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

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Гидрологические расчеты при обосновании строительства автомобильного моста через реку Тигода**

Исполнитель Юшко Юлия Николаевна

Руководитель кандидат географических наук, доцент
Сакович Владимир Михайлович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

к.г.н., доцент
Сикан Александр Владимирович

«08» июня 2018 г.

Санкт–Петербург
2018

Содержание

Введение 3

1 Физико-географическая и климатическая характеристика территории 5

1.1 Физико-географическая характеристика 5

1.2 Климатическая характеристика 8

2 Гидрологическая изученность территории и характеристика гидрологического режима 21

2.1 Гидрологическая изученность 21

2.2 Водный режим р. Тигода 26

2.3 Термический и ледовый режим 27

3 Расчет максимальных расходов воды 31

3.1 Характеристика створа строительства моста 31

3.2 Характеристика данных о максимальных расходах воды 36

3.3 Расчет максимальных расходов половодья р. Тигода в створе Любань 40

3.4 Определения максимальных расходов в расчетном створе 43

4 Расчет уровней воды в створе проектирования 47

Заключение 51

Список литературы 52

Приложение 53

Введение

Целью выпускной работы является расчет максимальных уровней воды.

На реке Тигода в створе строительства моста автомобильной дороги Москва-Санкт-Петербург 646 км^2 был произведен анализ гидрологической изученности, климатических условий, определение реки аналога в створе проектирования мостового перехода, описан гидрологический режим реки, получены гидрографические и гидрологические характеристики реки Тигода. Определены максимальные расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков обеспеченностью 1%, 2%, 5%, и 10% [8] для расчетного створа, проанализированы их статистические характеристики. Рассчитаны максимальные расходы воды реки аналога и в расчетном створе с использованием полевых изысканий на р. Тигода в организации Дорсервис, по расчетным значениям максимальных расходов воды были определены уровни воды соответствующей обеспеченности.

Выпускная квалификационная содержит введение, 4 главы, приложение, заключение, список литературы.

1 Глава: составлен сбор гидрометеорологической, картографической, технической и научной информации,

2 Глава: описан гидрологический режим реки, получены гидрографические и гидрологические характеристики реки в расчетном створе.

3 Глава: проведена проверка ряда максимальных расходов весеннего половодья и паводков на однородность по среднему и по дисперсии с использованием параметрических критериев Фишера и Стьюдента, рассчитаны модули стока, определены максимальные расходы воды

весеннего половодья обеспеченностью 1%, 2%, 5% и 10% для расчетного створа.

4 Глава: Выполнены расчеты уровней воды соответствующей обеспеченности.

Общее количество страниц текста - 54, количество таблиц текста - 21, количество иллюстраций – 17, количество приложений – 1.

Глава 1. Физико-географическая и климатическая характеристика территории.

1.1 Физико-географическая характеристика.

Рассматриваемая территория расположена на северо-западе Восточно-Европейской (Русской) равнины в пределах Прибалтийской низменности. Прибалтийская низменность занимает большую часть рассматриваемой территории и представляет собой полого наклоненную на север волнистую равнины с абсолютными отметками поверхности 50-100 м. С юга к Прибалтийской низменности примыкает Силурийское (Ордовикское) плато, где берут начало большинство рек района. Абсолютные отметки Ордовикского плато достигают 155 м.

В пределах Ордовикского плато развит карст, о чем свидетельствуют ключи и родники, выклинивающиеся на периферийных частях плато. Вдоль северного края Силурийского плато прослеживается Балтийско-Ладожский глинт, отделяющий Предглинтовую низменность от плато.

Прибалтийская низменность пересечена густой речной сетью. Долины врезаны неглубоко. Современный рельеф рассматриваемой территории сформирован в четвертичный период после валдайского оледенения и представляет собой аккумулятивную террасированную озерно-ледниковую равнину с абсолютными отметками 10,0-18,5 м. Сложен бассейн четвертичными морскими и ледниковыми отложениями (глины, суглинки, пески) на коренных осадочных породах протерозоя.

Ладожское озеро
Финский залив
Нева
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Новая Ладога
Волхов
ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ
Волхов
Кириши
Тигода
Оскуя
Кересть
Вишера
Великий Новгород
Мста
Боровичи
оз. Ильмень
НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ
Шелонь
Пола
Вышний Волочёк
Полать
Цна
ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ
Холм
ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ
Великие Луки
Кунья
БЕЛОРУССИЯ

Рисунок 1.1 - Водосбор р. Тигода

Исследуемая территория, расположена в лесной зоне, где преобладают дерново-подзолистые и болотные почвы. По механическому составу выделяются супесчаные и суглинистые разности. Дерново-подзолисто-глееватые почвы занимают небольшие повышения рельефа. Оглеение выражено в виде сизых и ржавых пятен в верхней части почвенного профиля. Содержание гумуса среднее. Эти почвы занимают пониженные элементы рельефа: плоские равнинные участки, тальвеги, подножья склонов. Дерново-подзолисто-глеевые почвы сильно кислые, иногда среднекислые. Содержание гумуса различное и колеблется от 1,3% до 8,7%.

Дерново-глеевые почвы развиты на наиболее пониженных элементах рельефа. Морфологический профиль этих почв отличается слабой дифференцированностью на горизонты. По механическому составу эти почвы тяжелосуглинистые, сформировавшиеся на тяжелых озерно-ледниковых суглинках. Содержание гумуса в этих почвах высокое 7,7-12,0%.

На землях, прилегающих к садоводствам, трассам ЛЭП, железной дороге, преобладающим типом растительности являются мелколиственные леса - березовые, осиновые, серой ольхи и кустарниковые заросли с преобладанием ивы. Как правило, эти участки характеризуются затрудненным оттоком поверхностных вод и заболочены.

Для климатической характеристики использованы данные Научно-прикладного справочника по климату СССР [6].

1.2 Климатическая характеристика.

Различные состояния погоды, которые определяют климат территории, формируются под влиянием факторов разного масштаба. К макромасштабным факторам следует отнести радиационный режим, атмосферную циркуляцию и подстилающую поверхность, зависящие от географической широты местности, степени континентальности и макрорельефа. Кроме этих основных факторов на климат оказывают влияние микрорельеф, растительность, непосредственная близость водоемов и т.д.

Климат рассматриваемого района является переходным от умеренно-морского к умеренно-континентальному. Важную роль в формировании климата играет атмосферная циркуляция. Для исследуемого района характерна большая повторяемость воздушных масс атлантического происхождения, что и определяет морские черты его климата: сравнительно мягкую зиму, прохладное лето, достаточное увлажнение и частое выпадение осадков. В холодное полугодие циклонические процессы усиливаются, а в теплое, как правило, несколько ослабевают. Активная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс определяет неустойчивый режим погоды во все сезоны. При этом в течение всего года по общей облачности наиболее устойчива пасмурная погода.

Особенная велика повторяемость циклонов с сентября по декабрь. Циклоны перемещаются по все сезоны главным образом с запада, но зимой велика также повторяемость перемещения циклонов с северо-запада, в остальные сезоны – юго-западных. Антициклоны перемещаются в рассматриваемый район весной преимущественно с запада и юго-запада, летом с запада и севера.

При поступлении воздушных масс, формирующихся над Атлантическим океаном, в районе изысканий господствуют ветры западных, юго-западных и южных направлений. Зимой в таких случаях устанавливается мягкая погода с частыми оттепелями и значительным количеством атмосферных осадков. Летом эти воздушные массы поступают на Русскую равнину обычно трансформированными в континентальный воздух. При длительном нахождении этого воздуха в умеренных широтах сохраняется устойчивая теплая и сухая погода. Если на пространство Русской равнины поступают массы арктического воздуха, то зимой они обуславливают резкое и быстрое понижение температуры воздуха, сильные морозы и ясную погоду. Весной и осенью эти воздушные массы вызывают существенное похолодание, часто сопровождающееся заморозками. Таким образом, в течение всего года происходит смена воздушных масс морского, континентального и арктического происхождения, что приводит к резким колебаниям погодных условий, а это обуславливает значительную изменчивость метеорологических условий элементов, с которой связаны и характеристики климата.

Климат характеризуется средними и экстремальными величинами, пределами изменения метеорологических элементов, их режимом в течение сезона, года и в среднем многолетнем разрезе. Наиболее важными метеорологическими элементами являются осадки, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность.

Характеристику климата дополняют такие сведения, как температура поверхности почвы, характеристика снежного покрова, сведения об атмосферных явлениях и др.

Климатическая характеристика составлена по рядам метеорологических наблюдений. Основные климатические параметры по многолетним данным наблюдений МС Новгород приведены в таблице 1.2.

Температура воздуха. Средняя годовая температура воздуха на участке изысканий по данным МС Новгород составляет плюс 4,4-4,9 градусов. Средняя температура самого теплого месяца (июль) составляет плюс 17,8-17,9 градусов, а самых холодных (января и февраля) – минус 7,8-7,9 градусов. Абсолютный минимум температуры воздуха равен минус 45 градусов (МС Новгород, январь 1940 г.), Расчетная температура самой холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 составляет по МС Новгород минус 27 градусов, обеспеченностью 0,98-минус 33 градуса. Расчетная температура самых холодных суток обеспеченностью 0,92 составляет минус 31 градус, обеспеченностью 0,98-минус 38 градусов.

Продолжительность теплого и холодного периодов составляет соответственно 7 и 5 месяцев. Первые заморозки в среднем отмечаются в сентябре, последние-в мае. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 124-129 дней (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Средние даты наступления заморозков и продолжительность безморозного периода в воздухе

Название метеостанции	Дата последнего заморозка			Дата первого заморозка			Продолжительность безморозного периода, дни		
Санкт-Петербург	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	наим.	наиб.
	19.05	29.04	06.06	21.09	29.08	19.10	124	89	154
Новгород	15.05	18.04	13.06	22.09	26.08	19.10	129	92	169

Атмосферные осадки. Средняя многолетняя сумма осадков по данным М Новгород составляет 600-620 мм. Распределение их в течение года неравномерное. Большая часть осадков 68-71% выпадает в теплый период года (апрель-октябрь), в холодный период выпадает 29-32% годовой суммы

осадков (таблицы 1.2). Изменчивость месячных сумм осадков чрезвычайно велика, особенно в теплый период года. В отдельные годы месячные количества осадков в зависимости от атмосферных условий.

