



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

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему

**Определение расчетного судоходного
уровня в створе мостового перехода
через реку Волхов вблизи пос. Иссад**

Исполнитель Тураев Б.Х.

Руководитель к.т.н. Угренинов Г.М.

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

12.05.2016 2016 г.

Санкт-Петербург
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Российской Федерации
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

Допущен к защите
Зав. кафедрой,
к.г.н., доцент
Д.И. Исаев

Кафедра гидрометрии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Определение расчетного судоходного уровня (РСУ) в створе мостового перехода через р. Волхов вблизи пос. Иссад

Выполнил: Б.Х. Тураев
Г-64 ФЗО

Руководитель: к.т.н., доцент
Г.Н. Угренинов

Санкт-Петербург
2016

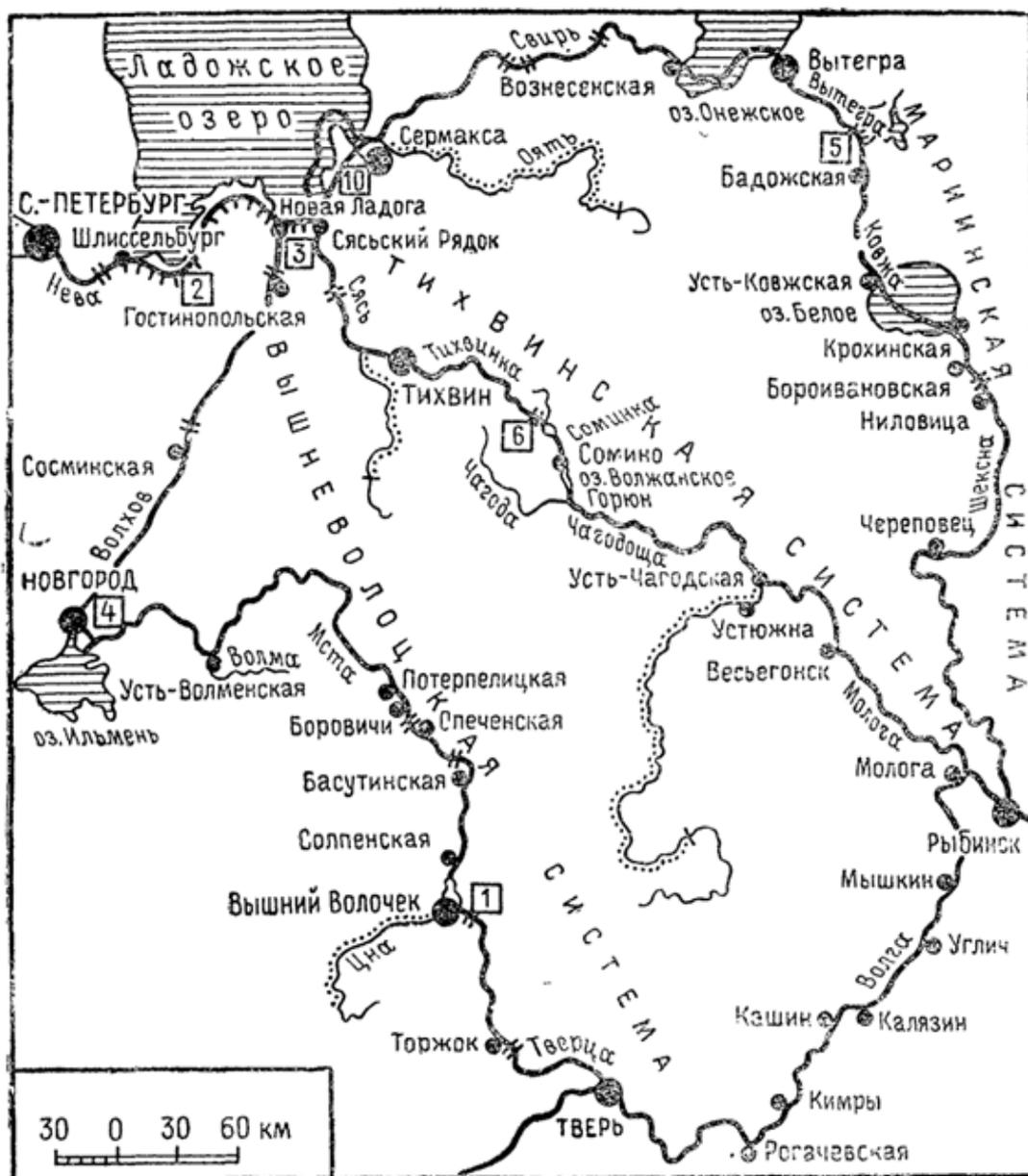
СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Местоположение нового мостового перехода	9
2 Рельеф местности	13
3 Геологическое строение	17
4 Почвенный покров	18
5 Растительность	20
6 Климат	21
6.1 Температура воздуха	21
6.2. Влажность воздуха	23
6.3 Осадки	23
6.4 Снежный покров	24
6.5 Ветер	25
6.6 Атмосферные явления	27
7 Гидрологическая изученность района работ	28
8 Режим уровней воды р. Волхов	32
9 Расчет отметки РСУ	35
9.1 Методологические основы	35
9.2 Установление сроков периода физической навигации и допустимой продолжительности стояния уровней воды выше РСУ	35
9.3. Расчет лимитирующей отметки уровня озёрного происхождения $H_{РСУ}^*$	37
9.4 Расчет стокового приращения уровней (ΔZ) на участке от устья р. Волхов до створа нового моста	39
Заключение	43
Литература	44
Приложение	45

Введение

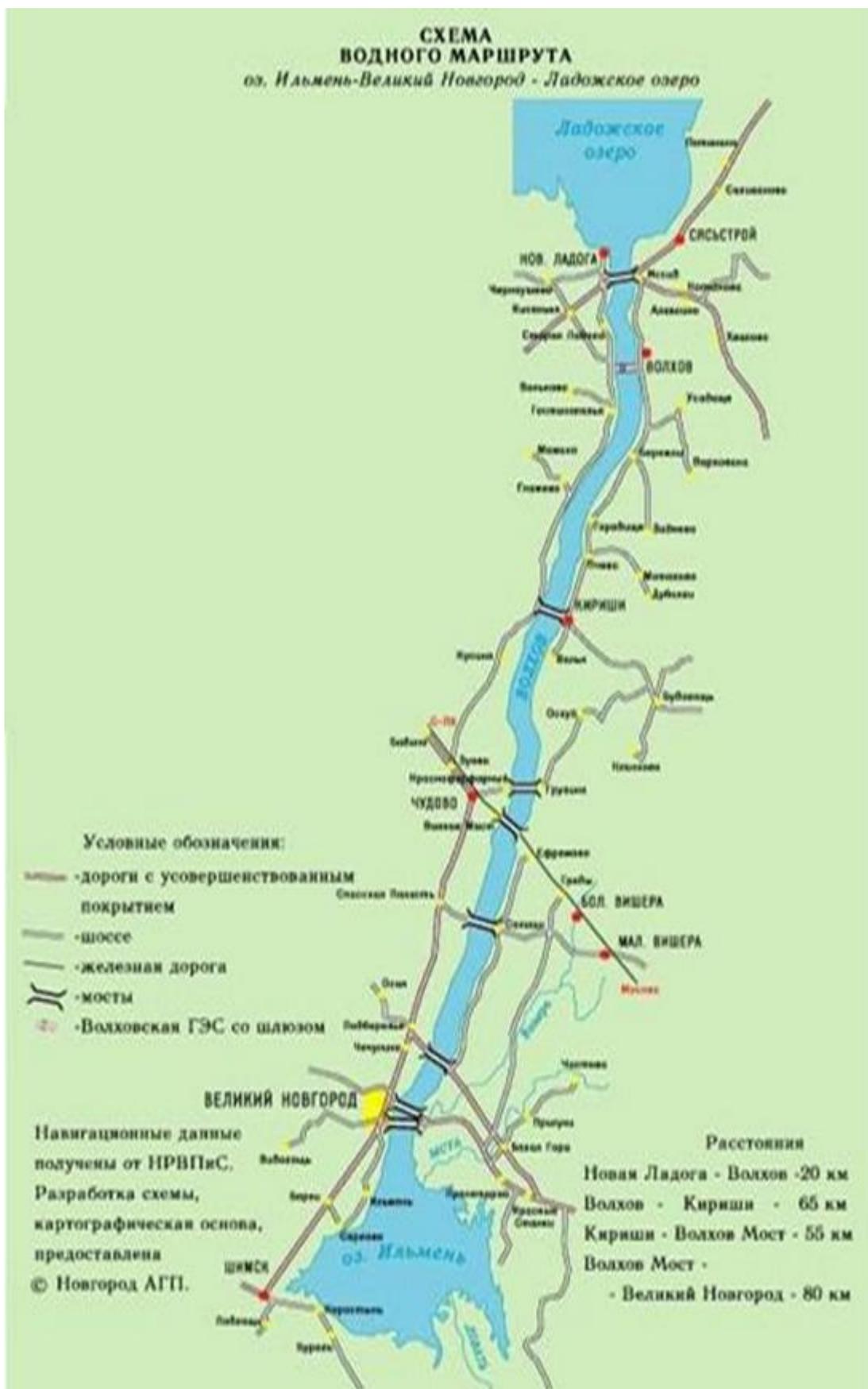
Отметка расчётного судоходного уровня (PCY) – важнейшая характеристика, определяющая условия эксплуатации внутренних водных путей.

