



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

**Кафедра гидрометрии**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(магистерская диссертация)**

На тему **«Исследование процесса**  
**зарастания речных русел»**

**Исполнитель**

**Фалеева О.А.**  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель**

кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

**Исаев Д.И.**  
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**  
**Заведующий кафедрой**

  
(подпись)

кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

**Исаев Д.И.**  
(фамилия, имя, отчество)

*«09» июня 2017г.*

Санкт – Петербург  
2017



## Введение

## Содержание

## Глава 1. Гидравлические сопротивления зарастающих русел

### 1.1. Общие сведения

**Канал, заросший травой.** Травяной покров в земляных каналах, используемых для подачи воды на сельскохозяйственные нужды, часто считается полезным и желательным. Трава делает устойчивым тело канала, укрепляет его грунтовое ложе, препятствуя размыву его поверхности и перемещению частиц грунта по его дну. Наличие травы или иной растительности в каналах обуславливает значительную турбулентность потока, сопровождающуюся потерями энергии и затормаживанием.

**Коэффициент затормаживания.** У коэффициента шероховатости Маннинга для каналов с травяным покровом есть название - коэффициент затормаживания. По результатам исследований почвы коэффициент Маннинга для определенного вида травы изменяется в большой степени в зависимости от глубины потока и уклона канала. Коэффициент затормаживания  $n$  находится в определенной взаимосвязи с произведением средней скорости движения  $V$  на гидравлический радиус  $R$ . Это взаимосвязь определяется состоянием растительности и практически не зависит от формы и уклона канала. Классификация степени затормаживания основывается на виде растительности и условиях ее роста (табл. 7.4). Термин «состояние», примененный в таблице, относится к плотности травы или густоте растительности, выражаемой иногда числом стеблей на квадратный фут. Таблица 7.5 служит в качестве руководства, по которой можно выбрать степень

затормаживания при различном состоянии и разной длине растительности.

Таблица 7.4. Классификация степени затормаживания

Степень затормаживания	Вид травяного покрова	Характеристика травяного покрова	Средняя длина травы в дюймах
Очень высокая	Плакучая щирца Желтая с голубым стеблем ischaemum	Прекрасное состояние, высокий	30
		То же	36
Высокая	Kudzu Бермудская трава Естественная смесь трав (короткая blue stem, blue grama и другие длинные и короткие травы Среднего Запада) Плакучая щирца Lespedeza обыкновенная Alfalfa Плакучая щирца Kudzu Blue grama	Очень густой, некошенный	—
		Хорошее состояние, высокий	12
		Хорошее состояние, некошенный	—
		То же, высокий	24
		То же, неодеревеневший, высокий	19
		То же, некошенный	11
		То же, скошенный	13
Густой некошенный	—		
Хорошее состояние, некошенный	13		
Средняя	Трава Crab Бермудская трава Lespedeza обыкновенная Смесь бобовых трав летом (orchard grass, redtop, итальянский gye grass и lespedeza обыкновенная) Трава centipede Кентуккская blue grass	Прямостоящий, некошенный	10—48
		Хорошее состояние, скошенный	6
		То же, некошенный	11
		То же	6—8
		Очень густой	6
		Хорошее состояние, растущий	6—12
Низкая	Бермудская трава Lespedeza обыкновенная Трава Buffalo Смесь трав осенью, зимой и летом (orchard grass, redtop, итальянский gye grass и lespedeza обыкновенная) Lespedeza шелковистая	То же, скошенный до 2,5" высоты	—
		Прекрасное состояние, некошенный	4,5
		Хорошее состояние, некошенный	3—6
		То же	4—5
		После скашивания до 2" высоты при очень хорошем состоянии до скашивания	—
Очень низкая	Бермудская трава То же	Хорошее состояние, скошенный до 1,5" высоты	—
		Выжженная стерня	—

Таблица 7.5. Исходные положения для выбора степени затормаживания растительностью

Средняя длина травы в дюймах	Степень затормаживания при состоянии травяного потока	
	хорошем	прекрасном
>30	Очень высокая	Высокая
11-24	Высокая	Средняя
6-10	Средняя	Низкая
2-6	Низкая	
<2	Очень низкая	Очень Низкая

**Максимально допустимая скорость.** Скорость при которой в канале в течение достаточно длительного времени не происходит сильного размыва, является максимально допустимой скоростью потока в каналах с травяным покровом. В таблице 7.6. приведены значения максимально допустимой скорости для различных видов растительного покрова, разных уклонов канала и почвенных условий.

**Выбор вида травы.** При выборе вида травы для одерновки канала должны учитываться устойчивость русла с гидравлической точки зрения и зависит главным образом от климатических и почвенных условий, в которых она будет произрастать. Высокие расходы требуют более прочного покрова. На крутых уклонах такие пучковые травы, как alfalfa, lespedeza и kudzu, будут способствовать развитию местных придонных течений и, следовательно, непригодны для одерновки. При уклонах, больших 5%, для одерновки главных каналов рекомендуется применять только тонкие и равномерно распределенные дернообразующие травы, такие как бермудская трава, кентуккская bluegrass и smoothbrome. Поскольку естественное распространение дернообразующих трав нежелательно, верхние части откосов и бермы могут засаживаться такими травами, которые не отличаются легкостью распространения, например щирецом. Для образования

устойчивого покрова рекомендуются бермудская трава, плакучая щирца. Иногда до создания постоянного покрова из естественных трав в качестве временной защиты используются однолетники.

Отложение наносов в каналах регулируется с помощью пусковых трав, способствующих созданию в канале придонных течений с повышенными скоростями, предохраняющих его заиления.

Таблица 7.6. Максимально допустимые скорости для каналов с травяным покровом

Вид травяного покрова	Уклон в %	Максимально допустимая скорость в фут/сек для грунтов	
		Сопrotивляющия размыву	Легко размываемых
Бермудская трава	0-5	8	6
	5-10	7	5
	>10	6	4
ТраваBuffal, кентуккская blue grass, smoth brome, blue grama	0-5	7	5
	5-10	6	4
	>10	5	3
Смесь трав	0-5	5	4
	5-10	4	3
	При уклонах >10% не применяется		
Lespedeza шелковистая, щирца, ischaemum (желтая голубым стеблем), kudzu, alfalfa, rabgrass	0-5	3,5	2,5
	При уклонах >5% не применяется, за исключением откосов комбинированных каналов		
Однолетние растения (используемые на пологих откосах или как временная защита до устройства постоянного покрова), lespedeza обыкновенная, суданская трава	0-5	3,5	2,5
	При уклонах >5% применение не рекомендуется		



**Порядок проектирования.** Для одерновки канала выбор вида трав происходит по данным о длине стеблей и густоте растительности можно определить степень затормаживания. Стабилизация канала происходит по мере роста травы при условии низкой степени затормаживания. До тех пор, пока травяной покров полностью не разовьется и окончательно не закрепится, канал не достигает своей максимальной пропускной способности. Поэтому гидравлическое проектирование канала с травяным покровом складывается из двух этапов. Первый этап заключается в проектировании канала из условия устойчивости, т.е. в определении размеров канала при наиминимальной степени затормаживания. Вторым этапом является составление проекта для максимальной пропускной способности, т.е. в определении увеличения глубины потока, необходимо для обеспечения максимальной пропускной способности при наивысшей степени затормаживания. Возьмем пример, если для одерновки выбирается *lespedeza* обыкновенная, то на первом этапе проектирования учитывается *lespedeza* обыкновенная с низким растительным торможением (зеленая, средняя длина 4,5''), а на втором этапе учитывается *lespedeza* обыкновенная со средним растительным торможением (зеленая некошенная, средняя длина 11''). Затем к вычисленной глубине канала добавляется высота надводного борта. Глубина канала в дальнейшем увеличивается для пропуска максимального расхода. Для каналов с травяным покровом обычно используют трапециевидное, параболическое и треугольное сечения, названные здесь в последовательности увеличения глубины, требуемой при разработке канала. Если выбранное трапециевидное или треугольное сечение канала не содержится в хорошем состоянии, то через длительный период эксплуатации под воздействием отложений и размывов, происходящих от нормальной деятельности канала, оно превращается в параболическое сечение.

## 1.2. Особенности зарастания рек в различных условиях

Малые, средние, а иногда и большие реки в межень зарастают водной растительностью, которая оказывает значительное дополнительное сопротивление движению руслового потока.

Зарастание рек – сложный процесс, развитие которого обусловлено совместным влиянием естественных и антропогенных факторов.

Основные факторы, обуславливающие развитие водной растительности делятся на группы - это гидрологический режим реки, термический режим, естественный химический состав воды, антропогенное воздействие.

Современная система гидрологических наблюдений на реках, обеспечивая получение данных о водных ресурсах, режиме уровней и расходов воды, остается недостаточно ориентированной на контроль их экологических проявлений. Колебания водности рек сопровождаются соответствующей реакцией экосистем, каждая фаза водного режима играет вполне определенную роль. Процессы особенно сложны на зарастающих реках. Развитие водолюбивой растительности в их руслах и долинах при определенных условиях - благоприятный фактор, при других - признак деградации речной системы и ухудшения качества воды. Важность приобретает повышение точности учета стока и определение водного баланса зарастающих рек с тем, чтобы адекватно оценивать и прогнозировать их состояние как элементов ландшафта. Именно в этом заключается одна из задач, реализуемых в России мониторинга водных объектов и программ охраны окружающей среды.

Исследования позволяют представить поток в широком русле, частично заросшем по глубине, в виде комбинации двух потоков, характеристики которых взаимосвязаны: потока над растительностью и потока в растительном слое, что показано на рисунке 1. Между этими двумя потоками имеется зона динамического взаимодействия.

На поток в пределах растительного слоя оказывают влияние как сопротивление растительности, так и трение по дну. Предположим, что поток

над растительностью находится в сходных условиях течения с обычным открытым потоком в жестком русле. Отметим следующее - на нижней границе такого потока, совпадающей с вершинами растений скорость отлична от нуля; Существенным отличием является также подвижность вершин растений под действием потока, которая изменяет шероховатость граничной поверхности влияет на структуру турбулентности в потоке над растительностью.

В случаях, когда над слоем растительности имеется достаточный слой воды, ее движение возбуждает в растительном слое волны, – такие же, какие можно наблюдать на полях пшеницы или ржи во время ветра. Влияние волновых колебаний придонной растительности на кинематику и динамику поток было теоретически и экспериментально изучено. Волны на поверхности растительности увеличивают скорость течения, то есть уменьшают коэффициент трения по сравнению с движением над неподвижной растительностью. По-видимому, в этом сказывается тот факт, что волны распространяются в том же направлении, в котором течет вода.

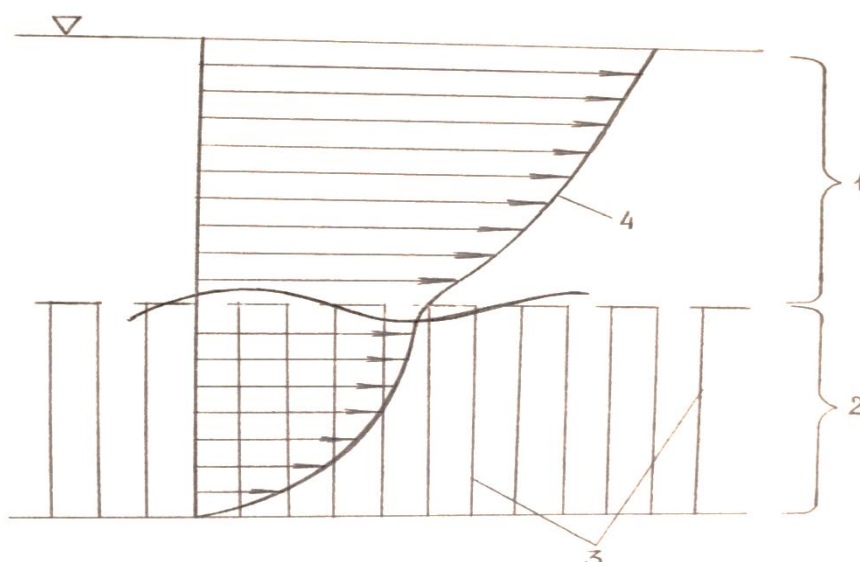


Рисунок 1 – Схема течения в заросшем русле

1 – течение потока над растительностью; 2 – течение потока в пределах растительного слоя; 3 – растительные элементы; 4 – эпюра скорости

В вегетационный период влияние растительности также изменяется, в период ее роста уровни воды увеличиваются, по сравнению с не заросшим руслом, затем, в течение какого-то времени остаются неизменными. В то же время при пропуске летне-осенних паводков растительность в русле реки под действием больших масс воды уплотняется, что приводит к уменьшению гидравлических сопротивлений.