Таблица 1.2 - Основные климатические характеристики по данным метеостанции Новгород

Характеристика	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя месячная и годовая температура воздуха,	-7,8	-7,9	-2,5	4,6	11,8	16,1	17,9	16,1	10,7	5,2	-0,3	-4,9	4,9
Абсолютный минимум температуры воздуха,	-45	-39	-32	-24	-8	-3	1	-2	-10	-21	-26	-41	-45
Абсолютный максимум температуры воздуха,	6	6	13	26	29	32	36	34	29	22	13	10	36
Среднее месячное и годовое количество осадком, мм	32	27	29	39	45	67	78	77	66	52	51	37	600
Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с	4,4	4,1	4,1	3,8	3,8	3,5	3,3	3,3	3,6	4,1	4,3	4,6	3,9
Средняя месячная и годовая упругость водяного пара, мб	3,1	3,1	3,9	6,1	8,8	12,5	15,1	14,4	10,8	7,5	5,5	4,0	7,9
Средняя месячная и годовая относительная влажность воздуха, %	85	84	81	76	67	71	76	80	84	86	89	88	81
Средний месячный и годовой дефицит насыщения, мб	0,5	0,5	0,9	2,2	5,0	6,2	5,8	4,3	2,4	1,2	0,6	0,5	2,5

Влажность воздуха. Влажность воздуха характеризуется тремя основными показателями: парциальным давлением водяного пара (упругостью водяного пара), относительной влажностью и дефицитом насыщения. Парциальное давление водяного пара увеличивается от зимы к лету, повторяя ход температуры воздуха, и в среднем за год составляет 7,8-

7,9 гПа. Дефицит влажности составляет в среднем за год 2,5-2,8 гПа. Годовой ход относительной влажности противоположен ходу температуры воздуха, т.е. с ростом температуры воздуха относительная влажность уменьшается. Среднегодовая относительная влажность воздуха 79-81%. Наименьшая относительная влажность, равная 65-67%, отмечается в мае. Число дней с относительной влажностью воздуха не более 30% в среднем за год составляет 7,5 дней, а не менее 80%-145 дней. Средняя многолетняя величина суммарного испарения с поверхности суши за год составляет 430 мм. Норма годовой величины испарения с водной поверхности-540 мм

Снежный покров. Даты появления, установления и схода снежного покрова сильно варьируют. Число дней со снежным покровом наблюдается в среднем 132-135 дней (таблица 1.3). Максимальной высоты снежный покров достигает к концу февраля. Максимальная декадная высота снежного покрова за многолетний период составляет 73 см (2011 г.) по данным МС Новгород 100 см, средняя из наибольших декадных-33 и 41 см соответственно (таблица 1.4). Знак «*» в таблицах означает, что снежный покров в указанные декады наблюдался менее чем в 50 % зим.

Таблица 1.3 – Даты появления и схода снежного покрова, образования и разрушения устойчивого снежного покрова

Метеостанция	Средн. число дней со снежн. покровом	Дата появления снежного покрова			Дата образования устойчивого снежного покрова			Дата разрушения устойчивого снежного покрова			Дата схода снежного покрова		
		сред	ранн	позд	сред	ранн	позд	сред	ранн	позд	сред	ранн	позд
Санкт-Петербург	132	31.10	03.10	7.11	07.12	27.10	-	30.03	-	22.04	16.04	25.03	09.05
Новгород	135	30.10	05.10	28.11	05.12	05.11	-	03.04	-	23.04	15.04	23.03	12.05

Таблица 1.4 – Средняя декадная высота снежного покрова (см)

Метеостанция Санкт-Петербург			Место открытое			X			XI			XII			I		
						1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
						•	•	•	2	2	5	7	9	11	14	17	19
															Наибольшая		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	ср	мак	мин
23	26	28	27	24	16	6	•	•	•	-	-	-	-	-	33	73	8
						X			XI			XII			1		
						1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
						•	•	•	1	1	4	6	9	11	17	21	25
II			III			IV			V			VI			Наибольшая		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	ср	мак	мин
28	33	36	34	33	26	13	4	•	-	-	-	-	-	-	41	100	7

Температура почвы. Средняя годовая температура поверхности почвы на участке изысканий составляет плюс 5 градусов. Наиболее низкая средняя месячная температура почвы наблюдается в январе и феврале - минус 9-10 градусов, наиболее высокая в июле – плюс 20-21. Абсолютный максимум температуры почвы – плюс 53, абсолютный минимум – минус 47. Первые заморозки на поверхности почвы в среднем отмечаются в сентябре, последние – в мае. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 117-124 дня.

Средняя глубина промерзания грунтов из максимальных за зиму составляет 0,56 м, наибольшая – 1,05, наименьшая – 0,18 м (МС Новгород).

*Ветер***.** Общий характер ветра на участке изысканий определяется главным образом условиями и интенсивностью атмосферной циркуляции, но зависит также от термодинамических свойств воздушных масс, поступающих

в данный район, от шероховатости подстилающей поверхности и орфографических особенностей местности. По результатам анализа ветрового режима (Рисунок 1.1) преобладающим в году является ветер западного направления (20% повторяемости).

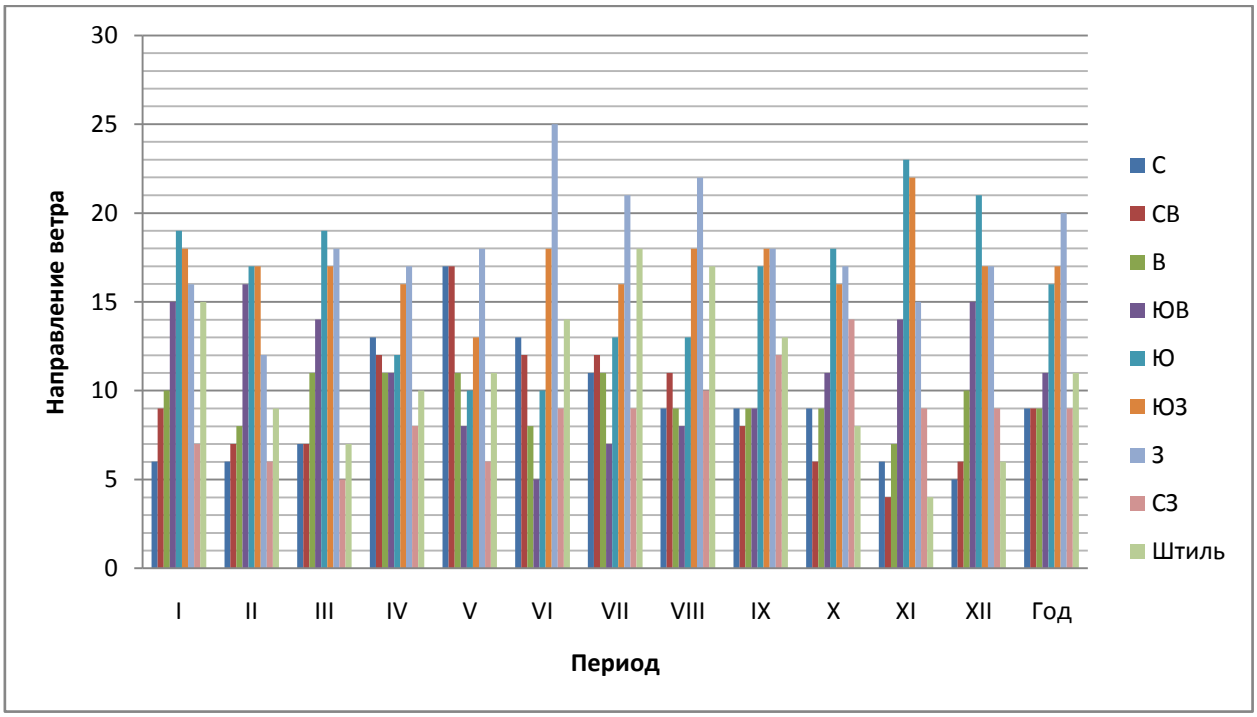


Рисунок 1.1 – Повторяемость направлений ветра и штилей (%) по метеостанции Санкт-Петербург

Распределение ветра по сезонам имеет некоторые особенности: зимой и осенью наиболее часто повторяются ветры юго-западного и южного направлений, весной и летом-западного, и юго-западного (розы ветров – рисунок 1.2).

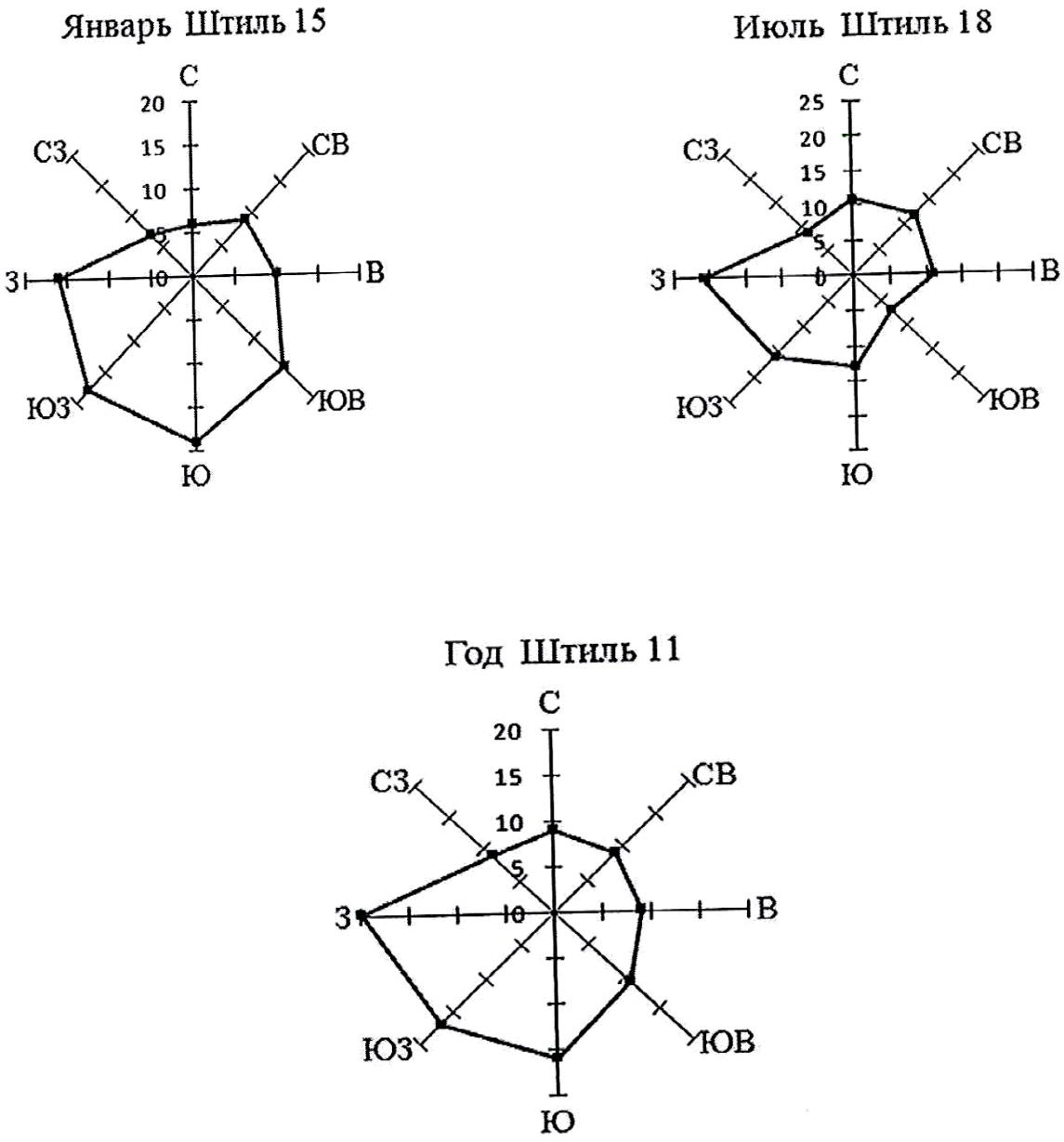


Рисунок 1.2 – Розы ветров по данным МС Санкт-Петербург: а) – за январь месяц, б) – за июль месяц, в) – за год

