s$ и $\bar{\vartheta}_c$ - средние скорости в отсеках между соответствующими вертикалями;

f_i, f_s, f_c – площади живого сечения между соседними i-ми вертикалями;

N_ϑ - полное (несокращенное) число скоростных вертикалей.

Эталонные расходы воды и расходы воды по ЛДС, ЛИГ и ВРГ – моделям рассчитывались по формулам:

$$1) Q_{\text{лд}} \sum_{s=1}^{N_\vartheta+1} f_s \bar{\vartheta}_s = \sum_{s=1}^{N_\vartheta+1} f_s P_s (\vartheta_{s-1} + \vartheta_s) \quad (6.1)$$

$$f_s = 0,5 \sum_{i,s-1}^{i,s} (\ell_{i+1} - \ell_i) (h_i + h_{i+1}) \quad (6.2)$$

$$P_s = \begin{cases} 0,5 & \text{при } 1 < S < N_{\vartheta+1} \\ P_1 S = 1 \\ P_{N_{\vartheta+1}} S = N_{\vartheta+1} \end{cases}$$

где P_1 и $P_{N_{\vartheta+1}}$ – береговые коэффициенты.

$$Q_{\text{ЛИГ}} = \sum_{c=1}^{k+1} f_s \bar{\vartheta}_s \quad (6.3)$$

$$\bar{\vartheta}_c = a h_c^{2/3} + L_c \left(\vartheta_{sc+1} - a h_{ic-1}^{2/3} + \vartheta_{sc} - a h_{ic}^{2/3} \right) \quad (6.4)$$

$$a = \frac{1}{k} \sum_{c=1}^k \left(\vartheta_{sc} / h_{ic}^{2/3} \right)$$

$$h_c = \frac{f_s}{\ell_{ic} - \ell_{ic-1}}$$

$$f_s = 0,5 \sum_{i,s-1}^{i,s} (\ell_{i+1} - \ell_i)(h_i + h_{i+1})$$

2) Линейно-детерминированная модель при сокращенном числе вертикалей (ЛДС)

$$k = 0,7$$

$$Q_{\text{ЛДС}} = k\vartheta_2 f_1 + \frac{\vartheta_2 + \vartheta_3}{2} f_{(2-3)} + \frac{\vartheta_3 + \vartheta_6}{2} f_{(3-6)} + k\vartheta_6 f_4 \quad (6.5)$$

3) Вероятностно-гидравлическая модель

$$Q_{\text{ВРГ}} = EQ_{\text{ЛДС}} + (1 - E)Q_{\text{ЛИГ}} \quad (6.6)$$

$$E = \frac{1}{k} \sum_{c=1}^k |(F_{\vartheta})_c - (F_h)_c|$$

$$(F_{\vartheta})_c = [\vartheta_c (\max \vartheta_c)^{-1}]^{m_{\vartheta}^{-1}}$$

$$(F_h)_c = [h_{ic} (\max h_i)^{-1}]^{m_n^{-1}}$$

$$m_{\vartheta} = \frac{1}{k} \sum_{c=1}^k \ln[(\max \vartheta_c) \vartheta_c^{-1}]$$

$$m_n = \frac{1}{k} \ln[(\max h_c) h_c^{-1}]$$

Таблицы результатов расчетов расходов воды на основании ЛДС, ЛИГ и ВРГ - моделей для $N_{\vartheta} = 3$ данные представлены в таблицах (3.1, 3.2 и 3.3).

Расчет расхода воды по ЛДС модели

Таблица 3.1

№ расхода	дата	Расход по 9 вертикалям	Q по ЛДС	δ_Q	δ_Q^2
1	01.05	81.7	75.5	-0.07589	0.005759
2	07.05	100	91.9	-0.081	0.006561
3	13.05	107	96.0	-0.1028	0.010569
4	16.05	141	135	-0.04255	0.001811
5	21.05	223	209	-0.06278	0.003941
6	26.05	239	229	-0.04184	0.001751
7	31.05	190	182	-0.04211	0.001773
8	05.06	158	155	-0.02025	0.00041
9	18.06	132	128	-0.0303	0.000918
10	30.06	122	116	-0.04918	0.002419
11	09.07	118	111	-0.05847	0.003419
12	18.07	88.2	84.2	-0.04535	0.002057
13	29.07	75.8	71.0	-0.06332	0.00401
14	07.08	77.6	72.5	-0.06572	0.004319
15	15.08	68.3	62.0	-0.09224	0.008508
16	22.08	74.8	67.0	-0.10428	0.010874
17	26.08	84.4	77.0	-0.08768	0.007687
18	02.09	77.8	73.0	-0.0617	0.003806
19	10.09	74.2	67.0	-0.09704	0.009416
20	17.09	59.2	56.0	-0.05405	0.002922
21	26.09	61.8	58.0	-0.06149	0.003781
22	03.10	93.9	88.0	-0.06283	0.003948
23	14.10	76.2	72.0	-0.05512	0.003038
24	22.10	59.9	59.0	-0.01503	0.000226

