РГГМУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Построение кривых расходов воды на малых водотоках на примере ручьев Ленинградской области**

Исполнитель Наумов Николай Александрович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физ.-мат. наук

(ученая степень, ученое звание)

Саноцкая Надежда Александровна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2019 г.

Санкт–Петербург
2019

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 3
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ . 5
1.1 Общие сведения 5
1.2 Характеристика ландшафта рельефа, почв и растительности 6
1.3 Климатическая характеристика 11
1.4 Гидрографическое описание водных объектов 18
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ РАСХОДАМИ И УРОВНЯМИ ВОДЫ 21
2.1 Построение кривой расходов при однозначной зависимости между расходами и уровнями 21
2.2 Экстраполяция кривых расходов 23
2.3 Построение кривой расходов и подсчет стока воды при отсутствии однозначной зависимости между уровнями и расходами 27
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ КРИВЫХ РАСХОДОВ ДЛЯ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ 28
3.1 Общие сведения о выбранных водотоках 28
3.2 Ручей Нижний 28
3.3 Ручей Безымянный, приток р. Сестра 42
3.4 Ручей без названия, приток р. Охта 50
3.5 Ручей без названия, приток р. Малая Ижорка 58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 67

ВВЕДЕНИЕ

В гидрографической сети любого водосборного бассейна преобладают ручьи и малые реки. Они являются начальными звеньями гидрографической сети, формирующими более крупные реки.

Главная особенность формирования стока малых водотоков – их очень тесная связь с ландшафтом бассейна, что и обусловливает их уязвимость при чрезмерном использовании не только водных ресурсов, но и водосбора. Малые реки выполняют функции регулятора водного режима ландшафтов, поддерживая равновесие и перераспределение влаги. Они определяют также гидрологическую и гидрохимическую специфику средних и крупных рек.

Кривая расходов воды является одной из важнейших характеристик водного режима реки, в которой интегрируется влияние многих факторов, определяющих сток воды. [1]

Таким образом, вопросы исследования кривых расходов малых водотоков являются актуальными с научно-технической и прикладной точек зрения.

В качестве исходных данных для построения кривых связи $Q = f(H)$ использованы измеренные расходы воды по 4 ручьям Ленинградской области.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование кривых расходов воды на малых водотоках на примере ручьев Ленинградской области.

Объектом исследований выступают четыре ручья Ленинградской области, а предметом исследований являются кривые связи расходов и уровней воды.

Для достижения цели исследований поставлены следующие частные задачи:

a. Составление физико-географического описания ручьев Ленинградской области.
b. Обзор существующих методов построения кривых расходов.
c. Построение кривых расходов для выбранных водотоков.

d. Выработка предложений по практическому использованию полученных результатов.

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследований.

В первом разделе приводится физико-географическое описание района исследований.

Во втором разделе рассматриваются теоретические основы и существующие методы построения кривых расходов.

В третьем разделе представлены результаты построения кривых расходов для выбранных четырех ручьев Ленинградской области.

В заключении сформулированы основные результаты работы, полученные в рамках выпускной квалификационной работы, показана их практическая значимость.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие сведения

Выбранные ручьи Ленинградской области принадлежат водосбору Невы и Финского залива.

Нева – река в России, протекающая по территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга, соединяющая Ладожское озеро с Невской губой Финского залива Балтийского моря. При этом Нева является единственной рекой, вытекающей из Ладожского озера. Водосборная площадь бассейна реки составляет 281 тыс. км², учитывая, что длина Невы всего 74 км. Около 2% от общей площади бассейна составляет площадь собственного бассейна Невы равная 5,18 тыс. км^2. Судоходна река на всём своем протяжении и также является частью Волго-Балтийского водного пути и Беломорско-Балтийского канала. [2]

На территории нескольких субъектов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации (далее - СЗФО) расположена водосборная площадь реки: Санкт-Петербург, Ленинградская, Вологодская области, Новгородская и Республика Карелия; также часть водосборной площади размещается на территории Республики Финляндия.

Ленинградская область была образована 1 августа 1927 г. (в современных границах – с ноября 1944 г.). Входя в состав СЗФО, Ленинградская область граничит с пятью субъектами Российской Федерации: Санкт-Петербургом, Республикой Карелия, Псковской Новгородской и Вологодской областями. Ленинградская область делит границу также и с европейскими государствами: Финляндия и Эстония. С запада территория области омывается водами Финского залива. Площадь территории Ленинградской области составляет 85,3 тыс. км², из них 53,3 тыс. км² (более 60%) занимает водосборный бассейн Невы (с учетом всего Ладожского озера).

1.2 Характеристика ландшафта рельефа, почв и растительности

1.2.1 Рельеф

Территория бассейна р. Нева относится к двум физико-географическим странам: Русская равнина и Балтийский щит (рис. 1.2.1).

Рельеф бассейна был сформирован во время Валдайского оледенения в период 50-10 тыс. лет тому назад. В то время вынос преобладал на Балтийском кристаллическом щите, а на Русской равнине происходила аккумуляция ледниковых наносов. Это и стало определяющим для разнообразия «послеледникового» рельефа бассейна.

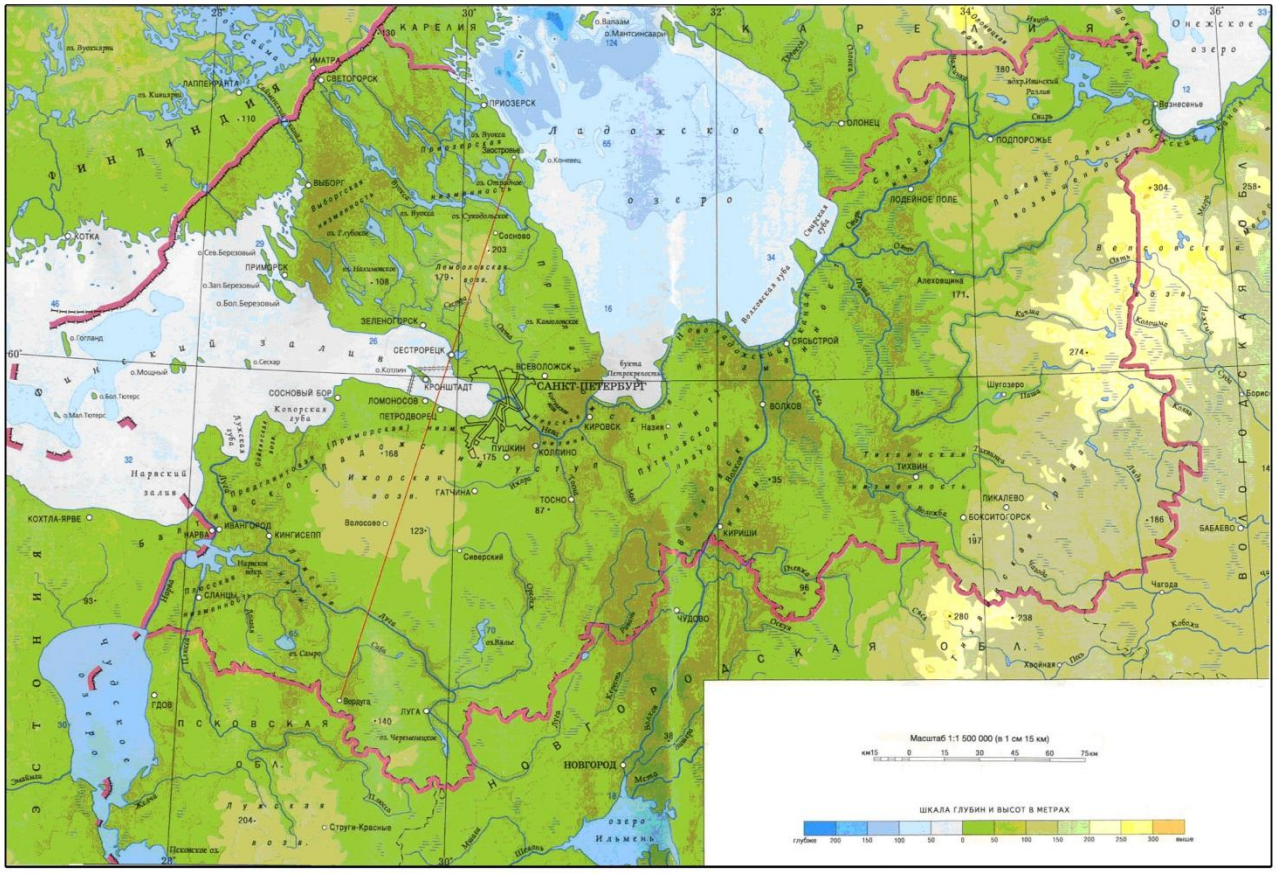

Рисунок 1.2.1 – Физико-географическая карта Ленинградской области [2]

По мере уменьшения ледникового покрова на возвышенностях Карельского перешейка и Ижорской возвышенности образовался холмисто-

моренный рельеф и моренные равнины, а также холмисто-котловинный камовый рельеф.

По характеру рельефа исследуемую территорию делят на два типа провинции: Балтийского щита и Северо-Западную провинцию.

Провинция Балтийского щита расположилась на крайнем западе района, который граничит с Финляндией и Республикой Карелия, и совпадает с выходом на поверхность скальных пород. Рельеф севера провинции представляет собой чередование гряд высотой 15-60 м, которые сложились из кристаллических пород и узкими межгрядовыми понижениями до 100 м шириной. Зачастую им сопутствуют реки и вытянутые озера, например, система озер Горское-Зайцево-Лунное, которые соединяет река Дымовка. На юге возрастает роль ледниковых аккумулятивных форм, при этом расчлененность и ориентированность рельефа уменьшается. Это связано с увеличением мощности четвертичных отложений, петрографическими и структурными особенностями коренных пород.

Остальная территория носит название Северо-Западной провинции и занята наиболее обширной провинцией аккумулятивного ледникового рельефа.

Балтийско-Ладожская низина располагается в пределах обширного понижения доледниковой поверхности и характеризуется однородным равнинным рельефом. Вдоль южного берега Ладожского озера простирается обширная озерная равнина с абсолютными отметками от 4 до 16 м, сформированная во время подъема уровня озера около 3,5 тыс. лет тому назад. С другой стороны, низина является комплексом террасовых ступеней, отмечающих уровни спада водоемов с абсолютными отметками от 0 до 110 м, наклоненных к Финскому заливу и Ладожскому озеру.

Среди возвышенностей выделяются следующие: протяженное Ижорское плато (до 160 м), Вепсовскую и Лемболовскую возвышенности (от 200 до 300 м), Тихвинскую гряду (до 280 м), единичные возвышенности около Санкт-Петербурга: Дудерговские, Пулковские и Парголовские высоты (от 100 до 300 м) и др.

Озерно-ледниковые равнины окаймлены поясом моренных равнин с отметками высот до 110 м. При это на выровненной поверхности иногда встречаются скопления валунно-галечного материала. К этой полосе присоединены обширные водораздельные болотные массивы.

1.2.2 Ландшафт

Как территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных и антропогенных компонентов и комплексов более низкого таксономического ранга, ландшафт является особым объектом для рационального использования, улучшения и охраны. Каждому ландшафту присуща определенная и характерная для него устойчивость к антропогенному воздействию (ГОСТ 17.8.1.01 [3]).

На исследуемой территории можно выделить различные природные и антропогенные (сельскохозяйственные и производственные) группы ландшафтов. К примеру, Ижорская возвышенность, южно-таежные моренные равнины (низины) на ленточных глинах, а также дренированные песчаные и заболоченные песчаные равнины.

С точки зрения сельскохозяйственного освоения наиболее трудоемкими считаются сильно расчлененные сельговые и холмисто-моренные ландшафты. В условиях Северо-Запада помимо крутых склонов на возвышенностях, большого количества валунов и разнообразия и мелкоконтурности угодий прибавляется неблагоприятная агроклиматическая обстановка.

Каждая группа ландшафтов обладает своим набором минеральных ресурсов. Низины на ленточных глинах дают основное сырье для производства кирпича, песчаные ландшафты Карельского перешейка и камовые ландшафты богаты песчано-гравийным материалом, месторождения гранита приурочены к сельговым ландшафтам, Ижорская возвышенность богата известняком и доломитом и т. д.

При этом наиболее благоприятными для сельскохозяйственного и промышленного использования считаются ландшафты моренных и песчаных озерно-ледниковых равнин. Для строительства из-за неустойчивых грунтов и

избыточного увлажнения ландшафты на ленточных глинах менее удобны. Аналогичная ситуация и с холмисто-моренными и камовыми ландшафтами в виду того, что присутствует пересеченность рельефа, заболоченность и высокая густота речной сети.

На исследуемой территории можно выделить подзоны средней и южной тайги. В пределах ландшафтной области выделяются ландшафтные провинции и подпровинции, каждая из которых является соответственно частью природной зоны или подзоны. Большая часть бассейна р. Нева расположена в восточноевропейском секторе таежной зоны в пределах Северо-Западной таежной провинции. Более 90% территории области относится к южнотаежной подпровинции и лишь небольшая площадь на крайнем северо-востоке - к северотаежной.

На северо-западе европейской части России наиболее характерными считаются ландшафты моренных заболоченных равнин. Рассматриваемая территории включает 4 ландшафта данной группы: Путиловский (Путиловское плато), Пашско-Сясьский, Вишерский и Верхне-Охтинский. При этом их поверхность несколько приподнята над озерно-ледниковыми равнинами и лежит на высоте 50-80 м над уровнем моря. На поверхности залегает покров донной морены последнего оледенения - валунный суглинок, сверху размытый и опесчаненный. Заболачивание данной территории произошло вследствие слабой расчлененности рельефа и слабой водопроницаемости грунтов. В естественных условиях на преобладающих здесь подзолистых почвах произрастают еловые леса – черничники, кисличники и дубравно-травяные, редко с примесью широколиственных пород. По мере удаления от речных долин эти леса переходят в долгомошные и сфагновые ельники и сосняки и в верховые болота. [2]

Лемболовская возвышенность, Мгинский и Средне-Оятский ландшафты относятся к камовым и камово-озерно-ледниковым ландшафтам. Ландшафты имеют сложный водно-ледниковый рельеф с камами, разбросанными по всей их территории. Вершины при этом покрыты сухими сосняками, а склоны –

брусничными и вересковыми борами. Камы чередуются с плоскими песчаными равнинами. Между камами находятся долгомошные и сфагновые сосняки, небольшие болота и озера.

Типичным камовым ландшафтом Карельского перешейка считается Лемболовская возвышенность. Она является одной из главных рекреационных территорий Ленинградской области. Мгинский и Средне-Оятский ландшафты считают типичными камовыми с группами и цепями камов среди озерно-ледниковой равнины.

Всеобъемлющая оценка всех видов ландшафта, а также характерных для него сочетаний природных условий и ресурсов, необходимы для обеспечения текущих и стратегических планов регионального развития. Что в свою очередь создает основу для комплексного подхода к охране и рациональному использованию природных ресурсов, в том числе и водных [4].

1.2.3 Почвы

На рассматриваемой территории в большинстве образуются почвы подзолистого типа, бедные перегноем и отличающиеся высокой степенью кислотности. Это стало возможным в связи с превышением количества осадков над испарением с поверхности суши, что характерно для Северо-Западного региона. С другой стороны, для данного региона характерна значительная переувлажненность большинства почв. При этом в низинах с высоким уровнем влаги преобладают сильноподзолистые почвы с мощным верхним слоем, по мере увеличения высоты они переходят в среднеподзолистые почвы, на супесях и песках представлены слабоподзолистые почвы. На лесных вырубках, в редких смешанных или лиственных лесах с преобладанием травяной растительности образуются дерново-подзолистые почвы [5].

В общем, Ленинградская область характеризуется значительной неоднородностью почвенного покрова. Характер распространения по территории различных типов почв зависит от состава почвообразующих пород, характера растительного покрова, рельефа местности и режима увлажнения.

Так, на севере преобладают типично подзолистые почвы. В центре и южной части распространены разные виды дерново-подзолистых почв.

Торфянистые и болотистые почвы образуются в низких и плоских участках местности, где при слабом речном стоке или высоком уровне стояния грунтовых вод происходит застой на поверхности. Они распространены в центральной части бассейна, на востоке Карельского перешейка, вдоль побережья Финского залива и в Приладожье.

Основными почвообразующими породами являются глины, суглинки, пески и торф. [2]

1.2.4 Растительность

Большая часть рассматриваемой территории расположена в подзоне южной тайги, где в хвойных лесах есть незначительная примесь широколиственных пород. В их подлеске много растений из южных широколиственных лесов. К югу отмечается переход от хвойных лесов к смешанным [5].

Следует отметить, что на данной территории лесные массивы занимают около 55% общей площади.

1.3 Климатическая характеристика

При анализе климатических характеристик бассейна Невы использованы материалы различных справочников по климату, научных монографий, статей [6-11].

Рассматриваемая территория, принадлежащая Балтийской водной системе, расположена в умеренном климатическом поясе, атлантико-континентальной лесной области, западной подобласти. Под воздействием морских атлантических и континентальных воздушных масс умеренных широт, частых вторжений арктического воздуха и активной циклонической деятельности формируется климат, основными особенностями которого

являются высокая влажность воздуха, умеренно теплое и влажное лето и довольно продолжительная умеренно холодная зима с частыми оттепелями. Циркуляция атмосферы в основном определяет формирование климата в холодный период, когда регион испытывает наибольшее влияние Атлантики. С атлантическими циклонами поступает значительное количество тепла, за счет которого зима смягчается, а осень оказывается теплее весны. Весной и летом циклоническая деятельность существенно ослабевает, в связи с чем повышается климатообразующая роль радиационных факторов.

Разнообразие синоптических процессов и частая смена воздушных масс являются причиной больших междусуточных колебаний метеорологических параметров. Перепады температуры воздуха, обусловленные сменой воздушных масс, могут значительно превышать амплитуду суточных колебаний и нередко достигают ± 20° и более [9].

В таблице 1.3.1 приводятся осредненные значения дат начала и конца сезонов и их продолжительность для всего региона. Вследствие многообразия процессов смены погоды границы сезонов выражены неотчетливо и могут значительно отличаться от года к году.

Таблица 1.3.1 – Границы климатических сезонов и их продолжительность

	Начало сезона	Окончание сезона	Продолжительность, дни
Зима	5.XII	16.III	102
Весна	17.III	1.VI	77
Лето	2.VI	11.IX	102
Осень	12.IX	4.XII	84

Температура воздуха

Самым холодным месяцем на большей части территории является январь, температура которого колеблется от -8 в западной до -11°С в восточной части области, довольно близка к нему температура февраля, который является самым холодным месяцем на Карельском перешейке. Самым жарким месяцем является июль, с температурой 16-17°С. Средние многолетние температуры воздуха по данным различных метеостанций в регионе приведены в таблице

1.3.2, пример годового хода температуры воздуха за период климатической нормы 1961-1990 гг. по метеостанции Санкт-Петербург - на рисунке 1.3.1.

Таблица 1.3.2 -Средние многолетние значения температуры воздуха (ºС) по данным различных метеостанций

	Характе-ристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**Год**
Нико-лаевское	среднее	-8.3	-8.0	-3.6	3.6	10.5	14.7	17.0	15.2	10.2	4.4	-0.9	-5.6	**4.1**
	мин.	-11.8	-11.7	-7.8	-0.8	4.9	9.2	11.7	10.5	6.2	1.5	-3.2	-8.4	**0.0**
	макс.	-5.5	-5.0.0	0.2	8.1	15.9	19.9	22.1	20.4	14.8	7.5	1.4	-3.1	**8.1**
Санкт-Петербург	среднее	-7.8	-7.8	-3.9	3.1	9.8	15.0	17.8	16	10.9	4.9	-0.3	-5	**4.4**
	мин.	-10.7	-11.0	-7.2	-0.3	5.5	10.8	13.8	12.5	7.8	2.7	-2.3	-7.3	**1.2**
	макс.	-5.1	-4.8	-0.3	7.2	14.5	19.4	22.0	20.1	14.5	7.5	1.6	-2.6	**7.8**
Белогорка	среднее	-9.0	-8.9	-4.5	2.7	9.7	14.3	16.7	15.1	9.8	4.1	-0.9	-5.8	**3.6**
	мин.	-12.6	-13.1	-9.1	-1.5	4.0	8.5	11.2	10.1	5.9	1.3	-3.2	-8.8	**-0.6**
	макс.	-5.9	-5.2	0.2	7.6	15.5	20.0	22.1	20.4	14.0	7.3	1.2	-3.2	**7.9**

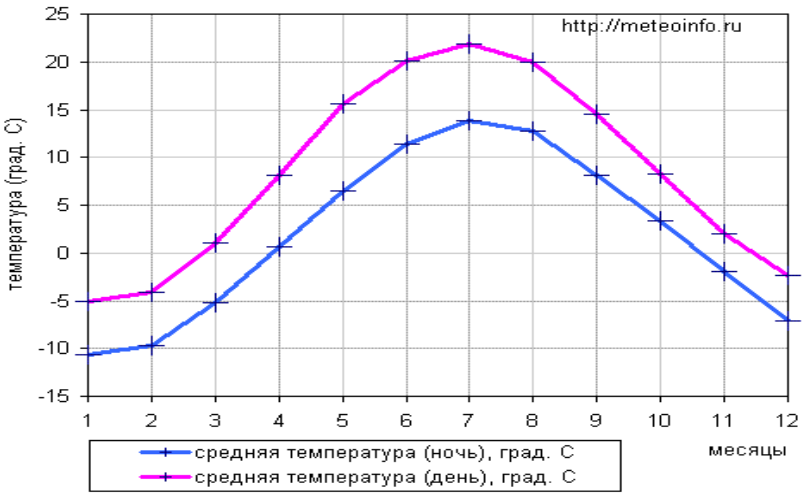

Рисунок 1.3.1 – Годовой ход средних многолетних значений температуры воздуха за период 1961-1990 гг. по метеостанции Санкт-Петербург

Характерной особенностью холодного периода являются оттепели. В начале и середине зимы они, как правило, имеют адвективное происхождение, в конце – радиационное. Среднее число дней с оттепелью составляет: в декабре – 12; в январе – 7,7; в феврале – 6,3; а в марте – 15,8. В таблице 1.3.3 показано распределение среднего числа оттепелей различной продолжительности.