Водные системы, используемые для судоходства, в бассейнах рр. Волхова и Тихвинки показаны ниже на плане



Водные системы, соединявшие Волго-Камский воднотранспортный бассейн с Балтикой (по Э. Г. Истоминой).

Схема водного маршрута от озера Ильмень до Волховской губы Ладожского озера представлена на следующем плане.



Рассматриваемый в дипломном проекте участок судоходной реки Волхов находится под воздействием колебаний уровней Ладожского озера, а также попусков через вышерасположенную Волховскую ГЭС, фото которой показано ниже.



Совместное воздействие этих факторов усложняет расчёт отметки РСУ и вызывает необходимость применения дополнительных расчётных процедур к схеме, рекомендованной Межгосударственным стандартом «Габариты подмостовых судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования» (ГОСТ 26775-97) [1].

Отметим, что вышеназванный Межгосударственный стандарт не распространяется на судоходные пролёты мостов через морские проливы и заливы, морские судоходные каналы, участки водных путей, по которым проходят государственные границы, а также через устьевые участки рек, в которые заходят морские суда.

На следующем фото показано строительство нового моста через р. Волхов.



Отметим различие размеров подмостовых пролётов старого и нового мостов.





Инженерно-гидрометеорологические изыскания выполнены согласно требованиям свода правил «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства». СП 11-103-97 [2].

Рекогносцировочное обследование участка строительства включало в себя следующие гидрометрические работы.

Разбиты два гидрометрических створа:

- в створе нового мостового перехода;
- в 70 м выше по течению от створа нового мостового перехода.

Оборудован водомерный пост, привязанный к государственной высотной сети. Получены отметки уровня воды на период изысканий. Система высот – Балтийская (БС).

Произведены промеры глубин в гидрометрических створах.

Выполнено нивелирование продольного уклона р. Волхов.

Для характеристики уровней воды р. Волхов в районе нового мостового перехода использованы материалы многолетних режимных наблюдений Росгидромета на гидрологическом посту Новая Ладога.

Уровенный режим на рассматриваемом участке реки формируется под влиянием сбросов воды Волховской ГЭС, а также денivelяций уровня Ладожского озера, во время стонов и нагонов. Подпор от озера распространяется вверх по течению за пределы участка строительства.

Уклоны водного потока на участке между створом перехода и гидрологическим постом Новая Ладога изменяются в диапазоне от 0.02 м/км (при максимальных расходах воды) до нуля и даже до отрицательных значений (при нагонах в Ладожском озере).

При расстоянии между створом перехода и гидрологическим постом падение уровня не превышает погрешности переноса уровней по графикам связи.

В этих условиях характеристики уровня режима в створе перехода могут приниматься по данным режимных гидрологических наблюдений на гидрологическом посту Новая Ладога.

Анализ имеющихся данных о режиме уровня воды показывает, что годовой ход уровня воды р. Волхов в районе створа перехода характеризуется плавностью подъёмов и спадов.

Полевые работы и обработка материала произведены в соответствии с требованиями «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.6, ч.1.-Л.:Гидрометиздат,1978» [3].

1. Местоположение нового мостового перехода

Участок строительства находится вблизи пос. Иссад. Створ нового мостового перехода расположен в 4,7 км от устья р. Волхов и в 22,3 км ниже Волховской (VI) ГЭС.

Ниже по течению реки в 3,5 км действует ведомственный гидрологический пост в пос. Новая Ладога. Пост принадлежит ФГУ «Волго-Балтийское государственное управление водных путей и судоходства».

Местоположение участка строительства, нижнее течение рр. Волхов, Сясь и Волховская губа Ладожского озера показаны на плане рис. 1.1.

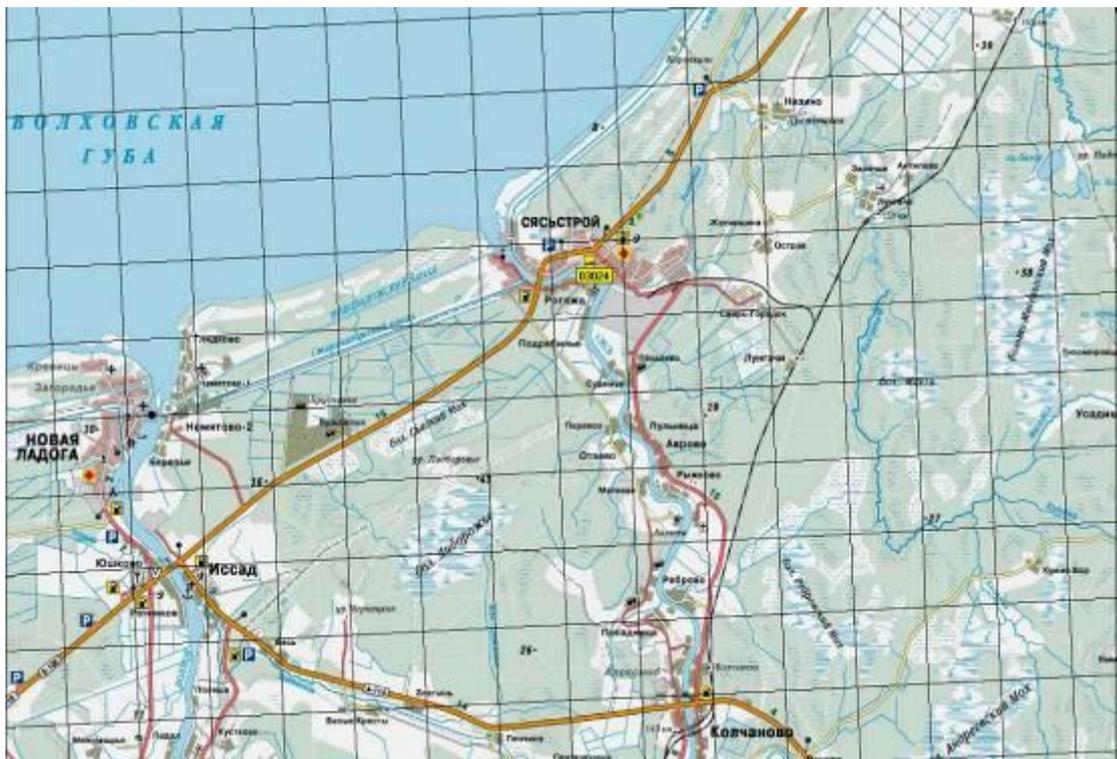


Рис. 1.1. Волховская губа Ладожского озёра.

Общий план нижнего течения р. Волхова и Волховская губа Ладожского озера представлен на рис. 1.2.



Рис. 1.2. План нижнего течения р. Волхова в районе нового мостового перехода.

Территория строительства в прошлом входила в состав Великого Новгорода в качестве так называемой Невской пятины. Расположенная выше по течению Старая Ладога некоторое время представляла собой столицу северных русских земель.



Рис. 1.3. Старая Ладога. Основана в 753 г. Первая столица Руси

Современный вид Старой Ладоги показан на фото (рис. 1.4, 1.5).



Рис. 1.4. Старая Ладога. Современный вид.
Церковь Святого Георгия



Рис. 1.5. Старая Ладога. Крепостная стена.
Старинная церковь Святого Дмитрия Солунского

Ниже по течению от нового мостового перехода в устье р. Волхов расположен населённый пункт Новая Ладога (см. фото рис. 1.6).



Рис. 1.6. Николо-Медведский монастырь, XIV- XV в.

2. Рельеф местности

Территория Северо-Запада по характеру рельефа отчетливо разделяется на две части:

- 1) северо-западную низменную
- 2) восточную, юго-восточную, южную – возвышенные.

Расположенное здесь Силурийское (Ордовикское) плато вытянуто почти в широтном направлении от р. Нарвы до р. Волхов и р. Сяси, представляет собой плоскую возвышенную равнину.

Вдоль северного края Силурийского плато прослеживается крутой уступ (глинт), отделяющий его от предглинтовой низменности.



Рис. 2.1 Крутой уступ местности (глинт)

Понижения рельефа в виде обширных низменностей с абсолютными отметками от 1 до 50 м расположены в северной, центральной и западной частях территории.

Прибалтийская низменность пересечена густой сетью рек. Долины рек, как правило, врезаны неглубоко и лишь при пересечении

склонов водораздельных возвышенностей они врезаются на глубину от 20 до 40 м.

Характерно развитие болот в низинах и на плоских междуречных пространствах.

Юго-восточную часть территории можно разделить по рельефу на три части: верхняя, юго-восточная часть бассейна, имеет холмистый рельеф мореного происхождения.

Здесь проходят Креницкие горы и Тихвинская гряда, являющиеся отрогами Валдайской возвышенности. В средней части бассейна местность приобретает характер равнины, только изредка встречаются группы холмов.

На следующих фотографиях показан типичный рельеф прибрежной местности и преобладающий характер растительности по левому и правому берегам р. Волхов.



Рис. 2.2 Типичный рельеф по берегам р. Волхов



Рис. 2.3 Долина р. Волхов



Рис. 2.4 Разновысокие склоны долины р. Волхов



Рис. 2.5 Травостой на склонах долины р. Волхов



Рис. 2.6 Всхолмлѐнная прибрежная местность

На расстоянии примерно 10 км от Ладожского озера равнина ограничена уступом с отметками около 25 м БС. Ниже уступа река прорезает низменную плоскую Приладожскую равнину.

3. Геологическое строение

Территория Северо-Запада расположена почти целиком в пределах русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании.

К югу располагается развитая почти в широтном направлении полоса ордовикских отложений, образующая Ордовикское (Силурийское) плато, крутым уступом (Балтийско-Ладожский глинт) обрывающееся в сторону предглинтовой низменности. Ордовикские отложения представлены песчаниками, известняком и доломитами общей мощностью 100 -150 м.