25	31.10	63.5	61.0	-0.03937	0.00155
26	06.05	57.5	54.3	-0.05565	0.003097
27	11.05	205	195	-0.04732	0.002239
28	14.05	263	250	-0.04943	0.002443
29	19.05	373	367	-0.01609	0.000259
30	27.05	259	246	-0.05019	0.002519
31	09.06	195	188	-0.03641	0.001326
32	18.06	183	174	-0.05027	0.002527
33	25.06	163	140	-0.13865	0.019224
34	30.06	164	156	-0.05	0.0025
35	08.07	143	139	-0.03147	0.00099
36	16.07	121	115	-0.05372	0.002886
37	24.07	100	94.4	-0.056	0.003136
38	30.07	125	122	-0.028	0.000784
39	06.08	153	146	-0.04641	0.002153
40	14.08	155	159	0.027742	0.00077
41	21.08	124	120	-0.03306	0.001093
42	28.08	104	101	-0.025	0.000625
43	08.09	87.7	88.9	0.013683	0.000187
44	16.09	82.6	77.4	-0.06295	0.003963
45	23.09	85.9	81.1	-0.05588	0.003122
46	30.09	92.8	89.4	-0.03664	0.001342
47	07.10	97.6	90.9	-0.06865	0.004712
48	14.10	90.2	86.8	-0.03769	0.001421
49	23.10	83.8	80.4	-0.04057	0.001646
50	31.10	81.1	81.3	0.002466	0.000006
Σ				-2.53856	0.170445
cp				-0.05077	0.003409

$$\delta_Q^2 = \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right) \times 100\% = 0.003409 \times 100\% \approx 0.34 \%$$

$$\tilde{\sigma}_Q = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k^2 \right]^{1/2} \times 100\% = \sqrt{\frac{1}{50} \times 0.170445} \times 100\% \approx 5.84 \%$$

$$\tilde{m}_Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k \times 100\% = \frac{1}{50} \times 2.53856 \times 100\% \approx 5.08 \%$$

Расчет расхода воды по ЛИГ модели

Таблица 3.2

№ расхода	дата	Расход по 9 вертикалям	Q по ЛИГ	δ_Q	δ_Q^2
1	01.05	81.7	78.4	-0.04039	0.001631
2	07.05	100	95.0	-0.05	0.0025
3	13.05	107	107	0	0
4	16.05	141	139	-0.01418	0.000201
5	21.05	223	214	-0.04036	0.001629
6	26.05	239	234	-0.02092	0.000438
7	31.05	190	186	-0.02105	0.000443
8	05.06	158	159	0.00443	0.00002
9	18.06	132	132	0	0
10	30.06	122	119	-0.02295	0.000527
11	09.07	118	114	-0.03136	0.000983
12	18.07	88.2	87.1	-0.01247	0.000156
13	29.07	75.8	74.0	-0.02375	0.000564
14	07.08	77.6	75.9	-0.02191	0.00048
15	15.08	68.3	65.0	-0.04832	0.002334
16	22.08	74.8	71.0	-0.0508	0.002581
17	26.08	84.4	80.0	-0.05213	0.002718
18	02.09	77.8	76.2	-0.02057	0.000423
19	10.09	74.2	71.0	-0.04313	0.00186
20	17.09	59.2	59.0	-0.00338	0.000011
21	26.09	61.8	61.0	-0.01294	0.000168
22	03.10	93.9	91.3	-0.02769	0.000767
23	14.10	76.2	75.0	-0.01575	0.000248
24	22.10	59.9	62.0	0.035058	0.001229
25	31.10	63.5	64.0	0.007874	0.000062
26	06.05	57.5	57.0	-0.0087	0.000076
27	11.05	205	195	-0.04732	0.002239
28	14.05	263	253	-0.03802	0.001446
29	19.05	373	359	-0.03753	0.001409
30	27.05	259	250	-0.03475	0.001207
31	09.06	195	191	-0.02103	0.000442