Особую сложность для исследования представляет течение в зоне динамического взаимодействия потоков над растительным слоем и в его пределах.

### 1.2.1. Анализ результатов опубликованных исследований

По данным В. А. Лудова, при малом наполнении экспериментального канала поток обтекал лишь прикорневые стволы растений со сравнительно небольшой суммарной площадью миделевых сечений. По мере увеличения глубины в потоке оказывалось все большее число растительных элементов в связи с их ветвлением, поэтому сопротивление возрастает. Максимум сопротивлений совпадает с режимом полного затопления растительности. Дальнейшее увеличение глубины приводит к тому, что все большая часть расхода проходит над растительным слоем при значительных скоростях течения, (что до некоторой степени адекватно уменьшению относительной шероховатости), поэтому в этой области коэффициент гидравлического трения уменьшается с ростом чисел Рейнольдса. Отметим, что с увеличением уклона, (а следовательно, и скорости течения при прочих равных условиях), максимум сопротивления смещается в область меньших чисел Рейнольдса и становится менее выраженным, что связано с полеганием растительных элементов.

Сопоставим сопротивление лежащих и стоящих растительных элементов при одной и той же площади поверхности получим, что полегание растительных элементов может значительно снизить их сопротивление.

Заметим, что в зависимости от уровня воды, при одной и той же растительности русло реки может представлять собой водоток с полностью или частично заросшим руслом.

Растительность это особый и очень сложный вид шероховатости. Попытки исследования проблемы влияния растительности на гидравлические сопротивления русел и пойм рек предпринимались неоднократно различными авторами.

Сопротивление однородной наземной растительности широко изучалось в метеорологии. Были проведены большие серии натуральных наблюдений и предложена нелинейная система уравнений для двухслойной задачи, описывающая процессы турбулентного обмена в этих слоях. Для решения этой системы была предложена математическая модель и схема расчета поля скорости ветра внутри растительности и над ней, и по ней произведен расчет скоростных полей. Результаты расчетов весьма хорошо согласовывались с натурными данными.

В результате исследований были рекомендованы таблицы для определения коэффициента шероховатости  $n$ , и предложена методика определения вида растительности при проектировании каналов для защиты их от размывов, а также расчет максимальной пропускной способности зарастающих каналов.

Ю. Н. Соколовым, совместно А. С. Головатюк были проведены обширные эксперименты по изучению скоростных полей в натуральных условиях на зарастающих поймах. Измерения проводились в условиях естественной растительности и на специально оборудованных площадках, характер растительности на которых задавался в ходе эксперимента.

Наряду с увеличением шероховатости, появление растений в русле ведет к стеснению его живого сечения. В.А. Леонов установил, что рост биомассы особенно интенсивен в начальной стадии развития. В течение первой четверти-трети вегетационного периода длина стеблей растений достигает 0,90-0,95 их предельного значения. Определяющим фактором при этом служит сумма среднесуточных температур воды после перехода их через значение 8-10 °С.

Изучив и проанализировав существующие методики оценки коэффициента шероховатости, пришли к заключению, что в расчетных выражениях учитываются не все параметры растительности, не все характеристики потока и остаются непонятным следующие вопросы:

1. Существует множество таблиц и графических зависимостей для определения коэффициента шероховатости и, как известно, в их определение присутствует связь между коэффициентом сопротивления и скоростью потока [иначе говоря число Рейнольдса ( $Re$ )]. Значения числа  $Re$  будут отличаться друг от друга в зависимости от

- площади смачивания растительности;
- площади экспозиции стояния растений.

2. Значения шероховатости в разные фазы развития растительности будут различными.

3. Надводная и подводная растительность оказывают разное воздействие на поток. Значения сопротивления будут отличаться.

## Глава 2. Временные закономерности изменения коэффициентов шероховатости ( на примере рек бассейна р. Дон)

### 2.1. Общая характеристика рек бассейна

Река Дон - крупная река Русской равнины. Общая длина реки 1870 км, площадь водосбора 422 тыс.км<sup>2</sup>.

Дон берёт начало на восточной окраине Средне-Русской возвышенности на абсолютной высоте 179 м. Течение реки в общем направлено с севера на юг, но местами изменяется. Ниже впадения реки Тихая Сосна, где Дон огибает так называемое Дивногорье, оно становится восточным, а на участке от впадения реки Черная Калитва до устья реки Иловли – восточным - юго-восточным.

Общее падение реки Дон от истока до впадения реки Воронеж на участке длиной  $L=467$  км составляет  $\Delta h=94$ м, уклон  $I=0.20\text{‰}$ , от устья реки Воронеж до в/п Лиски  $L=121$  км,  $\Delta h=7$ м, уклон  $I=0.058\text{‰}$ , от в/п Лиски до в/п Павловск  $L=122$  км,  $\Delta h=8.4$ м, уклон  $I=0.069\text{‰}$ , от в/п Павловск до в/п Казанская  $L=205$  км,  $\Delta h=9$ м, уклон  $I=0.044\text{‰}$ .

Долина Верхнего Дона в истоке узкая V-образная шириной 0.5-0.8 км, редко до 2.0 км. По мере продвижения вниз по течению она постепенно расширяется, у устья реки Воронежа достигает 2-3 км, но в отдельных местах (у г. Лиски и у с. Колыбелька) не превышает 1-1.5 км. Затем ширина ее, особенно у впадения притоков, увеличивается до 6-7 км, а кое-где до 8-9 км. Правый склон долины почти везде возвышенный (высотой до 90 м), крутой, расчленен оврагами и балками, а левый, начиная от города Задонска, пологий, слабо пересеченный балками.

На участке излучины долина реки пойменная, шириной до 4,0 км. Левый склон долины крутой, высотой 25-30 м, занят постройками г.Павловск.

Правый склон – склон спрямляющей протоки «Басовский рукав» очень крутой, высотой 45-80 м, порос смешанным лесом. Склоны долины пересечены оврагами и балками.

Пойма Верхнего Дона преимущественно двухсторонняя, на участке от с.Нижняя Павловка до д.Бугровка – односторонняя, луговая, открытая, умеренно пересеченная. Преобладающая ширина поймы у истоков около 200 м, ниже она изменяется от 0.6 до 4.0 км, местами доходит до 7 км. В половодье пойма обычно заливается слоем воды от 1 до 3 м, при высокой весенней воде на некоторых участках - до 3-5 м. В пойме много озер и староречий.

Пойма Дона правобережная, для протоки Басовский рукав – левобережная. Общая ширина её до 3-х км. Пойма ровная, местами поросшая лесом, начинает затопляться при уровне 75,00 м БС (500 см над нулём графика водопоста р.Дон-г.Павловск).

Русло умеренно извилистое, почти повсеместно устойчивое, неразветвленное. В русле встречаются небольшие острова. Ширина русла от истока до впадения реки Воронеж от 25-40 до 100-150 м, по мере впадения притоков постепенно увеличивается, достигая в некоторых местах 400-600 м. Преобладающая глубина реки в межень вблизи истока составляет 1 – 1,5 м, у станицы Казанской - 2 – 3,5 м. Скорость течения воды при низких уровнях составляет – 0,3 – 0,5 м/с. Характерными для Верхнего Дона являются перекаты, образованные конусами-выноса наносов из его притоков и балок (из последних - при ливнях).

На участке вблизи водопоста находится ряд перекатов, образованных преимущественно грунтом, вынесенным сильными ливнями из балок и притоков. В меженный период у крутых участков



излучины реки наблюдается косоструйность течения. Зимой на реке наблюдаются полыньи. В 0,5 км выше водопоста, в устье реки Осередь, образуются заторы льда. Водопост р.Дон - г.Павловск расположен в юго-западной части города, в 0.5 км ниже устья реки Осередь. Прилегающая местность - открытая, слегка холмистая равнина, пересеченная оврагами, балками и протоками, покрыта степной растительностью.

Расчетный створ расположен у г. Павловск на 1160 км от устья реки Дон, имеет площадь водосбора 84600 км<sup>2</sup>.

### **2.1.1. Климатические условия**

Климат исследуемого бассейна континентальный и характеризуется теплым летом и умеренно-холодной зимой. Для характеристики климатических условий исследуемой территории использовались показания метеостанции «Богучар», расположенной в 85 км к юго-востоку от рассматриваемого участка.

Годовой ход температуры воздуха отличается значительной однородностью: самым теплым месяцем в году является июль, самым холодным - январь. Абсолютный минимум температуры воздуха достигает - 36<sup>0</sup>. Абсолютный максимум составляет 41<sup>0</sup>. Годовая амплитуда абсолютных температур воздуха составляет 77<sup>0</sup>.

Климатические особенности местности наиболее рельефно выявляются при рассмотрении их по отдельным сезонам года. Переход от одного сезона к другому происходит постепенно, и указать даты начала и конца сезона можно только условно.

Максимум осадков приходится на июль-август. В теплый период выпадает осадков 514 мм или 63%. Сумма осадков за вегетационный период составляет 50-60% годовой. Весной количество выпадающих осадков невелико, летом оно наибольшее. Летом, как правило, выпадают

осадки ливневого характера. К осени увеличивается число дней с морозящими дождями. В холодный период (ноябрь-март) выпадает осадков 190 мм.

Влажность воздуха изменяется в соответствии с годовым ходом температуры воздуха.

## **2.1.2. Характеристика водного объекта - реки Дон**

### **2.1.2.1.Режим стока**

Река Дон является равнинной рекой. Питание её в основном происходит водами от таяния зимних запасов снега и в значительно меньшей степени – грунтовыми и дождевыми водами.

Несмотря на то, что наибольшее количество осадков в бассейне Верхнего Дона выпадает летом, основным источником питания рек рассматриваемой территории являются талые снеговые воды. Летние осадки не оказывают существенного влияния на поверхностный сток вследствие большой сухости почв в летнее время и значительного испарения. Зимнее снегонакопление обеспечивает обильную отдачу воды, формирующую в случае достаточно сильного промерзания почвы высокое и продолжительное весеннее половодье, в течение которого проходит преобладающая часть годового стока (1953г, 1963г.). В отдельные тёплые зимы со слабым промерзанием почвы объём стока весеннего половодья значительно уменьшается. Иногда (1955,1957,1966,1969,1970гг.) сток талых вод происходит преимущественно в период оттепелей.

Половодье является характерной фазой гидрологического режима. Водность реки в весенний период обуславливается не только величиной снеготаяния, промерзанием почвы, но и ходом снеготаяния и количеством жидких осадков, выпадающих в период половодья. В период весеннего половодья наблюдаются наибольшие в году расходы воды.

При больших снегозапасах и сильном промерзании почвы в бассейне Верхнего Дона в период половодья на р.Дон проходит 80 - 90% годового стока.

В теплые зимы со слабым промерзанием почвы объем стока весеннего половодья значительно уменьшается и может составлять лишь 30 – 40 % годового стока.

Средняя продолжительность весеннего половодья по водопостам на р.Дон у г.Лиски и ст-цы Казанская составляет 55 и 59 суток соответственно.