Таблица 1.3.3 – Распределение числа оттепелей (%) в зависимости от их продолжительности

Продолжительность оттепелей, дни	от 1 до 2	от 3 до 5	от 6 до 10	от 11 до 20	от 21 до 30
Среднее число оттепелей, %	46	30	14	9	1

Атмосферные осадки

Интенсивная циклоническая деятельность определяет режим осадков в течение года и даже летом, когда она ослабевает, осадки внутримассового характера составляют незначительную часть. Распределение осадков по территории довольно равномерно, плавно уменьшаясь в северо-восточном направлении. Орографические особенности определяют изменение осадков от 550 мм/год на Приладожской низменности до 700-800 мм на Лодейнопольской возвышенности. В среднем по региону выпадает 600-700 мм в год. В годовом ходе минимум наблюдается в феврале-марте, иногда в июле.

По многолетним данным, в Санкт-Петербурге минимум наблюдался в марте в 30% случаев, в феврале – в 16%, и примерно в 5% -в июле; максимум отмечается в августе в 41% лет, в июне-июле в 16 и 19% лет, соответственно. Над водоемами годовой ход осадков сильно сглажен по сравнению с прибрежными районами. Характеристики средних сумм осадков (мм) по данным метеостанции Санкт-Петербург приведены в таблицах 1.3.4, 1.3.5. Пример годового хода средних месячных сумм осадков (мм) – на рисунке 1.3.2.

Таблица 1.3.4 – Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков (мм) с поправками на смачивание по данным различных метеостанций

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**Год**
Санкт-Петербург	38	35	32	38	46	62	68	82	66	58	51	22	**620**

Таблица 1.3.5 - Месячное и годовое количество жидких (Ж), твердых (Т) и смешанных (С) осадков (мм)

	осадки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**Год**
Санкт-Петербург	Ж	2	1	2	18	41	62	68	82	65	41	14	6	**402**
	Т	26	24	19	10	-	-	-	-	-	5	16	20	**120**
	С	10	10	11	10	5	-	-	-	1	12	21	18	**98**

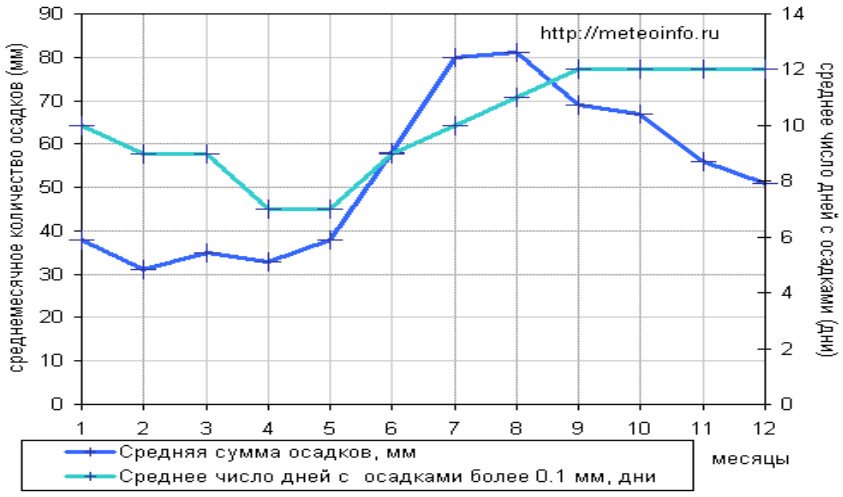

Рисунок 1.3.2 – Годовой ход средних многолетних месячных сумм осадков за период 1961-1990 гг. по метеостанции Санкт-Петербург

Снежный покров

Снежный покров появляется первый раз в конце октября - начале ноября, устойчивый снежный покров образуется в последних числах ноября – первой декаде декабря. Самое раннее появление снега происходит на северо-востоке и востоке области. Разрушается устойчивый снежный покров в последних числах марта – первой половине апреля. Окончательно снег сходит во второй половине апреля.

Испарение с поверхности суши и водоемов

Наряду с осадками и стоком испарение является основным компонентом водного баланса и его роль в передаче тепла от земной поверхности в атмосферу определяется затратами тепла наравне с турбулентным потоком тепла и является основной расходной частью радиационного баланса. Годовое испарение составляет 380 мм в год для большей части территории, изменяясь от 10-30 мм в марте-апреле, сентябре-октябре до 90 мм в июне-августе. Максимум отмечается в июле в соответствии с теплообеспеченностью и максимумом температуры воздуха и радиационного баланса. Годовой ход характеризуется интенсивным возрастанием величин от весны к лету и таким же быстрым убыванием их от лета к осени. С увеличением континентальности климата (с запада на восток), «островершинность» кривой годового хода испарения

увеличивается. В зависимости от условий тепло- и влагообеспеченности и их изменения в году, время наступления максимума испарения может варьировать от мая по август. В зимние месяцы, когда радиационный баланс отрицателен, и вследствие этого испаряемость близка к нулю, испарение практически отсутствует. Длина этого периода составляет в разные годы до 4 месяцев.

По данным монографий [12-14] суммарное испарение с поверхности речных водосборов в верхней и средней части бассейна Невы изменяется от 400 до 500 мм/год. Территориальная норма испарения с поверхности водосбора составляет 450 мм, а отношение суммарного испарения к осадкам – 0,69.

Температура почвы

В таблице 1.3.6 приведено распределение средних месячных и экстремальных температур поверхности почвы по месяцам (метеостанция Санкт-Петербург). Внутригодовые колебания среднемесячной температуры поверхности почвы следуют за температурой воздуха, отличаясь от нее существенно большей амплитудой.

Таблица 1.3.6 – Средние и экстремальные значения температуры поверхности почвы, °С

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**Год**
средняя	-9	-10	-6	1	10	16	20	16	10	3	-2	-6	**4**
ср. макс.	-6	-6	-1	7	21	28	32	28	19	8	0	-4	**10**
ср. мин.	-13	-14	-11	-4	3	8	11	10	5	0	-5	-10	**-2**
абс. макс.	4	3	10	27	40	46	48	47	37	23	10	8	**48**
абс. мин.	-40	-39	-33	-25	-10	-3	2	0	-5	-15	-25	-37	**-40**

Экстремальные значения амплитуды варьируют в диапазоне 88°С (от -40 до 48°С), что на 20°С превышает диапазон колебаний температуры воздуха.

Глубина промерзания почвы зависит как от метеоусловий, так и от свойств подстилающей поверхности (особенностей микрорельефа, характера растительности, высоты и плотности снежного покрова, механического состава и влажности почв), и вследствие этого изменяется как по территории, так и по годам. В исследуемом регионе (по данным метеостанции Санкт-Петербург)

амплитуда колебаний глубины промерзания почвы варьирует от 105 до 5 см при средней глубине 40-50 см.

Ветер

Повторяемость направлений ветра и штилей (%) по месяцам и за год приведены в таблице 1.3.7, роза ветров – на рисунке 1.3.3.

В течение всего года преобладающим является западный перенос, на долю которого в сумме приходится от 46 до 50% всех ветров. Ветры западных и юго-западных направлений наиболее часты осенью и зимой, когда сильно развита циклоническая деятельность. Потепления и оттепели также обусловлены ветрами западных румбов, дующих с Атлантики. Наиболее сильные холода, напротив, фиксируются при восточных и северо-восточных ветрах, связанных с устойчивыми антициклонами в северо-западной части России. Весной вследствие развития антициклональной деятельности над морями, омывающими регион с севера, увеличивается число северо-восточных ветров, сопровождающихся возвратом холодов. С апреля и по июль самый теплый воздух приносят южные и юго-восточные воздушные потоки, а холодный – ветры северных направлений.

Таблица 1.3.7 – Повторяемость направлений ветров и штилей, %, (Санкт-Петербург)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**Год**
С	5	7	8	6	9	8	11	8	7	4	2	2	**6**
СВ	7	10	12	11	20	14	17	14	8	6	4	5	**11**
В	11	12	14	13	16	11	12	10	8	8	14	12	**12**
ЮВ	15	14	8	12	7	9	7	10	12	11	20	18	**12**
Ю	13	11	9	12	7	7	6	8	11	15	18	16	**11**
ЮЗ	17	14	14	16	13	15	15	19	19	20	18	20	**17**
З	20	21	26	12	21	28	24	21	22	21	14	18	**21**
СЗ	12	11	9	8	7	8	8	10	13	15	10	9	**10**
Штиль	15	9	7	10	11	14	18	17	13	8	4	6	**11**

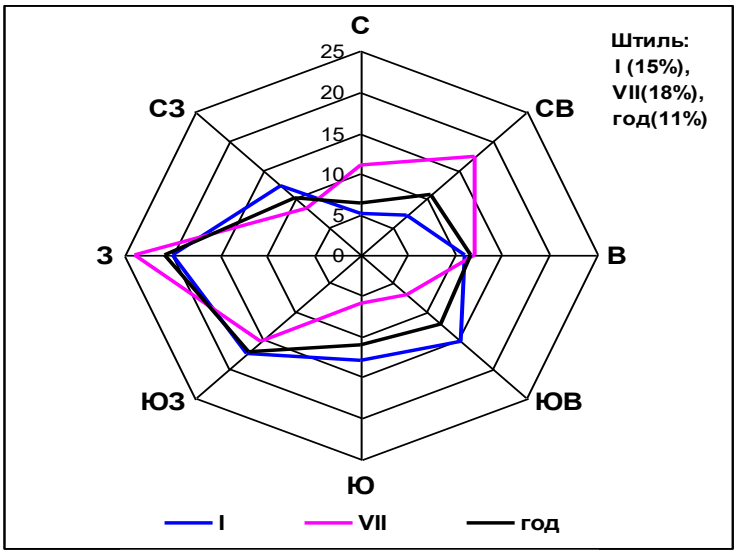

Рисунок 1.3.3 – Повторяемость направлений ветра, % (Санкт-Петербург)

1.4 Гидрографическое описание водных объектов

Рассматриваемая территория покрыта густой сетью водотоков, многочисленными озерами и обширными болотами. Густота речной сети составляет в среднем 0,45 км/км^2, однако она не является равномерной по всей площади.

Общая структура и морфологические характеристики речной сети представлены на рис. 1.4.1.

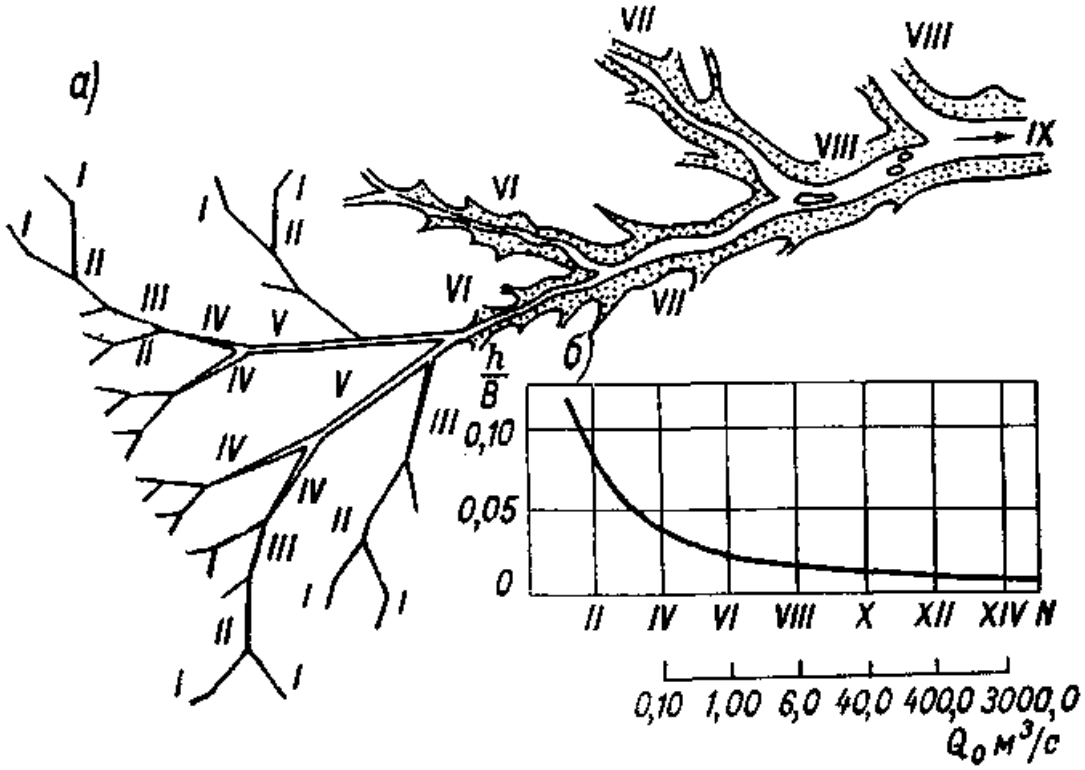

Рис. 1.4.1. Структура и морфологические характеристики речной сети. а – схема речной системы; б – зависимость относительной глубины (h/B) от порядка потока (N) и среднего годового расхода (Q_0). I-VIII – порядки естественных потоков.

Наиболее значительными водотоками в пределах водосборного бассейна Невы и Ладожского озера являются следующие реки: Волхов, Вуокса, Ижора, Свирь, Сясь, Тихвинка, Тосна, Оять и Паша. Для большинства рек характерны небольшие уклоны 20-40 см/км и спокойное течение. Скорость течения может резко возрастать исключительно при пересечении кристаллических пород, моренных возвышенностей и гряд на перекатах и порогах, как, например, на Ивановских порогах.

На территории Ленинградской области расположено около 340 рек, общая длина которых составляет более 10 км.

В Неву впадает около 26 небольших рек и речек, из них самыми крупными являются реки: Мга, Тосна, Ижора, Охта и Славянка. Они являются притоками 1-го порядка. Густота речной сети на водосборе колеблется от 0,7 до

1,6 км/км^2. Заболоченность площади без учета бассейна Ладожского озера составляет примерно 30%, озерность незначительна и находится в пределах 0,5%. [2]

Река Нева представляет собой короткий проток, который соединяет Ладожское озеро с Финским заливом. Нева выходит из Шлиссельбургской губы Ладожского озера двумя рукавами, огибая остров Орешек. Русло реки в плане имеет вид почти правильной полуокружности, которая обращена выпуклостью на юг. Общая длина реки составляет 74 км, тогда как расстояние от истока реки до устья по прямой – 45 км.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ РАСХОДАМИ И УРОВНЯМИ ВОДЫ

2.1 Построение кривой расходов при однозначной зависимости между расходами и уровнями

Зависимость между расходами и уровнями можно выразить графически кривой расходов, которая строится для определения стока воды. При этом стоком является количество воды, протекшей через поперечное сечение водотока за определенное время.

На данный момент принято определять зависимость $Q = f(H)$, то есть зависимость расходов от уровней. При этом расход воды физически независимая переменная, а уровень является функцией. Это стало возможным благодаря измерениям уровней на гидрологических постах, которые проводят ежедневно в стандартные сроки. В виду большой трудоемкости измерения расходов производят реже. Частота измерений различна в разные сезоны года: в весеннее половодье 4-5 раз на подъем и 5-8 на спад, в межень – 1 раз в 7-10 суток, в дождевые паводки – до 2 измерений на подъеме и до 3 на спад, при ледоставе измерения происходят через каждые 10-20 суток.

Построение кривой расходов

Для построения кривой расходов используются значения измеренных расходов и соответствующие им уровни воды. Кривая расходов строится в прямоугольной системе координат (рис. 2.1.1). Зависимость $Q = f(H)$ может быть обозначена на графике в виде одной плавной кривой, что говорит о том, что определенному значению уровня соответствует одно значение расхода воды. Таким образом, получается однозначная зависимость. Такая кривая всегда будет направлена выпуклостью вверх. [15]

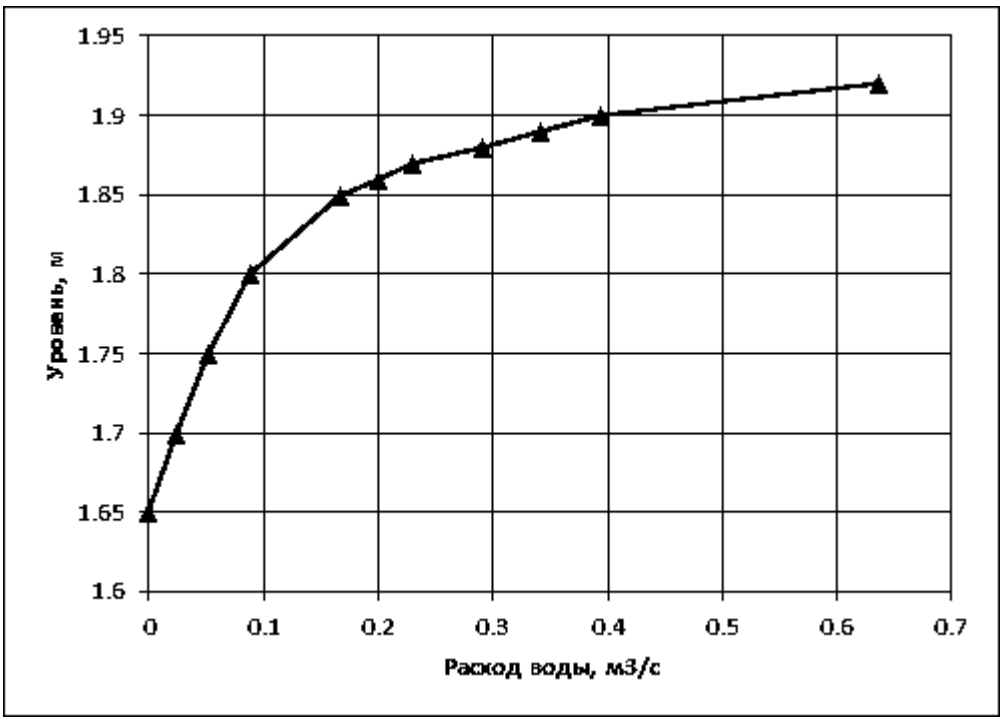

Рисунок 2.1.1 – Пример кривой расходов при однозначной зависимости

Однако в большинстве случаев зависимость $Q = f(H)$ приобретает сложный вид по следующим причинам:

1) неустановившееся движение воды;
2) ледяные образования в русле;
3) зарастание русла водной растительностью;
4) переменный подпор;
5) неустойчивость русла.

В этих случаях нарушается однозначная зависимость, так как одному и тому же уровню соответствуют разные расходы воды. Такую связь принято называть неоднозначной.

Для построения кривой расходов на график сначала наносят точки измеренных расходов, которые обычно располагаются узкой полосой. Далее на глаз посередине полосы рассеивания точек расходов, измеренных при свободном состоянии русла, проводят плавную линию. На данном графике также строят кривые площадей живого сечения $\omega = f(H)$ и средних скоростей $v = f(H)$. При этом используется та же шкала *H*, что и для кривой расходов. По оси абсцисс откладываю следующие значения: площади живого сечения при

соответствующих уровнях воды для кривой площадей и средние скорости течения для кривой средних скоростей.