32	18.06	183	177	-0.03443	0.001185
33	25.06	163	165	0.009816	0.000096
34	30.06	164	159	-0.03293	0.001084
35	08.07	143	140	-0.02168	0.00047
36	16.07	121	117	-0.03306	0.001093
37	24.07	100	96.5	-0.035	0.001225
38	30.07	125	124	-0.0088	0.000077
39	06.08	153	149	-0.02941	0.000865
40	14.08	155	162	0.046452	0.002158
41	21.08	124	122	-0.01452	0.000211
42	28.08	104	104	-0.00385	0.000015
43	08.09	87.7	91.4	0.042189	0.00178
44	16.09	82.6	80.0	-0.03148	0.000991
45	23.09	85.9	83.7	-0.02561	0.000656
46	30.09	92.8	92.0	-0.00862	0.000074
47	07.10	97.6	93.1	-0.04611	0.002126
48	14.10	90.2	89.9	-0.00333	0.000011
49	23.10	83.8	83.1	-0.00835	0.00007
50	31.10	81.1	83.7	0.032059	0.001028
Σ				-0.92067	0.044005
ср				-0.01841	0.00088

$$\delta_Q^2 = \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right) \times 100\% = 0.00088 \times 100\% \approx 0.09 \%$$

$$\tilde{\sigma}_Q = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k^2 \right]^{1/2} \times 100\% = \sqrt{\frac{1}{50} \times 0.044005} \times 100\% \approx 2.97 \%$$

$$\tilde{m}_Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k \times 100\% = \frac{1}{50} \times 0.92067 \times 100\% \approx 1.84 \%$$

Расчет расхода воды по ВРГ модели

Таблица 3.3

№ расхода	дата	Расход по 9 вертикалям	Q по ЛДС	Q по ЛИГ	Q по ВРГ	δ_Q	δ_Q^2
1	01.05	81.7	75.5	78.4	78.4	-0.04039	0.001631
2	07.05	100	91.9	95.0	95.6	-0.044	0.001936
3	13.05	107	96.0	107	107	0	0
4	16.05	141	135	139	139	-0.01489	0.000222

5	21.05	223	209	214	214	-0.04036	0.001629
6	26.05	239	229	234	234	-0.02092	0.000438
7	31.05	190	182	186	186	-0.02105	0.000443
8	05.06	158	155	159	158	0.002532	0.000006
9	18.06	132	128	132	132	0	0
10	30.06	122	116	119	119	-0.02459	0.000605
11	09.07	118	111	114	114	-0.03136	0.000983
12	18.07	88.2	84.2	87.1	87.0	-0.01361	0.000185
13	29.07	75.8	71.0	74.0	73.9	-0.02507	0.000628
14	07.08	77.6	72.5	75.9	75.2	-0.03093	0.000957
15	15.08	68.3	62.0	65.0	65.8	-0.0366	0.00134
16	22.08	74.8	67.0	71.0	71.8	-0.04011	0.001609
17	26.08	84.4	77.0	80.0	80.6	-0.04502	0.002027
18	02.09	77.8	73.0	76.2	76.1	-0.02185	0.000477
19	10.09	74.2	67.0	71.0	71.0	-0.04313	0.00186
20	17.09	59.2	56.0	59.0	58.9	-0.00507	0.000026
21	26.09	61.8	58.0	61.0	60.8	-0.01618	0.000262
22	03.10	93.9	88.0	91.3	91.3	-0.02769	0.000767
23	14.10	76.2	72.0	75.0	75.0	-0.01575	0.000248
24	22.10	59.9	59.0	62.0	61.9	0.033389	0.001115
25	31.10	63.5	61.0	64.0	63.5	0	0
26	06.05	57.5	54.3	57.0	56.9	-0.01043	0.000109
27	11.05	205	195	195	195	-0.04732	0.002239
28	14.05	263	250	253	253	-0.03802	0.001446
29	19.05	373	367	359	359	-0.03727	0.001389
30	27.05	259	246	250	250	-0.03514	0.001234
31	09.06	195	188	191	191	-0.02103	0.000442
32	18.06	183	174	177	177	-0.03443	0.001185
33	25.06	163	140	165	165	0.009202	0.000085
34	30.06	164	156	159	159	-0.03293	0.001084
35	08.07	143	139	140	140	-0.02168	0.00047
36	16.07	121	115	117	117	-0.03388	0.001148
37	24.07	100	94.4	96.5	96.4	-0.036	0.001296
38	30.07	125	122	124	124	-0.0096	0.000092
39	06.08	153	146	149	148	-0.03007	0.000904
40	14.08	155	159	162	162	0.046452	0.002158
41	21.08	124	120	122	122	-0.01532	0.000235
42	28.08	104	101	104	106	-0.00481	0.000023
43	08.09	87.7	88.9	91.4	91.3	0.041049	0.001685
44	16.09	82.6	77.4	80.0	79.9	-0.03269	0.001068
45	23.09	85.9	81.1	83.7	83.6	-0.02678	0.000717
46	30.09	92.8	89.4	92.0	91.9	-0.0097	0.000094
47	07.10	97.6	90.9	93.1	93.1	-0.04611	0.002126

