



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

Кафедра Водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Современные методы**
учета стока

Исполнитель **Курлов Юрий Дмитриевич**
(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)

«15» 06 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Введение	4
1. Физико-географическое описание района	6
1.1. Общая характеристика Ленинградской области	6
1.2. Рельеф	6
1.3. Климат	7
1.4. Воды	8
1.4.1. Описание водосбора реки Паша – ниже д. Дубово	17
1.4.2. Описание водосбора реки Сясь –Яхново	18
1.4.3. Описание водосбора реки Оять – д. Тимофеевское	19
2. Методы учёта стока	20
2.1. Методы учёта стока при наличии ледовых явлений	20
2.1.1. Интерполяция между измеренными расходами.	23
2.1.2. Вычисление зимних переходных коэффициентов с учётом стеснения живого сечения потока ледовыми образованиями (методика Л.И. Ковалёва).	25
2.1.3. Зимние кривые расходов	27
2.1.4.Срезка подпорных уровней за подпорный период.	28
2.2 Методы учета стока при зарастании русла	28
2.2.1. Интерполяция измеренных расходов	31
2.2.2. Метод переходных коэффициентов	33
2.2.3. Временные кривые расходов воды	35
2.3 Методы учета стока при свободном русле	36
2.3.1. Использование временных кривых при вычислении стока.	36
3. Современные методы учёта стока	40
3.1 Метод, основанный на применении параметра Великанова	40
3.2 Регрессионно-гидравлические модели	41

4. Анализ результатов расчётов.	43
Заключение	53
Список использованных источников	54
Приложение 1 Ежедневные уровни р. Оять – д. Тимофеевское,1973 год	56
Приложение 2 Ежедневные расходы р. Оять –д. Тимофеевское,1973 год	57
Приложение 3 измеренные расходы р. Оять – д. Тимофеевское,1973 год	59
Приложение 4 Ежедневные уровни р. Паша – ниже д. Дубово,1973 год	62
Приложение 5 Ежедневные расходы р. Паша – ниже д. Дубово,1973 год	64
Приложение 6 Измеренные расходы р. Паша – ниже д. Дубово,1973 год	66
Приложение 7 Ежедневные уровни р. Сясь – Яхново,1973 год	68
Приложение 8 Ежедневные расходы р. Сясь – Яхново,1973 год	70
Приложение 9 Измеренные расходы р. Сясь – Яхново,1973 год	72

Введение

Сток - количество воды, проходящее по створу реки в единицу времени. Это понятие является основополагающим в гидрологии, в то же время, оно является достаточно обширным, так как структура потока жидкости (воды) сложна для изучения в полевых условиях. По своей сути, реки являются сутью продукта климата их бассейнов, русло реки изменяется под воздействием внешней среды, в зимний период на реках имеют место ледовые явления (шуга, ледостав), также, русло может быть подвержено зарастанию, что, в свою очередь, соответственно меняет пропускную способность русла в меньшую сторону за счёт увеличения коэффициента шероховатости дна. Даже без учёта этих факторов, любое русло подвержено непрерывным деформациям, немалую роль играет также перенос наносов.

По своей сути, представление о расходе воды вытекает непосредственно из принципа неразрывности жидкости. Впервые его сформулировал Леонардо да Винчи, предполагая что «в реках может протекать равный объем воды в равные промежутки времени, несмотря на различные длины, ширины, глубины и уклоны русла».

Кинематическая структура водного потока очень сложна. Она связана с взаимодействием потока и русла. В размываемых руслах происходят непрерывные деформации (размывы и намывы), вызывающие изменение структуры потока.

Гидрометрический учет речного стока предполагает получение его гидрографа как непрерывной функции времени по данным дискретных измерений расходов воды и практически непрерывных (ежедневных) наблюдений за уровнями.

В случае однозначного соответствия расходов Q и уровней H задача сводится к определению ежедневных расходов воды (ЕРВ) с использованием

кривых расходов (КР) или её аналитической аппроксимации $Q(H)$.

В случае, если связь между этими величинами расходится, чаще всего, из-за изменения пропускной способности в створе реки, причиной таких изменений являются как природные явления (ледовые явления, зарастание русла, деятельность живых существ, в частности, бобров), так и хозяйственная деятельность человека (загрязнение водоёмов), для определения показателей применяются различные методы, которые учитывают изменчивость системы, например, интерполяционные модели. Существует множество схем, применяющихся в речной гидрометрии, по уравнениям которых возможно рассчитать движение потока и зависимости, которые обуславливают пропускную способность русла.

В настоящее время, учёт стока рассчитывается согласно РД 52.08.915-2021, в этом издании содержатся основные данные, схемы и таблицы, указания, необходимые для учёта стока при различных состояниях русла, движениях речного потока, изменяющихся напорах.

В данной работе будут рассмотрены способы учёта стока, и их использование на реках Ленинградской области: Сясь, Паша, Оять на протяжении всего года.

В качестве исходного материала использовались данные наблюдений гидрологических ежегодников филиала ФГБУ «Северо-западное УГМС» Калининградский ЦГМС.

1. Физико – географическое описание района.

1.1 Общая характеристика Ленинградской области.

Ленинградская область находится в северо-западной части Восточно-Европейской равнины, омывается водами Финского залива, Балтийского моря, Ладожского и Онежского озера. Территориально, Ленинградская область занимает 39-е место в стране, расстояние с юга на север составляет примерно 320 километров, с востока на запад - около 450. Регион граничит с Новгородской и Псковской областями на юге, с Карелией на севере, с Вологодской областью на востоке, на северо-западе - с Финляндией, на западе - с Эстонией. Имеет выход к Балтийскому морю через Финский залив, сообщается с другими областями посредством речного сообщения.

1.2. Рельеф.

Рельеф Ленинградской области преимущественно представлен равнинами. Высота большей ее части над уровнем моря не превышает 100 м, однако, рельеф неоднороден. На территории области выделяются возвышенности, уровнем доходящие до 200 м. Например, Ижорская возвышенность, находящаяся на Западе Ленинградской области, южная окраина Олонецкой возвышенности, располагающаяся на перешейке между Онежским и Ладожским озёрами, Тихвинская и Вепсовская возвышенности (максимальная отметка - 290м), находится на востоке области. Также, имеют место отдельные изолированные возвышения Сойкинские "горы" (139 м), к югу от Санкт-Петербурга -- Дудергофская возвышенность (175 м), Щелейкинские скалы (159 м) и т. д. Наиболее низкое гипсометрическое положение (ниже 30-50 м) занимают впадины, на территории крупных водоёмов, Приневская, Верхневирская и Приволховская низины. Территория характеризуется молодым разнообразным ледниковым рельефом, возникшим в период от 50 до 10 тыс. лет назад во время таяния последнего (валдайского) ледника. Довалдайская поверхность представляла собой ступенчатую равнину,

испещрённую сетью глубоких и узких долин. Неровности этой поверхности стали «порогами», у которых накапливались наносы, принесенные ледником. На Балтийском кристаллическом щите преобладал ледниковый снос, на остальной территории (Русской плите) - аккумуляция ледниковых наносов.

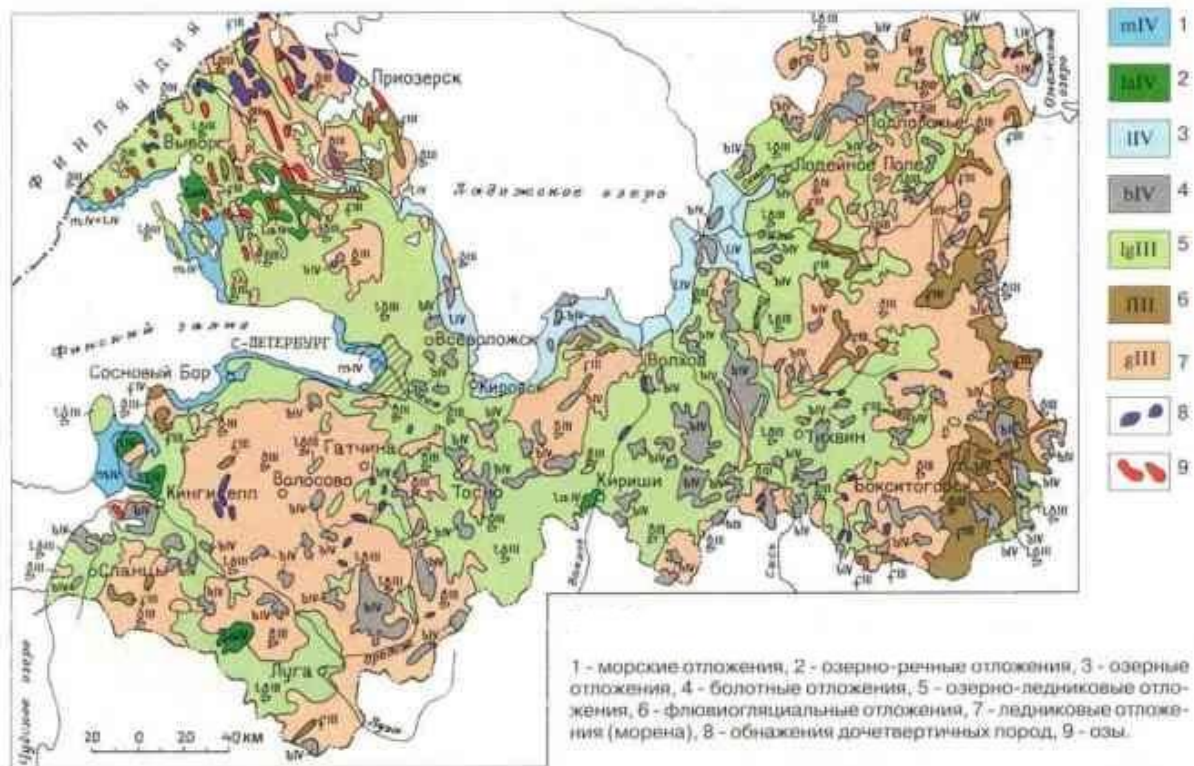


Рис.1.1 Карта четвертичных отложений

1.3. Климат

Климат на территории Ленинградской области - атлантико-континентальный: зима умеренно-холодная, лето тёплое и короткое. Его своеобразие обуславливают циркуляционные процессы, происходящие в атмосфере, характер подстилающей поверхности и приток солнечной радиации, зависящий от географической широты. Суммарная радиация составляет от 2930 до 3350 МДж/м² в год. Половина приходится на лето. С октября по февраль на поверхность радиации поступает очень мало. Радиационный баланс положителен с марта по октябрь и отрицателен в

остальные месяцы. Годовые значения колеблются от 1260 до 1470 МДж/м², имеется тенденция на увеличение этого значения с севера на юг. Вся территория области относится к зоне избыточного увлажнения, большая часть полученного тепла уходит на испарение. Только небольшая часть уходит на прогрев воздуха и почвы. Вся территория Ленинградской области находится в зоне избыточного увлажнения. Относительная влажность воздуха всегда высокая (от 60% летом до 85% зимой). Среднегодовая сумма осадков, составляет 550-650 мм, что на 200-250 мм больше количества испаряющейся влаги. Это способствует заболачиванию почв. Основная масса осадков выпадает в период с апреля по октябрь. Наибольшее количество осадков (750-850 мм в год) выпадает на возвышенных частях области.

1.4. Воды

Обильны и разнообразны природные воды области. Водные объекты Ленинградской области принадлежат к водосбору Балтийского моря. Здесь протекает свыше 25100 рек, протяженностью около 50000 км, и находится более 6800 озёр и водоёмов. Их суммарная длина превышает 221 тыс. км. Показатель удельной обеспеченности водой для нее в 2,5 раза выше среднего по РФ. Такое обильное наличие водных ресурсов в области связано с ее близостью к Атлантическому океану, над акваторией которого формируются циклоны, приносящие мощные потоки влаги. При недостатке солнечного тепла только часть влаги испаряется, а остальная служит источником формирования рек, озер и болот. На чистоту поверхностных вод оказывает влияние сосредоточение промышленных, энергетических и металлургических предприятий, а также жилищно-коммунальных хозяйств. Характерными загрязнителями водоисточников являются нефтепродукты, органика, взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, азотосодержащие соединения и фосфора. Для воды из подземных источников свойственно высокое содержание

железа и марганца. Они слабо защищены от загрязнителей с поверхности. Для 60% источников характерно наличие сероводорода, а в скважинах глубиной не больше 50 метров – наличие техногенных загрязнителей. Высока прозрачность вод рек и водоемов области. По этому показателю Ладожское и Онежское озера занимают одно из первых мест среди внутренних водоемов России и зарубежных стран. Прозрачность вод области связана с их низкой минерализацией (до 200 мг/л) и малым содержанием взвешенных частиц. Ладожское и Онежское оз. - крупные пресные водоёмы с котловинами ледниково-тектонического происхождения (площадь зеркала соответственно 17,7 тыс. км² и 9,7 тыс. км², глубина - до 230 и 127 м). Озера богаты рыбой (лосось, форель, сиг, ряпушка и др.). Происхождение озёр связано с тектоническими опусканиями южной окраины Балтийского щита.

По территории области несут свои воды такие крупные реки, как Нева, Волхов, Свирь и Вуокса. Реки имеют небольшие уклоны (до 20--40 см/км) и спокойное течение. Лишь при пересечении кристаллических пород, моренных возвышенностей и гряд на перекатах и порогах (Кингисеппских на р. Луге, Ивановских на р. Неве) их скорость возрастает. Речные воды области редко прогреваются выше +22° С. Средняя месячная температура речных вод летом не превышает + (18-19)° С. Больше прогреваются воды Нарвы, Плюссы, Луги, Волхова, Меты и Ловати. Зимой на реках устанавливается ледостав. Главная артерия области -- Нева, текущая из Ладожского озера в Финский залив. Нева - одна из наиболее своеобразных рек Русской равнины - короткая (74 км), но очень многоводная (годовой сток 82 км³). Имеет важное транспортное значение: она и её бассейн связаны с Беломорско-Балтийском каналом, Волго-Балтийском водный путём, Вышневолоцкой и Тихвинской водными системами.



Рис. 1.2 Карта рельефа Ленинградской области

Почти пятая часть территории области (17%) представлена болотами, дающими начало многочисленным рекам и ручьям. Распространению болот способствуют избыточная влажность, плоский рельеф и близкое к поверхности залегание грунтовых вод. Наиболее заболочена Ладожская приозерная равнина, болота которой достигают; 20 тысяч гектаров и более (Поддубско-Коряжский «мох» на водоразделе рек Сясьи и Паши, Зеленецкий «мох» в бассейне Сясьи). Высокой заболоченностью отличаются бассейн Невы и водораздел Финского залива и Ладожского озера. Основная масса болот области представлена крупными массивами. Преобладают питающиеся атмосферными осадками верховые болота олиготрофного типа с выпуклой поверхностью и мощной торфяной залежью. Низинные болота встречаются небольшими участками в прибрежной полосе озер. Их питание происходит главным образом за счет паводковых вод.