Кривые площадей и средних скоростей необходимы в дальнейшем для экстраполяции кривой расходов и для анализа надежности полученных измерений. Все три кривые мы должны увязать по уравнению $Q = v\omega$. Для сверки используется умножение соответствующих значений площадей на среднюю скорость при определенных значениях уровня через равные промежутки.

Далее данные заносят в расчетную таблицу расходов. Данная таблица в дальнейшем используется для определения среднесуточных расходов воды.

Подсчет стока воды

Ежедневные расходы воды определяют по средним суточным уровням. При очень резких суточных колебаниях стока вычисление средних суточных расходов производят как среднее арифметическое, взвешенное во времени, из срочных значений расходов воды, вычисленных для моментов, когда измерялся уровень воды.

Полученные значения расходов записывают в таблицу <Ежедневные расходы воды>, сокращенно ЕРВ. В такую таблицу записывают данные за весь год, при этом указывают известные значения средних расходов за сутки, десять дней, месяцы, год. Так же указывают значения наибольшего и наименьшего расходов за месяцы и за год. За каждый месяц вычисляют по срочным измерениям экстремальные значения. [15]

2.2 Экстраполяция кривых расходов

Экстраполяцией кривой расходов называют продление ее вверх и вниз за пределы измеренных расходов воды. Она необходима для подсчета стока воды на весь диапазон изменения уровня.

Принято считать кривую расходов надежной, если она обоснована измерениями расходов на 80% диапазона уровней или более. При этом при оставшейся части диапазона, не обоснованной измерениями расходов, должна производиться экстраполяция.

Экстраполяция кривых расходов для беспойменных створов. При высоких положениях уровня воды, когда основной поток остается в главном русле, так же отсутствует пойма называется беспойменым створом. Сюда же можно отнести створы с неширокой ровной поймой, если гидравлические условия движения потока не подвергаются существенным изменениям при выходе воды из главного русла.

Экстраполяция кривой расходов непосредственным продолжением. В случаях, если необоснованная измерениями часть кривой расходов не превышает 10% диапазона уровней и профиль поперечного сечения реки в пределах этого участка не имеет резких переломов, а шероховатость русла существенно не меняется. В таком случае кривую расходов продолжают в том же направлении до отметки наивысшего уровня, на глаз. Обычно такой участок кривой показывают пунктиром.

Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода. Раздельно экстраполируют кривые $\omega = f(H)$ и $v = f(H)$. Участки этих кривых используют для продолжения кривой расходов до высшего уровня. Кривую $\omega = f(H)$ ведут вверх, определяя площади живого сечения по поперечному профилю створа при заданных уровнях. Кривую средних скоростей экстраполируют непосредственным продолжением на глаз. Расход воды определяется умножением площади живого сечения на среднюю скорость течения. Ограничиваются только определением наибольшего расхода. Обоснованную измерениями расходов часть кривой $Q = f(H)$ ведут вверх до получения наибольшего значения расхода (рис. 2.2.1).

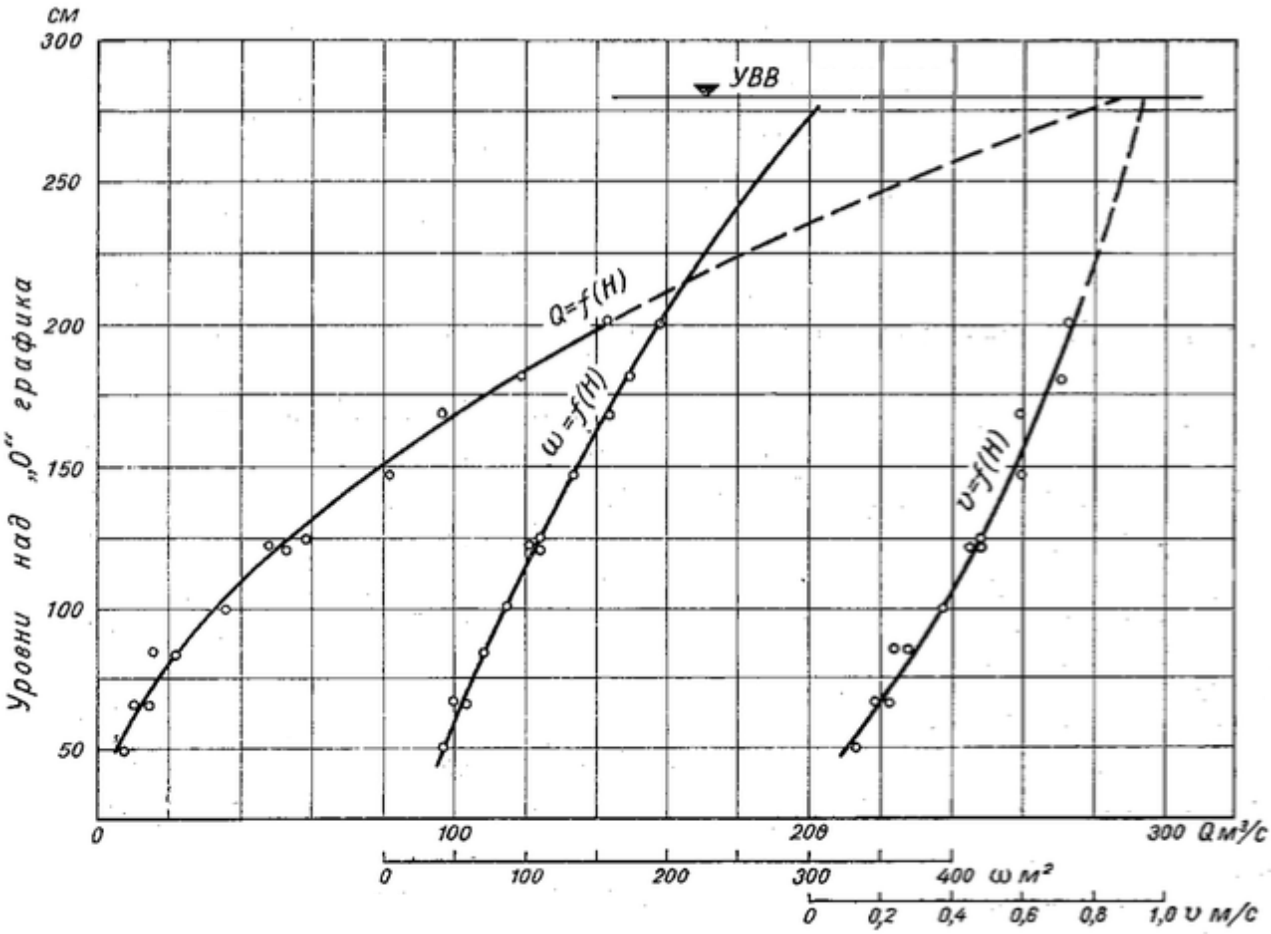

Рисунок 2.2.1 – Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода.

При отсутствии измеренных уклонов применяют другой прием, основанный на эмпирически установленном факте, что зависимость $Q = f(\omega \cdot \sqrt{h_{\text{ср}}})$ во многих случаях в верхней зоне измерений уровней принимает вид прямой линии, экстраполяция которой не представляет затруднений.

Экстраполяция с помощью формулы Шези. Такую экстраполяцию производят только при наличии надежно измеренных уклонов водной поверхности там, где движение воды равномерное. Значение коэффициента Шези сохраняется постоянным C=const. Сущность экстраполяции заключается в том, что расходы в экстраполируемой части прямой $Q = f(H)$ вычисляют умножением площади живого сечения, определяемой по профилю створа, на среднюю скорость течения, определяемой по профилю створа, на среднюю скорость течения, определяемую по формуле Шези: $v = C\sqrt{h_{\text{ср}} I}$.

Величина $h_{ср}$ определяется по виду створа. Значения уклона I и коэффициента Шези C для экстраполируемого участка определяют путем построения и экстраполяции кривых $I = f(H)$ и $C = f(H)$. Зависимость $I = f(H)$ строят по данным измерения уклонов водной поверхности, затем ее экстраполируют до требуемого высокого уровня непосредственным продолжением. При наличии измеренных уклонов при высоких уровнях кривая проводится без экстраполяции.

Экстраполяция кривых расходов вниз. Экстраполяцию кривой расходов вниз выполняют в случаях, когда при низких уровнях, включая H_{min}, не имеется измеренных расходов. Для подсчета стока необходимо знать расходы при всех наблюдавшихся уровнях.

Экстраполяцию вниз проводят двумя способами.

Первый, в случае если известна отметка нулевого расхода, т.е. расход равен нулю. При этом кривую расходов проводят в точку на оси ординат, соответствующую отметке нулевого расхода. Отметку нулевого расхода не всегда возможно установить. Если гидроствор установлен на плёсе, то отметкой нулевого расхода будет отметка гребня переката, расположенного ниже створа. Если гидроствор расположен на перекате, то отметкой нулевого расхода будет низшая точка дна в створе.

Второй способ при невозможности установить отметку нулевого расхода. Кривую расходов экстраполируют вниз по элементам расхода. По профилю створа определяют площадь живого сечения ω; среднюю скорость находят по экстраполяции кривой $v = f(H)$ непосредственным продолжением. Расход вычисляют по зависимости $Q = v\,\omega$.

2.3 Построение кривой расходов и подсчет стока воды при отсутствии однозначной зависимости между уровнями и расходами

Неустановившееся движение воды наблюдается в реках при прохождении весеннего половодья и паводков, а также на участках рек ниже гидротехнических сооружений при резком увеличении расхода воды: при пропусках и регулировании сброса воды через турбины ГЭС в соответствии с заданной нагрузкой.

Проявляется в форме волны, перемещающейся по руслу и имеющий пологий фронт и еще более пологую тыловую часть. При прохождении волны, сначала уровень воды повышается, а затем падает (рис. 2.3.1). Уклон водной поверхности на подъеме больше, чем на спаде.

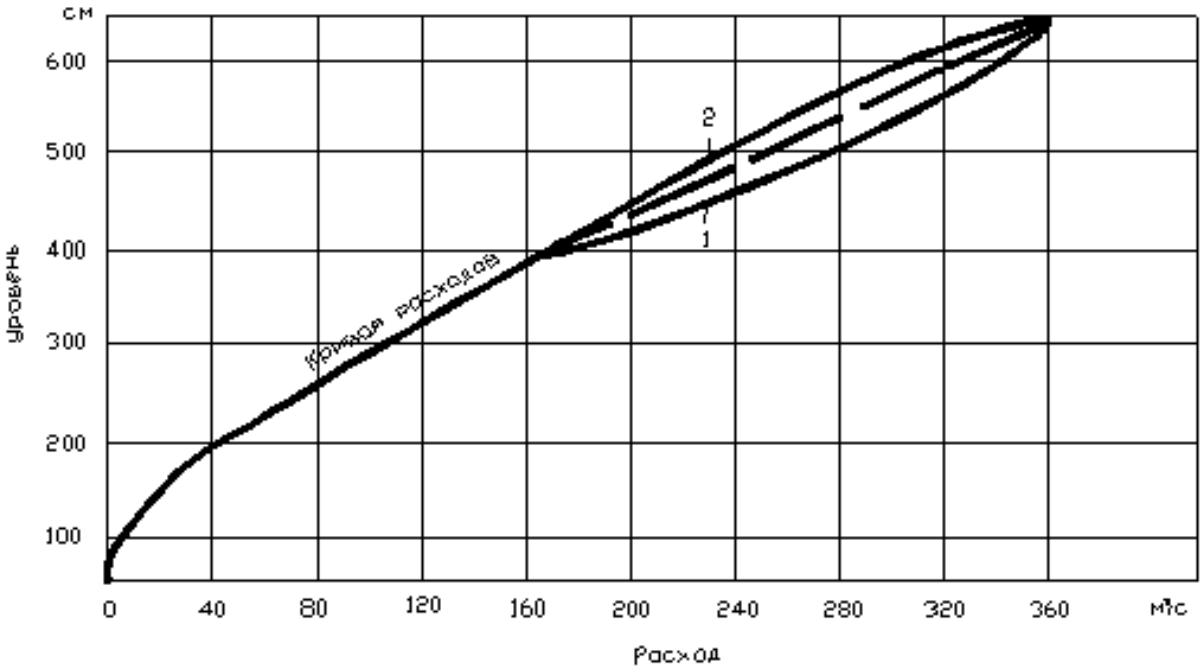

Рисунок 2.3.1 – Кривая расходов при переменном уклоне:
1 – ветвь подъема, 2 – ветвь спада.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ КРИВЫХ РАСХОДОВ ДЛЯ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

3.1 Общие сведения о выбранных водотоках

Местоположение выбранных водотоков представлено на рис. 3.1.1.

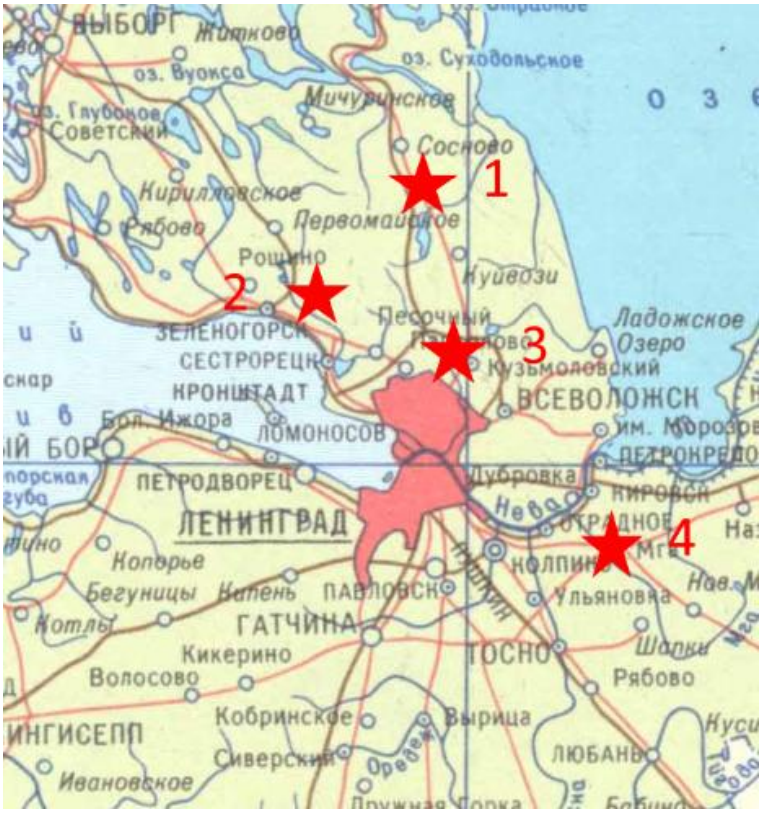

Рисунок 3.1.1 – Местоположение водотоков на карте Ленинградской области: 1 – руч. Нижний, 2 – руч. Безымянный, приток р. Сестра, 3 – ручей без названия, приток р. Охта, 4 – ручей без названия, приток р. Малая Ижорка.

3.2 Ручей Нижний

Ручей Нижний – приток реки Кожица второго порядка, относится к бассейну реки Бурная (Вуокса) (рис. 3.2.1).

Рисунок 3.2.1 – Местоположение участка исследований на руч. Нижний

Речная сеть района обследования принадлежит бассейну реки Вуокса (Бурная).

Река Вуокса берет начало из озера Сайма. Вуокса впадает в Ладожское озеро двумя рукавами. Северный рукав впадает у г. Приозерска, южный рукав носит название р. Бурная и впадает в озеро у бывшего с. Кюреля. Южный рукав принят за основной, так как по нему проходит большая часть стока р. Вуоксы. Водоразделом между р. Вуокса и северным ее рукавом условно принят порог Тиурин-коски. Такое деление обосновано тем, что во время низкого стояния уровня воды р. Вуоксы. Ранее до 1857 г. р. Вуокса протекала только по одному северному рукаву. В 1818 г. был прорыт канал от оз. Суходольское до оз. Ладожское, который был назван р. Бурная, в 1857 г. был прорыт перешеек Кивиниеми и воды р. Вуоксы устремились в оз. Суходольское, которое стало основным руслом реки.

Ручей Нижний является частью водной системы «Ручей Нижний – ручей Прыткий – река Кожица – река Вьюн – река Бурная».

Река Вьюн (Вийси-йоки) берет начало из озера Лемболовское, впадает в реку Бурная в 5,1 км от устья. Длина реки 44 км, площадь водосбора – 544 км^2, средний уклон водосбора – 19,2 ‰, средний уклон -1,14 ‰. Озерность 4 %, заболоченность 5 %, лесистость около 77 %. Средний годовой модуль стока – 8,69 м^3/с.

Река Вьюн имеет один крупный приток р. Кожица. Притоков длиной менее 10 км – 102, общая длина – 177 км. Озер на водосборе 750, общей площадью 19,7 км^2.

Весенний подъем уровня на р. Вьюн в разные годы начинается в конце марта – конце апреля, продолжительность половодья 50 – 80 дней. В период половодья проходит 30 – 40 % от годового стока.

Река Кожица (Хойкка-оя, Хойкка-ярви) берет начало из озера Нырково, впадает в реку Вьюн с левого берега в 33 км от устья. В верхнем течении река носит название Олонец. Река Кожица имеет 16 притоков длиной менее 10 км общей длиной 34 км. Длина реки 12 км. Уклон водной поверхности р. Кожица на участке впадения руч. Прыткий 3 ‰.

Ручей Прыткий впадает в реку Кожица с правого берега в 8 км от устья. Длина ручья 8 км. Уклон водной поверхности руч. Прыткий на участке впадения руч. Нижний 6 ‰.

Ручей Нижний является самым крупным из притоков руч. Прыткий. Ручей Нижний впадает в руч. Прыткий с правого берега в 5 км от устья.

Ручей Нижний не изучен в гидрологическом отношении. При помощи карт соответствующего масштаб определены площадь водосбора (рис. 3.2.2), длина ручья, уклон дна ручья в верхнем течении. Длина ручья 7 км. Площадь водосбора около 10 км^2.

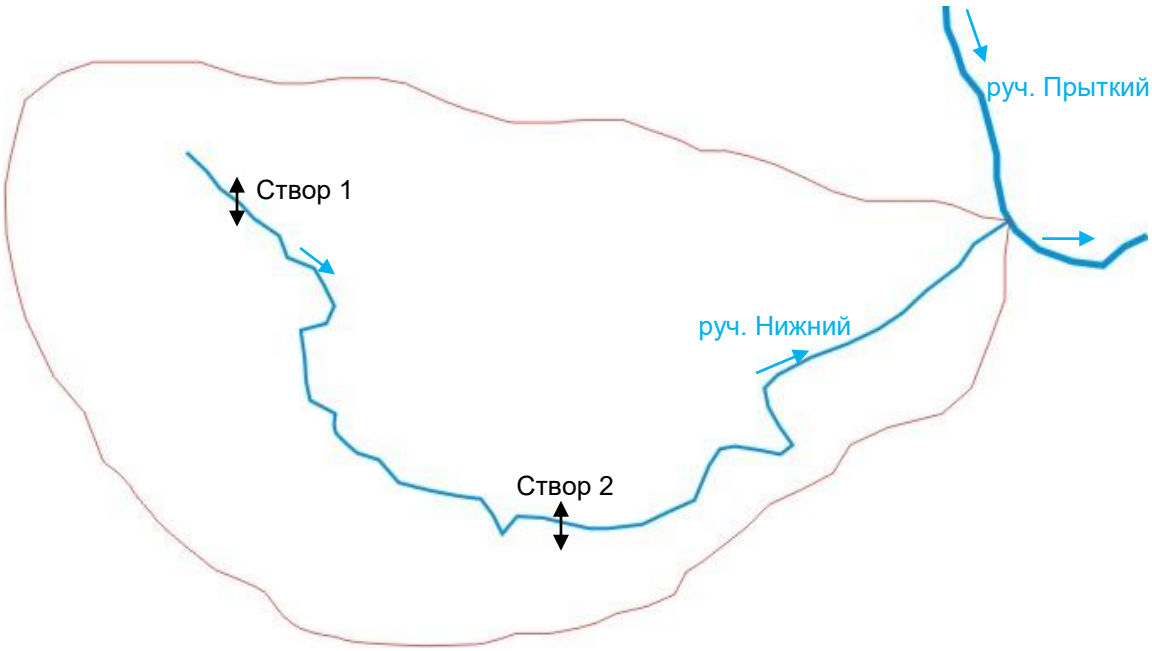

Рисунок 3.2.2 – Водосбор руч. Нижний.

Для определения естественного расхода ручья водомерный пост и морфоствор назначены в двух створах (рис. 3.2.2).

3.2.1 Ручей Нижний – створ №1

Отметка контрольного репера на водопропускном сооружении (рис. 5.1) – 1,50 м усл.

Измерения уровня воды выполняются домером от места на водопропускном сооружении. Уровень воды находится ниже уровня контрольного репера, и домер выполняется вниз.