Даты начала половодья на р.Дон у г.Лиски и у ст-цыКазанская устойчивы и приходятся в основном на март. Наиболее ранние даты начала весеннего половодья зарегистрированы во второй и третьей декаде февраля и вызваны оттепелями. Средние даты окончания половодья на р.Дон приходятся на середину мая. Наиболее поздние даты окончания весеннего половодья зарегистрированы на р. Дон в первой декаде июня. Наиболее ранние даты наступления максимального расхода на р. Дон отмечены в середине марта, наиболее поздние - в начале мая.

Режим стока в меженный период во многом зависит от климатических условий, на его формирование и величину оказывают влияние и другие факторы: глубина эрозионного вреза русла и долины, хозяйственная деятельность. Минимальный сток наблюдается в периоды летне-осенней и зимней межени. Режим летней межени нарушается двумя-тремя дождевыми паводками, а зимней – поверхностным притоком во время оттепелей.

Летне-осенняя межень наступает обычно в конце июня, в июле. В отдельные годы с дружным прохождением весеннего половодья межень наблюдается уже в начале мая, в случае затяжного половодья и паводков при его спаде – с июня-июля. Окончание этой межени приходится на конец октября – начало ноября. При отсутствии осенних

паводков летне-осенняя межень плавно переходит в зимнюю. Окончание зимней межени в основном приходится на первую декаду марта.

Средняя величина минимального среднемесячного расхода летне-осенней межени р.Дон у г.Лиски за период 1881 - 2012 гг. составила  $104 \text{ м}^3/\text{с}$ , за период 1965 - 2012 гг. –  $127 \text{ м}^3/\text{с}$ . Средняя величина минимального среднемесячного расхода летне-осенней межени р. Дон у ст-цы Казанская за период 1882 - 2012 гг. составила  $124 \text{ м}^3/\text{с}$ , а за период 1965-2012 гг. –  $150 \text{ м}^3/\text{с}$ . Следовательно, в последние десятилетия наблюдается значительное увеличение минимального меженного стока.

За два сравниваемых периода до 1965 года и после него среднемноголетние значения минимальных среднемесячных расходов летне-осенней межени в последний период увеличились на р.Дон у г.Лиски на 35 %, у ст-цыКазанская – на 40%.

#### **2.1.2.2. Режим уровней**

Уровенный режима реки Дон определяется континентальностью климата и равнинным характером поверхности.

Характеристика уровенного режима реки Дон приводится по данным водомерного поста г. Павловск за имеющийся период наблюдений за уровнями 1881 - 2012 годы. Кроме этого, для оценки изменений уровенного режима реки Дон по ее длине использованы данные водопостов у г.Лиски и у станицы Казанская. Годовой ход уровней на этом участке реки Дон имеет идентичный характер, отмечаются лишь незначительные различия в ходе уровней за счет впадающих притоков.

Вскрытие реки Дон у города Павловск наблюдается в среднем в конце марта начале апреля, поздняя дата вскрытия реки – 22.04.1929 г, ранняя – 08.03.1925 и 1944 гг.

Ледоход проходит на подъеме весеннего половодья при уровнях от 64 до 817 см над нулем графика. Весенний ледоход продолжается в среднем 4 дня, наибольшая продолжительность ледохода наблюдалась в 1893 году и составила 22 дня, в отдельные годы весеннего ледохода не наблюдается (1976, 1979, 1981, 1982, 1984, 1989, 1995 гг.) Средняя дата очищения реки ото льда приходится на 4 апреля, ранняя – 20.02.1990 г., поздняя – 27.04.1929 г.

Максимум весеннего половодья в среднем наступает 13 апреля, при крайних датах 07.03.1989 г. и 05.05.1919, 1928 гг. Самые высшие уровни весеннего половодья наблюдались 26.04.1942 г. – 1038 см (80,63 м БС) и 15.04.1970 г. – 995 см (80,20 м БС). Превышение высшего уровня весеннего половодья над минимальным уровнем за лето-осень составило более 11 метров. Самое низкое значение высшего уровня весеннего половодья составило 25 см (70,50 м БС) и наблюдалось 09.03.1989 г., превышение его над условным минимальным за лето-осень уровнем составило 1,9 метра. Среднее значение высшего уровня весеннего половодья за период с 1881 по 1964 гг. составляет 690 см (77,15 м), за период 1965-2012 гг. – 422 см (74,47 м).

В среднем продолжительность весеннего половодья на этом участке реки Дон составляет около 57 дней. В годы с затяжными половодьями его продолжительность увеличивается до 90 дней и понижается в маловодные или дружные весны до 34 дней. И если в среднем половодье проходит в сроки с 21.03 по 17.05, то ранние сроки начала его сдвигаются на вторую декаду февраля, а поздние сроки окончания - на 1 - 2 декаду июня. Интенсивность подъема уровней достигает 2 – 3 м/сутки, в среднем составляет 1 - 2 м/сутки. Спад происходит менее интенсивно: 1 - 2 м/сутки в первые дни, в последующие дни интенсивность спада снижается до 0,1 – 0,2 м/сутки. Продолжительность стояния максимальных уровней – 1 - 2 дня.

Пойма затопляется не ежегодно. Наибольшая продолжительность затопления поймы наблюдалась в 1994 и 1979 годах и составила соответственно 24 и 23 дня. Частота затопления поймы за последний 50 - летний период (после 1964 года) в сравнении с предшествующим периодом уменьшилась с 80 до 50% случаев.

Летняя межень сравнительно устойчива и характеризуется наиболее низкими в году уровнями. В среднем низшие уровни летней межени составляют – 80 см и колеблются от – 200 см (1972 г.) до + 4 см (1896 г.) над нулем графика. Средняя дата их наступления - 5 сентября. Среднее значение низших уровней летней межени за период с 1881 по 1964 годы составляет - 51 см (69,74 м БС), за период 1965 - 2012 гг. – 144 см (68,81 м БС).

Высшие уровни летне-осеннего периода составляют от –126 см (1975 г) до 143 см (1912 г) над нулем графика и средняя дата их наступления 10 июля. Вызваны они частично дождевыми паводками, а иногда соответствуют началу межени, так как паводки не наблюдались или были малы и не превысили уровень начала межени. Даже с учетом экстремальных значений колебание уровней в летний период не превышает 2-х метров и в среднем составляет 0,8 – 0,9 метра.

Низшие уровни зимней межени обычно выше летне-осенней. Величины минимальных зимних уровней составляют – 65 см (69,60 м БС): от –160 см (1988г.) до +87 см (1902г.).

Высшие уровни периода ледостава гораздо выше соответствующих значений уровней летне-осеннего периода, изменяются они в разные годы от – 20 см до 551 см над нулем графика и чаще всего приходятся на 2-ую декаду марта.

Среднегодовая амплитуда колебания уровня составляет 702 см, наименьшая – 190 см наблюдалась в 1989 году, наибольшая – 1126 см в 1970 году.

Для водопоста р. Дон - г.Павловск также как и по другим постам на р.Дон характерно постепенное длительное понижение однофазовых уровней как минимальных межениных, так и наивысших уровней весеннего половодья, начавшееся в 60-х годах. Это особенно заметно в рядах низших среднемесячных уровнях летне-осеннего периода. Минимальные уровни за лето-осень в среднем понизились на 95 см, среднее понижение высших уровней весеннего половодья составило 2,5 м, а средняя годовая амплитуда колебаний уровня уменьшилась на 1,5 м.

### **2.1.2.3. Термический и ледовый режимы**

Температурный режим вод р.Дон у г.Павловск значениями основных параметров с запозданием повторяет температурный режим атмосферного воздуха исследуемой территории. Прогрев воды начинается в последней декаде апреля. В летний период с июня по август среднемесячная температура воды изменяется от 20,9 до 22,8. Дневная температура воды выше на 3 - 4 ночной. Максимальных значений (24,2 – 25,3С) температура воды достигает в конце июня – начале июля.

Охлаждение воды начинается в последней декаде августа и продолжается в среднем до третьей декады ноября, когда появляются первые ледовые образования – забереги, сало, шуга. Осенние ледовые явления в среднем начинаются 26 ноября (ранняя дата – 26.10.1912 г., поздняя – 08.01.1902 г.). Осенние ледоходы проходят при тех же горизонтах, что и начальные ледовые явления и наблюдаются не ежегодно – отсутствуют в 39% случаев.

Ледостав устанавливается в среднем 12 декабря, ранняя дата отмечена в 1881 году – 9 ноября, а зимой 1992 - 93 гг. сплошной ледостав установился только 1 марта. Средняя продолжительность ледостава составляет 106 дней при крайних значениях 150 дней (1907 - 08 гг.) и 53 дня (1956 - 57, 1960 - 61 гг.). В целом продолжительность

периода с ледовыми явлениями от 80 до 166 дней (средняя 130 дней). Ледяной покров ровный. Толщина льда колеблется от 22 см до 42 см, в отдельные годы достигает 60 - 65 см, иногда устойчивого ледостава не образуется.

#### **2.1.2.4. Режим наносов и русловой процесс**

Регулярных наблюдений за твёрдым стоком и русловыми процессами р.Дон на участке работ у города Павловск не проводилось.

В качестве аналога для определения характеристик твердого стока использован водопост р.Дон - станция Казанская. Твердый сток начал изучаться на реке Дон у станицы Казанская с 1932 года, на реке Дон у города Задонск – с 1960 года. Наиболее изученной характеристикой твёрдого стока реки Дон является сток взвешенных наносов, составляющих большую часть всех наносов. На долю влекомых наносов приходится около 8% речных наносов.

Основная масса взвешенных наносов р.Дон(в среднем около 90% годового стока наносов) транспортируется в период весеннего половодья, наименьший сток взвешенных наносов в зимний период. Средняя годовая мутность изменяется от 19 (1984 год) до 220 г/л (1963 год), в среднем же она составляет 104 г/л.

Основные признаки установленного типа руслового процесса на исследуемом участке р.Дон следующие:

- широкая, затапливаемая во время половодья пойма, сложенная из относительно легко размываемых пород грунта;
- наличие спрямляющей протоки «Басовский рукав» на меандрирующей излучине не достигшей формы петли.

С целью сохранения и возрождения исторического русла реки Дон в период 2003-2006 гг. проведено радикальное вмешательство в режим реки Дон путём перекрытия спрямляющей протоки Басовский рукав перемычкой (каменно-набросной плотиной), имеющей отметку гребня



(77,3 м БС) на уровне пойменного прируслового вала. При этом по проектным данным для пропуска санитарного расхода ( $9\text{ м}^3/\text{с}$ ) в теле плотины заложены 3 водосбросные трубы. После проведенных мероприятий на исследуемом участке Дона у г.Павловск русловой процесс стал развиваться по типу свободного меандрирования, новых спрямлений нет, и динамика берегов подчиняется закономерностям плановых деформаций этого типа руслового процесса. При этом на вогнутых берегах излучины происходит закономерное чередование эрозионных и аккумулятивных процессов. В верховой части преобладает аккумуляция, в пределах середины излучины – боковая эрозия. На низовой части излучины наблюдается преимущественно глубинная эрозия, и как следствие, обрушение берега.

Русловые процессы в основном русле в результате перекрытия Басовской протоки усилились.

## 2.2. Закономерности изменения коэффициентов шероховатости зарастающих рек бассейна р. Дон.

Была рассмотрена работа Илатовской Е.С. по теме «Системно-гидравлические характеристики экстремальных расходов воды на реках лесостепной зоны».

В работе в основном уделялось изучение водности теплого периода года, глобальным фактором неблагоприятного экологического проявления которого является зарастание русла на примере рек лесостепной зоны Донского бассейна.