Подземные воды области находятся на различной глубине и приурочены к четвертичным и дочетвертичным породам. Над первым от поверхности водоупорным горизонтом залегают преимущественно ненапорные грунтовые воды, отличающиеся непостоянством режима и низкой минерализацией. В местах выхода водоупорных пластов (на Карельском перешейке, в районе Балтийско-Ладожского уступа) на поверхности формируются источники пресных подземных вод в виде родников и ключей. В глубинных водоносных горизонтах залегают напорные артезианские воды. С увеличением глубины залегания их напор возрастает и одновременно растет минерализация, достигающая на больших глубинах 50 г/л. Обильны подземные источники юго-западных и юго-восточных районов и большей части Карельского перешейка (дебит скважин достигает 10 л/с и более). Несколько ниже запасы подземных вод на востоке и в центре области (дебит скважин от 1 до 5 л/с). Низменные территории вдоль южных побережий Финского залива и Ладожского озера бедны пресными подземными водами.

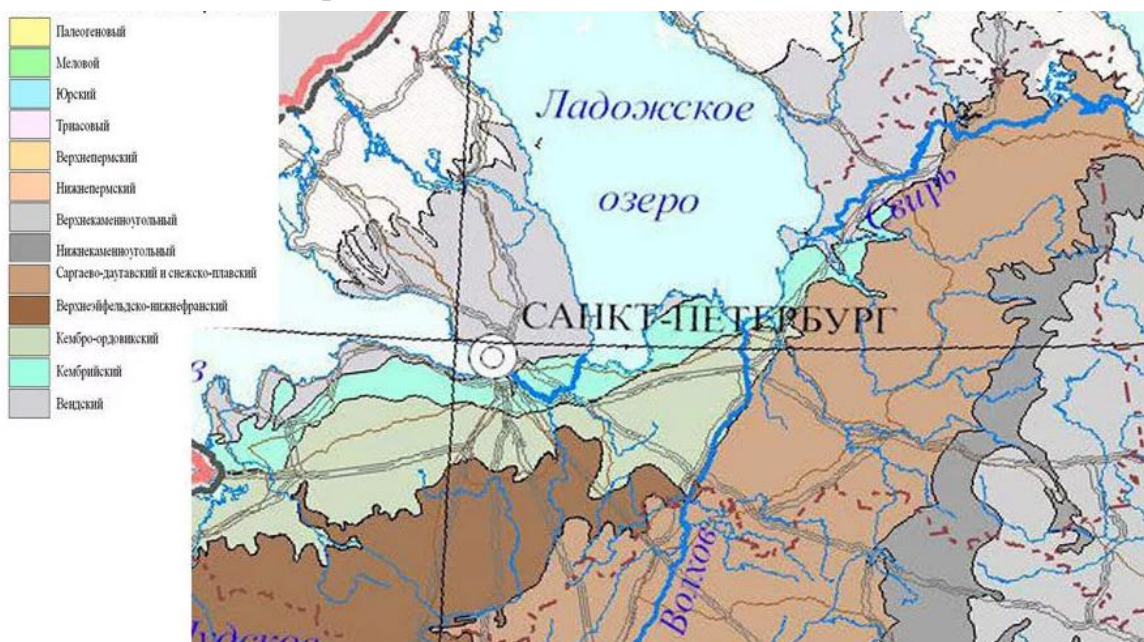


Рис. 1.3 Карта основных водоносных горизонтов Ленинградской области

Воды Ленинградской области, которые используются в хозяйстве, нуждаются в очистке от загрязнений. Мощность очистных сооружений в Санкт-Петербурге и области постоянно увеличивается. В Санкт-Петербурге и области запрещен сброс с судов в водоемы и водотоки хозяйственно-бытовых вод, а также вод, содержащих нефтепродукты. В целях охраны вод от засорения в области введен запрет на молевой сплав леса. Для поддержания благоприятного водного режима рек вдоль их русел созданы водоохранные зоны, в пределах которых запрещены строительство и эксплуатация промышленных предприятий. В целях предупреждения водной эрозии почв осуществляется строительство берегоукрепительных сооружений и набережных. Для регулирования стока возводятся гидротехнические сооружения и проводятся лесомелиоративные мероприятия. В целях обеспечения постоянного контроля за чистотой ленинградских вод создается автоматизированная система контроля качества поверхностных вод Невы и Невской губы.

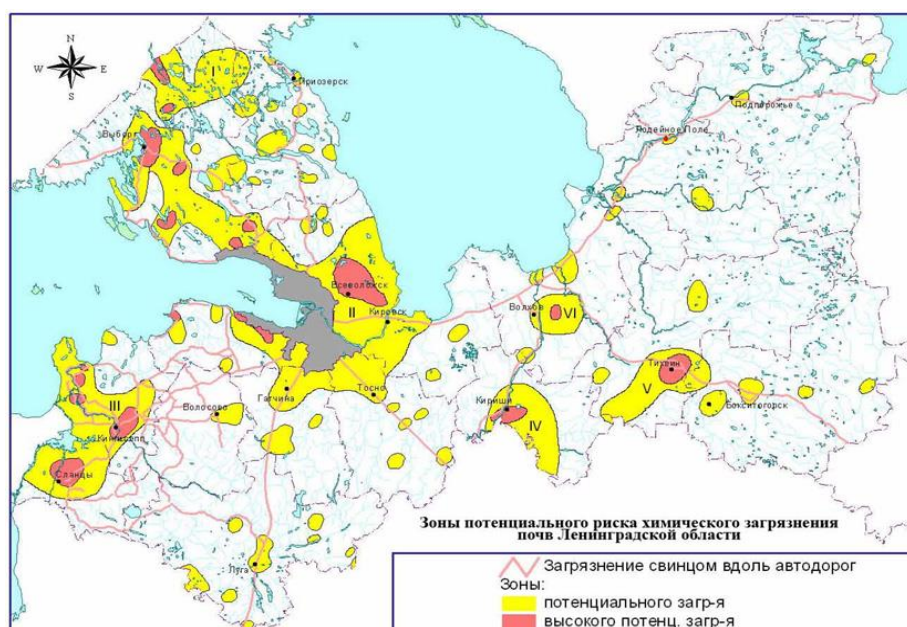


Рис. 1.4 Карта Ленинградской области: химическое загрязнение почвы и воды

Почвы	Процент площади
Дерново-подзолистые i	31%
Подбуры тундровые i	19%
Подзолистые i	13%
Вода i	12%
Дерново-подзолистые i	8%
Дерново-подзолистые i	5%
Дерново-карбонатные i	5%
Дерново-подзолистые i	3%
Дистрик Гистосоли i	2%
Смесь состава: Литосоли, Подбуры тундровые i	<1%

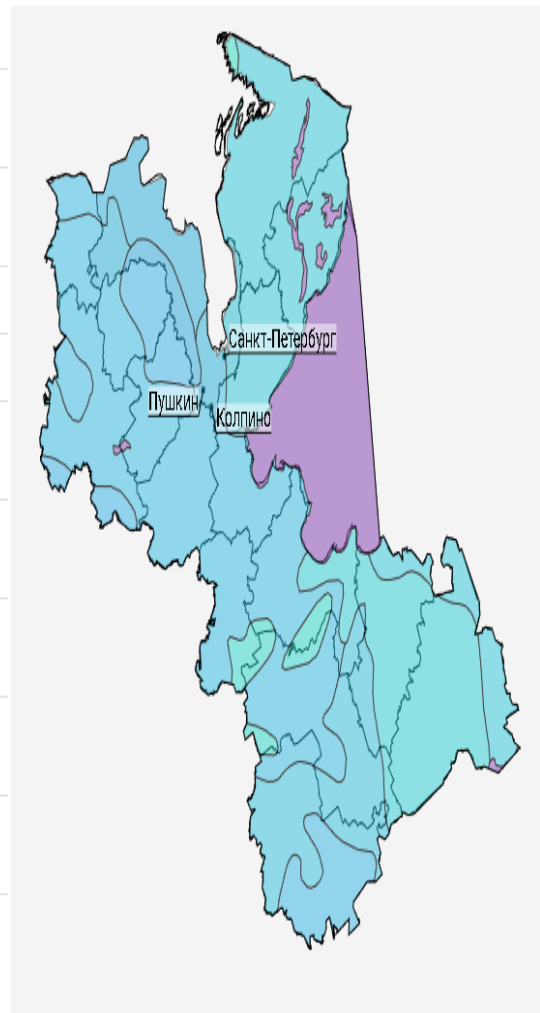


Рис. 1.5 Карта почв Ленинградской области

Почвы. Основным типом почв в области являются подзолистые, бедные перегноем и отличающиеся значительной кислотностью. При этом на суглинках, в низких местах с повышенным накоплением влаги, главным образом в еловых лесах, образуются сильноподзолистые почвы с мощным верхним слоем. В более высоких местах, менее благоприятных для накопления влаги, образуются среднеподзолистые почвы. На супесях и песках, плохо удерживающих влагу, в сосняках встречаются слабоподзолистые почвы. Там, где преобладает травяная растительность, -- на лесных вырубках, в редких смешанных или лиственных лесах -- образовались дерново-подзолистые

почвы. Поскольку глубина промерзания земли по области составляет от 1,2 до 1,3 м, это элементарно исключает посадку озимых культур, которые в таких условиях просто вымерзают. Чтобы предотвратить гибель растений, необходимо применять разные методы дополнительной обработки почвы, в том числе меры по снегозадержанию. Кроме того, существенной проблемой Ленинградской области является загрязнение промышленными отходами таких важных территориальных участков, как Всеволожский, Ломоносовский и Кировский районы. Опасным из-за химических и бытовых отходов считается Подпорожский, Волховский и Лужский район. На территории Ижорской возвышенности, на породах, содержащих известь, которая нейтрализует кислотность и предохраняет верхний слой почвы от вымывания, сформировались дерново-карбонатные почвы. Это лучшие среди почв области: они богаче других перегноем и минеральными веществами, имеют хорошо выраженную комковатую структуру. Их также называют «северными чернозёмами». В низинах и на плоских участках местности, при слабом стоке (плохом дренаже) атмосферных вод, вызывающем их застой на поверхности, а иногда при высоком уровне стояния грунтовых вод образуются торфянистые и болотистые почвы. Они распространены в центральной части области, на востоке Карельского перешейка, на побережье Финского залива, в Приладожье. В некоторых местах на луговых террасах (по рекам Волхову, Луге и другим), заливаемых водой в половодье, из речных наносов образуются богатые перегноем аллювиальные почвы. Их площадь невелика. Основными почвообразующими породами являются глины, суглинки, пески и торф.

Атмосферные и почвенные тепловые ресурсы области и сравнительно хорошая обеспеченность влагой позволяют возделывать на ее землях многие сельскохозяйственные культуры. Однако для успешного использования почв области в сельскохозяйственном производстве плодородие многих из них необходимо повысить, увеличив в первую очередь мощность аккумулятивного

-- гумусового горизонта и обогатив его органическими веществами, обменными основаниями и подвижными формами питательных элементов. На большей части территории области почвы переувлажнены. В Волховском, Киришском, Тосненском и отчасти Всеволожском районах большое значение в связи с этим приобретают гидротехнические и агромелиоративные мероприятия. В Бокситогорском, Тихвинском и Подпорожском районах важно частичное регулирование водного почвенного режима. При окультуривании почв и повышении их плодородия необходимо образование мощного гумусового горизонта, создание оптимальных условий для накопления гумуса, обменных оснований и подвижных питательных веществ, а также снижение почвенной кислотности.

При разумном использовании территории естественные процессы почвообразования существенно меняются, появляются новые направления в развитии почв, из естественных почв формируются окультуренные и культурные почвы с высоким плодородием. Внешний облик почв становится при этом иным, увеличивается мощность верхнего -- гумусового горизонта, в нем повышается содержание органического вещества, увеличивается емкость его поглощения, улучшаются состав и соотношение обменных катионов и т. д. Даже заболоченные почвы, несмотря на все их отрицательные свойства, при умелом подходе могут, быть успешно использованы в естественном состоянии.

Растительный покров. Ленинградская область согласно принятым схемам геоботанического районирования расположена в подзонах средней и южной тайги. Растительный мир Ленинградской области разнообразен, и это разнообразие определяется следующими основными физико-географическими факторами: пограничным положением с такими крупными водоемами как Финский залив и Ладожское озеро, а также Онежское озеро; наличием крупных рек, протекающих по территории (Луга, Волхов, Свирь, Оять, Сясь, Паша, Вуокса и др.); наличием возвышенностей, в том числе Ижорской

возвышенности (Ордовикского плато), выходом на дневную поверхность на севере области горных пород Балтийского кристаллического щита. Наибольшую площадь в Ленинградской области занимают лесные формации. Леса занимают 55,5 % территории области. Особенно крупные лесные массивы сохранились на востоке области - по берегам Свири, Паши, Ояти.

В породном составе преобладают сосна (37%), ель (29%), берёза (26%). Наиболее богат сосняками Карельский перешеек. В сосновых лесах Карельского перешейка растут такие цветы и травы, как прострел раскрытый, гвоздика песчаная, качим пучковатый. Также растут такие опушечно-лесные псаммофильные виды как прострел весенний (*Pulsatilla vernalis*) и остролодочник грязноватый (*Oxytropis sordida*). Лесные ресурсы сильно истощены. Коренные сосновые и особенно еловые леса сохранились местами, главным образом на северо-западе и востоке области, но в основном они замещены малоценными и малопродуктивными производными мелколиственными лесами и мелколесьями (берёзы бородавчатая и пушистая, осина, ольха серая). В сырых местах встречаются леса из ольхи чёрной. На участках с плодородными почвами в составе лесов иногда встречаются широколиственные породы -- клён остролистный, липа мелколистная, дуб черешчатый, вязы шершавый и гладкий, ясень обыкновенный, а в подлеске -- лещина обыкновенная. Преимущественно в западной и южной частях области изредка можно встретить даже небольшие рощицы из широколиственных пород.

1.4.1. Описание водосбора реки Паша – ниже д. Дубово

Река Паша относится к речному бассейну реки Свири. Питание реки смешанное. Длина реки составляет 242 километров. Водосборный бассейн находится на площади, превышающей 6,65 тысяч квадратных километров.

Длина составляет 242 километров, площадь водосбора - 6650 км², расход воды - 70 м³/с

Гидрологический пост находится в полутора километрах ниже деревни Дубово.

Прилегающая местность - слегка всхолмленная равнина, поросшая преимущественно хвойным лесом, частично занята сельскохозяйственными угодьями, частично заболочена. Долина реки слабо выражена, склоны её незаметно сливаются с окружающей местностью. Русло реки слабоизвилистое, с крутыми, высокими, сложенными песками берегами, песчано-каменистое, подверженное деформации в 70 метрах выше поста небольшой каменистый остров.

В 50 метрах выше поста наблюдается выход грунтовых вод, способствующий образованию в этом месте ежегодно полыньи и промоины.