Рисунок 3.2.3 – Водопропускное сооружение под автодорогой в месте пересечения с руч. Нижний (створ №1)

На рассматриваемом участке русло ручья не выражено (рис. 3.2.4). Характеристики ручья Нижнего в створе №1 определяются у водопропускного сооружения (рис. 3.2.5).

Рисунок 3.2.4 – Верховья ручья Нижний

Рисунок 3.2.5 – Расположение створа №1 на руч. Нижний

Во время проведения полевых работ в створе №1 выполнены промеры глубин поперек ручья от правого до левого берега.

Промеры глубин производились по створу длиной 0,9 м. Промерный профиль проложен перпендикулярно береговой линии. Промеры выполнены с помощью промерной рейки. Глубина измерялась от существующего уровня воды. Измерение глубин выполнены через 0,2 м.

Поперечный профиль по гидроствору приведен на рисунке 3.2.6.

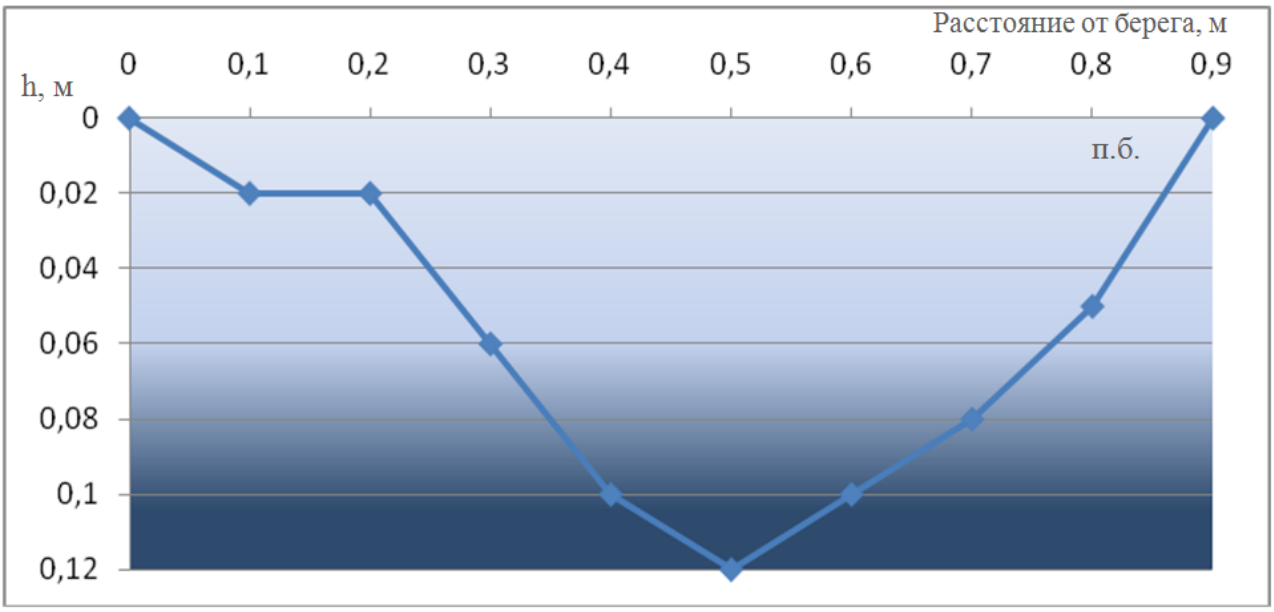

Рисунок 3.2.6 – Поперечный профиль ручей Нижний – створ №1.

Результаты измерений расходов воды представлены в таблице 3.2.1. По этой таблице построены графики зависимостей $Q = f(H)$, $v = f(H)$, $\omega = f(H)$, представленные на рис. 3.2.7-3.2.9. На рис. 3.2.10-3.2.11 показаны результаты подбора теоретической зависимости для кривой расходов.

Таблица 3.2.1 – Измеренные расходы воды. Ручей Нижний – створ №1

Дата	Уровень, м усл.	Расход, $м^3/с$	Площадь, $м^2$	Средняя скорость, м/с	Уклон водной поверхности, ‰
24.05.2018	0.42	0.002	0.18	0.010	0.40
05.06.2018	0.35	0.0005	0.03	0.018	0.40
09.06.2018	0.40	0.00065	0.04	0.018	0.36
29.08.2018	0.48	0.002	0.06	0.030	0.40
03.09.2018	0.32	0.0001	0.01	0.014	0.30
22.10.2018	0.41	0.00009	0.03	0.005	0.48
21.11.2018	0.56	0.004	0.15	0.030	0.44
26.02.2019	0.45	0.0014	0.10	0.014	0.48

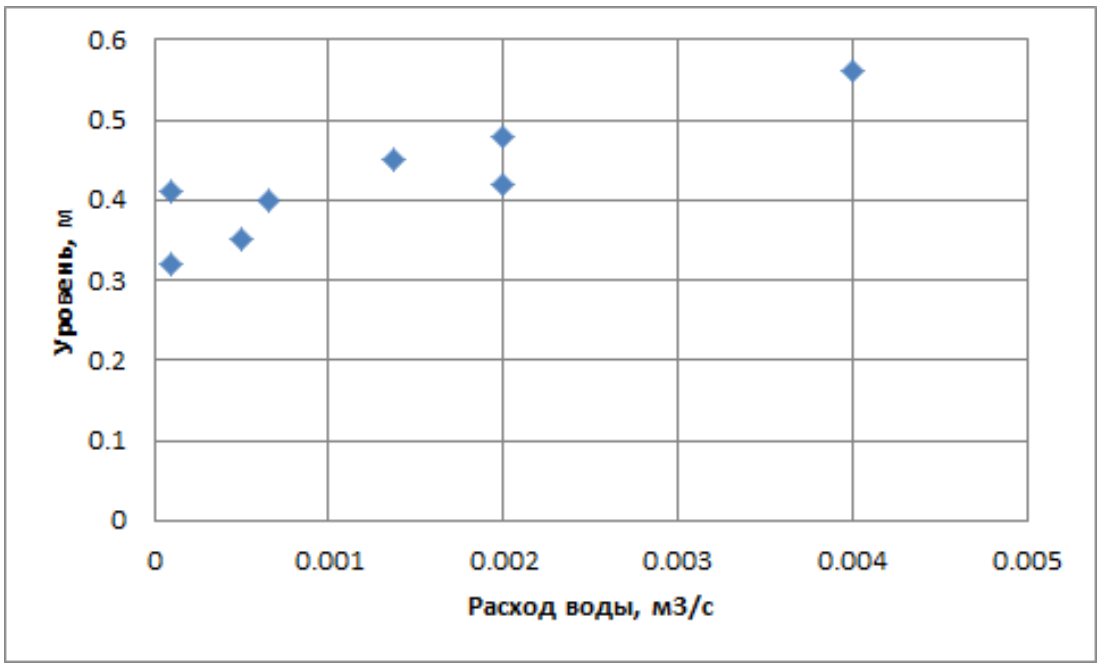

Рисунок 3.2.7 – График зависимости расходов воды от уровня $Q = f(H)$, руч. Нижний – створ №1.

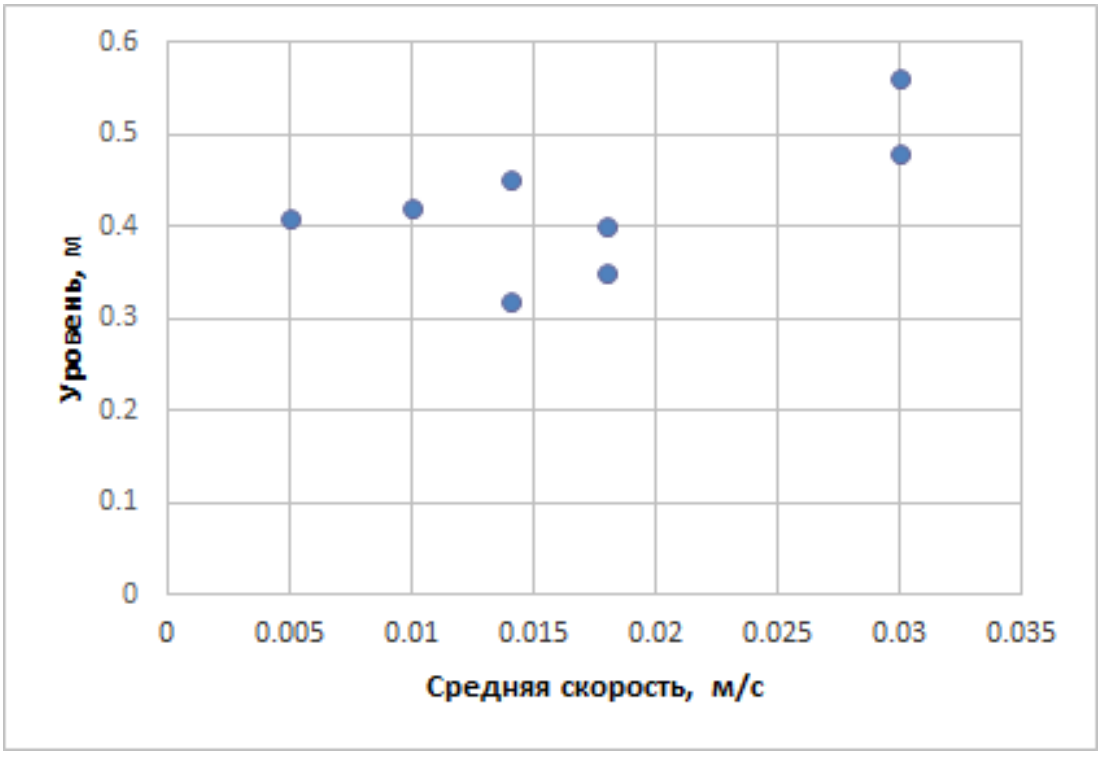

Рисунок 3.2.8 – График зависимости средней скорости воды от уровня воды $v = f(H)$, руч. Нижний – створ №1.

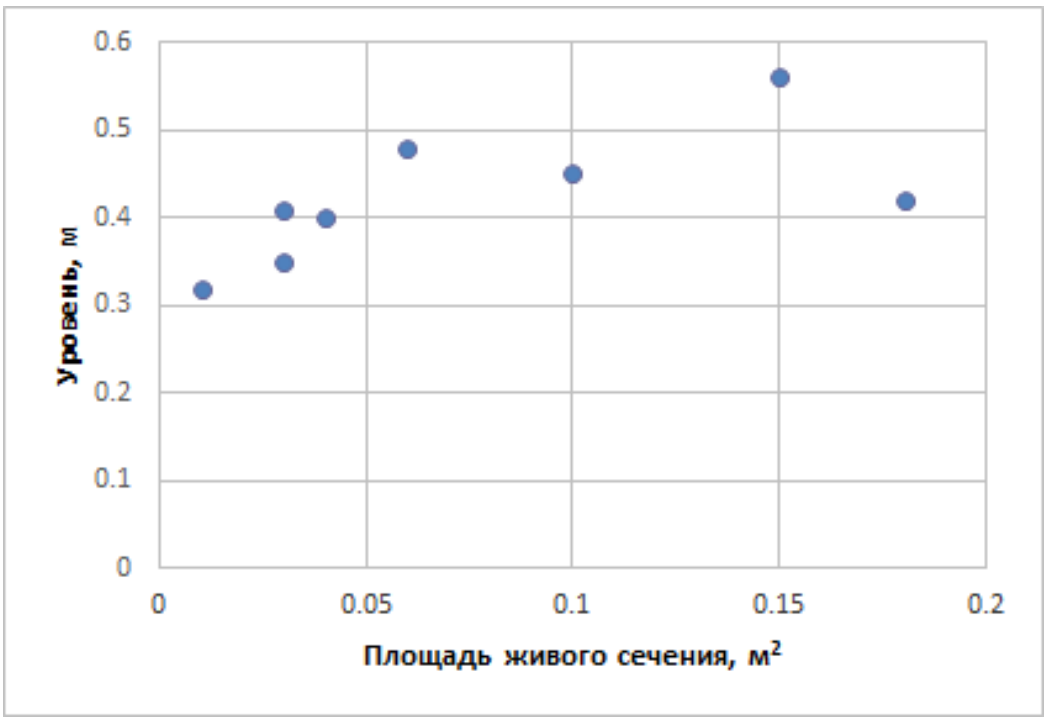

Рисунок 3.2.9 – График зависимости площади живого сечения от уровня воды $v = f(H)$, руч. Нижний – створ №1.

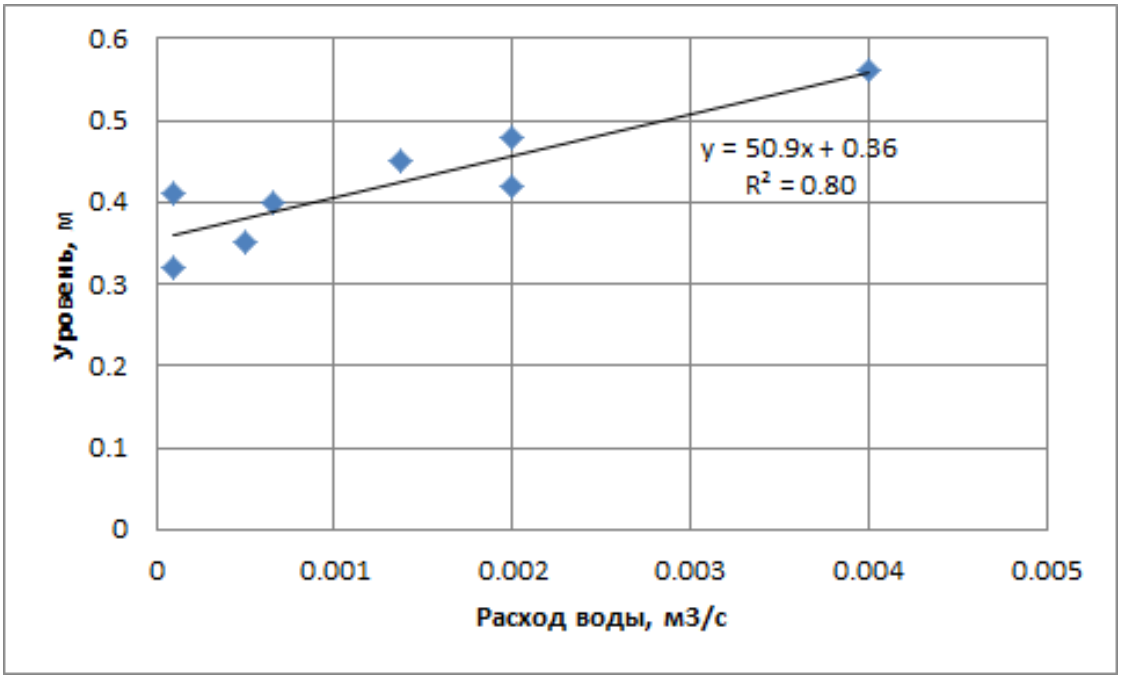

Рисунок 3.2.10 – Прямолинейная зависимость между расходами и уровнями воды $Q = f(H)$, руч. Нижний – створ №1.

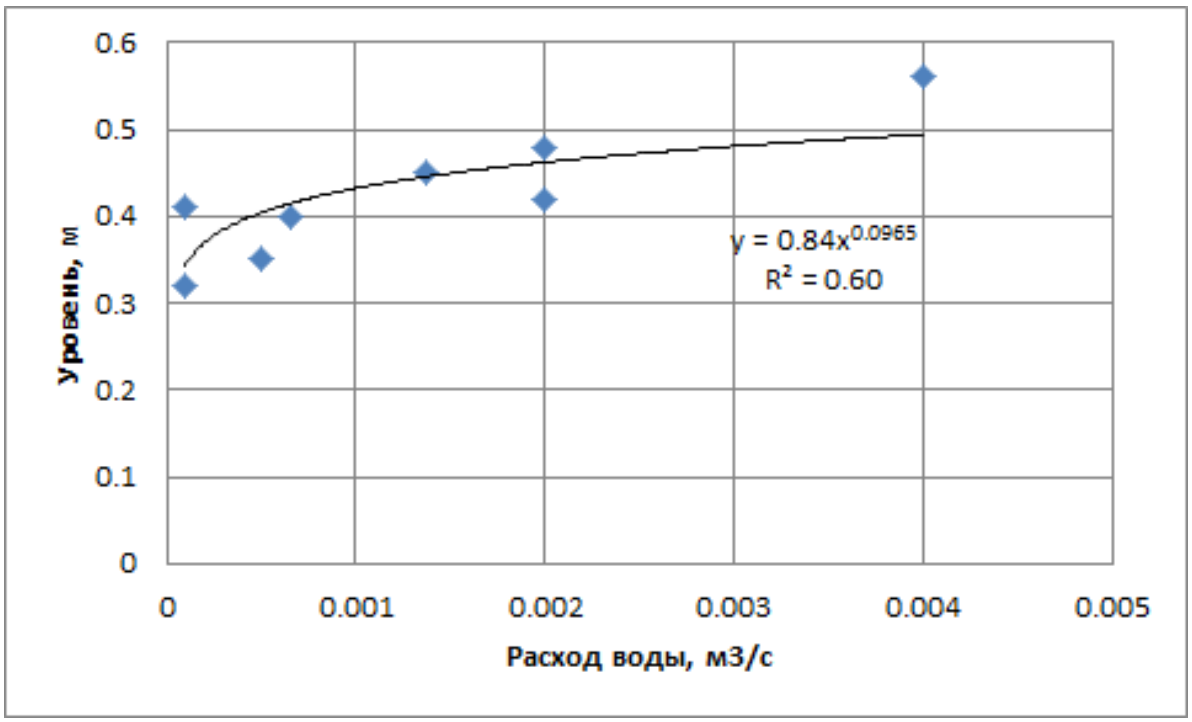

Рисунок 3.2.11 – Степенная зависимость между расходами и уровнями воды $Q = f(H)$, руч. Нижний – створ №1.

По графикам на рис. 3.2.10 и 3.2.11 видно, что в данном случае прямолинейная зависимость является более оправданной по коэффициенту детерминации. Однако экстраполяция за пределы области, охваченной измерениями, может приводить к большим погрешностям. Данный вопрос требует дополнительного изучения.

3.2.2 Ручей Нижний – створ №2

В створе № 2 оборудован водомерный пост. Временный репер, от которого домером вниз определяется уровень воды в створе, оборудован в виде метки на дереве (рис. 3.2.12).

Рисунок 3.2.12 – Ручей Нижний – Створ №2.

Отметка контрольного репера – 1,00 м усл.

Во время проведения полевых работ в створе №2 выполнены промеры глубин поперек ручья от правого до левого берега.

Промеры глубин производятся по створу длиной 2,0 м в створе №2. Промерные профили проложены перпендикулярно береговой линии. Промеры выполнены с помощью промерной рейки. Глубина измерялась от существующего уровня воды. Измерения глубин выполнены через 0,2 м.

Поперечный профиль по гидроствору приведен на рис. 3.2.13.

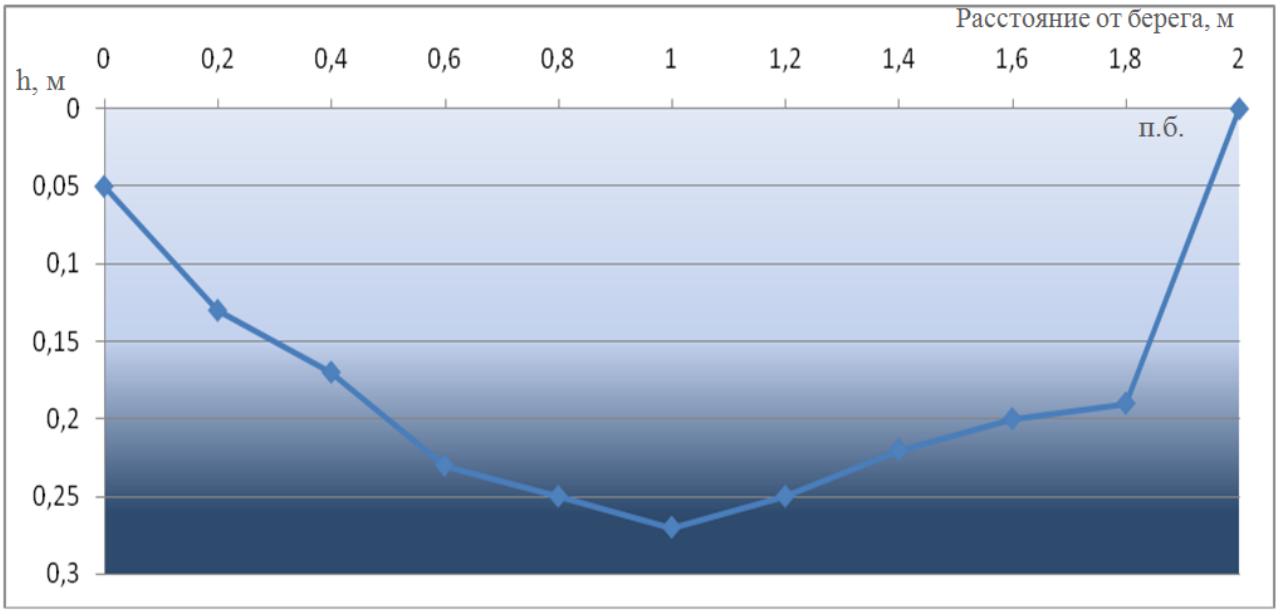

Рисунок 3.2.13 – Поперечный профиль ручей Нижний – створ №2.

