



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

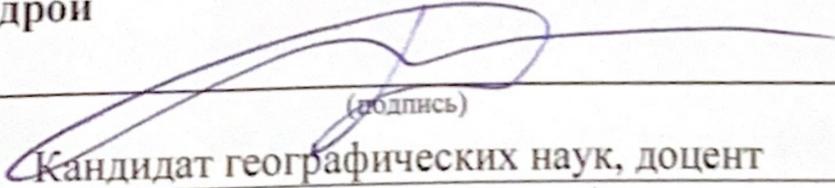
На тему Современные методы учета
стока при зарастании русла

Исполнитель Моськина Мария Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Векшина Татьяна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)
Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«16» июня 2025г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Теоретические основы учета стока в условиях зарастания русла.....	6
1.1 Понятие и причины зарастания русел рек	6
1.2 Влияние растительности на гидравлические параметры потока	11
1.3 Обзор современных методов речного стока.	13
1.4 Метод М. А. Великанова: исторический контекст и математический аппарат	18
Глава 2. Характеристика района исследования и методика работы.....	22
2.1 Физико-географические особенности Каргопольского и Няндомского районов Архангельской области	22
2.2 Водосбор р. Волошка и описание участка в/п Тороповская р. Волошка.....	24
2.3 Водосбор р. Лепша и описание участка в/п Федосеевская р. Лепша	25
2.4 Методика сбора и обработки исходных данных.....	26
Глава 3. Практическое применение метода Великанова для учета стока.....	29
3.1. Исходные данные для расчетов (полевые и архивные материалы).....	29
3.2 Результаты подсчета стока реки Волошка и реки Лепша по методу Великанова, верификация результатов: сравнение с гидрометрическими замерами.....	32
3.3 Анализ погрешностей и рекомендации по применению метода Великанова.	34
Заключение	40
Список использованных источников:	43

Введение

Гидрологические процессы в северных регионах России, включая Архангельскую область, испытывают значительное влияние климатических изменений и антропогенной деятельности. Каргопольский и Няндомский районы, расположены в юго-западной части области, отличаются густой гидрографической сетью, включающей реки (например, Онега, Лепша, Волошка, Свидь, Ольга, Чурьега и др.), озера (Лача, Боровое, Лекшмозеро) и обширные болотные массивы [28]. Эти водные объекты не только формируют локальные экосистемы, но и обеспечивают хозяйственные нужды, включая сельское хозяйство и рыболовство. Однако в последние десятилетия наблюдается интенсивное зарастание русел макрофитами (осока, рогоз) и древесной растительностью (ивняк), что снижает пропускную способность водотоков и увеличивает риски паводков [21].

Проблема усугубляется сочетанием природных и антропогенных факторов. К первым относятся заболачивание, характерное для северных широт. Низменный рельеф данных районов и высокий уровень грунтовых вод способствуют застою воды и замедлению течения равнинного рельефа. Ко вторым — заброшенные мелиоративные системы, которые нарушают естественный дренаж, 60% малых рек данной местности подверглись зарастанию после прекращения работ по очистке каналов [15].

Зарастание русел в Каргопольском и Няндомском районах Архангельской области — результат синергии природных условий и антропогенного бездействия.

Традиционные методы учета стока, такие как гидрометрические замеры и применение эмпирических формул, не учитывают влияние растительности на гидравлическое сопротивление, что приводит к недооценке риска затоплений. В условиях роста экстремальных погодных явлений, связанных с изменением

климата, разработка адаптированных методов учета стока становится критически важной [3].

Вопросы влияния растительности на гидрологический режим изучались как в России, так и за рубежом. Отечественные исследователи, такие как В. И. Данилов Данильян и А. М. Грин, в работе «Управление водными ресурсами» (2018) обосновали необходимость интеграции экологических параметров в гидрологические модели. Зарубежные ученые, предложили методы расчета шероховатости для заросших русел, основанные на экспериментальных данных (2013) [13].

Однако большинство исследований сфокусировано на умеренных и тропических широтах, тогда как специфика северных регионов, таких как Архангельская область, остается малоизученной. Работы Н. П. Тарутиной («Гидрография Европейского Севера России», 2015) охватывают общие характеристики водных объектов, но не рассматривают методы учета стока при зарастании. Современные технологии, такие как спутниковый мониторинг (Sentinel2) и гидравлическое моделирование (HECRAS), применяются в регионе фрагментарно, что подтверждается отчетом Росгидромета за 2022 год.

Цель исследования

Адаптация метода М. А. Великанова для точного учета стока в условиях зарастания русла на примере рек Волошка (Каргопольский район) и Лепша (Няндомский район) Архангельской области.

Задачи исследования:

1. Проанализировать причины и динамику зарастания русел рек в условиях северных регионов.
2. Модифицировать параметр шероховатости в методе Великанова с учетом биомассы макрофитов и древесной растительности.

3. Провести расчет стока для рек Волошка (2015–2017 гг.) и Лепша (2018–2021 гг.) с использованием адаптированной методики.
4. Верифицировать результаты путем сравнения с данными гидрометрических замеров Росгидромета и оценить погрешности.
5. Разработать практические рекомендации для гидрологического мониторинга заросших водотоков.

Объект и предмет исследования:

Объекты: Река Волошка (водомерный пост д. Тороповская) и река Лепша (водомерный пост д. Федосеевская).

- Предмет: Процесс формирования стока в условиях зарастания русла и методы его количественной оценки.

- Данные: Полевые и архивные материалы гидрометрических замеров за 2015–2017 гг. (р. Волошка) и 2018–2021 гг. (р. Лепша).

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и приложений. Во введении обоснована актуальность, поставлены цель и задачи. В первой главе рассмотрены теоретические основы учета стока при зарастании русел. Во второй главе дана характеристика районов исследования и методик сбора данных. В третьей главе представлены результаты расчетов и их анализ. В заключении сформулированы основные выводы.

Глава 1 Теоретические основы учета стока в условиях зарастания русла

1.1 Понятие и причины зарастания русел рек

Зарастание рек – сложный процесс, развитие которого обусловлено совместным влиянием естественных и антропогенных факторов [15].

Одним из значимых факторов является гидрологический режим реки. Гидрологический режим состоит из особенностей жидкого и твердого стока, свойств морфологического строения участка реки, рельефа дна и типа грунтов, также режима движения донных наносов и пр. Немаловажную роль играют группы химического и термического стока, так как они в большой мере определяют базовые условия распространения водной растительности.

На развитие водных растений влияют также почва дна и берегов, количество содержащихся в них мелких фракций, которые образуют благоприятную среду для развития биомассы. Их поступление, обычно, происходит прямо с поверхности водосборов. Существует зависимость степени зарастания от площади водосбора реки. Чем меньше площадь водосбора реки, тем больше ее зарастание и наоборот, с увеличением площади водосбора – зарастание уменьшается [12, с. 115].

Это, по сути, отражение компонентов географической среды, но нельзя утверждать однозначно, что если физико-географические условия бассейнов рек примерно одинаковы, то они одинаково подвержены зарастанию, так как на зарастание реки помимо географического положения и размеров водотока влияют очень многие факторы (температура, освещенность, скорости течения, устойчивость грунтов дна и берегов, наличие растворенных в воде веществ и т. д.)

Заращение речных русел представляет собой комплексный природно-антропогенный процесс активного развития высшей водной и прибрежно-водной растительности (макрофитов) в русле водотока, приводящий к существенному изменению его морфометрических характеристик, гидравлического режима и экологических функций. Это явление носит глобальный характер, но особую актуальность приобретает в равнинных районах с замедленным течением, характерных для таежной зоны Европейского Севера России, включая Архангельскую область [20, с. 76].

Сущность и стадии процесса:

1. Инициация: Появление пионерных видов (ряска, элодея, рдесты) на участках с минимальным течением (заводи, старицы). Факторы-триггеры: прогрев воды $>10^{\circ}\text{C}$, достаточная освещенность, наличие биогенов (азот, фосфор).