В осенне-зимний период на участке образуются зажоры, в период весеннего ледостава - заторы льда.

Пост находится на правом берегу и состоит из свай и реперов. Высота БС реперам поста передана нивелировкой ГМС IV кл. 1949 г., подтверждена нивелировкой ГМС IV кл. 1955 г.

Гидроствор №1 расположен в створе поста и оборудован дистанционной гидрометрической установкой ГР-70.

1.4.2. Описание водосбора реки Сясь –Яхново

Сясь – река протекает по Новгородской области и Ленинградской области России. Относится к Балтийскому бассейновому округу, к речному бассейну реки Нева, включая бассейны Онежского и Ладожского озера.

Река Сясь протекает с юго-востока на северо-запад. Берет начало на Валдайской возвышенности в 4 км юго-восточнее села Акулово Любитинского района Новгородской области. Впадает в Волховскую губу Ладожского озера в 3 км от города Сясьстрой Волховского района Ленинградской области.

Длина составляет 260 километров, площадь водосбора - 7330 км², расход воды - 53 м³/с

Пост находится в деревне.

Прилегающая местность - плоская равнина, поросшая смешанным лесом с преобладанием ели. Долина реки, шириной от 200 до 700 м., ясно выражена, с крутыми высокими склонами, занятыми сельскохозяйственными постройками. Пойма прерывистая, заливаается при очень высоких уровнях на короткое время. Русло прямолинейное, с высокими крутыми берегами, местами подверженными деформации (оползни), занятыми сельскохозяйственными угодьями; выше и ниже поста захламлено топляками. Дно русла - известняковая плита.

В 200м. выше поста наблюдаются скопления валунов.

Выше поста в 200 м. и ниже 2-4 км. образуются заторы и зажоры льда.

Пост находится на правом берегу и состоит из свай и реперов. Высота БС реперам поста передана нивелировкой ГМС IV кл. 1940 г. и подтверждена нивелировкой 1955г.

Отметка нуля поста 8.97 м. БС.

Гидроствор №1 расположен в 200м. выше поста и оборудован дистанционной гидрометрической установкой ГР-64 М.

1.4.3. Описание водосбора реки Оять – д. Тимофеевское

Река Оять берёт своё начало из Чаймозера на Вепсовской возвышенности на территории Вологодской области. Высота истока — 222 м над уровнем моря.

Длина Ояти составляет 266 км, площадь водосборного бассейна — 5220 км². Среднегодовой расход воды в 39 км от устья — 51,8 м³/с. Высота устья — 4,6 м над уровнем моря.

Пост расположен напротив деревни.

Прилегающая местность - всхолмленная равнина, поросшая смешанным лесом, вдоль берегов реки распаханная.

Долина реки ясно выражена, асимметричная, шириной до 3 км. Склоны высокие, крутые, заросли кустарником и лесом, местами заняты сельскохозяйственными угодьями.

На участке поста пойма отсутствует, ниже пойма левобережная, шириной до 0.5 км.

Русло реки шириной 140 м., извилистое, на участке поста протяженностью до 10м., покрыты кустарником и мелколесьем, местами травой.

В осенне-зимний период наблюдаются зажоры, весной - заторы льда.

Пост свайный, расположен на правом берегу, оборудован реперами.

Высота БС реперам поста передана нивелировкой ГМС IV кл. 1974 г.

Отметка нуля поста 8,86 м. БС

2. Методы учёта стока

2.1 Методы учёта стока при наличии ледовых явлений

В зимний период учёт стока усугубляется неустойчивостью и многообразием факторов, влияющих на пропускную способность русла. Появление льда и ледовых образований на реках обуславливает уменьшение пропускной способности русла.

Водный поток подо льдом движется под действием силы тяжести между двумя тормозящими поверхностями: неподвижной нижней – плоским дном и верхней – движущейся при ледоходе и неподвижной при ледоставе. При этом, такой поток может иметь вид

- а) равномерного (в период ледостава)
- б) неравномерного (если имеют место зажорные или заторные явления)
- в) Напорного (в речных наледях)
- г) неустановившегося (при прорыве заторов в нижних бьефах гидрологических узлов)

В зависимости от водности реки в период замерзания, реки различаются по такому основополагающему параметру как шероховатость нижней поверхности льда. В большинстве случаев, характер с величиной этого коэффициента определяется именно типом замерзания реки.

Для учёта 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. По влиянию на сложность гидрометрического учёта стока могут быть выделены четыре типа зимнего режима рек. В таблице представлены основные типы характеристик процессов замерзания рек.

Замерзание рек, в большинстве случаев, происходит по двум сценариям: забереги постепенно расширяются и смыкаются (1 тип), либо же, в нескольких

местах одновременно происходит образование "ледяных перемычек", между которыми впоследствии скапливается влекомый течением реки лёд (2 тип). Однако, кроме приведённых основных форм, на реках с высокими скоростями течения наблюдаются еще две: перемещение кромки льда снизу вверх по течению (3 тип) и перемерзание русла с образованием закупоривающего зазора (4 тип).

Рассмотрим основные варианты учёта стока.

В первую очередь, проверяется возможность построения зимних кривых расхода. Для зимнего периода возможно получение нескольких самостоятельных кривых, которые соответствуют таким периодам как:

- переходный период осеннего замерзания;
- период сплошного ледостава;
- весенний предледоходный период;
- переходный период весеннего вскрытия.

В случаях, если построить зимние кривые расхода не представляется возможным, наиболее простым решением задачи по вычислению стока является интерполяция расходов воды между измеренными значениями.

Для построения зимних кривых расходов, а тем более для интерполяции измеренных расходов воды, надо располагать достаточно большим количеством этих измерений. В практике учёта зимнего стока всегда стремились опираться не только на измерения расходов, но и на некоторые дополнительные физические предпосылки.

В соответствии с Наставлением, для гидрометрического учета стока в

зимние или переходные периоды используют способы, представленные в таблице 2.1.

1 тип		2 тип	3 тип	4 тип
А	Б			
1. Интерполяция между измеренными расходами	зависимость $K_{зим}=f(t)$	$K_{зим}=f(t)$ со срезкой уровней	Интерполяция между измеренными расходами	Интерполяция между измеренными расходами
2. Интерполяция между измеренными расходами с использованием $K_{зим}$	Зимние кривые расходов	зависимость $K_{зим}=f(a)$	Срезка уровней	Зимние кривые расходов

Таблица 2.1 Способы учёта стока в зимний и переходный периоды

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

2.1.1. Интерполяция между измеренными расходами.

Для облегчения построения и анализа данных, практикуют построение графической криволинейной интерполяции, иными словами, построение гидрографа по точкам (Q, t) измеренных расходов.

При построении гидрографа необходимо проводить достаточно частые измерения расходов воды (не менее 5 раз за месяц), чтобы добиться наиболее точных усреднённых показаний для данного створа.

Помимо осреднения необходимо брать во внимание питание водотока в исследуемый период. Осреднение обязательно если приток поверхностных вод отсутствует, но при колебаниях расходов разного знака осреднением рекомендуется пренебречь.

Интерполяцию рекомендуется применять в таких случаях:

- Если имеет место переменные подпоры от ледовых образований на нижележащем участке (3 тип);
- При движении потока поверх льда в последствии перемерзания (4 тип);
- Когда изменение расхода соответствует монотонному однонаправленному изменению (1 тип, вариант А);
- Если поверхностное питание отсутствует;
- При подъеме половодья.

Для использования подобной методики, необходимо большое количество измерений.

Построение хронологического графика зимних переходных коэффициентов.

$K_{зим}$ - переходный коэффициент, который выражает степень нарушения связи между уровнем и расходом, характерным для этой реки в состоянии

свободного русла, исходя из суммарного влияния ледовых образований:

$$Q_{\text{зим}} = K_{\text{зим}} * Q_0 \quad (2.1)$$

$Q_{\text{зим}}$ – расход воды при наличии ледяных образований;

Q_0 – расход, который снят при том же уровне с кривой расходов свободного русла.

Для применения способа, сначала вычисляются промежуточные значения между известными расходами, затем они наносятся на график значения зимних переходных коэффициентов измеренных расходов ($K_{\text{зим}}, t$). На следующем этапе производится построение хронологического графика $K_{\text{зим}} = f(t)$ по полученным точкам.

Схемы, построенные на закономерностях в зависимости от температуры воздуха и гидрологических факторов, которые разработал Огиевский для обоснования учета зимнего стока, используются при построении хронологического графика.

Если измеренных данных достаточно, то линию графика проводят "осреднённо", во время сплошного ледостава же, линия представляет собой сглаженную кривую.

Этот метод наиболее эффективен в случаях если учёт хода уровня уточняет результат вычислений, а также, в случаях когда колебания расхода происходят резко, либо часто принимают разный знак.

Во время переходных периодов возникают сложности с использованием данного метода, так как, необходимо учитывать изменение температуры и слоя осадков, ледовой обстановке на нижележащем участке реки, изменение (качественные и количественные) ледовых образований. Наряду с этим, следует обратить внимание на то, каким образом проходил этот же период в предыдущие годы. Если имеет место отсутствие прямой и наглядной связи расходов с уровнями, то использование зимних переходных коэффициентов может повлечь за собой грубые ошибки в расчётах, поэтому, данная методика

не может быть использована. Такие случаи могут быть во время зажорно - заторных явлений, когда ледовые образования постоянно подвержены изменениям со стороны внешней среды, либо человека.

Таким образом, аналогично с методом интерполяции расходов, метод переходных коэффициентов реализуется путём построения графиков и не включает в себя аналитическое обоснование.

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

Общие и простые схемы расчета зимних расходов воды за авторством Л.И.Ковалёва являются ещё одним методом расчёта стока. Эти схемы основаны на зависимости $K_{зим}=f(\alpha)$, в котором α – коэффициент, учитывающий степень стеснения живого сечения потока ледовыми образованиями, и равен отношению площади живого сечения ω потока под ледяным покровом к полной площади поперечного сечения, ограниченной сверху линией уровня воды в лунке $\omega_{полн}$:

$$a = \frac{w}{W_{полн}} = \frac{(\omega_{полн} - \omega_{пл})}{\omega_{полн}}$$

(2.2),

где $\omega_{полн}$ – площадь живого сечения потока для определенного уровня свободного русла,

$\omega_{пл}$ – площадь погруженного льда.

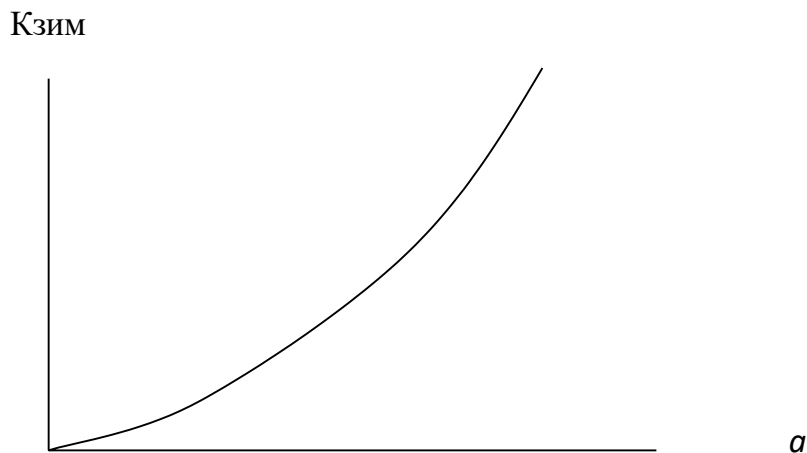


Рис. 2.1. Кривая $K_{зим}=f(\alpha)$

Для оценки метода используется абсолютная величина отклонений точек, вычисленных с помощью графика, от соответствующей кривой. В случаях, когда отклонения по оси ординат превышают более чем на 15-20%, способ признаётся малоэффективным и не может быть использован. Опираясь на данные, можно заявить о том, что связь $K_{зим}=f(\alpha)$ действительно оправдана для малых и средних рек.

2.1.3. Зимние кривые расходов.

Большой проблемой при постоянном ледоставе без оттепелей является необходимость большого количества измерений для более точного учёта стока. Для упрощения данной задачи, применяют так называемые зимние кривые, использование которых позволяет сократить количество измеренных расходов.

Применяя этот метод, необходимо понимать, что использование кривых целесообразно и эффективно только для крупных рек. Для средних и малых рек, рассматриваемый режим выявляет колебания уровня, вызванные только ходом ледообразования, без учета других факторов, что ведёт к большим погрешностям в результатах.

В случаях, когда помимо ледостава на реке образуются заторы, применение данных кривых осложняется. Если затор не является кратковременным и ярко выраженным, применение кривых не допускается. В случае если характер подпора хорошо выражен и сам подпор является кратковременным, возможно использование таких кривых в сочетании со срезкой подпорных уровней.

В период весеннего вскрытия, связь в кривых является неустойчивой, так как уровни и расходы могут достаточно сильно изменяться за короткое время, в результате того, что ледовые образования постепенно уменьшают своё влияние на сток.

2.1.4.Срезка подпорных уровней за подпорный период.

В случаях, если на реке возникает кратковременный подпор (резкий подъём уровня воды), не изменяющий водности реки, применяют срезку подпорных уровней - то есть - на графике уровня воды находят начало и конец подпорного периода - там, где наблюдаются начало и конец колебаний уровней, связанных с подпорными явлениями. После определения начала и конца периода, эти точки соединяют кривой, либо прямой линией (в зависимости от изменения уровня воды). В данном случае, расходы воды вычисляют согласно кривой устойчивой связи $Q_{св} = f(H)$ с использованием восстановленных (либо срезанных) уровней. Суть исследуемого способа заключается в том, что уровни, снятые за подпорный период, не будут учитываться.

2.2 Методы учета стока при зарастании русла

Зарастание рек, как правило, сложный процесс, его развитие обусловлено совместным влиянием различных факторов. Одним из которых является гидрологический режим реки. Гидрологический режим содержит особенности жидкого и твердого стока, свойства морфологического строения участка реки, рельеф дна и тип грунтов, также режим движения донных наносов и пр. Немаловажную роль играет химический состав стока, так как он в большой степени определяет базовые условия произрастания водной растительности.

На развитие водных растений влияют также почва дна и берегов, количество содержащихся в них мелких фракций, которые образуют благоприятную среду для развития биомассы. Их поступление, обычно, происходит прямо с поверхности водосборов. Некоторая их часть аккумулируется в долинах и руслах верхних звеньев речных систем. Стоит

заметить, что наносы, которые относятся к бассейновому происхождению, также могут наблюдаться в руслах высоких порядков.

Существует зависимость степени зарастания от площади водосбора реки. Чем меньше площадь водосбора реки, тем больше ее зарастание и наоборот, с увеличением площади водосбора – зарастание уменьшается, а реки с площадями водосборов более 25000 км² не зарастают или зарастание существенно не влияет на пропускную способность русла.

