

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

Допущен к защите

Кафедра гидрометрии

Зав. кафедрой,

к.т.н., доцент

336.16 Д.И. Исаев

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

**Гидрологическое обоснование  
проекта мостового перехода  
газопроводом  
через р. Фонтанку**

Выполнил:

А.Н. Пшеницин

Г-64 ФЗО



Руководитель:

к.т.н., доцент

Г.Н. Угренинов

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

# **Гидрологическое обоснование проекта мостового перехода газопроводом через р. Фонтанку**

Выполнил: А.Н. Пшеницин  
Г-64 ФЗО

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

Санкт-Петербург  
2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Местоположение участка проектирования	4
2 Изученность природной среды	6
2.1 Геологические данные	6
2.2 Метеорологические данные	9
2.3 Гидрологические данные	11
2.4 Гидрологическая изученность	16
3 Инженерно-геологические условия	20
3.1 Общие сведения	20
3.2 Геологическое строение дна р. Фонтанки	20
3.3 Физико-механическая характеристика донных грунтов	20
4 Климатическая характеристика района проектирования	20
4.1 Общие сведения	20
4.2 Температура воздуха	20
4.3 Атмосферное давление	20
4.4 Влажность воздуха	28
4.5 Атмосферные явления и осадки	29
4.6 Скорость и направление ветра	30
5 Гидрологическая характеристика участка проектирования	30
5.1 Гидрография дельты р. Невы	34
5.2 Общие сведения о водных объектах системы р. Фонтанки	37
5.3 Режим уровней воды	38
5.3.1 Режим уровней воды Невской губы и р. Невы	42
5.3.2 Режим уровней воды р. Фонтанки	42
5.4 Режим расходов воды	44
5.4.1. Сток воды р. Невы	44
5.4.2 Моделирование потока р. Фонтанки	47
6 Характеристика естественного режима русла р. Фонтанки	48
6.1 Общие положения	44
6.2 Твердый сток р. Фонтанки	44
6.3 Деформации русла р. Фонтанки	47
7 Термический режим р. Фонтанки	44
8 Характеристика бытового ледового режима р.Невы, рукавов Невской дельты и р.Фонтанки	44
8.1 Общие сведения	47
8.2 . Зажорные явления	48
8.3 Характеристика бытового ледового режима р. Фонтанки	49
9 Гидрохимическая характеристика	49
Заключение	51
Список использованных источников	53

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проектирования является гидрологическое обоснование проектных решений по объекту: «Строительство магистральных выводов НПС «Введенская» (Сенной, Апраксинской, Театральной т/м)».

В качестве исходной базы для выполнения работ послужили:

- данные многолетних наблюдений на гидрологических постах р. Невы и Невской дельты;
- картографические материалы прошлых лет;
- результаты полевых изысканий на участке проектирования;
- результаты инженерно-геологических изысканий ООО «Петро-БурСервис»;
- фондовые и архивные материалы.

При выполнении работ использованы также материалы других организаций, полученные в результате инженерных изысканий, проведенных на участках проектирования в разные годы.

Задачами дипломного проектирования является получение исходных данных, включающих:

- оценку режима уровней воды р. Фонтанки на участке проектирования в естественном состоянии и в режиме эксплуатации построенного Комплекса Защитных Сооружений (КЗС);
- расчеты расходов воды р. Фонтанки в характерные фазы гидрологического режима;
- оценку скоростной структуры водных масс р. Фонтанки на участке проектирования;
- оценку твердого стока р. Фонтанки и интенсивности русловых деформаций на участке проектирования;
- оценку термического режима р. Фонтанки;
- определение характеристик бытового ледового режима р. Фонтанки;
- оценку гидрохимических характеристик р. Фонтанки.

Скоростная структура водных масс на участке проектирования определена с использованием данных о морфометрии водотоков системы р. Фонтанки.

## 1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ УЧАСТКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Участок проектирования расположен в Адмиралтейском районе Санкт-Петербурга. Проектируемый переход будет расположен в створе Введенского канала, в 3,5 км от устья р. Фонтанки.

На правом берегу находятся плотно застроенные кварталы жилых домов. Недалеко от левого берега реки построена ТЭЦ.

В 130 м выше по течению от створа проектирования через р. Фонтанку переброшен Горсткий мост. Через этот мост и решено выполнить переход р. Фонтанки газопроводом.

Ситуационный план водной системы р. Фонтанки представлен на рис. 1.1. Промеры произведены в декабре 2011 года при уровне воды 0,45 м БС, что на 0,36 м выше ординара в створе проектируемого мостового перехода. Толщина слоя обводнённых текучих илов распределена неравномерно по площади дна, уменьшаясь у береговых стенок и на стрежне и возрастая по линии 10-15 м от правого и левого берегов.

Поперечный профиль русла р. Фонтанки в створе проектируемого мостового перехода приведен на рис. 1.2. Морфометрические характеристики представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Морфометрические характеристики русла р. Фонтанки в створе проектируемого мостового перехода

Средняя глубина, м	2,83
Максимальная глубина, м	3,45
Ширина реки, м	53,5
Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	151
Смоченный периметр, м	56,4
Гидравлический радиус, м	2,68

