



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)

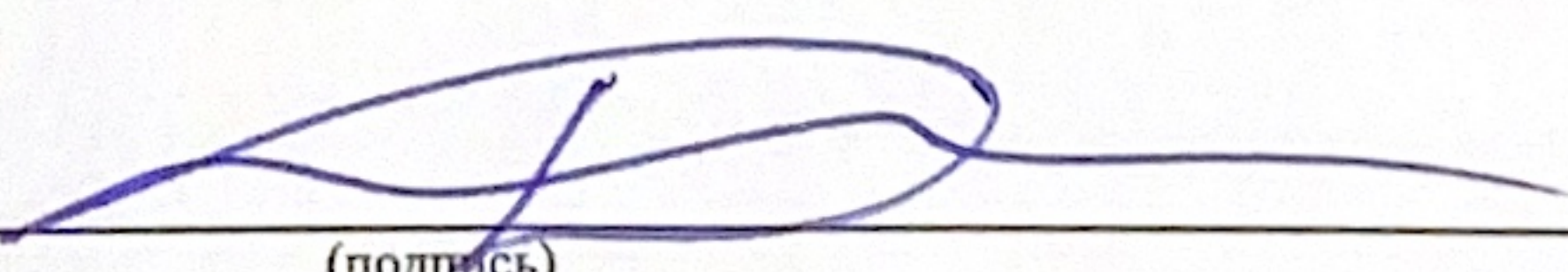
На тему Исследование изменений
параметра Великанова при
развитии растительности в русле

Исполнитель Семиколенова Таисия Олеговна
(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)

«27» март 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение	3
1. Физико-географическое описание.....	4
1.1 Физико-географическое описание реки Великая	4
1.1.1 Географическое описание и рельеф реки Великая	4
1.1.2 Климат.....	7
1.1.3 Растительность	7
1.1.4 Гидрологический режим	8
1.2 Физико-географическое описание реки Мура	9
1.2.1 Географическое описание и рельеф реки Мура.....	9
1.2.2 Климат.....	11
1.2.3 Растительность	12
1.2.4 Гидрологический режим	13
1.3 Физико-географическое описание реки Ботома	13
1.3.1 Географическое описание и рельеф реки Ботома.....	13
1.3.2 Климат.....	15
1.3.3 Растительность	15
1.3.4 Гидрологический режим	16
2. Особенности зарастания рек.....	17
3. Гидравлические сопротивления при зарастании русел рек	21
4. Применение параметра Великанова.....	26
5. Анализ результатов расчета.....	30
5.1 Расчет параметра Великанова на реке Великая.....	30
5.2 Расчет параметра Великанова на реке Мура	34
5.3 Расчет параметра Великанова на реке Ботома.....	38
Заключение	42
Список используемых источников.....	43

Введение

Процесс зарастания водоёмов представляет собой явление, которое происходит в рамках ландшафтной сферы и формируется под воздействием комплекса климатических, геоморфологических, гидрологических и гидродинамических факторов.

Летом десятки тысяч водотоков России зарастают водной растительностью, что нередко приводит к вредным последствиям: заболачиванию речных пойм, ухудшению качества воды, быстрому заилению и обмелению рек, затруднению водоснабжения. Зарастание является причиной уменьшения пропускной способности русла, что наносит ущерб мелиорации и водному хозяйству, а сопровождающий зарастание подпор уровня воды приводит к заболачиванию пойм равнинных рек.

В этот период осложняется гидрометрический учет стока. Растительность тормозит движение, что приводит к появлению «мертвых зон», косоструйности потока, искажая эпюры скоростей по глубине и ширине потока. Для получения надежных данных необходимо ежегодно выкашивать растительность и удалять ее из водоема механическими камышекосилками, выкорчевыванием подводными снарядами (бороной и т.п.), протаскиванием по дну на тросе, или при помощи химических средств.

Необходимость в повышении точности учёта стока зарастающих рек становится особенно важной в условиях растущего внимания к экологическому состоянию ландшафтов и реализации системы мониторинга водных объектов. Это особенно актуально для решения проектных задач и обеспечения нужд водохозяйственного комплекса.

В данной работе рассматривается возможность применения параметра Великанова для оценки пропускной способности зарастающего русла различных рек. Объектом исследования были выбраны река Великая (Псковская область), река Мура (Иркутская область), река Ботома (республика Якутия).

1. Физико-географическое описание

1.1 Физико-географическое описание реки Великая

1.1.1 Географическое описание и рельеф реки Великая

Великая — река в Псковской области России, впадает в Псковское озеро. Относится к бассейну реки Нарва (через Чудско-Псковское озеро) и в целом к бассейну Балтийского моря. Общая длина реки составляет около 430 километров, площадь её водосбора — 20 200 км², средний уклон реки 0.47 %. Исток реки находится на Бежаницкой возвышенности в Новоскольническом районе, всего в полутора километрах к юго-востоку от озера Ельно. Она берёт начало из системы родников и впадает в Псковско-Чудское озеро. Территория района в равной мере богата реками, озерами и болотами. Речная сеть густая, в бассейне р. Великой коэффициент густоты речной сети составляет 0.93 км/км². В Великую впадают сравнительно крупные водотоки: справа реки Сороть, Череха и Пскова, слева – реки Исса, Синяя, Утроя. На территории Псковской области в бассейне р. Великая насчитывается 3604 озера общей площадью 448 км, а сама р. Великая в верховьях протекает через 21 озеро. На рисунке 1.1 представлена карта рек Псковской области.



Рисунок 1.1-Карта реки Псковской области

Почти для всех рек описываемого района характерно деление их на три участка: верхнее, среднее и нижнее течение. В верхнем течении долины рек преимущественно неясно выраженные или слабо разработанные, трапецеидальные, с низкими пологими склонами, с довольно широкой, часто заболоченной поймой, дно заиленное, течение едва заметно, ниже по течению часто наблюдаются небольшие плесы с глубинами до 1-1.5 м .

Среднее течение реки характеризуется V-образной или трапецеидальной долиной с высокими и часто крутыми склонами. Пойма неширокая, сухая, луговая. Русло извилистое, часто порожищенное. Пороги образованы или скоплением валунов, вымытых, из морены или выходами трудно поддающихся размыву известняков и песчаников. Пороги обычно

располагаются ступенями и чередуются с короткими и глубоководными плесами со спокойным тихим течением. Скорости течения на них в межень 1.4-2.5 л/сек, нормирующая глубина 0.1-0.4 м. Многие реки на этих участках напоминают горные потоки.

Нижнее течение реки отличается широкими долинами с пологими склонами.

Русло извилистое, с песчаными перекатами, чередующимися с глубоководными плёсами. Русло часто разветвлено заливами и староречьями.

Необходимо отметить наличие карстовых явлений в районе, которые оказывают большое влияние на гидрологический режим водных объектов. Карст распространен в верховье реки Великой, где сильно закарстованы доломиты Псковско-Чудского слоев девона. Несколько южнее города Пскова влевобережной части долины р. Великой имеются карстовые воронки и провалы, приуроченные к местам неглубокого залегания известняков. На окраине Пскова имеются многочисленные источники с дебитом до 55 л/сек.

Почти весь бассейн р. Великой расположен в подзоне смешанных лесов, залесенность бассейна составляет 36 %. Для рек района характерна слабая зарегулированности их озерами. Озерность бассейна реки Великая составляет 8%. Заболоченность бассейна примерно 37%.

Реку Великая относятся к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. Годовой ход уровня воды на реках района включает следующие характерные периоды: весеннее половодье, летняя и зимняя межень и осенний паводок. На юге и юго-западе района половодье обычно начинается в третьей декаде марта, в то время как на севере территории оно начинается в первой декаде апреля. Сроки могут варьироваться в зависимости от характера весны, и в отдельные годы могут наблюдаться отклонения от указанных средних дат.

Водосбор реки представляет собой слабоволнистую равнину с большими болотными массивами и заболоченными, частично поросшими лесом, низинами. Водоразделы, как правило, слабо выражены, нередко

проходят по болотным массивам. В верховье бассейна и к западу от Чудско-Псковского озера они прослеживаются достаточно отчетливо. Средняя высота водосбора 20-30 м, за исключением юго-восточной части бассейна, где средняя высота увеличивается до 100 м.

1.1.2 Климат

Территория бассейна находится в умеренном климатическом поясе. Климат здесь характеризуется как умеренно-континентальный, влажный, смягченный сравнительной близостью Атлантического океана. Бассейн расположен на границе зоны переходного климата – от морского к континентальному. Здесь хорошо заметны некоторые черты морского климата - влажное, умеренно теплое лето, сравнительно мягкая зима. Континентальность климата усиливается к востоку, где зима продолжительнее, а лето теплее. Среднегодовая температура в бассейне плюс 4.5 °С, среднемесячная температура января достигает минус 10 °С, июля плюс 18 °С. Продолжительность безморозного периода от 125 до 150 дней. В течение года насчитывается 178 дней с температурой выше 10 °С. Глубина промерзания грунтов 1.4 м. Средняя относительная влажность воздуха 80 %. В среднем за год выпадает около 600 мм осадков. На возвышенностях выпадает около 850 мм осадков (наветренные склоны). Баланс влаги всегда положительный – осадков выпадает больше, чем испаряется, что обуславливает густоту гидрографической сети. В течение года преобладают южные и юго-западные ветры.