Средние и малые реки зарастают водной растительностью, что ведёт к появлению дополнительного сопротивления движению руслового потока. Растительность, в таком случае, можно назвать очень сложным видом шероховатости. Это определяется достаточно сложной структурой потока в заросших руслах, которая с трудом поддается анализу.

Зарастание русла можно рассматривать в нескольких аспектах :

- гидравлический – создание дополнительного сопротивления движению потока;
- гидрометрический – проявление расхождения в связи расходов и уровней воды.

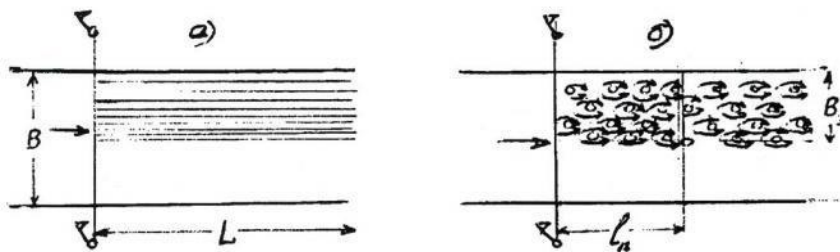


Рис.2.2 Схемы тормозящего действия водных растений на поток а)по В.Н.Гончарову б)по А.Найту

Водная растительность в русле, как фактор гидравлических сопротивлений может быть представлена (рис.2. 2):

а) в виде системы введенных в поток продольных тормозящих поверхностей, многократно увеличивающих смоченный периметр русла.

б) в виде совокупности препятствий, создающих очаги местных сопротивлений.

Так как большая часть водотоков, протекающих на территории России, зарастает водной растительностью, то в последствие осложняется и учет стока, так как зарастание русла имеет влияние на характеристики водотока, например, коэффициент шероховатости, средние скорости течения, площадь живого сечения и др.

Как правило, в периоды дождевых паводков, которые отмечаются довольно часто на многих реках, являются более трудоемкими для учёта стока, так как достаточно не освещены измерениями расходов воды. В такие периоды также возрастают погрешности гидрометрического учета стока.

Современная практика гидрометрического учета стока зарастающих рек базируется на методическом руководстве, которое разработано еще в прошлом столетии. Из содержащихся в нем рекомендаций следует, что достоверные данные могут быть получены при выполнении большого объема трудоемких измерений расходов воды.

Необходимость в повышении надежности учета стока приобретает актуальность в связи с увеличением масштабов контроля экологии ландшафтов и реализации системы мониторинга водных объектов.

Потребность в большом количестве измерений расходов воды,

обусловлена тем, что в них игнорируются гидравлические закономерности движения потока в интервале между измерениями.

2.2.1. Интерполяция измеренных расходов

Основными исходными данными для гидрометрического учета стока при зарастании русла являются измерения расходов воды. Одним из методов учета стока, по рекомендации Наставления, служит метод интерполяции между измеренными расходами воды. Интерполяция выполняется графически, интерполяционная линия строится криволинейно. Кривую необходимо проводить так, чтобы точки (Q , t) измеренных расходов располагались равномерно по обеим сторонам кривой, т.е. осредненно, это позволит сгладить погрешности измерений. Для того, чтобы снять с кривой расходов значения определенной точности, интерполяционный график (2.3) необходимо строить в допускающем масштабе.

Данный прием графической интерполяции можно назвать интуитивным, так как точность выполнения во многом зависит от опыта и знаний исполнителя.

Интерполяцию можно применять, когда водность рек между измерениями происходила плавно, или когда измерения расходов воды наблюдались достаточно часто.

Рассматриваемый метод считается ограниченным в применении из-за сложности в определении характера водности между измерениями. Для надежности расчетов методом интерполяции необходимо владеть измеренными расходами для всех переломных моментов гидрографа, что требует большого количества измерений.

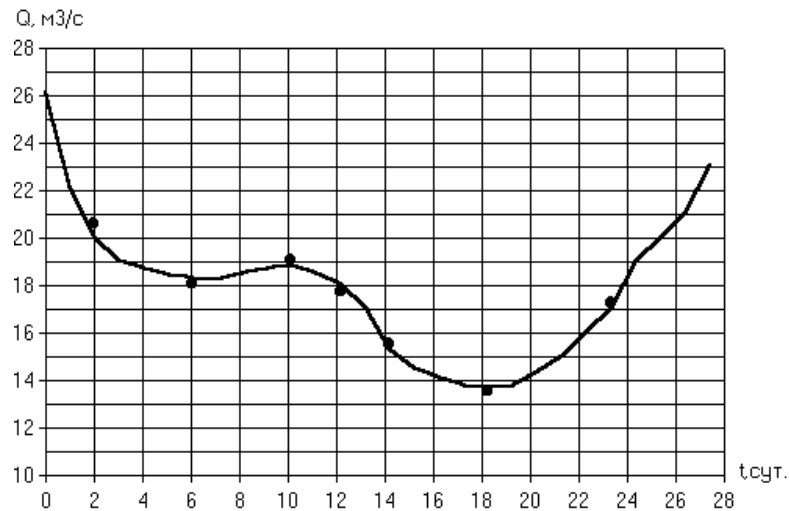


Рис.2.3 Графическая интерполяция измеренных расходов воды.

Следует отметить, что вычисление стока методом интерполяции измеренных расходов производится очень часто и дает приемлемые результаты.

Во время дождевого паводка на зарастающих реках появляется необходимость в увеличении частоты измерений расходов воды, так как в это время меняется водность реки и пропускная способность русла. При условии, что все фазы дождевого паводка оснащены измерениями, т.е. измерения проводились в ветвь подъёма, пик и в ветвь спада, то рассматриваемый метод интерполяции служит достаточно надежным способом вычисления стока в данный период.

Помимо надежности результатов, большое количество измерений может способствовать детализации параметров моделей учета стока, которые используются при недостаточном количестве измерений, а также способствует большей надёжности при вычислении погрешности их результатов. Однако, как показывает практика, в периоды дождевых паводков измерения расходов воды либо вовсе отсутствуют, либо не в полной мере определяют изменения

водности. В таком случае учет стока производят методом переходных коэффициентов.

2.2.2. Метод переходных коэффициентов

Расчет по хронологическому графику переходных коэффициентов $K_{зар}$ считается основным способом учета стока в период зарастания русла. В тридцатых годах А.В.Огиевский разработал способ переходных коэффициентов для зарастающих рек, именно в то время, данный метод и получил широкое распространение.

В зарастающем русле измеряют расход воды $Q_{зар}$, определяют к расходу Q_0 , который в дальнейшем снимается с кривой $Q_0(H)$ для свободного русла при таком же уровне, и находят коэффициент зарастания $K_{зар}$ по формуле:

$$k_{зар} = \frac{Q_{зар}}{Q_0} \quad (2.2.1)$$

Затем по полученным данным $K_{зар}$ строится хронологический график зависимости $K_{зар}=f(T)$.

По построенному графику снимают значение $K_{зар}$ в период заросшего русла для каждого дня. Необходимый расход определенного дня $Q=Q_0*K_{зар}$, где Q_0 определяется по кривой уровня рассматриваемого дня. Весной $K_{зар}$ равен единице, затем ближе к середине лета становится 0,15 – 0,20 в последствии зарастания, а после снова возрастает. Как указывал Огиевский, $K_{зар}$ стремится к своему пределу – единице, к концу вегетационного периода.

Во время дождевых паводков $K_{зар}$ может значительно возрасть. В

связи с этим, под зависимостью $K_{\text{зар}}=f(H)$ рекомендуется начертить график изменения уровня и сравнивать их. При условии, что значения коэффициента во время паводка не изменяется или изменения совсем незначительны, то линию коэффициентов разрешено проводить по точкам. При обратной ситуации требуется вспомогательный график $K_{\text{зар}}=f(H)$ для рассматриваемого периода.

$K_{\text{зар}}$ характеризуется как главный критерий пропускной способности русла, который уменьшается при зарастании. Рассматриваемый коэффициент, как правило, всегда меньше единицы. Данное условие предусматривает расположение кривой $Q_0(H)$ справа от точек измеренных расходов при зарастающем русле.

Существует еще один прием, когда для области с низкими значениями уровня проводят кривую и производят экстраполяцию ее верхней ветви (полученную до зарастания) вниз, что является недостаточно корректным. И.Ф.Карасев указывал, что расположить кривую $Q_0(H)$ для свободного русла используя формулу Шези, то она окажется правее той кривой, которая была составлена по значениям гидрологического ежегодника. Кроме этого, описанные В.С.Боровковым опыты А.Лудова показывают, что из – за полегания растительности, а также при благоприятных условиях обтекания берегов в межень, вполне возможно уменьшение гидравлических сопротивлений, и как результат – кривая Q_0H будет расположена левее точек расходов при зарастании.

Анализируя вышесказанное, можно сказать, что $K_{\text{зар}}$ в некоторых моментах служит не совсем корректной оценкой, которая является ошибочной относительно реальных условий зарастающих русел. Стоит отметить, что в гидрометрической практике применение $K_{\text{зар}}$ не критично

искажает результаты вследствие того, что установление значения коэффициента основывается на значениях измеренных расходах воды.

Применение поправочных коэффициентов, так же и $K_{зар}$, в виде функции времени обусловлен тем, что при неоднозначности зависимости $Q(H)$ система измеренных расходов дает возможность установить ход изменений между измерениями.

Однако, при применении формальной математической интерполяции, которая не зависит от гидравлических параметров пропускной системы, результаты расчетов не будут уточнены.

Небольшая часть специалистов, в особенности эстонский методист Т.Ф.Эйпре, не глядя на физические факторы, которые могут определять неоднозначность зависимости $Q(H)$, предполагали, что осенью $K_{зар}$ может восприниматься как $K_{зим}$, и поэтому внесли возможность не делать между рассматриваемыми коэффициентами различий.

2.2.3. Временные кривые расходов воды

При зарастании русла, в случаях резко выраженного паводочного режима, основным способом является построение кривых расходов, при этом последние могут быть следующих видов:

а) кривые однозначной связи, которые выражают временно устойчивую, но изменённую, по сравнению со свободным состоянием русла, связь между расходом и уровнем. Такие кривые свойственны периоду относительно стабильного состояния водной растительности;

б) кривые неустойчивой связи – переходные кривые зарастания; они могут иметь неправильный вид. Период действия переходных кривых всегда соответствует одной фазе изменения уровня – подъёму или спаду, а границы периода отвечают переломным точкам графика

уровня – максимумам и минимумам. Такие кривые обычно свойственны периодам роста и отмирания водной растительности, но могут иметь место и при стабильном её состоянии, и при прохождении паводков.

При построении кривых их вид и сроки действия определяются положением точек (Q, H) измеренных расходов.

2.3 Методы учета стока при свободном русле

2.3.1. Использование временных кривых при вычислении стока.

Система временных кривых – это совокупность временных кривых, последовательно смыкающихся друг с другом в точках, отвечающих моментам перехода с одной кривой на другую.

ВКР могут быть:

- однозначные, соответствующие временно устойчивому состоянию русла, могут действовать в период, включающий несколько фаз уровня; они должны иметь вид плавных кривых, с выпуклостью, обращенной к оси уровней;
- переходные временные кривые, выражающие неустойчивую связь между расходом и уровнем и соответствующие периодам деформации русла; могут иметь произвольный вид – вогнутость, обращенную в любую сторону и перегибы.

Переходы с одной кривой на другую всегда происходят на максимумах и минимумах графика уровня. На границах между устойчивым и неустойчивым состоянием уровня русла переход от однозначной кривой к переходной и наоборот происходит обычно в момент начала резко выраженного подъема или окончания крутого спада значительного паводка, часто при уровнях, близких к наивысшим.

Кривые расходов в расчетах неустановившегося движения воды.

Основным способом учета стока при паводочной петле применяемый на

сети является вычисление стока по кривым расходов подъема и спада, образующим в совокупности петлеобразную кривую. Кривые подъема и спада, которые строятся для каждого паводка, выражают неустойчивую во времени связь между расходом и уровнем для периода данного подъема или спада уровня.

При освещении измерениями расходов всей амплитуды колебаний уровня, как на подъеме, так и на спаде при состоянии русла, свободном от ледяных образований, влияющих на связь между расходом и уровнем, построение кривых подъема и спада определяется расположением точек измеренных расходов (Q , H). Требования, которым должно удовлетворять проведение указанных кривых, сводятся к следующему: кривая должна представлять плавную линию; точки измеренных расходов должны распределяться равномерно по обе стороны кривой.

На практике при построении паводочных петель часто приходится считаться с недостаточной освещенностью хода уровня измерениями расходов вследствие того, что на подъеме ледоход воспрепятствовал проведению гидрометрических работ, хотя в то же время и не влиял на связь между расходом и уровнем, что для ледохода средней и малой густоты на больших реках является обычным.

При построении петлеобразных кривых в условиях недостаточной освещенности необходимо иметь в виду изложенные ниже положения, которые облегчают построение кривой на неосвещенном участке и ее экстраполяцию. Указанные положения могут также помочь при оценке надежности вызывающих сомнение измеренных расходов при сокращенном числе вертикалей. Все нижеследующие положения относятся к случаю отсутствия деформаций русла и переменного подпора.

В нижних частях ветви подъема и спада смыкаются в одну кривую, являющуюся нижней частью кривой установившегося режима. Под кривой

установившегося режима подразумевается кривая, выражающая однозначную связь между расходом и уровнем, которая имела бы место, если бы колебания расхода и уровня происходили настолько медленно, что не вызвали бы ощутимой разности уклонов на подъеме и спаде. Заметим, что эта кривая в общем случае не проходит посередине между ветвями подъема и спада. Точки ответвления кривых подъема и спада от кривой установившегося режима соответствуют началу ясно выраженного подъема и концу ясно выраженного спада паводка. Так как на практике переход от зимней межени к подъему и от спада к летней межени зачастую имеет постепенный характер, то соответственно этому и указанные точки на петлеобразной кривой часто обозначаются не четко. Однако затруднений в построении кривой это обстоятельство обычно не вызывает. Положение кривой спада, как правило, на всем протяжении ее определяется точками измеренных расходов, а в отыскании точки ответвления кривой подъема в большинстве случаев нет необходимости в связи с тем, что начало подъема, относится к периоду сплошного ледостава или густого ледохода, влияющего на связь между расходами и уровнями. Сток за этот период вычисляется методами, основанными на построении зимних кривых расходов воды или переходных коэффициентах ($K_{зим.}$).

В верхней части кривые подъема и спада сопрягаются плавным закруглением. Наивысшая точка петлеобразной кривой – точка сопряжения кривых подъема и спада – должна лежать на кривой установившегося режима, что имеет значение для экстраполяции петлеобразных кривых. Точка наибольшего расхода должна лежать на ветви подъема несколько ниже наивысшего уровня. Соответственно этому срок наступления наибольшего расхода должен опережать срок наступления наивысшего уровня. При небольшой относительной ширине петли это последнее положение на практике нередко не оправдывается и наибольший расход оказывается соответствующим

наивысшему уровню.