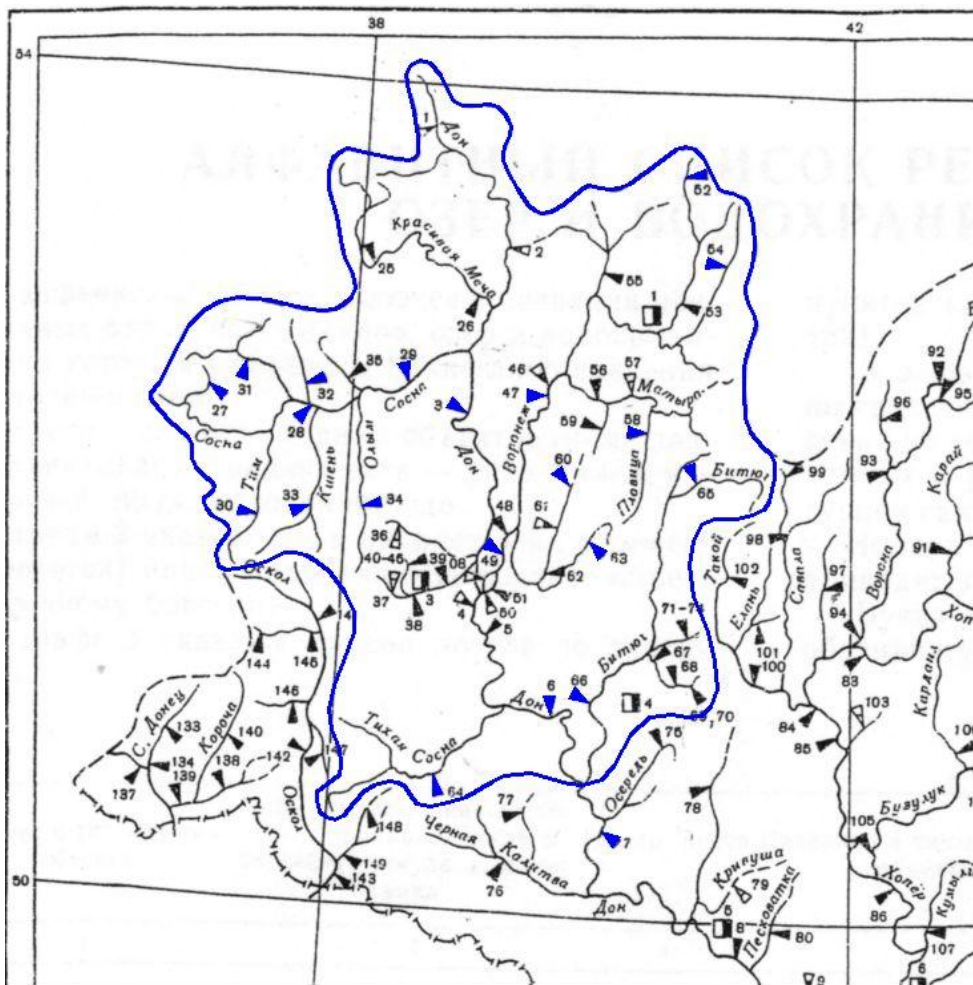


Рисунок. Расположение бассейна Верхнего Дона

Для определения степени зарастания рек, были произведены расчеты коэффициента шероховатости русел за каждый теплый сезон по выбранным створам гидрологических постов Росгидромета за многолетний период. Отбор створов осуществлялся по порядковому принципу, разработанному Н.А.Ржаницыным для рек ЕТР, с VI по VIII порядки рек.

Таблица 1 Значения коэффициентов шероховатости русла и температуры воды для правобережных притоков Верхнего Дона

Год	<i>р.Сосна – д.Ивань 2-я</i>		<i>р.Тим- с.Новые Савины</i>		<i>р.Труды- д.Стрелка</i>		<i>р.Ливенка - с.Воротынс к</i>		<i>р.Кшень- д.Серебряко вка</i>	
	п ср	срм.на иб. и месяц	п ср	срм.на иб. и месяц	п ср	срм.на иб. и месяц	п ср	срм.на иб. и месяц	п ср	срм.на иб. и месяц
1950	0,0 49	15,4/07	0,0 27	17,5/07	0,0 65	19,1/07	0,0 61	16,7/07	0,0 42	18,1/07
1951	0,0 6	16,7/08	0,0 35	19,7/07	- -	20,3/07	- -	- -	0,0 68	19,9/07
1952	0,0 57	17,1/07	0,0 55	19,0/07	- -	19,2/08	- -	16,7/07	0,0 52	19,9/07
1953	0,0 26	17,2/07	- -	19,3/07	- -	19,9/06 -07	0,0 37	17,0/06	0,0 28	19,9/06
1954	0,0 75	18,2/07	0,0 16	21,2/07	0,0 43	21,4/07	0,0 76	19,6/07	0,0 53	20,9/07
1955	0,0 83	19,7/07	0,0 2	20,4/07	0,0 49	20,5/07	- -	18,6/07	0,0 56	20,5/07
1956	0,0 89	19,2/06	0,0 28	19,9/06	0,0 41	20,8/06	0,0 85	19,2/06	0,0 77	-
1957	0,0 7	19,5/07	0,0 26	18,7/07	0,0 43	19,4/07	0,0 87	18,2/07	0,0 68	19,1/07

195	0,1		0,0		0,0		0,0		0,0	
8	88	18,8/07	3	20,5/07	63	19,5/07	84	17,9/07	66	19,9/07
196			0,0		0,0				0,0	
0	-	20,9/07	43	22,4/07	12	22,2/07	-	20,6/07	4	22,7/07
196			0,0		0,0				0,0	
1	-	19,6/07	18	-	14	-	-	-	43	-
196	0,1		0,0		0,0		0,0		0,0	
2	13	18,0/07	24	19,9/07	15	20,4/07	6	18,2/07	42	20,3/07
196	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
3	87	-	52	-	23	-	52	-	31	-
196	0,2		0,0		0,0		0,0		0,0	
4	12	22,7/06	49	22,1/07	15	21,8/07	59	20,1/07	42	22,1/06
196	0,2		0,0		0,0		0,1		0,0	
5	47	19,1/07	29	20,0/07	12	20,0/07	65	18,1/07	23	20,7/07
196	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
6	29	21,1/07	24	22,7/07	14	22,6/07	8	19,8/07	41	25,5/07
196	0,0						0,0		0,0	
7	22	21,5/07	-	20,8/07	-	20,4/07	8	18,2/07	92	21,7/07
196	0,1		0,0		0,0		0,0		0,0	
8	07	20,6/06	25	20,3/06	16	19,8/06	72	17,8/06	49	21,1/06
196	0,0		0,0		0,0		0,1		0,0	
9	57	20,4/07	64	20,9/07	14	20,7/07	23	18,9/07	62	21,2/07
197	0,0		0,0		0,0		0,1		0,1	
0	41	20,0/07	48	22,4/07	12	21,5/07	24	20,5/07	34	22,9/07
197	0,1		0,0		0,0		0,0		0,0	
1	03	20,5/08	39	20,9/07	22	20,5/07	71	19,4/07	23	21,2/07
197	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
2	46	25,0/08	47	23,4/07	28	23,6/07	39	20,5/07	66	23,1/07
197	0,1		0,0		0,0		0,0		0,0	
3	24	21,2/07	34	20,5/07	25	21,4/07	47	18,3/07	34	21,5/08

197	0,1		0,0		0,0		0,0		0,0	
4	9	21,7/07	35	20,3/07	22	19,9/07	57	19,2/07	25	21,5/07

Рисунок

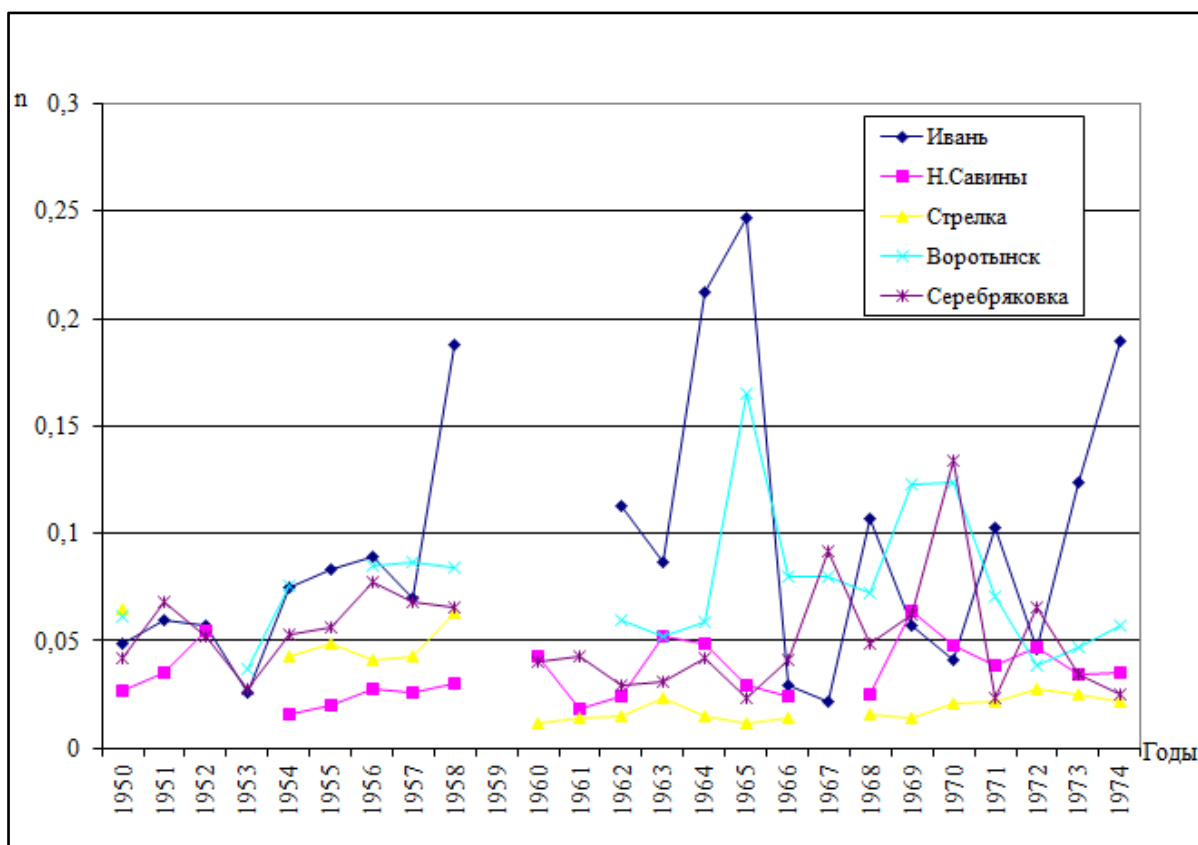
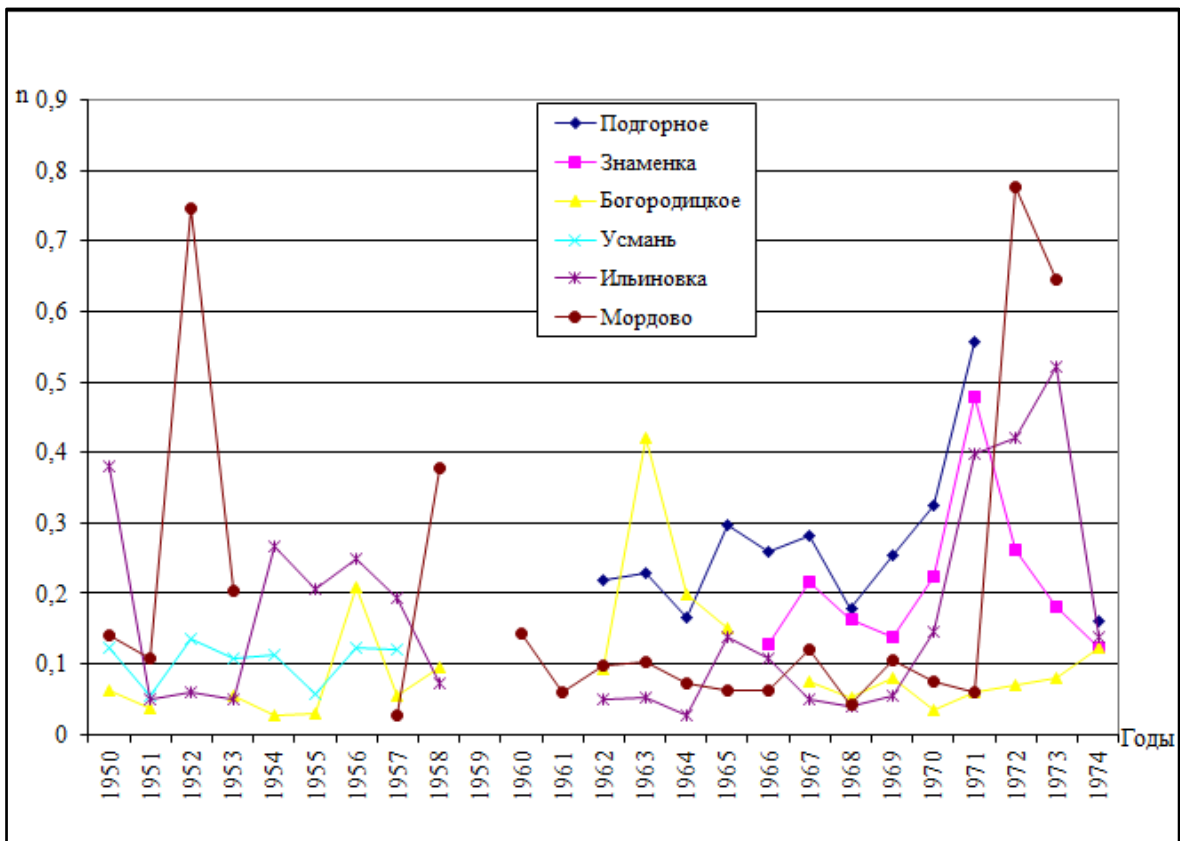