1.1.3 Растительность

С точки зрения ботанико-географического районирования, территория бассейна реки Великая относится к лесной зоне.

Основная часть лесного массива сосредоточена в северной части бассейна. Здесь преобладают темнохвойные леса, в которых доминируют такие породы, как ель, сосна и лиственница. Эти леса покрывают большую часть территории. Центральная и южная части бассейна находятся в зоне перехода от тайги к широколиственным лесам, известной как подтаежная зона.

1.1.4 Гидрологический режим

Весеннее половодье на реках рассматриваемой территории обычно начинается в третьей декаде марта, в отдельные годы в зависимости от характера весны сроки наступления половодья могут отклоняться от средних. Пик половодья по большей части района обычно наблюдается во второй-третьей декаде апреля. Средняя высота половодья над меженным уровнем составляет от 1-2 м. Средняя продолжительность подъема весеннего половодья для средних и крупных рек около 10-22 дней. Подъем происходит интенсивно, особенно на крупных реках.

Спад половодья происходит замедленно и заканчивается обычно в конце мая. Общая продолжительность весеннего половодья составляет от 55 до 65 дней.

Летняя межень обычно устанавливается в начале – середине июня и заканчивается в октябре. Наиболее низкие уровни наблюдаются в июле-августе. В маловодные годы на отдельных участках мелкие реки пересыхают. Почти ежегодно межень нарушается 2-3 дождевыми паводками. Зимняя межень устанавливается в конце ноября – середине декабря и заканчивается с началом весеннего половодья, в среднем в конце марта – начале апреля. Наиболее маловодный период наблюдается в феврале-марте. В маловодные годы некоторые реки на отдельных участках, преимущественно в верхнем течении, перемерзают.

В период ледообразования и в мягкие на реке Великой может наблюдаться подъем уровня воды от зажоров.

1.2 Физико-географическое описание реки Мура

1.2.1 Географическое описание и рельеф реки Мура

Мура – река бассейна Карского моря, является левым притоком Ангары. Протекает в северо-западном направлении по территории Иркутской области, позже — Красноярского края. Впадает в Ангару в 383 км от её устья. Берёт свое начало в пределах Бирюсинского плато. Восточная часть бассейна имеет общую водораздельную линию с бассейном Богучанского водохранилища. Высота у истоков реки составляет около 480 м, в районе устья – 130 м. Средняя высота водосбора 320 м. В среднем и нижнем течении располагается Мурская низина, граничащая с бассейном р.Ковы. Длина реки — 330 км, площадь водосборного бассейна составляет 10 800 км². Средний расход воды в 79 км от устья 25м³/сек. Река Мура имеет множество притоков, среди которых: Паня, Кемжа, Ойва, Чудоба (правые); Чулюндей, Каймира, Кузьмичёва(левые).

На рисунке 1.2 представлена физико-географическая карта бассейна реки Ангара.

В геологическом строении Иркутского амфитеатра принимает участие толща осадочных образований. Они представлены отложениями кембрийской системы, ордовика, юры. Территорию междуречья Муры и Ковы слагают песчано-глинистые отложения юры.



Рисунок 1.2-Схематическая физико-географическая карта бассейна реки Ангары

Верхнее течение спокойное, но местами может быть извилистым из-за особенностей рельефа. В среднее течение река продолжает течь в глубокой долине, но уже с более каменистым дном. В этом участке течение становится более динамичным, с наличием каменистых перекатов и порогов. В нижнем течении близ устья - порог. Ниже река образует фьордообразный эстуарий при впадении в Ангару.

Русло реки извилистое, в верхнем и нижнем течении преимущественно врезанное и адаптированное, в среднем течении преобладают протяжённые широкопойменные участки со свободным меандрированием. Пойма на таких участках изрезана старичными озёрами, ширина поймы увеличивается до 1–2 км. Уклон реки уменьшается вниз по течению от 0,8% в верхнем течении до 0,47% в нижнем. Ширина русла увеличивается от 10 м в верхнем течении до 30–35 м в среднем и нижнем и до 90–100 м в устье. В расширениях широкопойменных участков русла его ширина может также увеличиваться до 110 м.

Основные типы питания реки Мура: снеговой (62% -72%) и дождевой (3% -10%). Большая часть воды поступает в реку за счёт таяния снегов весной. Это основной источник питания для Муры, так как её бассейн находится в зоне с холодными зимами и значительным снежным покровом. Дождевые осадки также играют важную роль в водном режиме реки особенно в летний и осенний периоды. Количество осадков в этих сезонах сильно влияет на уровень воды в реке.

1.2.2 Климат

Климат Иркутской области резко-континентальный, она достаточно удалена от морей и находится в центре Азиатского материка, здесь большая амплитуда температур воздуха, большое количество часов, солнечного сияния, продолжительная зима, короткое лето. Над территорией в зимний период образуются мощные малоподвижные антициклоны, обуславливающие морозную малооблачную и тихую погоду с небольшим количеством осадков. Летом развивается циклоническая деятельность с которой связано выпадение значительного количества осадков. Влияют на климат области озеро Байкал и Ангарские водохранилища. В прилегающих к ним районах зима заметно мягче, а лето прохладнее. Громадная масса воды и площадь этих водоёмов сглаживают резкие среднегодовые и среднесуточные перепады. Разность

зимних и летних, дневных и ночных температур увеличивается с продвижением на север области.

Средняя годовая температура изменяется от 0,9 до -6,5 °С. Самым холодным месяцем является январь. Наиболее низкие температуры воздуха в северных районах колеблются до -60 °С. Наиболее высокие температуры приурочены к июлю месяцу. Июльские температуры изменяются от 16 °С до 18 °С.

Годовые суммы осадков изменяются от 400 до 500 мм. На большей части рассматриваемой территории твердые осадки выпадают с октября по апрель, жидкие – с мая по сентябрь. Относительная влажность воздуха, характеризующая степень насыщения воздуха водяным паром, велика около 70%.

1.2.3 Растительность

Лесистость большинства речных бассейнов этого района составляет 60-70%. Лесные массивы располагаются по водоразделам и в верховьях рек. Растительность представлена преимущественно сосновыми и южнотаежными лесами, в которых растут ель, пихта, сосна и кедр. В некоторых участках могут встречаться смешанные леса с примесью лиственных пород, таких как берёза и осина. На лугах и в долинах реки можно встретить многолетние травы для таёжной зоны.

В районе бассейна реки преобладают дерново-подзолистые и мерзлотно-таёжные почвы, сформированные на основе вечной мерзлоты. На участках, где преобладают лесные массивы, встречаются серые лесные почвы, богатые органическими веществами. В Среднем и в верхнем течении, до впадения р. Чудоба, распространены песчаные и легкосуглинистые почвы, по течению ниже они сменяются хрящеватыми.

1.2.4 Гидрологический режим

Гидрологический режим реки Мура характеризуется смешанным питанием, с преобладанием снегового. Талые воды формируются за счёт таяния накопленных за зиму запасов снега и выпадающих в период снеготаяния осадков,

Режим стока рек данного района характеризуется высоким весенним половодьем, относительно низкой летней и очень низкой зимней меженью, периодически незначительными летними паводками. Внутригодовое распределение стока характеризуется наибольшей неравномерностью и в процентах от годового: весна 74%, лето 16%, осень 6%, зима 6%.

Реки района характеризуются весенним половодьем и незначительными паводками в теплый период. Половодье обычно проходит одномодальной волной. Максимальные модули половодья от 80 до 250 л/сек. Наибольшие модули паводков изменяются от 10-20 л/сек на большей части до 40-80 л/сек.

Летне-осенняя и зимняя межень на реках района наиболее устойчива и продолжительна. Средняя продолжительность летне-осенней межени 80-100 дней, зимней 180-200 дней.

Сезонное колебание уровня воды в среднем 3,25 м. Самые высокие уровни наблюдаются в период весеннего половодья, самые низкие – в период летней межени. Первые ледяные образования на реке появляются в середине октября, затем в течение 10–15 дней наблюдается шугоход. Ледостав продолжительностью около 190 дней начинается в конце октября.

1.3 Физико-географическое описание реки Ботома

1.3.1 Географическое описание и рельеф реки Ботома

Река Ботома протекает по территории республики Якутия. Является правым притоком реки Лена, который протекает по северной окраине Алданского нагорья и Приленскому плато. В Лену Ботома впадает в 100

километрах выше города Якутска. Принимает 60 притоков длиной более 10 км. Длина реки Ботома 418 км, площадь её водосборного бассейна - 12 600 км². Средний уклон реки 0,9 %, озёрность <1%, заболоченность <5%.