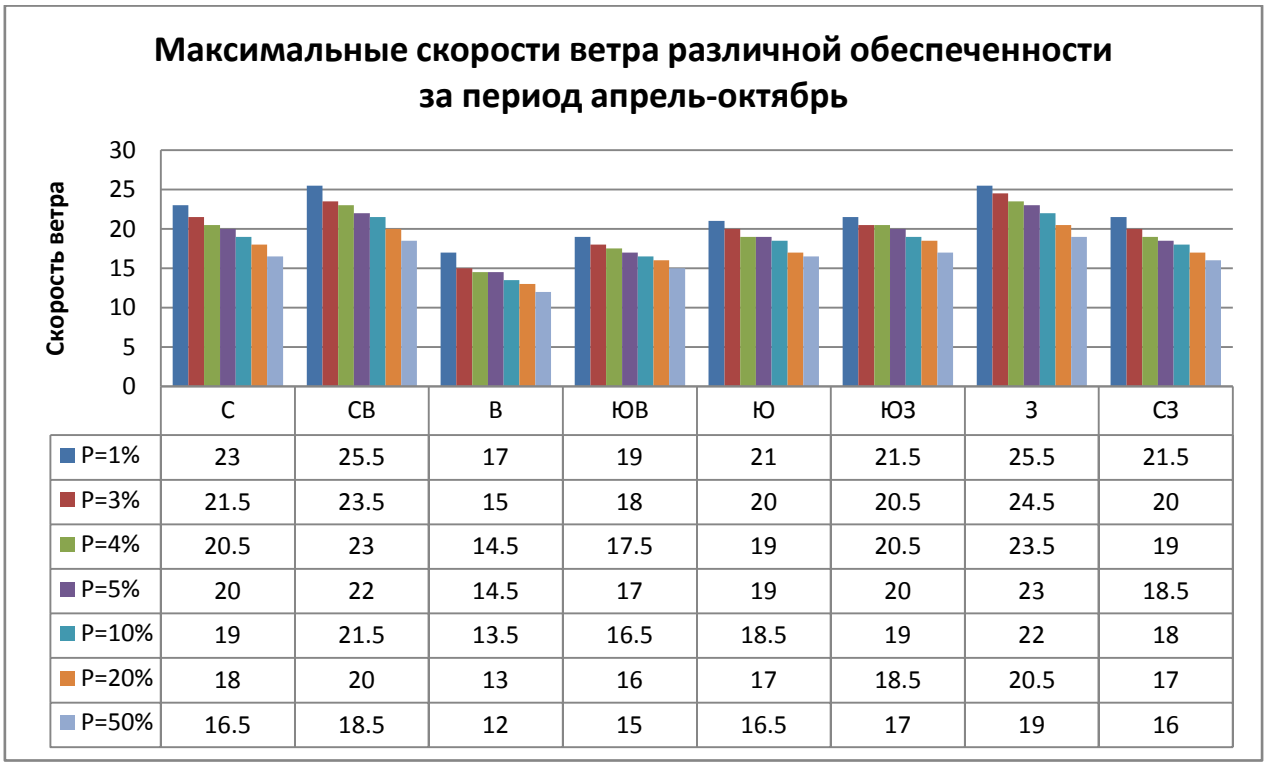
Наиболее редкие и слабые-ветра северных и восточных румбов. Число случаев безветренной погоды немного-11%. Среднегодовая скорость ветра 2,7-3,9 м/с. Среднемесячные значения скорости ветра находятся в пределах 2,2-4,6 м/с. Наибольшие среднемесячные скорости ветра обычно наблюдаются в декабре (4,6 м/с), наименьшие – в июле и августе (2,2 м/с). Число дней с сильным ветром (> 8 м/с) чаще всего наблюдается в декабре и январе (таблица 1.5).

Максимальная средняя скорость за многолетний период составляет 28 м/с (ММ Новгород), максимальный порыв - 35 м/с (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Максимальная скорость и порыв ветра (м/с)

Характеристика ветра	Скорость												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
МС Новгород													
Скорость	28ф	20ф	24ф	18ф	18ф	20ф	16ф	16ф	16а	28ф	20ф	20ф	28ф
Порыв	-	24а	-	20а	24ф	-	35а	24ф	21а	-	24а	25а	35а

Максимальные по направлениям скорости ветра различной обеспеченности за период апрель – октябрь приведены на рисунке 1.2.



	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
P=1%	23	25.5	17	19	21	21.5	25.5	21.5
P=3%	21.5	23.5	15	18	20	20.5	24.5	20
P=4%	20.5	23	14.5	17.5	19	20.5	23.5	19
P=5%	20	22	14.5	17	19	20	23	18.5
P=10%	19	21.5	13.5	16.5	18.5	19	22	18
P=20%	18	20	13	16	17	18.5	20.5	17
P=50%	16.5	18.5	12	15	16.5	17	19	16

Рисунок 1.2 - Максимальные скорости ветра различной обеспеченности за период апрель-октябрь

Нормативное ветровое давление при определении максимальных скоростей ветра по 10-минутным интервалам осреднения составляет 500 Па (29 м/с). Температура воздуха при нормативном ветровом давлении – минус 5 градусов.

Атмосферные явления. В таблице 1.6 даны средние за месяц и год значения общей и нижней облачности в баллах, а также среднее и наибольшее число дней с туманом, грозой, градом, метелью и обледенением по МС Новгород.

Таблица 1.6 – Характеристика облачности и атмосферных явлений по данным МС Новгород

Характеристика	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя месячная и годовая общая облачность, баллы	7,7	7,4	6,5	6,5	6,0	5,8	5,9	6,0	6,7	7,8	8,5	8,4	6,9
Средняя месячная и годовая нижняя облачность, баллы	6,3	5,7	4,5	4,2	3,6	3,5	3,5	3,6	4,7	6,4	7,7	7,4	5,1
Среднее число дней с туманом	4	5	5	3	2	2	3	6	6	5	5	5	51
Наибольшее число дней с туманом	10	12	13	9	7	5	9	14	12	12	11	14	83
Среднее число дней с грозой	0,02	-	0,05	0,7	3	5	7	5	2	0,02	0,02	-	23
Наибольшее число дней с грозой	1		1	3	11	13	15	12	6	2	1	-	46
Среднее число дней с метелью	8	8	5	1	0,02	-	-	-	-	0,4	3	6	31
Наибольшее число дней с метелью	20	16	14	5	1	-	-	-	-	3	15	14	64
Среднее число дней с градом	-	-	-	0,06	0,2	0,3	0,2	0,06	0,2	0,04	-	-	1,1
Наибольшее число дней с градом	-	-	-	1	1	2	1	1	1	1	-	-	3
Среднее число дней с обледенением всех видов по визуальным наблюдениям	8	6	3	0,2	-	-	-	-	-	0,6	3	7	28
Наибольшее число дней с обледенением всех видов по визуальным наблюдениям	18	13	13	3	-	-	-	-	-	6	9	17	50

Туманы. За год среднее количество дней с туманами на участке изысканий составляет 27-51 день, наибольшее – 53-83 дня. Наибольшее число дней с туманом наблюдается в августе и декабре (МС Новгород).

Метели. В среднем за год наблюдается 14-31 день с метелью, наибольшее их количество достигает 33-64 дня. Наиболее часто метели наблюдаются в январе и феврале.

Грозы. Среднегодовое количество дней с грозой составляет 18-23 дня, наибольшее-32-64 дней. Чаще всего грозы наблюдаются в июле.

Град. Град наносит большой ущерб хозяйственной деятельности, на участке изысканий наблюдается редко. Среднегодовое количество дней с градом составляет 1,1-1,5 дней, наибольшее-3-6 дней.

Обледенение. На проводах гололедного станка в среднем за год наблюдается 25-28 дней с обледенением всех видов. Наибольшее число дней с гололедом наблюдается в декабре и феврале. Наибольшее число дней с обледенением всех видов – в январе. Данные по среднему и наибольшему числу дней с обледенением по гололедному станку приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Среднее число дней с обледенением проводов гололедного станка по МС Новгород

Явление	X	XI	XII	I	II	III	IV	Год
Гололед	0,1	2	4	3	2	0,6	0,1	12
Зернистая изморозь	0,4	0,3	0,6	0,2	0,5	0,1	-	2
Кристаллическая изморозь	0,04	0,8	3	5	4	3	0,1	16
Мокрый снег	-	0,04	0,04	-	-	-	-	0,08
Сложное отложение	0,1	0,3	0,1	0,3	-	-	-	0,8
Обледенение всех видов	0,6	3	7	8	6	3	0,2	28

Нормативная толщина стенки гололеда 15 мм. Температура воздуха при гололеде – минус 5 градусов.

Основные климатические характеристики МС Новгород для р. Тигода представлены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 Климатические характеристики

Характеристика	МС Новгород
Климатическая зона	ПВ
Среднегодовая темпертура воздуха,	+4,9
Абсолютный максимум температуры воздуха,	+36 (2010)
Абсолютный минимум температуры воздуха,	-45 (1940)
Расчётная температура самых холодных суток, 92% об.	-31
Расчётная температура самых холодных суток, 98% об.	-38
Расчётная температура самой холодной пятидневки, 92% об.	-27
Расчётная температура самой холодной пятидневки, 98% об.	-33
Температура воздуха холодного периода, , обеспеч. 0,94	-12
Продолжительность безморозного периода в воздухе, дни	129
Относительная влажность воздуха – летом/зимой/год, %	76/86/81
Среднее количество осадков за год, мм	600
Количество осадков в холодный период года, мм	176
Количество осадков в теплый период года, мм	424
Число дней с осадками за год (≥10 мм)	11
Суточный максимум осадков, мм 1% обеспеченности	81
Средняя дата образования устойчивого снежного покрова	05.12
Средняя дата окончательного схода снега	15.04
Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова, см	41
Наибольшая высота снежного покрова (открытое место)	100
Количество дней со снежным покровом	135
Расчетная высота снежн. Покрова вероятностью прев. 5%, см	70
Расчётное значение снеговой нагрузки, кгс/м2	80
Глубина промерзания грунтов, глины и суглинки, см	120 (140)
Нормативная толщина стенки гололеда, мм	15
Преобладающее годовое направление ветра	3
Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	ЮЗ
Средняя годовая скорость ветра, м/с	3,9
Максимальные скорость и порыв ветра, м/с	28/35
Нормативное ветровое давление, Па (м/с)	500

Глава 2. Гидрологическая изученность территории и характеристика гидрологического режима

2.1 Гидрологические условия и изученность

Исследуемый район, для которого производятся расчеты максимальных расходов и уровней воды характеризуется хорошо развитой гидрографической сетью и относится к Ленинградской и Новгородской областям. Кроме р. Тигода протекают и другие реки: Кересть, Равань, Хутань, Сичева, Сунья, Суватель, Ушачка, Тосна, Саблинка. Самой крупной рекой является р. Тосна.