Таблица 2 Значения коэффициентов шероховатости русла и температуры воды для левобережных притоков Верхнего Дона

Годы	<i>р. Л.Воронеж – с.Подгорное</i>		<i>р.П.Воронеж– д.Знаменка</i>		<i>р.Планица– с.Богородицкое</i>		<i>р.Усмань– г.Усмань</i>	
	п ср	тсрм.наиб. и месяц	п ср	тсрм.наиб. и месяц	п ср	тсрм.наиб. и месяц	п ср	тсрм.наиб. и месяц
1950	-	-	-	-	0,062	-	0,123	17,0/07
1951	-	-	-	-	0,036	19,3/07	0,055	20,6/07
1952	-	-	-	-	-	18,3/07	0,136	20,2/07
1953	-	-	-	-	0,054	19,9/06	0,108	20,7/06

1954	-	-	-	-	0,027	-	0,112	22,1/07	0
1955	-	-	-	-	0,030	18,1/07	0,058	19,7/07	0
1956	-	-	-	-	0,208	19,1/06	0,122	21,8/06	0
1957	-	-	-	-	0,055	-	0,121	20,7/07	0
1958	-	-	-	-	0,095	19,6/07	-	-	0
1959	-	-	-	-	-	20,9/07	-	-	
1960	-	-	-	-	-	20,9/07	-	-	
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	
1962	0,218	20,1/07	-	-	0,093	20,2/07	-	-	0
1963	0,229	-	-	-	0,420	-	-	-	0
1964	0,167	22,3/07	-	-	0,199	20,8/07	-	-	0
1965	0,298	20,3/07	-	-	0,151	19,4/07	-	-	0
1966	0,260	22,0/07	0,129	-	-	21,6/07	-	-	0
1967	0,281	20,4/08	0,217	20,5/08	0,074	19,6/08	-	-	0
1968	0,178	19,8/06	0,164	19,9/06	0,052	18,7/06	-	-	0
1969	0,254	20,3/07	0,137	20,6/07	0,079	19,9/07	-	-	0
1970	0,325	21,9/07	0,223	22,4/07	0,035	21,7/07	-	-	0
1971	0,557	21,5/07	0,480	21,4/07	0,059	20,8/07	-	-	0
1972	-	22,6/07	0,263	23,8/07	0,071	21,3/07	-	-	0
1973	-	-	0,182	20,4/07	0,079	19,9/07	-	-	0
1974	0,170	21,6/07	0,123	22,0/07	0,123	21,0/07	-	-	0

Рисунок



На основе полученных данных были построены следующие графики.

Рисунок . Колебания средних значений коэффициентов шероховатости русел притоков Верхнего Дона

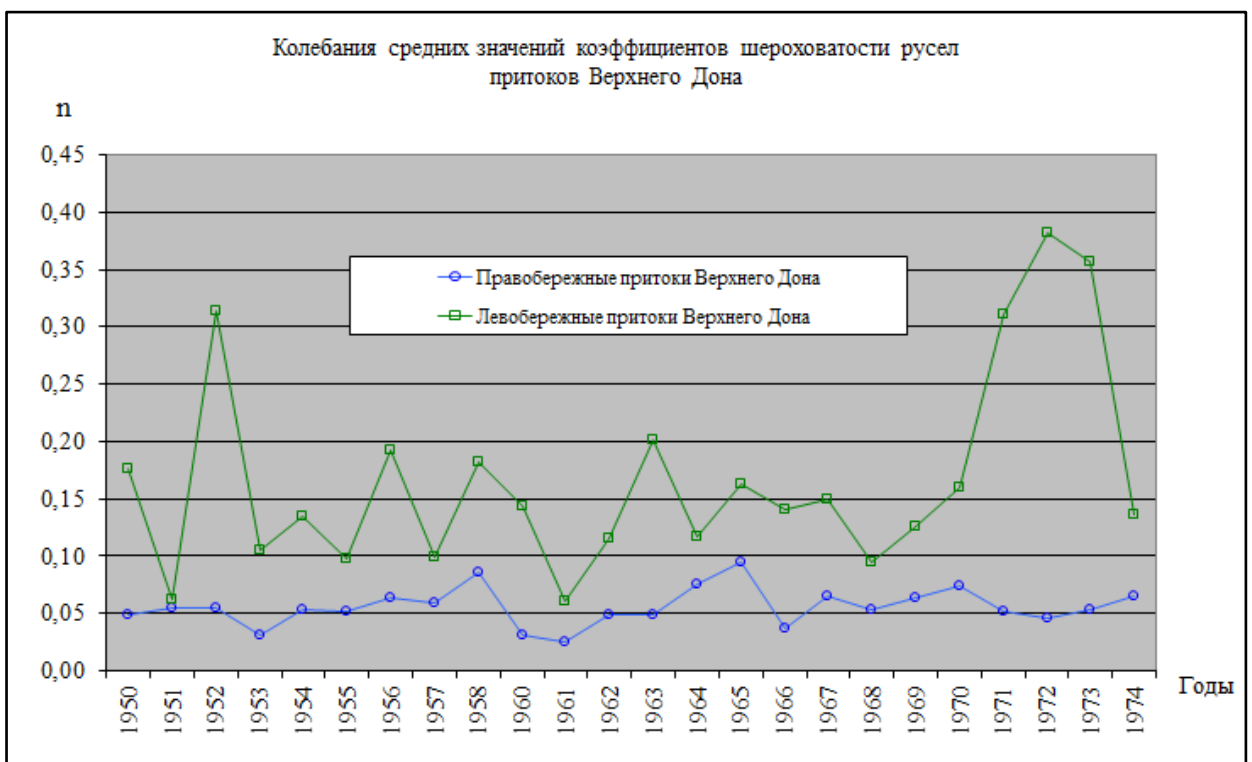
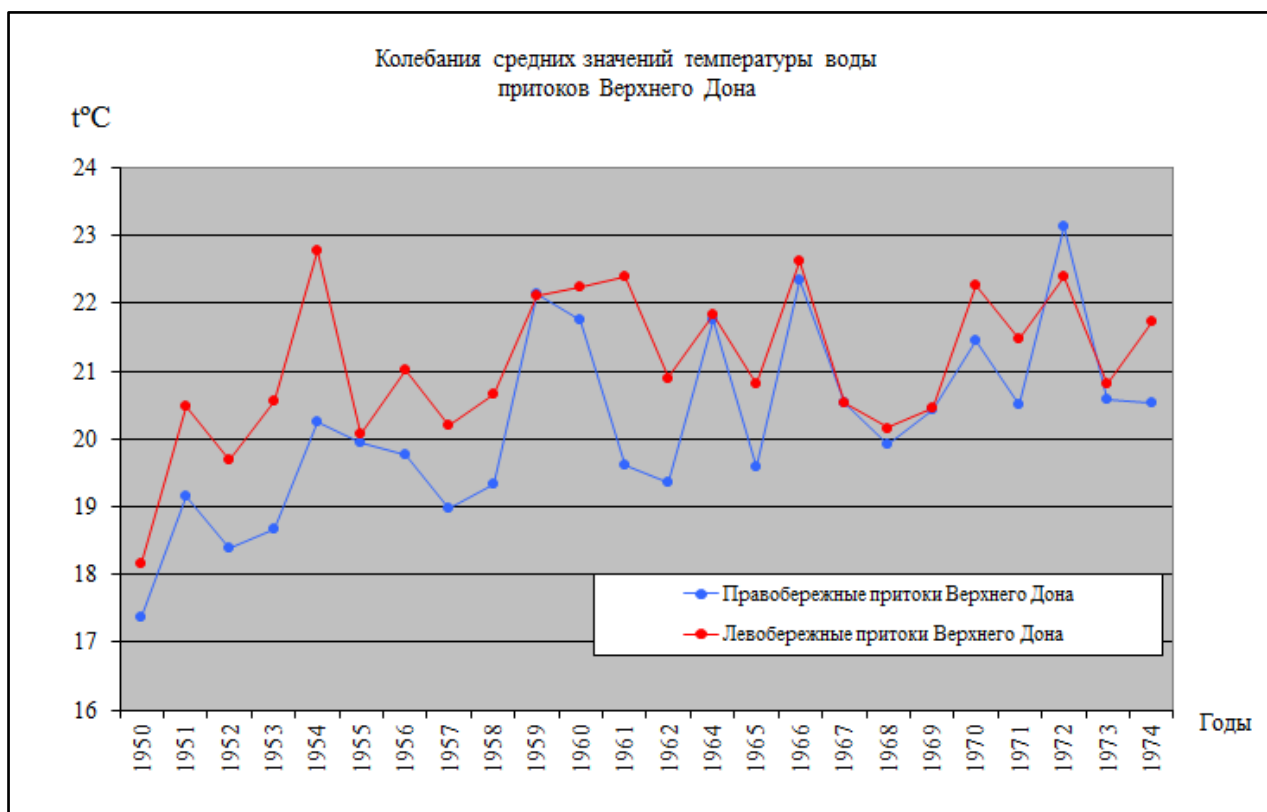