Строение речных долин преимущественно асимметричное. Водораздельные линии большей частью хорошо выражены, за исключением низменностей, где нередко они почти не прослеживаются.

В связи с повсеместным распространением многолетней мерзлоты в формировании рельефа значительную роль играют термокарстовые процессы, обуславливающие образование аласов- замкнутых и полужамкнутых плоских впадин сравнительно небольших размеров.

На рисунке 1.3 представлена карта бассейна реки Лена



Рисунок 1.3- Карта бассейна реки Лена

1.3.2 Климат

Климат в данной местности характеризуется резкой континентальностью. Это выражается в экстремальных температурных контрастах: зимние температуры могут опускаться до минус 50–65 °С, летние температуры достигают значений от 20 до 35 °С. Разность температур самого холодного и самого теплого месяцев достигает мирового максимума и равна 45-65 °С.

В зимний период территорию охватывает мощный сибирский антициклон, начинающий образовываться в сентябре. В антициклоне происходит формирование континентального, очень холодного воздуха. Ясная и сухая погода способствует охлаждению земной поверхности и нижних слоев воздуха. Дальнейшему развитию антициклона, достигающего своего максимума в январе – феврале, способствуют вторжению арктических воздушных масс. Зима на большей части территории малоснежная. В зоне тундры снежный покров залегает неравномерно из-за сдувания его сильными ветрами. Незначительный снежный покров и исключительно низкие зимние температуры способствуют широкому распространению многолетней мерзлоты, достигающей большой мощности.

Лето в этом регионе является непродолжительным, но достаточно тёплым, а порой и жарким. Несмотря на это, в целом для лета характерны прохладные температуры, и практически на всей территории существует риск возникновения заморозков в течение всех летних месяцев.

1.3.3 Растительность

Лесистость района реки Ботома составляет 80%.

Характерной чертой растительного покрова рассматриваемой территории является почти повсеместное преобладание в лесной зоне лиственных лесов, широкое распространение хвойно-широколиственных

и широколиственных лесов на юге, присутствие в таежной зоне среди лесных массивов небольших лесостепных участков, отдельных пятен степных формаций и участков с солончаковой растительностью.

На Лено-Алданском плато в значительной мере представлен среднетаежными лиственничными, лиственнично-кедровыми и лиственнично-березовыми лесами с подлеском из кустарников ив, рябины, ольховника.

1.3.4 Гидрологический режим

Питание реки Ботома снеговое и дождевое. Вечная мерзлота в регионе ограничивает поступление грунтовых вод. Весенне-летний период характеризуется половодьем, вызванным таянием снегов. Максимум половодья приходится на май, когда происходит активное таяние снега и выпадение дождей. Зимний период отличается низким уровнем воды, так как река замерзает, формируя устойчивый ледовый покров и практически не получает пополнения за счёт осадков. Ботома замерзает в октябре — ноябре, вскрывается в конце апреля — начале мая.

2. Особенности зарастания рек

Зарастание русла — постепенное заполнение русла реки и её водной поверхности водорослями и макрофитами — высшими водными растениями. Зарастание влияет на пропускную способность русел, нарушает однозначную связь между расходом и уровнем воды. На режим зарастания речных русел влияют сложные природные процессы, который развивается под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов. Основные факторы, обуславливающие развитие водной растительности, делятся на группы - это гидрологический режим реки, термический режим, естественный химический состав воды, антропогенное воздействие.

«Видовая совокупность водных растений очень многообразна, и природа нам оставляет максимум неопределенности в этом вопросе. Однако можно выделить четыре основные группы водной растительности:

- 1) водноболотная группа,
- 2) воздушно-водная, сюда относится тростник, рогоз,
- 3) прикрепленные растения с плавающими листьями — это такие, как кувшинка, кубышка,
- 4) погруженная растительность — рдест, роголистник.

‘Первые две группы образуют гидрофиты, а третья и четвертая группы образуют гидатофиты. Флора только цветковых водных растений (это высшие водные растения) на территории России насчитывает свыше 250 видов, принадлежащим к 40 семействам» [1].

Несмотря на то, что растительный мир в водоёмах очень различен, видовой состав растений имеет интразональный характер. Это означает, что одни и те же виды растений можно встретить в различных географических зонах. Однако разница в размере растений: в более тёплых климатических зонах водные растения того же вида обычно крупнее по сравнению с растениями из более холодных регионов. И период вегетации в тёплых районах будет более длительным.

Обнаружена закономерность, что степень зарастания пропорциональна площади водосбора реки. Чем меньше площадь водосбора реки, тем больше ее зарастание и наоборот, с увеличением площади водосбора – зарастание уменьшается. Зарастание теряет свою значимость на пропускную способность если площадь водосбора более 25 000 км².

На основе проведенных исследований поток в широком русле с частичным зарастанием по глубине можно представить в виде двух потоков: поток над растительностью и поток в растительном слое. Их характеристики взаимосвязаны, что показано на рисунке 2.1. Между двумя этими потоками образуется зона динамического взаимодействия.

В процессе движения воды через растительный слой на него воздействуют два основных фактора сопротивления: трение о растительность и о дно русла. При этом можно предположить, что течение воды над растительностью происходит аналогично движению в обычном незаросшем русле. Однако существуют важные особенности такого потока. В отличие от жесткого русла, на границе с растительным слоем (на уровне верхушек растений) скорость потока не равна нулю. Более того, растения под воздействием течения проявляют подвижность, что существенно влияет на характеристики потока.

Это движение растений создает переменную шероховатость поверхности и изменяет характер турбулентности в водяном потоке, находящемся над растительным слоем. Таким образом, взаимодействие между движущейся водой и растительностью создает сложную динамическую систему, где оба компонента постоянно влияют друг на друга.

В тех 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. Было найдено, что волны на поверхности растительности увеличивают скорость течения, то есть

уменьшают коэффициент трения по сравнению с движением над неподвижной растительностью. Данный эффект, вероятно, объясняется тем, что направление распространения волн совпадает с направлением движения водного потока.

На рисунке 2.1 представлена схема течения воды в заросшем русле.

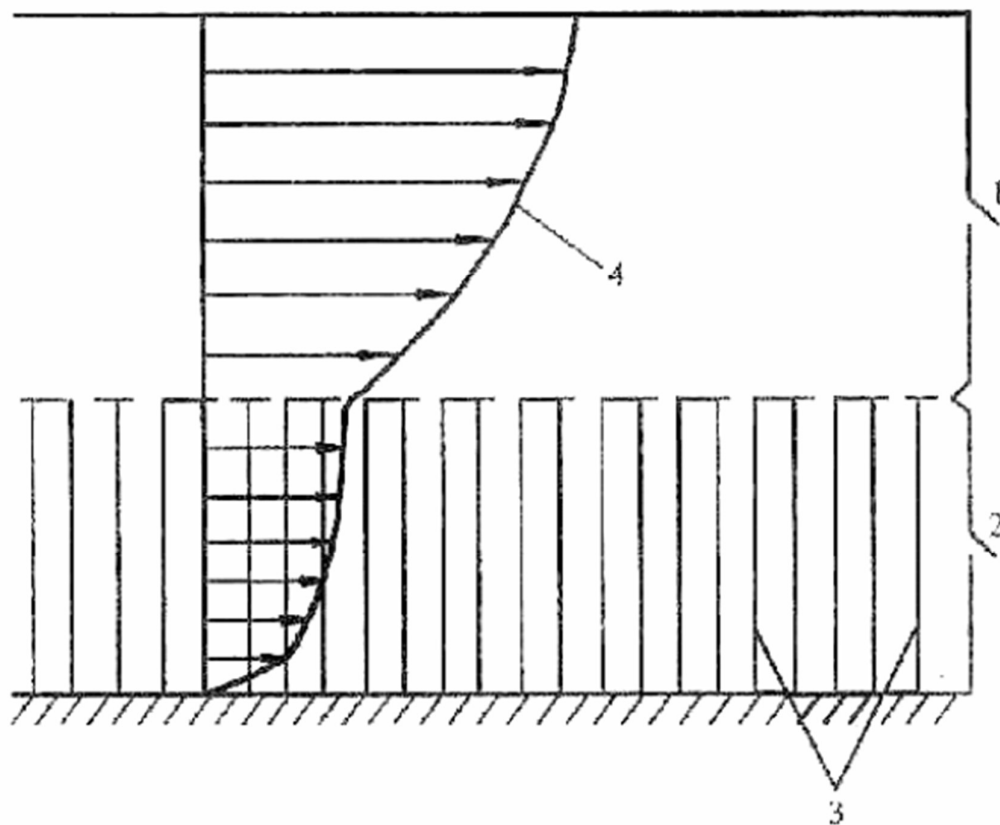


Рисунок 2.1 – Схема течения в заросшем русле

1-течение потока над растительностью; 2-течение потока в пределах растительного слоя; 4-эпюра скорости

Сезон вегетации водной растительности можно условно разделить на три последовательных этапа:

- период роста водной растительности, который характеризуется увеличением влияния растительности на связь между расходами и уровнями;
- период относительно стабильного состояния (этот период обычно самый продолжительный);
- период отмирания водной растительности, в течение которого ее влияние на связь между расходом и уровнем уменьшается.