Каждому данному паводку и каждой волне многократного паводка в общем случае отвечает самостоятельная петлеобразная кривая.

При построении недостаточно освещенных кривых подъема в семействе паводочных петель можно ориентировочно руководствоваться следующим правилом: отклонение по абсциссе ветви петлеобразной кривой от кривой установившегося режима тем больше, чем больше величина интенсивности изменения уровня. Последняя величина может быть оценена по углу наклона линии подъема или спада уровня, или отдельных участков этой линии к горизонтальной оси. Чем круче наклон указанной линии, тем дальше от кривой установившегося режима должна лежать соответствующая ветвь петлеобразной кривой.

Наличие деформаций русла или переменного подпора нарушает справедливость изложенных положений. В этих условиях кривые установившегося режима для различных паводков могут смещаться относительно друг друга, а положение ветвей может быть не связано с интенсивностью изменения уровня.

В условиях слабовыраженной неустойчивости русла или переменного подпора (например, если эти условия проявляются только в отдельные годы) изложенные правила могут использоваться для ориентировки при обязательном учете имеющихся данных о деформациях русла или причинах переменного подпора.

3. Современные методы учёта стока

3.1 Метод, основанный на применении параметра Великанова

Данный метод применяется для расчёта стока в периоды между наблюдениями.

После прохождения дождей, на сети применяют интерполяцию параметра Великанова, связывая значения, полученные путём применения РГМ (регрессионно-гидравлическая модель) и значения, соответствующие свободному руслу. Они выбираются по наблюдаемым расходам рассматриваемого года, либо по значениям предыдущих лет в идентичных условиях.

Этот метод используется наряду с методом интерполяции коэффициента Кзар., однако, достоинством метода основанного на применении параметра Великанова является то, что нет необходимости в кривой расходов, её экстраполяции и увязки. Параметр Великанова - m - дает возможность оценить трансформацию гидравлического сопротивления как при зарастании русла, так и в зимний период. Данный метод относительно прост в освоении.

3.2. Регрессионно-гидравлические модели

Главным регламентирующим документом, который содержит рекомендации по выбору и применению способов вычисления стока рек, служит РД 52.08.915-2021. Обработка и обобщение данных наблюдений за стоком воды на реках и каналах при подготовке справочных изданий Водного Кадастра.

В нем рассматривается более 20 вариантов и способов учета стока, которые ориентированы на ручную обработку результатов наблюдений и измерений. В отделе гидрологической сети и лаборатории гидрометрии ГГИ разработаны усовершенствованные модели гидрометрического учета стока.

На данный момент большинство станций гидрологической сети снабжено цифровым оборудованием и способно использовать методы учета стока, которые требуют проведения большого объема вычислений, тем самым открывая перспективу повышенной точности учета стока, в следствии внедрения современных методик и технологий, которые были основаны на методах конца прошлого века.

Универсальная модель гидрометрического учета стока, разработанная Яковлевой Татьяной Ивановной, позволяет повысить надежность вычисления ежедневных расходов воды, легко может быть реализована в компьютерных технологиях, а также создает возможность для корректной оценки погрешностей ЕРВ.

Основываясь на формуле Шези – Маннинга, была создана регрессионно – гидравлическая модель учета стока, которая учитывает гидравлические характеристики движения потока между измерениями . Такая модель предложена И.Ф.Карасевым и Е.Б.Сунцовой, в ней геометрические элементы русла B и h , входящие в формулу Шези – Маннинга, представлены как функции уровня воды H при помощи схематизации очертаний поперечного профиля русла в виде параболы S -ого порядка:

$$B = \beta h_{\max}^S; h = \varphi h_{\max}; h_{\max} = H - H_0 \quad (3.1)$$

где β - геометрический параметр, который имеет размерность M^{1-S} ,

H_0 – наименьшая отметка дна над нулем поста.

Показатель степени S связан с коэффициентом формы русла φ :

4. Анализ результатов расчётов

В процессе подготовки представленной выпускной квалификационной работы, была проделана попытка расчетов годового гидрографа стока новым современным методом, который основан на линейной интерполяции параметра Великанова. Уникальность рассматриваемого метода заключается в его определении напрямую по гидрометрическим данным.

Сравнительные расчеты выполнены по трём рекам Ленинградской об области за разные годы. Река Паша – станция ниже д. Дубово, Сясь – станция Яхново и река Оять – станция д. Тимофеевское.

Для расчетов использовались данные наблюдений на реках, которые не подвержены активному зарастанию. Рассматриваемые реки имеют относительно длинные (больше 40) ряды измеренных расходов, но в то же время незначительно (на 15-20%) различаются по площадям водосборов.

В таблице 4.1 показаны гидрологические и географические характеристики рек.

№пп	Река-пост	год	F,км ²	Q, м ³ /с
1	Паша – ниже д. Дубово	1973	6650	31,1
2	Сясь – д. Яхново		7330	29,3
3	Оять – станция д. Тимофеевское		5220	12

Таблица 4.1 Гидролого – географические характеристики рек

Для расчета параметра m для рассматриваемых рек, по имеющимся данным измерений расходов, использовалась формула:

$$m = \frac{QB^{2/3}}{w^{5/3}}$$

В качестве эталонных принимались значения из первого тома гидрологического ежегодника ($Q_{ге}$) бассейна Балтийского моря за 1973 год, выпуск 0-3.

Применение метода интерполяции параметра Великанова в интервале между измеренными расходами воды с целью восстановления годового гидрографа стока показало что метод достаточно эффективен, чтобы мог быть использован на постоянной основе.

Для вычисления стока данным методом использовался следующий алгоритм:

- Для каждого дня, имеющего соответствующий измеренный расход, определялся параметр m_i ;
- Применяя линейную интерполяцию, находились значения параметра m_i для дней между измерениями
- Так как нам известен среднесуточный уровень, можно выстроить зависимости $\omega=f(H)$ и $B=f(H)$. Согласно этим зависимостям определяются площади живого сечения (ω) и ширины русла (B) для промежуточных дней
- Применив формулу $m = \frac{QB^{2/3}}{w^{5/3}}$, находим значение Q_i для каждого промежуточного дня

В таблице 4.2 представлены результаты расчетов средних расходов воды, рассчитанные по методу интерполяции параметра.

Полученные данные сравнивались с данными, полученными из ежегодника за 1973 год, была произведена оценка погрешности.

№	Река – Пункт	Год	Р В	Q ге	Q m	S %
1	Река Паша – станция ниже д. Дубово	1973	50	31,1	31,8	2,5
2	Сясь – станция Яхново	1973	46	29,3	29,9	2
3	Оять – станция д. Тимофеевское	1973	55	12,8	12,24	4

Таблица 4.2 Результаты расчетов средних расходов воды

Результаты расчетов, представленные в таблице 4.2, где показаны средние расходы, приведенные в ежегоднике ($Q_{ге}$) и рассчитанные на основе линейной интерполяции параметра m (Q_m), в столбце РВ указано количество измеренных расходов в год, по которым велись расчеты. Интерполяция

параметра m при вычислении стока дает достаточно точные результаты, гидрографы имеют небольшие различия, но характер изменения расходов воды совпадает.

Значения, полученные методом интерполяции параметра Великанова, в сравнении со значениями, взятыми из гидрологических ежегодников, имеют незначительные различия (колебания погрешности S изменяются в среднем на 3%)

Как видно из представленной таблицы, получены вполне удовлетворительные результаты для среднегодовых расходов воды, расхождения значений расчета ($S\%$), выполненного методом

интерполяции параметра Великанова, с данными по гидрологическому ежегоднику, укладываются в диапазон погрешности измерений.

Для наглядности на графиках 4.1, 4.2, 4.3 представлены гидрографы стока для реки Паша – станция ниже д. Дубово, р. Сясь – станция Яхново и реки Оять – станция д. Тимофеевское за 1973 год, построенные по данным из гидрологического ежегодника и рассчитанные на основе линейной интерполяции параметра Великанова.

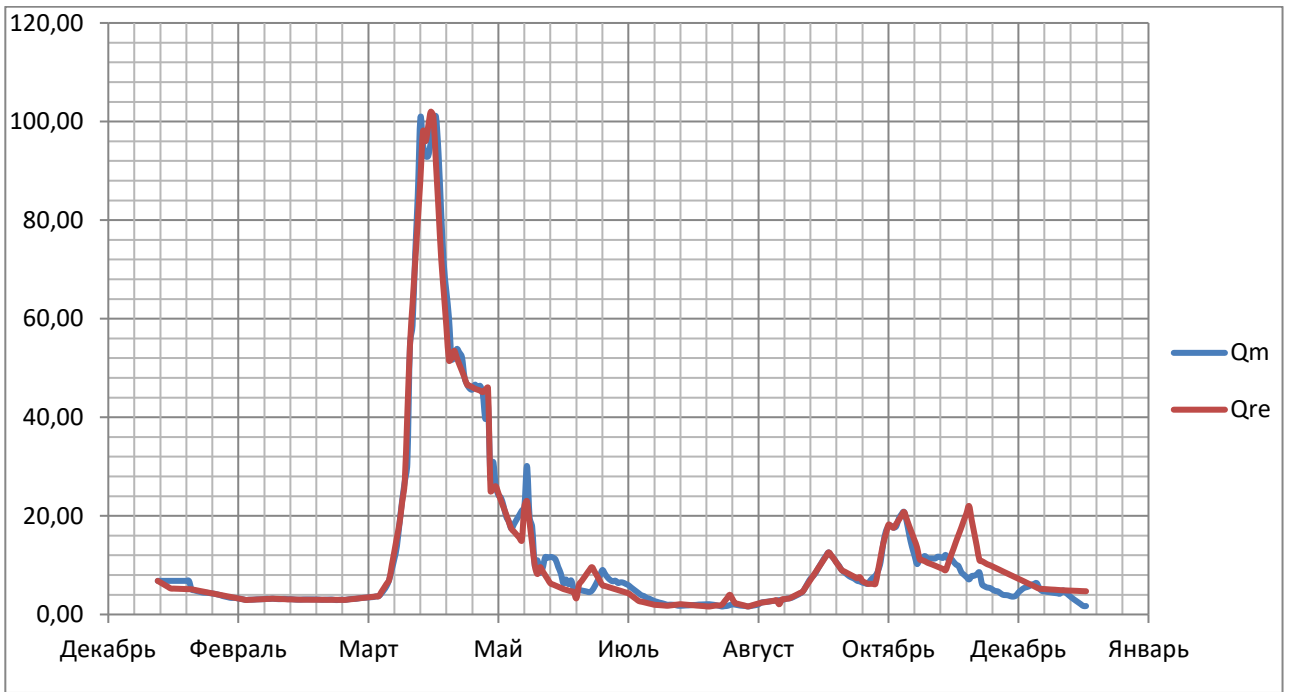


Рис. 4.1 Рассчитанный по хронологическому ходу параметра Великанова гидрограф для реки Оять за 1973 год.



Рис. 4.2 Хронологический ход параметра Великанова для реки Оять за 1973 год

На рисунке 4.1 изображены совмещенные гидрографы стока, гидрограф, рассчитанный по хронологическому ходу параметра Великанова и гидрограф, построенный по данным гидрологического ежегодника, для реки Оять за 1973 год.

Мы видим практически полное совпадение гидрографов, за исключением зимнего периода. В зимний период расчеты выполненные по интерполяции параметра Великанова слегка занижают сток, по сравнению с данными гидрологического ежегодника.

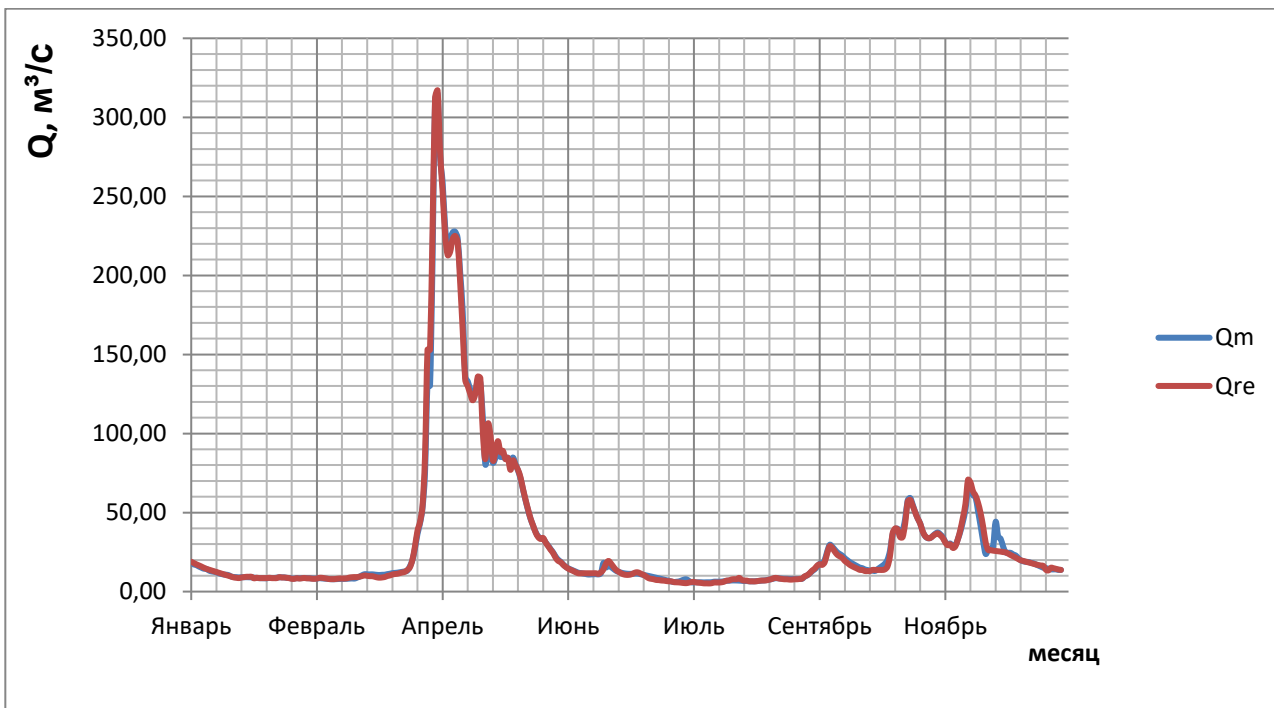


Рис. 4.3 Рассчитанный по хронологическому ходу параметра Великанова гидрограф для реки Паша – ниже д. Дубово за 1973 год.