Рисунок .Колебания средних значений температуры воды притоков Верхнего Дона

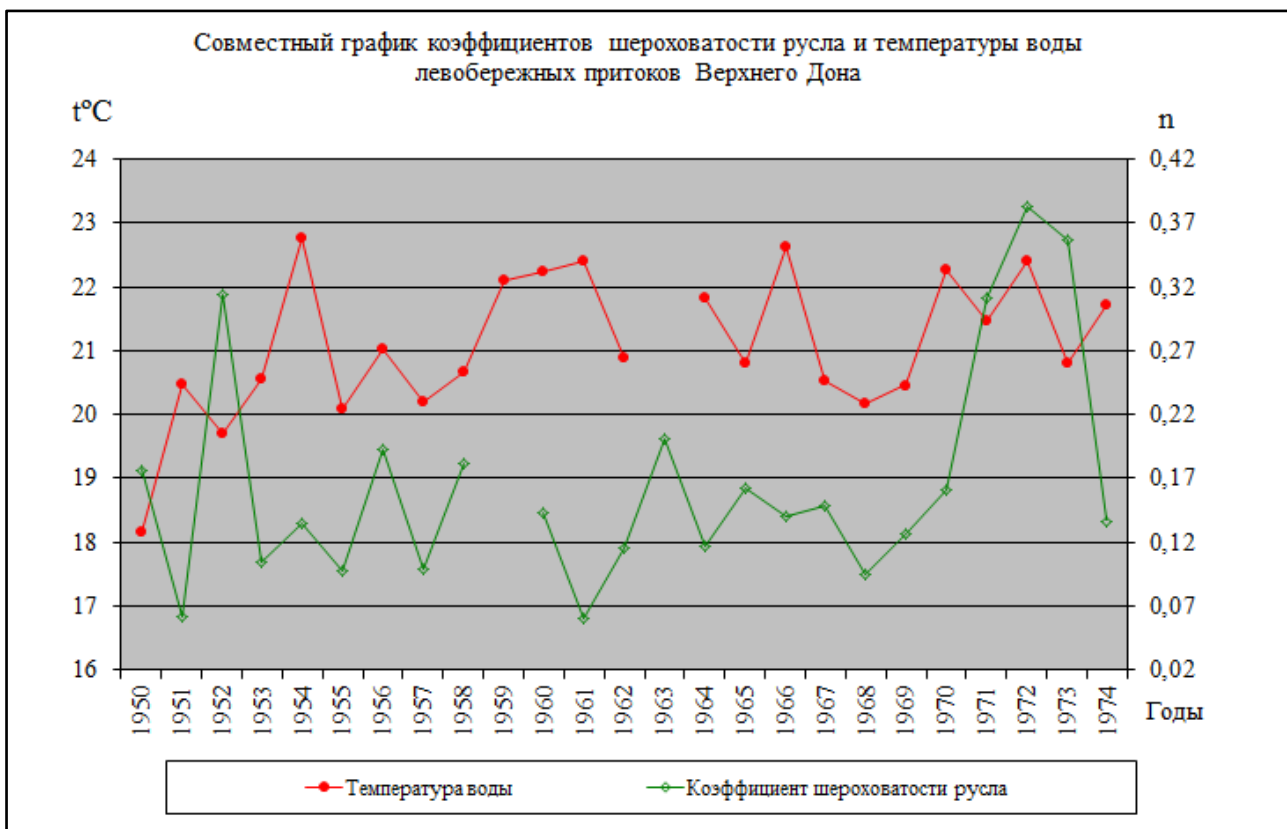


Также были построены совместные графики коэффициентов шероховатости и температуры воды

Рисунок. Обобщенный график коэффициентов шероховатости русла и температуры воды правобережных притоков Верхнего Дона.



Рисунок. Обобщенный график коэффициентов шероховатости русла и температуры воды левобережных притоков Верхнего Дона.



Следующим этапом стало изучение влияния зарастания рек на величину минимального стока. Минимальный расход воды формируется, как известно, за счет грунтовых вод. Для того чтобы оценить изменение глубины водотока при зарастании русла и русле «свободном», были произведены расчеты, основанные на использовании формулы Шези.

Пример расчета (р.Хава-д.Ильиновка 1974 год):

- |                   |  |
|-------------------|--|
| $V_{cp} = 0,16$   | Средняя скорость в русле, м/с                  |
| $n_{зар} = 0,139$ | Коэффициент шероховатости русла при зарастании |
| $n_p = 0,04$      | Коэффициент шероховатости свободного русла     |
| $I = 0,0004$      | Осредненный уклон водной растительности        |
| $b = 10,4$        | Ширина русла в межень, м                       |

Расчет характеристик:

$$h_1 = \left( \frac{n_{зар} \cdot V_{cp}}{\frac{1}{I^2}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Глубина зарастающего русла в межень, м

$$h_1 = 1,17 \text{ м}$$

$$Q_{\min} = b \cdot h_1 \cdot \left( \frac{1}{n_{\text{зар}}} \right) \cdot h_1^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \text{Расход воды в межень, м}^3/\text{с}$$

$$Q_{\min} = 1,95 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$h_2 = \left( \frac{n_{\text{пр}} \cdot Q_{\min}}{b \cdot I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad \text{Глубина свободного русла в межень, м}$$

$$h_2 = 0,56 \text{ м}$$

На данном этапе выработана гипотеза, согласно которой, изменение уровня воды в межень за счет зарастания русла вызывает изменение самой величины меженного стока. Были произведены предварительные расчет удельного расхода грунтового потока, которые показали существенное уменьшение питания реки грунтовыми водами при зарастании русла. Первичные расчеты подтверждают гипотезу.

Формула В.С.Козлова:

$$q = \frac{k \cdot (h_2^2 - h_1^2)}{2L} + \frac{k \cdot i \cdot (h_2 + h_1)}{2}$$

где:

q - удельный расход грунтового потока;

k - коэффициент фильтрации грунта;

h<sub>1</sub> и h<sub>2</sub> – действительные глубины потока в двух сечениях, взятых на расстоянии L друг от друга;

i – уклон дна грунтового потока.

3.1. потопал

## 2.1 Общие сведения

### 2.1.1 Рельеф и геология

Река Оредеж является правым притоком реки Луги, которая относится к бассейну Балтийского моря. Бассейн Балтийского моря расположен между  $67^{\circ}40'$  -  $55^{\circ}36'$  с.ш и  $27^{\circ}20'$  -  $37^{\circ}57'$  в.д и занимает площадь 396 тыс. км<sup>2</sup>.

Геологическое и геоморфологическое строение территории разделяется на две области: Карелия и Северо-Запад. Северо-западная часть этой территории, которая в свою очередь разделяется на: 1) северо-западную – неизменную и 2) восточную, юго-восточную и южную- возвышенную. Северо- западная часть расположена в пределах Прибалтийской низменности, уходящей на западе на территорию Эстонии и Латвии, а на севере и северо-востоке – в Карелию.

Прибалтийская низменность – довольно однообразная слабоволнистая равнина с рядом возвышенностей и понижений.

Возвышенная часть территории Северо-Запада расположена в пределах Валдайской возвышенности, которая широкой дугой окаймляет Прибалтийскую низменность и тянется от восточного побережья Онежского озера до г. Великие Луки, переходя далее на территорию Белоруссии и Литвы.

Территория Северо-Запада сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании. Самая северная окраина территории - север Карельского перешейка- относится к южной оконечности Балтийского щита и сложена древнейшими кристаллическими породами архейско-протерозойского комплекса, представленного различного рода гнейсами и сланцами[9].

### 2.1.2 Почвенный покров

Основные процессы почвообразования - это подзолообразования и заболачивание. Обусловлено положением территории в зоне с холодным, влажным климатом и преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительности.

Глубина промерзания зависит от рельефа местности, а также от интенсивности нарастания отрицательных температур воздуха и наличия снежного и растительного покрова, механического состава почвы и ее увлажнения.

Оттаивание почвы происходит сверху и идет сначала медленно, до схода снежного покрова, а затем быстро под влиянием солнечных лучей, на болотах почва может быть промерзшей и летом[9].

### 2.1.3 Растительность

Территория расположена преимущественно в пределах таежной зоны.

Таежные полосы растительности - еловые леса, сосновые леса, сфагновые торфяно-осоковые и кустарниковые болота совершенно не облесенные или с редкостной сосной.

Главным образом состав местных лесов представлен мелколиственными породами: березой, сосной, ольхой[9].

### 2.1.4 Климат

Средняя годовая температура воздуха на территории Северо-Запада колеблется от 2°C в Северо- Восточной части до 4,5 °C в южной.

Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль, самым же теплым месяцам – июль.

На распределение осадков большое влияние оказывает орографические особенности местности и подстилающей поверхности, ведущие к нарушению осадков. В среднем в год на большей части районов выпадает 550-750 мм осадков.

Ветровой режим зависит от общей циркуляции атмосферы и тесно связан с особенностями распределения барических центров, располагающихся вокруг районов. Преобладают ветры южного, юго-западного и западного направления.

Величина испарения является одним из основных расходных элементов водного баланса, на который в условиях Северо-Запада затрачивается 50-70% атмосферных осадков, поступающих на поверхность водосбора[9].

#### 2.1.5 Описание реки Оредеж и участка наблюдений

Река Оредеж берет начало из Кикеренских болот и течет в северо-восточном направлении, сильно меандрирует. Впадение реки Оредеж в реку Лугу происходит на 194 км от устья последней. Длина реки 201 км, общая площадь водосбора 3400 км<sup>2</sup>. Площадь водосбора в районе наблюдений составляет 192 км<sup>2</sup>.

Отметка истока-112,6 м БС, устья-31,6 м., в результате общее падение реки составляет 81 м.

Прилегающая местность-слабовсхолмлённая на пологом юго-восточном склоне Ижорской возвышенности, покрытая смешанным лесом и сельскохозяйственными угодьями.

Долина реки неясно выражена. В районе проведения работ долину реки можно отнести к V-образной форме. Преобладающая ширина долины 150-200 м, наибольшая- 1,5 км у с. Рыбицы и наименьшая- 10 м. у д. Даймище.

Русло на всем протяжении зарастает водной растительностью. Дно песчаное с отдельными валунами, подвержено незначительной деформации-перемещение песчаных гряд. Имеются небольшие острова. пойменная терраса местами заболочена. Коренные берега в основном пологие, но местами крутые обрывистые. Ширина реки меняется от 15 до 30 м. Средняя глубина 1,0-1,5м. Преобладающие скорости течения на плесах 0,2-0,3 м/с, на перекатах до 1 м/с.

Река Оредеж зарегулирована гидротехническими сооружениями, которые в настоящее время не эксплуатируются.

Питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и притока грунтовых вод.

Суточные колебания уровня воды незначительны, но во время обильных дождей уровень резко повышается, что вызывает затопление поймы. Уровни весеннего половодья превышают меженные на 1-2 м в верхнем и среднем течении.

В осенний период с началом ледостава на реке Оредеж наблюдается сало, на мелководных участках образуется данный лед. Температурный режим воды нарушен вследствие карстового питания и истока из озера.

Зимняя межень начинается обычно в начале декабря и отличается тем, что весь сток осуществляется за счет запасов грунтовых вод. Но возможные паводки, вызванные таянием снега, при оттепелях нарушают порядок питания в зимнюю межень. Зимние минимальные расходы воды, как правило, являются наименьшими в году.



В суровые зимы река промерзает, средняя толщина льда на реке в конце зимы 20-25 см, максимальная 50 см. В теплый - устойчивый ледостав на реке не бывает. Вскрытию предшествует подвижка льда.

Испарение с поверхности суши годовое – 435 мм; с водной поверхности- 552 мм.

Высота снега в поле средняя за зиму около 45 см, максимальная-71 см, минимальная- 19 см. В лесу средняя- 36 см, максимальная- 63 см, минимальная – 14 см. Годовые осадки могут достигать 708 мм.

Водомерный пост и гидростворы были оборудованы на прямолинейном участке р.Оредеж. Правый берег представляет собой широкую плоскую пойму шириной до 200 м, поросшую луговой растительностью и кустарником. Коренной берег обрывистый. Левый берег более крутой, густо заросший кустарником и лесом. Река на участке наблюдений имеет ширину 20-25 м, средняя глубина 1,0-1,2 м.

#### 2.1.6 Характеристика высшей водной флоры реки Оредеж

Высшие водные растения верховий реки Оредеж составляют 29 видов, относящихся к 23 родам, распределенным между 18 семействами. Они являются представителями 3 классов и 2 отделов высших сосудистых растений. Почти все представители водной флоры являются многолетними растениями, исключение составляет лишь 1 вид - болотник болотный, который является однолетним растением. Очень редким видом для Северо-Запада европейской части России в целом, произрастающим только в окрестностях Донцо на сильно минерализованной влажной почве, является дубровник чесночный. К числу довольно редких видов для Ленинградской области относятся рдест нитевидный, шелковникнеукореняющийся,

вероника ключевая. Эти виды в Оредеже не являются редкими, что, по-видимому, связано с особым химическим составом его воды.