Начало и завершение вегетационного периода водной растительности в значительной степени зависит от температурных показателей воды и воздуха. Начало вегетации обычно совпадает с окончанием весеннего половодья и приходится на начало летней межени. Развитие водной растительности достигает той стадии, когда она начинает влиять на связь между расходом воды и её уровнем, при условии стабильного повышения температуры воды до 8–10 °С. Полное отмирание водной растительности обычно происходит при появлении ледяных образований, в ряде случаев завершается даже в условиях ледового режима. Типичными для зарастающих рек в сезон вегетации являются незначительные колебания расхода, нарушаемые отдельными дождевыми паводками или попусками воды

В период вегетации влияние водной растительности претерпевает изменения. 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.

Бассейны рек с примерно одинаковыми физико-географическими условиями, могут по-разному подвержены зарастанию. Процесс зарастания зависит не только от географического расположения и размеров водотока, но и от множества других факторов. Среди них: температура, освещенность, скорости течения, устойчивость грунтов дна и берегов, наличие растворенных в воде веществ и т. д. В этом заключается сложность проблемы, связанной с оценкой влияния водных растений на гидравлические сопротивления русла.

3. Гидравлические сопротивления при зарастании русел рек

Растительность оказывает значительное дополнительное сопротивление движению руслового потока, являясь особым и очень сложным видом шероховатости.

«Зарастание русел проявляется в двух аспектах; гидравлический, как фактор, создающий дополнительные сопротивления движению потока, и – гидрометрический, как фактор, проявляющийся в неоднозначности связи расходов и уровней воды. Первый аспект получил в последнее время достаточно широкое развитие. Водная растительность в русле, как фактор гидравлических сопротивлений может быть представлена (рис.3.1):

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

б) в виде совокупности препятствий, создающих очаги местных сопротивлений» [1].

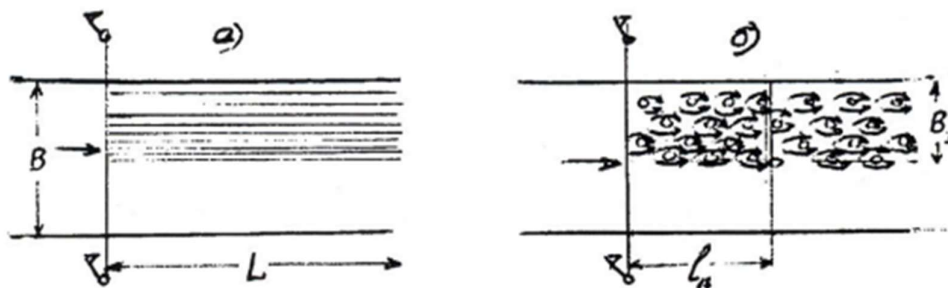


Рисунок 3.1- Схема представления водной растительности в русле

«Первая схема была подробно рассмотрена В.Н. Гончаровым. Им были получены формулы, позволяющие оценить коэффициенты шероховатости зарастающих русел n . При этом в зависимости от густоты и относительной высоты стеблей водных растений, отношение коэффициента заросшего русла к коэффициенту шероховатости свободного русла могло составлять от 3 до 7,5, а в пределе достигает 30»[1].

Сложная природа взаимодействия водного потока с растительностью, включая как единичные растения, так и целые заросли, делает более реальной вторую схему- как совокупности препятствий, создающих сопротивление движению воды.

Помимо усиления шероховатости, присутствие растительности в русле реки приводит к уменьшению его живого сечения. Когда водная растительность имеет высокую плотность, именно она создает основное сопротивление движению потока, в то время как трением о дно обычно можно пренебречь. В таких условиях баланс сил в потоке может быть выражен следующим образом:

$$\rho ghI = \rho \frac{V_p^2}{2} s_m C_s k_s \frac{1}{M_p^2} \quad (3.1)$$

где: ρ - плотность воды,

g – ускорение свободного падения,

h – глубина потока,

I - гидравлический уклон,

V_p - средняя скорость в пределах растительного слоя,

$s_m = f(h_p, d_p)$ –площадь миделя растительного элемента высотой h_p и характерным диаметром d_p ,

C_s - коэффициент гидравлического трения одного элемента,

k_s – коэффициент взаимного влияния растительных элементов, учитывающий степень гидродинамического затенения одних элементов другими.

В.С. Боровков следующее выражение для коэффициента гидравлического сопротивления из (3.1):

$$\lambda = 4 \frac{V_p^2}{V^2} s_m C_s k_s \frac{1}{M_p^2} \quad (3.2)$$

При этом λ на практике определяется из выражения:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 0.4 \left(\frac{h}{h_p} \right)^{\frac{1}{2}\sqrt{\lambda}} j \quad (3.3)$$

где: $j = \frac{M_p}{\sqrt{s_m C_s k_e}}$ коэффициент, зависящий от биометрических показателей растительности.

«Одну из расчетных схем для оценки гидравлических сопротивлений в зарастающих руслах предложил А. Найт. Выражая потери энергии потока на участке заросшего русла L как потерянный скоростной напор и приравнявая их к результатам действия сил сопротивления водных растений и торможения дна на свободной от них части, Найт получает:

$$\frac{2g \wedge h}{V^2} = \frac{\lambda_0 L (1 - \sqrt{a\alpha_r})}{h} + \frac{k_d \sum a}{\omega} \quad (3.4)$$

где $\sum \alpha$ – суммарная площадь сечения препятствий (m^2),

ω – площадь поперечного сечения потока (m^2),

a_r – оптимальная густота водных растений ($1/m^2$),

k_d – коэффициент лобового сопротивления обтекаемых препятствий» [8].

«Используя схему Найта, И.Ф. Карасев и Е.Б. Сунцова внесли в нее две принципиально важные предпосылки;

1. Коэффициент сопротивления k_d не является постоянным и зависит от числа Рейнольдса и формы обтекаемых препятствий.

2. В качестве этих препятствий должны рассматриваться не отдельные стебли, а непроницаемые для течения их пучки, так называемые куртины» [1].

Учёные Х. Наги и К. Ватанабе провели масштабное экспериментальное исследование, посвященное изучению особенностей движения водного потока в условиях зарастающего русла. Для проведения экспериментов был использован специальный лоток с размерами $12,0 \times 0,4 \times 0,4$ метра. В качестве модели водной растительности применялись стержни бамбука с диаметром $D = 0,31$ сантиметра. Экспериментальная установка имела песчаное дно, состоящее из частиц разного размера. В ходе исследований использовались

частицы песка с тремя различными средними диаметрами: $d = 0,07$ см, $d = 0,1$ см и $d = 0,13$ см. В результате измерений было получено следующее выражение:

$$\frac{\varphi_c}{\varphi} = \ln \left[0,66 \frac{\text{Re}_* (D/d_{50})^{0,31}}{(h/d_{50})^{0,11} k^{0,043}} \right]. \quad (3.5)$$

Относительная густота растений оценивались по соотношению:

$$k = \frac{\pi D^2}{4l^2}, \quad (3.6)$$

Где l - расстояние между стержнями, имитирующие растительность.

«Приведенные расчетные схемы относятся к элементу потока единичной ширины, но в реальных условиях при зарастании русла в нем возникают обособленные зоны поперечного сечения, занятые растениями и свободные от нее, что приводит к формированию сложной структуры течений. Поток расчленяется на обособленные струи с большими градиентами скоростей течения. Можно понять тех исследователей, которые отвлекаются от рассмотрения схем обтекания препятствий и выделяют обособленные части сечения, заросшие и свободные. При этом, кроме сил трения по дну, учитываются касательные напряжения на границах внутреннего расчленения потока»[14]. Одну из таких схем была рассмотрена Э.Л. Беновицкий. Зависимости, которые были получены для коэффициента сопротивления заросшего русла λ_3 им в конечном итоге представлены в виде простого соотношения:

$$\lambda_p = 0,69 \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^{0,62} \quad (3.7)$$

«Однако для использования этих зависимостей при расчетах требуются данные о характеристиках водной растительности и участка зарастания, получить которые можно лишь в результате специальных рекогносцировок и натурных обследований, подобных тем, которые были выполнены Е.А. Леоновым» [15].

Поскольку гидравлические сопротивления зависят от множества факторов, большинство существующих методик расчета не являются совершенными. В связи с этим возникает потребность в глубоком анализе и совершенствовании расчетных методов, что приводит к дальнейшим разработкам целью которых является более точный учет всех параметров, оказывающих влияние на гидравлические сопротивления.