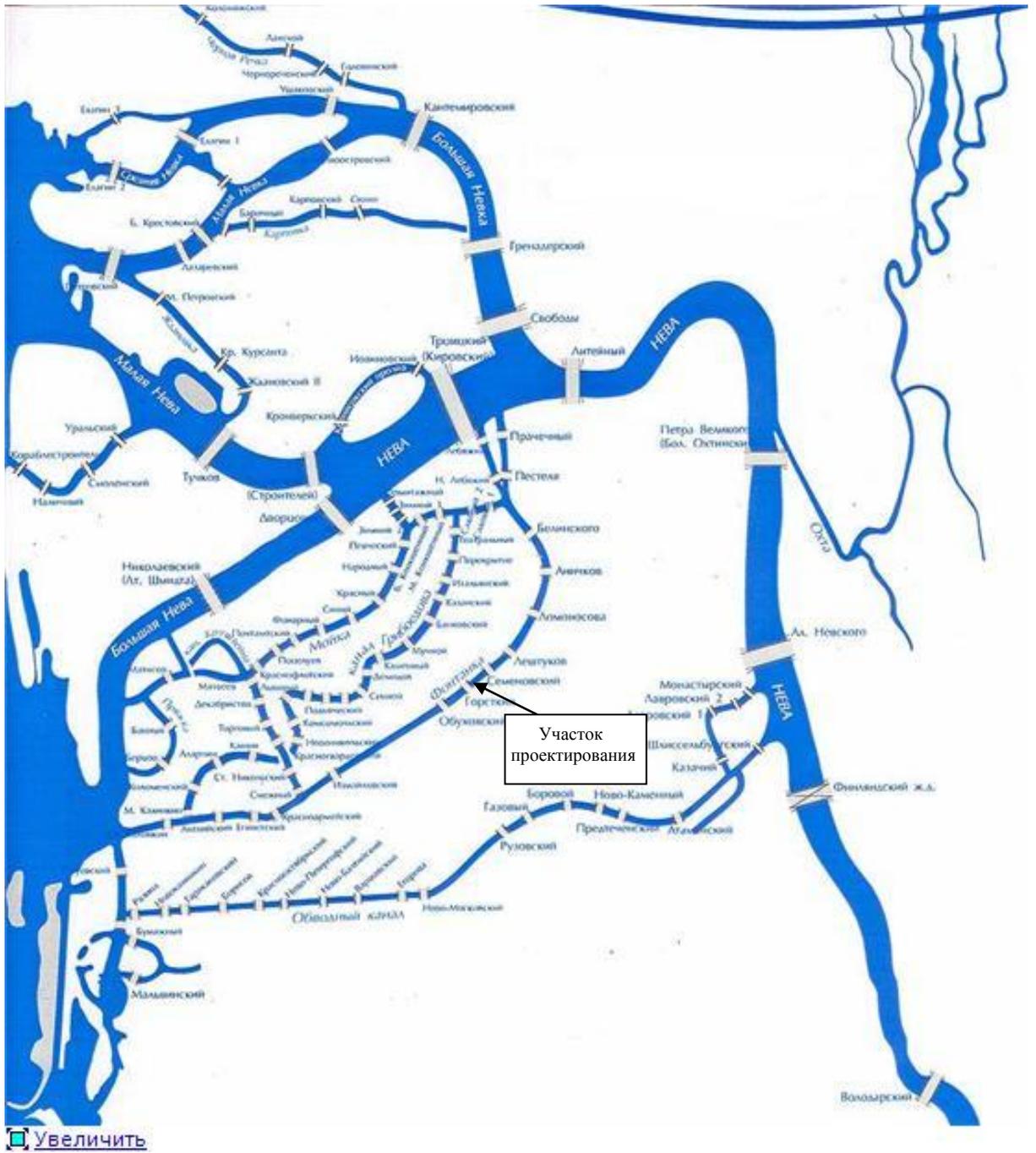


Рис. 1.1. Ситуационный план водной системы р. Фонтанки

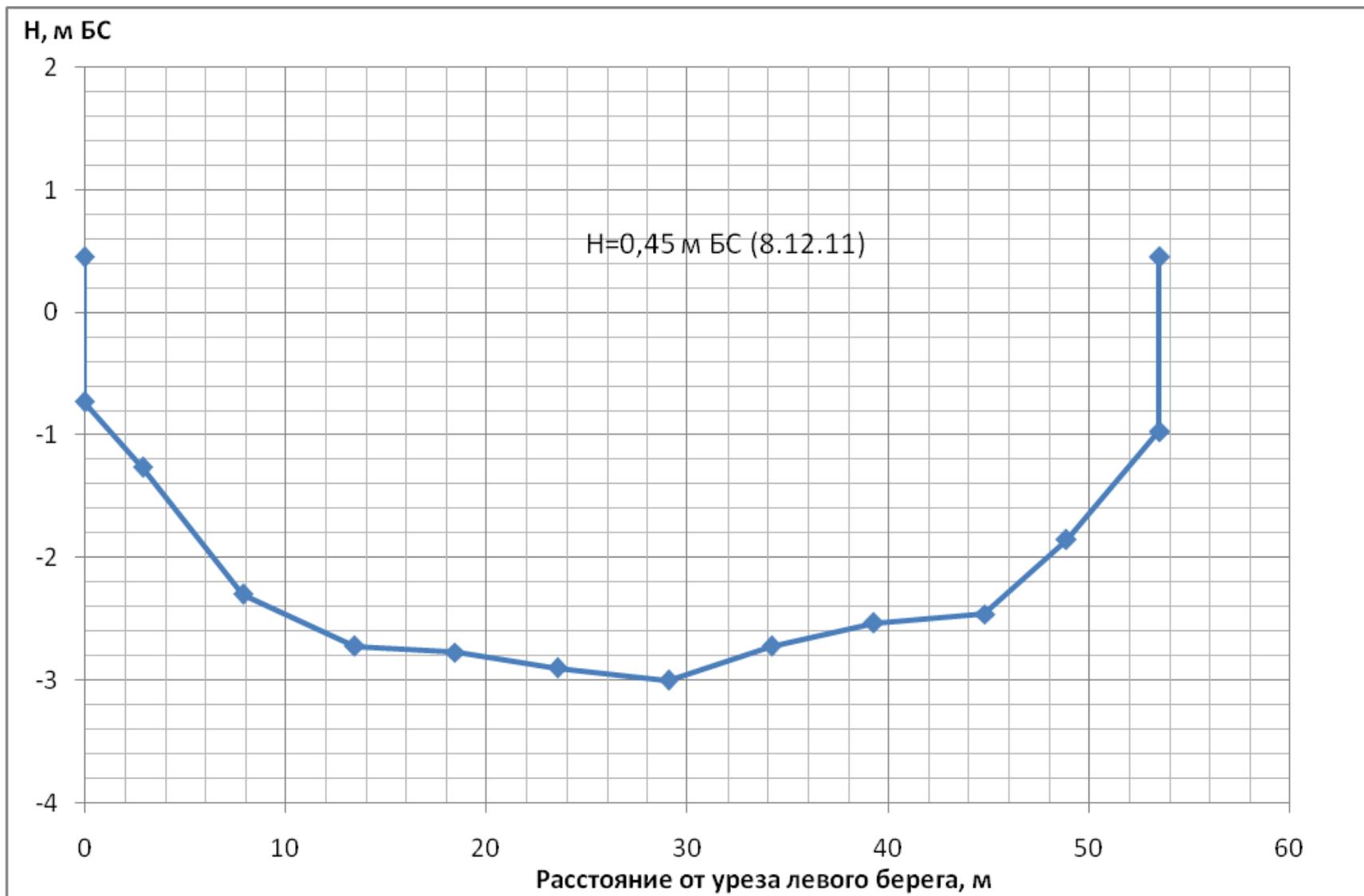


Рис. 1.2. Поперечный профиль русла р. Фонтанки в створе проектируемого мостового перехода

## 2. ИЗУЧЕННОСТЬ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

### 2.1. Геологические данные

Магистральные выводы МПС «Введенская» (Сенной, Апраксинский, Театральный). Пешеходный мост-теплопровод через р. Фонтанку в створе улицы Введенского канала. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях. ООО «ПетроБурСервис», Арх. №152, СПб, 2012 [1].

### 2.2. Метеорологические данные

СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000 г. [2].

Справочник по климату СССР. Вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области. Части II-V. ГИМИЗ, Л., 1966 г. [3].

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области. Л., Гидрометеиздат, 1988 г. [4].

### 2.3. Гидрологические данные

Гидрология устьевой области р. Невы. Под ред. С.С. Байдина, М., Гидрометеиздат, 1965, 383 с. [5].

Нежиховский Р.А. Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. Л., Гидрометеиздат, 1988, 224 с. [6].

### 2.4. Гидрологическая изученность

Река Фонтанка – один из рукавов Невской дельты, берёт своё начало на седьмом километре от устья р. Невы (в 400 м выше Троицкого моста). Вблизи истока р. Фонтанки (730 м от истока) ответвляется правый рукав – р. Мойка, которая в свою очередь даёт начало каналу Грибоедова (в 520 м) от истока р. Мойки.

Вблизи своего устья р. Большая Нева принимает воды р. Мойки (2,6 км от устья), р. Пряжки (2,1 км от устья) и р. Фонтанки (1,5 км от устья). Канал Грибоедова впадает в р. Фонтанку в 1,0 км от устья последней. Общая длина р. Фонтанки – 6,70 км, р. Мойки – 4,67 км, канала Грибоедова – 5,0 км.

Ширина р. Фонтанки: наименьшая 35 м, наибольшая 70 м; глубина на фарватере: наименьшая 2,6 м, наибольшая 3,5 м.

Через р. Фонтанку переброшено 15 мостов, в том числе Египетский, Измайловский, Обуховский и Аничков мосты.

Регулярные гидрологические наблюдения на р. Фонтанке не производились.

Гидрологические характеристики р. Фонтанки установлены по аналогии – с использованием результатов многолетних наблюдений за уровнями, температурой воды и ледовыми явлениями на гидрологических постах в Невской дельте (см. схему, рис 2.1 и табл. 2.1). При установлении характерных показателей уровня режима в качестве опорного гидрологического поста принят ГП Горный институт – р. Большая Нева.

Расходы воды р. Фонтанки в характерные фазы гидрологического режима определены методом математического моделирования по результатам измерений в гидрометрическом створе р. Нева – д. Новосаратовка.

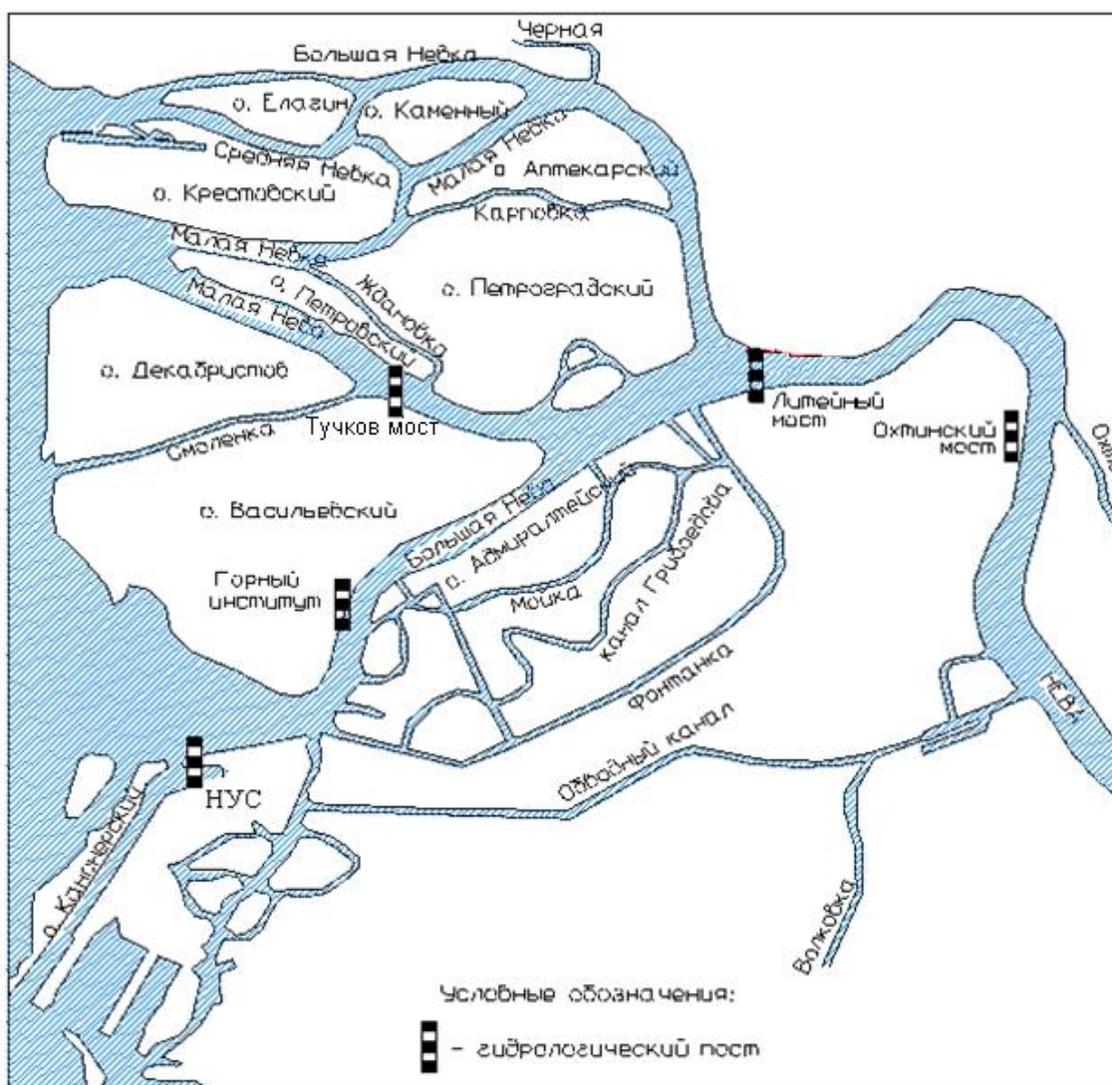


Рис. 2.1. Схема гидрологической изученности района проектирования

Таблица 2.1

## Список пунктов гидрологических наблюдений

№ п/п	Название поста (станции)	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия		Высота нуля графика, м БС	Период, за который имеются данные наблюдений за:					
				открыт	закрит		уровнем воды	температурой воды	стоком воды	ледовыми явлениями	химическим составом воды	
1	Невская устьевая станция (НУС)	0,0	-	1926 г.	действ.	-5,00*	1926					
2	р. Большая Нева – Горный институт	2,8	-	1877 г.	действ.	-5,00	1878-наст. время				1955-наст. время	
3	р. Нева – Литейный мост	7,8	281000	20.02. 1941	действ.	-5,00	1941-наст. время	1945-наст. время			1941-наст. время	
4	р. Нева – Охтинский мост	12,5	281000	1909 г.	31.12 1979 г.	-5,00	1935-1979				1909-1979	
5	р. Нева – Новосаратовка	27,0	281000	1859 г.	действ.	-5,00	1945-наст. время	1945-наст. время	1859-1941, 1943-наст. время		1944-наст. время	1946-1956, 1961- наст. время
6	р. Малая Нева – Тучков мост	4,0	-	1941	1976	-1,05	1941, 1943-1964, 1967-1975	1945-1964, 1967-1975	1958-1962 (эпизодически)		1941, 1943-1964, 1967-1975	-

\* С 1976 г. на постах введена единая отметка «0» постов, равная –5,00 м БС.

### 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

#### 3.1. Общие сведения

Полевые инженерно-геологические работы выполнялись специалистами ООО «ПетроБурСервис» [1] с 23 ноября по 2 декабря 2011 года.

Инженерно-геологические работы выполнены в строгом соответствии с действующими инструкциями и нормами: СНиП 11.02-96, СП 11-105-97 и ТСН 50-302-2004.

Для решения поставленных задач пробурено 4 скважины глубиной 35 м в акватории р. Фонтанки в створе ул. Введенский канал.

В процессе бурения производился отбор проб грунта ненарушенного сложения (монолитов) и проб нарушенного сложения.

Исследования физических свойств грунтов выполнялись в соответствии с ГОСТ 5180-84 и ГОСТ 12536-79.

#### 3.2. Геологическое строение дна р. Фонтанки

На основании геолого-литологического строения и физико-механических свойств грунтов, с учетом возраста, происхождения и номенклатурного вида по ГОСТ 25100-95, в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-96, в пределах глубины исследования (35 м) выделено 11 инженерно-геологических элемента.