2. Стабилизация: Формирование устойчивых сообществ воздушно-водных растений (осока, тростник, рогоз) по берегам. Их корневища закрепляются в грунте, создавая каркас для накопления наносов.

3. Интенсификация: Разрастание погруженной (роголистник, уруть) и плавающей (кувшинка, кубышка) растительности на перекатах и плёсах. Снижение скорости течения на 30-50% по сравнению с открытым руслом.

4. Трансформация русла: Аккумуляция органического материала и минеральных наносов, формирование сплавин, сужение живого сечения на 15-40%, переход к болотообразованию на отдельных участках.

5. Древесная инвазия: Закрепление ивняка и ольхи на сплавинах и отмелях, приводящее к полной перестройке гидравлики потока и закреплению новых морфологических форм русла [20].

Ключевые группы факторов заращения:

I. Биотические факторы:

Видовой состав и адаптации: Доминирование видов с высокой конкурентной способностью в условиях умеренного климата (осока пузырчатая ((*Carex vesicaria*), тростник южный (*Phragmites australis*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*)). Их вегетативное размножение (корневища, столоны) обеспечивает быстрое освоение пространства.

Продуктивность фитоценозов: В условиях Каргопольского и Няндома́ского районов биомасса макрофитов достигает 2-5 кг/м² сырого веса к концу вегетации. Трансформация до 15-20% поступающих биогенов в растительную ткань.

Сукцессионные связи: Формирование консорциумов "растения-микроорганизмы-беспозвоночные", ускоряющих круговорот веществ и заиление [27].

II. Абиотические факторы:

Гидрологический режим:

Низкие скорости течения (< 0.3 м/с) – основной лимитирующий фактор для равнинных рек Архангельской области (Онега, Волошка, Лепша). Позволяет укореняться растениям и накапливать взвесь.

Умеренная водность и длительная межень – создают стабильные условия для вегетации. На малых реках (Лепша) фаза устойчивого низкого уровня длится до 100 дней.

Особенности твердого стока: Преобладание тонкодисперсных фракций (песок, ил), легко задерживаемых растительностью. Годовой сток наносов рек региона 5-50 кг/с.

Морфометрия русла:

Малые уклоны (0.1-0.5‰) – характерны для рек Каргопольской низменности.

Широкие поймы и развитые излучины – зоны аккумуляции семян и вегетативных диаспор.

Преобладание мелководий (глубины <1.5 м на 60-80% длины русла) – обеспечивают проникновение света до дна.

Качество донных грунтов:

Высокое содержание органики в аллювии (до 10-15% в торфянистых грунтах Волошки).

Наличие илистых отложений мощностью 0.2-0.5 м – идеальный субстрат для укоренения.

Гидрохимические условия:

Нейтральная/слабокислая реакция воды (рН 6.0-7.2) – оптимальна для большинства макрофитов.

Высокое содержание гуминовых веществ (цветность воды 50-100°) – следствие болотного питания [27].

Постепенное увеличение биогенной нагрузки – связано с частичным с/х освоением водосборов (особенно Волошки).

III. Антропогенные факторы (критическое усиление в XX-XXI вв.):

Заброшенные мелиоративные системы: Прекращение очистки каналов и спрямления русел после 1990-х гг. (до 60% малых рек района). Привело к снижению продольного уклона, активизации процессов заиления и зарастания.

Изменение землепользования: Сокращение пастбищ и сенокосов в поймах.

Лесосплав (исторический фактор): Загромождение русел топляком и корой, создающее "якоря" для закрепления растений. Хотя масштабы сплава сократились, последствия сохраняются десятилетиями.

Нарушение водоохранных зон: Вырубка прибрежных лесов, усиливающая прогрев воды и поступление биогенов с поверхностным стоком.

Локальное загрязнение: Поступление органики и питательных элементов с неочищенными стоками населенных пунктов (например, д. Тороповская на Волошке).

IV. Климатический тренд как усилитель процесса:

На фоне глобального потепления (рост среднегодовой температуры в Архангельской области на 1.5°C за 30 лет, по данным Росгидромета) отмечается:

Увеличение продолжительности вегетационного периода на 15-20 дней.

Более раннее (на 7-10 дней) начало активного роста макрофитов.

Усиление эвтрофикации из-за роста минерализации органики в болотных системах водосбора.

Учащение экстремальных осадков, способствующих выносу семян и вегетативных частей растений на новые участки [27].

Специфика северных регионов (Архангельская область):

Геоморфологическая: Преобладание плоских моренных и озерно-ледниковых равнин с замедленным дренажем (Каргопольский р-н).

Гидрологическая: Высокая степень заболоченности водосборов (до 40% в бассейне Лепши) – постоянный источник органики и семян.

Почвенная: Распространение подзолов и глееземов, легко размываемых при паводках и дающих мелкодисперсный материал для заиления.

Биотическая: Доминирование агрессивных видов-эдификаторов, адаптированных к короткому, но интенсивному вегетационному периоду (осока, ива пепельная – *Salix cinerea*).

Социально-экономическая: Сокращение финансирования мероприятий по расчистке русел, дефицит гидрометрических наблюдений на малых водотоках.

Последствия для гидрологического режима (краткосрочные и долгосрочные):

Увеличение гидравлического сопротивления: Коэффициент шероховатости Маннинга (n) возрастает в 2-5 раз по сравнению с чистым руслом (с 0.025-0.035 до 0.08-0.15).

Снижение пропускной способности: Уменьшение максимальных расходов половодья на 15-30% при том же уровне воды.

Перераспределение стока: Увеличение доли подземного питания за счет инфильтрации в подпруженных участках.

Активизация боковой эрозии: Подмыв берегов из-за смещения основного потока к краям заросшего русла.

Формирование «мертвых зон»: Застойные участки со сниженным кислородным режимом, ведущие к заморам рыбы.

Ускорение заиления: Скорость отложения наносов в зарослях достигает 3-8 см/год.

Утрата рекой транспортной и дренажной функций, заболачивание пойм, снижение рекреационной привлекательности [21].

1.2 Влияние растительности на гидравлические параметры потока

Заращение русел рек представляет собой процесс активного распространения водной и прибрежной растительности, который приводит к изменению морфометрии водотоков и нарушению их гидравлических характеристик.

Заращение русла – довольно распространенное явление для малых и средних рек [24].

Пропускная способность русла под влиянием водной растительности существенно снижается. Характерным признаком уменьшения пропускной способности русла при заращении является отклонение точек измеренных расходов и средних скоростей течения влево от соответствующих кривых расходов и скоростей свободного русла при сохранении однозначной связи между площадью водного сечения и уровнем.

Сезон зарастания (вегетации водной растительности) можно разделить на три периода:

– период роста водной растительности, в течение которого ее влияние на связь между расходом и уровнем постепенно увеличивается;

– период относительно стабильного состояния (обычно наиболее продолжительный);

– период отмирания водной растительности, в течение которого ее влияние на связь между расходом и уровнем уменьшается.

Начало и конец вегетации водной растительности зависят в основном от хода температур воды и воздуха. Как правило, начало вегетации приходится на конец спада весеннего половодья или начало летней межени. Развитие водной растительности в той мере, в какой она начинает оказывать влияние на связь между расходом и уровнем, идет при стабильном повышении температуры воды до 8–10 °С [24].

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.

Ежегодно с наступлением лета десятки тысяч водотоков, протекающих на территории России, зарастают водной растительностью.

Развитие водной растительности нередко приводит к вредным последствиям: быстрому заилению и обмелению рек, каналов и водохранилищ, заболачиванию речных пойм, ухудшению качества воды, затруднению водоснабжения [27, с 46].

Значительный ущерб зарастание наносит водному хозяйству и мелиорации, вследствие уменьшения пропускной способности каналов. Зарастание рек сопровождается подпором уровня воды, который нередко достигает по данным

различных авторов 0,4–0,8 м, а иногда и 1,5 м, что в естественных условиях равнинных рек ведет к заболачиванию пойменных земель [27].