4. Применение параметра Великанова

«Применение параметра Великанова открывает возможность использования наблюдений предшествующих лет и изучения влияния на пропускную способность русла других факторов. Последовательный подход к изучению закономерностей руслоформирования и его взаимосвязи с физико-географической средой стал общепринятым. Русловые процессы, в том числе и гидравлические сопротивления нельзя рассматривать как цепи явлений, развитие которых происходит изолировано от географической среды, без учета конкретных особенностей, характеризующих ландшафт водосбора. Потоки и их водосборы необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи и взаимообусловленности» [16].

При практическом использовании гидравлических зависимостей необходимо располагать различными биометрическими характеристиками водных растений, которые можно получить лишь по данным специальных рекогносцировочных обследований зарастающих русел. В связи с этим становится понятен интерес к интегрально-статистическим (регрессионным) оценкам гидравлических сопротивлений, зарастающих русел при различных определяющих факторах.

Словацкий учёный Фратрич установил, что коэффициент шероховатости русла напрямую связан с продолжительностью вегетационного периода и температурным режимом воды:

$$n_3 = 0,035 T_h^{0,5} J^{0,22} \quad (4.1)$$

«Эта формула относится к ирригационным каналам острова Житный на Дунае. Автор не делает какой-либо попытки ее обобщения на другие объекты.

Исследования закономерностей движения потока при зарастании русла проведены в Голландии в период 50-70 годов с целью установить связи

между гидравлическими сопротивлениями и водной растительностью в различные периоды вегетации. Итоговый график зависимости коэффициента шероховатости n_3 от отношения площади, занятой водной растительностью ω_p , к общей площади поперечного сечения русла ω приведен на рис.4.1. На этом же графике представлены результаты расчетов n_3 по формуле Беновицкого»[1].

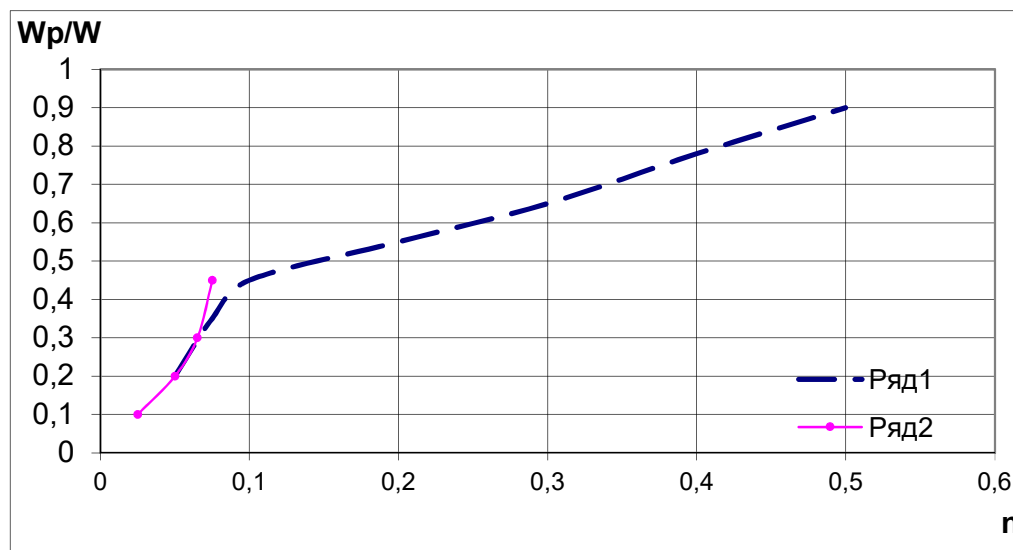


Рис.4.1

«Можно констатировать полное совпадение определяемых величин, что указывает на адекватность анализируемых зависимостей. Однако линейное возрастание n_3 по графику Квернера при $(\omega_p/\omega) > 0,49$ до значения 0,5 представляется сомнительным и не подтверждается данными других исследователей» [14].

Параметр (ω_p/ω) представляет собой чисто геометрическую характеристику поперечного сечения зарастающего русла, которая не учитывает временной фактор. При этом коэффициент шероховатости n_3 тесно связан с фазой развития водной растительности. Механизм изменения шероховатости русла имеет двойственный характер: с одной стороны, она возрастает по мере увеличения массы растений, с другой – снижается в процессе старения растительности, её полегания и отмирания старых побегов.

Как оказывается, она сохраняет достаточно однородную аналитическую структуру в разные годы и для различных рек, если время от начала вегетации τ выражено в долях от общей продолжительности вегетации T_v .

$$n_3 = n_0 / (1 + k_1 \tau + k_2 \tau^{4/3}) \quad (4.2)$$

Для полноценного исследования гидравлических сопротивлений в руслах, подверженных зарастанию, требуется непрерывный мониторинг их изменений на протяжении всего вегетационного сезона. Эту задачу успешно решают регулярные наблюдения, проводимые на гидрологических постах Росгидромета.

$$n_3 = \frac{\omega^{5/3} \sqrt{J}}{QB^{2/3}} \quad (4.3)$$

Как правило, при проведении стандартных наблюдений на гидрологических постах рек, подверженных зарастанию, обычно не производится измерение уклонов водной поверхности. В таких этих условиях вместо коэффициента шероховатости n_3 можно допустимо определить другой показатель:

$$m_3 = \sqrt{I} / n_3 = \frac{\sqrt{I}}{n_0 (1 + k_1 \tau + k_2 \tau^{4/3})} = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}} \quad (4.4)$$

Этот параметр, называемый параметром М.А.Великанова, имеет особое значение в речной гидравлике и гидрометрии. Параметр Великанова представляет собой комплексный показатель, отражающий гидравлические сопротивления в русловом потоке и определяющий характеристику пропускной способности русла.

Параметр m стал фундаментальной основой для метода построения плана течений, разработанного М.А. Великановым, а также был успешно применен И.Ф. Карасевым при создании усовершенствованных моделей

расходов воды. Значения m определялись на базе прямых гидрометрических данных.

Для свободных русел параметр Великанова имеет вид:

$$m_0 = \sqrt{I/n_0} \quad (4.5)$$

Определение параметра Великанова базируется на изучении гидролого-морфологических характеристик рек. Практическая ценность метода заключается в возможности обобщения результатов и обоснование допустимости их использования для неизученных объектов на основе общих закономерностей изменения гидроморфологических параметров рек. В их структуре, каждая отдельно взятая река, рассматривается как звено – поток фиксированного порядка N . Оказалось целесообразным принять систему этих порядков, предложенную Н. А. Ржаницыным. В структуре речных систем устанавливается зависимость морфометрических характеристик от порядков потока N , с нарастанием их от истоков к устью, а сами порядки определяются водностью реки. Если сток не изучен, эти характеристики, могут быть поставлены в соответствие площади водосбора $A(\text{км}^2)$, которая может рассчитана картографическими методами. На основе этого можно сделать вывод, параметр Великанова выступает в роли системной характеристики гидравлических сопротивлений руслового потока.

5. Анализ результатов расчета

Для расчета параметра Великанова для разных регионов, были выбраны три реки в Великая (Псковская область), Мура (Иркутская область), Ботома (республика Якутия).

5.1 Расчет параметра Великанова на реке Великая

Для расчета Великанова при зарастании русла на реке Великая был выбран пост д.Пятоново. Расстояние от устья составляет 3 километра. Отметка нуля водомерного поста в Балтийской системе высот составляет 39.64 метров.

В таблицах 5.1-5.3 представлены расчеты параметра Великанова по данным натуральных измерений на реке Великой пост д.Пятоново за 1961-1963 года. Расчет параметра Великанова выполнялся по формуле:

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

На рисунках 5.1-5.3 изображен хронологический ход изменения параметра Великанова, рассчитанного для реки Великая за 1961-1963 года.

Как видно из рисунка 5.1 максимальное значение параметра Великанова за 1961 год достигает 0,21 в конце августа, после продолжает уменьшаться до ноября, где снижается до своего минимального значения 0,0023.

Глядя на рисунок 5.2, можно увидеть, что максимальные значения параметра Великанова за 1962 год достигают 0,39 в конце сентября. В июле происходит резкий рост до 0,36. Начальное значение в начале июня 0,13 является минимальным.

Из рисунка 5.3 видно отсутствие резких скачков, характерных для 1961 года. Значения колеблются в узком диапазоне 0,063-0,097. В июне происходит небольшой рост до 0,097, к концу августа параметр снижается до 0,075.

Таблица 5.1 Результаты расчета параметра Великанова на реке Великая-д.Пятоново за 1961г.