##### ***Современные отложения ( $Q_{IV}$ )***

##### ***Аллювиальные грунты а IV***

Аллювиальные отложения представлены песчаными грунтами, залегающими со дна акватории не выдержанным по мощности слоем. В кровле отложений находится слой пылеватых песков, сильно заиленный представляющий современный донный осадок. Донные отложения подстилаются песками средней крупности резко не выдержанными по разрезу, мощность которых существенно возрастает по ходу движения от центральной части акватории к набережным.

Мощность толщи изменяется от 0,3 до 3,9 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 5,1 до минус 2,8 м, на глубинах 0,3-3,9 м.

**ИГЭ 2** Пески пылеватые темно-серого и зеленовато-серого цветов неоднородные сильнозаиленные рыхлые, реже средней плотности водонасыщенные. В слое песков встречается строительный мусор представленный проволокой, битым кирпичом, щепой и пр., а также растительные остатки и обломки раковин моллюсков.

Грунты встречены при проходке скважин №№2-4, залегают с поверхности дна относительно выдержанным по мощности слоем.

Мощность слоя изменяется от 0,3 до 0,5 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 3,2 до 1,5 м, на глубинах 0,3-0,5 м.

**ИГЭ 2а** Пески средней крупности коричневатого-серого и коричневатого-серого цветов неоднородные средней плотности водонасыщенные. В кровле слоя песков встречается строительный мусор, ракушка, растительные остатки, а также тонкие прослойки илов. В пределах рассматриваемой территории пески встречаются практически повсеместно, залегают с дневной поверхности или под слоем песка пылеватого ИГЭ-2. Мощность слоя изменяется от 0,3 до 3,6 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 5,1 до 2,8 м, на глубинах 0,8-3,9 м.

#### ***Озерно-морские отложения т, I IV***

Озерно-морские отложения, в пределах рассматриваемой площадки, встречаются повсеместно, залегают под аллювиальными грунтами относительно выдержанным по простирацию слоем.

**ИГЭ 2.1** Суглинки легкие пылеватые коричневатого-серого цвета тиксотропные текучие до текучепластичных. Грунты содержат немногочисленные тонкие прослойки песков пылеватых насыщенных водой мощностью до 2-5 см, а также органические остатки. Суглинки встречены при проходке всех скважин, залегают под аллювиальными песками, выдержанным по простирацию слоем.

Мощность слоя изменяется от 0,5 до 1,5 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 6,0 до минус 3,6 м, на глубинах 0,8-4,8 м

#### ***Верхнечетвертичные отложения (Q<sub>III</sub>)***

##### ***Озерно-ледниковые отложения Ig III***

Озерно-ледниковые отложения представлены слабыми ленточными грунтами, залегающими в средней части рассматриваемого разреза относительно выдержанным по мощности и простирацию слоем.

**ИГЭ 3а** Суглинки ленточные тяжелые пылеватые серовато-коричневого и коричневого цветов тиксотропные текучие. Грунты имеют ленточную структуру, представляющую собой ритмичное чередование тонких суглинистых и песчаных прослоев, мощность которых редко превышает 1,0-1,5 см, нередко с глубиной песчаные прослои замещаются супесчаными.

Мощность слоя изменяется от 3,5 до 5,3 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 11,3 до минус 7,6 м, на глубинах 5,7-10,1 м.

**ИГЭ 3б** Суглинки неяснослоистые легкие пылеватые коричнево-серого и светло-серого цветов тиксотропные текучепластичные. Грунты содержат в своем составе единичные зерна гравия, а также не многочисленные прослойки и гнезда пылеватого песка насыщенного водой. Суглинки залегают в подошве озерно-ледниковой толщи в пределах участка работ, выдержанны по мощности и простирацию.

Мощность слоя изменяется от 0,3 до 2,9 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 13,2 до минус 9,4 м, на глубинах 6,7-12,0 м.

### ***Ледниковые отложения g III***

Ледниковые отложения залегают в средней части рассматриваемого разреза на грунтах озерно-ледникового генезиса средне-четвертичного возраста. Отложения залегают субгоризонтально относительно выдержанным по мощности и простирацию слоем и представлены суглинистыми и, в меньшей степени, супесчаными грунтами, содержащими в своем составе значительное количество крупнообломочного материала и характеризующихся высокими значениями прочностных и деформационных показателей. Грунты вскрыты при проходке всех выработок и пройдены на полную мощность.

Мощность толщи изменяется от 8,1 до 12,7 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 22,8 до минус 20,8 м, на глубинах 18,1-21,5 м.

**ИГЭ 4а** Суглинки легкие пылеватые темно-серого цвета тугопластичные, реже мягкопластичные. Крупнообломочные включения представлены гравием и галькой кристаллических пород составляющих до 10% от объема грунта. Суглинки содержат отдельные прослои и гнезда песков мелких, реже пылеватых неоднородных водонасыщенных мощностью 5-10 см. Грунты характеризуются неоднородностью сложения, плавным переходом к супесям ИГЭ-4б и ИГЭ-4в от которых отличаются, преимущественно, по лабораторным данным.

Мощность слоя изменяется от 0,5 до 9,8 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 22,8 до минус 10,8 м, на глубинах 8,1-21,5 м.

**ИГЭ 4б** Супеси песчанистые коричнево-серого и коричневого цвета пластичные. Крупнообломочные включения представлены гравием и галькой составляющих до 15 % от объема грунта, а также единичные валуны кристаллических пород. Супеси содержат мелкие прослойки и гнезда песков разнозернистых неоднородных водонасыщенных мощностью до 20 см. Супеси встречены при проходке скважин №№ 2, 3, 4, залегают в виде слоя небольшой мощности в кровле моренной толщи, а также в виде мелких линз в толще суглинков ИГЭ-4а.

Мощность слоя изменяется от 0,5 до 2,9 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 19,1 до минус 9,9 м, на глубинах 7,2-16,4 м.

**ИГЭ 4в** Супеси песчанистые коричнево-серого и коричневого цвета твердые. Крупнообломочные включения представлены гравием и галькой составляющих до 15 % от объема грунта, а также единичные валуны кристаллических пород. Супеси содержат мелкие прослойки и гнезда песков разнозернистых неоднородных водонасыщенных мощностью до 20 см. Грунты встречены при проходке скважин №№ 2, 4, залегают в виде линзообразных тел в кровле ледниковой толщи, в обоих случаях пройдены на полную мощность.

Мощность слоя изменяется от 1,0 до 2,3 м, положение подошвы зафиксировано на абсолютных отметках от минус 13,1 до минус 13,0 м, на глубинах 11,7-10,4 м.

### ***Среднечетвертичные отложения (Q<sub>II</sub>)***

#### ***Озерно-ледниковые отложения Ig II***

В пределах рассматриваемого участка озерно-ледниковые отложения встречаются в мощной толще, залегающей на коренных Котлинских глинах. Среди описываемых грунтов преобладают пески пылеватые плотные, залегающие в основании толщи, а также суглинки тиксотропными. Отложения вскрыты всеми буровыми скважинами и пройдены на полную мощность.

Мощность толщи изменяется от 10,2 до 13,1 м, положение кровли зафиксировано на абсолютных отметках от минус 33,9 до минус 31,5 м, на глубинах 30,3-32,6 м.

**ИГЭ 5а** Суглинки легкие пылеватые серо-зеленого цвета тиксотропные текучепластичные. Крупнообломочные включения представлены единичными зернами гравия. Суглинки содержат прослойки песков пылеватых водонасыщенных мощностью 5-10 см. В пре-

делах рассматриваемой площадки грунты вскрыты в кровле озерно-ледниковой толщи, залегают выдержанным в плане слоем.

Мощность слоя изменяется от 2,8 до 9,6 м, положение кровли зафиксировано на абсолютных отметках от минус 32,4 до минус 23,8 м, на глубинах 21,1-31,1 м.

**ИГЭ 5б** Пески пылеватые коричневатого-серого и серого цветов неоднородные плотные водонасыщенные. В слое песков изредка встречается хорошо окатанный гравий. Пески содержат подземные воды, обладающие существенным напором, величина которого может достигать 32,5 м. В пределах рассматриваемой территории пески вскрыты при бурении скважин всех скважин и залегают в подошве озерно-ледниковой толщи.

Мощность слоя изменяется от 1,5 до 10,1 м, положение кровли зафиксировано на абсолютных отметках от минус 33,9 до минус 31,5 м, на глубинах 30,3-32,6 м.

#### ***Вендские отложения. Котлинский горизонт Vkt<sub>2</sub>***

Вендские отложения залегают в основании рассматриваемого разреза, под среднечетвертичными отложениями, и представлены суглинками твердыми. Кровля глин неровная имеет сложную форму и вскрыта всеми буровыми скважинами.

**ИГЭ 6** Суглинки тяжелые пылеватые голубовато-серого цвета твердые. В грунтах содержатся тонкие прослойки песчаника, которые нередко сильно деформированы или раздроблены до состояния дресвы. Кроме того, в кровле толщи находится дислоцированная зона, испытывавшая на себе механическое воздействие ледникового покрова. Мощность дислоцированной зоны превышает 4,0 м и буровыми скважинами она на полную мощность не пройдена.

Вскрытая мощность слоя изменяется от 2,4 до 4,0 м, положение кровли зафиксировано на абсолютных отметках от минус 33,9 до минус 31,5 м, на глубинах 30,3-32,6 м.

### **3.3. Физико-механическая характеристика донных грунтов**

В табл. 3.1 представлены результаты определений гранулометрического состава донных грунтов р. Фонтанки в створе проектируемого мостового перехода. В табл. 3.2 приведены нормативные и расчетные значения физико-механических характеристик грунтов.