К югу и востоку от Ордовикского плато находится обширная область развития преимущественно рыхлых девонских отложений, занимающих примерно 60% всей области Северо-Запада.

На водосборе р. Волхов грунты представлены преимущественно ледниковыми отложениями в виде валунов, супесей, суглинков, глин и песков.

Озёрно-ладожские отложения песков и ленточных глин встречаются по правому берегу р. Волхов.

Карстовые явления широко развиты в пределах бассейна, особенно в верховьях р. Пярдомли, Воложбы, Черенки, Ряданы и других. Карстовые явления обусловлены наличием известняков Карбона, залегающих близко от поверхности земли. В бассейне р. Волхов можно встретить все типы карстового ландшафта: всевозможного рода и размеров провалы, периодически исчезающие озера и реки, трещинные источники в известняках, восходящие артезианские источники.

4. Почвенный покров

Основными процессами почвообразования на территории Северо-Запада являются подзолообразование и заболачивание, что обусловлено положением территории в зоне с прохладным влажным климатом, а также преобладающей лесной, преимущественно хвойной растительностью.

На территории, расположенной к югу от Ладожского и Онежского озёр, широко распространены слабо- и среднетерноподзолистые почвы, а также - подзолистые и болотные. Изредка встречаются дерново-карбонатные и аллювиальные почвы.

По механическому составу здесь различают почвы глинистые, тяжелосуглинистые, средне- и легкосуглинистые, суглинистые и песчаные.

Преобладают суглинистые почвы на валунных суглинках, но распространены и супесчаные почвы.

Грунт поймы р. Волхов суглинистый, местами супесчаный и торфянистый.

Склоны долины р. Волхов сложены суглинками, изредка супесями и песками.

Среднемесячная температура поверхности почвы колеблется от минус 10 °С в январе-феврале до 21 °С в июле (см. табл. 4.1).

Промерзание почвы на открытых участках в среднем начинается в октябре-ноябре и, постепенно нарастая, достигает максимума в марте.

Средняя глубина промерзания колеблется в пределах 30-60 см. Оттаивание почвы начинается в марте-апреле.

В табл. 4.2 приведена средняя месячная температура почвы, на различной глубине по показаниям коленчатых термометров.

Таблица 4.1

Температура поверхности почвы, °С
(почва подзолистая, песчаная)

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
средняя	-10	-10	-6	3	13	18	21	17	10	4	-2	-7	4
абсолютный максимум	3	5	15	38	48	56	52	50	41	27	12	8	56
абсолютный минимум	-54	-46	-41	-28	-10	-6	1	-2	-6	-22	-30	-42	-54

Таблица 4.2

Средняя месячная температура почвы, на различной глубине, °С.
(почва подзолистая, песчаная)

Глубина (см)	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
5	11,8	16,7	19,8	16,7	10,4	●*
10	11,4	16,2	19,5	16,7	10,6	●
15	11,0	15,8	19,1	16,6	10,9	●
20	10,7	15,5	18,9	16,5	10,9	●

* (●) означает, что наблюдения имеются менее чем в 50% лет.

5. Растительность

Территория Северо-Запада расположена в основном в южной подзоне тайги.

Леса на водосборе р. Волхов составляют около 70 % площади, луга и пашни - 15,5 % площади водосбора. В истоке р. Волхов леса занимают до 85 % площади водосбора.

Территория бассейна р. Волхов покрыта смешанными лесами, у селений частично занята лугами и пашнями.

Склоны долины поросли преимущественно кустарником и частично покрыты смешанным лесом.

Болота занимают около 19 % площади водосбора. Болота преимущественно верховые (сфагновые) отчасти низменного и переходного характера.

Лес на водосборе р. Волхов носит характер смешанного - елово-соснового с некоторой примесью берёзы.

6. Климат

Климат данного района умеренно холодный, переходный от морского к континентальному. Ведущим климатообразующим фактором в северо-восточной части Ленинградской области является циркуляция воздушных масс. Вхождения атлантических воздушных масс чаще всего связаны с циклонической деятельностью и сопровождаются обычно ветреной пасмурной погодой, относительно тёплой – зимой и сравнительно прохладной – летом. Повышенная циклоничность, характерная для Русской равнины, объясняется тем, что здесь скрещиваются пути западных и южных циклонов.

Климатические данные района работ приводятся по материалам многолетних наблюдений ближайшей метеостанции: м/ст. Будогощь.

6.1. Температура воздуха

Климат умеренно-континентальный со средней годовой температурой воздуха 3,5°C.

Зима в восточной части Ленинградской области умеренно-холодная, начинается в конце октября. Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль, средняя месячная температура составляет минус 9,0°C – минус 9,3°C. Абсолютный минимум достигает минус 50°C (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Температура воздуха, °C

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
средняя	-9,3	-9,0	-4,6	3,3	9,9	14,5	17,1	15,0	9,6	3,8	-1,8	-6,6	3,5
абсолютный максимум	6	6	14	28	31	33	34	35	30	21	12	9	35
абсолютный минимум	-50	-43	-34	-26	-9	-5	0	-2	-6	-20	-26	-39	-50

Первая половина зимы характеризуется преобладанием ненастной погоды с выпадением дождя и мокрого снега. В это время, как правило, возможно, неоднократное образование снежного покрова. Приблизительно с половины декабря среднесуточная температура воздуха переходит через минус 5°C. Этот период длится до середины марта. Оттепели наблюдаются, как правило, по 2-5 дней в месяц. Температура наиболее холодной пятидневки по данным метеостанции Будогощь составляла минус 28°C.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0°C, наблюдающийся в период с конца марта до конца мая. Весна прохладная, в первой половине преобладает неустойчивая пасмурная погода, а во второй половине - теплая и малооблачная. Температура воздуха днем от 5 до 12°C, ночью от 4 до 6°C (ночные заморозки наблюдаются до конца мая).

Лето, за начало которого принимается переход средней суточной температуры воздуха через 10°C, наступает в середине мая и продолжается около 4 месяцев. Летом нередки похолодания, вызываемые вторжениями холодного воздуха арктического происхождения, при этом, в отдельные дни, даже в июле, средняя суточная температура может держаться в пределах 5°C - 10°C. Умеренно-тёплое лето продолжается 3 месяца - с июня по август. Преобладающие температуры воздуха летом: днем 16-19°C, максимальная 35°C, ночью 11-14°C. Самый теплый месяц – июль, со средней месячной температурой 17,1°C.

Осень умеренно прохладная, пасмурная с туманами и затяжными дождями. Дневная температура воздуха в сентябре и октябре положительная, в ноябре - отрицательная. В конце сентября - начале октября наступают первые ночные заморозки - до минус 2°C.

6.2. Влажность воздуха

Влажность воздуха характеризуется, прежде всего, величиной упругости водяного пара и относительной влажностью. Как и температура воздуха, эти характеристики имеют отчётливо выраженный годовой и суточный ход и подвержены изменениям под влиянием физико-географических особенностей местности.

В холодный период упругость водяного пара увеличивается в направлении с востока на запад, а в тёплый период — с севера на восток. Наименьшие значения упругости водяного пара отмечаются зимой, особенно мала она в январе-феврале. Начиная с марта, упругость водяного пара быстро увеличивается и достигает максимума в июле-августе. В январе в Ленинградской области значения упругости водяного пара находятся в пределах 2,8-3,7 мб, в июле 13-14 мб (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Влажность воздуха

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
парциальное давление водяного пара (гПа)	3,1	3,1	3,5	5,6	8,0	11,6	14,4	13,9	10,4	7,3	5,2	3,9	7,5
относительная влажность воздуха (%)	86	83	76	70	64	68	73	79	84	86	88	88	79
дефицит насыщения (гПа)	0,4	0,6	1,2	2,8	5,4	6,8	6,6	4,8	2,5	1,2	0,7	0,5	2,8

6.3. Осадки

Рассматриваемая территория относится к зоне избыточного увлажнения, что объясняется сравнительно небольшим приходом

тепла и хорошо развитой здесь циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все сезоны года. На распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и подстилающая поверхность. Даже небольшие возвышенности обуславливают перераспределение осадков: увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных склонах и в понижениях за возвышенностями (см. табл. 6.3).

В среднем в районе мостового перехода за год выпадает 773 мм осадков. Более 60% годовых осадков приходится на тёплый период года – с апреля по октябрь, с максимумом в августе (84 мм).

Таблица 6.3

Осадки с поправками на смачивание, мм

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	ноябрь-март	апрель-октябрь	Год
среднее количество -во	61	49	45	51	49	81	81	84	80	71	63	58	276	497	773

6.4. Снежный покров

Снежный покров появляется обычно в конце октября – начале ноября, но он, как правило, держится недолго. Устойчивый снежный покров образуется в среднем во второй декаде ноября и разрушается в конце марта. Окончательно снег сходит обычно в середине апреля. Высота снежного покрова достигает максимума, как правило, в феврале-марте. В среднем наибольшая за зиму мощность снежного покрова составляет 77 см (таблица 6.4).

Таблица 6.4

**Высота снежного покрова по данным маршрутных снегосъёмов
на последний день декады, см**

окт.	ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апр.			Наибольшая за зиму			
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	средн	макс.	мин
участок – в поле																						
•*	•	5	8	10	11	13	17	20	23	26	28	30	29	29	20	9	•			37	56	17
участок – в лесу под кронами деревьев																						
•*	•	6	11	14	16	20	25	30	35	38	44	45	46	46	35	16	•	•		52	77	25

(•*) (•) означает, что снежный покров наблюдался менее чем в 50% лет.