Дата	Q, м ³ /с	ω, м ²	В, м	m ₃
08.июн	34,1	272	179	0,095
18.июн	34,3	272	179	0,095
07.июл	23,2	263	178	0,068
17.июл	23,4	270	179	0,066
28.июл	31,9	273	179	0,088
08.авг	39,1	280	179	0,10
17.авг	41,4	278	179	0,11
26.авг	95,2	316	181	0,21
07.сен	59	291	181	0,15
17.сен	63,9	303	181	0,15
07.окт	39,5	286	179	0,10
17.окт	30,1	290	179	0,075
27.окт	28,4	285	179	0,073
04.ноя	44,2	2997	180	0,0023

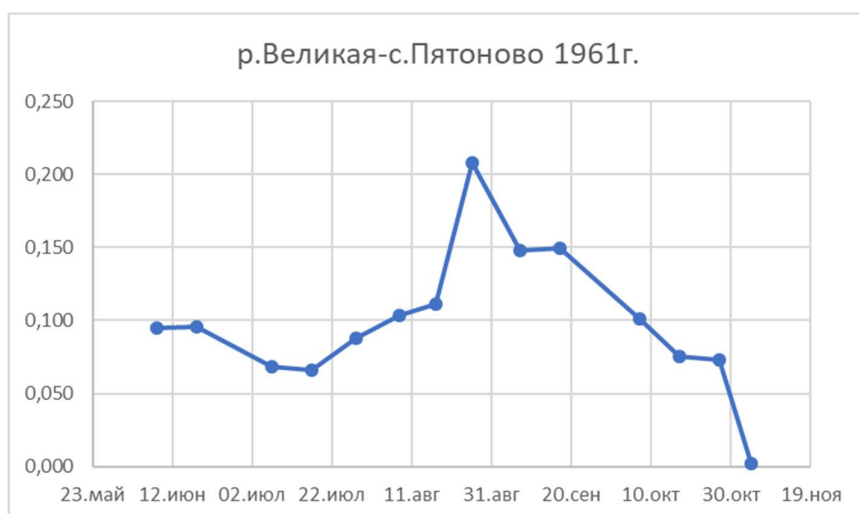


Рисунок 5.1- Хронологический график изменения параметра m₃ р.Великая-с. Пятоново за 1961г

Таблица 5.2 Результаты расчета параметра Великанова на реке Великая-д.Пятоново за 1962г.

Дата	Q,м3/с	ω , м2	В, м	m_3
27.июн	56,3	311	181	0,13
04.июл	221	410	186	0,32
16.июл	211	371	186	0,36
27.июл	180	380	184	0,29
06.авг	162	367	184	0,28
14.авг	166	369	184	0,28
20.авг	133	343	183	0,26
31.авг	134	354	183	0,24
18.сен	146	348	183	0,27
22.сен	283	423	188	0,39

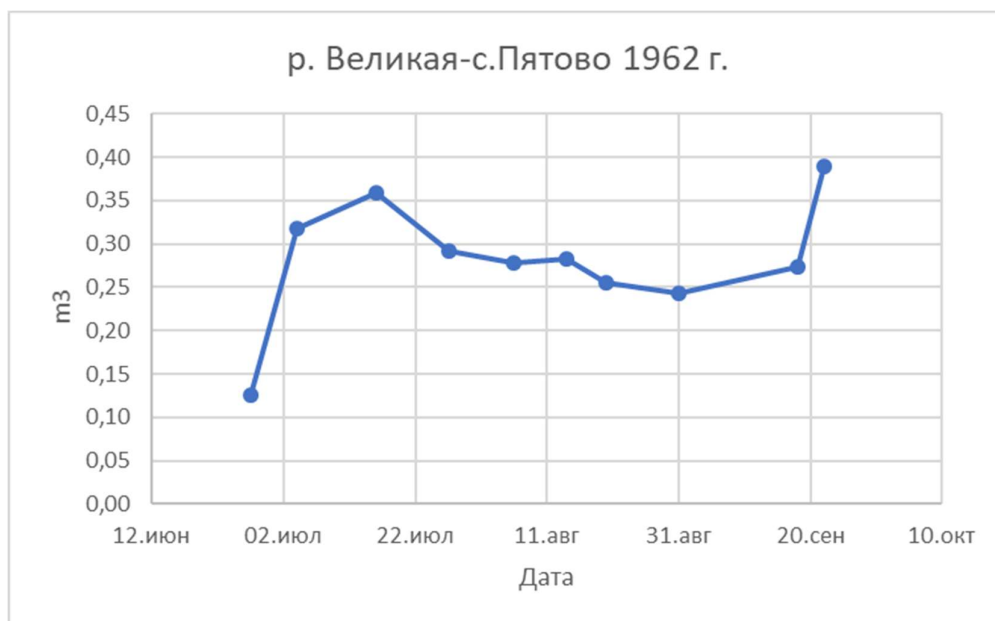


Рисунок 5.2- Хронологический график изменения параметра m_3 р.Великая-с. Пятоново за 1962г.

Таблица 5.3 Результаты расчета параметра Великанова на реке
Великая-д.Пятоново за 1963г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	m3
19.июн	30,4	268	175	0,085
30.июн	33,9	269	175	0,095
09.июл	35,1	272	176	0,097
20.июл	22,7	258	175	0,068
28.июл	23,2	265	175	0,066
06.авг	23,1	273	175	0,063
19.авг	25,2	273	175	0,069
26.авг	29,2	274	176	0,079
05.сен	29,7	267	175	0,084
18.сен	26,2	266	175	0,075

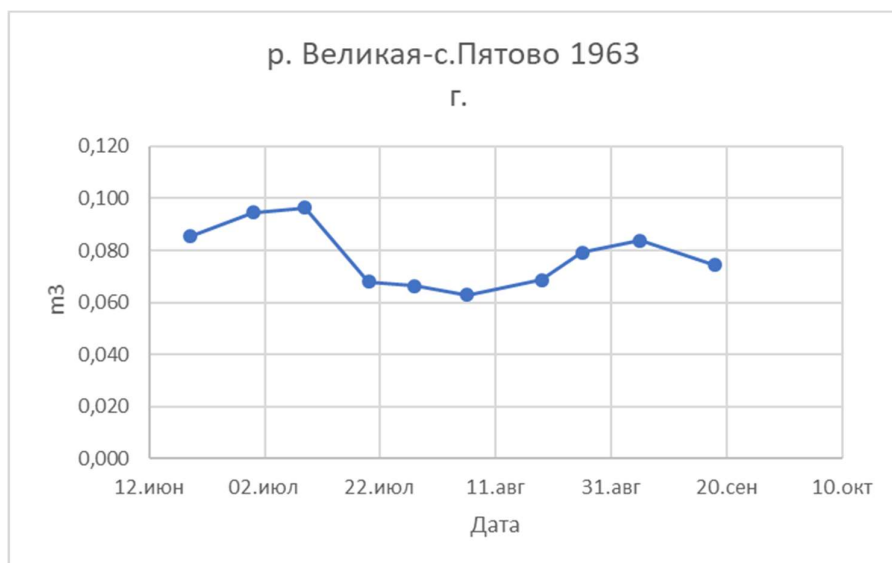


Рисунок 5.3- Хронологический график изменения параметра m3 р.Великая-с.
Пятоново за 1963г.

5.2 Расчет параметра Великанова на реке Мура

Для расчета параметра Великанова при зарастании русла на реке Мура был выбран пост с.Ирба. Пост находится в Красноярском крае, Кежемском районе. Подразделение относится к категории труднодоступных наблюдательных пунктов. Расстояние от устья 8 километров. Отметка нуля водомерного поста в Балтийской системе высот составляет 191.03 метра.

В таблицах 5.4-5.7 представлены расчеты параметра Великанова по данным натуральных измерений на реке Мура пост с.Ирба за 1961-1963 года. Расчет параметра Великанова выполнялся по формуле:

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

На рисунках 5.4-5.6 изображен хронологический ход изменения параметра Великанова, рассчитанного для реки Мура за 1961-1963 года.

Как видно из рисунка 5.4 максимальные значение параметра Великанова за 1961 приходятся на конец июня и начало августа достигает 0,31. Наблюдается плавное снижение параметра до конца июля, минимальное значение 0,17 (31 июля).

Глядя на рисунок 5.5, можно увидеть, что максимальные значения параметра Великанова за 1962 год приходятся на июнь (0,44). Наблюдается постепенное снижение параметра до 0,25 в конце июля. К концу сентября параметр повышается до 0,37.

Как видно из рисунка 5.6 максимальное значение Параметра Великанова за 1963 приходится на июнь. Происходит постепенное снижение параметра до середины августа. К 11 сентября параметр сильно увеличивается до 0,38. Минимальное значение 0,28 наступает в конце сентября.