Таблица 3.1

Гранулометрический состав грунтов по створу проектируемого  
мостового перехода

Содержание частиц (%) по фракциям (мм)										
Галька, щебень	Гравий, дресва		Пески				Пыль			Глина
	>10	10-5	5-2	2-1	1- 0,5	0,5- 0,25	0,25- 0,1	0,1- 0,05	0,05- 0,01	
<b>Современные отложения – (Q<sub>IV</sub>)</b>										
<b>Аллювиальные отложения – а IV</b>										
<i>ИГЭ-2 Пески пылеватые</i>										
0	0	1	5	12	19	23	22	13	4	1
<i>ИГЭ-2а Пески средней крупности</i>										
0	0	3	10	18	37	21	7	3	1	0
<b>Озерно-морские отложения т, I IV</b>										
<i>ИГЭ-2.1 Суглинки</i>										
0	0	0	0	2	2	6	20	33	24	13
<b>Верхнечетвертичные отложения – (Q<sub>III</sub>)</b>										
<b>Озерно-ледниковые отложения Ig III</b>										
<i>ИГЭ-3а Суглинки ленточные</i>										
0	0	0	0	0	0	2	7	23	40	28
<i>ИГЭ-3б Суглинки неяснослоистые</i>										
0	0	0	0	0	1	3	8	24	41	23
<b>Ледниковые отложения g III</b>										
<i>ИГЭ-4а Суглинки</i>										
0	0	0	2	3	4	5	15	29	30	12
<i>ИГЭ-4б Супеси</i>										
0	2	5	9	6	9	11	16	18	15	9
<i>ИГЭ-4в Супеси</i>										
2	4	6	8	8	9	12	14	17	12	8
<b>Среднечетвертичные отложения (Q<sub>II</sub>)</b>										
<b>Озерно-ледниковые отложения Ig II</b>										
<i>ИГЭ-5а Суглинки</i>										
0	0	0	0	0	1	3	12	33	33	18
<i>ИГЭ-5б Пески пылеватые</i>										
0	0	0	1	2	6	44	30	10	5	2
<b>Вендские отложения</b>										
<b>Котлинский горизонт Vkt<sub>2</sub></b>										
<i>ИГЭ-6 Суглинки</i>										
0	0	0	0	1	2	3	10	23	33	28

Таблица 3.2

## Нормативные и расчетные показатели физико-механических свойств донных грунтов

Наименование грунта по ГОСТ 25100-95	Геологический индекс	Номер ИГЭ	Плотность $\frac{g}{cm^3}$ расчетная $\alpha=0,95$	Естественная влажность W	Число пластичности	Кэфф. пористости	Показатель текучести связного грунта, IL	Модуль деформации (расчетный) (МПа)	Нормативные		Расчетные			
									Угол внутренн его трения град	Удельное сцепление (КПа)	$\alpha=0.85$		$\alpha=0.95$	
											Угол внут- ренного трения град.	Удельное сцеплени е (КПа)	Угол внутр. Трения град.	Удельное сцепление (КПа)
Пески пылеватые рыхлые	a IV	2	$\frac{1,40}{1,38}$	-	-	0,85	-	10	25	2	23	1	21	1
Пески средней крупности средней плотности	a IV	2а	$\frac{1,78}{1,76}$	-	-	0,65	-	25	34	1	31	1	28	-
Суглинки легкие пылеватые текучие	Im IV	2.1	$\frac{1,96}{1,94}$	0,285	0,09	0,77	1,11	6,5	11	12	9	9	7	7
Суглинки ленточные тяжелые пылеватые текучие	lg III	3а	$\frac{1,83}{1,81}$	0,400	0,14	1,09	1,19	4,5	8	8	7	6	5	4
Суглинки неяснослоистые легкие пылеватые текучепластичные	lg III	3б	$\frac{1,95}{1,93}$	0,298	0,11	0,81	0,89	7	14	11	12	9	10	6
Суглинки легкие песчаные тугопластичные	g III	4а	$\frac{2,09}{2,07}$	0,209	0,08	0,57	0,49	11	22	22	20	20	18	18
Супеси песчаные пластичные	g III	4б	$\frac{2,21}{2,19}$	0,142	0,05	0,38	0,61	14	24	19	22	16	20	14
Супеси песчаные твердые	g III	4в	$\frac{2,32}{2,30}$	0,101	0,04	0,27	-0,14	19	29	38	27	34	25	30
Суглинки легкие пылеватые текучепластичные	lg II	5а	$\frac{1,93}{1,91}$	0,306	0,10	0,83	0,93	9	15	12	13	9	11	7

Продолжение табл. 3.2. Нормативные и расчетные показатели физико-механических свойств донных грунтов

Наименование грунта по ГОСТ 25100-95	Геологический индекс	Номер ИГЭ	Плотность $\frac{g}{cm^3}$ расчетная $\alpha=0,95$	Естественная влажность W	Число пластичности	Кэфф. пористости	Показатель текучести связного грунта, ПЛ	Модуль деформации (расчетный) (МПа)	Нормативные		Расчетные			
									Угол внутренн его трения град	Удельное сцепление (КПа)	$\alpha=0.85$		$\alpha=0.95$	
											Угол внут- ренного трения град.	Удельное сцеплени е (КПа)	Угол внутр. Трения град.	Удельное сцепление (КПа)
Пески пылеватые плотные	lg II	56	$\frac{1,86}{1,84}$	-	-	0,55	-	28	34	5	31	3	28	2
Суглинки легкие пылеватые твердые	Vkt <sub>2</sub>	6	$\frac{2,15}{2,13}$	0,188	0,14	0,52	-0,26	21	22	55	20	47	18	41

## 4. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 4.1. Общие сведения

Территория относится к атлантико-континентальной климатической области умеренного пояса. Главное значение в формировании климата здесь принадлежит воздействию морских и континентальных воздушных масс, арктическим вторжениям и интенсивной циклонической деятельности. Активная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс определяют неустойчивый режим погоды во все сезоны года и являются причиной формирования климата с хорошо выраженными морскими чертами: мягкой зимой, прохладным летом, достаточным увлажнением и сравнительно частым выпадением осадков.

**Зима** длится в среднем 3,5 месяца и характеризуется частыми оттепелями, особенно в первой ее половине. В декабре в среднем отмечается до 12 дней с оттепелью, в это время преобладает пасмурная и ветреная погода, с частыми осадками в виде мокрого снега. В середине декабря отмечается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через  $-5^{\circ}$  и образование устойчивого снежного покрова. Наибольший за зиму запас воды в снеге в среднем составляет 70-80 мм.

В январе западные теплые потоки ослабевают, и число дней с оттепелью уменьшается до 7-8 дней в месяц, однако в мягкие зимы оттепель может длиться непрерывно более месяца.

Осадки за период с декабря по март составляют в среднем около 140 мм или 22% от годовой суммы. Они носят в основном обложной характер и выпадают 17-20 дней в месяц в виде снега, дождя, мокрого снега. Из-за частых оттепелей мощного снежного покрова не образуется. Максимальных значений (25-30 см на открытых участках) высота снежного покрова достигает в марте.

**Весна** носит затяжной характер. Таяние снега наступает в середине марта, и к 12 апреля устойчивый снежный покров, как правило, сходит. В отдельные годы снежный покров появляется вновь,

поэтому даты его окончательного схода колеблются от первой декады марта до начала мая. Переход средней суточной температуры через  $0^{\circ}$  к положительным значениям осуществляется в среднем 3-4 апреля. Повышение температуры воздуха от  $0^{\circ}$  до  $10^{\circ}$  происходит в среднем за 45 дней. Заморозки возможны до конца мая. Внутрисуточные колебания температуры воздуха в отдельные дни может достигать  $18-20^{\circ}$ .

**Лето** умеренно теплое и длится обычно от начала июня до конца первой декады сентября. Летние месяцы характеризуются большой продолжительностью солнечного сияния: 280-300 часов в июне, 200-240 часов в августе. Период со средними суточными температурами воздуха выше  $15^{\circ}$  длится обычно около 65 дней (в среднем с 19 июня по 24 августа). Скорость ветра летом наименьшая в году, на скорости ветра до 5 м/с приходится около 80% случаев. Осадков выпадает больше, чем в другие сезоны, на период с июня по август приходится 34% годовой суммы. Продолжительность осадков составляет в среднем 52 часа в месяц. Максимальное количество осадков выпадает в августе. В основном осадки носят ливневой характер и иногда сопровождаются грозами.

**Осень** наступает около середины сентября с началом заморозков на поверхности почвы и характеризуется общим ухудшением погоды (понижением температуры, повышением влажности, увеличением облачности). Продолжительность осадков в октябре-ноябре увеличивается по сравнению с летом в 2 раза, возрастая до 147 часов в ноябре. Переход средней суточной температуры воздуха через  $10^{\circ}$  происходит 21 сентября, через  $5^{\circ}$  – 19 октября, через  $0^{\circ}$  – 15 ноября. Появление снежного покрова возможно уже в середине октября.

Климатические сведения о районе проектирования приведены по материалам многолетних наблюдений на следующих ближайших метеостанциях: Невская устьевая станция (НУС), Информационный Центр погоды (ИЦП) [2-4].

Климатические параметры холодного и теплого периодов года по ИЦП приведены в табл. 4.1, 4.2.

Таблица 4.1

Климатические параметры холодного периода года по  
метеостанции ИЦП

Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,94	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С
0,98	0,92	0,98	0,92		
-33	-30	-30	-26	-13	-36

Продолжение таблицы 4.1

Ср. сут. амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха					
	≤ 0°		≤ 8°		≤ 10°	
	продолжитель- н.	ср. темп.	продолжитель- н.	ср. темп.	продолжитель- н.	ср. темп.
5,6	139	-5,1	220	-1,8	239	-0,9

Продолжение таблицы 4.1

Ср. мес. отн. влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Ср. мес. отн. влажность воздуха в 15 ч. наиб. холодного месяца, %.	Кол-во осадков за ноябрь-март, мм	Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	Макс. из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха <8°С
86	83	200	ЮЗ	4,2	2,8

Таблица 4.2

**Климатические параметры теплого периода года по метеостанции ИЦП**

Барометрическое давление, гПа	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С
1010	20,5	24,6	22	34	8,2

Продолжение таблицы 4.2

Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	Количество осадков за апрель-октябрь, мм	Суточный максимум осадков, мм	Преобладающее направление ветра за июнь-август	Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с
72	60	420	76	3	0

### 4.2. Температура воздуха

Температура воздуха достигает максимума в июле, а минимум приходится на февраль. В табл. 4.3 приведены нормы среднемесячных и среднегодовых температур воздуха.

Таблица 4.3

**Годовой ход температуры воздуха, °С**

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ИЦП	-7,7	-7,9	-4,2	3,0	9,6	14,8	17,8	16,0	10,8	4,8	-0,5	-5,1	4,3

### 4.3. Атмосферное давление

Наибольшие значения среднего месячного давления отмечаются в феврале, марте и мае, причём наивысшие значения наблюдаются в мае. Наименьшие значения среднего месячного давления приурочены к июлю, сентябрю и декабрю.

Среднемесячные значения атмосферного давления представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Ежемесячные значения атмосферного давления, гПа

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ИЦП	1013,1	1015,3	1014,8	1013,2	1015,4	1012	1010,8	1011,9	1011,7	1012,8	1012,3	1011,2	1012,9

**4.4. Влажность воздуха**

Средняя годовая относительная влажность воздуха составляет 78 %.

Минимальные значения средней месячной относительной влажности воздуха отмечаются в мае-июне, а максимальные – в ноябре-декабре.

В табл. 4.5 приведены среднемесячные значения относительной влажности воздуха.

Таблица 4.5

Годовой ход относительной влажности воздуха, %

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ИЦП	86	84	78	73	66	68	71	77	81	84	87	88	78

**4.5. Атмосферные явления и осадки**

Сведения об атмосферных явлениях, наблюдаемых в районе проектирования, и их продолжительность, приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Число дней с атмосферными явлениями (среднее/максимальное) по метеостанции НУС

Явления	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
туман	$\frac{4}{10}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{0,8}{6}$	$\frac{0,9}{5}$	$\frac{2}{6}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{5}{11}$	$\frac{39}{57}$
метель	$\frac{7}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{0,8}{6}$						$\frac{0,2}{3}$	$\frac{2}{6}$	$\frac{5}{14}$	$\frac{26}{45}$
гроза			$\frac{0,03}{1}$	$\frac{0,5}{3}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{11}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{7}$	0,8 3	$\frac{0,1}{1}$			$\frac{13}{24}$
град				$\frac{0,03}{1}$	$\frac{0,3}{2}$	$\frac{0,7}{3}$	$\frac{0,3}{2}$	$\frac{0,1}{1}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,2}{1}$			$\frac{1,9}{7}$

Наибольшее количество осадков отмечается в летний период (июль-сентябрь), иногда выделяется второй дождливый период – в октябре-ноябре.