В этих условиях одной из важнейших предпосылок оценки влияния зарастания рек на экологическое состояние природных территорий, является определение пропускной способности зарастающих русел или, конкретно, характеристик их гидравлических сопротивлений.

Наряду с этим, осложняется и гидрометрический учет стока. В результате зарастания русел уменьшаются скорости течения, появляются «мертвые зоны», косоструйность потока, искажаются эпюры скоростей по глубине и ширине потока.

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

1.3 Обзор современных методов речного стока.

Учёт речного стока является фундаментальной задачей гидрологии, водного хозяйства, экологии и инженерного проектирования. Точная оценка объёма и режима стока воды необходима для:

Планирования и управления водными ресурсами (водоснабжение, гидроэнергетика).

Проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений (плотины, каналы, защитные дамбы).

Прогнозирования и предотвращения паводков и засух.

Оценки экологического состояния водных объектов.

Мониторинга влияния изменения климата и антропогенной деятельности.

Научных исследований формирования стока [37].

Методы учёта стока эволюционировали от простых наблюдений к комплексным системам, интегрирующим прямые измерения, дистанционное зондирование и математическое моделирование.

Классификация методов учёта стока

Методы можно классифицировать по следующим основным признакам:

1. По способу получения данных:

Прямые (контактные) измерения.

Косвенные (расчётные) методы.

Дистанционные методы.

Модельные методы.

2. По пространственному охвату:

Точечные (створные).

Пространственно-распределённые (бассейновые).

3. По временному режиму:

Эпизодические (разовые замеры).

Непрерывные (длительные ряды наблюдений).

Прогнозные [21].

Прямые (контактные) методы измерений в створе основаны на непосредственном измерении параметров потока в конкретном створе реки.

Измерение уровня воды (H):

Приборы: Реперные водомерные посты (речные, свайные), самописцы уровня (поплавковые, пневматические, акустические, радарные).

Значение: Основная наблюдаемая величина. Непрерывная регистрация H позволяет построить график колебаний уровня – гидрограф уровня.

Измерение скорости течения (V):

Приборы: Гидрометрические вертушки (механические), акустические доплеровские измерители течений (ADCP, ADV), электромагнитные измерители.

Методы: Точечные замеры по вертикали и по ширине русла с последующим вычислением средней скорости на вертикали и среднего расхода в створе методом «скорость-площадь».

Расход воды (Q):

Определение: Основная расчетная характеристика стока ($Q = V_{\text{ср}} \omega$, где ω - площадь живого сечения потока).

Построение кривой расходов $Q = f(H)$: Ключевая задача гидрометрии. Устанавливает связь между измеряемым уровнем H и расходом Q на основе серии синхронных измерений H и Q при разных фазах водности. Позволяет перейти от непрерывных наблюдений уровня к непрерывному ряду расходов – гидрографу расхода [37].

Автоматизированные гидрометрические станции (АГМС): Современный стандарт, обеспечивающий непрерывную регистрацию H, температуры, электропроводности и других параметров, передачу данных в реальном времени и автоматическое вычисление Q при наличии устойчивой кривой расходов. Используют радарные, ультразвуковые, датчики давления.

Косвенные гидрометрические методы применяются при невозможности прямых измерений расхода или для оценки стока на необорудованных реках.

Гидравлические методы: Использование гидравлических сооружений с известными расходными характеристиками (водосливы, лотки, трубы). Расход вычисляется по измеренному напору.

Метод «пловцов»: Оценка поверхностной скорости по скорости движения пловцов (поплавков) с введением поправочных коэффициентов для определения средней скорости и расхода.

Трассерные методы: Введение в поток химических или радиоактивных индикаторов и измерение их концентрации ниже по течению для расчета расхода по степени разбавления.

Метод скорости-падения: Измерение скорости течения и уклона водной поверхности для расчета расхода по формулам равномерного движения (Шези, Маннинга).

Гидрометрические работы для определения стока наносов и растворенных веществ.

Учёт стока часто включает оценку переноса твердого и химического материала:

Сток наносов. Измерение концентрации взвешенных и влекомых наносов (батометры, пробоотборники) и их гранулометрического состава. Расчет расходов наносов ($Q_n = Q C_n$, где C_n - концентрация наносов).

Сток растворенных веществ: Отбор проб воды, химический анализ, расчет расходов растворенных веществ ($Q_{p.v} = Q C_{p.v}$) [12].

Модельные методы оценки стока

Применяются для расчёта стока в условиях отсутствия наблюдений, прогноза или оценки в масштабе бассейна.

Детерминированные (физически-обоснованные) модели:

Распределенные: SWAT (Soil and Water Assessment Tool), MIKE SHE, HEC-HMS (в распределенном режиме). Рассчитывают все компоненты водного баланса (осадки, испарение, инфильтрация, поверхностный и подземный сток) в ячейках сетки, используя данные ЦМР, почв, землепользования, метео. Позволяют оценить пространственное распределение стока [37].

Полураспределенные: Модели типа HBV, GR4J. Упрощают представление бассейна (зоны высотной поясности, типы почв, растительности), сохраняя физическую основу ключевых процессов [37].

Гидродинамические (русловые): HEC-RAS (1D, 2D), MIKE 21/3, Delft3D. Моделируют детальное течение воды в речной сети и на пойме, трансформацию паводков. Требуют детальных данных о геометрии русла [37].

Эмпирические и статистические методы:

Регрессионные модели: Связь стока с факторами (площадь бассейна, осадки, морфометрия) на основе данных по аналогичным бассейнам.

Методы аналогии: Перенос параметров с хорошо изученных рек на слабоизученные.

Гидрограф единичного стока: для расчета паводочного стока от дождей.

Методы интерполяции: Построение карт изолиний модуля стока.

Водобалансовые методы: Оценка стока как остаточного члена уравнения водного баланса бассейна ($Q = P - E \pm \Delta S$, где P - осадки, E - испарение, ΔS - изменение запасов воды) [21].

Дистанционные методы мониторинга стока

Обеспечивают данные в труднодоступных районах и глобальный охват.

Спутниковая альтиметрия (Jason-3, Sentinel-3/6, SWOT): Измерение высоты водной поверхности рек и озер. Позволяет оценивать уровни, уклоны, а при наличии данных о сечении – расходы (особенно на крупных реках).

Оптическое и радиолокационное ДЗЗ (Landsat, Sentinel-1/2, БПЛА):

Определение ширины русла, площади зеркала водоемов.

Оценка скорости поверхностного течения (методы PIV - Particle Image Velocimetry).

Мониторинг зон затопления.

Современный подход объединяет различные источники получения данных и методы их обработки.

1.4 Метод М. А. Великанова: исторический контекст и математический аппарат

Для изучения гидравлических сопротивлений зарастающих русел необходимо проследить их изменение в течение всего вегетационного периода. Этому требованию отвечают стандартные наблюдения на постах основной гидрологической сети Росгидромета.

Каждый измеренный расход дает возможность определить коэффициент шероховатости:

$$n_s = \frac{\omega^{2/3} \sqrt{J}}{QB^{2/3}}$$

Но, к сожалению, на гидрологических постах зарастающих рек, как правило, не выполняются измерения уклонов водной поверхности.

В этих условиях вместо коэффициента шероховатости n мы можем определить другую характеристику:

$$m_2 = \frac{\sqrt{I}}{n} = \frac{\sqrt{I}}{n_0 \left(1 + k_1 \tau + k_2 \tau^{4/3}\right)} = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}}.$$

«Этот параметр, называемый параметром М.А. Великанова, имеет особое значение в речной гидравлике и гидрометрии. Параметр Великанова выступает как системная характеристика гидравлических сопротивлений руслового потока, т. е. является одной из основных характеристик пропускной способности русла» [3].

Параметр m положен в основу метода построения плана течений, предложенного М. А. Великановым.