6.5. Ветер

Ветровой режим рассматриваемой территории определяется общей циркуляцией атмосферы и тесно связан с особенностью распределения барических центров, а также характером подстилающей поверхности. Так, вследствие большой шероховатости лес значительно уменьшает скорость ветра и, наоборот, на открытых пространствах при наличии крупных водоёмов скорость ветра увеличивается. На рассматриваемой территории в течение всего года преобладают ветра южного, юго-западного и западного направлений, что обусловлено господством морского воздуха умеренных широт. Повторяемость этих направлений, как правило, превышает 50 %. Наиболее часто они отмечаются в холодный период года. В летние месяцы повторяемость ветров юго-западной четверти несколько уменьшается, северной – увеличивается. В холодный период, вследствие близкого расположения областей высокого давления, возникают большие горизонтальные градиенты давления. Поэтому в это время ветры наиболее устойчивы по направлению и значительны по силе. Летом, в связи с уменьшением термических контрастов, барическое поле выражено менее чётко, градиенты давления незначительны, ветры у поверхности земли ослабевают и становятся

менее устойчивыми по направлению. Максимальные среднемесячные скорости ветра 3,7-4,0 м/с наблюдаются по району в октябре-январе, а наименьшие скорости приходятся на июль - август — 2,9 м/с (табл. 6.5-6.7).

Таблица 6.5
Среднемесячная и годовая скорость ветра, (высота флюгера 13 м)

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
3,8	3,7	3,6	3,8	3,5	3,5	2,9	2,9	3,1	3,7	4,0	3,9	3,5

Таблица 6.6
Среднее число дней с сильным ветром (>15 м/сек)

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
0,9	0,8	1,3	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,7	0,8	0,4	0,9	9

Таблица 6.7
Повторяемость направления ветра и штилей (%)

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
С	7	6	9	9	13	12	12	10	7	7	5	5	9
СВ	8	8	9	8	12	7	10	9	6	6	5	6	8
В	7	8	8	6	9	7	9	10	5	5	7	8	7
ЮВ	14	17	12	12	10	10	11	12	11	10	17	16	13
Ю	24	20	16	20	13	13	13	17	22	21	26	24	19
ЮЗ	25	21	22	21	16	20	19	21	25	27	26	25	22
З	8	11	13	13	13	17	14	11	14	14	10	11	12
СЗ	7	9	11	11	14	14	12	10	10	10	4	5	10
Штиль	5	4	6	4	4	4	5	8	7	4	3	3	5

Розы ветров за характерные месяцы и год представлены на графиках (рис. 6.1).

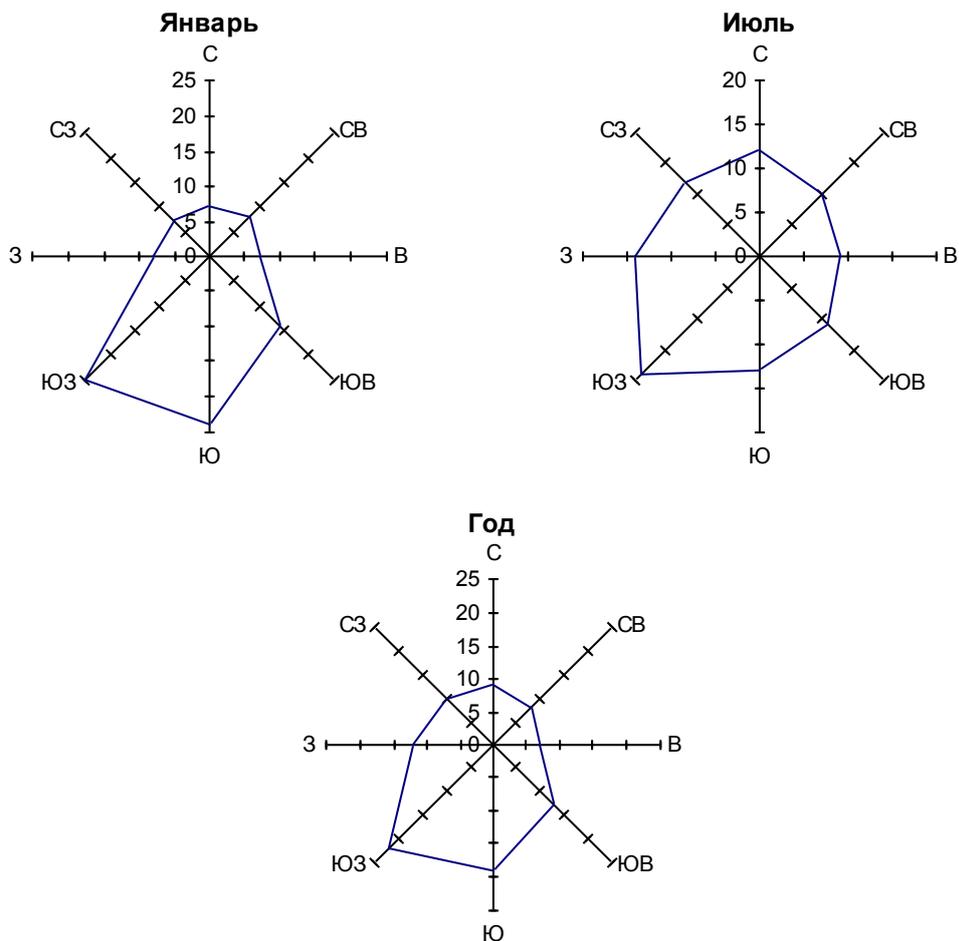


Рис. 6.1 Розы ветров (м/ст. Будогощь)

6.6. Атмосферные явления

Повторяемость дней с туманом, с метелью, с грозой и с градом приведена в табл. 6.8.

Таблица 6.8.

Число дней с атмосферными явлениями.

		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
с туманом	средн.	3	2	2	3	2	2	4	6	6	5	4	4	43
	макс.	7	5	5	11	5	8	10	12	12	12	10	13	67
с метелью	средн.	5	6	6	1						0,2	2	4	24
	макс.													
с грозой	средн.			0,03	0,7	3	6	9	6	2	0,2			27
	макс.			1	4	9	13	125	11	5	2			36
с градом	средн.				0,3	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1			1,8
	макс.				4	5	3	2	1	1	2			8

7. Гидрологическая изученность района работ

Река Волхов вытекает из оз. Ильмень в районе Великого Новгорода и впадает в Волховскую губу Ладожского озера около г. Новая Ладога. Общее направление течения с юго-юго-запада на северо-северо-восток. Река относится к бассейну Балтийского моря, к частному бассейну Ладожского озера (р. Волхов → оз. Ладожское → р. Нева → Финский залив).

Длина реки 224 км, площадь водосбора 80200 км², средний уклон реки 0,06‰. Основное падение наблюдается в нижнем течении, где река, пересекая Силурийский глинт, образовала Пчевские и Велецкие пороги. В 1926 г при строительстве Волховской ГЭС (в 27 км от устья) эти пороги были затоплены.



Рис. 7.1. Современный вид Волховской ГЭС

Отметка НПУ водохранилища Волховской ГЭС была принята равной 15,74 м, т.е. несколько выше отметки седловины перевала - сопряжения ложа оз. Ильмень с руслом р. Волхов (около 15,0 м БС). В

1929 г. плотина была надстроена, а отметка НПУ увеличена до 17,25 м БС. (По «Основным положениям правил использования водных ресурсов водохранилища Волховской ГЭС на р. Волхов», нормальный подпорный уровень (НПУ) Волховского водохранилища равен 15,74 м БС, предельно допустимый максимальный уровень водохранилища при пропуске высоких половодий - 17,87 м БС). Регулирующее влияние ГЭС река испытывает на всем протяжении от истока до устья.

Таблица 7.1

Параметры стока р. Волхов по данным VI ГЭС.

Параметр	Среднегодовой расход	Максимальный расход	Минимальный в году (срочный)	Минимальный среднемесячный расход открытого русла	Минимальный среднемесячный расход зимний
Среднеголетний расход, $Q_{ср.}$, м ³ /с	554	1462	103	257	227
Коэффициент вариации стока	0,27	0,24	0,98	0,64	0,45
Коэффициент асимметрии кривой распределения	0,44	0,77	1,48	1,48	1,02

Максимальный расход воды за период работы VI ГЭС, отмеченный 4 мая 1966 г., составил 2730 м³/с; минимальный расход, равный 0,30 м³/с, наблюдался 28 февраля 1965 г.

Интегральные распределения характерных расходов воды в створе Волховской ГЭС представлены на графиках в Приложении 1.

Река Волхов протекает по Волхово-Ильменской низине, представляющей собой дно древнего озерно-ледникового водоёма. Поверхность Волхово-Ильменской низины сложена ленточными глинами, песками, высота ее над уровнем моря 20-100 м.

Гидрографическая сеть бассейна р. Волхов в верхнем течении развита относительно слабо. Наиболее крупные притоки - Пчевжа, Оскуя, Тигода, Кересть и Полисть - впадают на участке среднего течения реки. Залесенность бассейна реки составляет примерно 60-80%, озёрность – около 3%.

Гидрологический режим р. Волхов изучен достаточно хорошо. Наблюдения Росгидромета за уровнем воды на реке начались еще в 1876-77 гг.