### 2.1.7 Причины интенсивного зарастания русла реки Оредеж

Причины интенсивного зарастания русла Оредежа высшими водными растениями могут быть различными. Река Оредеж из-за того, что она подгружена плотинами, затопила свою пойму. Так как пойма является достаточно эвтрофным участком речной долины из-за большого количества органических веществ вследствие отложения речных илов, на ней созданы хорошие условия для развития растений. При затоплении поймы пойменные растения (двукосточник тростниковый, незабудка болотная, вероника ключевая, лютик длиннолистный) образуют водные формы, а обогащенный грунт способствует бурному развитию рдестов и кубышек (истинно водных растений), что приводит к еще большей эвтрофикации. На процесс эвтрофикации также влияет сброс сточных вод, а, кроме того, попадание минеральных удобрений в реку в связи с их интенсивным использованием (стоки с полей), а зачастую и с небрежным их хранением. Бурное развитие высших водных растений сопровождается развитием водорослей (в частности нитчаток), поселяющихся на подводных стеблях высших водных растений. Осушение окрестных болот и, как следствие этого, уменьшение грунтового питания Оредежа, а значит, и поступления холодных ключевых вод, сказалось на изменении температурного режима речной воды в сторону повышения, что также благоприятствует развитию водной растительности. Процесс эвтрофикации в нашей зоне является односторонне направленным процессом, поэтому развитие водной растительности Оредежа будет продолжаться (если не будет вмешательства со стороны человека). Бурное развитие водной растительности с одной стороны затрудняет движение на лодках и ограничивает использование человеком речной воды в бытовых целях, а с другой оказывает положительное влияние на

жизнедеятельность водных животных, создавая первичную органическую продукцию, насыщая речную воду кислородом и очищая ее от избытка солей, которые откладываются на их стеблях.

### 3.2. оаиоио

Биоиндикация загрязненности верховьев р. Оредеж с помощью макрофитов методами фото и видеомониторинга.

С помощью Зуевой Н.В. был выполнен анализ видео- и фотоматериалов о растительном покрове реки и проанализированы литературные данные для определения загрязненности верховьев реки Оредеж. По полученной информации сформулирован вывод о принадлежности вод к категории «умеренно-загрязненные». Малая река, макрофиты, биоиндикация, загрязненность, качество воды, видеомониторинг.

Метод биоиндикации является важной составляющей комплексной оценки экологического состояния водного объекта. Биоиндикация - это обнаружение и определение экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов непосредственно в среде их обитания. Для целей биоиндикации водной среды удобны макрофиты. Они имеют крупные размеры, их несложно учитывать и диагностировать их состояние. Одним из направлений биомониторинга является мониторинг с помощью материалов фото- и видеосъемки. Уровень развития технологий даёт возможности для широкого использования фотографий и видеоматериалов в системах мониторинга. Таким образом, цель данной работы – оценка качества вод реки Оредеж с использованием данных о макрофитах данного водного объекта полученных методами видеомониторинга.

Материалы и методы

В работе используются данные о растительном покрове верховьев реки Оредеж в окрестностях учебной базы РГГМУ находящейся западнее деревни Батово Ленинградской области и результаты видеосъёмки беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) реки и подводной видеосъёмки на обозначенном участке реки Оредеж (рис. 1) в июле 2015 г. Для анализа привлечены материалы экспресс-исследований флоры и растительности реки в 2002 г. [1, 2].



Рисунок 1 – Схема участка р. Оредеж от оз. Чикинское до деревни Батово с обозначением исследуемого участка

Провели анализ видео- и фотоматериалов (стоп-кадров видеосъёмки) и составили флористический список. Так же определялись такие количественные характеристики растительного покрова, как проективное покрытие и обилие растений по шкале Друде. Степень флористического сходства оценивали с помощью коэффициента Жаккара. Для определения уровня биогенных веществ в водах реки использовалась методика оценки трофности водотоков «IndiceBiologiqueMacrophytiqueenRiviere» – IBMR (биологический индекс макрофитов для рек) [7]. Индекс рассчитывается по формуле:

$$IBMR = (\sum E_i \times K_i \times C_{si}) / (\sum E_i \times K_i)$$

где  $i$  – номер вида по порядку;

$E_i$  – коэффициент стенобионтности (от 1 до 3);

$K_i$  – коэффициент обилия видов, определяемый по таблице 1 с помощью проективного покрытия видов;

$C_{si}$  – коэффициент олиготрофии вида (от 0 до 20).

Значения  $E_i$  и  $C_{si}$  определены авторами данного метода для различных видов растений [7]. Для определения качественной характеристики значений индекса используется таблица 2. В оригинальной версии она устанавливает трофический статус участку водотока, а в настоящей работе, вслед за [5, 6] трактуется как уровень биогенов.

Таблица 1 – Определение значения обилия вида по проективному покрытию

Проективное покрытие, %	<0,1	0,1–1	1–10	10–50	≥ 50
$K_i$	1	2	3	4	5

Таблица 2 – Оценка уровня биогенных элементов по значениям индекса

IBMR	≤ 8	8–10	10–12	12–14	>14
Уровень биогенов	Очень высокий	Высокий	Средний	Низкий	Очень низкий

Балльно-индексный метод использован для применения характеристик макрофитов в оценке качества вод малых рек. По таблице 3 рассчитан макрофитный индекс  $S_m$  [5]. Для каждого из трех параметров ( $H_{1-5}$ ,  $N_1$ ,  $A$ ) по таблице устанавливается один из 4-х баллов, которые затем суммируются. Выделяется 4 класса качества воды [5]: «Очень грязная» – с суммой индексов от 3 до 4; «Грязная» – от 5 до 7; «Умеренно загрязненная» – от 8 до 10; «Чистая» – от 11 до 12.

Таблица 3 – Классификация качества вод малых рек Ленинградской области и Санкт-Петербурга по структурным параметрам сообществ макрофитов

Параметр	Балл			
	1	2	3	4
$H_{1-5}$	< 2	[2 - 4)	[4 - 5)	$\geq 5$
$N_1$	0	1	2	$\geq 3$
A	< 30	[30 - 40)	[40 - 50)	$\geq 50$

где  $H_{1-5}$  – индекс видового разнообразия Шеннона для всей флоры;

$N_1$  – число видов истинно водных растений;

A – суммарное обилие макрофитов.

Для определения качества вод по гидрохимическим характеристикам использовали показатели содержащие растворённый кислород, БПК<sub>5</sub> и аммонийный азот. Классификация степени загрязнённости приведена в таблице 4 [3].

Таблица 4 – Классификация загрязнённости водных объектов по химическим показателям.

Параметры	Очень чистые	Чистые	Умеренно загрязнённые	Загрязнённые	Грязные	Очень грязные
Растворенный кислород (летом), мгО <sub>2</sub> /л	9	8	7-6	5-4	3-2	0
БПК <sub>5</sub> , мгО/л	0.5-1.0	1.1-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-10.0	>10
Аммонийный азот, мг/л	<0.05	0.1	0.2-0.3	0.4-1.0	1.1-3.0	>3.0

## Результаты и обсуждение

Водная флора исследованного участка верховьев реки Оредеж представлена 12 видами, принадлежащими к 11 семействам. Все растения относятся к высшим сосудистым и представлены двумя отделами – один вид из отдела

Хвощевидных (*Equisetophyta*) и остальные из отдела Покрытосемянные (*Magnoliophyta*).

Наиболее распространены сообщества ежеголовника простого (*Sparganiumemersum*), рдеста плавающего (*Potamogetonnatans*), кубышки желтой (*Nupharlutea*). Также представлены сообщества хвоща речного (*Equisetumfluviatile*), хвостника обыкновенного (*Hippurisvulgaris*) и частухи подорожниковой (*Alismaplantago-aquatica*). В прибрежной зоне обильно развиваются сообщества: двукисточника тростникового (*Phalaroidesarundinacea*), осоки острой (*Carexacuta*) и камыша озерного (*Scirpuslacustris*). Обилие видов оценивалось с помощью шкалы Друде: самым большим обилием обладают такие виды как *Sparganiumemersum*, *Potamogetonnatans* и *Nupharlutea*, а также прибрежно-водные виды *Phalaroidesarundinacea* и *Carexacuta*. Виды с самым малым баллом обилия – *Elodeacanadensis*, *Myriophyllumspicatum* и *Myosotispalustris*. При расчёте индекса разнообразия для макрофитов было получено значение 3.5.

Сравнивая его с литературными данными о разнообразии растений в реках Ленинградской области и Санкт-Петербурга [6], можно сделать вывод, что для исследованного участка р. Оредеж оно относительно высоко.

Присутствие некоторых видов индикаторов, таких как частуха подорожная (*Alismaplantago-aquatica*), хвощ речной (*Equisetumfluviatile*) и элодея канадская (*Elodeacanadensis*) показывают наличие биогенных и органических соединений, которые могут поступать с бытовыми стоками. По литературным данным [5] была выполнена гидрохимическая характеристика исследуемого участка реки. Проанализированы следующие показатели: рН, жёсткость, взвешенные вещества, растворённый кислород, БПК<sub>5</sub>, нитраты, нитриты, азот аммонийный, фосфор фосфатов, общее железо. В соответствии с классификацией, представленной в табл. 4, по содержанию растворённого кислорода воды являются очень чистыми, а по БПК<sub>5</sub> – чистыми.

Превышений ПДК по большинству рассматриваемых характеристик не было выявлено, кроме общего железа и аммонийного азота. Надо отметить, что

высокие содержания соединений железа в водах, являются нормой для гидрохимического фона рек Ленинградской области. Гидрохимическая картина согласуется с флористическим составом макрофитов: развитие разнообразного растительного покрова, а также присутствие особых видов индикаторов характерно для высокого содержания органических веществ и биогенов. При сравнении с данными за 2002 год выявилось небольшое различие в составе растительного покрова. Ранее отмечались ещё два вида, это *Potamogeton pectinatus* – рдест гребенчатый и *Typhalatifolia* – рогоз широколистный. Предположительно, их отсутствие связано с недостаточной точностью проведенного видеомониторинга, так как местообитания этих видов не были зафиксированы при съемке. Однако несмотря на это, исходя из индекса сходства флористического состава данного участка в разные годы (86 %), можно сделать вывод об адекватной степени оценки с помощью методов видеомониторинга. Для оценки качества вод использовались качественные характеристики макрофитов (присутствие определённых видов), а также два индекса – IBMR для определения уровня содержания биогенных веществ и Sm для определения качества вод по структурным характеристикам сообществ макрофитов их значения представлены в таблице 5. Значения индекса IBMR соответствуют высокому уровню содержания биогенных веществ. Индекс Sm позволяет отнести воды реки к классу «умеренно-загрязнённая».

Таблица 5 – Значение индексов IBMR и Sm в 2002 и 2015 гг.

Год	IBMR	Sm
2015	9.98	8
2003	9.20	9

## Выводы

Обобщая всю информацию воды реки относятся к классу умеренно загрязнённых с высоким уровнем биогенных элементов, наличие которых



связано с поступлением их в воды с водосборной площади, а также с бытовыми стоками. Сложившиеся условия в воде благоприятны для развития различных видов макрофитов по всему руслу реки. Кроме того, сравнивая характеристики растительного покрова за разные годы, сделан вывод о том, что качество вод верховьев реки Оредеж осталось на прежнем уровне. Также проведённое исследование и его результаты могут говорить о довольно высокой степени достоверности метода видеомониторинга.

### 3.3. пмвро

## ВВЕДЕНИЕ

Большой интерес представляет течение в пограничном слое у шероховатой поверхности. Течение у шероховатой поверхности так же, как и у гладкой, всегда разделяются на две области – пристенного подслоя  $\delta$  с четко выраженным линейным распределением скоростей и турбулентное ядро с близким к логарифмическому профилю. Исследовать проблему возможно полуэмпирическим путем с привлечением данных натуральных или лабораторных наблюдений.

Целью является исследование скоростной структуры потока, подбор закона распределения скоростей по вертикали, определение пограничного слоя у шероховатой стенки, а также обобщение и анализ многолетних данных наблюдений за расходом воды на конкретном водном объекте – р. Оредеж.