Для территории характерно наличие глубоких котловин ледникового и эрозионного происхождения. Значительные величины поверхностного и грунтового стока способствовали развитию густой гидрографической сети. Глубина вреза речных долин достигает местами 40-50 м. Реки, большей частью, текут в долинах, которые были образованы ледниковым выполаживанием тектонических разломов и трещин. Долины рек часто имеют корытообразную и трапециевидную формы, реже – V-образную.

Продольные профили рек имеют ступенчатый характер, плесы чередуются с порожистыми участками. Скорости течения рек в межень на плесах составляют 0,1-0,5 м/с, на порогах и перекатах 1-2 м/с.

Большинство рек этого района имеют естественный гидрологический режим, слабо изменяемый действием находящихся в их бассейнах озер. Характерной особенностью водосборов рек данного района является сравнительно небольшая озерность.

Для рек характерен слабо выработанный продольный профиль с одной или двумя надпойменными террасами, иногда только с поймой, что свидетельствует о молодости гидрографической сети.

В верхнем течении реки протекают по ровным, обычно заболоченным площадям, имеют неглубоко врезанную долину, низкие берега, узкое извилистое русло, небольшую глубину и медленное течение. В среднем течении, преобладает глубинная эрозия, вследствие чего долины становятся узкими. В нижнем течении долины рек широкие, падение реки небольшое, течение слабое.

Проходя по лесным массивам, трасса пересекает многочисленные осушительные канавы лесной мелиорации.

Характеристика р. Тигода

Река Тигода (площадь водосбора 2290 км2, длина 143 км) впадает в р. Волхов по левому берегу в 100 км от устья, берет свое начало из болота Пушинский Мох. Бассейн имеет симметричную форму. Его территория покрыта заболоченными и смешанными лесами, которые занимают 60% площади водосбора. Болота занимают 30% всей площади водосбора и расположены преимущественно в его правобережной части.

Долина реки неясно выраженная, трапецеидальная. Склоны рассечены. Преобладающая высота 5-8 м, склоны покрыты смешанным лесом. Пойма двухсторонняя. В среднем течении преобладающая ширина поймы 50 м. Берега реки пологие, высотой 0,5-1,0 м. Русло ясно выраженное шириной 4-7 м, глубина воды в межень 0,5-1,0 м. Дно гравелистогалечное, скорость течения в межень 0,1 м/с.

Створ перехода трассы находится в 1,7 км к югу от населенного пункта Сустье-Конец.

Расположение гидрологических постов наблюдения на изученных реках показано на схеме гидрологической изученности (Рисунок 2.1). Список изученных речных бассейнов и их гидрографические характеристики приведены в таблице 2.1.

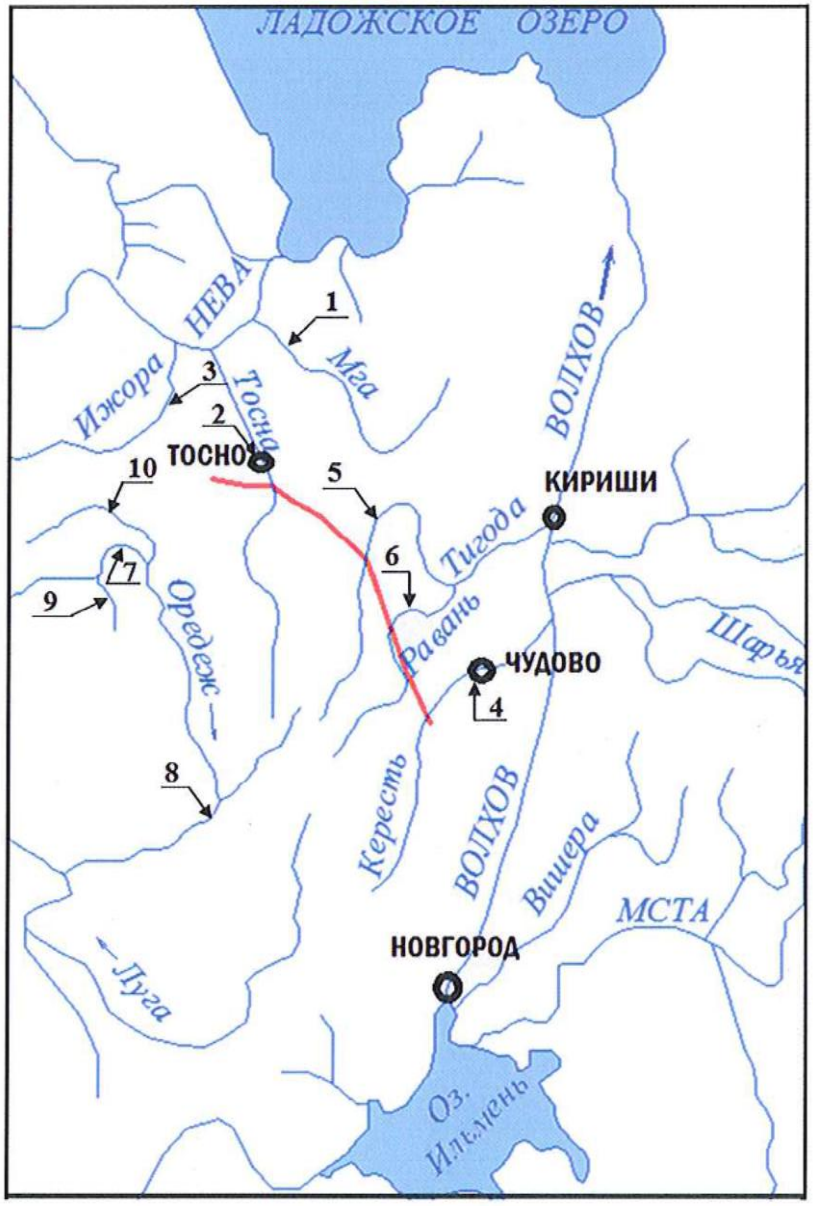


Рисунок 2.1 – Схема гидрологической изученности территории, прилегающей к участку изысканий. Номера постов соответствуют таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Гидрографические характеристики изученных водосборов

№ поста на схеме	Код пункта	Река-пост	Расстояни	Площадь водосбора	Уклон реки	Уклон реки	Средний уклон	fоз., %	fбол, %	F лес, %
1	72039	р. Мга- д.Горы	83	709	0,63	0,61	7,7	≤1	14	69
2	72043	р. Тосна- ст. Тосно	85	1300	0,39	0,40	-	1	12	75
3	72729	р. Ижора- д.Аннолово	46	784	1,3	1,37	7,4	≤1	3	53
4	72227	р. Кересть- д. Сябреницы	73	833	0,33	0,33	3,1	≤1	7	77
5	72246	р. Тигода- ст. Любань	57	589	0,59	0,59	4,7	≤1	14	80
6	72251	р. Равань- с. Бабино	61	389	0,52	0,52	4,3	≤1	6	77
7	72588	р. Оредеж- пгт. Вырица	68	920	0,91	0,92	10,9	1	5	64
8	72589	р. Оредеж- д. Моровино	156	3060	0,52	0,53	-	1	12	66
9	72592	р. Орлинка- уроч. Орлинка	9,7	206	1,06	1,09	10,6	1	6	66
10	72594	р. Суйда- д. Красницы	41	464	1,36	1,39	7,2	≤1	3	60

Гидрологические посты действуют, в основном, на водотоках площадью более 100 км2. На малых водосборах гидрологические наблюдения имеют прерывистый характер.

Ближайшие гидрологические посты к расчетному створу действующие по настоящее время для наблюдения за стоком: Тигода-ст. Любань (код поста 72246), Кересть-Чудово, Тосна-Тосно. Наблюдения за стоком на р. Равань были прекращены в 1997 году.

Так как на р. Тигода имеются наблюдения, то для аналога в проектном створе использовались данные по створу р. Тигода-ст. Любань.

2.2 Водный режим р. Тигода

Река Тигода принадлежит к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание с преобладанием снегового. В годовом ходе уровня воды четко выражены четыре фазы: весеннее половодье, летне-осенняя межень, практически ежегодно нарушаемая дождевыми паводками, затем короткий осенне-зимний период с несколько повышенной водностью рек, зимняя межень.

Весеннее половодье начинается, как правило, в последней декаде марта. В отдельные годы, в зависимости от характера весны, сроки начала половодья смещаются от среднемноголетних на одну-две недели. Средняя продолжительность подъёма уровней составляет 10-15 дней, т.е. пик половодья проходит обычно в первой декаде апреля. Средняя интенсивность подъема весеннего половодья составляет 10-=15 см/сутки, максимальная может достигать 1,5-2,5 м. Спад весеннего половодья, как правило, более продолжительный, и всегда менее интенсивный. Заканчивается половодье в конце апреля. Общая продолжительность весеннего половодья в среднем составляет 30-40 дней, наибольшая-до 50. Причиной увеличения общей продолжительности половодья может служить наложение на него дождевых паводков. Доля весеннего стока в годовом объеме составляет 30-40 %.

Летне-осенняя межень обычно наступает в середине мая-начале июня и заканчивается в октябре. Она характеризуется незначительными колебаниями уровней. Наименьшие уровни отмечается в июле, августе, реже сентябре; средняя продолжительность стояния их на большинстве рек 15-20, наибольшая наблюденная-до 70 дней. Ежегодно 2-3 раза межень нарушается дождевыми паводками. Особенно дождливыми бывают август-октябрь. По высоте подъема уровня воды эти паводки, как правило, значительно ниже снеговых, а по объему составляют 0,4-0,5 величины весеннего половодья. Доля летне-осеннего стока с дождевыми паводками составляет до 30-40 %.

Зимняя межень устанавливается в конце ноября-середине декабря; наиболее ранние сроки приходятся на конец октября, наиболее поздние-на январь. Заканчивается зимняя межень с началом подъема весеннего половодья в среднем в середине-конце марта. Наиболее маловодный период в феврале, марте, средняя продолжительность его 15-20 дней.

Зимний сток в годовом объеме составляет 15-20 %.

2.3 Термический и ледовый режим

Термический режим р. Тигода определяется, в основном, климатическими условиями, теплообменом, происходящим между атмосферой, водой и грунтом речного ложа. Значительное влияние оказывают сточные воды, сбрасываемые в водотоки. Годовой ход температуры воды реки в общих чертах повторяет годовой ход температуры воздуха. Прогрев воды в реке начинается ранней весной еще при наличии ледяного покрова, но быстрое нарастание температуры воды происходит после очищения реки ото льда.

Весеннее повышение температуры речных вод начинается примерно с середины апреля. В мае средняя многолетняя температура воды достигает 5-7 градусов. Наиболее сильный нагрев воды происходит в июне. Среднемесячная температура воды в июне по сравнению с маем повышается на 7-9 градусов. В июле интенсивность нагревания воды значительно снижается и наступает годовой максимум температуры воды-25-28,6 градусов. Среднемесячная температура воды в июле 16-21 градусов. После наступления годового максимума температуры воды начинается вначале медленное, а затем более ускоренное охлаждение. В августе температура воды падает на 1,5-2 градуса, а в сентябре на 5-8 градусов.