Ближайшим к створу нового мостового перехода является ведомственный гидрологический пост в пос. Новая Ладога. Пост принадлежит ФГУ «Волго-Балтийское государственное управление водных путей и судоходства». При выполнении статистических расчетов характерных уровней воды р. Волхов на данном участке принят репрезентативный период с 1927 по 2006 гг. (т.е. после ввода в действие VI ГЭС). Многолетние ряды наблюдений проверены на однородность и репрезентативность – ряды однородны и репрезентативны.

Таблица 7.2

Гидрографические характеристики

Водоток, створ	Расстояние, км		Площадь водосбора, км ²	Принадлежность поста	Период, за который использованы данные
	от устья	от истока			
р. Волхов – ст. Волхово	141	83	70000	СЗ УГМС	1927-2015 гг.
р. Волхов – морфоствор № 1	87,5	136,5	77400	ЛенТИСИЗ	10-12.10.2007 г.
р. Волхов – морфоствор № 2	87,4	136,6	77400	-	-
р. Волхов – с. Сольцы	86,5	137,5	77400	СЗ УГМС	1928-1964 гг.
р. Волхов – VI ГЭС	27	197	79800	Ленэнерго	1944-2015 гг.

В настоящее время на р. Волхов действуют гидрологические посты:

- в истоке реки в Новгороде (СЗ УГМС);
- на ст. Волхово (СЗ УГМС);
- в пос. Волховстрой - VI ГЭС (Ленэнерго);
- в пос. Новая Ладога. Пост принадлежит ФГУ «Волго-Балтийское государственное управление водных путей и судоходства».

Вблизи устья р. Волхов в с. Сясьские Рядки на Староладожском канале с 23 февраля 1877 года действует гидрологический пост. Этот пост с 4 апреля 1973 г. расположен на левом берегу канала в 330 м выше пересечения канала рекой Сясь. Пост оборудован шестью сваями.

В период с 1922 по 1964 гг. действовал гидрологический пост р. Волхов – с. Сольцы (Кириши), расположенный в 86,5 км от устья р. Волхов. Пост принадлежал СЗ УГМС и в 1964 году был закрыт.

В Гидрологических ежегодниках публикуются ежедневные уровни на гидрологических постах:

- Новгород;
- Волхово;
- Сясьские Рядки,

а также ежедневные расходы воды в створе VI ГЭС.

Ежедневные уровни р. Волхов в Новой Ладоге не публикуются, но в изданиях ОГХ представлены сведения о характерных уровнях на этом посту. Ведомственный (Волгобалт) гидрологический пост в Новой Ладоге расположен в 1,2 км от устья р. Волхова.

8. Режим уровней воды р. Волхов

Река Волхов на участке выше ГЭС имеет сложный уровеньный режим, обусловленный влиянием оз. Ильмень с одной стороны и переменным подпором от плотины Волховской ГЭС – с другой.

Годовой ход уровня воды характеризуется продолжительным весенним половодьем, летне-осенней и зимней меженью.

Подъем уровня воды весной начинается в среднем в начале апреля. Средняя продолжительность подъема 30-40 дней. Пик весеннего половодья наблюдается обычно в первой декаде мая. Высота подъема уровня воды над уровнем зимней межени 3-4 м, в отдельные годы – до 5 м. Спад весеннего половодья продолжается до конца июля.

В период летне-осенней межени (примерно с середины-конца августа до ноября) возможен подъем уровня воды от дождей до 1 м.

Зимняя межень устанавливается в конце ноября – начале декабря. Минимальные зимние уровни, они же, как правило, и минимальные годовые, наблюдаются в конце марта – начале апреля.

Максимальные в году уровни воды р. Волхов наблюдаются как правило в период весеннего половодья при открытом русле.

Участок нового мостового перехода вблизи пос. Иссад находится в зоне подпора от Волховской губы Ладожского озера. Денивелиации водной поверхности здесь вызваны сгонно-нагонными спадами и подъемами уровня озера.

Условия, когда формируются уровни, соответствующие отметкам РСУ, наступают при наполнении Ладожского озера. Как правило, это происходит в середине июня.

Уровенный режим на постах Сясьские Рядки и Новая Ладога отличается только влиянием сбросов VI ГЭС. Это влияние прослеживается сравнительно слабо.

При определении РСУ предпочтение отдано сведениям об ежедневных уровнях на посту Сясьские Рядки, т.к. эти данные подвергнуты профессиональной поверке в СЗ УГМС, опубликованы и заслуживают полного доверия.

В табл. 8.1 – 8.4 приведены данные о характерных уровнях, датах и продолжительностях периодов.

Таблица 8.1

Характерные уровни (м БС), даты и продолжительности периодов.

№	Характеристика		Уровень высший	Обеспеченность %					Уровень низший
				Дата ранняя	10	25	50	75	
1	Максимальный годовой	Уровень	6.28	6.0	5.5	5.1	4.9	4.6	4.22
		Дата	01.05	27.04	03.05	25.06	31.07	23.11	31.12
2	Минимальный годовой	Уровень	5.20	4.6	4.5	4.1	3.8	3.5	3.43
		Дата	13.01	01.10	05.11	26.11	06.12	21.12	31.12
3	Максимальный открытого русла	Уровень	6.28	6.0	5.5	5.1	4.9	4.5	4.22
		Дата	01.05	01.05	09.05	06.06	21.07	26.09	01.12
4	Минимальный открытого русла	Уровень	5.20	4.9	4.6	4.3	4.0	3.8	3.43
		Дата	24.04	30.04	01.10	27.10	13.11	03.12	19.12
12	Максимальный зимний	Уровень	5.84	5.5	5.3	4.9	4.6	4.4	3.88
		Дата	23.11	24.11	22.12	27.03	02.04	09.04	01.05
13	Минимальный зимний	Уровень	5.42	5.1	4.6	4.4	4.0	3.5	3.54
		Дата	12.11	20.11	04.12	19.12	17.01	13.04	13.04

Результаты статистической обработки данных о характерных и ежедневных уровнях воды и их обеспеченностях приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.2

Продолжительность характерных фаз гидрологического режима

№	Характеристика	Продолжительность, дни						
		Наиб.	10	25	50	75	90	Наим.
1	Весенний ледоход	23	12	5	4	1	1	1
2	Навигация	268	256	244	220	204	194	173
3	Осенний ледоход	13	6	5	4	1	1	1
4	Ледостав	171	161	157	137	120	108	80

Таблица 8.3

Характерные и ежедневные уровни воды (м БС) различной обеспеченности.

Гидрологический пост: р. Волхов – Новая Ладога

Характеристика	Обеспеченность, %								
	1	5	10	25	50	75	90	95	99
Максимальный годовой	6.4	6.0	5.6	5.5	5.2	4.7	4.6	4.5	4.2
Минимальный открытого русла					4.3	4.0	3.8	3.6	3.4
Минимальный зимний					4.3	4.0	3.8	3.6	3.4
Ежедневные открытого русла	6.0	5.6	5.4	5.1	4.8	4.4	4.2	4.0	3.7

Таблица 8.4

Средние многолетние уровни Ладожского озера

см БС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сясьские рядки	459	461	463	477	498	505	500	489	477	467	459	457
Валаам	475	475	476	481	508	517	511	502	490	480	474	472

Гидрологический пост: р. Волхов – Новая Ладога.

Влияние сбросов Волховской ГЭС на формирование высоких уровней в створе строящегося мостового перехода учтено расчетным способом.

9. Расчёт отметки РСУ

9.1. Методологические основы

Расчёт продолжительности периода физической навигации на р. Волхов произведен путём обобщения сведений о датах ледовых явлений.

Отметки высоких уровней Ладожского озера, соответствующих условиям формирования отметок РСУ, определены по данным наблюдений на посту Сясьские Рядки. Эти данные сопоставлены со сведениями о характерных уровнях на ведомственном посту р. Волхов – пос. Новая Ладога.

Влияние сбросов на подъем уровня воды в створе строящегося моста оценено по данным об ежедневных расходах воды в створе Волховской ГЭС. При этом учтены результаты гидрологических изысканий, произведенных на участке нового мостового перехода в сентябре 2009 года. Искомая отметка РСУ получена по схеме:

$$H_{PCY} = H_{PCY}^* + \Delta Z, \quad (9.1)$$

где H_{PCY}^* - отметка поверхности воды Ладожского озера на дату подъема уровней, лимитирующих судоходство под мостом (м БС);

ΔZ - стоковое приращение отметок уровней воды на участке от устья р. Волхов до створа нового моста (м).

9.2. Установление сроков периода физической навигации и допустимой продолжительности стояния уровней воды выше РСУ

По данным о датах наступления ледовых явлений на участках гидрологических постов р. Волхов – с. Сольцы (1928-41, 1946-64 гг.) и р. Волхов – ст. Волхово (1927-41, 1945-2015 гг.) установлена

продолжительность периода с ледовыми явлениями 0,5 (150 + 155) = 153 дня, т.е. период физической навигации составляет $T = 212$ суток.

Реке Волхов придан 3-ий класс водного пути (магистральный).

Допускаемая продолжительность стояния уровней выше РСУ рассчитана по формуле:

$$t = \frac{K \cdot T}{100} = \frac{6 \cdot 212}{100} = 12,7 \approx 13 \text{ (суток)}, \quad (9.2)$$

где $K = 6$ – коэффициент допускаемого уменьшения продолжительности физической навигации для водных путей 3-го класса.