Результаты измерений расходов воды представлены в таблице 3.2.2. По этой таблице построены графики зависимостей $Q = f(H)$, $v = f(H)$, $\omega = f(H)$, представленные на рис. 3.2.14-3.2.16. На рис. 3.2.17 показаны результаты подбора теоретической зависимости для кривой расходов.

Таблица 3.2.2 – Измеренные расходы воды. Ручей Нижний – створ №2

Дата	Уровень, м усл.	Расход, $м^3/с$	Площадь, $м^2$	Средняя скорость, м/с	Уклон водной поверхности, ‰
24.05.2018	0.49	0.08	0.23	0.35	1.1
05.06.2018	0.52	0.079	0.29	0.27	1.02
09.06.2018	0.56	0.067	0.33	0.2	1,0
29.08.2018	0.57	0.19	0.39	0.5	1.06
03.09.2018	0.52	0.12	0.36	0.34	0.9
22.10.2018	0.52	0.075	0.3	0.25	0.8
21.11.2018	0.52	0.09	0.28	0.34	0.8
26.02.2019	0.57	0.091	0.41	0.22	1.18
21.03.2019	0.55	0.08	0.32	0.25	1,0

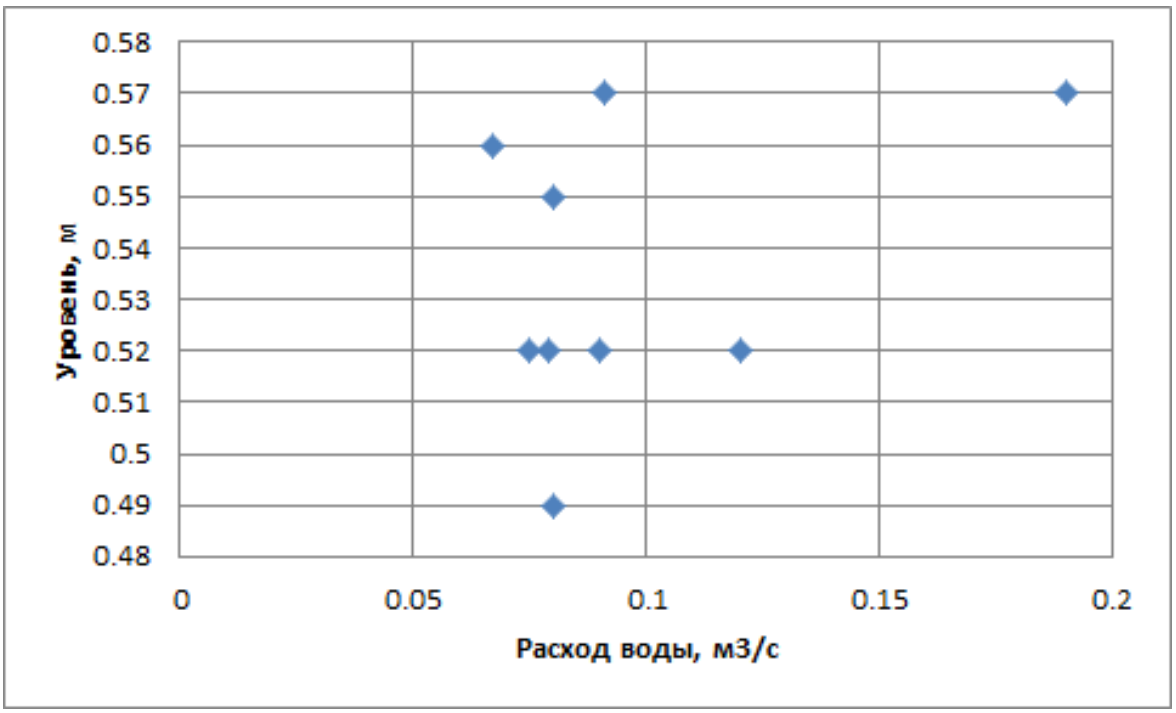

Рисунок 3.2.14 – График зависимости расходов воды от уровня $Q = f(H)$, руч. Нижний – створ №2.

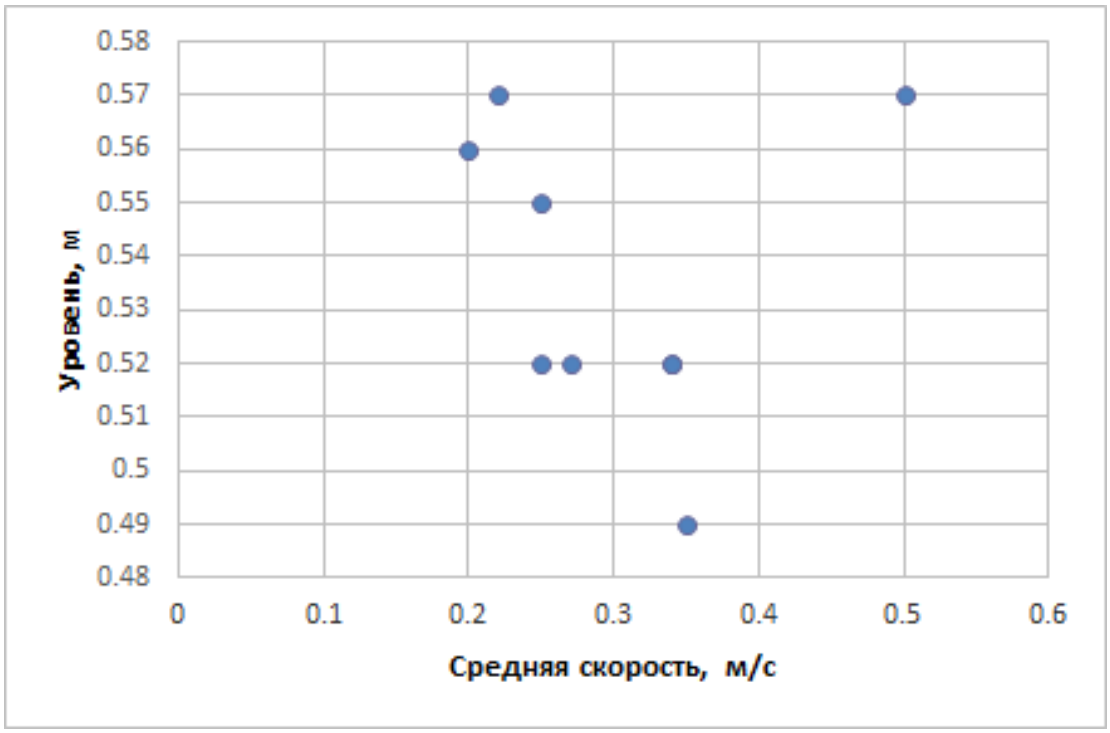

Рисунок 3.2.15 – График зависимости средней скорости воды от уровня воды $v = f(H)$, руч. Нижний – створ №2.

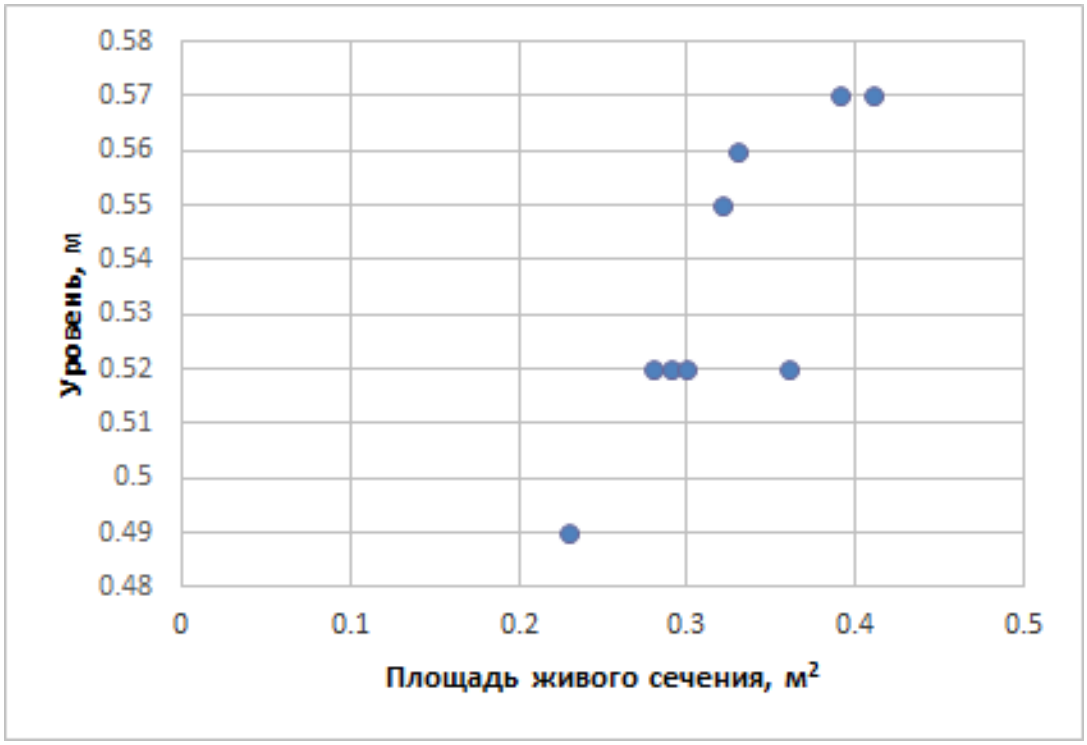

Рисунок 3.2.16 – График зависимости площади живого сечения от уровня воды $v = f(H)$, руч. Нижний – створ №2.

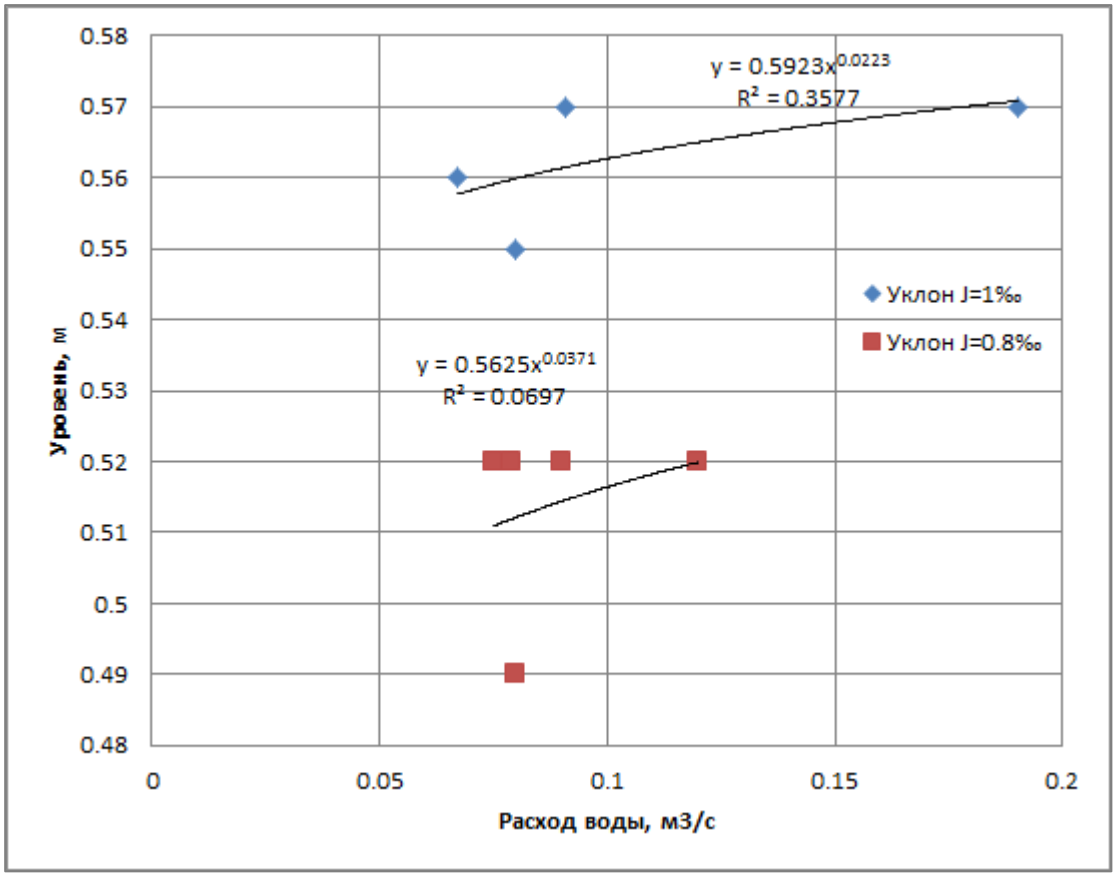

Рисунок 3.2.17 – Теоретическая зависимость между расходами и уровнями воды $Q = f(H)$, руч. Нижний – створ №2.

По графику на рис. 3.2.17 видно, что в данном случае можно подобрать зависимость между расходом и уровнем воды с привлечением данных об уклоне водной поверхности.

3.3 Ручей Безымянный, приток р. Сестра

Исследуемый ручей расположен в Выборгском районе Ленинградской области, п. Ленинское (рис. 3.3.1).

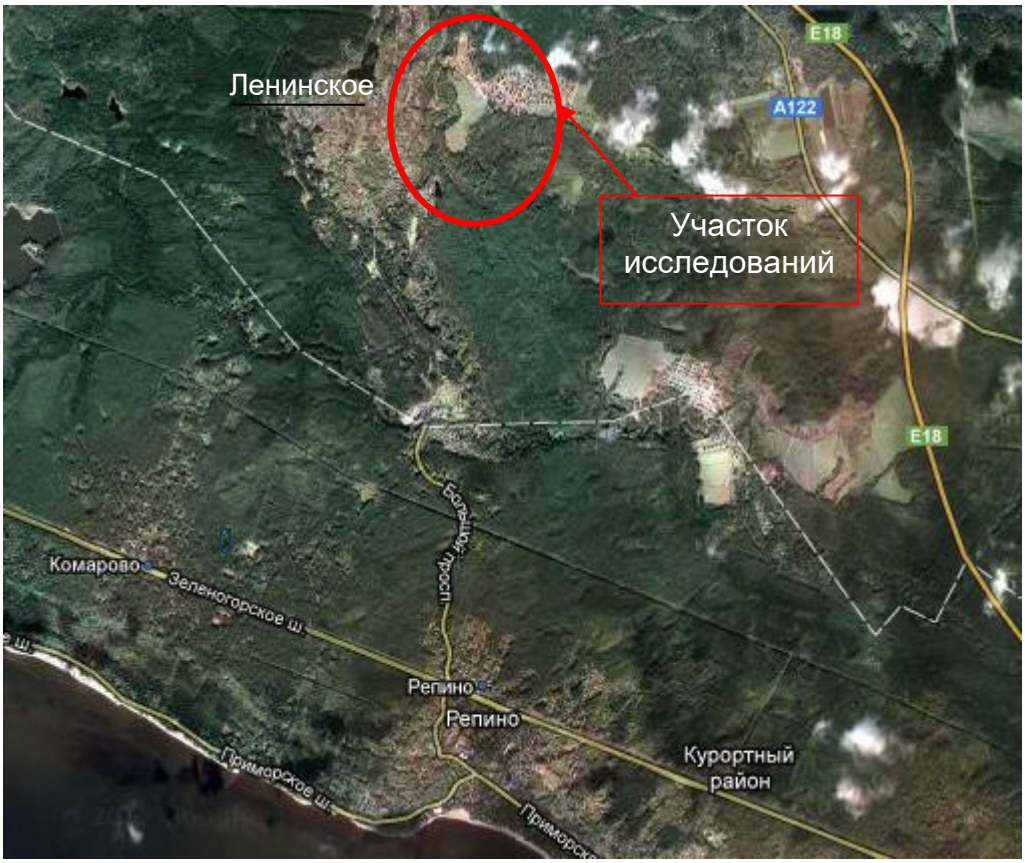

Рис. 3.3.1. Местоположение участка исследований на спутниковом снимке.

Ручей Безымянный – приток реки Сестра первого порядка. Ручей является частью водной системы «Ручей – река Сестра – Сестрорецкий разлив – Финский залив».

Река Сестра – длина 74 км, площадь водосбора составляет 339 км^2. Река Сестра берет начало из болот в 11 км западнее деревни Лемболово, в районе деревни Лесное, и впадает в северную часть Сестрорецкого разлива. Сестрорецкий разлив является источником водоснабжения г. Сестрорецка.

Водохранилище Сестрорецкий Разлив питается, главным образом, стоком с бассейнов р. Сестры и р. Черной (рис. 3.3.2). Площадь водосбора водохранилища Сестрорецкий Разлив 566 км^2.

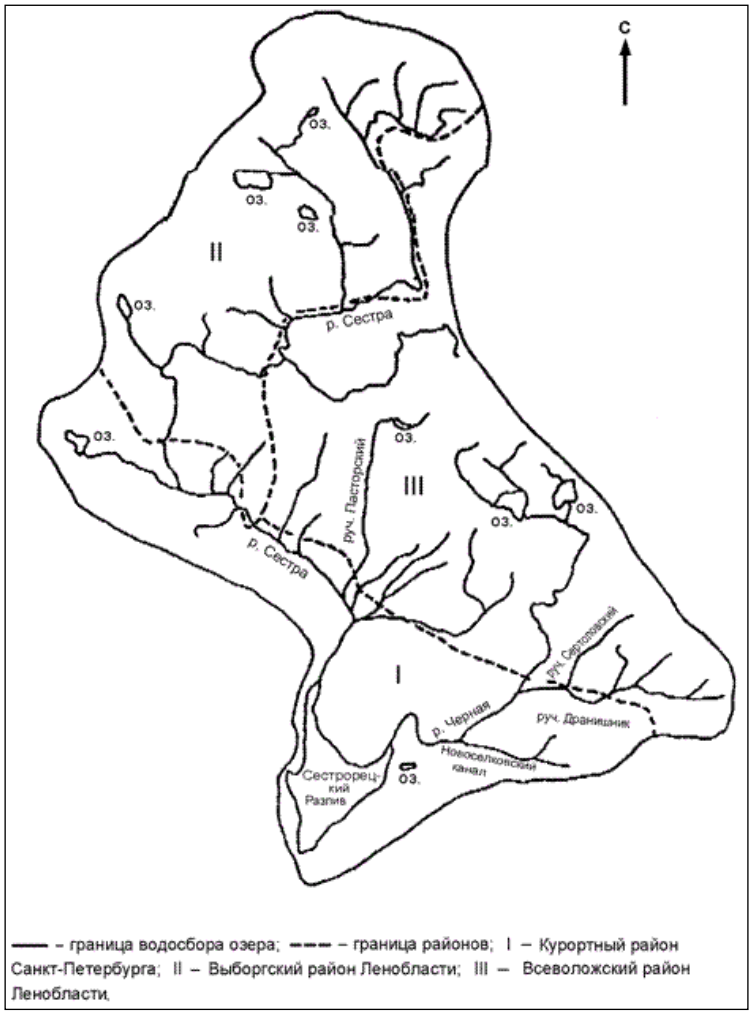

Рисунок 3.3.2 – Схема гидрографической сети водосбора водохранилища Сестрорецкий Разлив.

Первоначально р. Сестра впадала непосредственно в Финский залив в нескольких километрах к западу от Сестрорецка. В 1817 году на реке в 4.8 км от устья была устроена запруда, выше которой образовался Сестрорецкий

разлив. Русло было отведено в сторону Сестрорецка для нужд Сестрорецкого оружейного завода. С этого времени река Сестра впадает в северную часть разлива. Сток воды от разлива к морю осуществляется через плотины на Водосливном и Заводском каналах.

Водосборный бассейн р. Сестры расположен в центральной части Карельского перешейка. Большая часть бассейна (78 %) покрыта смешанными лесами, 16 % занято лугами и пашнями. Озерность бассейна менее 1 %, заболоченность 6 %. Среднемноголетний расход воды р. Сестры у ст. Белоостров составляет 4,39 $м^3/с$.