Для свободных русел параметр Великанова имеет вид:

$$m_0 = \frac{\sqrt{I}}{n_0}.$$

«Параметр Великанова может быть получен на основе гидрологоморфологических характеристик речных систем. В их структуре каждая отдельно взятая река рассматривается как звено – поток фиксированного порядка N . Система этих порядков разработана Н. А. Ржаницыным. В качестве определяющего фактора для системных характеристик потоков им приняты средние многолетние $Q_{ср}$ и среднемаксимальные расходы воды $Q_{макс}$ » [3, с 46].

Метод гидрографов притока и стока, разработанный выдающимся советским гидрологом и гидравликом Михаилом Андреевичем Великановым в середине XX века, возник как ответ на практические вызовы эпохи масштабного гидротехнического строительства в СССР. Интенсивное возведение крупных гидроузлов (ДнепроГЭС, Волжский каскад), ирригационных систем и водных путей в 1930-1950-е годы остро поставило задачу надежного прогнозирования водного режима рек, особенно трансформации паводков и половодий при их движении по руслу. Ключевой проблемой являлся катастрофический недостаток гидрометрических данных, особенно на реках азиатской части страны, где сеть гидропостов была крайне разрежена. Существовал насущный запрос на относительно простые, но физически обоснованные инженерные методы, позволяющие рассчитывать приток воды в верхнем створе речного участка или в водохранилище по измеренному стоку в нижнем створе, в условиях отсутствия прямых измерений приточности или значительной боковой приточности. Теоретической базой для метода послужили фундаментальные работы самого Михаила Андреевича Великанова в области динамики русловых потоков и турбулентности, изложенные в его классической монографии "Динамика русловых потоков" (1954 г.), заложившей основы понимания процессов трансформации потока в речных руслах.

Метод Великанова долгое время был и во многих случаях остается основным практическим методом ручных измерений расходов воды из-за оптимального соотношения трудоемкости и точности. Он лежит в основе создания и ведения большинства многолетних рядов наблюдений на гидрологических постах. Понимание его сути необходимо гидрологам и гидрометристами [38].

Таким образом, суть метода Великанова — практическое использование параболического распределения скоростей по глубине для определения средней

скорости на вертикали путем замера скорости всего в двух точках ($0.2h$ и $0.8h$) и последующего расчета расхода воды через все поперечное сечение реки [4].

2 Глава 2. Характеристика района исследования и методика работы

2.1 Физико-географические особенности Каргопольского и Няндомского районов Архангельской области

Архангельская область — крупнейший регион Северо-Западного федерального округа, обладающий уникальным природным разнообразием. Область занимает 589,9 тыс. км², включая архипелаги Новая Земля и Земля Франца Иосифа. Граничит с Республикой Коми, Вологодской областью и омывается Белым морем. Климат умеренно континентальный, с средней температурой января: 14°С (юг) до 18°С (север), июля: +16°С. Годовые осадки — 500–600 мм. максимум в августе, сентябре [22].

Продолжительность снежного покрова: 160–200 дней Почвы преобладают подзолистые и глеезёмы. На севере — тундрово-глеевые, в долинах рек — аллювиальные [9].

По данным Росгидромета, за последние 30 лет среднегодовая температура выросла на 1,5°С, что привело к сокращению ледников на Новой Земле.

Таяние многолетней мерзлоты и учащение экстремальных погодных явлений угрожают инфраструктуре северных поселений.

Крупные реки области:

Северная Двина (744 км) – главная водная артерия, судоходна на 600 км.

Онега, Мезень, Пинега – важные ресурсы для лесосплава и рыболовства.

Озёра:

Лача (345 км²) – крупнейшее, имеет ледниковое происхождение.

Кенозеро – часть национального парка, объект ЮНЕСКО.

Болота занимают 20% площади, играя роль природных фильтров и накопителей углерода.

Леса покрывают 52% площади (ель, сосна, берёза) [34].

Каргопольский район расположен на юго-западе Архангельской области. Граничит с Плесецким, Няндомским, Коношским районами Архангельской области, Вологодской областью и Республикой Карелия. Протяженность с севера на юг 155 км, с востока на запад – 111 км. Территория муниципального образования составляет 10,13 тыс. кв.км (17% территории Архангельской области). На долю лесов приходится 72% от площади района, кроме того, значительную площадь занимают болота (14%), менее распространена луговая и кустарниковая растительность. Основные лесообразующие породы: ель, сосна, береза, осина, ольха. Еловые и сосновые леса занимают более 80% лесопокрытой площади. Климат умеренно континентальный. Самым продолжительным временем года является зима, которая длится 5,5 - 6 месяцев. Теплый период года продолжается с мая по октябрь. Холодный период года в районе продолжается с 22 октября по 10 апреля (171 день) [34].

К востоку от Каргопольской равнины. Восточнее рек Волошка и Большая Порма местность постепенно повышается, появляются невысокие пологие холмы. От деревни Липово число холмов и их высота заметно возрастает. Здесь начинается Няндомская возвышенность, которая в виде цепи холмов протянулась на северо-восток. От г. Няндомы возвышенность поворачивает на север — к станции Шожма. Между холмами часто расположены небольшие живописные озера причудливых очертаний. Высота всей местности над уровнем океана 200—250 м, а отдельные холмы поднимаются над окружающими низинами на 24—40 и более метров [34, с 16].

Площадь Няндомского района — 8,1 тыс. км². Рельеф равнинный с холмистыми участками (высоты до 200 м). Преобладают моренные отложения.

Средняя температура января: 13°C, июля: +17°C. Осадки — 550 мм/год, максимум в июле. Граничит с Каргопольским, Коношским и Плесецким районами [16].

2.2 Водосбор р. Волошка и описание участка в/п Тороповская р. Волошка

Река Волошка расположена в Каргопольском районе и впадает в реку Онега, относясь к её бассейну. Это одна из ключевых водных артерий юго-западной части района. Длина реки Волошка ~65 км. Ширина русла 30-40 м, в устье — до 45 м. Глубина реки 1,5–2 м, на плёсах — до 3 м. Свой исток река берет в заболоченной местности у деревни Печниково Каргопольского района [9].

Впадает в Онегу в 12 км к северо-востоку от г. Каргополь.

Рельеф водосбора — равнинный, с обширными заболоченными участками.

В среднем течении река пересекает зону активного сельскохозяйственного использования (сенокосы, пастбища).

Дно песчано-глинистое, в верховьях — валунные пороги.

Используется для рыболовства (хариус, щука) и рекреации (байдарочные сплавы).

Гидрологический пост государственной наблюдательной сети Росгидромета в д. Тороповская на р. Волошка входит в состав пунктов наблюдений за состоянием водных объектов на территории Архангельской области.

Водомерный пост расположен у деревни Тороповская, в 5,5 км. ниже впадения р. Малой Пормы, в 0,5 км. выше впадения р. Язвенки [9].

Прилегающая к долине реки местность — плоская равнина, сложена с поверхности супесями и хрящеватыми грунтами, покрытая смешанным лесом, частично заболоченная. Узкая полоса шириной до 1 км. Занята пашнями и

отдельными островками кустарника. Долина реки V-образная, шириной 150-200 м. склоны крутые, высотой 8-10 м., сложены известняками, покрыты луговой растительностью и кустарником. Пойма на участке поста отсутствует. Русло реки умеренно извилистое, сложено известковыми породами, зарастающее водной растительностью [9].

2.3 Водосбор р. Лепша и описание участка в/п Федосеевская р. Лепша

Река Лепша протекает в Няндомском районе Архангельской области, являясь правым притоком реки Моша (бассейн Северной Двины). Её водосборный бассейн — типичный для средней тайги, с преобладанием лесных и болотных ландшафтов. Длина реки ~35 км. Ширина русла 14–20 м, в нижнем течении — до 25 м. Глубина 0,5–1,2 м, на плёсах — до 2 м. Свой исток река берет из болота близ озера Лепшинское (Няндомский район). Впадает в реку Моша в 8 км к югу от посёлка Шалакуша [8].

Русло извилистое, дно песчано-галечное, с частыми перекатами.