Наименьшее количество осадков выпадает в зимний период (февраль-март).

Наиболее часто годовой максимум месячных сумм осадков приходится на август, а минимум – на март (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Среднемесячные слои осадков, мм/мес

Метеостанция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ИЦП	38	35	32	38	46	62	68	82	66	58	51	44	620

#### 4.6. Скорость и направление ветра

Представленные в данном разделе характеристики ветрового режима получены по результатам обработки материалов наблюдений на метеостанции Невская устьевая (НУС).

Сведения о сезонном ходе среднемесячной скорости ветра и повторяемости направлений ветра и штилей в районе проектирования представлены в табл. 4.8, 4.9.

Таблица 4.8

Годовой ход модуля средней скорости ветра (высота флюгера 17 м), м/с

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
НУС	4,7	4,4	4,1	3,9	4,1	4,3	3,9	3,7	4,1	4,6	4,7	4,6	4,3

Таблица 4.9

Повторяемость направления ветра и штилей, %

Направление	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
С	3	3	5	4	6	6	5	5	7	7	3	3	5
СВ	8	8	10	10	19	11	15	12	7	5	4	5	9
В	10	11	12	9	11	7	12	11	6	8	10	11	10
ЮВ	20	20	13	15	9	10	10	13	13	13	22	21	15
Ю	14	14	11	13	7	8	8	10	15	15	20	17	13
ЮЗ	17	14	14	14	9	12	13	17	20	22	21	19	16
З	16	20	23	23	24	28	23	19	18	14	10	12	19
СЗ	12	10	12	12	15	18	14	13	14	16	10	12	13
Штиль	7	8	11	12	9	7	8	11	10	7	5	7	8

Розы ветров за год и навигационный период представлены на рис. 4.1.

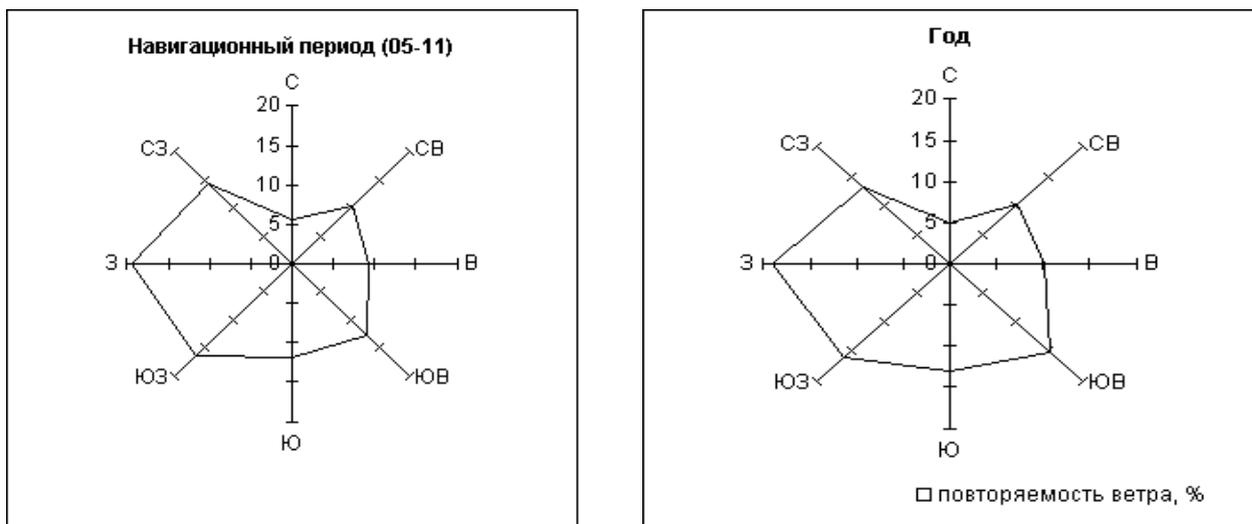


Рис. 4.1. Розы ветров за год и навигационный период

Сведения о наибольших скоростях ветра редкой повторяемости представлены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Наибольшие скорости ветра редкой повторяемости, м/с (НУС)

Повторяемость	Скорость ветра, м/с
1 раз в 1 год	20
1 раз в 5 лет	23
1 раз в 10 лет	24
1 раз в 20 лет	26
1 раз в 25 лет	27
1 раз в 50 лет	28

## 5. ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 5.1. Гидрография дельты р. Невы

В нижнем течении р. Нева образует дельту, которая включает 42 острова и 45 рек и каналов (см. рис. 5.1). На островах Невской дельты расположена наиболее старая часть города с плотной застройкой. В юго-западной части дельты находится Морской торговый порт.

Границей дельты с севера служит р. Большая Невка, с юга – Обводный канал и с юго-запада – р. Екатерингофка и Угольный мол. Со стороны моря граница дельты представляет собой ломаную линию, проходящую по западной оконечности островов дельты (рис. 5.2). Длина дельты в указанных границах 15,1 км, общая площадь 83 км<sup>2</sup>, из них около 20 км<sup>2</sup> приходится на водную поверхность [5, 6].

Самые крупные острова дельты – Васильевский (площадь 1090 га), Петроградский (620 га), Декабристов (380 га), Крестовский (375 га), Аптекарский (180 га), Петровский (120 га); самые большие рукава – Большая Нева, Малая Нева, Большая Невка, Средняя Невка, Малая Невка, Фонтанка, Мойка, канал Грибоедова, Обводный канал, Екатерингофка, Морской канал.

Многочисленные рукава и каналы Невской дельты принято делить на пять водных систем, а именно:

- система р. Невы и Обводного канала (7 водотоков);
- система Большой Невы и Малой Невы (5 водотоков);
- система Большой Невки (11 водотоков);
- система р. Фонтанки (12 водотоков);
- система р. Екатерингофки и Морского канала (10 водотоков).

Острова невской дельты низкие, плоские и при значительных подъемах воды нередко затопляются. Большая часть их поверхности находится на отметках 2,0-3,0 м БС. Самая высокая точка Васильевского острова имеет отметку 3,8 м БС, Петроградского – 3,4 м БС. Высшие точки прочих островов не достигают отметки 3,0 м БС (исключая небольшие искусственные возвышенности) [6].

Воды р. Невы вливаются в Невскую губу четырьмя мощными потоками:

- Большая Невка и Средняя Невка; их продолжением служит Елагинский фарватер;



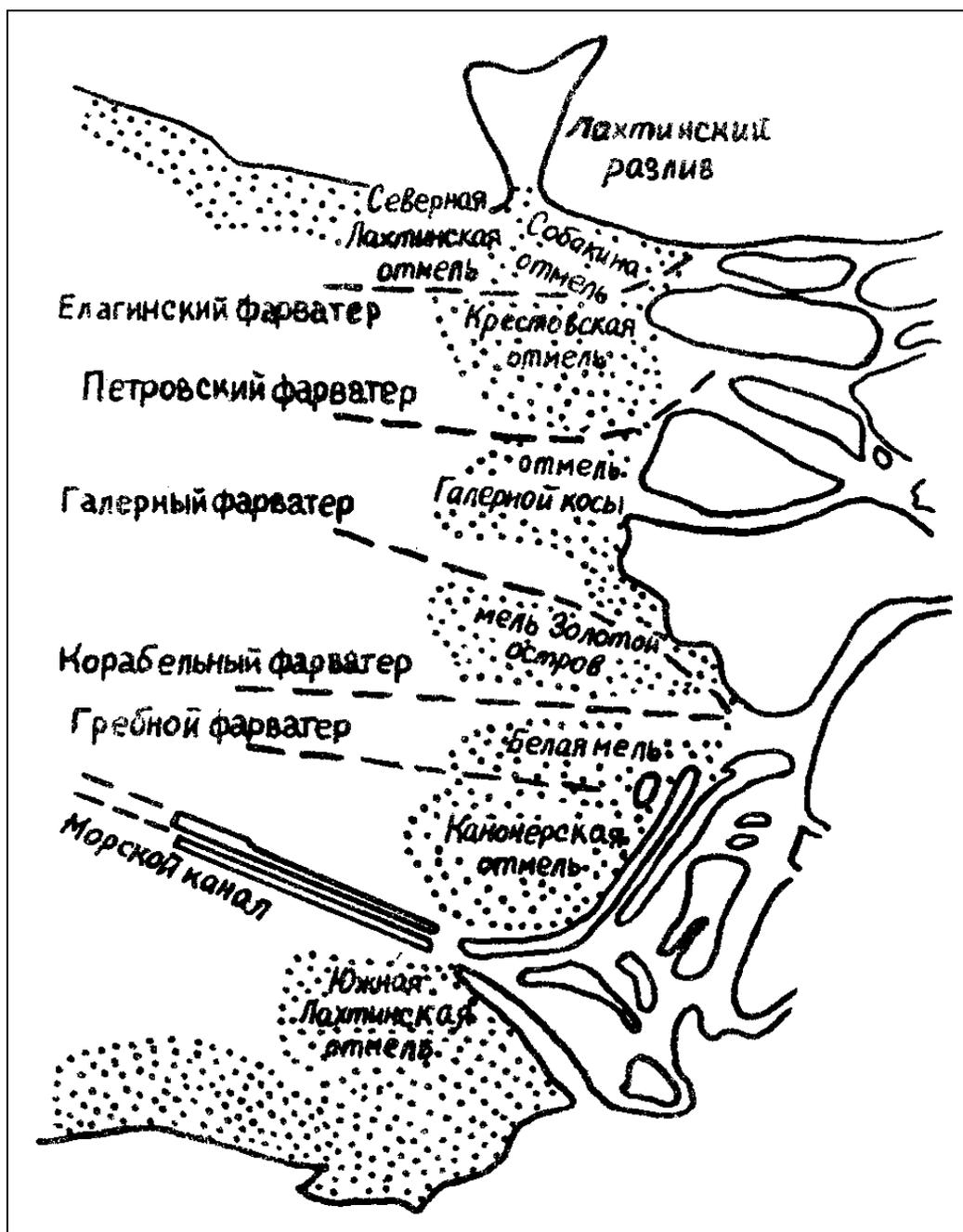


Рис. 5.2. Невское взморье

### 5.2. Общие сведения о водных объектах системы р. Фонтанки

Малые водотоки центральной части Санкт-Петербурга: рр. Фонтанка, Мойка, кан. Грибоедова, - относятся к системе самой полноводной из них – р. Фонтанки, берущей начало на седьмом километре от устья р. Большой Невы (в 400 м выше Троицкого моста).

Вблизи истока (730 м от истока) от Фонтанки ответвляется правый рукав – р. Мойка, которая в свою очередь дает начало каналу Грибоедова (в 520 м) от истока р. Мойки.