Ручей Безымянный впадает в реку Сестра с левого берега на 30 км от устья. Ручей Безымянный не изучен в гидрологическом отношении. В ходе камеральных работ при помощи карт соответствующего масштаб определена, длина ручья, которая составляет 1,4 км. В 0,4 км от устья ручей Безымянный имеет левобережный приток без названия, длина притока 1 км.

Ранее истоком ручья являлась сеть мелиоративных канав располагавшихся на испрашиваемом участке. В ходе подготовительных строительных работ мелиоративные канавы были засыпаны, за счет этого уменьшилась площадь поверхностного водосбора ручья. Площадь водосбора не определена из-за антропогенного вмешательства.

Сведения о ручье Безымянном:

- Код водного объекта – БАЛ ПРОТОК 10 30
- Бассейновый округ – Балтийский бассейновый округ
- Речной бассейн – Нева (включая бассейны рек Онежского и Ладожского озера)
- Речной подбассейн – Нева и реки бассейна Ладожского озера (без 01.04.01 и 01.04.02, российская часть бассейнов)
- Водохозяйственный участок - Реки и озера бассейна Финского залива от границы РФ с Финляндией до северной границы бассейна р. Нева
- Код водохозяйственного участка – 01.04.03.005

Участок исследований расположен в среднем течении ручья (рис. 3.3.3).

В качестве контрольного репера оборудован в виде метки на дереве временный репер, от которого домером определяется уровень воды в створе. Выбранное место удобно тем, что здесь возможен спуск к воде, с которого возможно измерение уровня и расхода воды.

Отметка контрольного репера: 2,00 м усл.

Измерения уровня воды выполняются домером. Уровень воды находится ниже уровня контрольного репера, и домер выполняется вниз.

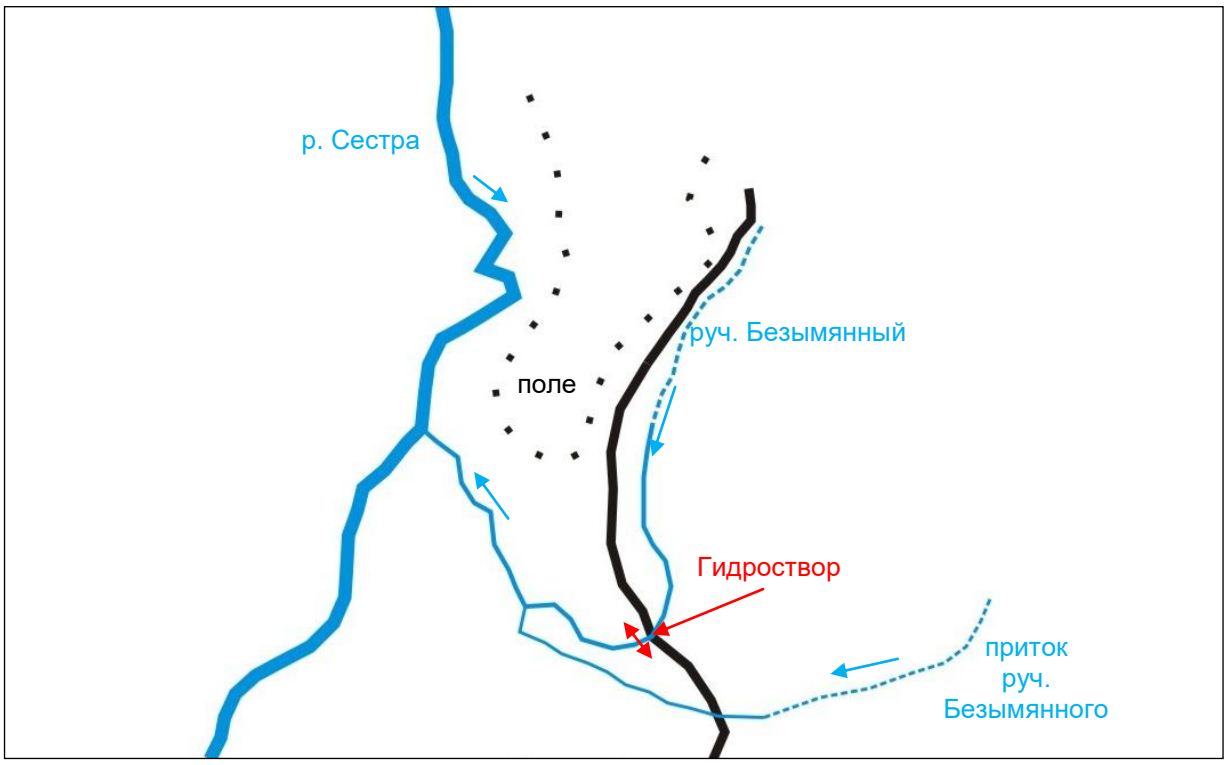

Рисунок 3.3.3 – Ситуационный план.

Прилегающая территория имеет характерный рельеф. На правобережье находится возвышенность, склон крутой высокий. В среднем течении русло ручья удаляется от возвышенности (коренного берега), прилегающая территория становится более пологой и увеличивается ее увлажнение. Направление течения с севера на юг, в среднем течении русло ручья делает крутой поворот, и направление течения меняется на северо-запад.

На рассматриваемом участке русло ручья не выражено и протекает по заболоченной равнинной территории (рис. 3.3.4-3.3.5).

Рисунок 3.3.4 – Верховья ручья Безымянного (в районе выпуска сточных вод)

Во время проведения полевых работ выполнены промеры глубин поперек ручья от левого до правого берега.

Промеры глубин производятся по створу длиной 0,90 м. Промерный профиль проложены перпендикулярно береговой линии. Промеры выполнены с помощью промерной рейки. Глубина измерялась от существующего уровня воды. Измерение глубин выполнены через 0,1 м.

Поперечный профиль по гидроствору приведен на рисунке 3.3.6.

Рисунок 3.3.5 – Ручей Безымянный – Гидроствор.

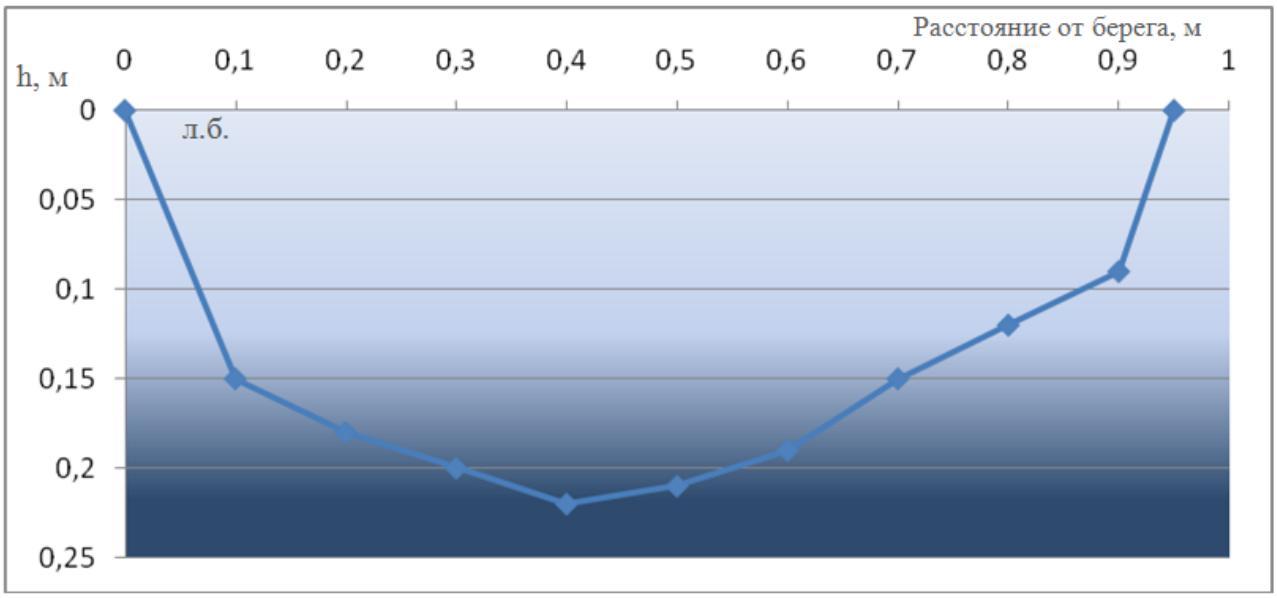

Рисунок 3.3.6 – Поперечный профиль ручей Безымянный.

Результаты измерений расходов воды представлены в таблице 3.3.1. По этой таблице построены графики зависимостей $Q = f(H)$, $v = f(H)$, $\omega = f(H)$,

представленные на рис. 3.3.7-3.3.9. На рис. 3.3.10 показаны результаты подбора теоретической зависимости для кривой расходов.

Таблица 3.3.1 – Измеренные расходы воды. Ручей Безымянный – Гидроствор

Дата	Уровень, м усл.	Расход, $м^3/с$	Площадь, $м^2$	Средняя скорость, м/с	Уклон водной поверхности, ‰
26.02.2018	1.05	0			
30.05.2018	0.97	0.060	0.005	0.09	0.6
09.06.2018	0.97	0.006	0.16	0.04	0.4
20.06.2018	0.80	0.009	0.08	0.12	0.6
10.08.2018	0.54	0.006	0.15	0.04	0.6
04.09.2018	0.90	0.005	0.12	0.04	0.4
30.10.2018	1,00	0.035	0.26	0.13	0.6
06.12.2018	0.98	0.013	0.16	0.08	0.4
28.03.2019	1.07	0.001	0,12	0.01	

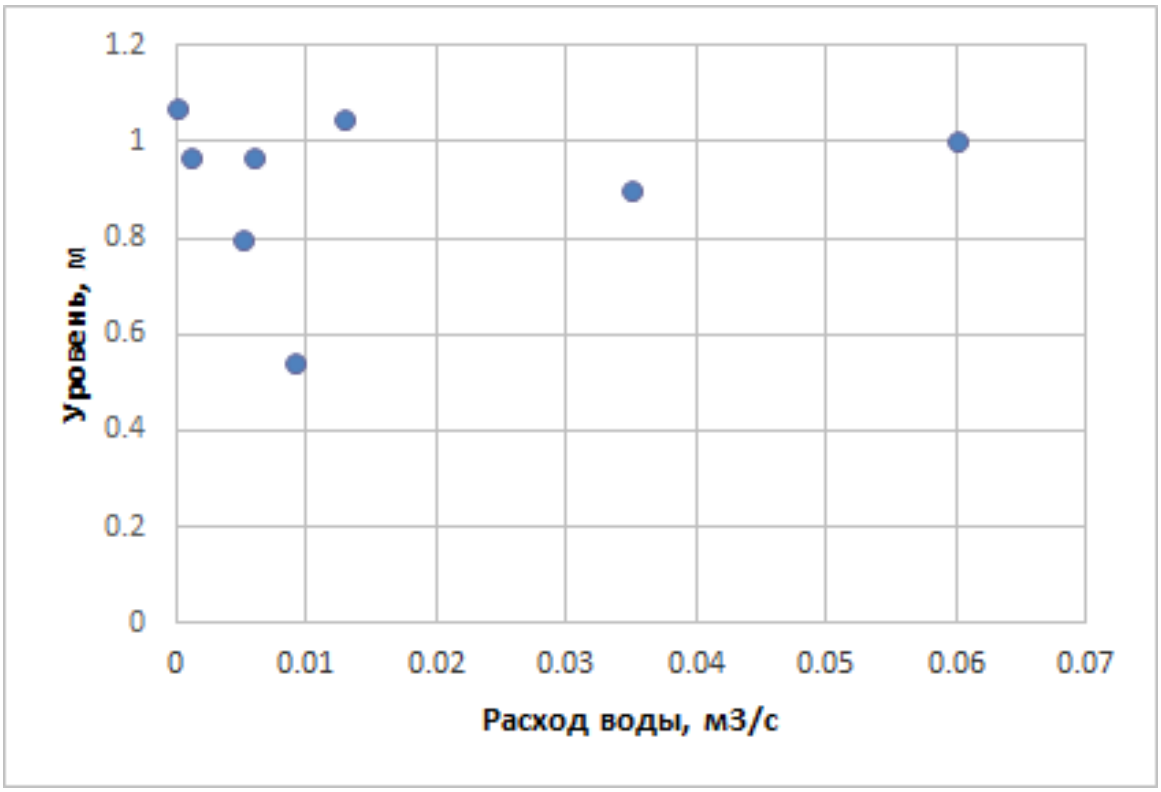

Рисунок 3.3.7 – График зависимости расходов воды от уровня $Q = f(H)$, ручей Безымянный – Гидроствор.

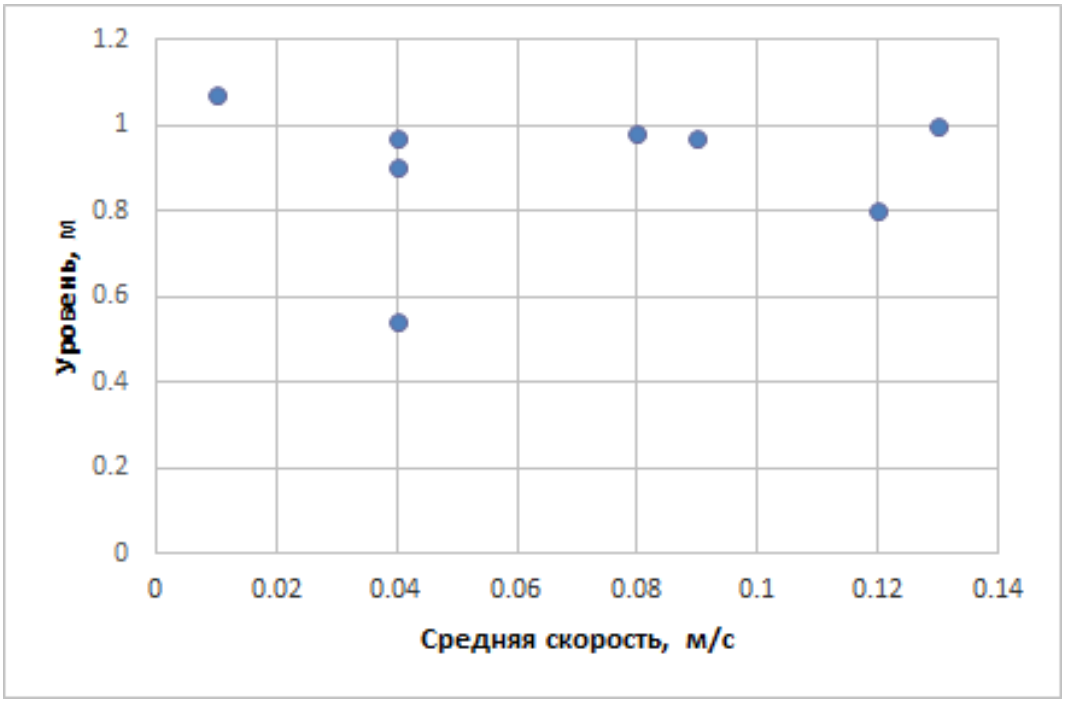

Рисунок 3.3.8 – График зависимости средней скорости воды от уровня воды $v = f(H)$, ручей Безымянный – Гидроствор.

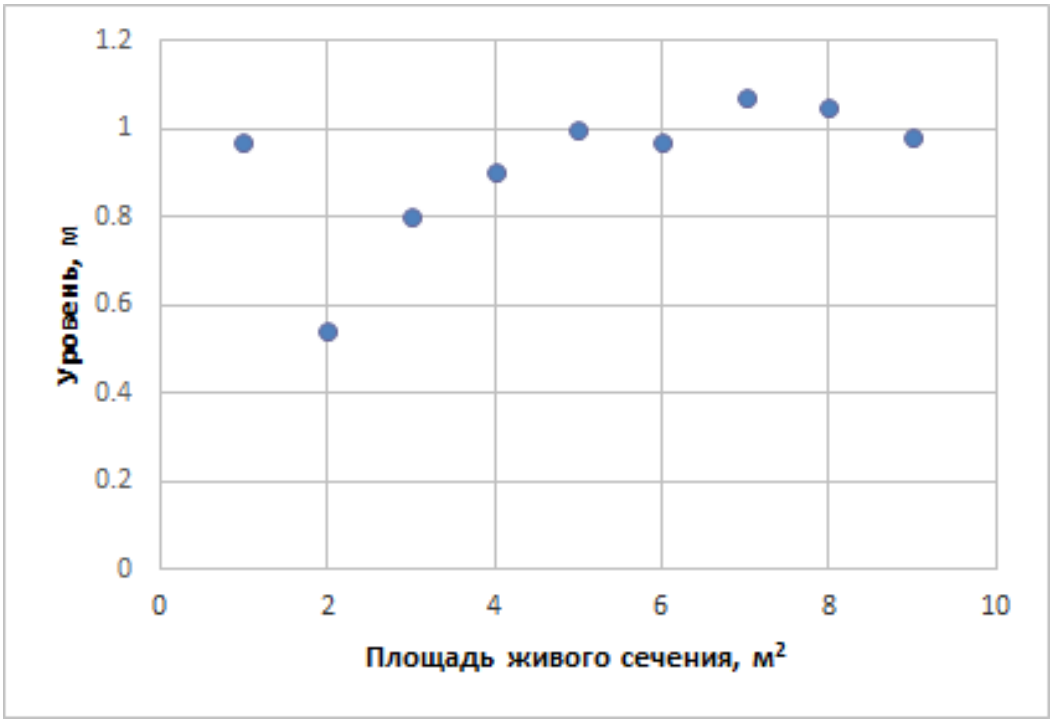

Рисунок 3.3.9 – График зависимости площади живого сечения от уровня воды $v = f(H)$, ручей Безымянный – Гидроствор.

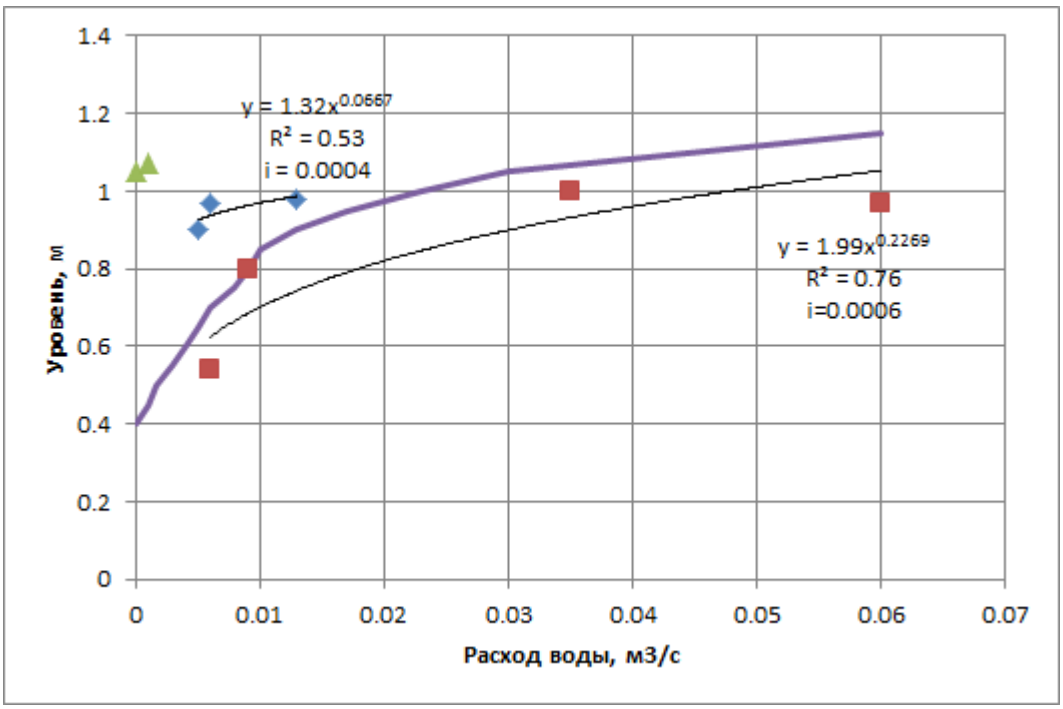

Рисунок 3.3.10 – Теоретическая зависимость между расходами и уровнями воды $Q = f(H)$, ручей Безымянный – Гидроствор.

По графику на рис. 3.3.10 видно, что в данном случае можно подобрать зависимость между расходом и уровнем воды с привлечением данных об уклоне водной поверхности.

3.4 Ручей без названия, приток р. Охта

Исследуемый ручей без названия расположен во Всеволожском районе Ленинградской области около деревни Порошкино (рис. 3.4.1).

Рис. 3.4.1. Схема с указанием расположения участка исследований.