Класс водного пути определяется в зависимости от глубины судового хода по табл. 9.1

Таблица 9.1

Классы водного пути

класс	Глубина судового хода, м	
	гарантированная	средненавигационная
1	св. 3,2	св. 3,4
2	св. 2,5 до 3,2	св.2,9 до 3,4
3	св. 1,9 до 2,5	св.2,3 до 2,9
4	св. 1,5 до 1,9	св.1,7 до 2,3
5	св. 1,1 до 1,5	св.1,3 до 1,7
6	св. 0,7 до 1,1	св.0,9 до 1,3
7	менее 0,7	0,6 - 0,9

9.3. Расчет лимитирующей отметки уровня

озёрного происхождения H_{PCY}^*

По данным об ежедневных уровнях на гидрологическом посту Сясьские Рядки определены отметки уровней H_t , превышаемых в течение 13 суток за период навигации. Эти отметки (за 1978-92 гг.) расположены в убывающем порядке и рассчитаны вероятности их превышения:

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% , \quad (9.3)$$

где m – порядковый номер уровня в убывающем ряду;

n – число учтённых лет наблюдений (при условии $n \geq 10$).

Результаты расчетов сведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

К расчёту отметки уровня воды H_{PCY}^* , которая превышает в течение 13 суток (Староладожский канал – с. Сясьские Рядки) в створе нового моста при нулевом уклоне в устье р. Волхов

№	Год	H_t см БС	H_t убыв., см БС	$P, \%$
1	1978	488	582	6,3
2	1979	486	565	12,5
3	1980	451	551	18,8
4	1981	498	548	25,0
5	1982	582	532	31,3
6	1983	532	529	37,5
7	1984	548	521	43,8
8	1985	486	510	50,0
9	1986	498	501	56,3
10	1987	501	498	62,5
11	1988	529	498	68,8
12	1989	551	488	75,0
13	1990	521	486	81,3
14	1991	510	486	87,5
15	1992	565	451	93,8

Вид интегрального распределения уровней H_t представлен на графике рис. 9.1.

Расчетную вероятность P_d , согласно рекомендациям «Межгосударственного стандарта» [1], принимают равной:

- для 1-го класса 2%;
- для 2-го класса 3%;
- для 3-го - 4%,
- для 4-го и 5-го классов – 5%;
- для 6-го и 7-го классов 6%.

Отметка H_{PCY}^* определена по графику рис.9.1, в соответствии с расчетной вероятностью для водного пути 3-го класса $P_d = 4\%$, и составляет $H_{PCY}^* = 5,93$ м БС.

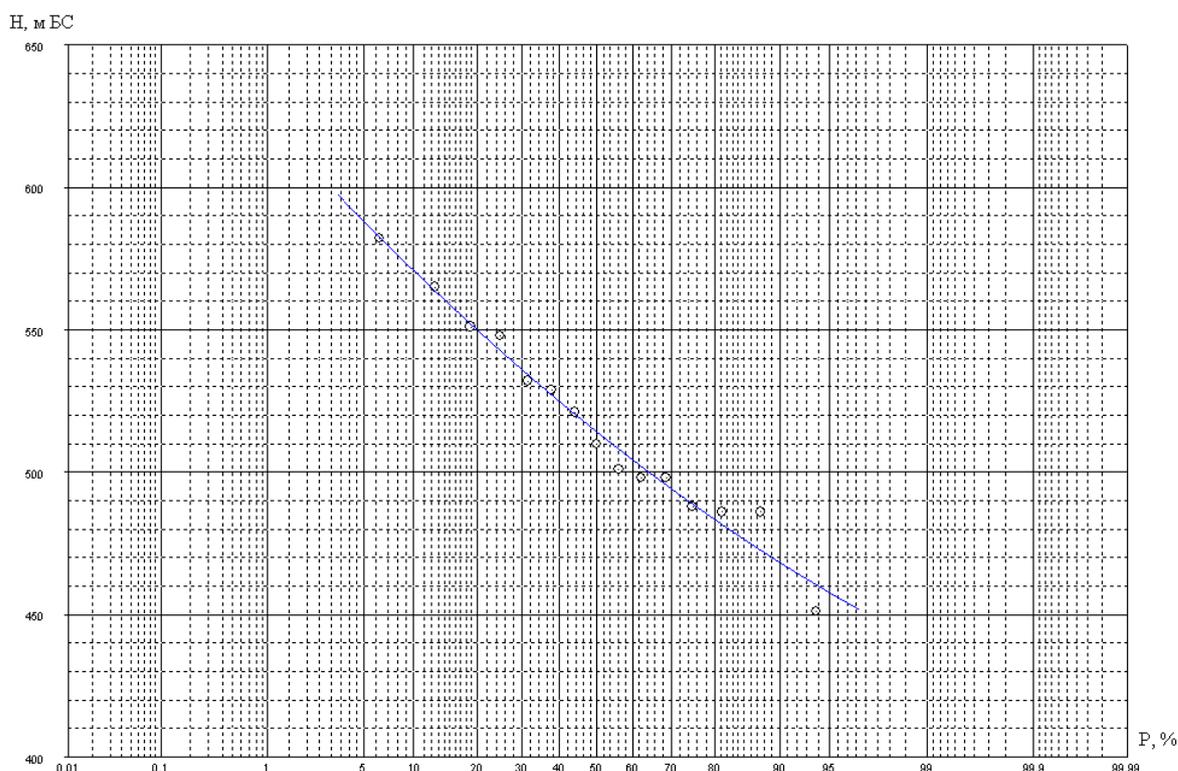


Рис. 9.1. График интегрального распределения $H_t = f(P)$

9.4. Расчет стокового приращения уровней (ΔZ) на участке от устья р. Волхов до створа нового моста

Гидрологические характеристики р. Волхов на участке нового мостового перехода определены с учетом результатов водно-технических изысканий на участке проектирования.

На участке были разбиты 2 морфоствора:

- один - в створе нового мостового перехода (морфоствор 2),
- другой (морфоствор 1) – в 70 м выше по течению. Поперечные профили морфостворов приведены на графиках рис. 9.2, 9.3.

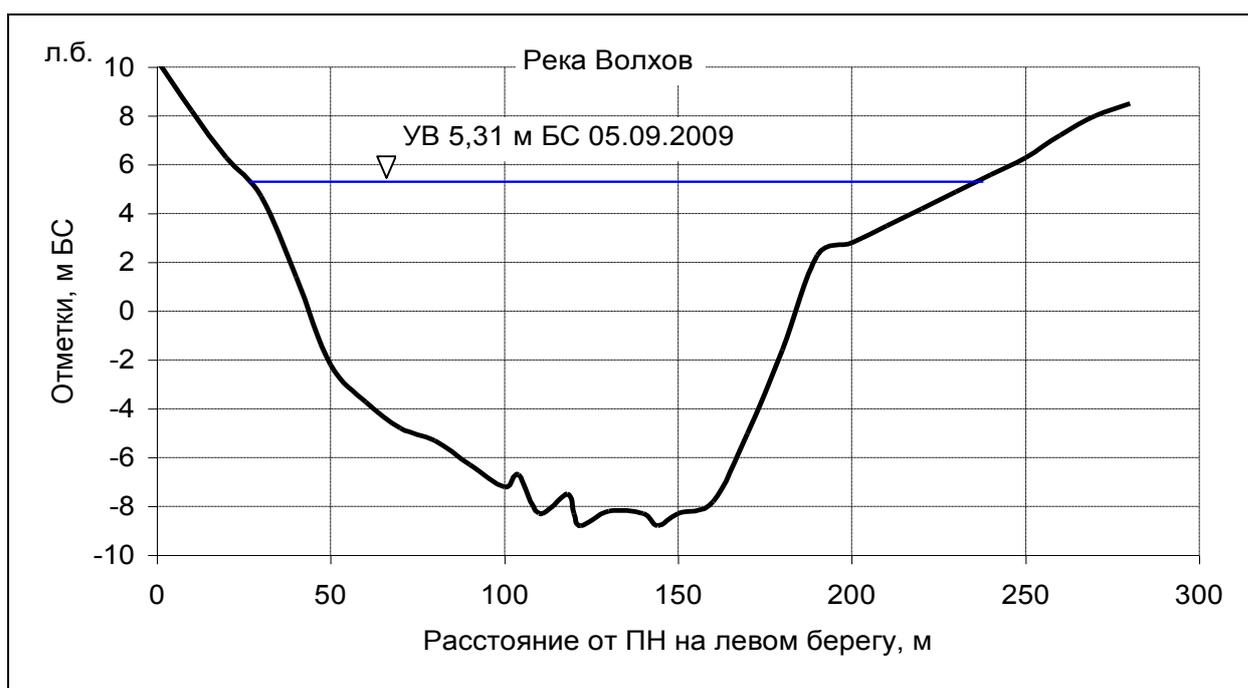


Рис. 9.2. Морфоствор 1 (в 70 м выше моста)