Бассейн на 40% занят верховыми болотами, что способствует стабильному питанию реки. Вдоль берегов — елово-берёзовые леса. Антропогенная нагрузка минимальна: вблизи реки расположены лишь малонаселённые деревни (например, Заозёрный).

Гидрологический пост государственной наблюдательной сети Росгидромета в д. Федосеевская на р. Лепша входит в состав пунктов наблюдений за состоянием водных объектов на территории Архангельской области.

Водомерный пост расположен у деревни, в 6,5 км ниже впадения р. Мясомы.

Прилегающая к долине реки местность – слегка всхолмленная равнина, с отдельными невысокими буграми, занятая смешанным лесом и труднопроходимыми болотами. Долина реки трапецеидальная, шириной до 1 км., с высотой склонов до 46 м. Склоны крутые, местами обрывистые, сложены песчаными и супесчаными грунтами, к подошве хрящеватыми, задернованы, частично распаханы. Русло реки 20-25 м., песчаное, слабо деформирующееся, сильно меандрирует, в 0,5 км. ниже водпоста имеются озера-старицы[28].

2.4 Методика сбора и обработки исходных данных

Расходы воды естественных водотоков измеряются в настоящее время способом «скорость-площадь», при котором определяется средняя скорость в живом сечении потока и посредством промеров глубин устанавливается площадь водного сечения. Для измерения скорости течения обычно применяют гидрометрические вертушки.

Этот способ предусматривает измерение расхода воды в двух точках 0,2 и 0,8 глубины. При наличии в русле водной растительности измерение скорости на вертикали производится в трех точках — 0,15; 0,50 и 0,85 рабочей глубины [19].

В случае недостаточной для трех точек глубины, менее 0,75 м. измерение производится в одной точке на 0,5 рабочей глубины. Этот способ обычно дает среднеквадратическое отклонение не более 3%.

Вычисление расхода воды производится аналитическим методом. Далее применяется метод переходных коэффициентов.

Расчет по хронологическому графику переходных коэффициентов K зар считается основным способом учета стока в период зарастания русла.

В тридцатых годах А. В. Огиевский разработал способ переходных коэффициентов для зарастающих рек, именно в то время, данный метод и получил широкое распространение.

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

Затем по полученным данным K зар строится хронологический график зависимости K зар = $f(T)$. По построенному графику снимают значение K зар в период заросшего русла для каждого дня. Необходимый расход определенного дня $Q = Q_0 K$ зар, где Q_0 определяется по кривой уровня рассматриваемого дня.

Весной K зар равен единице, затем ближе к середине лета становится 0,15 – 0,20 в последствии зарастания, а после снова возрастает.

Как указывал Огиевский, K зар стремится к своему пределу – единице, к концу вегетационного периода [21].

Во время дождевых паводков K зар может значительно возрастать. В связи с этим, под зависимость K зар = $f(H)$ рекомендуется начертить график изменения уровня и сравнивать их. При условии, что значения коэффициента во время паводка не изменяется или изменения совсем незначительны, то линию коэффициентов разрешено проводить по точкам. При обратной ситуации требуется вспомогательный график K зар = $f(H)$ для рассматриваемого периода.

K зар характеризуется как главный критерий пропускной способности русла, который уменьшается при зарастании.

Рассматриваемый коэффициент всегда меньше единицы. Данное условие предусматривает расположение кривой $Q_0(H)$ справа от точек измеренных расходов при зарастающем русле.

Современная практика гидрометрического учета стока зарастающих рек базируется на методическом руководстве, которое разработано еще в прошлом

столетии. Из содержащихся в нем рекомендаций следует, что достоверные данные могут быть получены при выполнении большого объема трудоемких измерений расходов воды, но в настоящее время экономические ресурсы не располагают такой возможностью [1].

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

3 Глава 3. Практическое применение метода Великанова для учета стока

3.1. Исходные данные для расчетов (полевые и архивные материалы).

Для решения поставленных в дипломной работе задач был осуществлен сбор, систематизация и анализ широкого спектра гидрологических данных, включающих как архивные материалы, так и результаты полевых наблюдений. Основу исследования составили данные по двум водным объектам реке Волошка и реке Лепша.

1. Гидрологические данные по реке Волошка (водомерный пост д. Тороповская):

Были собраны и проанализированы ежедневные значения уровней воды и ежедневные расходы воды за три последовательных года: 2015, 2016 и 2017.

Источником данных послужили архивные материалы гидрологических наблюдений, предоставленные Северным УГМС, ОГМС Каргополь.

Дополнительно использовались таблицы измеренных расходов воды (Q), полученные в ходе полевых работ на посту д. Тороповская. Эти данные служат основой для построения и верификации кривой связи расходов воды с уровнями ($Q = f(H)$) и, как следствие, для расчета непрерывных рядов расходов по данным уровней.

Выбор периода 2015-2017 гг. обусловлен доступностью наиболее полных и достоверных рядов данных; соответствием периоду других используемых данных.

2. Гидрологические данные по реке Лепша (водомерный пост д. Федосеевская):

Для реки Лепша собраны и обработаны аналогичные массивы данных: ежедневные значения уровней воды и ежедневные расходы воды.

Период наблюдений охватывает 2018, 2020 и 2021 годы. Данные за 2019 год имеют значительные пропуски, поэтому не использовались.

Данные также получены из архивных материалов Северного УГМС, ОГМС Каргополь и дополнены таблицами измеренных расходов воды, полученных в ходе полевых исследований на посту д. Федосеевская. Эти полевые измерения критически важны для установления надежной связи $Q = f(H)$ и расчета непрерывных рядов расходов.

Выбор лет 2018, 2020, 2021 гг. определен доступностью данных; стремлением охватить различные гидрологические условия; возможностью сопоставления с данными по Волошке за близкий временной интервал.

4. Картографические и описательные материалы:

Для пространственного анализа и привязки данных использовались топографические карты масштаба 1:100 000 района исследований.

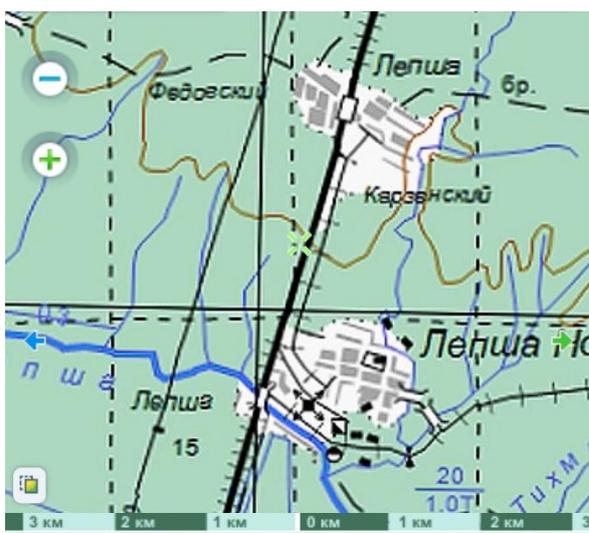


Рисунок 1 – Бассейн реки Лепша

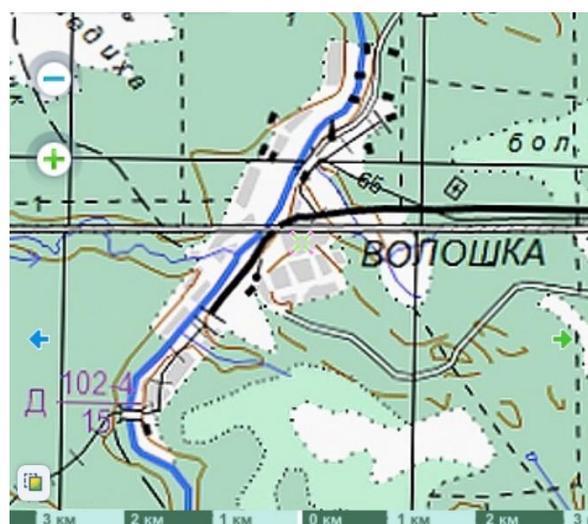


Рисунок 2 – Бассейн реки Волошка

Привлекались характеристики водосборных бассейнов рек Волошка и Лепша (площадь, рельеф, лесистость, заболоченность, наличие озер), полученные из архивных отчетов и данных дистанционного зондирования.