Таблица 5.4 Результаты расчета параметра Великанова на реке Мура-с.Ирба за 1961г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	m3
30.июн	27,8	72	52,2	0,31
12.июл	23	67,6	51,9	0,29
19.июл	16,5	63,7	51,8	0,23
31.июл	10,8	58,1	51,5	0,17
12.авг	11,5	56,9	51,4	0,19
23.авг	12,4	56,1	51,5	0,21
31.авг	16,6	63,1	52,3	0,23
09.сен	14	56,3	51,4	0,23
18.сен	13,3	56,1	51,4	0,22
28.сен	16,5	59,2	51,6	0,25
07.окт	16,4	61,1	52,2	0,24
10.окт	15,8	58,6	52,2	0,25

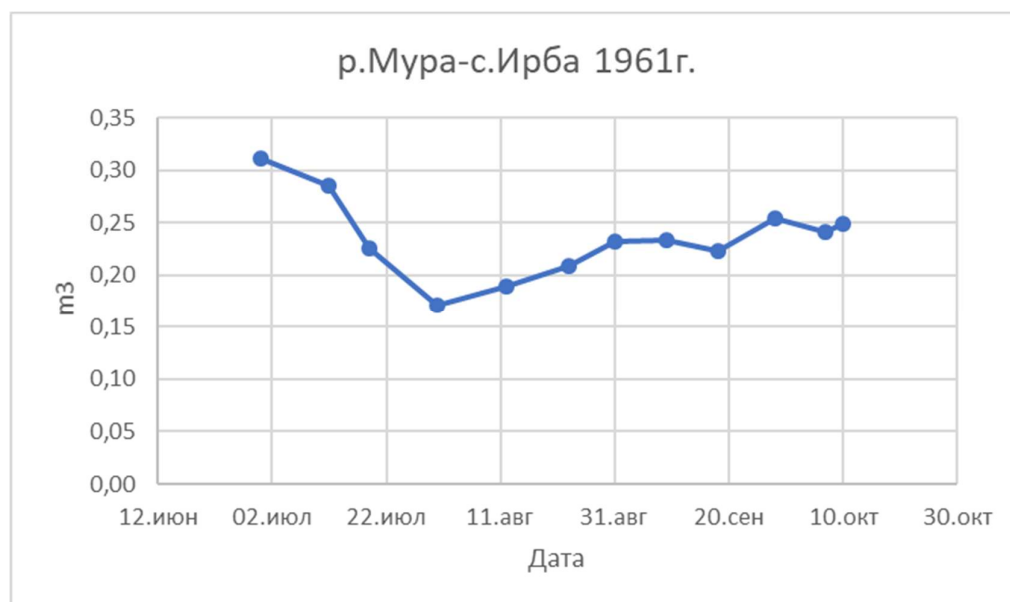


Рисунок 5.4- Хронологический график изменения параметра m_3 р.Мура-с.Ирба за 1961г.

Таблица 5.5 Результаты расчета параметра Великанова на реке Мура-с.Ирба за 1962г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	mз
22.июн	48,8	82,8	54,3	0,44
15.июл	28,2	68	53,4	0,35
30.июл	15,1	57,5	52,7	0,25
15.авг	15,4	54,2	52,6	0,28
28.авг	19	56,6	52,9	0,32
15.сен	19,9	57,7	53,2	0,33
24.сен	24,9	61,5	54,3	0,37

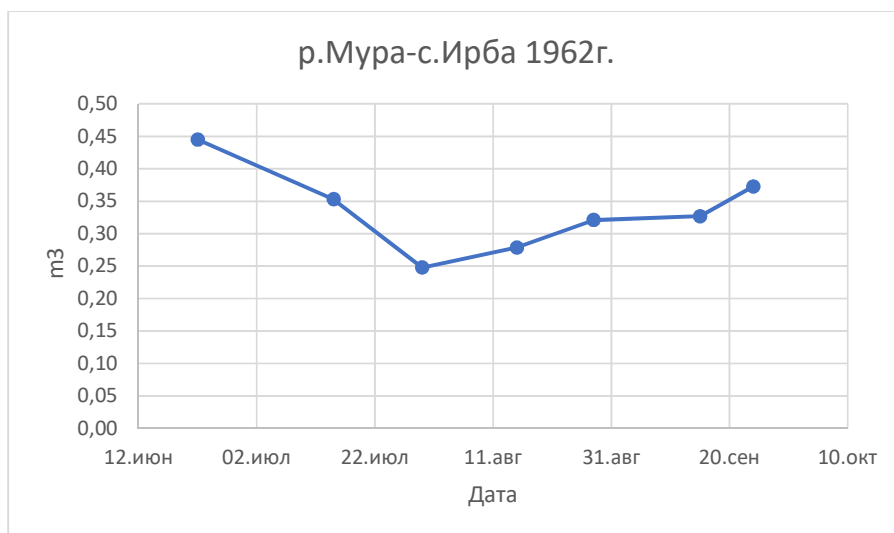


Рисунок 5.5- Хронологический график изменения параметра mз р.Мура-с.Ирба за 1962г.

Таблица 5.6 Результаты расчета параметра Великанова на реке Мура-с.Ирба за 1963г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	m3
27.июн	29,7	64,2	53,4	0,41
09.июл	36	71,6	54,1	0,42
20.июл	24,8	61,4	53,2	0,37
30.июл	20,3	58,8	52,9	0,32
14.авг	18,7	57,2	52,8	0,31
29.авг	23,3	60,7	53,2	0,35
11.сен	22,8	57,2	52,8	0,38
21.сен	14,4	50,4	52,5	0,29
28.сен	12,9	48,3	52,4	0,28
08.окт	18,3	53,9	52,5	0,33
17.окт	18,7	54,9	52,5	0,33

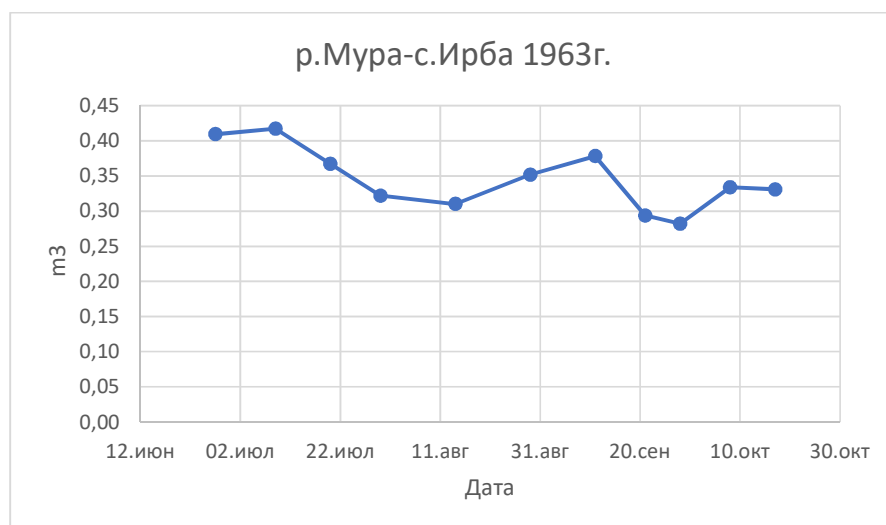


Рисунок 5.6- Хронологический график изменения параметра m3
р.Мура-с.Ирба за 1962г.

5.3 Расчет параметра Великанова на реке Ботома

Для расчета параметра Великанова при зарастании русла на реке Ботома был выбран пост мест. Бролог.

В таблицах 5.7-5.9 представлены результаты расчетов параметра Великанова по данным натуральных измерений на реке Ботома пост мест.Бролог за 1961-1963 года. Расчет параметра Великанова выполнялся по формуле:

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

На рисунках 5.7-5.9 изображен хронологический ход изменения параметра Великанова, рассчитанного для реки Ботома пост мест.Бролог за 1961-1963 года.

Как видно из рисунка 5.7 максимальные значение параметра Великанова за 1961 приходится на конец июнь достигает 0,61. Наблюдается значительное снижение параметра с июня по июль. Минимальное значение 0,34 (7 сентября).

Как видно из рисунка 5.8 максимальное значение параметра Великанова за 1962 год 0,57 наступает в июне. Постепенное снижение параметра в течение летнего сезона. Минимальное значение 0,31 (12 августа).

Анализируя рисунок 5.9 можно заметить, что максимальное значение параметра Великанова за 1963 год наступают 2 июля (0,49). Наблюдается постепенное снижение параметра с июля по август. Минимальное значение 0,3 (27 августа).