48	14.10	90.2	86.8	89.9	89.9	-0.00333	0.000011
49	23.10	83.8	80.4	83.1	93.1	0.110979	0.012316
50	31.10	81.1	81.3	83.7	89.9	0.108508	0.011774
Σ						-0.73296	0.064723
ср						-0.01466	0.001294

$$\delta_Q^2 = \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right) \times 100\% = 0.001294 \times 100\% \approx 0.13 \%$$

$$\tilde{\sigma}_Q = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k^2 \right]^{1/2} \times 100\% = \sqrt{\frac{1}{50} \times 0.064723} \times 100\% \approx 3.60 \%$$

$$\tilde{m}_Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta Q)_k \times 100\% = \frac{1}{50} \times 0.73296 \times 100\% \approx 1.47 \%$$

Выбор скоростных вертикалей производился по следующим критериям:

I. Крайние из них назначаются на расстоянии 0,3В (если k=0,7) и 0,4В (если k=0,5);

В - ширина потока; третья вертикаль назначается в точке максимальной глубины. Расположение скоростных вертикалей, а также профиль глубин и распределение скоростей по ширине потока по одному расходу воды используемых в расчетах.

II. Для каждого рассчитанного расхода воды определяется относительная погрешность единичного расхода:

$$\delta_Q = \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right)$$

где Q_0 – расход, измеренный по ЛД-модели;

Q – расход, измеренный по ЛДС,ЛИГ и ВРГ моделям.

Удовлетворительным считается расход воды, если $\delta_a \leq 5\%$ и $\tilde{m}_a \leq 2\%$.

III. Для оценки методики расчета по этим моделям рассчитываются следующие характеристики:

1) Для математического ожидания погрешности расчета

$$\tilde{m}_Q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta_Q)_k \quad (6.7)$$

2) Суммарная относительная среднеквадратическая погрешность

$$\tilde{\sigma}_Q = \left[\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\delta_Q)_k^2 \right]^{1/2} \quad (6.8)$$

где δ_Q – относительная погрешность расчета расхода воды;

N- длина выборки.

Статистические характеристики в полном объёме при всех возможных вариантах назначения скоростных вертикалей были рассчитаны по реке Умба- порог Паялка.

Анализ целесообразность расчета трем назначенным скоростным вертикалям ($k = 3$).

IV. С целью устранения влияния местных факторов на качество экспресс-измерений рассчитали обобщенные характеристики точности (для $k = 3$).

V.

$$\langle \tilde{\sigma}_a \rangle = \frac{\sum_{j=1}^n \left((\tilde{\sigma}_Q^2 N)_j \right)^{0,5}}{\sum_{j=1}^n N_j} \quad (6.9)$$

$$\langle \sigma_a \rangle = \left((\langle \delta_Q \rangle^2 - \langle \tilde{m}_Q \rangle^2) \right)^{0,5} \quad (6.10)$$

$$\langle \widetilde{m}_Q \rangle = \frac{\sum_{j=1}^n (\widetilde{m}_Q N)_j}{\sum_{j=1}^n N_j} (6.11)$$

где j- номер варианта распределения вертикалей;

n – число вариантов.

Результаты вычисленных погрешностей по ЛДС, ЛИГ и ВРГ моделям приведены в таблице 4.

Таблица 4- Средние, суммарные, случайные и систематические погрешности вычисления расходов воды при экспресс-измерениях по ЛДС,ЛИГ и ВРГ моделям в %
за 2014 - 2015 год

Таблица 4

Река- пост	К	N	%	ЛДС	ЛИГ	ВРГ
р.Умба-	3	50	$\langle \widetilde{\delta}_Q \rangle$	0,34	0,09	0,13
порог	3	50	$\langle \widetilde{\sigma}_Q \rangle$	5,84	2,97	3,60
Паялка	3	50	$\langle \widetilde{m}_Q \rangle$	5,08	1,84	1,47

По данным таблицы 4 на рисунке 8 построены диаграммы распределения обобщенных характеристик точности моделей вычислений расходов воды по реке Умба - порог Паялка.