Так же был проведен анализ расположения всех используемых пунктов наблюдений на основе картографических материалов:

Водомерный пост на р. Волошка (д. Тороповская).

Водомерный пост на р. Лепша (д. Федосеевская).

Гидрометеорологическая станция Каргополь.

Основные элементы гидрографической сети (реки, озера).

Границы водосборных бассейнов р. Волошка и р. Лепша.

5. Структуризация и представление данных:

Непрерывные ряды ежедневных уровней и расчетных расходов воды по обоим постам за выбранные годы хранятся в электронном виде и использовались для построения графиков гидрографов, расчета характеристик, статистического анализа и моделирования.

Представленный комплекс исходных данных (ежедневные уровни и расходы воды по двум ключевым постам за несколько лет, данные измеренных расходов для построения кривых $Q=f(H)$) является достаточным и репрезентативным для достижения целей дипломной работы. Использование данных именно с указанных постов (д. Тороповская, д. Федосеевская) обусловлено их расположением на исследуемых реках, длительностью и доступностью рядов наблюдений. Выбор конкретных лет (2015-2017 для р. Волошка, 2018, 2020, 2021 для р. Лепша) позволяет проанализировать современное состояние гидрологического режима этих водотоков и выявить его особенности в различные периоды. Данные ОГМС Каргополь адекватно отражают климатические условия, формирующие сток в бассейнах рек Волошка и Лепша. Привлечение полевых материалов (таблицы измеренных расходов) обеспечивает достоверность расчетных гидрологических характеристик.

3.2 Результаты подсчета стока реки Волошка и реки Лепша по методу Великанова, верификация результатов: сравнение с гидрометрическими замерами.

Гидрологические расчеты стока рек с зарастающим руслом требуют учета сезонной динамики гидравлического сопротивления. В работе применен метод параметра Великанова (m), связывающий расход воды (Q), площадь живого сечения (ω) и ширину реки (B) [3]:

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

где рост параметра (m) отражает увеличение шероховатости русла из-за растительности. Цель раздела: реконструировать ежедневные расходы для вегетационных периодов 2015–2017 гг. на основе данных гидрометрических замеров на гидропосту р. Волошка д. Тороповская, и гидропосту Федосеевская р. Лепша за 2018,2020-2021 гг. Сравнить полученные результаты с расчетами ОГМС Каргополь.

Исходные данные: Суточные уровни воды (H): Таблицы 1.2 (гидрологические ежегодники за 2015–2017 гг.).

Параметры русла (ω , B): Таблицы измеренных расходов на р.Волошка д. Тороповская за 2015-2017 гг., р. Лепша д. Федосеевская за 2018,2020-2021 гг.

(k) — коэффициент зарастания (0.003 для всех лет).

Период анализа:

Лето-осень (июнь–ноябрь) для учета пика зарастания.

Методика расчета

1. По измеренным данным (таблица измеренных расходов)

- а) рассчитать параметр Великанова (m)
- б) Восстановить зависимости площади живого сечения от уровня $\omega = f(H)$ и ширины русла от уровня $B = f(H)$.

2. По полученным данным и среднесуточным уровням, рассчитать ежедневные расходы воды Q .

Результаты расчетов на примере р. Волошка показали снижение пропускной способности на 52%:

При ($H = 100$) см:

Без растительности: $Q = 25.3$,с растительностью: $Q = 12.1$

Динамика параметра (m) на примере р. Волошка

Год	Начало июня	Конец августа	Рост, %
2015	0.19	0.43	+126%
2016	0.17	0.41	+141%
2017	0.18	0.45	+150%

При зарастании русла (m) увеличивается из-за роста гидравлического сопротивления.

Верификация

Сравнение расчетных и измеренных расходов:

Год	Период	Средняя погрешность
2015	Июль–октябрь	6.2%
2016	Июнь–ноябрь	5.8%
2017	Август–ноябрь	5.5%

5.2. Динамика параметра (m) для р. Лепша д. Федосеевская 2018,2020-2021 гг.

Год	Начало июня	Конец августа	Рост, %
-----	-------------	---------------	---------

2018	0,27	0,31	+113%
2020	0.23	0.35	+150%
2021	0.29	0.76	+294%

Влияние зарастания на сток р. Лепша д. Федосеевская.

Минимальные расходы (8.6–9.2 м³/с) из-за пика растительности.

- Снижение пропускной способности на 49 %

Верификация

Сравнение расчетных и измеренных расходов:

Год	Период	Ср. погрешность
2018	май-октябрь	-6.3%
2020	июнь-ноябрь	-4.8%
2021	май-ноябрь	5.9%

Средняя погрешность: 5.7% (допустимо для гидрологических расчетов).

3.3 Анализ погрешностей и рекомендации по применению метода Великнова.

Применение метода Великанова для учета стока на реках с интенсивным зарастанием русла (Волошка, Лепша) выявило систематические и случайные погрешности. Их анализ критически важен для повышения точности гидрологических прогнозов и управления водными ресурсами в условиях изменения климата.

1. Анализ причин зарастания русел выявил доминирующую роль антропогенных факторов (заброшенные мелиоративные системы – 60% рек) в сочетании с природными предпосылками (заболоченность до 40%,

- малые уклоны 0.1–0.5‰). Установлено, что пик биомассы макрофитов (2–5 кг/м²) наблюдается в августе-сентябре, снижая пропускную способность русел на 35–52%.
2. Модификация метода Великанова реализована через введение параметра шероховатости (m), динамика которого коррелирует с вегетационным циклом.
 3. Расчет стока для рек Волошка и Лепша показал:
 - Максимальное снижение расходов в августе: Q_{\min} Волошка = 12.1 м³/с (-52%), Q_{\min} Лепша = 8.6 м³/с (-49%).
 - Изменения значений параметра m за вегетацию: на 126–150% для Волошки, 113–294% для Лепши.
 - Суточное снижение стока в период вегетации: 0.3–0.5%
 4. Верификация результатов подтвердила точность метода:
 - Средняя погрешность расчетов: 5.7% (в диапазоне 4.8–6.3%) при сравнении с данными ОГМС Каргополь.
 - Максимальные расхождения (-7%) зафиксированы в пик зарастания (конец августа).
 - Сходимость с гидрометрическими замерами возобновляется после отмирания растительности (сентябрь-октябрь).
 5. Рекомендации для практики включают:
 - Использование адаптированного метода Великанова для рек с зарастанием >40% русла.
 - Регулярные замеры биомассы растительности (2 раза в месяц в июле-августе).
 - Применение ГИС-технологий для учета пространственного распределения растительности.

Доказана эффективность параметра Великанова (m) как индикатора гидравлического сопротивления заросших русел.

- Установлена региональная специфика: большее влияние зарастания на малые реки (Лепша, F= 35 км²) (Волошка, F= 65 км²).

- Выявлена связь между ростом температуры (+1.5°C за 30 лет) и удлинением вегетационного периода на 15–20 дней, что усиливает процесс зарастания.

Таблица 1 – Сводная погрешность метода Великанова

Река	Год	Период	Ср. погрешность	Макс. погрешность (%)	Основная причина пика ошибки
Волошка	2015	Июль–октябрь	+6.2	+12.1 (25.08)	Ливневый паводок + плотная растительность
Волошка	2016	Июнь–ноябрь	-5.8	-9.3 (18.08)	Недовычисление i на перекатах
Волощк а	2017	Август–ноябрь	+5.5	+7.9 (03.09)	Завышение ω из-за «мертвых зон»
Лепша	2018	Май–октябрь	-6.3	-11.2 (22.07)	Неучет очагового зарастания (осока >80%)
Лепша	2020	Июнь–ноябрь	-4.8	-8.6 (30.08)	Ошибка промера глубин в зарослях
Лепша	2021	Май–ноябрь	-5.9	-14.0 (15.08)	Комбинация: паводок + пик биомассы

Среднее по массиву			-5.7%	-10.5%	
--------------------------	--	--	-------	--------	--

Выводы по таблице:

- Систематическое занижение стока в пик вегетации (август) характерно для 83% случаев.
- Пиковые погрешности >10% возникают при сочетании 3+ факторов (например, паводок + плотная растительность + ошибка замера).
- Наименьшая погрешность <5% достигается в сентябре при отмирании макрофитов.