Вблизи своего устья р. Большая Нева принимает воды р. Мойки (2,6 км от устья), р. Пряжки (2,1 км от устья) и р. Фонтанки (1,5 км от устья). Канал Грибоедова впадает в р. Фонтанку в 1,0 км от устья последней. Общая длина р. Фонтанки – 6,70 км, р. Мойки – 4,67 км, канала Грибоедова – 5,0 км.

В табл. 5.1 приведены основные морфометрические характеристики рассматриваемых водотоков.

Таблица 5.1

Основные морфометрические характеристики

Название водотока	Длина, км	Ширина, м		Глубина на фарватере, м	
		Наименьшая	Наибольшая	Наименьшая	Наибольшая
Фонтанка	6,70	35	70	2,6	3,5
Мойка	4,67	20	40	2,1	3,2
Грибоедова	5,00	10	32	1,5	3,2

Все три водотока судоходны, прежде всего, для прогулочных катеров. Преимущественно рекреационный характер судоходства на этих реках и канале объясняется относительно малыми глубинами, наличием многочисленных мостов, ограничивающих высоту палубной надстройки. Эти три водотока давно уже стали неотъемлемым архитектурным элементом наиболее привлекательной для туристов исторически значимой части Санкт-Петербурга. Наилучшие условия судоходства – на р. Фонтанке.

### 5.3. Режим уровней воды

#### 5.3.1. Режим уровней воды Невской губы и р. Невы

Режим уровней р. Невы весьма своеобразный и сложный. Речной сток, нагоны и сгоны, сейши и длинные волны в Финском заливе, заторы и зажоры льда – все эти факторы уровня режима по-разному сочетаются во времени и по длине реки [5, 6].

В истоке Невы в период, свободный ото льда, расход воды в реке следует за уровнем Ладожского озера. С повышением уровня озера увеличивается расход, и наоборот. Иными словами, в верховье реки влияние озера является преобладающим. По мере про-

движения вниз по реке влияние Ладоги постепенно ослабевает. В пределах дельты, где суммарная площадь поперечного сечения рукавов в 7-10 раз больше, чем в р. Неве до разветвления, а уклоны водной поверхности невелики, уровень в меньшей степени зависит от речного расхода. Наглядное представление о том, как уменьшается размах колебания уровня за счет расхода дает рис. 5.3. Если в верхней части реки преобладает влияние Ладожского озера, то в нижней части доминирует влияние Финского залива.

На рис. 5.3, в частности, прослеживается, что  $2/5$  всего падения между Ладогой и Финским заливом приходится на два небольших участка реки (исток, Ивановские пороги), суммарной протяженностью 12 км.

Нижняя половина реки (от устья до Ивановских порогов) замерзает путем последовательного перемещения кромки ледяного покрова снизу вверх по течению. Это сопровождается образованием зажоров льда (в особенности в многоводные годы) с подъемом уровня до 3,0-3,3 м, скачками уровня при подвижках и пр. Весной при вскрытии иногда возникают заторы льда. Причем заторы, которые образуются вблизи истока, приводят к резкому уменьшению расхода воды и падению уровней по всей реке. Напротив, заторы в нижней половине реки создают подъем уровня почти по всей реке выше места затора.

Своеобразие зимнего режима р. Невы состоит в том, что, с одной стороны, при появлении ледяного покрова в Шлиссельбургской губе сокращается расход воды и понижаются уровни по всей реке. С другой стороны, благодаря стеснению самого русла р. Невы ледяным покровом, уровни несколько повышаются.

Самое большое воздействие на поверхность Финского залива оказывает ветер. В зависимости от скорости, направления и продолжительности ветра, траектории перемещения циклона и пр. в Финском заливе и вообще на Балтике формируется или длинная волна, или нагон – сгон, или сейша, или наконец, все вместе взятое. Длинная волна – своего рода водяной холм, или вал небольшой высоты и чрезвычайно большой длины, который перемещается в направлении движения породившего его циклона. Нагон и сгон создаются влекущим усилием ветрового потока на плоскости раздела вода – воздух, причем у наветренного берега уровень повышается, а у подветренного – падает. После прекращения действия ветра водные массы Финского залива, стремясь прийти в равновесное поло-

жение, совершают постепенные затухающие сейшеобразные колебательные движения около одного или нескольких центров (узлов).

Водная поверхность Финского залива никогда не бывает горизонтальной, чаще всего из-за ветровых нагонов и сгонов. Вот почему всякий подъем воды в Невской губе и в дельте р. Невы, вызванный ветром (независимо от формы денивеляции), принято сокращенно называть нагоном, а всякий спад – сгоном. В особую группу следует выделить случаи очень больших нагонов и сгонов, на которых здесь остановимся специально.

По современным представлениям процесс возникновения очень большого нагона воды в устье р. Невы рисуется следующим образом. Пересекающие Балтийское море циклоны выводят из равновесия его водные массы. В частности, они формируют длинную волну. Высота такой волны невелика (в центральных районах моря не более 30-40 см), но ее длина сравнима с длиной всего моря. Созданию длинной волны способствует как статический эффект (пониженное атмосферное давление в центре циклона), так и динамический эффект (дующие к центру циклона ветры). Особое значение в формировании наводнения имеют те циклоны, которые пересекают Балтику с юго-запада на северо-восток, т. е. в том направлении, в котором вытянуто само море. В подобном случае циклон увлекает длинную волну к горлу Финского залива. Самая благоприятная ситуация, - когда имеется система из основного, или выводящего, циклона и движущегося по его южной периферии углубляющегося частного циклона. При этом в горле залива возникает четко выраженная вспученность за счет воды, согнанной сюда из открытых районов Балтики, и отчасти за счет воды из центральных районов Финского залива (поскольку над заливом в это время дуют восточные ветры).

Первоначально высота длинной волны в горле Финского залива обычно 30-50 см, скорость распространения ее гребня 40-60 км/ч. При продвижении по широкой и глубокой части залива высота и скорость волны мало меняются. С подходом же к вершине залива высота волны возрастает, так как залив делается уже и мельче, а форма волны усложняется из-за неровностей берегов и дна. Обычно на участке Таллин – Санкт-Петербург высота свободной длинной волны без ветра возрастает в 2,5 раза, на участке Усть-Нарва – Санкт-Петербург в 1,5 раза и т. д. Длинная волна пробегает залив за 7-9 ч. Если в течение этого времени нет ветра или ветер очень сла-

бый, то волна распространяется только лишь под действием сил и тяжести, т. е. в виде свободной длинной волны, за счет которой в устье Невы возможен подъем до 200-250 см.

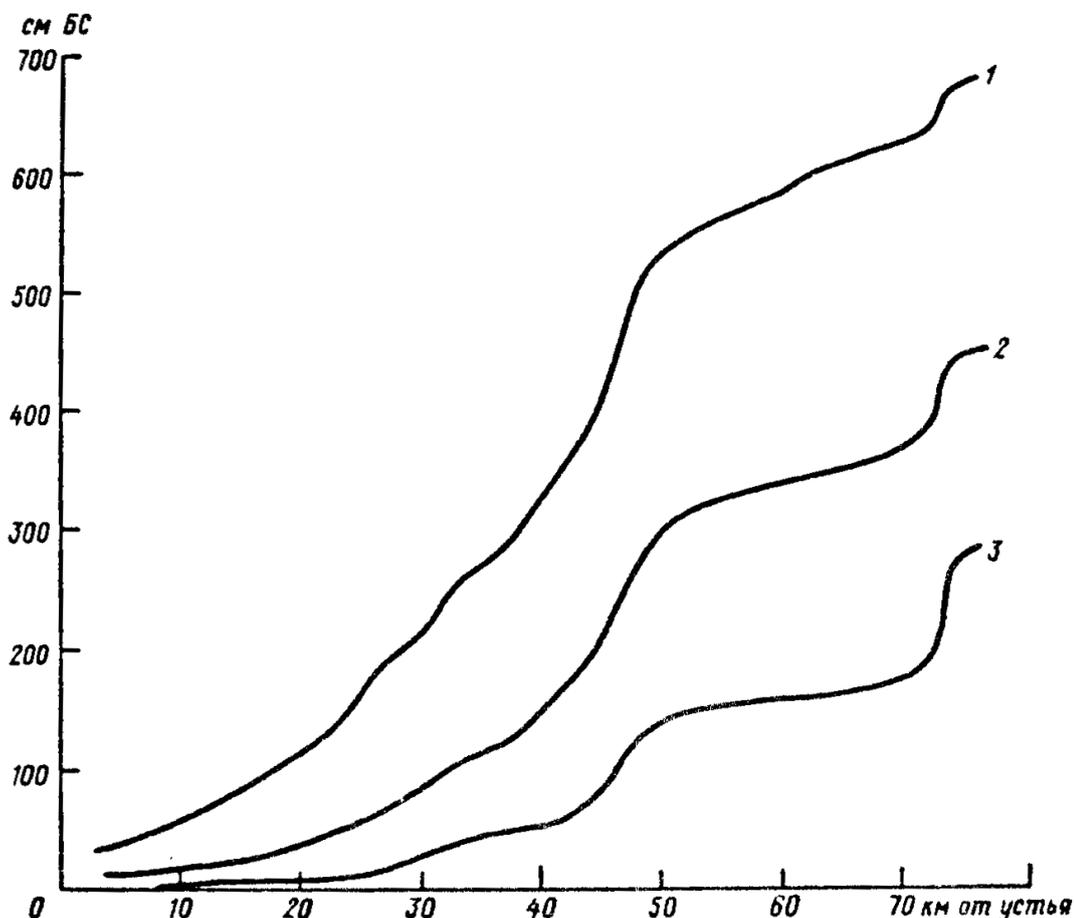


Рис. 5.3. Продольные профили водной поверхности р. Невы в период, свободный ото льда.

- 1 – при наибольшем наблюдаемом расходе воды ( $4750 \text{ м}^3/\text{с}$ ),
- 2 – при среднем многолетнем расходе ( $2510 \text{ м}^3/\text{с}$ ),
- 3 – при наименьшем наблюдаемом расходе за период открытого русла ( $1250 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Свободная длинная волна бывает крайне редко, ее продвижению почти всегда сопутствует ветер. Северный и южный ветер не влияет на высоту волны; встречный восточный ветер уменьшает высоту волны. Западный попутный ветер а он является преобладающим – способствует увеличению высоты волны. В последнем случав возрастание высоты волны бывает особенно значительным, если атмосферный фронт в циклоне совпадает с гребнем волны и перемещается вместе с волной примерно с одинаковой скоростью (40-60 км/ч). При этом атмосферный фронт как бы подхлестывает волну, возникает эффект резонанса. Подобная ситуация бывает тог-

да, когда углубляющийся циклон, дойдя до горла Финского залива, поворачивает на восток, а центр его перемещается вдоль залива, находясь все время несколько севернее залива. Эффект подхлестывания, помимо прочего, создается за счет ветрового раздела в полосе холодного фронта, а точнее, – из-за смены ветров южных румбов впереди фронта на западные в тылу фронта, а также перехода от пониженного давления перед фронтом к повышенному позади фронта.