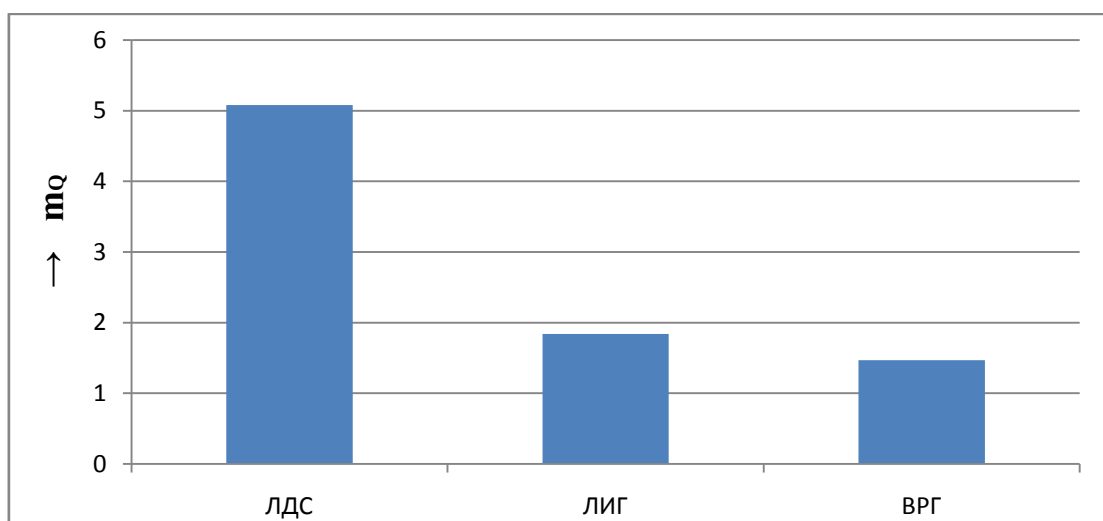
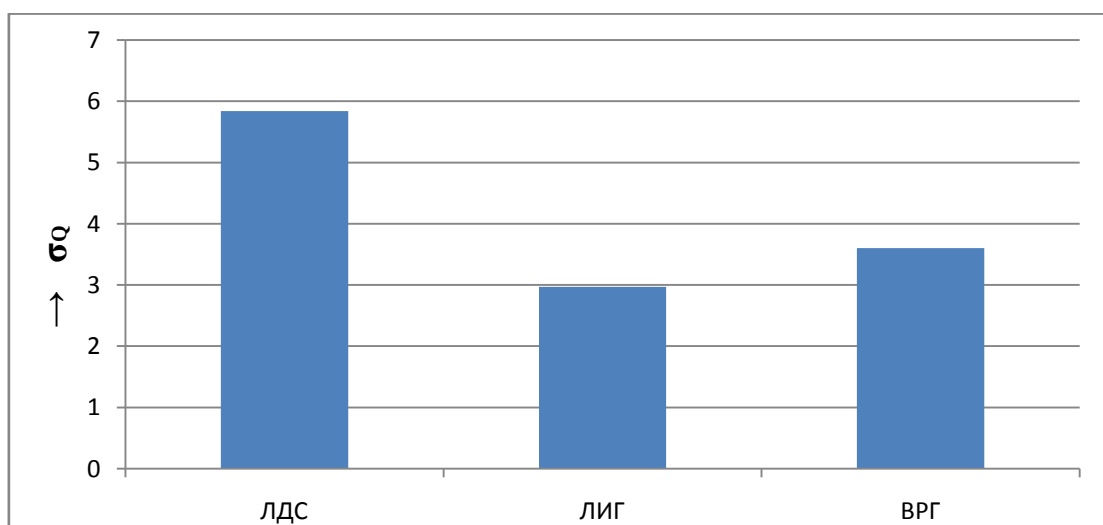
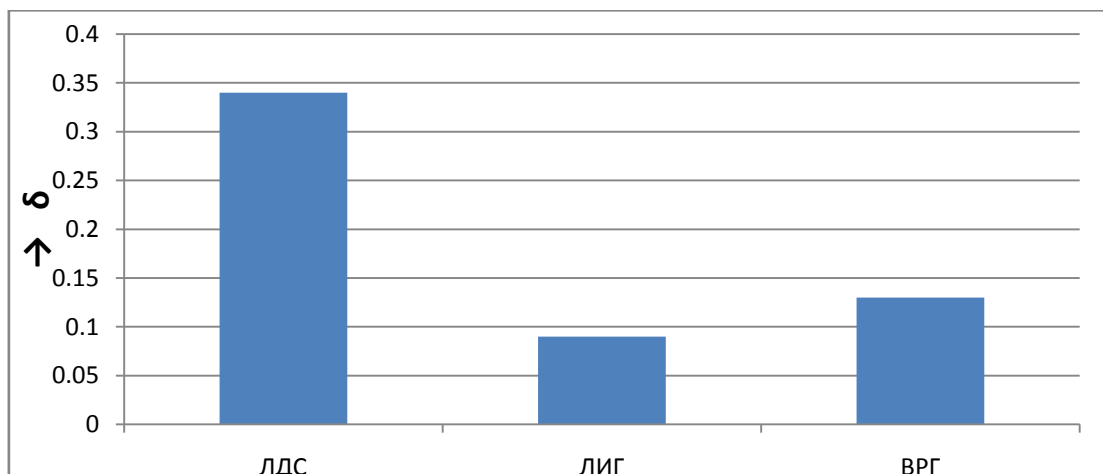