Таблица 5.7 Результаты расчета параметра Великанова на реке Ботома-мест.Бролог за 1961г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	m3
30.май	192	470	125	0,58
04.июн	631	360	144	0,61
06.июн	401	316	138	0,59
07.июн	335	243	135	0,60
08.июн	227	184	127	0,61
10.июн	131	186	119	0,53
14.июн	134	273	119	0,53
20.июн	251	164	127	0,55
22.июн	110	87,7	116	0,53
10.июл	36	101	101	0,45
20.июл	48,9	73,8	103	0,49
05.авг	26,1	63,9	100	0,43
15.авг	17,6	62,2	97	0,36
07.сен	15,7	60	97	0,34

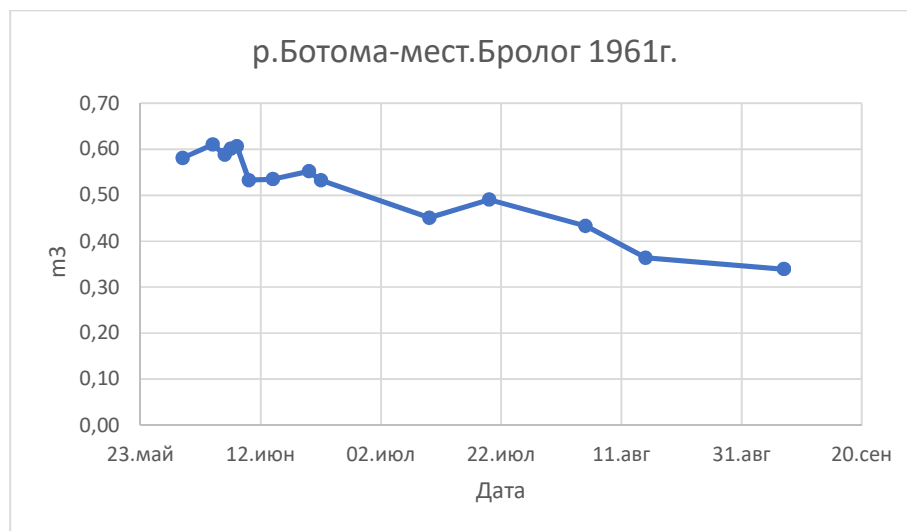


Рисунок 5.7- Хронологический график изменения параметра m_3 р.Ботома-мест.Бролог за 1961г.

Таблица 5.8 Результаты расчета параметра Великанова на реке Ботома-мест.Бролог за 1962г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	m3
01.июн	175	211	120	0,57
04.июн	117	169	111	0,52
07.июн	67,6	123	102	0,49
14.июн	51,7	105	100	0,48
06.июл	40,5	93,7	98	0,45
13.июл	39,4	96,1	100	0,42
25.июл	17,7	65,8	96	0,35
12.авг	11	45,5	94	0,39
01.сен	9,68	37,5	93	0,47
28.сен	13	47,4	94	0,43

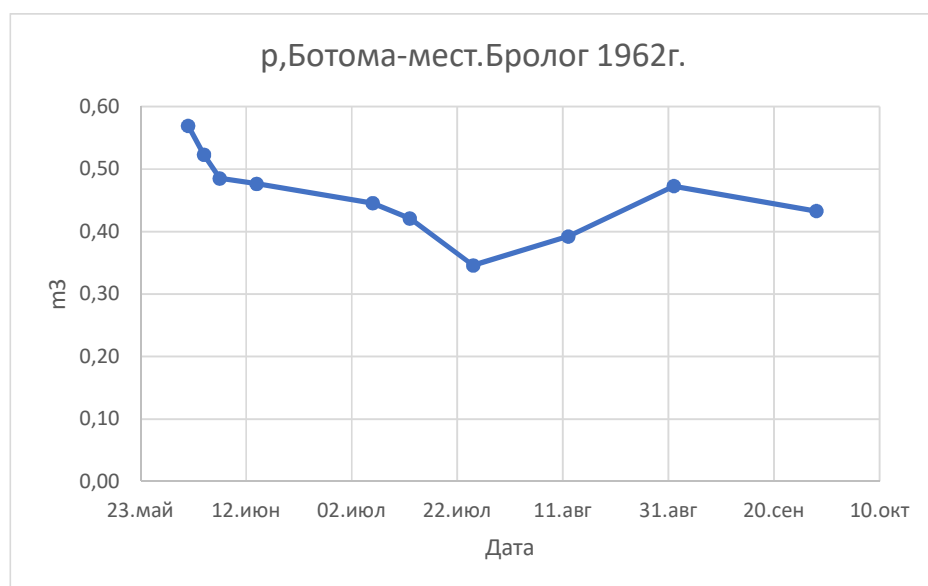


Рисунок 5.8- Хронологический график изменения параметра m3
р.Ботома-мест.Бролог за 1962г.

Таблица 5.9 Результаты расчета параметра Великанова на реке Ботома-мест.Бролог за 1963г.

Дата	Q, м3/с	ω , м2	B, м	m3
17.июн	55,8	118	101	0,43
25.июн	31,6	89	98,5	0,38
02.июл	121	180	112	0,49
09.июл	39,9	98,2	100	0,41
27.июл	18,1	66,8	95,7	0,34
03.авг	14,9	61,9	95	0,32
13.авг	12,2	56,3	95	0,31
27.авг	10,9	53,3	93,8	0,30
01.окт	8,68	42,6	93	0,34

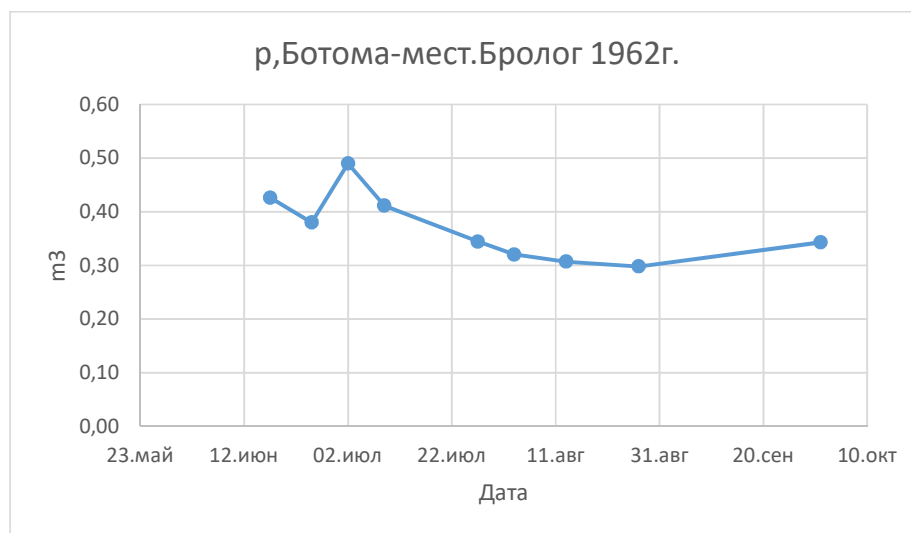


Рисунок 5.9- Хронологический график изменения параметра m3
р.Ботома-мест.Бролог за 1963г.

Заключение

В результате численных экспериментов был рассчитан параметр Великанова за 1961-1963года. Были получены следующие изменения параметра в период вегетации водных растений:

- на реке Великая (пост д.Пятоново) параметр Великанова варьировался от 0,063 до 0,21

- на реке Мура (пост с.Ирба) значения параметра составляли от 0,17 до 0,44

- на реке Ботома (пост мест.Бролог) диапазон значений составил от 0,30 до 0,61.

Можно сделать вывод о том, что параметр Великанова имеет важное значение в современной гидрометрии, в полной мере описывая изменения пропускной способности русла и является наиболее рациональной математической основой для компьютерной технологии гидрометрического учета стока зарастающих рек.

Список используемых источников

1. Векшина Т.В., Большаков В.А., Коринец Е.М. Экологические проблемы русловых процессов. Учебное пособие. СПб.: изд. РГГМУ
2. Векшина Т.В. Гидравлические сопротивления русел рек, зарастающих растительностью // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 15. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2010. – С. 19–26.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР: Основные гидрологические характеристики. Т. 17. Карелия и Северо-Запад / под ред. А.В. Шестакова.: Гидрометеиздат, 1967.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР: Т. 17. Ангара-Енисейский район / под ред. В.Г. Симонов.: Гидрометеиздат, 1972
5. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад / под ред. Е. Н. Таракановой. — Л.: Гидрометеиздат, 1965.
6. 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.
7. Л.А Путинцев. Методика долгосрочного прогноза бокового притока воды в водохранилище Богучанской ГЭС на р.Ангара. 2015
8. Векшина Т. В., Большаков В. А., Коринец Е. М. Экологические проблемы русел судоходных рек: Учебное пособие. – СПб.: Медиапир, 2022. – 132 с
9. Великанов М.А. Гидрология суши. М.; Гидрометеиздат, 1948.
10. Векшина Т.В. Количественная оценка пропускной способности русла на основе современных информационных систем и технологий // Евразийское Научное Объединение. – 2019. – № 4-6 (50). – С. 407–409.

11. 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.
12. Ю.В. Шарина. Методика оперативного учета стока в условиях зарастания русла. 2017 год
13. Гончаров В.Н. Основы динамики русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1954
14. Векшина Т.В. Гидравлические сопротивления и учет стока зарастающих рек: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб., 2004.
15. Леонов Е.А. Некоторые характеристики зарастающего русла в связи с методикой учета стока воды // Труды ГГИ. Л.: Гидрометеиздат. 1960. Вып. 77.
16. Векшина Т.В., Большаков В.А. Влияние зарастания рек на движение наносов. 2019 год.