Дата перехода температуры воды через 0,2 градуса весной является показателем начала устойчивого повышения температуры и исчезновения ледяных образований, осенью-начала охлаждения воды в период появления ледяных образований. Переход температуры воды через 0,2 градуса для рек рассматриваемого района происходит в среднем весной 15 апреля, осенью-21 ноября.

Ледовый режим реки формируется в условиях переходной зоны между западноевропейскими морским и евроазиатским континентальным климатами. Морские воздушные массы, поступающие с Атлантического океана, оказывают значительное влияние на образование ледяного покрова, его устойчивость и продолжительность.

Ледостав устанавливается в среднем в конце ноября, продолжительность его около 120-130 дней. Наибольшая толщина льда, как правило, наблюдается в марте. К концу зимы толщина льда составляет в среднем 40-50 см. В суровые зимы, а также в зимы с чередованием оттепелей и морозов, толщина льда может достигать 70 см.

Вскрытие реки происходит, обычно, в первой декаде апреля.

Весенний ледоход наблюдается в течение 4-6 дней и не каждый год. Разрушение ледяного покрова, как правило, начинается с появления промоин, течения воды по ледяному покрову.

Общая продолжительность периода с ледовыми явлениями составляет в среднем 150-160 дней. Сведения по ледовому режиму помещены в таблице 2.3.

Образование зажоров происходит главным образом в период установления ледостава. Зажоры наблюдаются на р. Тигода (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристика зажоров на реках (1936-1965 гг.)

Река	Пункт	Годы с зажорами	Размеры зажорного подъема, см
Кересть	д. Сябреницы	1948-1950, 1952-1959, 1961-1963, 1965	15-81
Тигода	ст. Любань	1948-1951, 1953, 1955, 1957, 1960, 1963	14-50

Таблица 2.3 – Ледовые явления

Характеристика	Осенние и зимние ледовые явления					Весенний период			Продолжительность периода с ледовыми явлениями, дни
	появление ледовых образований	начало ледохода (шугохода)	начало ледостава	продолжительность, дни		начало	окончание	продолжительность, дни	
				ледохода (шугохода)	ледостава				
р. Тигода – ст. Любань									
Средняя	09.11	20.11 (68%)	05.12	15 (15)*	123 (120)	07.09	13.04	6 (4)	155 (146)
Ранняя (наибольшая)	23.10.1960	23.10.1960	09.11.1956	88(18)*/1960-1961 (1953)	155 (153)/1951-1952, 1955-1956	08.03.1961	31.03.1975	27 (18)/1961	176 (169)/1968-1969
Поздняя (наименьшая)	26.11.1949	25.12.1949	19.01.1961	0/32%	48 (42)/1960-1961	26.04.1955	30.04.1955	1/1959, 1962, 1965	126 (116)/1974-1975 (1972-1973)

Таблица 2.4 – Толщина льда, см

Характеристика	Октябрь		Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май
	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31	10	20	30	10
р. Тигода – ст. Любань (1945-1975 гг.)																					
Средняя						6	11	17	23	29	33	35	39	43	43	44	35				
Наибольшая год (% случаев)			1956, 1970	18/1965	16/1965	20/1959, 1973	28/1959	35/1955, 1962	37/1966	64/1950	58/1950	55/1956	64/1956	74/1956	75/1956	84/56	90/1956	86/1956	1956		
Наименьшая год (% случаев)			0/94%	0/77%	0/52%	0/39%	0/19%	0/13%	0/1952, 1961	0/1952	9/1952	14/1945	8/1952	15/1961	0/1961	0/1961	0/19%	0/68%	0/90%		

Глава 3. Расчеты максимальных расходов воды

3.1 Характеристика створа строительства моста

Проектируемая дорога пересекает р. Тигода, площадь водосбора реки в створе пересечения с дорогой 224 км^2.

Обследование участка 10.09.2014 производилось отделом изысканий Петербург-Дорсервис. Фото изысканий показаны на рисунке 3.1

Рисунок 3.1 – а) створ на р. Тигода выше морфоствора, вид вверх по течению; б) морфоствор, вид с правого берега; в) створ ниже морфоствора, вид с правого берега

Обследование р. Тигода проведено 10.09.2014 г. в период окончания летней межени. Район перехода находится примерно в 1,7 км к югу от населённого пункта Сустье-Конец. Река является левым притоком реки Волхов и в районе перехода течет в направлении с юго-запад на северо-восток. Долина реки в районе перехода имеет высокий процент заболоченности и зажата между обширными верховыми болотами, расположенными в районе водоразделов.

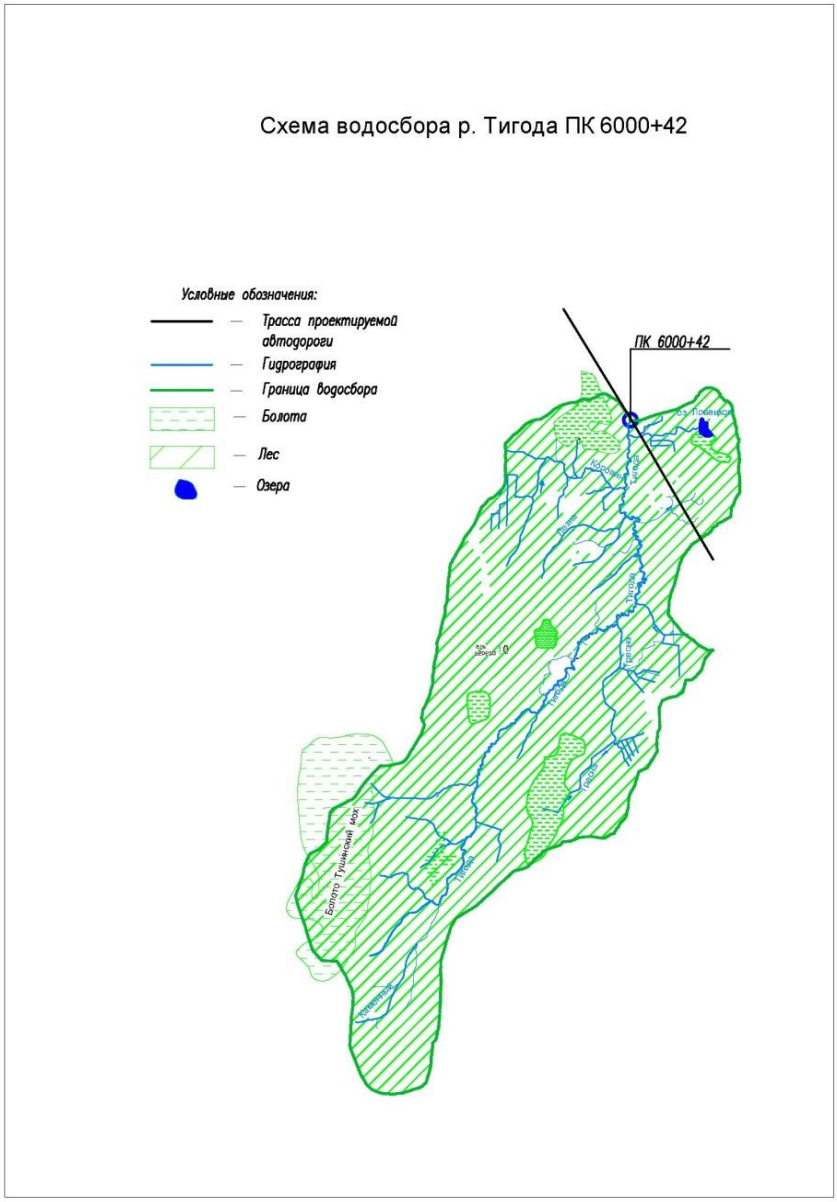


Рисунок 3.2 – Схема водосбора р. Тигода ПК 6000+42

В поперечном сечении долина имеет V-образную форму. Ширина долины около 1,4 км. Верхние части склонов долины за пределами коренного берега пологие, покрытые смешанным лесом. Склоны коренных берегов крутые, с выраженной бровкой, покрытые преимущественно молодым лиственным лесом, представленным березой, ольхой и осиной. Крутизна склонов около 30 градусов.

Пойма в районе перехода не выражена.

Русло реки умеренно извилистое, неразветвленное. На отдельных участках русло частично засорено сухими ветками и стволами деревьев. Так, в 4 м выше центрального морфоствора в русле реки обнаружен неплотный затор из растительных остатков, а ниже нижнего морфоствора начинается участок с висящими над поверхностью воды стволами деревьев.

Средняя ширина реки на момент обследования составляет около 8 м. Минимальная ширина русла, равная 2 м, отмечена в 35 м выше центрального морфоствора, где находится непродолжительный перекат. Измеренные по тальвегу глубины реки на участке обследования изменялись в пределах от 0,17 до 0,65 м. Дно реки каменисто-песчаное. Изредка в русле встречаются валуны размером до 1 м.

На высоту около 0,5-0,6 м над поверхностью воды дерн вдоль урезной линии по обоим берегам на большей части отсутствует. Наиболее выраженные эрозионные процессы отмечены в 40 м выше центрального морфоствора, где заканчивается излучина и в период половодий часть левого берега выполняет роль отражателя для речного потока.

Метки уровней высоких вод при обследовании с уверенностью идентифицировать не удалось. Измеренный расход составил 0,036 м3/с.

Положение морфоствора и поперечный профиль представлены на рисунках 3.2 и 3.3.