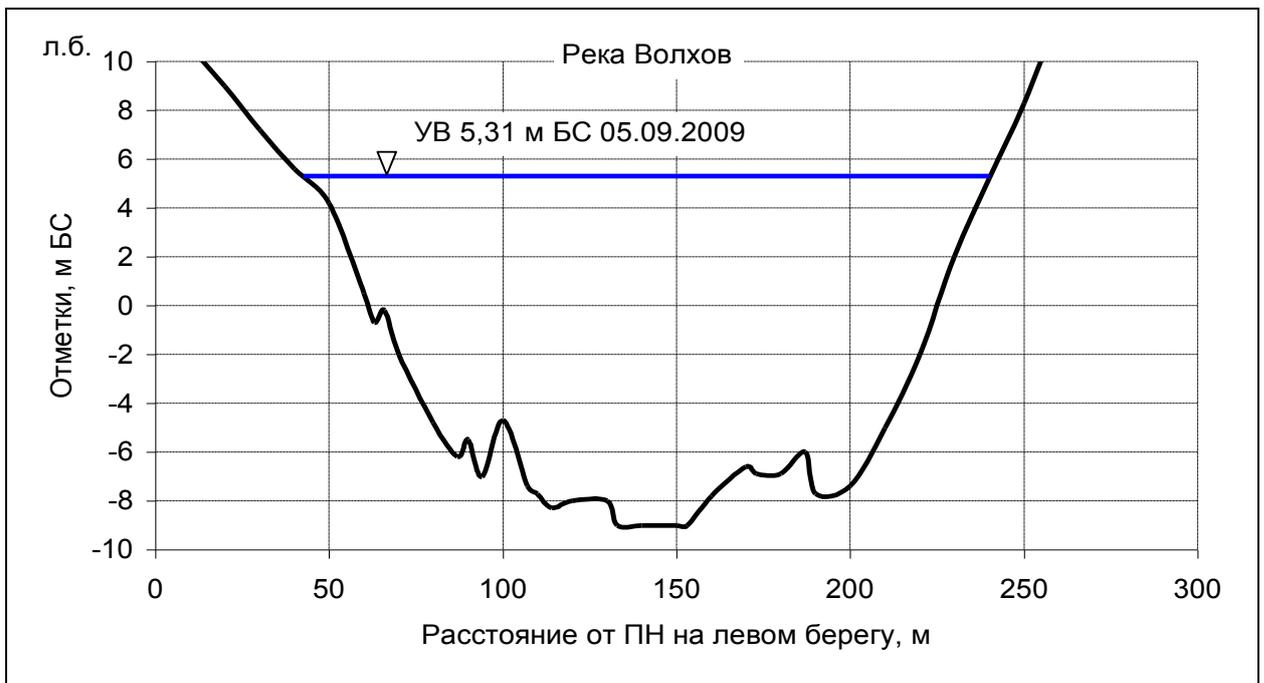


Рис. 9.3. Морфоствор 2 (по низовой грани моста).

Средние на участке нового мостового перехода морфометрические характеристики р. Волхов при отметке уровня воды во время производства гидрометрических работ 5.31 м БС (высокий на начало сентября уровень) таковы:

- ширина реки $B = 206$ м;
- площадь водного сечения $\omega = 2080$ м²;
- средняя глубина $h = 10,1$ м .

Согласно таблице М.Ф.Срибного [4], значение коэффициента шероховатости принято равным $n = 0,04$, при этом учтено влияние подпора от Ладожского озера, уменьшающего пропускную способность русла.

В силу обстоятельств расход воды в створе мостового перехода не измерен. Продольный уклон водной поверхности (мгновенный уклон) определен нивелировкой на участке длиной 400 м и составил около 2 см/км, т.е. $i = 0,02$ ‰. Следует отметить визуально

наблюдаемую высокую водность р. Волхов во время изысканий, примерно соответствующую среднемуголетнему максимуму сброса на Волховской ГЭС. Отсюда можно сделать вывод о том, что продольный уклон водной поверхности на участке нового моста в условиях реализации расчетного судоходного уровня обычно меньше, чем полученное при изысканиях значение уклона $i = 0,02 \text{ ‰}$.

Расчет продольного уклона водной поверхности на участке нового моста в условиях реализации РСУ произведён по следующей схеме:

- Определен средний за многолетие расход воды при наступлении отметок уровня H_t , т.е. отметок, которые превышаются в течение не менее 13 суток за навигацию. Получено значение $\bar{Q}_t = 980 \text{ м}^3/\text{с}$.
- С учетом результатов изысканий, приняты морфометрические характеристики гидроствора при расходе $\bar{Q}_t = 980 \text{ м}^3/\text{с}$ и медианном ($P = 50\%$) значении уровня:

$$B = 203 \text{ м}; \quad h = 9,9 \text{ м}; \quad \omega = 2010 \text{ м}^2.$$

- Коэффициент шероховатости принят $n = 0,04$.
- Скоростной коэффициент А. Шези – В.Г. Талмазы [5]:

$$C = \frac{1}{n} + (21 - 100n) \lg h = 25 + (21 - 4) \cdot 0,9956 = 41,9 \left(\frac{\text{м}^{0,5}}{\text{с}} \right).$$

- Продольный уклон водной поверхности при расходе \bar{Q}_t составит:

$$i = \left(\frac{\bar{Q}_t}{\omega C \sqrt{h}} \right)^2 = \left(\frac{980}{2010 \cdot 41,9 \cdot \sqrt{9,9}} \right)^2 = 0,000013675 = 0,0137 \text{ ‰}.$$

В итоге расчётов получено: продольный уклон водной поверхности на участке нового моста при реализации отметки РСУ составляет 1,37 см на 1 км.

- Створ мостового перехода расположен в $\Delta L = 4,7$ км выше по течению от устья р. Волхов.

- Перепад отметок между уровнями Волховской губы Ладожского озера и водной поверхностью р. Волхов в створе мостового перехода равен

$$\Delta z = \Delta L \cdot i = 4,7 \cdot 0,0137 = 0,06439 \text{ (м)} \approx 0,06 \text{ м.}$$

- Отметка уровня Ладожского озера, превышаемая в течение 13 суток за навигацию (H_{PCY}^*), соответствует уровню H_t обеспеченностью $P_d = 4 \%$ (3-ий класс водного пути) и составляет, согласно интегральному распределению рис. 9.1:

$$H_{PCY}^* = 5,93 \text{ м БС.}$$

- Искомая отметка РСУ в створе мостового перехода рассчитывается как:

$$H_{PCY} = H_{PCY}^* + \Delta z = 5,93 + 0,06 = 5,99 \text{ (м БС).}$$

Заключение

Рассчитанное значение отметки РСУ следует признать соответствующим действительному характеру режима уровней в створе нового мостового перехода. В табл.10.1. приведены отметки максимальных уровней на ведомственном посту р. Волхов - пос. Новая Ладога.

Таблица 10.1.

Максимальные уровни воды (м БС) различной обеспеченности

(р.Волхов - пос. Новая Ладога)

Обеспеченность, %	1	5	10	25	50	75	90	95	99
Уровень, м БС	6,4	6,0	5,6	5,5	5,2	4,7	4,6	4,5	4,2

Как явствует из табл. 10.1, максимальный уровень обеспеченностью 5% в Новой Ладоге (3,5 км ниже по течению от нового мостового перехода) составляет 6,0 м БС, что, в целом, согласуется с полученной в результате расчётов отметкой РСУ 5,99 м БС.

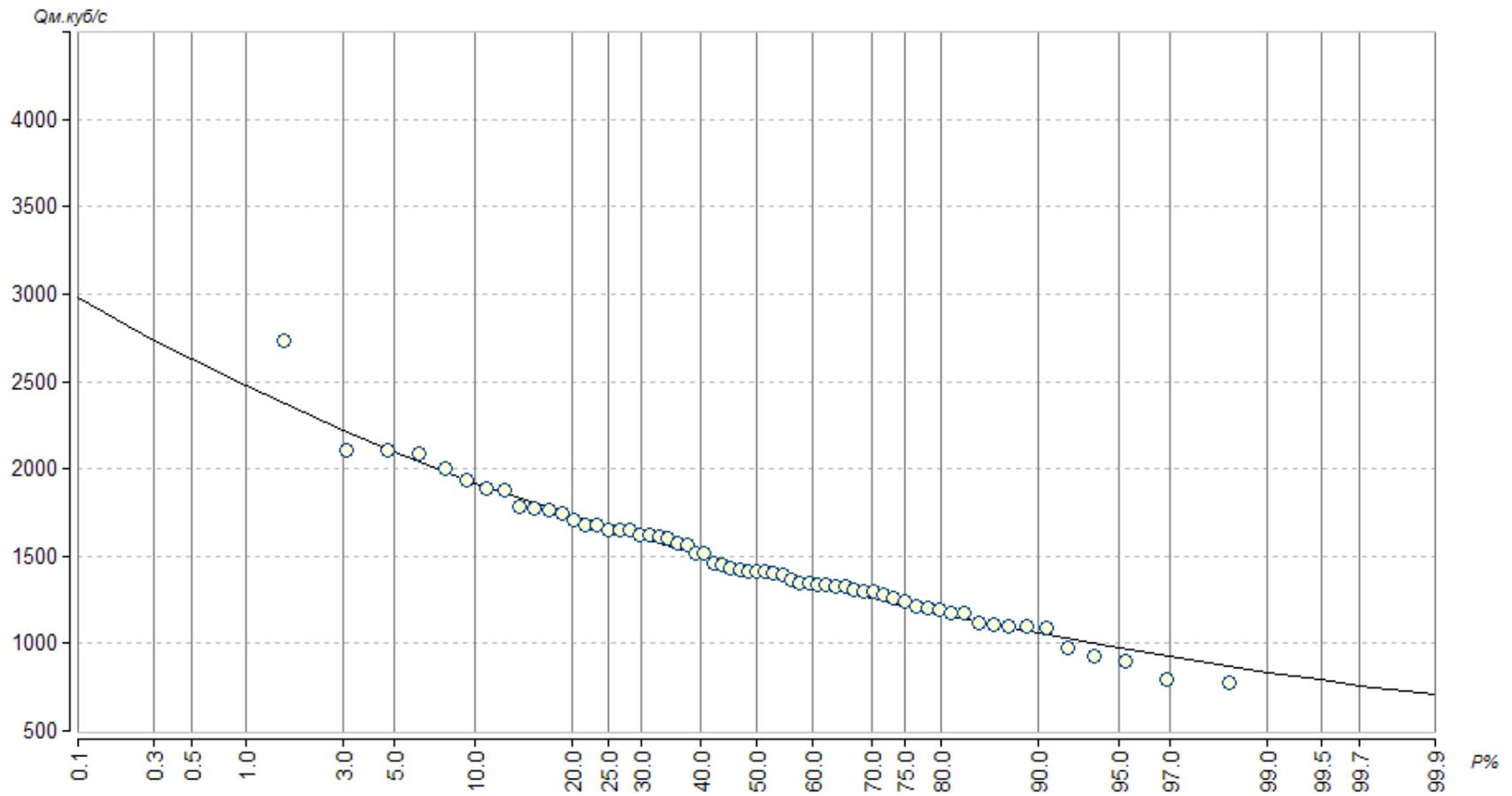
Список использованной литературы

1. ГОСТ 26775-97. Межгосударственный стандарт «Габариты подмостовых судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования». – М.: Госстрой России, 1998.
2. Свод правил «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства». СП 11-103-97.
3. «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.6, ч.1.-Л.:Гидрометиздат,1978»
4. В.Д. Быков, А.В. Васильев «Гидрометрия» - Л.: Гидрометиздат,1977.
5. И.П. Спицын, В.А. Соколова «Общая и речная гидравлика» - Л.: Гидрометиздат,1990.