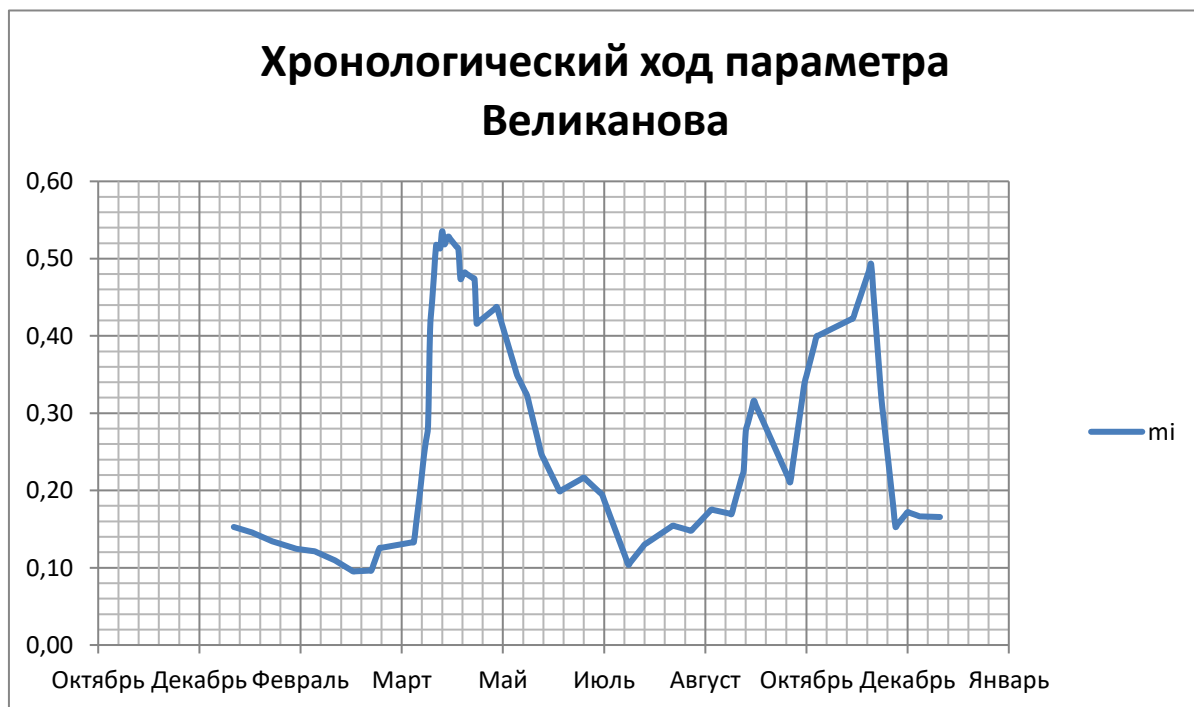


Рис. 4.4 Хронологический ход параметра Великанова для реки Паша за 1973 год

На рисунке 4.3 изображены совмещенные гидрографы стока, гидрограф, рассчитанный по хронологическому ходу параметра Великанова и гидрограф, построенный по данным гидрологического ежегодника, для реки Паша – ниже д. Дубово за 1763 год.

Как видно на графике, мы получаем практически полное совпадение гидрографов, за исключением зимнего периода. В зимний период расчеты выполненные по интерполяции параметра Великанова слегка занижают сток, по сравнению с данными гидрологического ежегодника.

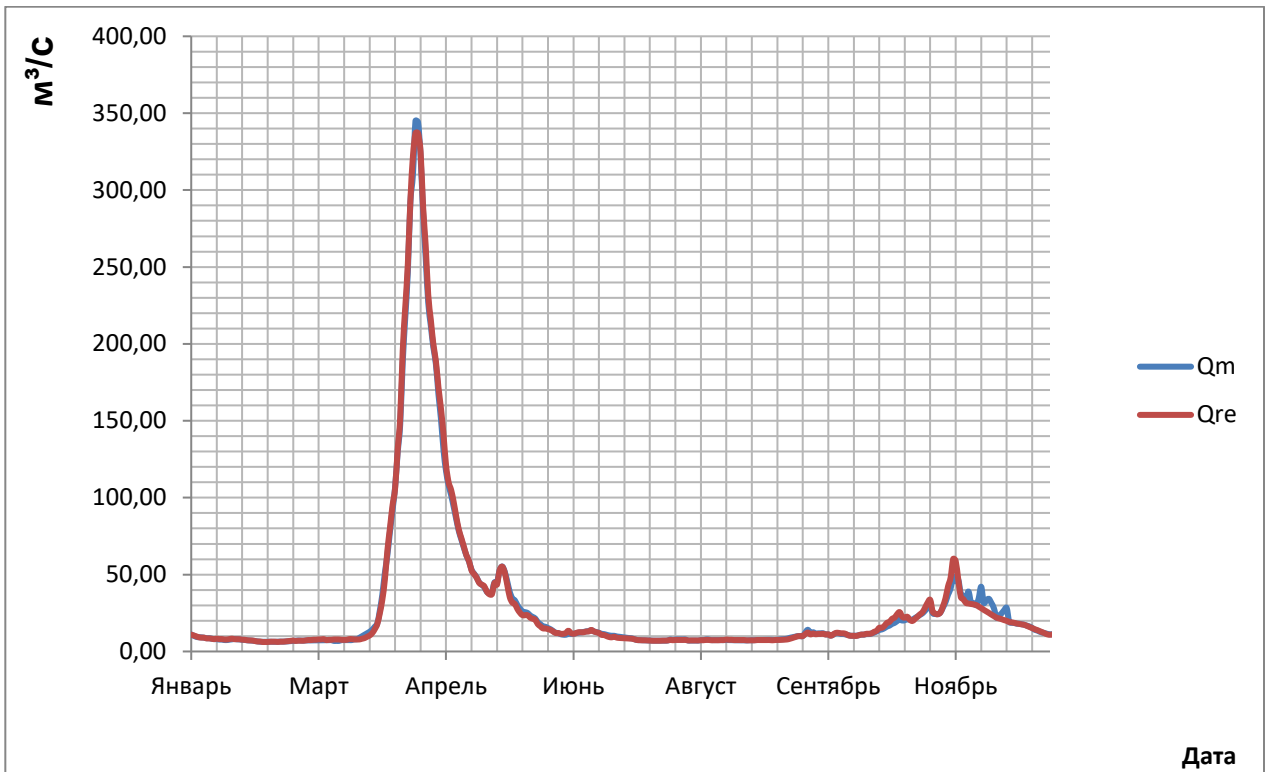


Рис. 4.4 Рассчитанный по хронологическому ходу параметра Великанова гидрограф для реки Сясь - д. Яхново за 1973 год.



Рис. 4.5 Хронологический ход параметра Великанова для реки Сясь за 1973 год

На рисунке 4.4 изображены совмещенные гидрографы стока, гидрограф, рассчитанный по хронологическому ходу параметра Великанова и гидрограф, построенный по данным гидрологического ежегодника, для реки Сясь - д. Яхново за 1973 год.

В приведенных рисунках, можно заметить, что гидрографы, построенные по значениям, рассчитанным методом интерполяции параметра Великанова имеют почти полное совпадение с гидрографами, построенными согласно данным, взятым из гидрологического ежегодника. Однако, стоит обратить внимание, что в зимние месяцы гидрографы имеют наибольшее отклонение. Такое различие наблюдается для всех гидрографов.

В результате расчётов было выявлено, что данная методика, сформированная на основе интерполяции параметра Великанова, предоставляет вполне достоверные данные об изменениях пропускной способности русла, а также представляет собой целесообразную математическую основу для цифровых технологий учета стока.

Заключение

Представленная методика реализована в виде вычислительных процедур. Проведена серия численных экспериментов по оптимизации компьютерной технологии гидрометрического учета стока для постов на реках Ленинградской области.

После проведения выполненного анализа можно сделать выводы:

- с помощью параметра Великанова можно достаточно точно оценивать изменения гидравлических условий в русле;
- применение интерполяции параметра Великанова при учете стока дает возможность получать надежные и физически обоснованные результаты;
- при использовании методики для рек с малым водосбором, необходимо понимать, что погрешность будет выше чем на средних реках;
- методика, основанная на хронологическом представлении параметра Великанова (m), в полной мере отражает изменения пропускной способности русла и служит наиболее рациональной математической основой для компьютерной технологии вычисления стока рек ;
- Гидрографы, полученные благодаря использованию метода линейной интерполяции параметра Великанова практически полностью совпали с гидрографами, построенными по данным наблюдений на гидрологических постах.

Список использованной литературы.

1. Большаков В.А., Векшина Т.В. Гидравлические сопротивления и учет стока при зарастании русел рек водной растительностью//Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов 31 марта 2016 г. по материалам III международной научно -практической конференции/ Под общ. Ред. А.В. Туголукова – Москва: ИП Туголуков А.В., 2016 – С. 217-219
- 2.Векшина Т.В. Гидравлические сопротивления русел рек, зарастающих растительностью // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 15. Научно -теоретический журнал. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – С. 19-26.
3. 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. – С. 145-147
4. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов -Л.: Гидрометеоиздат, 1980.
5. Гидрологический ежегодник бассейна Балтийского моря за 1973 г. Том 1, выпуск 0-3
6. Ковалёв Л. М. Расчеты зимнего стока рек с ледяным покровом. – М. Л.: Гидроэнергоиздат, 1950.
7. Векшина Т.В., Большакова В.А., Коринец Е.М. Экологические проблемы русловых процессов: учебное пособие. - СПб, РГГМУ, 2019 - 144 стр.
8. Н.Б. Барышников Динамика русловых потоков. Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. - СПб.:РГГМУ, 2016 - 342сю
9. Методы изучения гидрологического режима водных объектов. Часть II. Изучение уровенного режима и стока воды. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 173 с.
10. Водный кодекс Российской Федерации №74-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2022).

11. РД 52.08.915-2021. Обработка и обобщение данных наблюдений за стоком воды на реках и каналах при подготовке справочных изданий Водного Кадастра
12. Карасев И.Ф., Векшина Т.В. Режим гидравлических сопротивлений зарастающих русел. Труды Академии проблем водохозяйственных наук, вып.9 «Проблемы русловедения». – М., 2003, с.112-122.
13. Р 52.08.872-2018 ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ СТОКА НА ВОДОТОКАХ
Методы обработки наблюдений за уровнями и расходами воды
14. Соколов Б. Л. Наледи и речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 190 с
15. Яковлева Т. И. Усовершенствование и адаптация моделей гидрометрического учета стока при неоднозначных зависимостях расходов от уровней воды. – Сборник работ по гидрологии ГГИ, 2003, № 26. – С. 58-69
16. Векшина Т.В. Гидравлические сопротивления и учет стока зарастающих рек, диссертация, 2004г. - 113 с.

Приложение 1 Ежедневные уровни р. Оять

	месяц											
число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	218	160	150	151	268	167	138	116	127	148	168	222
2	210	159	151	154	264	164	139	116	126	148	168	211
3	206	160	151	158	258	158	139	116	128	147	168	203
4	200	161	151	167	254	156	138	116	130	147	162	196
5	195	160	151	171	246	153	137	116	130	147	168	192
6	190	160	151	175	242	150	134	116	130	148	166	188
7	186	159	150	181	246	147	132	116	132	148	170	182
8	182	158	150	198	239	146	130	117	134	147	174	178
9	178	158	148	213	239	144	128	118	136	150	176	174
10	176	157	148	222	226	144	126	120	140	158	186	171
11	177	156	148	240	229	145	126	121	144	175	190	168
12	174	156	148	323	237	144	124	121	149	183	194	168
13	174	155	148	381	216	145	124	124	152	185	198	169
14	172	154	146	300	228	144	123	126	152	184	190	168
15	170	154	145	300	228	143	122	124	153	181	188	168
16	171	154	146	322	224	144	121	122	156	182	184	168
17	172	152	146	338	224	146	120	120	159	190	179	167
18	170	152	145	332	220	148	120	120	162	194	204	166
19	168	151	146	338	214	153	119	120	164	196	208	165
20	167	150	147	344	212	161	118	118	165	195	210	165
21	166	150	147	340	208	163	117	118	164	190	210	164
22	165	152	146	335	201	160	117	118	164	186	213	163
23	165	153	147	321	194	156	118	118	162	184	216	162
24	166	152	148	308	192	152	121	119	161	182	216	162
25	166	152	148	297	187	148	121	123	158	179	220	162
26	166	152	148	286	195	145	121	125	156	176	224	162
27	166	150	148	268	197	142	120	125	154	172	224	162
28	165	150	148	269	182	140	120	125	152	175	224	162
29	164		148	274	177	139	119	126	151	174	226	160
30	162		150	272	167	140	118	126	150	173	226	157
31	161		150		164		118	126		172		158

средн	171	155	148	266	219	150	125	120	148	171	195	173
высш	218	161	151	381	268	167	139	126	165	196	226	222
низш	161	150	145	151	164	139	117	116	126	147	162	157

Приложение 2 Ежедневные расходы р. Оять

расходы	месяц											
число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10,1	3,66	3	4,55	50,7	9,6	4,96	1,78	2,07	7,34	9,66	7,49
2	9,26	3,56	3	5,37	49,4	8,78	4,79	1,74	3,03	7,57	9,44	7,24
3	8,45	3,46	3	6,2	48	7,95	4,63	1,7	3,11	6,78	9,22	6,99
4	7,46	3,35	3	7,03	46,6	7,13	4,46	1,65	3,2	6,5	9	6,74
5	6,82	3,25	2,99	9,92	46,4	6,31	4,3	1,61	3,28	6,22	10,4	6,48
6	6,51	3,15	2,99	12,8	46,1	6,08	3,91	1,69	3,55	6,22	11,9	6,23
7	6,2	3,04	2,99	15,7	45,8	5,85	3,51	1,77	3,82	6,22	13,3	5,98
8	5,89	2,94	2,98	18,6	45,6	5,63	3,12	1,84	4,09	6,22	14,8	5,73
9	5,58	2,97	2,98	22,8	45,4	5,4	2,73	1,82	4,36	8,94	16,2	5,46
10	5,27	2,99	2,98	27	45,1	5,17	2,6	2	4,63	11,7	17,6	5,23
11	5,25	3,02	2,97	40,8	45,6	5,01	2,48	2,67	5,42	14,4	19,1	5,19
12	5,23	3,04	2,97	54,6	46	4,85	2,35	3,33	6,22	16,3	20,5	5,16
13	5,21	3,07	2,97	63	25	4,69	2,22	4	7,02	18,2	22	5,12
14	5,19	3,1	2,97	71,4	25,5	4,53	2,1	3,16	7,81	17,9	19,2	5,08
15	5,17	3,12	2,97	79,8	26	3,28	1,97	2,31	8,6	17,6	16,5	5,05
16	5,15	3,15	2,96	88,2	24,6	6,03	1,93	2,17	9,4	18,4	13,8	5,02
17	5,13	3,17	2,96	98	23,1	6,77	1,89	2,03	10,2	19,2	11	4,98
18	5,11	3,2	2,96	96	21,7	7,52	1,85	1,9	11	20	10,8	4,94
19	5	3,18	3,02	99	20,3	8,27	1,81	1,76	11,8	20,8	10,5	4,91
20	4,9	3,16	3,08	102	18,8	9,02	1,77	1,62	12,6	19,4	10,2	4,89
21	4,79	3,14	3,13	101	17,4	9,6	1,83	1,77	12	17,9	10	4,86
22	4,69	3,12	3,19	91,4	16,8	8,68	1,89	1,92	11,3	16,5	9,75	4,84
23	4,59	3,1	3,25	81,9	16,2	7,77	1,96	2,09	10,5	15,1	9,5	4,82
24	4,48	3,06	3,31	72,3	15,6	6,86	2,02	2,22	9,77	13,6	9,25	4,8
25	4,38	3,07	3,37	65,4	15	5,94	2,08	2,38	9,01	11,2	9	4,78
26	4,28	3,05	3,42	58,4	21,9	5,78	2,04	2,46	8,73	11	8,74	4,75
27	4,18	3,03	3,48	51,5	23	5,61	1,99	2,54	8,45	10,8	8,49	4,73