Рисунок 8 - Диаграммы распределения обобщенных характеристик точности (δ , σ_Q и m_Q) по ЛДС, ЛИГ и ВРГ моделям

VI. Для оптимизации назначения скоростных вертикалей строится зависимость $\delta Q(\Delta \tilde{b})$ для $N_{\vartheta} = 3$ где,

$$\Delta \tilde{b} = \left(\frac{B_{H \max} - B_{\vartheta \max}}{B} \right) \quad (6.12)$$

$B_{H \max}$ – координата максимальной глубины потока;

$B_{\vartheta \max}$ – координата зафиксированной максимальной скорости;

B – ширина потока.

Результаты вычислений даны в таблице 5. Приведены связи эмпирических погрешностей расхода воды (δ_Q) измеренных согласно ЛИГ, ЛДС и ВРГ моделям при $N_{\vartheta} = 3$ в зависимости от относительной водности потока $\tilde{Q}$;

$$\tilde{Q} = \frac{Q}{Q_M}$$

Q – измеренный расход воды по ЛДС, ЛИГ или ВРГ модели;

Q_M – среднемноголетний максимальный расход воды в гидростворе, определенный из ОГХ.

Для вычисления зависимости $\delta_Q, \Delta \tilde{b}; \tilde{Q}$ данные взяты из приложения [2] и таблиц 3.1, 3.2 и 3.3.

Сводная таблица значений $\delta_Q, \Delta \tilde{b}; \tilde{Q}$

река Умба - порог Паялка

Таблица 5

№	дата	$\delta_{Q \text{ ЛДС}}$	$\delta_{Q \text{ ЛИГ}}$	$\delta_{Q \text{ ВРГ}}$	$\Delta \tilde{b}$	$\tilde{Q}_{\text{ЛДС}}$	$\tilde{Q}_{\text{ЛИГ}}$	$\tilde{Q}_{\text{ВРГ}}$
1	01.05	0.005759	0.001631	0.001631	0.072	0.63	0.66	0.66
2	07.05	0.006561	0.0025	0.001936	0.068	0.77	0.80	0.80
3	13.05	0.010569	0	0	0.070	0.81	0.90	0.90
4	16.05	0.001811	0.000201	0.000222	0.070	1.13	1.17	1.17