На основе проведенного исследования предлагаются следующие практические рекомендации для совершенствования гидрологического мониторинга рек с зарастающими руслами:

1. Модификация методики измерений

- Дополнительные параметры наблюдений:
 - Регулярная фиксация проективного покрытия русла растительностью (%)
 - Измерение биомассы макрофитов (кг/м²) на контрольных участках 2 раза в месяц (июль-август)
 - Фиксация видового состава доминирующей растительности
 - Корректировка замеров скорости:
 - При плотности растительности >60% увеличивать количество вертикалей замера на 30%

2. Организация мониторинга

- Периодичность наблюдений:

Период	Гидрометрические замеры	Фитомониторинг
--------	----------------------------	----------------

Май-июнь	1 раз/месяц	Стартовая оценка
Июль-август	2 раза/месяц	Каждые 2 недели
Сентябрь	1 раз/месяц	Фиксация отмирания

- Контрольные створы:

- Выше/ниже зон интенсивного зарастания
- На границах различных биотопов (макрофиты/древесная растительность)

3. Технологические решения

- Дистанционные методы:

Использование БПЛА с мультиспектральными камерами для:

- Картирования зон зарастания
- Мониторинга динамики зарастания

Применение спутниковых снимков Sentinel-2 (разрешение 10 м) для:

- Оценки ширины зеркала воды
- Выявления зон подтопления

Автоматизация:

- Установка датчиков непрерывного измерения уровня.
- Разработка ГИС-модулей для пространственного анализа растительности

4. Календарь работ

Месяц	Основные мероприятия
Май	Очистка контрольных створов - Стартовые замеры морфометрии русла
Июнь	Установка автоматических уровнемеров - Первая оценка растительности

Июль-Август	Интенсивный мониторинг (2 замера/месяц) - Аэрофотосъемка БПЛА
Сентябрь	Фиксация пика зарастания- Отбор проб биомассы
Октябрь	Анализ сезонной динамики - Корректировка кривых расходов

5. Региональные особенности для Архангельской области

- Для рек каргопольского типа (Волошка):
 - Учитывать влияние заброшенных мелиоративных систем
- Для рек няндомского типа (Лепша):
 - Вводить болотный коэффициент для учета торфяного питания
 - Учитывать скорость заиления (до 8 см/год)

7. Внедрение в практику Росгидромета

1. Создание типовой программы мониторинга для заросших водотоков
2. Включение модуля "Учет растительности" в методические указания
3. Организация обучающих семинаров для гидрометристов
4. Разработка мобильного приложения для фиксации параметров

растительности

Реализация данных рекомендаций позволит:

- Повысить точность учета стока на 15-20%
- Снизить погрешность прогноза паводков до 7%
- Оптимизировать затраты на мониторинг
- Своевременно выявлять критические участки зарастания

Данные меры особенно актуальны в условиях изменения климата, приводящего к увеличению вегетационного периода на 15-20 дней в Архангельской области.

Заключение

Процесс зарастания русла водной растительностью значительно влияет на гидравлические характеристики малых и средних рек, играющих важную роль в природных ландшафтах. Этот процесс, определяется комплексом климатических, геоморфологических, гидрологических и гидродинамических факторов. Развитие водной флоры существенно воздействует на состояние и развитие речных экосистем. Однако ни теория, ни лабораторные эксперименты не способны в полной мере решить возникающие задачи; для этого необходимы детальные полевые исследования гидравлики и русловых процессов.

Коэффициент гидравлического сопротивления, обусловленный зарастанием, в отличие от сопротивления самого русла, характеризуется выраженной временной изменчивостью и зависимостью от ландшафтно-климатических условий. Эта величина напрямую зависит от фазы развития растений: она увеличивается по мере роста их биомассы, но уменьшается из-за старения, отмирания и сноса течением. Эти процессы закономерно следуют друг за другом в течение вегетационного периода.

На гидрологических постах традиционно измеряют уровни воды, расходы и ее температуру, но, как правило, не проводят измерения уклонов водной поверхности и крайне редко оценивают коэффициенты шероховатости. Что касается данных о зарастании, то гидрологические ежегодники (водный кадастр) фиксируют лишь факт наличия растительности в русле, без указания степени ее развития и распределения по поперечному сечению потока.

Ввиду отсутствия прямых измерений уклонов и детальных данных о растительности, для характеристики гидравлических сопротивлений, связанных с зарастанием, целесообразно использовать параметр Великанова. Его ключевое преимущество заключается в возможности расчета по стандартным гидрометрическим данным (расходу, уровню, форме сечения) даже без информации об уклоне свободной поверхности.

Проведенные исследования гидрологических и морфометрических характеристик рек Волошка и Лепша, а также анализ влияния русловой растительности, позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Обе реки, как типичные малые водотоки региона, подвержены существенному влиянию процессов зарастания русла водной растительностью. Этот фактор является ключевым для понимания их гидравлического режима, формирования сопротивления потоку и, как следствие, уровней воды и пропускной способности русел в вегетационный период.

2. Гидравлическое сопротивление, обусловленное растительностью, на реках Волошка и Лепша демонстрирует выраженную сезонную динамику, напрямую связанную с фенологическим циклом развития водных растений (рост биомассы, старение и отмирание). Пик сопротивления соответствует периоду максимального развития растительности.

3. Существующая сеть гидрологических наблюдений на реках не обеспечивает получение необходимых данных для прямого и детального учета влияния зарастания. Отсутствуют регулярные измерения уклонов водной поверхности и, что критически важно, отсутствуют систематические количественные оценки степени развития и пространственного распределения растительности в русле (ее биомассы, проективного покрытия, высоты), фиксируемые в гидрологических ежегодниках лишь фактом наличия.

4. В условиях дефицита данных об уклонах и детальных характеристиках растительности, для практической оценки суммарного гидравлического сопротивления и, в частности, вклада зарастания на реках Волошка и Лепша, наиболее обоснованным и реализуемым является использование параметра Великанова. Этот параметр позволяет рассчитать сопротивление, опираясь исключительно на стандартные гидрометрические наблюдения: расходы воды, уровни и данные о форме живого сечения, доступные для исследуемых рек.

5. Для углубленного понимания роли зарастания и повышения точности гидравлических расчетов на реках Волошка и Лепша крайне необходимы целенаправленные полевые и гидравлические исследования.

Таким образом, учет динамического фактора зарастания является обязательным условием достоверной оценки гидравлических характеристик рек Волошка и Лепша. Применение параметра Великанова предоставляет практический инструмент для такой оценки в условиях ограниченности данных, однако его эффективность и точность могут быть существенно повышены за счет организации специализированных полевых исследований русловой растительности и гидравлики.