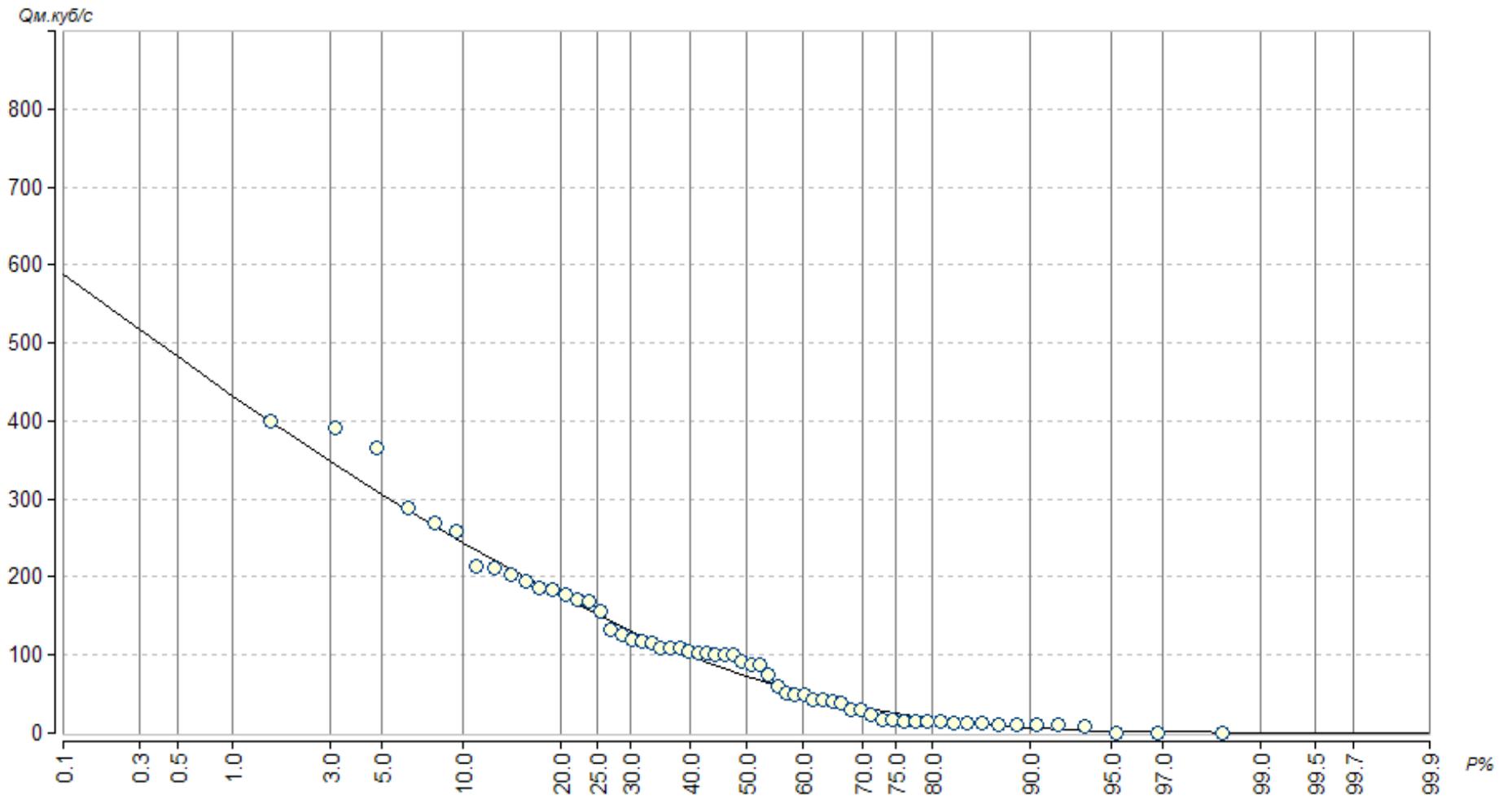
ПРИЛОЖЕНИЕ

Кривые обеспеченности характерных расходов воды р. Волхов – VI

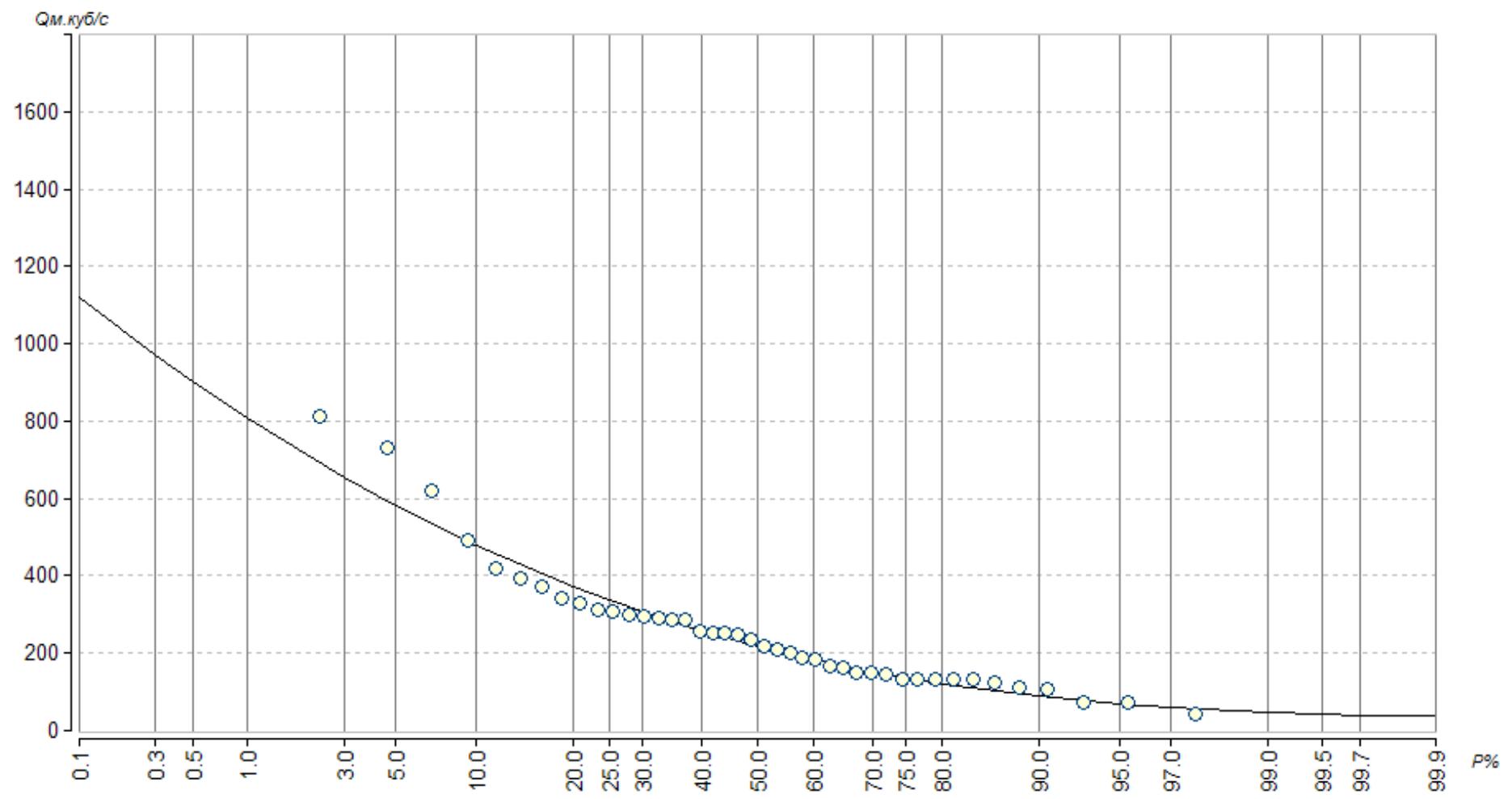
р. Волхов-VI ГЭС
Максимальные расходы воды, м.куб/сек
1945-2006 гг.



р. Волхов-VI ГЭС
Минимальные в году расходы воды, м.куб/сек
1945-2006 гг.



р. Волхов-VI ГЭС
Минимальные среднемесячные летние расходы воды, м.куб/сек
1945-2006 гг.



р. Волхов-VI ГЭС
Минимальные среднемесячные зимние расходы воды, м.куб/сек
1945-2006 гг.