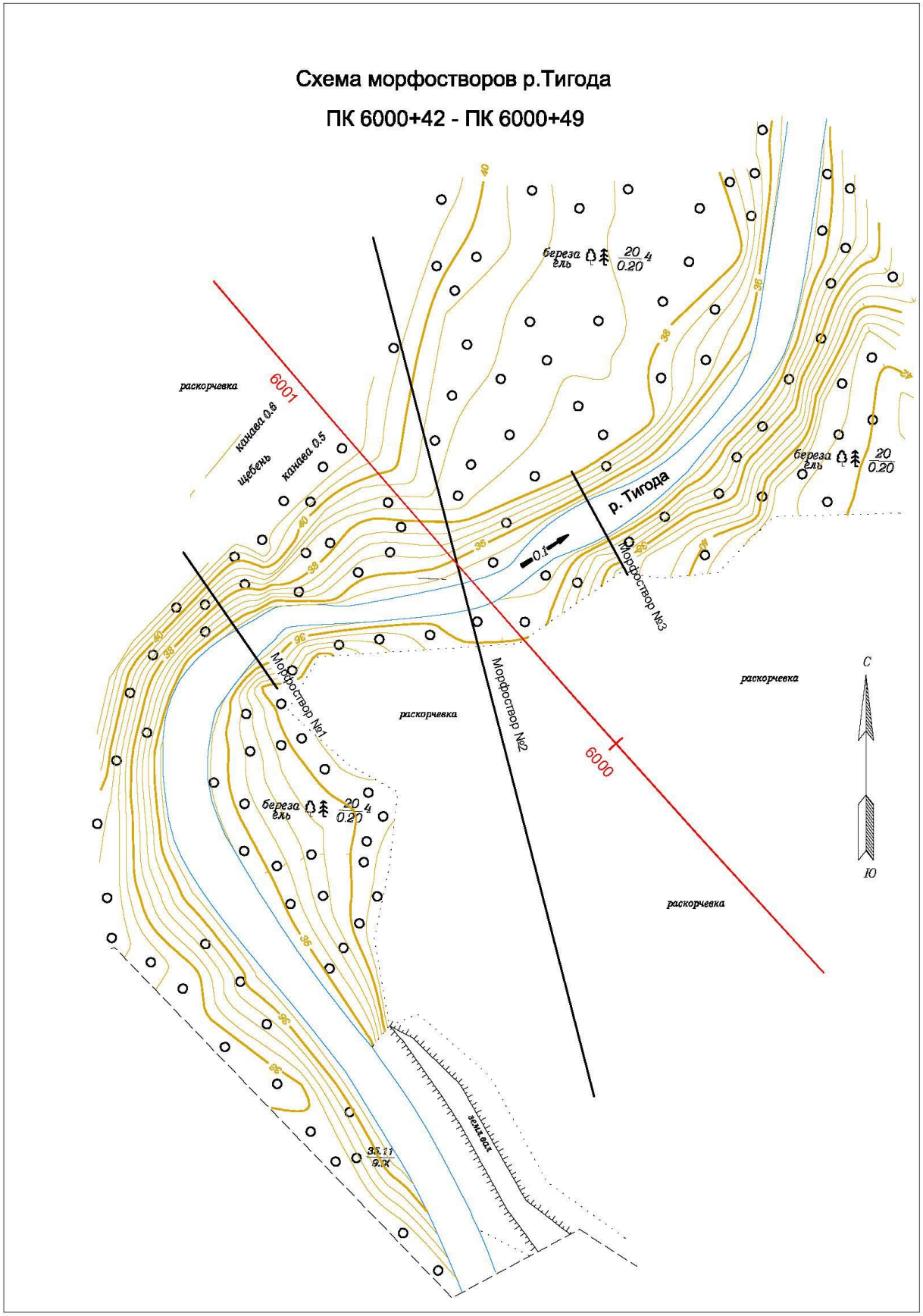


Рисунок 3.3 – Схема морфостворов р. Тигода

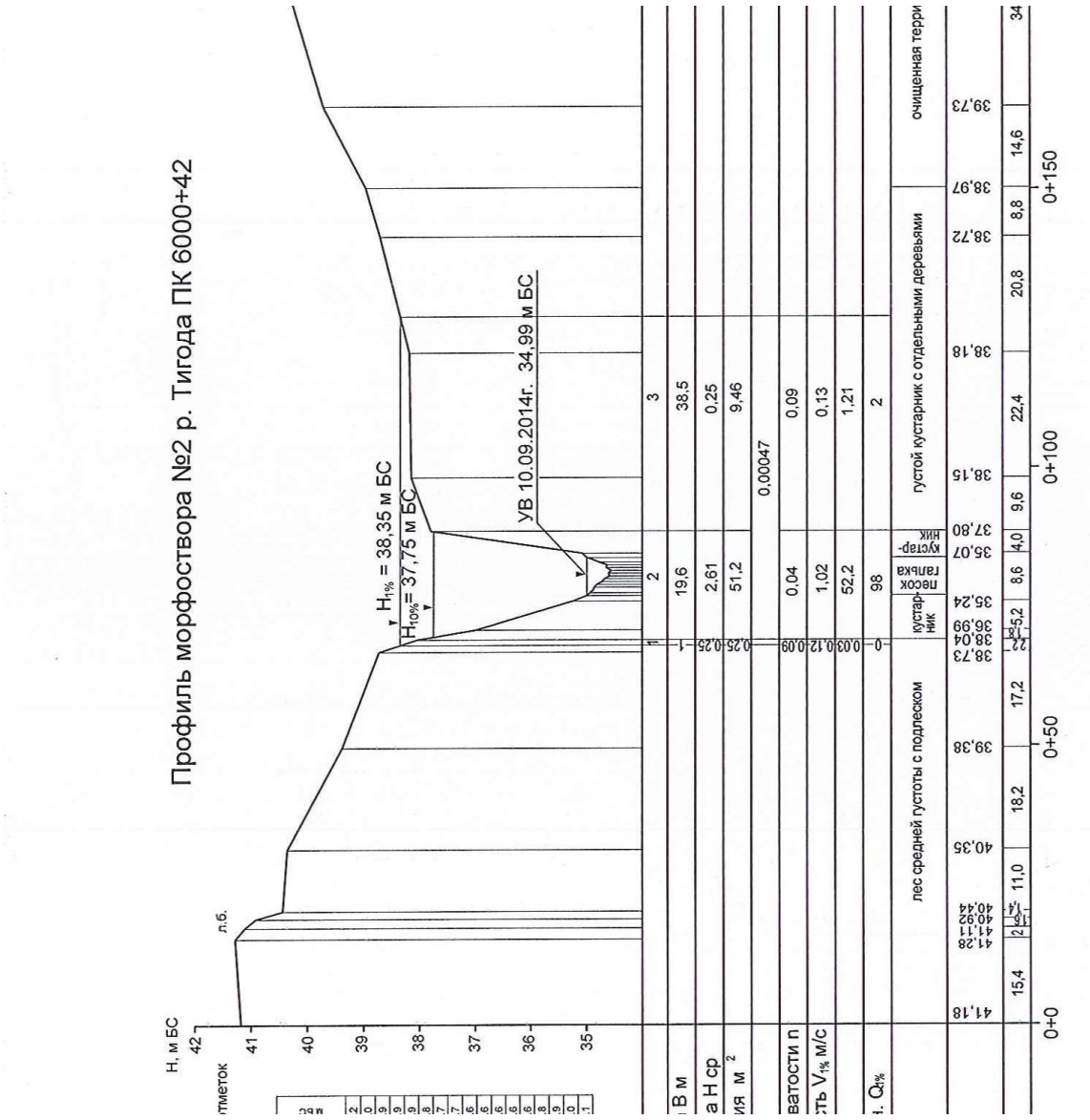


Рисунок 3.4 – Поперечный профиль р. Тигода ПК 6000+42

3.2 Характеристика данных о максимальных расходах

Ряды максимальных расходов наблюдений за стоком сформированы за период с 1945 по 2014 год.

Данные максимальных срочных и максимальных среднесуточных расходов весеннего половодья и дождевых паводков были взяты с 1945 по

1980 год из справочников ОГХ [5] и МДС [3], данные с 1981 по 2014 год дополнялись по ежегодникам [4], которые были взяты из библиотеки ГГИ.

Ряды максимальных расходов представлены в приложении А.

При анализе данных было установлено, что в большинстве случаев значения среднесуточных и срочных расходов совпадают, в отдельные годы срочные преобладают, поэтому были выбраны максимальные срочные расходы.

Был построен совмещенный хронологический график с целью выполнить визуальный анализ.

Рисунок 3.5 – Совмещенный хронологический график максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков р. Тигода

На предварительном этапе исследования была проведена проверка ряда максимальных расходов весеннего половодья и паводков на однородность по среднему и по дисперсии с использованием параметрических критериев Фишера и Стьюдента. При проверке ряд делился на две равные части и рассчитывались для них среднее значение и дисперсию при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Таблица 3.1. Статистические параметры для проверки на однородность рядов максимальных расходов весеннего половодья и паводков

Выборка	Длина ряда	Среднее значение $м^3/с$	Дисперсия
Весеннее половодье			
I часть ряда	35	55	737
II часть ряда	34	51	375
Дождевые паводки			
I часть ряда	35	12	62
II часть ряда	34	10	28

Критерий Стьюдента (по среднему значению):

Нулевая гипотеза $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2$

Критерий $t^* < t$

Критерий Фишера (по дисперсии):

Нулевая гипотеза $D_1 = D_2$

Критерий $F^* < F$

Эмпирические значения статистик Фишера и Стьюдента определялись по формулам:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad ; (1)$$

$$t^* = \left[(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) \Big/ \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad ; (2)$$

где D_1, D_2 – дисперсии по первой и второй частям ряда ($D_1 > D_2$);

σ_1, σ_2

– среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда;

$\overline{Q_1}$, $\overline{Q_2}$

– средние значения максимальных расходов воды по первой и второй частям ряда;

n_1, n_2

– длина первой и второй частей ряда.

Результаты оценки однородности рядов представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 Результаты проверки ряда на однородность по половодью

Критерий	Значение при 2 α = 5 %		Гипотеза об однородности
	эмпирическое	критическое	
Стьюдента	0,75	1,99	не опровергается

Фишера	1,97	1,99	не опровергается

Таблица 3.3 Результаты проверки ряда на однородность по паводкам

Критерий	Значение при 2 α = 5 %		Гипотеза об однородности
	эмпирическое	критическое	
Стьюдента	1,27	1,99	не опровергается
Фишера	2,21	1,99	опровергается

Таким образом, по результатам проверки ряды являются однородными по критерию Стьюдента.

По критерию Фишера наблюдается неоднородность ряда максимального стока паводков.

Результат проверки однородности ряда стока половодья по дисперсии показывает, что F теоретическое и F критическое близки. При этом ряд можно считать однородным.

3.3 Расчет максимальных расходов половодья р. Тигода в створе Любань.

Согласно рекомендациям [15,16] в качестве аналога для расчетного створа р. Тигода F=224 км^2 выбран пост ст. Любань на р. Тигода ниже расчетного створа площадь водосбора 589 км^2.

По ряду максимальных срочных расходов половодья в створе Любань были расчитаны статистические параметры и построена кривая обеспеченности, статистические праметры определялись методом моментов [1].

Рассчитанные значения представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 Статистические параметры ряда максимальных расходов половодья и паводков р. Тигода-ст. Любань

Период наблюдений	Длина ряда N, лет	Среднее $м^3/с$	Cv	Cs	Cv/Cs	
					Эмпирическое	Принято
1945-2014	69	53,3	0,44	0,74	1,7	2,0
1945-2014	69	11,8	0,57	0,34	0,6	2,0

На рисунке 3.5 показаны совмещенные эмпирические кривые обеспеченности максимальных расходов половодья и паводков на р.Тигода – ст.Любань. Вид кривых также подтверждает правильность ранее сделанного вывода о значительном превышении расходов половодья над расходами паводков, втом числе и в зоне малых обеспеченностей.

Расчет максимальных обеспеченых значений расходов половодья производился по аналитической кривой Пирсона III типа при Cs/Cv=2. Вид эмпирической и аналитической кривых показан на рисунке № 3.6 По аналитической кривой обеспеченности были определены расчетные значения половодья обеспеченностью P= 1%, 2%, 5%, 10% ($Q_{1\%}$,$Q_{2\%}$, $Q_{5\%}$, $Q_{10\%}$), установленные требованиями нормативного документа [8].