Довольно значительный подъем воды в устье Невы (до 130-150 см) может иметь место и без длинной волны, а только лишь за счет нагона, создаваемого устойчивым западным ветром на Финском заливе. Однако случаев, когда бы сильный западный ветер наблюдался длительное время и охватывал весь залив, почти не бывает. Сравнительно неширокая полоса штормовых западных ветров в перемещающемся циклоне одновременно охватывает лишь часть залива.

Ветровая и волновая формы денивеляции водной поверхности моря после прекращения действия вынуждающей силы трансформируется в постепенно затухающее сейшеобразное колебание водных масс около одного или нескольких центров (узлов). В Финском заливе известны два основных вида сейш, а именно:

- одноузловая сейша в направлении юг Балтийского моря – Финский залив с периодом колебания 24 ч, средней высотой 20-30 см и максимальной – 140-150 см;
- двухузловая сейша в направлении о. Гогланд – Аландские острова с периодом колебания 8 ч, средней высотой 30-50 см и максимальной 80-100 см.

Роль сейш в формировании больших подъемов воды в устье р. Невы особенно велика, когда циклоны движутся над Балтийским морем серией с интервалом 24-28 ч. При этом водные массы раскачиваются, и на предыдущие колебания накладываются последующие.

В конечном счете длинная волна, ветровой нагон и сейша имеют одну и ту же причину – изменение во времени и в пространстве атмосферного давления. Поэтому ни одна из названных форм денивеляции водной поверхности редко бывает в чистом виде. Можно лишь говорить о преобладании той или иной формы в данном конкретном случае. Тем не менее, выделение составляю-

щих важно для познания процесса, поиска методов его предсказания и т. д.

Для полноты картины укажем, что в формировании больших наводнений в устье р. Невы участвуют громадные массы воды. Подсчитано, например, что при очень больших наводнениях примерно за 6-часовой интервал времени через створ Таллин – Хельсинки с запада на восток перемещается 27-30 км воды. Максимальный же расход в упомянутом створе достигает 700000-1000000 м<sup>3</sup>/с, а в створе Кронштадта – 100000-120000 м<sup>3</sup>/с.

Нетрудно заключить, что очень большое наводнение бывает в тех случаях, когда основные причины, вызывающие подъем воды (длинная волна, ветровой нагон, сейша), действуют одновременно, причем каждая составляющая достаточно велика.

Приведем некоторые статистические данные о больших подъемах уровня воды в устье р. Невы. Но имеющимся неполным сведениям за 308 лет существования Петербурга – Ленинграда (1703-2011 гг.) всего наблюдалось 273 подъема уровня на 150 см и более над ординаром у Горного института или более 160 см БС. Наивысший уровень воды в дельте р. Невы наблюдался 19 ноября 1824 г. и составил 421 см БС. Последние по времени значительные наводнения произошли 30 ноября 1999 г. (262 см БС), 15 ноября 2001 г. (215 см БС), 10 марта 2002 г. (183 см БС), 9 января 2005 г. (228 см БС). Предпоследнее из указанных наводнений представляет собой чрезвычайно редкое явление, т.к. обычно наводнения приурочены к осеннему времени и предзимью.

Сгон воды по сравнению с нагоном – более простое явление, в особенности если иметь в виду значительные сгоны. Ежегодно в устье р. Невы и в Невской губе бывает около 50 случаев сгонов с минимальным уровнем на 30 см ниже ординара и 2-3 сгона на 70 см ниже ординара. За 132 года наблюдений (1878-2011 гг.) самые минимальные уровни во время сгона были зафиксированы 2.11.1910 г. у Горного института (– 124 см БС) и 22.09.1883 г. у Кронштадта (– 172 см БС).

Сводка средних многолетних уровней по многим пунктам помещена в табл. 5.2. В дельте р. Невы и в Невской губе средний многолетний уровень, как отмечалось, именуется еще ординаром. Ординар – важная характеристика: по отношению к нему в Санкт-Петербурге принято оценивать подъем и спад уровня [6].

Таблица 5.2

## Средний многолетний уровень воды (ординар)

Водный объект	Пункт	Расстояние от устья р. Невы, км	Уровень, см БС
Ладожское озеро	Осиновец, Кобона	82,5	484
р. Нева	Петрокрепость	73,0	429
р. Нева	Черная Речка	69,1	395
р. Нева	Красные сосны	61,0	344
р. Нева	Лобаново	55,0	330
р. Нева	Островки	50,2	319
р. Нева	Ивановское	44,9	244
р. Нева	Усть-Ижора	34,0	158
р. Нева	Невский лесопарк	29,5	112
р. Нева	Усть-Славянка	28,6	106
р. Нева	Новосаратовка	27,0	94
р. Нева	Уткина заводь	23,0	72
р. Нева	ф-ка им. Ногина	17,5	47
р. Нева	устье р. Охты	12,5	30
р. Нева	Литейный мост	7,8	18
р. Нева	Горный институт	2,8	11
р. Нева	Невская устьевая	0,0	3
Невская губа	Стрельна, Ольгино	-7,0	2
Невская губа	Кронштадт	-27,0	-1

## 5.3.2. Режим уровней воды р. Фонтанки

Регулярные наблюдения за уровнями воды на р. Фонтанке не производятся. Отметки характерных уровней в створе проектируемого мостового перехода определены по интерполяции между данными по гидрологическим постам р. Нева – Литейный мост и р. Большая Нева – Невская устьевая станция. При расчетах использованы сведения об ежечасных уровнях на посту Горный институт, где с 1877 года действует самописец уровней воды. Погрешности таких расчетов невелики, так как в пределах Невской дельты водная поверхность в главных рукавах и в протоках предельно выположена.

При расчетах использован 50-летний ряд наблюдений.

Ординар уровней воды р. Фонтанки в створе Введенского канала составляет 0,09 м БС.

Ледовые явления сравнительно слабо влияют на формирование уровней воды р. Фонтанки. В целом, при наличии льда диапазон изменения уровней при нагонах и сгонах уменьшается в одних и тех же ветровых условиях, что и при открытой воде. Однако, экстре-

мальные сгоны в зимний период неоднократно наблюдались, если ледовитость Финского залива незначительна или лед тонкий и оказывается быстро взломан и вынесен на незамерзающие акватории Балтийского моря.

При открытых судо- и водопропускных отверстиях Комплекса защитных сооружений (КЗС) максимальные уровни р. Фонтанки в створе проектируемого мостового перехода могут достигать отметок, превышающих максимумы р. Большой Невы у Горного института (см. табл. 5.3).

Таблица 5.3

Отметки максимальных уровней воды р. Фонтанки  
в створе Введенского канала, м БС

Обеспеченность, %				
1	5	10	20	50
Годовые				
3,43	2,52	2,26	2,02	1,70
Зимние				
2,78	2,28	2,03	1,75	1,32

В проектных условиях работы КЗС при вторжении «длинной» волны с Балтики предусмотрено закрытие затворов всех водопропускных и судопропускных сооружений в момент достижения отметки водной поверхности у Кронштадта 1,00 м БС.

Подъем уровней воды в Невской губе при закрытых затворах носит условное название «остаточного наводнения».

Основные факторы формирования такого наводнения:

- расход р. Невы;
- продолжительность периода, в течение которого затворы КЗС закрыты;
- направление и скорость ветра при закрытых затворах.

Количественные показатели, характеризующие эти факторы, взаимосвязаны.

Расчеты отметок пика «остаточного наводнения» заданной обеспеченности возможны путем композиции условных распределений показателей трех вышеприведенных факторов.

Такого рода расчеты подъемов уровней воды у Горного института произведены при гидрологическом обосновании проекта КЗС в Институте географии Сибирского отделения Академии наук СССР (ИГ СОАН), в Ленинградском отделении Государственного океано-

графического института (ЛОГОИН) и в Государственном гидрологическом институте (ГГИ).

Полученные отметки пика «остаточного наводнения» у Горного института и в створе проектируемого мостового перехода приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Максимальные годовые уровни воды у Горного института при «остаточных наводнениях»

Обеспеченность, %		1	5	10	20	25	50
Отметки, м БС	Горный институт	1,90	1,65	1,53	1,44	1,40	1,31
	Створ Введенского канала	1,88	1,63	1,51	1,42	1,38	1,29

Минимальные уровни при сгонах на Финском заливе достигли в створе проектируемого мостового перехода отметок, приведенных в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Отметки минимальных уровней воды р. Фонтанки в створе Введенского канала, м БС

Обеспеченность, %			
50	90	95	99
Годовые			
-0,77	-1,05	-1,16	-1,34
Зимние			
-0,68	-1,01	-1,12	-1,33

Отметку расчетного судоходного уровня (PCY) р. Фонтанки в створе проектируемого мостового перехода следует определить в соответствии с требованиями ГОСТ 26775-97 «Габариты подмостовых судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования» [7], и также Пособия к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» [8]. Этот расчет производится с учетом продолжительности физической навигации (Т) и коэффициента допускаемого снижения продолжительности физической навигации (К), принимаемого равным: 5 – для водных путей 1 и 4-го классов, 6 – для 5-го класса; 2 – для 6 и 7-го классов.

Ввиду отсутствия регулярных наблюдений за уровнями р. Фонтанки, расчет РСУ произведен по данным об уровнях воды на ближайшем гидрологическом посту Горный институт – р. Большая Нева. Несоответствие величины р. Большой Невы и р. Фонтанки очевидно. Значимость этих рек как судоходных трасс несопоставима. Поэтому приведенный ниже расчет следует использовать лишь для ориентировочной оценки базовой отметки уровня воды, от которой следует рассчитывать высоту пролета проектируемого моста. Тем более, что класс р. Фонтанки как внутреннего водного пути не установлен.

Для р. Большой Невы, имеющей 1 класс внутреннего водного пути, продолжительность физической навигации принята равной  $T=211$  сут., а коэффициент допускаемого снижения составляет  $k=5$ . Соответственно, допустимая продолжительность стояния уровней воды выше РСУ равна

$$t = \frac{k \cdot T}{100} = \frac{5 \cdot 211}{100} = 11 \text{ (суток)}. \quad (5.1)$$

За период с 1955 по 2004 гг. по данным об ежедневных уровнях р. Большой Невы у Горного института определены отметки уровней ( $H_t$ ), превышаемые за навигацию в течение 11 дней. Эти отметки сведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Отметки уровней воды р. Большой Невы ( $H_t$ ), см БС

Год	Отметка уровня, см БС	Год	Отметка уровня, см БС
1955	51	1980	43
1956	62	1981	41
1957	64	1982	60
1958	48	1983	102
1959	40	1984	58
1960	28	1985	68
1961	49	1986	67
1962	64	1987	55
1963	67	1988	60
1964	41	1989	47
1965	49	1990	41
1966	66	1991	46
1967	55	1992	46
1968	36	1993	43
1969	51	1994	55

Год	Отметка уровня, см БС	Год	Отметка уровня, см БС
1970	45	1995	53
1971	66	1996	41
1972	55	1997	62
1973	51	1998	57
1974	50	1999	46
1975	43	2000	49
1976	32	2001	73
1977	68	2002	36
1978	79	2003	45
1979	58	2004	43

Для построения графика интегрального распределения уровней расположим отметки  $H_t$  в убывающем порядке.