Ручей без названия – приток реки Охта первого порядка. Участок исследований расположен в верховьях ручья без названия.

Река Охта – один из крупных притоков р. Невы впадает в нее с правого берега на 12 км от устья Невы.

Река Охта берет начало в лесном болоте в 8 км западнее поселка Лемболово Всеволожского района и протекает по Приневской низменности. Длинна реки 90 км, площадь водосбора – 768 км^2, средний уклон 2,15 ‰. Озерность 2 %, заболоченность 9 %, лесистость около 60 %. Средний многолетний расход – 7,15 м^3/с.

Река Охта имеет несколько крупных притоков р. Харвази, р. Пипиловка, р. Лубья, р. Оккервиль, р. Лапка. Притоков длиной менее 10 км – 138, общая длина – 258 км. Озер на водосборе 56, общей площадью 9,25 км^2.

Бассейн р. Охта можно разделить на 3 части: северную – возвышенную, с благоприятными условиями дренажа и стока, с большим количеством выходов грунтовых вод; центральную, частично заболоченную, и южную, занятую

городскими постройками. Высотные отметки бассейна колеблются от 150 м в верховье реки до 0,4 – 0,8 в ее устье.

Преобладающая ширина 10-50 м, глубина 0,5-5,5 м. Амплитуда колебаний уровня 2 м.

Средний многолетний расход воды в створе д. Новое Девяткино (23 км от устья) составляет 3,35 $м^3/с$. Среднемноголетний годовой модуль стока 9,84 $л/км^2$ с. Среднегодовой слой стока 310 мм.

На реке расположено Охтинское водохранилище. Сбросные расходы из водохранилища находятся в интервале 5-44 $м^3/с$.

В годовом ходе уровня воды р. Охта и ручья без названия на исследуемом участке можно выделить весеннее половодье, летне-осеннюю межень, осенне-зимний период с несколько повышенной водностью и зимнюю межень.

Весенний подъем уровня на р. Охта и ручье без названия начинается обычно в конце марта, пик весеннего половодья приходится на середину апреля, спад половодья длится до конца мая.

Общая продолжительность весеннего половодья в среднем составляет в среднем 65 суток. В половодье проходит 50% от годового стока.

В осенне-зимний период уровни воды относительно стабильны. Низшие уровни отмечаются в феврале-марте.

Для определения естественного расхода ручья без названия назначены водомерный пост и морфоствор (рис. 3.4.2).

Водомерный пост сооружён на левом берегу ручья без названия в 3,4 км от устья. Это место удобно тем, что здесь возможен спуск к воде, с которого удобно измерять расходы воды, прилегающая местность занята луговой растительностью.

Водомерный пост оформлен в виде водомерной рейки.

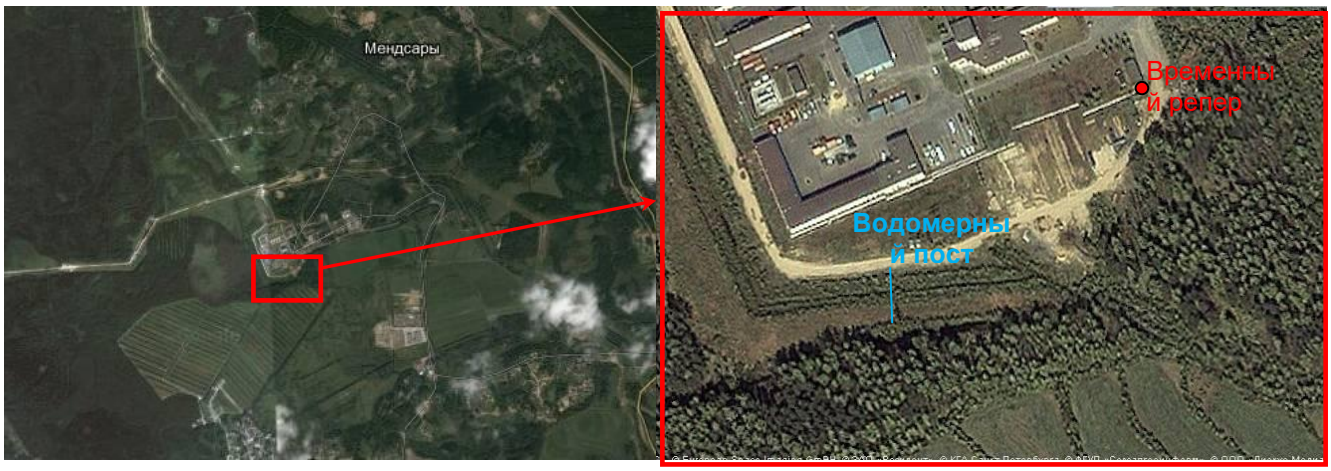

Рисунок 3.4.2 – Ситуационный план.

Отметка контрольного репера на опоре принята 5,0 м усл. Отметка головки водомерной рейки – 1,09 м усл.

Измерение уровня по рейке при низких уровнях воды производится визуально с берега, при высоких уровнях воды – домером (вверх) от головки рейки (рис. 3.4.3).

Для водомерного поста при его устройстве назначен нуль графика - воображаемая горизонтальная, неизменно сохраняющая свою высоту, плоскость, проходящая ниже самого низкого уровня воды в створе поста. Все наблюденные значения высоты уровня на посту отсчитываются от нуля графика.

Рисунок 3.4.3 – Измерение уровня воды ручья на оборудованном водомерном посту.

Во время проведения полевых работ выполнены промеры глубин поперек ручья от левого до правого берега. Русло ручья на участке измерений спрямлено, высота бровок до 1,5 м.

Промеры глубин производятся по створу длиной 0.9 м. Промерный профиль проложен перпендикулярно береговой линии. Промеры выполнены с помощью промерной рейки. Глубина измерялась от существующего уровня воды. Измерение глубин выполнены через 0,2 м.

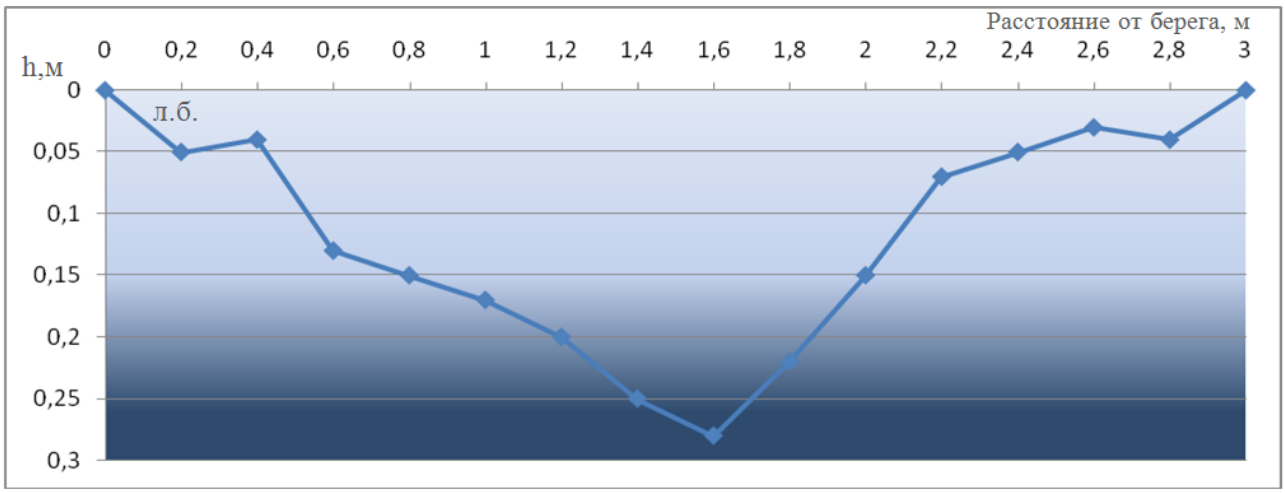

Рисунок 3.4.4 – Поперечный профиль ручей без названия по гидроствору.

Рисунок 3.4.5 – Створ измерения морфометрических и гидрологических характеристик ручья.

Результаты измерений расходов воды представлены в таблице 3.4.1. По этой таблице построены графики зависимостей $Q = f(H)$, $v = f(H)$, $\omega = f(H)$, представленные на рис. 3.4.6-3.4.8. На рис. 3.4.9 показаны результаты подбора теоретической зависимости для кривой расходов.

Таблица 3.2.2 – Измеренные расходы воды. Ручей Нижний – створ №2

Дата	Уровень, м усл.	Расход, $м^3/с$	Площадь, $м^2$	Средняя скорость, м/с	Уклон водной поверхности, ‰
24.05.2018	0.27	0.008	0.06	0.13	0.84
05.06.2018	0.39	0.005	0.1	0.04	0.60
29.07.2018	0.49	0.0026	0.24	0.018	0.40
29.08.2018	0.46	0.033	0.28	0.09	0.80
03.09.2018	0.53	0.017	0.48	0.05	0.76
22.10.2018	0.51	0.013	0.44	0.04	0.60
21.11.2018	0.69	0.018	1.54	0.01	0.58

Дата	Уровень, м усл.	Расход, $м^3/с$	Площадь, $м^2$	Средняя скорость, м/с	Уклон водной поверхности, ‰
28.03.2019	0.69	0.010	0.40	0.032	0.42

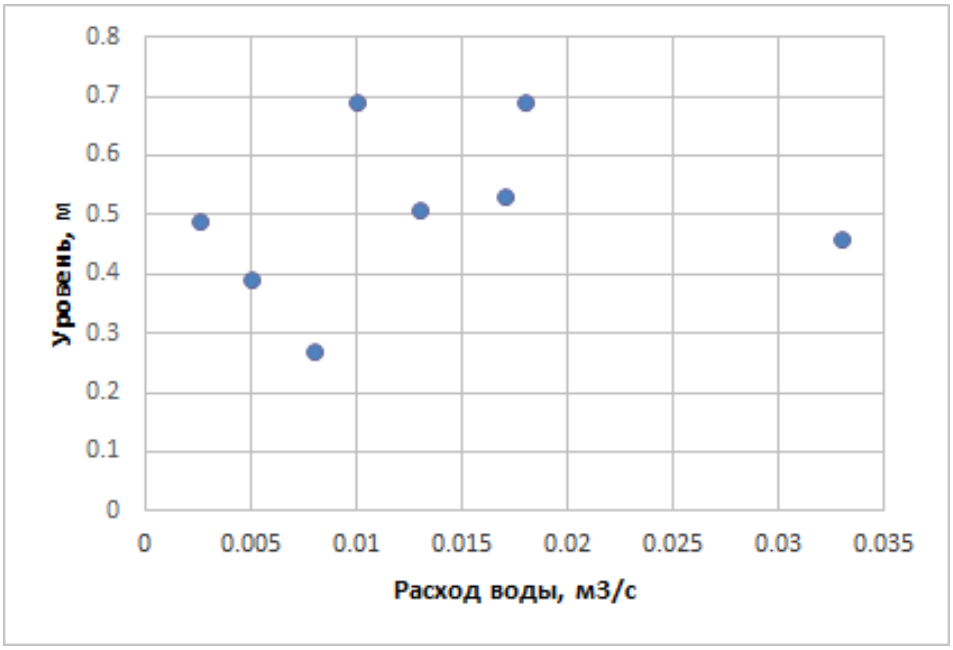

Рисунок 3.4.6 – График зависимости расходов воды от уровня $Q = f(H)$.

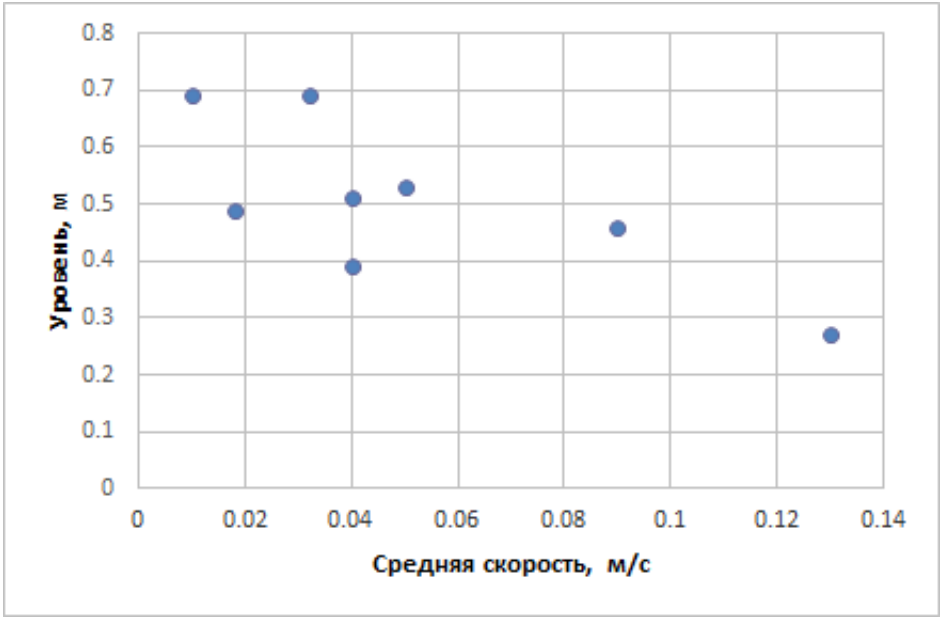

Рисунок 3.4.7 – График зависимости средней скорости воды от уровня воды $v = f(H)$.

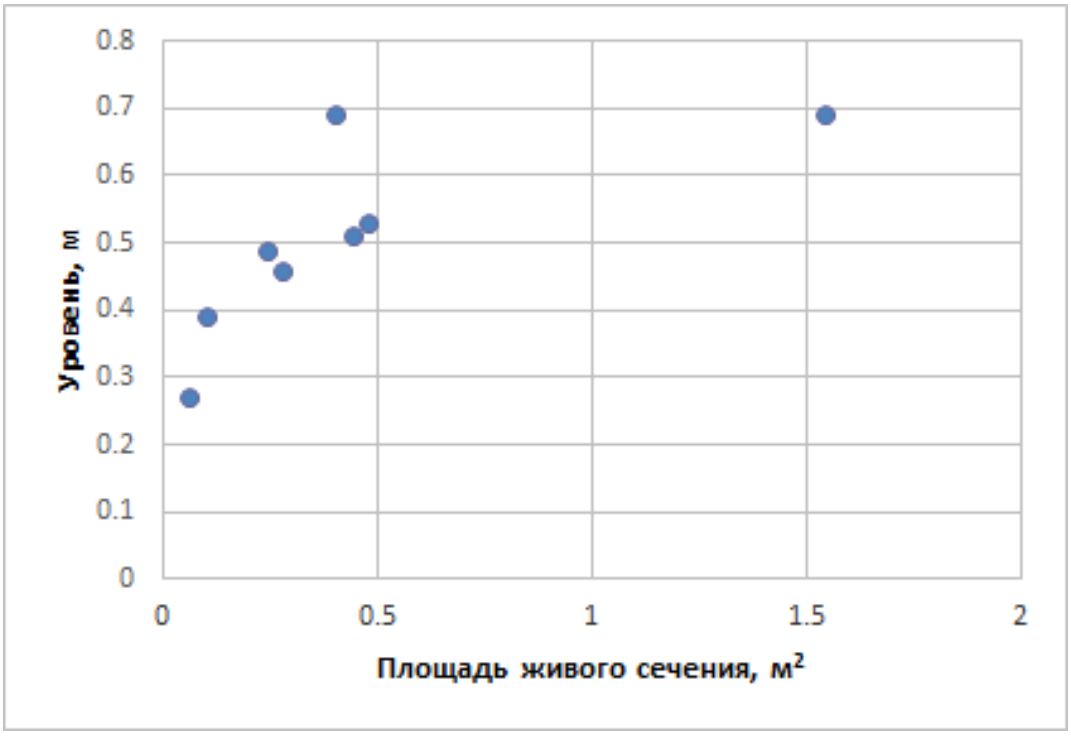

Рисунок 3.4.8 – График зависимости площади живого сечения от уровня воды $v = f(H)$.

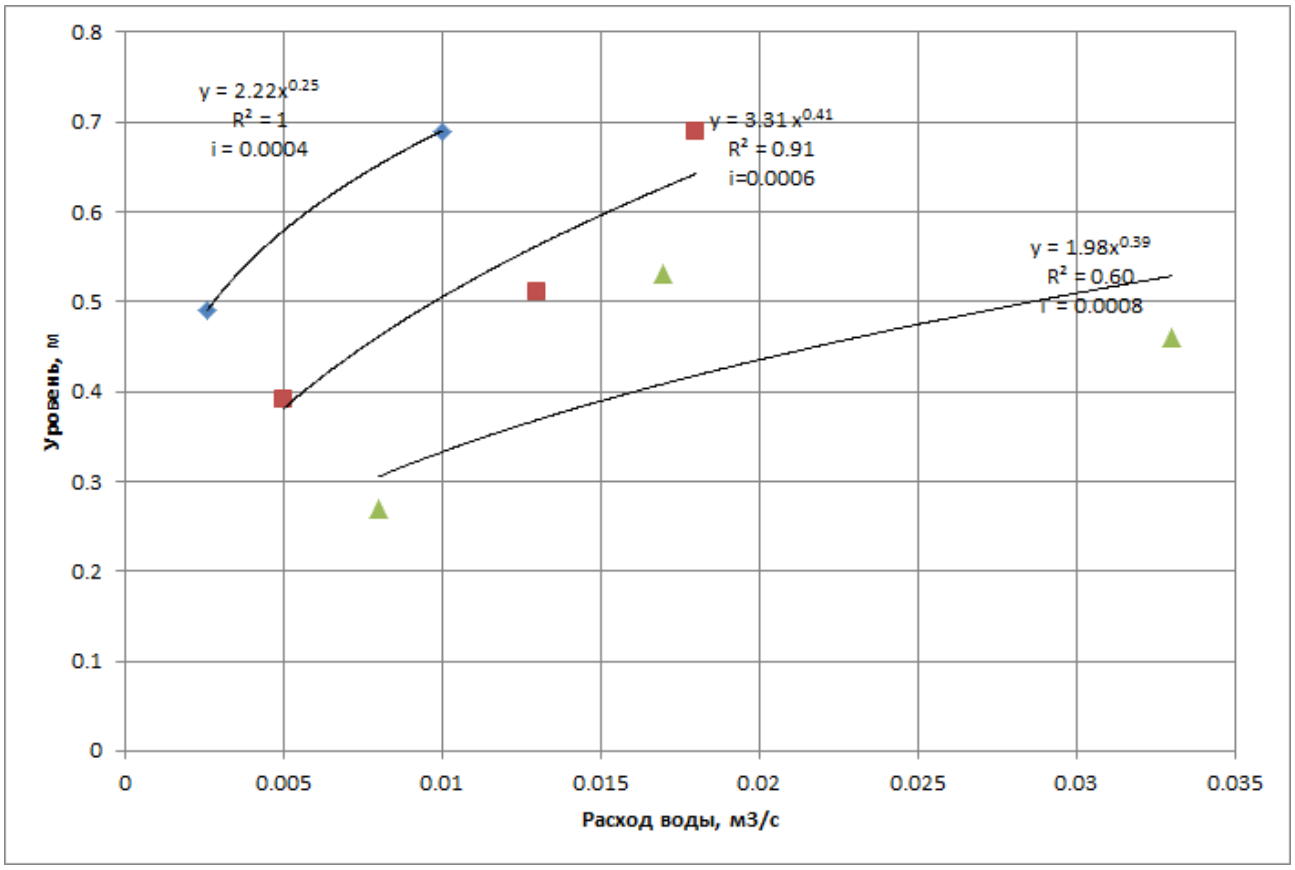

Рисунок 3.4.9 – Теоретическая зависимость между расходами и уровнями воды $Q = f(H)$.

По графику на рис. 3.4.9 видно, что в данном случае можно подобрать зависимость между расходом и уровнем воды с привлечением данных об уклоне водной поверхности.

3.5 Ручей без названия, приток р. Малая Ижорка

Исследуемый ручей расположен в Тосненском районе Ленинградской области п. Тельмана, Красноборская дорога (рис. 3.5.1).

Рисунок 3.5.1 – Схема с указанием расположения участка исследований.

Ручей без названия – приток реки Малая Ижорка первого порядка. Участок исследований расположен в верховье ручья без названия.

Речная сеть района обследования принадлежит бассейну реки Малая Ижорка.

Ручей без названия является частью водной системы «ручей без названия – р. Малая Ижорка – р. Большая Ижорка – р. Ижора – р. Нева – Невская губа Финского залива».

Длина ручья около 2 км. Ручей принимает сток мелиоративного канала, который пересекает правобережную часть водосбора р. Ижоры.

Исток р. Малая Ижорка в настоящее время расположен в 1 км северо-восточнее п. Тельмана.