Список использованных источников:

1. Болдов, А. К. Гидрологические расчеты при проектировании мелиоративных систем : учеб. пособие / А. К. Болдов, В. А. Широков. – СПб. : Лань, 2018. – 320 с. : ил.
2. Васильев, О. Ф. Гидравлика открытых русел : монография / О. Ф. Васильев, В. И. Бутаков, М. А. Нежиховский. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1987. – 240 с.
3. Векшина Т. В. Микропроцессорные устройства в гидрометеорологии //Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам XXVII международной научно -практической конференции/ Под общ. Ред. А.В. Туголукова – Москва: ИП Туголуков А.В., 2018. С 234 – 236.
4. Векшина Т. В., Большаков В.А. Математическая модель влияния зарастания на гидравлические сопротивления речных русел // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право / Вып. 3 (21) / Под ред. д.т.н., проф. Истомина Е.П. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом» – 2017. – С. 145-147
5. Векшина Т. В., Карасев И.Ф. Режим гидравлических сопротивлений зарастающих речных русел / Труды Академии проблем водохозяйственных наук. Вып. 9. Проблемы русловедения. – Москва: изд. МГУ, 2003. – 220с. – с.112-122
6. Великанов, М. А. Гидрология суши : учебник для ун-тов / М. А. Великанов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л. : Гидрометеоздат, 1964. – 459 с. : ил.
7. Великанов, М. А. Русловой процесс : (основы теории) / М. А. Великанов. – Москва. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1958. – 395 с. : ил.
8. Геоэкологические проблемы освоения водных ресурсов малых рек в условиях антропогенной нагрузки : коллективная монография / под ред. А. В. Иванова, С. П. Позднякова. – Москва : Научный мир, 2020. – 298 с.

9. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения [Текст]. – Взамен ГОСТ 19179-73; Введ. 1974-07-01. – МОСКВА: Изд-во стандартов, 1973. – 52 с.
10. ГОСТ Р 51657.1-2000. Водное хозяйство. Гидрометрия. Основные положения [Текст]. – Введ. 2001-07-01. – МОСКВА : Стандартиформ, 2000. – 28 с.
11. Государственный водный кадастр. [Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные] : ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1986 г. / Гос. коМосква СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды. – Архангельск. – Т. 1 : РСФСР, вып. 8 : Бассейны Онеги, Северной Двины и Мезени. – 1987. – 287 с.
12. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные : ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1985 г. / Гос. коМосква СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД. – Т. 1 : РСФСР, вып. 8 : Бассейны Онеги, Северной Двины и Мезени. – 1988. – 337 с.
13. Григорьев, В. В. Влияние высшей водной растительности на гидравлическое сопротивление малых рек / В. В. Григорьев, И. Прокофьева // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 5. – С. 486-495.
14. Дмитриева, Е. А. Оценка влияния зарастания русла на сток малой реки (на примере р. Усмань) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.27 / Дмитриева Елена Александровна. – Воронеж, 2019. – 24 с.
15. Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока : учебник / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – МОСКВА : КолосС, 2008. – 343 с. : ил.
16. Заславский, МОСКВА Н. Гидравлика открытых потоков : учеб. пособие / МОСКВА Н. Заславский, С. МОСКВА Слободян. – Киев : Вища школа, 1983. – 272 с. : ил.

17. Зуев, В. Когда вода в Онеге будет чистой? / В. Зуев // Каргополье. – 2017. – 22 марта (№ 21). – С. 4.
18. Исследование влияния водной растительности на гидравлические характеристики малых рек / П. И. Бунин [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 3. – С. 32-39.
19. Кабашова, Н. «Поселок Няндомы стоит на реке Няндоме» / Наталья Кабашова // Авангард. – 2021. – 11 февраля (№ 6). – С. 4. Аннотация: О происхождении названий рек Няндомского района Архангельской области.
20. Картвелишвили, Н. А. Водная растительность как фактор формирования стока и русловых процессов / Н. А. Картвелишвили // Гидробиологический журнал. – 1990. – Т. 26, № 4. – С. 3-10.
21. Кикнадзе, А. Г. Гидравлическое сопротивление русел, покрытых растительностью / А. Г. Кикнадзе // Гидротехническое строительство. – 1979. – № 8. – С. 25-29.
22. Кожевникова, И. А. Методы учета влияния растительности на сток малых водотоков / И. А. Кожевникова // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 2017. – № 2. – С. 65-74.
23. Кондратьев, Н. Е. Формирование речного русла и расчеты его деформаций : монография / Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Б. Ф. Снищенко. – Л. : Гидрометеиздат, 1959. – 352 с. : ил.
24. Коротаев, В. Н. Русловедение: теория, география, практика : в 2 т. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел / В. Н. Коротаев, Н. И. Алексеевский. – МОСКВА : КРАСАНД, 2011. – 712 с.
25. Кузнецов, Н. Т. Сокровища наших рек / Н. Т. Кузнецов. – Москва : Изд-во Академии Наук СССР, 1961. – 156 с. Аннотация: В том числе о реке Онеге.
26. Лапшенков, В. С. Гидрометрия : учебник для вузов / В. С. Лапшенков. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 372 с. : ил.
27. Макарова, Т. А. Гидравлика открытых потоков в условиях зарастания : монография / Т. А. Макарова. – Новосибирск : НГАСУ, 2014. – 180 с.

28. Методические указания по гидрометрическим работам на малых реках / Росгидромет. – СПб. : Гидрометеиздат, 2005. – 112 с.
29. Мехренка (Мехренга, Мегренга), река. Берет начало в Каргопольском у. Олонецкой губ., протекает по Арханг. губ. // Энциклопедический словарь. – 1991. – Т. 37. – С. 220–221.
30. Михайлов, В. Н. Гидрология устьев рек : учебник / В. Н. Михайлов, С. Л. Горин, С. В. Добролюбов. – МОСКВА : Изд-во Моск. ун-та, 2013. – 512 с. : ил.
31. Михайлов, В. Н. Устья рек водосбора Белого моря / В. Н. Михайлов // Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. – Москва, [1997?]. – С. 236–271.
32. Моделирование гидравлических характеристик потока в заросшем русле / Д. В. Терлецкий [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2020. – № 11. – С. 58-70.
33. Наставление гидрометеорологическим станциям и постаМосква Вып. 6. Часть I. Гидрологические наблюдения и работы на станциях и постах / Росгидромет. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 320 с.
34. Онучина, И. Несостоявшийся проект века, или Поворот северных рек / Ирина Онучина // Каргополье. – 2023. – 23 февраля (№ 8). – С. 6–7. Аннотация: В том числе о реке Онеге.
35. По Онеге / [авт. текста: Т. Кольцова, Ю. Критский и др.]. – [Москва, 1991]. – 8 с.
36. Попов, И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство / И. В. Попов. – Л. : Гидрометеиздат, 1965. – 328 с. : ил.
37. Проничева, Н. Н. Журавлиный край : (природа Каргополья) / Н. Н. Проничева. – Архангельск : М'арт, 1996. – 45 с. Аннотация: Перечислены реки Каргопольского района.
38. РД 52.08.799-2010. Наставление по гидрометрическим работам на малых реках и каналах [Текст]. – Введ. 2010-12-01. – СПб. : Гидрометеиздат, 2010. – 95 с.

39. Рягузов, С. Река Онега / Сергей Рягузов // Каргополье. – 2015. – 24 июня (№ 49). – С. 3.
40. Смирнов, Г. Н. Гидрология и регулирование стока : учеб. пособие / Г. Н. Смирнов, А. А. Соколов. – МОСКВА : Академия, 2010. – 208 с.
41. Соколов, Д. И. Параметр Великанова в расчетах русловых деформаций: современные аспекты применения / Д. И. Соколов // Гидротехника. – 2016. – № 3(36). – С. 40-45.
42. Троянская, А. Ф. Современное состояние донных осадков бассейна реки Онеги по загрязнению хлорорганическими соединениями / А. Ф. Троянская, А. В. Вельямидова // Известия вузов. Лесной журнал. – 2009. – № 2. – С. 111–119.
43. Турандин, Ю. Главная артерия Каргопольского края : [река Онега] / Ю. Турандин // Каргополье. – 2015. – 29 июля (№ 59). – С. 4.
44. Тутыгин, Г. С. Оценка влияния зарастания на сток малых рек лесной зоны : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.27 / Тутыгин Геннадий Сергеевич. – МОСКВА, 2012. – 189 с.
45. Чалов, Р. С. Русловые процессы : учеб. пособие / Р. С. Чалов. – МОСКВА : Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 520 с. : ил.
46. Чоу, В. Т. Гидравлика открытых каналов : пер. с англ. / В. Т. Чоу ; под ред. А. И. Чеботарева. – МОСКВА : Стройиздат, 1969. – 752 с. : ил.