28	4,07	3,01	3,54	52	18,6	5,45	1,95	2,63	8,17	10,5	8,24	4,71
29	3,97		3,6	53,5	14,3	5,28	1,91	2,71	7,89	10,3	7,99	4,74
30	3,87		3,66	52,1	9,88	5,12	1,87	2,79	7,62	10,1	7,74	4,77
31	3,76		3,72		8,2		1,82	2,87		9,88		4,8

I	7,17	3,24	2,99	13	46,9	6,79	3,9	1,77	3,6	7,37	12,2	6,36
II	5,13	3,12	2,98	79,3	27,7	4,2	2,04	2,5	9,01	18,2	15,4	5,03
III	4,28	3,08	3,42	68	16,1	6,61	1,94	2,4	9,34	12,4	8,87	4,78

средн	5,48	3,15	3,14	53,41	29,76	6,47	2,60	2,22	7,29	12,67	12,13	5,37
наиб	10,1	3,66	3,72	102	50,7	9,6	4,96	4	12,6	20,8	22	7,49
наим	3,76	2,94	2,96	4,55	8,2	3,28	1,77	1,61	2,07	6,22	7,74	4,71

Приложение 3 Измеренные расходы р. Оять

номер расхода	дата измерения	створ	состояние реки на участке гидроствора	уровень воды (см) над нулём графика	расход воды м3/с	площадь сечения м2	скорость течения м/с	ширина реки, м	глубина, м	уклон водной поверхности	способ измерения	
							сред	наиб			сред	
1	05.янв	1	лдст	196	6,82	47/42,9	0,16	0,22	31,5	1,49	1,82	5/15
2	10.янв	1		175	5,27	41,6/36,7	0,14	0,2	31,5	1,32	1,73	5/10
3	18.янв	1		171	5,11	40,7/35,5	0,11	0,2	31,5	1,29	1,69	5/15
4	08.фев	1		158	2,94	35,7/28	0,12	0,15	29,5	1,21	1,45	5/15
5	18.фев	1		152	3,2	33,6/26,1	0,12	0,19	29,5	1,14	1,5	5/15
6	28.фев	1		150	3,01	33,5/25,9	0,12	0,16	30	1,11	1,48	5/15
7	09.мар	1		149	2,98	33,1/25,9	0,12	0,17	30	1,1	1,47	5/15
8	18.мар	1		145	2,96	32,2/24,8	0,12	0,18	30	1,07	1,43	5/15
9	31.мар	1		150	3,72	33,4/30,5	0,12	0,22	30	1,11	1,49	5/15
10	04.апр	1		166	7,03	37,9/35,7	0,2	0,32	30	1,26	1,6	5/15
11	08.апр	1		195	18,6	46,9/46,1	0,4	0,56	32	1,47	1,93	5/15
12	10.апр	1		217	27	53,2	0,51	0,71	32,3	1,65	2,15	5/15
13	12.апр	1	рлдх	324	54,6	94,5	0,58	0,8	38	2,49	3,22	5/15
14	16.апр	1		316	93,1	91,4	1,02	1,35	37,5	2,44	3,14	5/10
15	16.апр	1		316	83,4	91,4	0,91	1,22	37,5	2,44	3,14	5/10
16	21.апр	1	св	336	101	97,9	1,03	1,44	40	2,45	3,34	3/11
17	24.апр	1		298	73,5	84,7	0,87	1,16	36,5	2,32	2,96	5/25
18	24.апр	1		297	71,1	84,3	0,84	1,18	36,5	2,31	2,95	5/25
19	28.апр	1		259	52	68,7	0,76	0,95	34,2	2,01	2,57	5/10
20	04.май	1		246	46,6	62,8	0,74	0,93	32,3	1,93	2,44	5/10
21	10.май	1		242	45,4	59,6	0,76	0,92	32,3	1,83	2,4	5/10
22	10.май	1		242	44,5	59,6	0,75	0,65	32,5	1,83	2,4	5/10

23	15.май	1		216	26	53,5	0,49	0,68	31,5	1,7	2,02	5/25
24	21.май	1		198	17,4	45,8	0,38	0,56	31,5	1,45	1,83	5/15
25	26.май	1		195	21,9	45,9	0,48	0,62	31,5	1,46	1,8	5/10
26	30.май	1		169	9,88	18,1	0,26	0,39	31,5	1,21	1,54	5/25
27	10.июн	1		152	6,31	33,8	0,19	0,27	30,5	1,11	1,38	5/10
28	14.июн	1		144	5,17	31	0,17	0,33	30,5	1,01	1,29	5/25
29	20.июн	1		144	4,53	30,8	0,15	0,23	30,5	1	1,29	5/10
30	25.июн	1		161	9,02	35,3	0,26	0,45	30,2	1,16	1,46	5/25
31	05.июл	1		148	5,94	29,2	0,2	0,32	30,2	0,97	1,33	5/25
32	09.июл	1		138	4,3	28,3	0,15	0,27	29,5	0,96	1,21	5/21
33	15.июл	1		128	2,73	25,5	0,11	0,19	29,5	0,86	1,13	5/17
34	20.июл	1		122	1,97	24,4	0,06	0,14	29	0,84	1,07	5/7
35	25.июл	1		118	1,77	23,5	0,08	0,12	29	0,81	1,15	5/7
36	05.авг	1		121	2,08	24,4	0,08	0,14	29	0,84	1,18	5/9
37	10.авг	1		116	1,61	23,1	0,07	0,11	29	0,8	1,13	5/9
38	15.авг	1		121	2	24,4	0,08	0,13	29	0,84	1,18	5/13
39	20.авг	1		123	2,31	24,9	0,09	0,14	29	0,86	1,15	5/9
40	20.авг	1		117	1,63	23,1	0,07	0,11	29	0,8	1,14	5/9
41	25.авг	1		117	1,62	23,1	0,07	0,11	29	0,8	1,14	5/9
42	05.сен	1		125	2,38	25,1	0,09	0,16	29	0,9	1,19	5/10
43	10.сен	1	св	130	3,28	26,9	0,12	0,19	29	0,93	1,25	5/12
44	16.сен	1		139	4,63	29,1	0,16	0,25	29	1	1,33	5/10
45	20.сен	1		156	9,4	34	0,28	0,44	29,4	1,16	1,5	5/10
46	25.сен	1		165	12,6	36,7	0,34	0,51	30	1,22	1,6	5/10
47	05.окт	1		159	9,01	35,2	0,26	0,38	29,7	1,18	1,53	5/10
48	11.окт	1		147	6,22	31,2	0,2	0,29	29,4	1,06	1,4	5/10
49	15.окт	1		174	14,4	39,8	0,36	0,52	30	1,32	1,65	5/10
50	19.окт	1		181	17,6	42,6	0,42	0,6	31,5	1,35	1,72	5/10
51	25.окт	1		196	20,8	47,3	0,44	0,59	31,5	1,5	1,89	5/10
52	10.дек	1	заб, шуга	179	11,2	41,5	0,27	0,37	31,5	1,32	1,74	5/15

53	10.дек	1	лдст	172	5,23	39,2/29	0,21	0,3	31,5	1,24	1,6	5/15
54	18.дек	1		165	4,91	37,1/29,9	0,16	0,24	31	1,2	1,6	5/15
55	28.дек	1		162	1,71	35,4/29,3	0,16	0,22	29,7	1,2	1,55	5/15

Приложение 4 Ежедневные уровни р. Паша

число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	120	49	62	78	211	48	28	7	13	32	75	130
2	122	48	62	82	171	46	30	10	13	32	70	123
3	115	48	62	86	149	42	30	9	14	32	67	118
4	112	48	62	96	178	39	28	8	14	34	68	116
5	106	48	63	118	169	36	26	8	15	34	64	116
6	102	50	64	138	148	34	23	10	16	34	66	112
7	95	50	64	146	155	32	20	12	22	34	74	110
8	93	50	64	166	164	30	18	12	24	34	84	104
9	88	52	65	217	155	28	17	15	28	35	96	100
10	84	54	66	259	156	28	15	16	33	40	110	96
11	80	54	67	246	149	28	15	16	36	55	132	92
12	8	54	66	304	150	28	14	15	41	80	130	91
13	74	53	66	364	140	28	14	14	43	85	122	88
14	71	53	66	368	148	28	13	12	42	84	118	86
15	70	52	68	338	144	28	12	12	46	76	111	86
16	68	52	68	318	140	28	12	10	58	76	102	86
17	64	54	67	296	134	27	10	10	66	90	90	84
18	62	54	66	285	124	30	10	9	64	112	78	84
19	60	55	66	287	114	55	10	9	60	114	90	82
20	60	56	64	293	104	44	9	9	56	108	98	81
21	58	56	62	295	95	48	8	10	54	101	109	81
22	52	56	61	292	88	44	8	10	52	95	164	81
23	50	56	62	269	81	39	11	11	48	90	148	80
24	49	57	62	242	76	34	14	13	45	82	156	78
25	48	58	65	210	74	31	14	15	42	77	152	77
26	50	62	67	206	75	28	12	18	40	75	153	76
27	51	62	70	200	70	26	11	18	38	75	150	77
28	52	62	71	196	66	25	10	16	36	77	148	77

29	52	72	200	62	25	8	15	34	79	142	77
30	52	74	212	58	26	8	14	34	80	138	76
31	50	76		52		7	14		78		74

средн	72	54	66	227	123	34	15	12	38	69	110	92
высш	122	62	76	368	211	55	30	18	66	114	164	130
низш	8	48	61	78	52	25	7	7	13	32	64	74

Приложение 5 Ежедневные расходы р. Паша

число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	18,2	8,76	8,18	12,5	135	19,4	11,6	5,3	7,6	13	33,9	20,6
2	19,6	8,54	7,91	13,7	101	18,6	12,2	5,74	7,6	13	31	19,8
3	21	8,54	7,91	15,4	83,8	16,9	12	5,75	7,8	13	29,3	19,4
4	20,3	8,54	7,91	20,2	106	15,6	11,2	5,76	7,8	13,7	29,9	18,9
5	19,3	8,54	8,12	28,5	99,2	14,5	10,5	5,9	8	13,7	27,6	18,5
6	18,8	8,73	8,27	38,4	83	13,7	9,46	6,3	8,2	13,7	28,7	18,1
7	18,1	8,53	8,27	44	88,2	13	8,46	6,96	9,64	13,7	33,3	17,6
8	17,3	8,53	8,27	54,2	95,2	12,2	8,08	7,1	10,3	13,7	39,3	17,2
9	16,6	8,53	8,45	85,4	88,2	11,6	7,81	7,68	11,6	14,1	46,9	16,8
10	15,9	9,14	8,9	153	89	11,6	7,36	7,87	13,3	16	55,5	16,5
11	15,1	8,92	9,08	153	83,8	11,6	7,28	7,87	14,5	22,8	70,6	16,2
12	14,4	8,92	9,19	229	84,5	11,6	7,02	8,68	16,4	36,8	69	13,8
13	13,9	8,72	9,19	312	77	11,6	6,94	7,41	17,3	39,9	63,4	13,4
14	13,4	8,5	9,48	317	83	11,6	6,68	6,96	16,9	39,3	60,7	15,1
15	12,9	8,09	9,85	278	80	11,6	6,51	6,96	18,6	34,5	56,2	14,8
16	12,4	8,09	10,2	253	77	11,6	6,44	6,51	24,3	34,5	49,7	14,4
17	11,9	8,47	9,96	226	72,2	11,2	6,02	6,51	28,7	43	41,3	14
18	11,4	8,25	9,75	213	64,8	12,2	5,88	6,44	27,6	56,8	31,3	13,7
19	10,9	8,44	9,75	215	58,1	14,1	5,81	6,58	25,3	58,1	26,4	13,7
20	10,4	8,61	9,38	223	51,9	17,7	5,62	6,85	23,3	54,3	26,2	13,5
21	9,95	8,39	8,96	225	46,2	19,4	5,42	7	22,3	50,1	25,9	13,5
22	9,46	8,39	8,81	221	41,8	17,7	5,36	7	21,3	46,2	25,7	13,8
23	8,93	8,15	8,97	195	37,4	15,6	5,68	7,2	19,4	43	25,5	13,6
24	8,74	8,09	9,24	165	34,5	13,7	6,08	7,6	18,2	38	25,3	13,5
25	8,54	8,26	9,86	134	33,3	12,6	6,08	8	16,9	35,1	25	13,3
26	8,93	8,71	10,2	130	33,9	11,6	5,77	8,6	16	33,9	24,8	13,5
27	9,15	8,71	10,8	125	31	10,9	5,62	8,6	15,2	33,9	24	14
28	9,37	8,45	11,1	121	28,7	10,6	5,46	8,2	14,5	35,1	23,1	14

29	9,37		11,3	125	26,4	10,6	5,22	8	13,7	36,2	22,3	14,4
30	9,37		11,7	136	24,3	10,9	5,22	7,8	13,7	36,8	21,5	15
31	8,37		12,1		21,3		5,17	7,8		35,6		15,7

средн	13,3	8,5	9,4	148,7	66,4	13,5	7,2	7,1	15,9	31,7	36,4	15,5
высш	21,0	9,1	12,1	317,0	135,0	19,4	12,2	8,7	28,7	58,1	70,6	20,6
низш	8,4	8,1	7,9	12,5	21,3	10,6	5,2	5,3	7,6	13,0	21,5	13,3