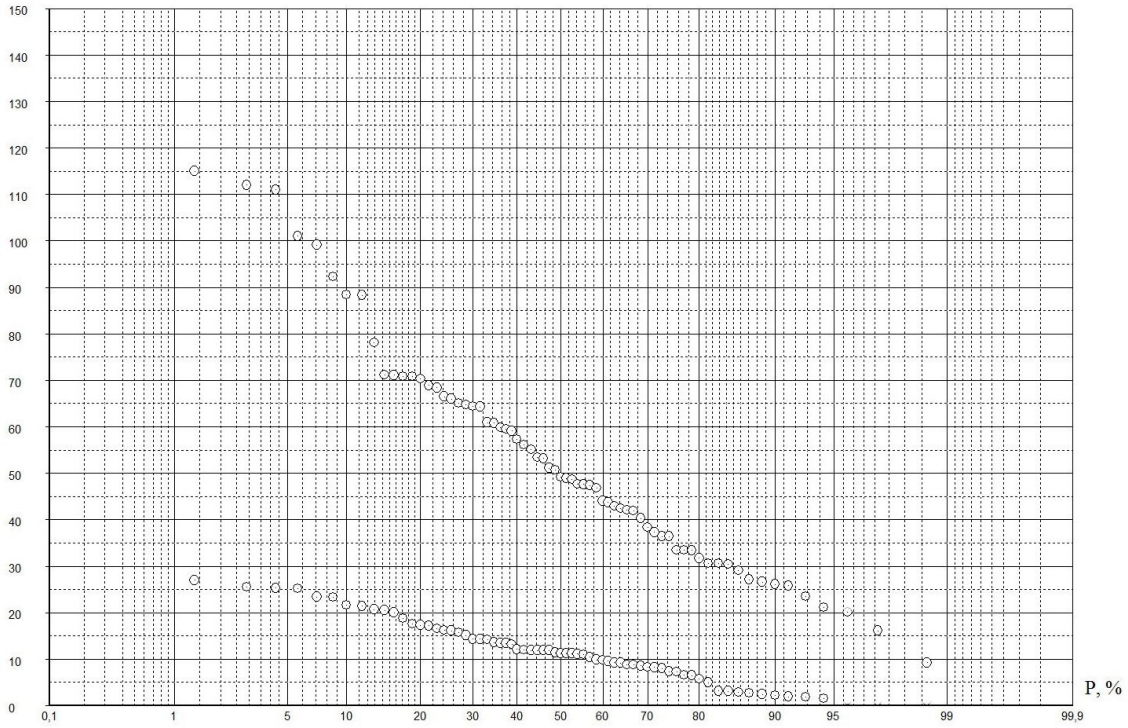


Рисунок 3.6 – Совмещенные эмпирические кривые обеспеченности максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков на р. Тигода- ст. Любань

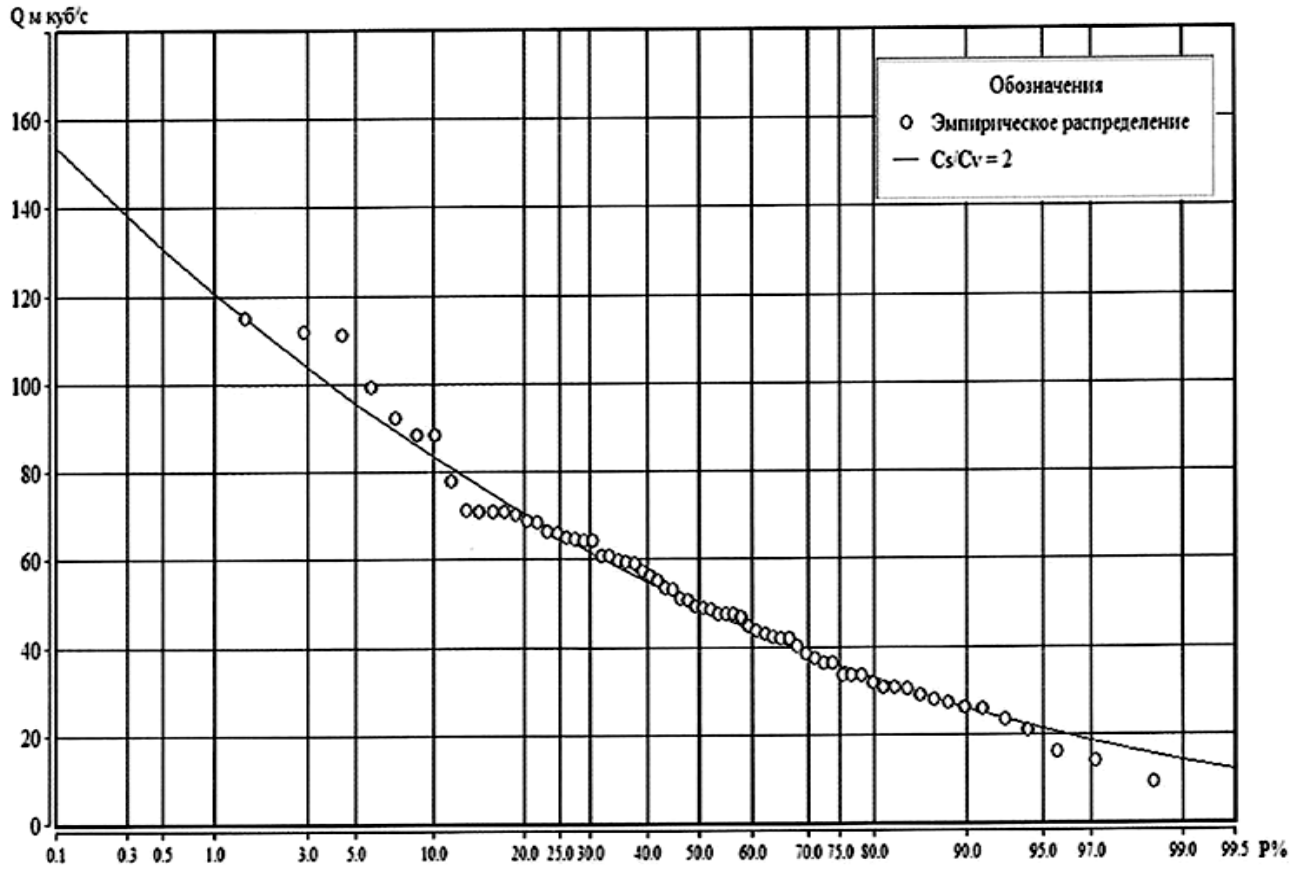


Рисунок 3.7 – Эмпирическая и аналитическая кривая максимальных расходов весеннего половодья

С кривой обеспеченности получили расходы и перешли к модулям стока по по формуле:

$q = Q/F_a = 589$ км^2 (3)

Таблица 3.5 - Расчетные максимальные расходы и модули стока реки-аналога (р.Тигода-ст. Любань)

Обеспеченность	1%	2%	5%	10%
Максимальный расход $м^3/с$	122	112	95	84
Максимальный модуль стока $м^3/с*км^2$	0,21	0,19	0,16	0,14

3.4 Определения максимальных расходов в расчетном створе

Расчет максимальных расходов весеннего половодья вероятности превышения 1, 2, 5 и 10%, для исследуемого проектного створа, указанного в таблице, произведен по редукционной формуле, рекомендуемой в [15, 16]:

$$Q_{P\%} = \frac{K_0 h_{P\%} \mu_{P\%} F}{(F + F_1)^n} \delta \delta_1 \delta_2 \qquad (4)$$

Где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья, рассчитывается, как среднее из значений, определенных по данным реки-аналога обратным путем из приведенной формулы;

h – расчетный слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания), мм, ежегодной вероятности превышения P, определяется в зависимости от коэффициента вариации Cv и отношения Cs/Cv, а также среднего многолетнего слоя стока h0;

μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения слоев стока и максимальных расходов воды;

δ - коэффициенты, учитывающие влияние водохранилищ, прудов и проточных озер (δ_1) и заболоченности речных водосборов (δ_2) на максимальные расходы воды;

F – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км2;

F_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км 2; для исследуемого района значение F_1 следует принимать равным 1.0;

n – показатель степени редукции, равный 0,17.

Коэффициент δ, учитывающий снижение максимального расхода воды весеннего половодья на реках, зарегулированных проточными озерами, следует определять по формуле:

$$\delta = 1/(1 + C\,A_{оз}) \quad (5),$$

Где С – коэффициент, принимаемый для лесной зоны равным 0,2. При отсутствии в бассейне озер, расположенных вне главного русла и основных притоков, значение коэффициента b принимается для Fоз ≤ 2% - 1;

при Fоз ≥ 2% - 0,8.

Коэффициент δ_1, учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле:

$$\delta_1 = \alpha/(f_л + 1)^{n_1} \quad (6)$$

Где n – коэффициент редукции; принят для исследуемого района, относящегося к лесной зоне, равным 0,22; а – параметр, учитывающий расположение леса на водосборе, принимается равным 1,0, как при равномерном расположении леса, так и при залесенности Fл≥30%.

Коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных водосборов, определяется по формуле:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0.1 f_б + 1) \quad (7)$$

Где Fб – заболоченность водосбора, %.

Формула (3) позволяет учесть редукцию максимальных расходов на реке аналоге и максимальных расходах в расчетном створе в зависимости от размера площади водосбора. При этом предполагается равенство произведения K_0 $h_{p\%}$ $\mu_{p\%}$ для реки аналога и для расчетной реки. В этом случае максимальный расход расчетной обеспеченности на расчетной реке ($Q_{p\%}$) определяется по формуле (8):

$$Q_{p\%} = q_{p\%,a} * F * (Fa/F)^n * (\delta\, \delta_1\, \delta_2)/(\delta_a\, \delta_{1a}\, \delta_{2a}) \quad (8)$$

В формуле индекс а соответствует характеристикам реки аналога, при отсутствии индекса характеристики относятся к расчетной реке, в нашем случае к расчетному створу.

Характеристики водосборов аналога и в расчетном створе приводятся в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Характеристики водосборов аналога и расчетного створа

Название створа	F, км^2	δ	δ_1	δ_2	*Fоз.,%*	*Fбол.,%*	*Флес.%*
Тигода-Любань	589	1	0,38	0,73	<1	14	80
Тигода-ПК6000+42	224	1	0,38	0,72	0	15	80

Используя установленные значения модуля стока на реке аналоге Тигода-ст. Любань по ряду наблюдений (таблица 3.5) и характеристики водосборов (таблица 3.6) по формуле (8) были определены значения максимальных расходов весеннего половодья заданных расчетных обеспеченностей в створе проектирования моста.

Таблица 3.7 - Значения расчетных максимальных расходов в створе проектирования моста (р. Тигода – ПК 6000+42)

Обеспеченность	1%	2%	5%	10%
Максимальный расход, $м^3/с$	53,4	48,6	40,8	34,9

Глава 4. Расчет уровней воды в створе проектирования

Для перехода от расчетных значений максимальных расходов к расчетным значениям максимальных уровней использовалась кривая расходов рассчитанная для створа мостового перехода.

Для построения кривой расходов были использованы материалы проведенных полевых изысканий.

Поперечный профиль речного русла и долины (морфоствор 2), значения коэффициента шероховатости для речного русла и поймы, установленные по таблицам шероховатости русла и поймы, на основе данных полевых обследований, в зависимости от их состояния [СП].