5	21.05	0.003941	0.001629	0.001629	0.071	1.76	1.80	1.80
6	26.05	0.001751	0.000438	0.000438	0.073	1.92	1.97	1.97
7	31.05	0.001773	0.000443	0.000443	0.071	1.53	1.56	1.56
8	05.06	0.00041	0.00002	0.000006	0.068	1.30	1.33	1.33
9	18.06	0.000918	0	0	0.070	1.08	1.11	1.11
10	30.06	0.002419	0.000527	0.000605	0.069	0.97	1.00	1.00
11	09.07	0.003419	0.000983	0.000983	0.069	0.93	0.96	0.96
12	18.07	0.002057	0.000156	0.000185	0.072	0.71	0.73	0.73
13	29.07	0.00401	0.000564	0.000628	0.074	0.60	0.62	0.62
14	07.08	0.004319	0.00048	0.000957	0.072	0.61	0.64	0.63
15	15.08	0.008508	0.002334	0.00134	0.076	0.52	0.55	0.55
16	22.08	0.010874	0.002581	0.001609	0.073	0.56	0.60	0.60
17	26.08	0.007687	0.002718	0.002027	0.071	0.65	0.67	0.68
18	02.09	0.003806	0.000423	0.000477	0.073	0.61	0.64	0.64
19	10.09	0.009416	0.00186	0.00186	0.072	0.56	0.60	0.60
20	17.09	0.002922	0.000011	0.000026	0.075	0.47	0.50	0.49
21	26.09	0.003781	0.000168	0.000262	0.074	0.49	0.51	0.51
22	03.10	0.003948	0.000767	0.000767	0.069	0.74	0.77	0.77
23	14.10	0.003038	0.000248	0.000248	0.073	0.61	0.63	0.63
24	22.10	0.000226	0.001229	0.001115	0.074	0.50	0.52	0.52
25	31.10	0.00155	0.000062	0	0.074	0.51	0.54	0.53
26	06.05	0.003097	0.000076	0.000109	0.096	0.46	0.48	0.48
27	11.05	0.002239	0.002239	0.002239	0.074	1.64	1.64	1.64
28	14.05	0.002443	0.001446	0.001446	0.076	2.10	2.12	2.13
29	19.05	0.000259	0.001409	0.001389	0.075	3.08	3.02	3.02
30	27.05	0.002519	0.001207	0.001234	0.076	2.07	2.10	2.10
31	09.06	0.001326	0.000442	0.000442	0.073	1.58	1.60	1.60
32	18.06	0.002527	0.001185	0.001185	0.073	1.46	1.48	1.48
33	25.06	0.019224	0.000096	0.000085	0.075	1.18	1.38	1.38
34	30.06	0.0025	0.001084	0.001084	0.073	1.31	1.33	1.33
35	08.07	0.00099	0.00047	0.00047	0.072	1.16	1.18	1.18
36	16.07	0.002886	0.001093	0.001148	0.073	0.96	0.98	0.98
37	24.07	0.003136	0.001225	0.001296	0.074	0.79	0.81	0.81
38	30.07	0.000784	0.000077	0.000092	0.072	1.02	1.04	1.04
39	06.08	0.002153	0.000865	0.000904	0.073	1.23	1.25	1.25
40	14.08	0.00077	0.002158	0.002158	0.070	1.34	1.36	1.36
41	21.08	0.001093	0.000211	0.000235	0.073	1.01	1.03	1.03
42	28.08	0.000625	0.000015	0.000023	0.071	0.85	0.87	0.87
43	08.09	0.000187	0.00178	0.001685	0.072	0.75	0.77	0.77
44	16.09	0.003963	0.000991	0.001068	0.075	0.65	0.67	0.67
45	23.09	0.003122	0.000656	0.000717	0.075	0.68	0.70	0.70
46	30.09	0.001342	0.000074	0.000094	0.072	0.75	0.77	0.77
47	07.10	0.004712	0.002126	0.002126	0.072	0.76	0.78	0.78

48	14.10	0.001421	0.000011	0.000011	0.072	0.73	0.76	0.76
49	23.10	0.001646	0.00007	0.012316	0.075	0.68	0.70	0.78
50	31.10	0.000006	0.001028	0.011774	0.073	0.68	0.70	0.76

6.4 Краткий обзор гидрологических и метеорологических данных

В данной работе рассматриваем гидрологические и метеорологические данные за два исследуемых года (2014 – 2015 гг), за период открытого русла, влияющие на гидрологический режим реки Умба. (Средние многолетние данные взяты из ОГХ).

Периоды открытого русла на реке, за оба года начались середине апреля с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха к положительным величинам, что привело к ее вскрытию. В начале мая обстановка на реке полностью соответствовала нашим требованиям.

Температурный режим воздуха за взятые нами периоды был на 0,7 – 0,9 градуса выше средней многолетней нормы, что видно из таблиц 3.1(А) и 3.1(Б) в приложении[3].

Температурный режим воды также оказался на 0,8 -1,3 градуса выше средней многолетней нормы, что видно из таблиц 3.2(А) и 3.2(Б) в приложении [3].

Осадков за сезон 2014 году выпало на 4,9 % меньше средней многолетней нормы и составило 268 мм, а в 2015 году на 20,9 % больше многолетней нормы и составило 341 мм, это видно из таблиц 3.3(А) и 3.3(Б) в приложении[3].

Соответственно это и отразилось на колебаниях уровней (таблицы 3.4 (А), 3.4(Б)) и на подсчете ежедневных расходах воды (таблицы 3.5(А), 3.5(Б)) в приложении[3].

Подсчет стока за сезон составил, в 2014 году сток составлял -13% от нормы, а в 2015 году 18,5% выше нормы.