Приложение 6 измеренные расходы р. Паша

номер расхода	дата измерения	створ	состояние реки на участке гидроствор а	уровень воды (см) над нулём графика	расход воды м3/с	площадь сечения м2	скорость течения м/с		ширина реки, м	глубина, м	
							сред	наиб		сред	наиб
1	3.01	1	лдст	115	21	96,8/90,6	0,23	0,36	57,2	1,69	2,7
2	121	1		79	14,4	77,8/67,7	0,21	0,35	54,3	1,43	2,32
3	221	1		52	9,46	62,7/48,4	0,2	0,3	52,6	1,19	2,08
4	32	1		48	8,47	61,3/45,2	0,16	0,29	52,4	1,117	2,02
5	122	1		54	8,97	64,7/44,5	0,2	0,3	52,9	1,22	2,1
6	222	1		56	8,45	66,4/44,6	0,19	0,3	53	1,25	2,1
7	33	1		62	7,82	69,1/44,6	0,18	0,28	53,3	1,3	2,19
8	123	1		66	8,24	70,9/44,7	0,18	0,28	53,6	1,32	2,21
9	163	1		68	11	72,1/46,4	0,24	0,28	53,7	1,34	2,21
10	24	1		81	13,3	78,3/52,8	0,25	0,41	54,4	1,44	2,35
11	54	1		114	27,2	96,9/70,4	0,39	0,63	57,1	1,7	2,7
12	74	1		144	43,1	113/86	0,5	0,76	58,4	1,93	2,99
13	94	1		200	75,2	148/115	0,65	0,92	61,6	2,4	3,55
14	104	1	лдх	236	132	169	0,78	1,13	63,7	2,65	3,9
15	134	1	рлдх	362	311	254	1,22	1,71	69,8	3,64	5,17
16	154	1	рлдх	334	275	235	1,17	1,63	68,3	3,44	4,89
17	164	1	св	316	259	220	1,18	1,6	67,5	3,26	4,71
18	174	1		294	231	208	1,11	1,51	66,4	3,13	4,49
19	194	1		286	223	201	1,11	1,54	66,1	3,04	4,41
20	244	1		250	177	177	1	1,31	64,9	2,73	4,05
21	254	1		215	136	156	0,87	1,28	62,5	2,5	3,7
22	274	1		201	128	148	0,86	1,18	61,6	2,4	3,56
23	25	1		178	110	135	0,81	1,08	59,8	2,26	3,33
24	35	1		146	80,6	120	0,67	1,02	58,5	2,05	3,12

25	135	1		140	81,5	117	0,7	1,06	58,2	2,01	3
26	235	1		82	37,7	82	0,46	0,75	54,3	1,5	2,42
27	285	1		66	29,1	73,1	0,4	0,65	53,3	1,37	2,25
28	46	1		38	15,7	58,5	0,27	0,47	51,7	1,13	1,98
29	136	1		27	10,8	53	0,2	0,41	51,1	1,04	1,87
30	256	1		31	12,5	55	0,23	0,44	51,2	1,07	1,91
31	47	1	тр	27	10,9	54	0,2	0,4	51,1	1,06	1,87
32	177	1		10	6,02	43,8	0,14	0,31	48	0,91	1,7
33	257	1		13	5,95	47	0,13	0,3	48,9	0,96	1,73
34	88	1		11	6,9	46	0,15	0,31	48,1	0,96	1,71
35	178	1		10	6,49	45,5	0,14	0,3	48	0,95	1,7
36	278	1	св	17	8,48	48,9	0,17	0,34	49,7	0,98	1,77
37	69	1		16	8,07	48,4	0,17	0,34	49,6	0,98	1,76
38	129	1		42	15,7	61,8	0,25	0,44	52	1,19	2,02
39	139	1		43	17,6	58,7	0,3	0,48	52	1,13	2,03
40	179	1		67	29,6	74,9	0,4	0,62	53,6	1,4	2,27
41	510	1		34	13	57,3	0,23	0,42	51,3	1,12	1,94
42	1210	1		78	36	81,3	0,44	0,69	54,3	1,5	2,38
43	1810	1		112	57,6	99,5	0,58	0,9	57	1,75	2,71
44	511	1		64	28,1	60,9	0,46	0,68	53,4	1,14	1,68
45	1411	1	заб	118	59,8	89,9	0,67	0,9	57,3	1,57	2,2
46	1911	1	заб, шуга	90	26,4	70,1	0,38	0,61	54,9	1,28	1,92
47	2611	1	лдст	152	24,8	108	0,25	0,39	58,7	1,84	2,55
48	212	1		123	19,8	87,2	0,24	0,38	57,5	1,52	2,26
49	812	1		104	17,2	80,7	0,24	0,36	55,7	1,45	2,07
50	1812	1		83	13,7	70	0,25	0,35	54,5	1,26	1,86

Приложение 7 Ежедневные уровни р. Сясь

число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	54	26	40	70	72	14	1	-4	-4	3	36	102
2	58	27	41	82	68	12	0	-4	-3	2	38	105
3	55	27	42	92	64	10	0	-4	-3	2	28	102
4	50	28	42	100	60	10	0	-3	-3	2	26	96
5	47	28	43	104	57	9	0	-3	-3	3	25	92
6	48	29	43	108	52	8	0	-2	-3	4	26	87
7	52	29	44	120	50	6	0	-2	-2	4	31	84
8	52	30	44	127	48	4	0	-3	0	5	36	80
9	46	31	45	146	45	4	-2	-3	1	5	43	76
10	45	31	44	156	44	3	-4	-3	2	6	48	74
11	52	31	45	165	43	3	-4	-3	3	8	58	72
12	48	31	45	180	40	4	-4	-3	3	10	62	68
13	48	31	46	188	38	7	-4	-3	3	13	72	62
14	46	31	46	193	38	4	-4	-1	6	13	58	60
15	43	31	46	193	45	3	-4	-2	8	15	56	56
16	40	32	45	189	44	4	-4	-2	5	18	52	54
17	36	32	45	176	52	5	-4	-3	6	19	62	52
18	32	32	45	166	54	5	-4	-3	5	22	50	50
19	31	33	45	152	51	5	-4	-3	5	23	50	49
20	31	34	45	145	44	6	-4	-3	5	26	48	50
21	30	34	44	138	36	6	-4	-3	5	28	55	52
22	28	35	44	133	32	8	-4	-4	4	24	66	52
23	28	36	44	125	31	6	-2	-4	4	23	60	50
24	27	37	44	118	27	5	-3	-4	2	24	67	49
25	26	38	44	109	24	4	-2	-4	4	21	75	48
26	26	39	44	98	22	2	-2	-3	6	20	80	48
27	25	40	44	92	22	2	-2	-3	6	22	86	47
28	25	40	46	89	22	1	-2	-3	5	24	90	46

29	24	51	84	20	0	-2	-3	5	26	92	46
30	24	56	78	19	0	-4	-3	4	28	96	50
31	25	62		18		-4	-3		32		52

средн	39	32	45	131	41	5	-2	-3	3	15	56	65
высш	58	40	62	193	72	14	1	-1	8	32	96	105
низш	24	26	40	70	18	0	-4	-4	-4	2	25	46

Приложение 8 Ежедневные расходы р. Сясь

число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	24,3	8,31	7,02	33,7	79,3	17,8	9,56	7,18	7,27	10,4	31,8	20,4
2	23,2	8	7,22	46,9	73,7	16,4	9	7,18	7,43	10,2	33,5	19,9
3	22,2	8	7,44	66	68,1	15	8,8	7,18	7,52	10,2	25,8	19,2
4	21,1	7,95	7,43	80,5	62,5	15	8,7	7,33	7,52	10,1	24,6	18,9
5	20	7,67	7,63	95	58,8	14,5	8,6	7,33	7,61	10,6	24,2	18,6
6	19	7,59	7,63	106	52,7	14	8,5	7,49	7,71	11	25,4	18,2
7	17,9	7,3	7,83	131	50,3	13	8,4	7,49	7,87	11	29,4	17,9
8	16,9	7,2	7,83	152	48	12	8,3	7,33	8,3	11,5	34,6	17,6
9	15,8	7,11	8,02	196	44,6	12	7,87	7,33	8,82	11,5	42,4	17,3
10	14,8	6,8	7,4	224	43,5	11,5	7,45	7,33	9,35	11,8	48	16,6
11	13,7	6,49	7,58	252	42,4	11,5	7,36	7,33	9,89	12,8	60,1	15,9
12	13,1	6,49	7,58	293	39	12	7,27	7,42	10	13,5	58,8	15,2
13	12,6	6,18	7,79	322	37,2	13,5	7,27	7,42	10	15,4	46,8	14,5
14	12	6,18	7,79	337	37,2	12	7,18	7,74	11,4	15,4	35,4	13,9
15	11,5	6,18	7,79	337	44,6	11,5	7,08	7,58	12,3	16,6	34	13,2
16	10,9	6,36	7,58	325	43,5	12	6,99	7,58	11,1	18,6	31,6	12,5
17	10,4	6,36	7,58	289	52,7	12,5	6,99	7,43	11,7	19,2	31,2	11,8
18	9,82	6,36	7,58	264	55,2	12,5	6,99	7,43	11,2	21,2	30,9	11,1
19	9,27	6,21	8,03	232	51,5	12,5	6,99	7,43	11,4	22	30,6	10,9
20	9	6,38	8,03	216	43,5	13	7,08	7,43	11,4	24,2	30,2	11,1
21	9	6,38	7,83	200	35,4	13	7,08	7,43	11,5	25,6	29,2	11,6
22	8,52	6,55	7,83	189	31,8	14	7,18	7,27	11	22,6	28,2	11,6
23	8,52	6,72	7,83	172	30,9	13	7,49	7,27	11,2	22	27,1	11,1
24	8,28	6,9	8,27	158	27,6	12,5	7,33	7,27	10,2	22,6	26,1	10,8
25	8,04	7,07	8,7	141	25,2	12	7,49	7,27	11,2	20,6	25,1	11
26	8,31	6,86	9,57	121	23,6	10,8	7,49	7,43	12,1	19,8	24	11
27	8,07	7,02	10,4	110	23,6	10,7	7,49	7,43	12,1	21,2	23	10,8
28	8,07	7,02	11,9	105	23,6	10	7,49	7,43	11,8	22,6	22	10,5

29	7,81		14,4	97,1	22	9,4	7,49	7,43	11,8	24,2	21,5	10,5
30	7,81		17,8	87,7	21,3	9,2	7,18	7,43	11,3	25,6	21	11,6
31	8,06		24,8		20,6		7,18	7,43		28,6		12,1

средн	12,8	6,9	9,1	179,3	42,4	12,6	7,7	7,4	10,1	17,5	31,9	14,1
высш	24,3	8,3	24,8	337,0	79,3	17,8	9,6	7,7	12,3	28,6	60,1	20,4
низш	7,8	6,2	7,0	33,7	20,6	9,2	7,0	7,2	7,3	10,1	21,0	10,5

Приложение 9 измеренные расходы река Сясь

номер расхода	дата измерения	створ	состояние реки на участке гидроствора	уровень воды (см) над нулём графика	расход воды м3/с	площадь сечения м2	скорость течения м/с		ширина реки, м	глубина, м		уклон водной поверхности	способ измерения
							сред	наиб		сред	наиб		
1	111	1	лдст	52	13,7	109/84,1	0,16	0,26	103	0,88	1,45		5/15
2	221	1		29	8,63	85,9/57,4	0,15	0,2	102	0,78	1,23		5/10
3	22	1		27	8,11	84,3/56,3	0,14	0,2	102	0,83	1,25		5/15
4	122	1		31	6,34	87,9/51	0,12	0,16	102	0,86	1,27		5/15
5	222	1		35	6,47	90,9/51,9	0,12	0,16	102	0,89	1,31		5/15
6	23	1		41	7,16	99,7/49,8	0,14	0,18	102	0,98	1,36		5/15
7	123	1		45	7,37	99,8/51,9	0,14	0,17	102	0,98	1,4		5/15
8	223	1		44	7,93	104/55,1	0,14	0,17	102	1,02	1,41		5/15
9	303	1		56	18,1	114/70,6	0,26	0,32	104	1,1	1,53		5/15
10	24	1	закр	80	51,3	139/103	0	0,63	106	1,31	1,75		5/15
11	34	1		92	62,9	152/117	5	0,66	106	1,43	1,88		5/15
12	74	1	лдст	119	129	173	0,54	1,13	108	1,6	2,15		5/15
13	124	1	рлдс	180	292	244	0,75	1,67	110	2,22	2,75		5/15
14	134	1	св	186	310	253	1,2	1,75	112	2,26	2,86		5/10

15	144	1		193	345	265	1,23	1,75	112	2,37	2,9		5/10
16	164	1		188	322	255	1,3	1,73	112	2,28	2,87		
17	184	1		166	256	232	1,26	1,55	110	2,11	2,64		5/25
18	194	1		131	227	213	1,11	1,5	109	1,95	2,47		5/25
19	224	1		132	187	196	1,07	1,25	109	1,8	2,3		5/10
20	254	1		104	131	157	0,95	1,05	107	1,47	1,95		5/10
21	304	1		80	86	136	0,83	0,86	104	1,31	1,76		5/10
22	45	1		61	62,3	121	0,65	0,71	104	1,16	1,6		5/10
23	85	1		48	48,2	106	0,51	0,67	102	1,04	1,43		5/25
24	125	1		38	38,8	97,3	0,45	0,61	102	0,95	1,34		5/15
25	185	1		54	55,3	114	0,4	0,7	104	1,1	1,5		5/10
26	225	1	св	33	34,5	88,8	0,39	0,36	102	1,28	1,28		5/25
27	126	1		3	10,9	58,9	0,19	0,27	96,5	1	1		5/10
28	226	1		8	13,8	60,2	0,23	0,33	96,5	1	1		5/25
29	107	1	тр	-4	7,44	52,2	0,14	0,2	94,3	0,99	0,9		5/10
30	177	1		-4	7,01	51	0,14	0,19	94,3	0,97	0,97		5/25
31	227	1		-4	7,13	52,2	0,14	0,19	94,3	0,92	0,92		5/25
32	128	1		-3	7,4	53,7	0,14	0,17	94,3	0,99	0,99		5/21
33	238	1		-4	7,28	54	0,14	0,17	94,3	0,92	0,92		5/17
34	29	1		-3	7,47	53,6	0,14	0,17	94,3	0,93	0,93		5/7
35	129	1		3	10	58	0,17	0,25	96,5	0,98	0,98		5/7
36	229	1		4	11,1	60,7	0,118	0,25	96,5	1	1		5/9
37	210	1		2	10,2	58,1	0,18	0,24	96,5	0,99	0,99		5/9
38	1210	1		9	13	66	0,2	0,28	97,7	1,04	1,04		5/13
39	211	1	заб	33	29,5	84,6	0,35	0,46	106	1,28	1,28		5/9
40	1111	1	св	49	48,8	103	0,47	0,64	106	1,43	1,49		5/9
41	1311	1	заб, шуга	72	46,7	127/122	0,38	0,55	107	1,668	1,68		5/9
42	2011	1		47	30,2	101/99, 6	0,3	0,46	106	1,4	1,4		5/10
43	2811	в.90м	лдст	90	22	185/119	0,19	0,6	94	3,2	3,2		5/12
44	312	1		102	19,2	163/107	0,18	0,34	408	1,99	1,35		5/10

45	912	1		76	17,3	132/81, 6	0,21	0,38	107	1,7	1,7		5/10
46	2112	1		52	11,4	108/69, 6	0,16	0,24	101	1,45	1,45		5/10