### 1. Состояние изученности проблемы скоростной структуры потока

#### 1.1 Распределение скоростей в турбулентном потоке по вертикали

Характер распределения осредненных скоростей по глубине в турбулентном потоке зависит от ряда факторов: средней скорости потока, шероховатости русла, глубины, уклона водной поверхности. Действует еще ряд дополнительных факторов: растительность в русле, ледяной покров, ветер, морфология русла и поймы, русловые деформации и прочее. Все эти факторы, оказывая влияние на поле скоростей затрудняют его теоретическое описание. На сегодняшний день отсутствует строгое теоретическое решение проблемы, так как система дифференциальных уравнений, описывающих турбулентное движение, остается незамкнутым.

Распределение скоростей в потоке при турбулентном движении существенно отличается от распределения скоростей при ламинарном движении. Отличие обусловлено поперечными движениями частиц жидкости в турбулентном потоке.

Рисунок 1.1- Распределение скоростей по вертикали в турбулентном и ламинарном потоке.

1,2- эпюры скоростей соответственно для ламинарного и турбулентного режима.

В открытом турбулентном потоке наибольшая скорость  $u_{max}$  наблюдается обычно на поверхности воды. У дна показано конечное значение скорости  $u_d$ , называемое донной скоростью потока на вертикали. В результате турбулентного перемешивания распределение скоростей по вертикали в средней части потока оказывается значительно более равномерным, чем при ламинарном движении; при этом непосредственные измерения распределения скоростей в турбулентном потоке показывают, что скорости у стенки сначала очень быстро возрастают, но мере удаления от стенки дальнейшее их возрастание становится сравнительно медленным.

Главная сложность в исследовании распределения скоростей в турбулентно потоке заключается в том, что, хотя имеются некоторые

теоретические предпосылки для описания скоростного поля потока, все известные уравнения распределения скоростей по вертикали основаны на эмпирических данных.

Доказано, что скорости течения в потоке неоднородны и меняются в зависимости от глубины и ширины реки, вследствие этого надо объяснить предпочтение выбора той или иной формулы для описания профиля скорости турбулентного течения потока, которые необходимы для решения задач речной гидрометрии. Как только появились гидрометрические приборы были выведено множество эмпирических формул для решения данных задач: параболическая, эллиптическая, логарифмическая, степенная и другие[2].

Изучая распределение скоростей по вертикали в реках и широких каналах А.В.Караушев установил, что в условиях открытых потоков можно принять гипотезу о постоянном возрастании коэффициента турбулентного обмена вместе с возрастанием скорости от дна к поверхности потока.

Довольно большая группа исследователей считает логарифмический закон, применяемый для описания характера распределения скоростей по глубине с достаточной точностью для практических целей.

К полуэмпирическим теориям обычно относят направление, начало которого положено работами Л.Прандтля, Дж.Тейлора и Т.Кармана. Рассмотрим предложенный ими путь решения задачи – непосредственное определение связи между турбулентными напряжениями и осредненными характеристиками течения [6].

Проводя аналогию между турбулентным перемешиванием и хаотическим молекулярным обменом, Л.Прандтль турбулентное касательное напряжение  $\tau_t$  объясняет беспорядочным обменом между двумя смежными слоями жидкости объемами конечной величины. Объемы из слоя с малой осредненной скоростью, попадая в слой с большой скоростью будут при переходе разгонять слои с малой скоростью. Взаимное действие друг на

друга двух слоев получается таким, как если бы между ними существовало трение<sub>т</sub>.

В настоящее время нет однозначного решения системы уравнений движения и неразрывности с целью определения расчетного профиля скоростей по глубине потока. Частичные решения, основанные на различных допущениях, приводят к существенно разным формулам, описывающим профиль скоростей плоского потока. Эти формулы, однако, дают близкие результаты за исключением придонной области, где расхождение весьма велики. Большинство исследователей отдают предпочтение логарифмическим зависимостям, оценивая степень соответствия различного вида формул натурными данными.

Для улучшения сходимости расчетной логарифмической кривой распределения скоростей в придонной области с кривой, полученной по экспериментальным и натурным данным, как уже известно, были разработаны двух и трехслойные модели.

## 1.2 Зависимости для распределения скоростей и гидравлических сопротивлений, основанные на двухслойной модели И.К.Никитина

Значения коэффициентов шероховатости, широко используемые в практике инженерных расчетов, весьма изменчивы и зависят от большого числа факторов, которые не всегда учитываются в таблицах. Этим условным коэффициентом по существу делается попытка оценить величину гидравлических сопротивлений. Ввиду чрезвычайно большого разнообразия естественных русел, в которых коэффициенты шероховатости изменяются для одного и того же участка в зависимости от наполнения русла, фазы

режима, сезона и других факторов, использование его вызывает большие затруднения.

В последние десятилетия ведутся поиски более рациональных путей оценки гидравлических сопротивлений. Изучение скоростной структуры турбулентного потока методом микрофотосъемки позволило И.К.Никитину по-новому подойти к решению этого вопроса. В 60-х годах, главным образом, на основе данных лабораторных опытов им была разработана двухслойная модель течения вблизи шероховатой поверхности.

В основу исследования положены данные специальных наблюдений на беспойменном участке реки Оредеж в районе поселка Батово Гатчинского района Ленинградской области.

Участок реки, на котором производились работы был выбран путем удовлетворения условиям, описанным в «Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам» выпуск 6 ч. 1 [10].

Данный створ был назначен согласно всем правилам, описанным в наставлении, режим реки на этом створе является характерным для достаточно большого участка это значит, что результаты наблюдений считаются репрезентативными и их можно использовать для дальнейших расчетов.

Характерность режима реки, удобство и обеспечение точности наблюдений должны быть с возможной полнотой оценены на месте при обследовании реки. На выбранном участке реки в летний период 2015 года были выполнены детальные измерения расходов воды, способом обметки с многоточечными измерениями скоростей. Также фиксировался уклон водной поверхности. Трава в пределах гидроствора выкашивалась постепенно. Были произведены измерения скорости течения микро-вертушкой в период полного зарастания реки травой, далее были измерены скорости течения при прокосе равном 1 метр, 5 метров и 10 метров. Промеры производились

штангой с лодки через 1 метр, скоростные вертикали назначались через 2 метра. Измерение скоростей производилось на 7-ми вертикалях. По измеренным глубинам был построен поперечный профиль гидроствора. (Приложение А.- Поперечный профиль гидроствора №4 на р. Оредеж)

## 2.2.2 Методика измерений

На выбранном участке в летний период 2015 года, а также в зимний период 2016 года были выполнены детальные измерения расходов воды, способом обметки с многоточечными измерениями скоростей. Параллельно с измерениями скоростей воды фиксировался уклон водной поверхности. В период зимы работы производились с лодки, так как ледовые явления отсутствовали.

Летом на поперечниках вертикали назначались через 2 м. Характеристики, полученные в результате натурных наблюдений помещены в приложение Б. (Приложение Б.- Таблица измеренных расходов воды).

Расходы воды измерялись микро-вертушкой при полном зарастании русла, далее измерения расходов воды производились вертушкой ГР-21 при прокосах 1-5-10 метров. Промеры производились штангой с лодки через 0,5 метра, скоростные вертикали назначались через 2 метра.

Анализируя эпюры скоростей можно сделать вывод, что характер изменения скорости по глубине по мере увеличения ширины прокоса приближается к стандартному виду эпюры при свободном русле.

И.К. Никитин предложил статистический подход для выявления общих для пристеночной области закономерностей, основанный на осреднении характеристик большого числа вертикалей, разбросанных по элементу шероховатой поверхности, отражающему с достаточной полнотой ее шероховатые свойства. [7]

Порядок обработки данных наблюдений заключается по данным измеренных значений глубины и скорости строятся эпюры скоростей.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1). Двухслойная модель турбулентного движения, предложенная И.К. Никитиным, и полученные им универсальные зависимости для профиля скоростей и коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  могут быть использованы для описания скоростной структуры и гидравлических сопротивлений в русловых потоках. Рассчитанные и измеренные значения  $\delta$  мало отличаются друг от друга. Это имеет принципиальное значение, так как рассчитанные зависимости были получены И.К. Никитиным, главным образом, на основе анализа данных лабораторных экспериментов. Отметим, что это не первый расчетный материал, для одного и того же участка наблюдений, такие расчеты уже проводились, использовался материал с 1991 по 1993 и 2014 года. Расчеты, произведенные за предыдущий ряд лет, показали близкое соответствие с представленными в данной бакалаврской работе.

2). Толщина пристенного подслоя  $\delta$  для одной и той же реки изменяется в зависимости от ее водности. В маловодные годы увеличивается влияние растительности, которое заключается в увеличении толщины слоя  $\delta$  и возрастании коэффициента  $\lambda$ .

3). Значение параметра  $Re_{*\delta\infty}$  с изменением водности реки изменяется незначительно, т.е. подтвердилось предположение о более или менее постоянной величине этого числа для разных случаев движения жидкости.

### 3.2 Подбор закона распределения скоростей по глубине потока

Как было отмечено выше, одной из важнейших задач является теоретическое описание профиля осредненных скоростей по глубине потока.

По результатам измерений сделаем следующие выводы:

Первое - это первичная обработка натуральных данных. Она указывает на то, что особенность рассматриваемой реки Оредеж заключается в том, что река сильно зарастает в летний период, тем самым растительность создает подпор- уровень повышается, хотя водность реки не изменяется.

Второе - обработка натурального материала по методике И.К.Никитина и дала хорошие результаты, по которым можно с уверенностью делать выводы о ее применимости и оправдываемости в натуральных условиях.

В связи с этим отметим следующее:

1). Двухслойная модель турбулентного движения жидкости, предложенная И.К. Никитиным и полученные им универсальные зависимости для профиля скоростей и коэффициента гидравлического трения  $\lambda$ , могут быть использованы для описания скоростной структуры потока и гидравлических сопротивлений в русловых потоках. Рассчитанные и измеренные скорости мало отличаются друг от друга;

2). Толщина придонного слоя  $\delta$  для одной и той же реки изменяется в зависимости от ее зарастания и водности, но эти изменения незначительны из-за мало изменяющихся расходов. В 2015 году наблюдалось увеличение влияния растительности, которое сказывается на увеличении коэффициента гидравлического трения  $\lambda$ ;



3). По результатам проверки законов распределения скоростей по вертикали на рассматриваемом участке рек Оредеж, в качестве наиболее удовлетворительных можно рекомендовать законы распределения скоростей по глубине, описываемые формулами В.Н. Гончарова при свободном русле. Расчетные формулы Гончарова и Караушева наиболее лучшим образом соответствуют эмпирическому распределению скоростей в период лета 2015 года и зимы 2016 года. Необходимо отметить, что ледовых явлений зимой 2016 года не наблюдалось и в связи с этим распределение скоростей практически не отличается от летнего.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. [Учебник.] - СПб. изд. РГГМУ, 2007. -314 Стр.
2. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. [Учебник.] - Л. Гидрометизд., 1977. -444 Стр.
3. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. [Учебник]. -Л. Гидрометизд. 1976- 344 Стр.
4. Карасёв И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов.[Учебник]. - Л. Гидрометизд, 1980- 310 Стр.
5. Караушев А.В. Речная гидравлика. [ Учебник].- Л. Гидрометизд., 1969- 415 Стр.
6. Никитин И.К. Сложные турбулентные течения и процессы тепломассопереноса [ Учебник]- Киев.: Наукова думка,1980-237 Стр.
7. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области [ Учебник]- Киев.: Издательство АН УССР.1963-144 Стр.
8. Спицын И.П., Соколова В.А.Общая и речная гидравлика-[Учебник]. - Л.: Гидрометизд.1990г.

9. Основные гидрологические характеристики Т.2- часть 1-2, Бассейн Балтийского моря-1980г.
10. Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам выпуск 6 ч. 1