Уклон водной поверхности также был установлен по результатам полевого обследования.

Значения параметров использованных для расчета кривой расходов представлены в таблице (4.1).

Таблица 4.1 – Значение продольного уклона, шероховатости русла и поймы, принятые при расчете в створе перехода ПК6000+42

Название водотока	Уклон, ‰	Шероховатость, n	
		русла	поймы
Р. Тигода – ПК 6000+42	0,47	0,050	0,090

Использованы поперечный профиль реки и долины и принятые параметры по формуле Шези был произведен расчет расхода воды при различных значениях уровня воды в расчетном створе.

Кривая H= f (Q) строится по данным поперечного профиля сечения и информации о скоростях течения реки. Построение зависимости H= f (Q) основывается на последовательном вычислении и суммировании расхода воды в полосе живого сечения русла (Q_i) в виде произведения площади полосы (F_i) на среднюю скорость течения в полосе (V_i):

$$Q_i = \sum F_i V_i, \quad (9)$$

Площадь полосы живого сечения русла определяется в виде суммы площадей элементарных фигур, составляющих каждую полосу.

Скорость течения определяется отдельно для поймы и для русла. Скорость течения вычисляется по формуле Шези:

$$V= h_{ср}^{0,067} * 1/n * I^{0,5} \quad (10),$$

где: V- средняя скорость течения (м/с), $h_{ср}$- средняя глубина потока (м), n- коэффициент шероховатости, I- уклон реки (в $\%_0$).

В результате в каждой полосе живого сечения определяется средняя глубина потока и средняя скорость произведение которых дает средний расход в полосе или при суммировании расходов в полосах сечения от дна – средний расход воды на рассматриваемой средней глубине. По рассчитанным координатам Q_i и h_{cpi} строится зависимость H= f (Q) с которой при вычисленном Q_p снимается расчетное значение уровня воды $H_{p.}$

Расчет производился отдельно по трем участкам, левобережная, правобережная пойма и русло.

Вид общей кривой расходов для участков показаны на рисунке 4.1.

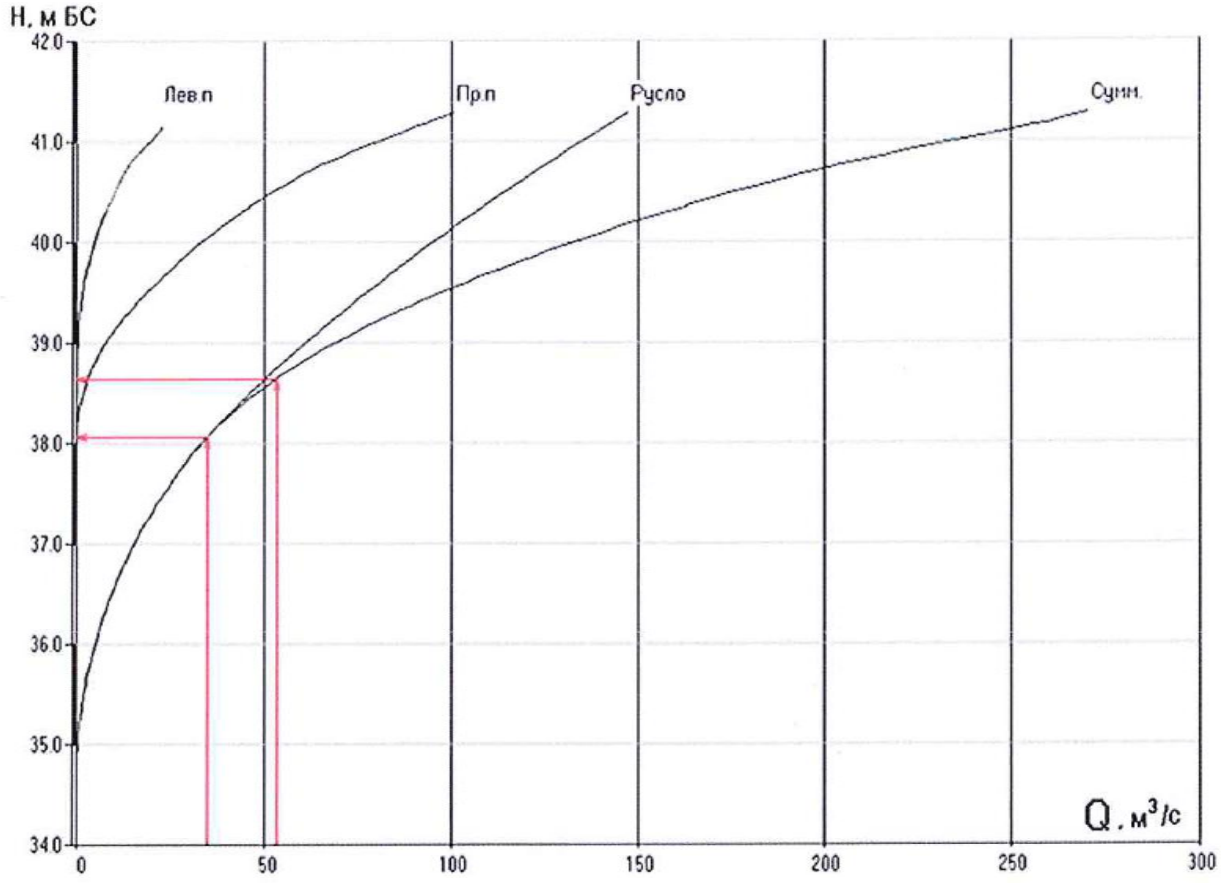


Рисунок 4.1 – Кривая зависимости Q(H) профиля поперечного сечения р.Тигода – ПК 6000+42

Используя расчетные значения максимальных расходов (таблица) и кривую расходов в створе мостового перехода были определены уровни воды расчетных обеспеченностей.

Таблица 4.2 - Максимальные уровни воды расчетных обеспеченностей р. Тигода в створе перехода ПК6000+42

Название водотока	$H_{1\%}$, м БС	$H_{2\%}$, м БС	$H_{5\%}$, м БС	$H_{10\%}$, м БС
Р. Тигода – ПК 6000+42	38,65	38,52	38,29	38,07

Заключение

Расчет максимальных расходов производился методом гидрологической аналогии, в качестве аналога была взята р. Тигода с площадью водосбора 589 км^2. Ряд наблюдений за максимальными расходами на реке аналоге имеет 69 лет, имеется пропуск в 2003 году.

По ряду максимальных расходов рассчитаны максимальные расходы обеспеченности 1%, 2%, 5% и 10% [8].

Используя метод аналогии, были получены расходы: 1%-53,4, 2%- 48,6, 5%-40,8 и 10%-34,9.

Используя кривую расходов воды в створе проектирования и расходы воды вычислены максимальные уровни воды расчетной обеспеченности р. Тигода в створе у ПК6000+42 автомобильной дороги М11 Москва – Санкт-Петербург: $H_{1\%}$-38,65, $H_{2\%}$-38,52, $H_{5\%}$-38,29 и $H_{10\%}$-38,07.

Список литературы

1. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Госстрой России, М.,2004

2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Гидрометеоиздат, 1997

3. Ресурсы поверхностных вод. Монография. Карелия и Северо-Запад. Том 2. Части 1-3. Л: Гидрометеоиздат, 1972

4.Гидрологические ежегодники, т.1. Вып 5. Бассейны рек Балтийского моря, Онежского и Ладожского озер. Гидрометеоиздат, Л., 1981-2014

5. Основные гидрологические характеристики. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Гидрометеоиздат, Л., 1966, 1979

6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер 3. Многолетние данные. Части 1-6. Вып.3.-СПб. Гидрометеоиздат, 1988

7.Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.

8. СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»

Приложение А

Данные максимальных срочных и максимальных среднесуточных расходах воды весеннего половодья и дождевых паводков в расчетном створе

	Весеннее половодье		Паводки	
Год	Q макс.сроч.	Q макс. ср.сут.	Q макс. сроч.	Q макс. ср.сут.
1945	21,1	21	16,1	16
1946	71,1	71,1	6,47	6,35
1947	33,5	32,7	20	19,9
1948	60,9	60,6	15,1	15
1949	33,5	33,1	9,2	9,2
1950	23,5	23,5	8,22	8,22
1951	88,3	86,8	4,97	4,77
1952	41,9	40,2	25,3	24,9
1953	53,4	53,2	25,5	25,1
1954	16,1	15,9	7,24	7,18
1955	112	110	21,6	21,6
1956	111	108	1,01	1,01
1957	55,1	52,3	23,4	22,9
1958	64,4	64,4	17,6	17,2
1959	99,1	96,3	1,24	1,24
1960	59,1	58,4	2,68	2,64
1961	40,3	39,4	9,25	8,95
1962	92,3	90,8	25,2	25,2
1963	47,6	47,6	11,2	11
1964	47,4	47,1	14,2	14,1
1965	64,7	64,3	2,2	2,2
1966	115	114	8,77	8,69

1967	48,9	48,7	12,1	12
1968	44	44,6	16,6	16,6
1969	64,3	62,6	27	27
1970	31,7	31,6	8,28	8,2
1971	71,2	70,3	21,4	20,9
1972	59,5	58,7	1,49	1,49
1973	9,24	9,15	5,78	5,66
1974	30,6	30,2	17,3	17,3
1975	27,1	27	1,9	1,9
1976	46,8	46,6	11,9	11,8
1977	50,7	49,8	11,1	10,9
1978	66	65,6	18,8	18,7
1979	36,4	36	17,2	17,2
1980	68,9	66,5	8	7,81
1981	48,7	48	20,5	20,4
1982	70,8	69,8	14,3	14
1983	70,3	68,9	11,9	9,02
1984	60,8	60,3	11,9	11,7
1985	47,7	47,3	13,2	13
1986	42,9	42,7	12	11,9
1987	37,3	36,9	13,6	13,4
1988	42,1	42,1	6,56	6,29
1989	25,8	15,6	8,55	8,16
1990	56,1	55,8	11	10,9
1991	68,4	67,9	11,4	11,3
1992	42,4	42,2	3,16	3,08
1993	30,6	29,9	10,4	10,4
1994	51,1	49,2	9,8	9,8
1995	65,1	64,7	11,2	10,9

1996	30,4	30	8,78	8,64
1997	26,1	25,4	23,3	23
1998	66,5	66,5	9,56	9,4
1999	70,8	70,3	1,88	1,88
2000	43,7	43,7	13,4	13,1
2001	59,8	59,8	11,9	11,9
2002	33,4	32,1	1,07	0,99
2003				
2004	53,2	52,9	13,4	13,3
2005	57,3	56,7	2,42	2,39
2006	29,1	28,9	7,32	7,25
2007	26,6	26,2	3,12	3
2008	36,4	36,2	16,2	16,2
2009	38,4	38,4	20,7	20,7
2010	88,4	87,8	9,88	9,8
2011	78,1	78,1	15,7	15,7
2012	49,2	49,2	14,3	14,3
2013	101	101	11,2	10,9
2014	20,1	20,1	2,85	2,85