Малая Ижорка впадает в Большую Ижорку с левого берега на расстоянии 3,3 км от устья. Относится к бассейну Финского залива Балтийского моря.

Большая Ижорка имеет длину 12 км. Притоков длиной менее 10 км – 138, общая длина – 258 км. Озер на водосборе 56, общей площадью 9,25 км^2.

Длина реки Малая Ижорка (без учета мелиоративной сети в ее истоке) составляет 7,5 км, границы водосбора не определены.

Большая часть водосбора Малой Ижорки находится в пределах Приневской низменности. Река протекает по местности, покрытой густой сетью мелиоративных каналов, в среднем течении – по территории бывших торфоразработок, на участке в 3 км от устья – по застроенной местности.

Река Малая Ижорка является малым водотоком, принадлежит к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. Наименьшие величины стока наблюдаются в зимний период.

Гидрологический режим реки Малая Ижорка не изучен. Из-за неопределенности границ ее водосбора получение характеристик стока расчетным путем не представляется возможным.

В годовом ходе уровня воды р. Малая Ижорка и ручья без названия на исследуемом участке можно выделить весеннее половодье, летне-осеннюю межень, осенне-зимний период с несколько повышенной водностью и зимнюю межень.

По совокупности рыбохозяйственных показателей река Малая Ижорка относится к водоемам первой категории водопользования.

Для определения естественного расхода ручья без названия назначены водомерный пост и морфоствор. Отметка контрольного репера – 2,00 м усл.

Измерения уровня воды выполняются домером. Уровень воды находится ниже уровня контрольного репера и домер выполняется вниз.

Во время проведения полевых работ выполнены промеры глубин поперек ручья от правого до левого берега.

Дно ручья сильно заилено, мощность донных отложений до 1,0 метра. При низком уровне воды происходит обнажение донных отложений по берегам, что значительно осложняет подход к ручью и проведение морфометрических и гидрологических измерений.

Промеры глубин произведены по створу длиной 2,9 м. Промерный профиль проложен перпендикулярно береговой линии. Промеры выполнены с помощью промерной рейки. Глубина измерялась от существующего уровня воды.

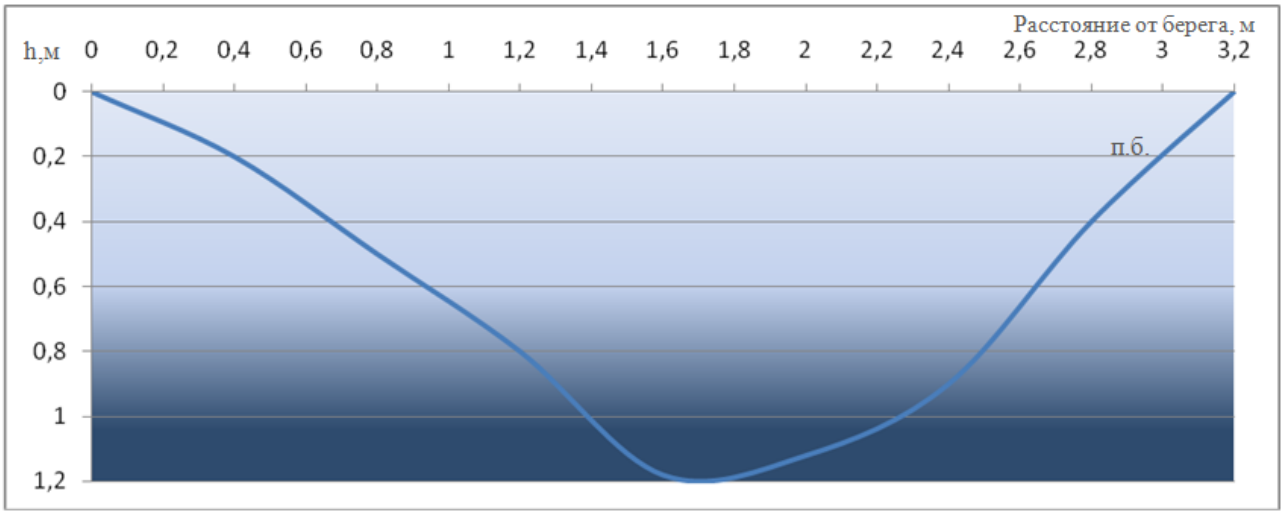

Рисунок 3.5.2 – Поперечный профиль ручей без названия по гидроствору.

В результате построения гидроствора определено, что наибольшая глубина составляет 1,02 м; средняя глубина 0,56 м; ширина 2,9 м.

Русло ручья на участке измерений спрямлено, высота бровок до 1,5 м.

Рисунок 3.5.3 – Створ измерения морфометрических характеристик и скорости течения гидрометрической вертушкой.

Результаты измерений расходов воды представлены в таблице 3.5.1. По этой таблице построены графики зависимостей $Q = f(H)$, $v = f(H)$, $\omega = f(H)$, представленные на рис. 3.5.4-3.5.6. На рис. 3.5.7 показаны результаты подбора теоретической зависимости для кривой расходов.

Таблица 3.5.1 – Измеренные расходы воды. Ручей без названия, приток р. Малая Ижорка

Дата	Уровень, м усл.	Расход, $м^3/с$	Площадь, $м^2$	Средняя скорость, м/с	Уклон водной поверхности, ‰
23.05.2018	1.77	0.12	1.63	0.07	1.5
20.06.2018	1.87	0.078	1.24	0.06	1.0
09.08.2018	1.81	0.015	1.73	0.013	1.0
16.10.2018	1.68	0.004	1.1	0.0044	1.5
22.10.2018	1.86	0.61	2.04	0.3	1.5
28.03.2019	1.81	0.007	0.32	0.022	1.0

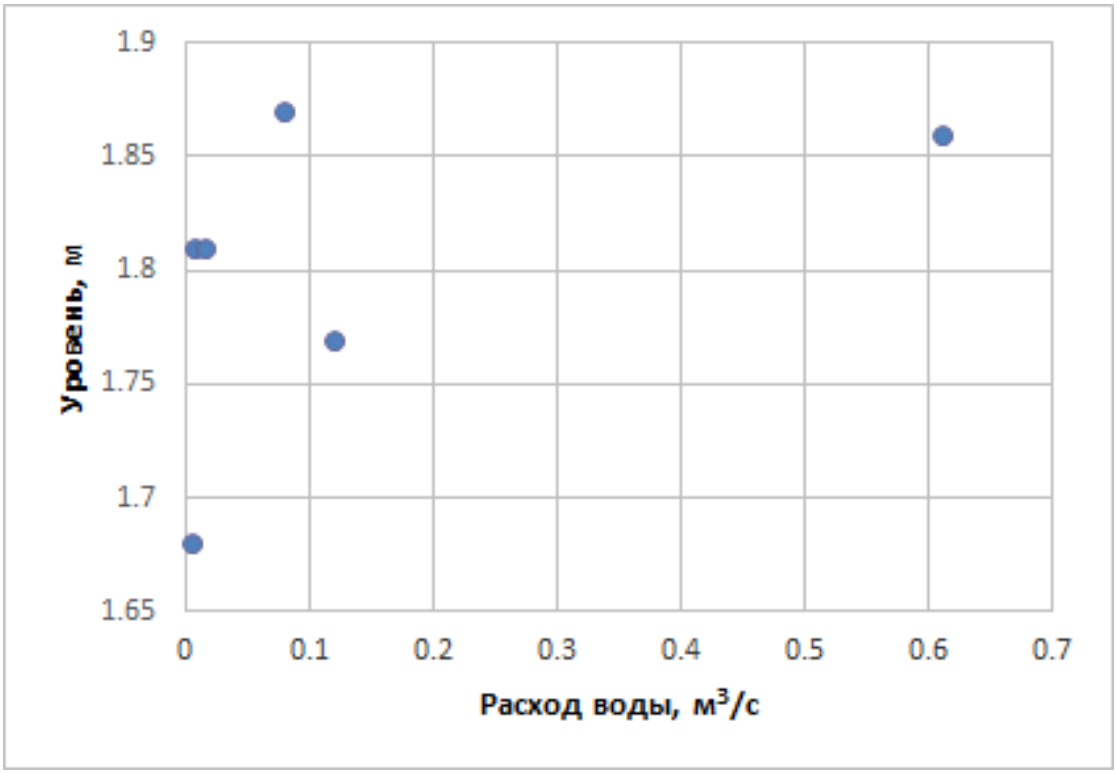

Рисунок 3.5.4 – График зависимости расходов воды от уровня Q = f(H), ручей без названия, приток р. Малая Ижорка.

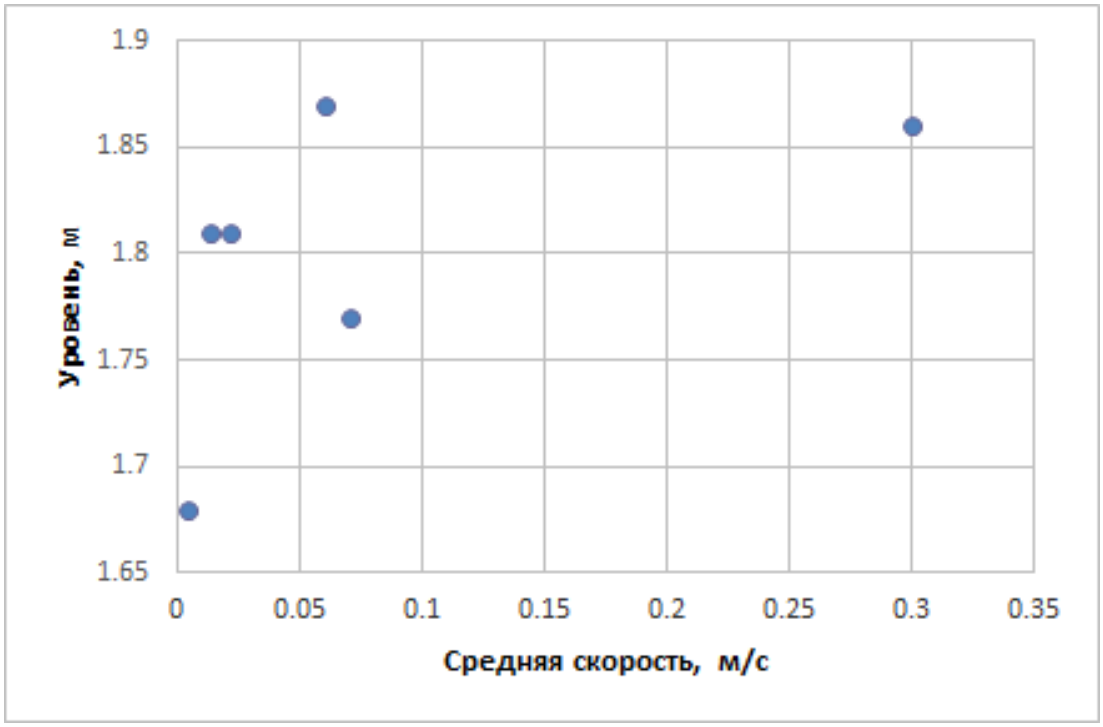

Рисунок 3.5.5 – График зависимости средней скорости воды от уровня воды $v = f(H)$, ручей без названия, приток р. Малая Ижорка.

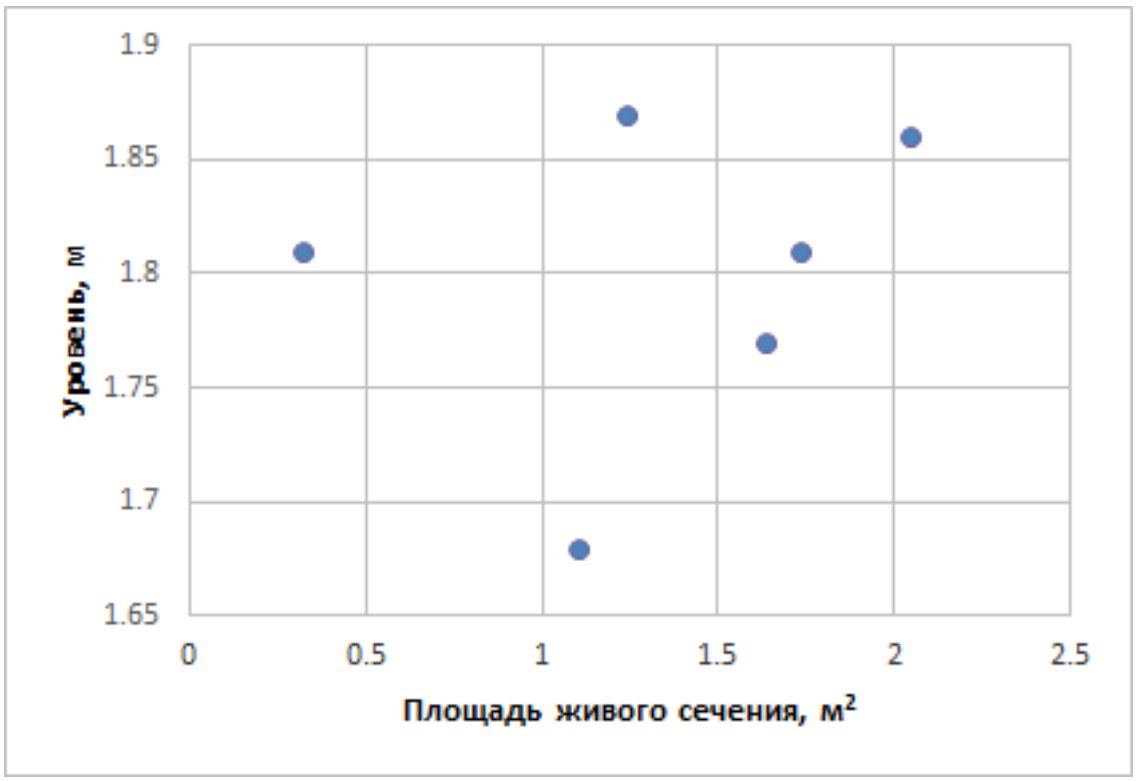

Рисунок 3.5.6 – График зависимости площади живого сечения от уровня воды $v = f(H)$, ручей без названия, приток р. Малая Ижорка.

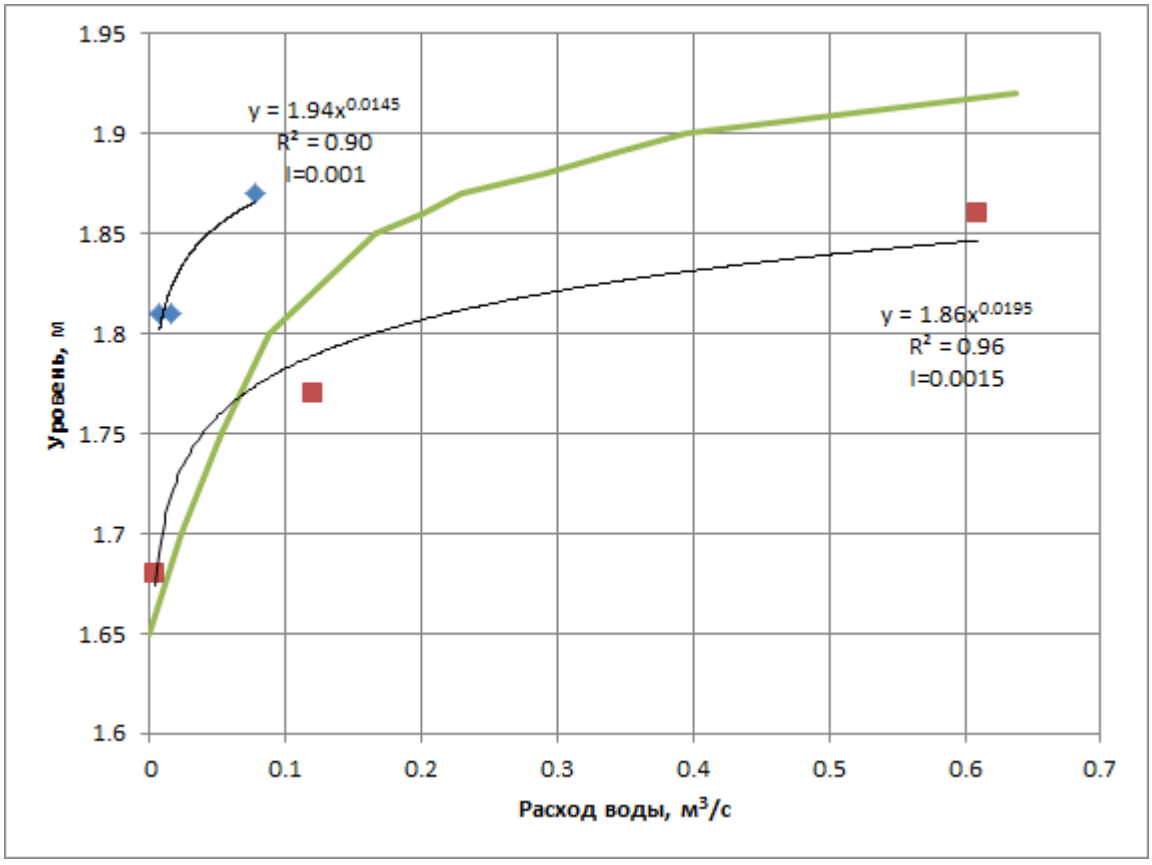

Рисунок 3.5.7 – Теоретическая зависимость между расходами и уровнями воды $Q = f(H)$, ручей без названия, приток р. Малая Ижорка.

По графику на рис. 3.5.7 видно, что в данном случае можно подобрать зависимость между расходом и уровнем воды с привлечением данных об уклоне водной поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы по исследованию кривых расходов воды на малых водотоках на примере ручьев Ленинградской области получено, что при построении кривой расходов обязательно необходимо учитывать уклон водной поверхности.

Для достижения цели в работе решены следующие задачи:

1) составлена физико-географическая характеристика исследуемых ручьев Ленинградской области,
2) представлен обзор существующих методов построения кривых расходов,
3) построены кривые расходов для выбранных водотоков,
4) выработаны предложения по практическому использованию полученных результатов.

Есть некоторое различие в условиях измерения расходов воды и точности учета стока больших-средних и малых водотоков. Так для большинства больших и средних незарегулированных рек меньшей точностью отличаются расходы, измеренные в весеннее половодье и высокие паводки при выходе воды из берегов, когда гидрометрические работы проводятся по поймам или с высоких мостов. В остальное время условия измерения расходов более удовлетворительные, за исключением отдельных гидростворов, расположенных на участках рек с малыми уклонами.

Измерение расходов в малых водотоках при высоких уровнях, в том числе и весной, отличается удовлетворительными условиями и точностью, так как максимальные расходы проходят в руслах без выхода воды из берегов. Пониженной точностью характеризуется измерение расходов в летне-осенний и зимний меженный периоды. Это связано с различными причинами, основной из которых является трудность измерения малой скорости течения воды. В то же время сток с водосборов в эти периоды в основном определяет долю

грунтового питания сети и косвенно – влагозапасы в почвогрунтах. Поэтому количественные характеристики стока представляют интерес.

Остался открытым вопрос построения кривых расходов для малых водотоков, не освещенных данными гидрометрических наблюдений. Этот вопрос требует дальнейшего исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Двинских С.А., Девяткова Т.П., Китаев А.Б., Тереханова Т.А. Динамика кривых расходов воды как индикатор русловых процессов // Географический вестник. 2012. № 4 (23). С. 30-40.

2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна реки Нева в 6-х книгах. – Санкт-Петербург, 2010.

3. ГОСТ 17.8.1.01-86. Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения

4. Исаченко А.Г. Экологическая география северо-запада России. Ч.1.СПб, 1995, 206 с.

5. Природа Ленинградской области и ее охрана. Под дер. Миронова Т.И, Слепян Э.И. – Л.: Лениздат, 1983. - 277 с.

6. Хвостова Р.Н., Семенюк Е.А.. Характеристики температурно-влажностного режима для мониторинга климата (по данным суточного разрешения). 2007. – Информационный сайт ГУ «ИГКЭ» Росгидромета и РАН http://climatechange.igce.ru

7. Климатологический справочник СССР. Вып.3 Ч.1-6. - 1954-1956, 1974-1976

8. Метеорологический ежемесячник.Вып.3,Ч.II. –Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. - 1960-1995

9. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Вып.3 Ч.1-6. – 1988

10. Справочник по климату СССР. Вып.3. Ч.1-6 - Л.: Гидрометеоиздат. - 1965, 1966, 1968.

11. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. – СПб, Гидрометеоиздат, 2005. - 319 с.

12. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1, РСФСР, Вып. 5. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986

13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т.2. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966, 1974, 1978

14. Водные ресурсы Нечерноземной зоны РСФСР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 214 с.

15. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 448 с.