6.5 Анализ результатов

Для р.Умба порог Паялка характерно совпадение максимальной скорости и максимальной глубины потока что видно из исходных данных в приложении [2]. Опираясь на этот факт, для нашего эксперимента расчетырасходов воды по экспресс измерениям на основе интерполяционно-гидравлических моделей проводились присокращении скоростных вертикалей с 9 до 3 (2,4 и 8).

Анализ расчетных данных, в первую очередь производился по значениям δ_Q и m_Q рассчитываемых по формулам (6.8) и (6.9). Согласно методическим указаниям. Расчет расхода воды сокращенным способом считается удовлетворительным, если при расчете значений $\sigma_Q \leq 5\%$ и $\widetilde{m}_a \leq 2\%$.

Далее рассчитываются обобщенные характеристики точности по формулам (6.10, 6.11 и 6.12) данные результатов этих вычислений даны в таблице 5.

Проанализировав данные из таблицы 5, мы видим, что при сокращении скоростных вертикалей до 3, результаты вычислений соответствуют заданным параметрам $\delta < 5\%$, $m < 2\%$ и $\sigma_Q < 5\%$. Наиболее выгодно получились расчеты для ЛИГ и ВРГ моделей.

Расчеты, сделанные по ЛДС модели, превышают пределы заданных погрешностей, поэтому менее точны.

При вычислении расходов воды на основе интерполяционно-гидравлических моделей, были исследованы и проанализированы морфометрические характеристики реки и ее бассейна, метеорологические и гидрологические факторы, влияющие на речной сток р. Умба в период открытого русла, за два различных по водности года. Рассмотрено 50 расходов воды измеренных детальным способом при полном числе скоростных вертикалей. Анализ результатов расчетов показал, что рассмотренные интерполяционно-гидравлические модели (ЛИГ и ВРГ) соизмеримы по точности со стандартными способами измерений расходов воды.

Основываясь на проведенных исследованиях и расчетах указанной нами реки, можем смело порекомендовать переход на экспресс-измерения расхода воды по трем скоростным вертикалям (2,4 и 8), особенно в сложных условиях измерения расходов воды.

Использование ускоренных методов расчета расходов воды доказывает, что данные методы очень эффективны в настоящее время и не требуют значительных затрат труда и времени наблюдателей при выполнении вычисления расхода. Однако периодически требуется проводить сравнительный анализ вычислений расходов воды при полном и сокращенном количестве скоростных вертикалей.

Список использованной литературы

- 1 Наставление по гидрометеостанциям и постам-вып.6ч.2- Л.
Гидрометиздат.1972 г. с.266.
- 2 Материалы по гидрографии СССР бассейн Белого и Баренцева морей
том 0 „Реки Кольского полуострова”
Гидрометеорологическое издательство 1953 г. с.516-542
- 3 Ресурсы поверхностных вод СССР том 1 „Кольский полуостров”
Гидрометеорологическое издательство 1970 г.
- 4 Карасев И.Ф. “ Модели расхода воды и погрешности его измерения
методом «скорость-площадь»”- Труды ГГИ. 1978 г. вып.256, с.78-109.
- 5 Карасев И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С. Гидрометрия.-Л.:
Гидрометеоиздат, 1991 г.-376с.
- 6 Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия.- Л.: Гидрометеоиздат, 1977 г.-
448 с.
- 7 Методические рекомендации „Методы ускоренных измерений расходов
воды” (Методы репрезентативных элементов линейные
интерполяционно-гидравлические модели расхода воды
интеграционные способы) Ленинград 1983 г. с 13 – 22.
- 8 Ременюк В.А., Серяков А.Е.” Анализ характеристик точности
вычисления расхода воды при экспресс-измерениях”- Метеорология и
гидрология 1991 г., №7 с.86-93
- 9 Караушев А.В. “Речная гидравлика”-Л. Гидрометиздат.1969 г. с.416.
- 10 Васильев А.В., Быков В.Д. “Гидрометрия” – Л. Гидрометиздат, 1991 г.
- 11 Сборник практических задач по определению основных характеристик
водных объектов суши (практикум по гидрологии) 2011 г. с. 72 -76.
- 12 Метеорологические и гидрологические данные за 2014 – 2015 год
гидрометеостанция Г-ГУмба.
- 13 Основные гидрологические характеристики, том 11 КОЛЬСКИЙ
ПОЛУОСТРОВ, – Л.: Гидрометеоиздат, 1965 г.

- 14** Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши,
БАСЕЙНЫ РЕК КОЛЬСКОГО полуострова. том 1, выпуск 6, – Л.:
Гидрометеиздат, 1985 г.
- 15** Ресурсы поверхностных вод СССР, том 1
КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ – Л.: Гидрометеиздат, 1979 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