Вероятность превышения уровней  $H_t$  определена по формуле

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

где  $m$  - порядковый номер отметки  $H_t$ , а  $n = 50$  – объем выборки.

Результаты расчетов сведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

$m$	$H$ , см БС	$P$ , %	$m$	$H$ , см БС	$P$ , %
1	102	1,96	26	51	51,0
2	79	3,92	27	50	52,9
3	73	5,88	28	49	54,9
4	68	7,84	29	49	56,9
5	68	9,80	30	49	58,8
6	67	11,8	31	48	60,8
7	67	13,7	32	47	62,7
8	66	15,7	33	46	64,7
9	66	17,6	34	46	66,7
10	64	19,6	35	46	68,6
11	64	21,6	36	45	70,6
12	62	23,5	37	45	72,5
13	62	25,5	38	43	74,5
14	60	27,5	39	43	76,5
15	60	29,4	40	43	78,4
16	58	31,4	41	43	80,4
17	58	33,3	42	41	82,4
18	57	35,3	43	41	84,3
19	55	37,3	44	41	86,3
20	55	39,2	45	41	88,2
21	55	41,2	46	40	90,2
22	55	43,1	47	36	92,2
23	53	45,1	48	36	94,1
24	51	47,1	49	32	96,1
25	51	49,0	50	28	98,0

По данным, представленным в табл. 5.7 построен график интегрального распределения уровней  $H_t$  – рис. 5.4.

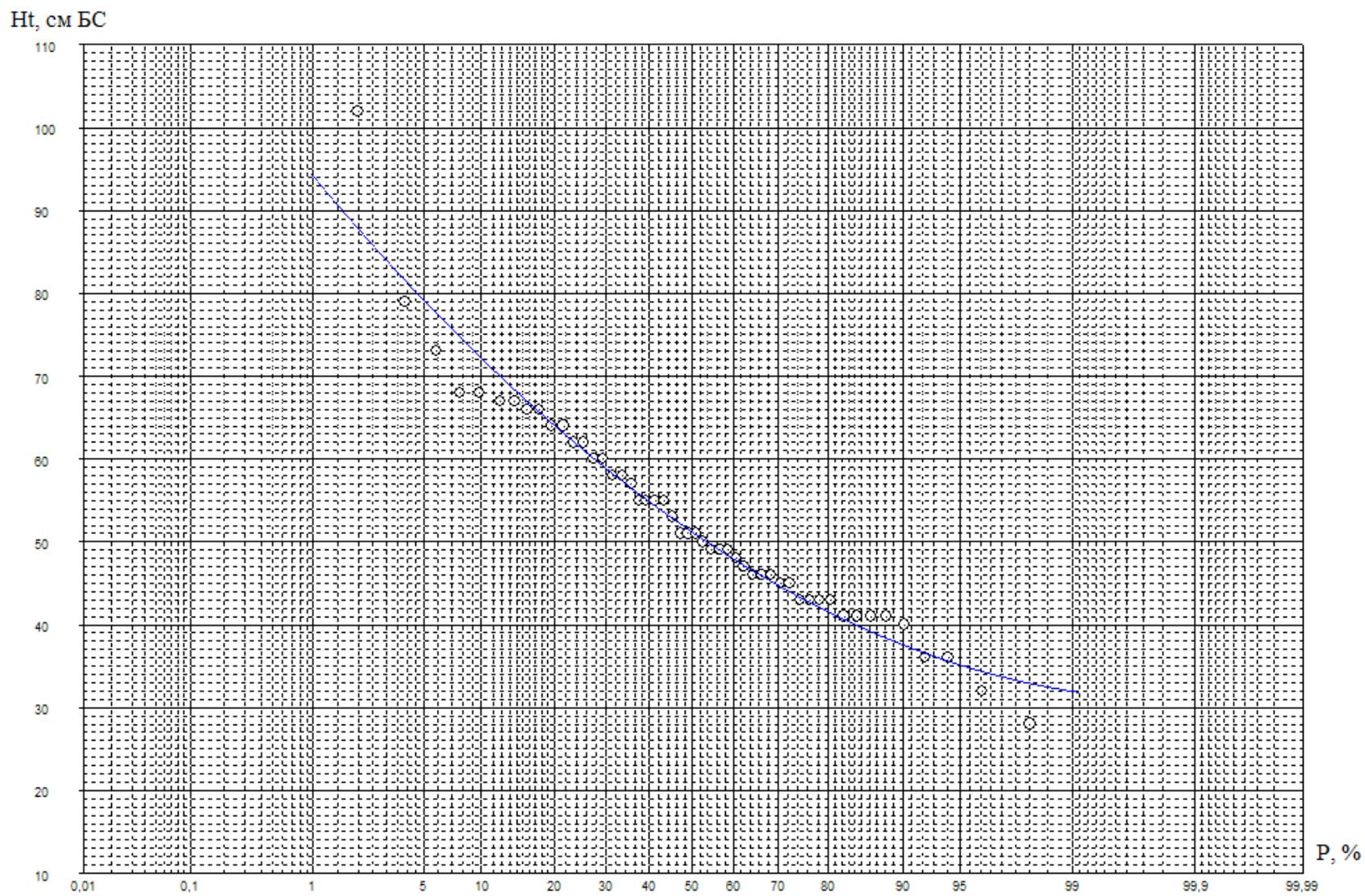


Рис. 5.4. Кривая обеспеченности уровней  $H_t$ .

Для внутреннего водного пути 1-го класса, каким является р. Большая Нева, отметка РСУ соответствует значению  $H_t$ , имеющему вероятность превышения  $P(H > H_t) = 2\%$ . Согласно, кривой обеспеченности, приведенной на рис. 5.4, РСУ=0,88 м БС.

Поскольку класс внутреннего водного пути для р. Фонтанки не установлен, целесообразно назначить высоту подмостового пролета проектируемого моста по аналогии с мостами, расположенными поблизости. Таким мостом на р. Фонтанке является Горсткин мост, расположенный в 130 м выше по течению от створа Введенского канала. Высота пролета этого моста 2,70 м над ординаром уровня р. Фонтанки, следовательно, расчетная отметка пролета проектируемого моста составляет  $2,70 + 0,09 = 2,79$  м БС, при ординаре 0,09 м БС.

## 5.4. Режим расходов воды

### 5.4.1. Сток воды р. Невы

Особенностью водного режима р. Невы является одновременное влияние Ладожского озера, из которого река вытекает, и Финского залива, куда она впадает.

Ее водный режим отличается сравнительно равномерным распределением стока в году, что связано с регулирующим влиянием Ладожского озера, сглаживающего весенний подъем уровня воды. В течение летнего периода по р. Неве проходит небольшое по амплитуде колебаний уровня половодье, представляющее собой продолжительную разгрузку запасов весенней воды в Ладожском озере. Наибольшие расходы воды, уклоны водной поверхности реки и, следовательно, максимальные скорости течения обычно наблюдаются в третьей декаде июня [6].

Особенностью уровня режима Невы является отсутствие паводков от дождевых осадков, что объясняется малым объемом дождевого стока с частного водосбора (между истоком и устьем р. Невы, площадь этого водосбора составляет 1,8 % от общей площади речного бассейна).

В нижнем течении р. Невы, особенно в пределах дельты, уровни мало зависят от расходов воды.

Наибольшее значение в нижнем течении имеют колебания уровня, связанные со сгонно-нагонными денивеляциями водной поверхности Невской губы и вторжениями «длинных волн» с Балтий-

ского моря в Финский залив и Невскую губу. Сочетание этих явлений или их одновременное действие приводят к наводнениям. Наводнениями принято считать подъемы уровней воды у Горного института выше 1,60 м БС.

Минимальные уровни наблюдаются при сгонах воды, вызываемых ветрами восточного сектора.

Сток воды р. Невы относительно стабилен как в многолетнем рассмотрении, так и по сезонам гидрологического года. В качестве периода свободного ото льда принят временной интервал с мая по октябрь; более или менее выраженные ледовые явления наблюдаются на р. Неве в ноябре-апреле. Нормы средних за год и за эти периоды расходов воды приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Среднемноголетние расходы воды р. Невы за год, май-октябрь и ноябрь-апрель, м<sup>3</sup>/с

Год	V-X	XI-IV
2510	2990	2090

Изменчивость среднегодовых расходов воды за многолетие невелика: коэффициент вариации равен  $C_v = 0,17$ . Однако очень тесна связь между среднегодовыми расходами смежных лет: коэффициент корреляции  $r = 0,57$ , тогда как обычно на равнинных реках этот коэффициент не превышает значения 0,30.

Расходы воды р. Невы в начале рассматриваемого участка трассы водовода, до разветвления русла р. Невы на рукава, практически соответствуют расходам в гидрометрическом створе п. Новосаратовка. Приток впадающей выше участка проектирования р. Охты слишком мал, чтобы быть учтенным при оценке водности реки на рассматриваемом участке. Норма среднегодового расхода р. Охты в устье всего 7,20 м<sup>3</sup>/с.

Правые рукава – рр. Большая Невка и Малая Нева близки по водности и отводят примерно по 19% жидкого стока р. Невы.

В табл. 5.9 представлены значения средних за год расходов воды р. Невы различной обеспеченности. При расчетах использован 50-летний ряд наблюдений.

Таблица 5.9

Среднегодовые расходы воды р. Невы различной обеспеченности, м<sup>3</sup>/с

Обеспеченность, %							
1	2	10	25	50	75	95	99
3490	3390	3040	2780	2510	2250	1890	1650

Внутригодовое распределение стока р. Невы определяется озерным влиянием Ладоги: расходы воды достигают максимума в двадцатых числах июня, в среднемесечном рассмотрении наиболее многоводен июль. Наименьшие расходы воды наблюдаются в декабре-январе. Это объясняется не только понижением уровней Ладожского озера, но и типичными для р. Невы зажорно-заторными явлениями в начале зимнего сезона. Особенно резкое уменьшение расходов воды происходит при образовании зажора-затора в истоке реки, несколько ниже по течению от о. Орешка (в створе головной дамбы Новоладожского канала им. Александра II). Именно такое явление произошло в декабре 1972 г. – январе 1973 г., когда расход воды р. Невы понизился с 1300 м<sup>3</sup>/с до экстремально низкого значения 540 м<sup>3</sup>/с.

Обычно зажорный участок располагается от Усть-Ижоры до Охтинского моста. В табл. 5.10 представлены характерные расходы воды р. Невы за многолетний период [6].

Таблица 5.10

Характерные расходы воды р. Невы за многолетний период

Характерный расход воды	Наименьший		Средний м <sup>3</sup> /с	Наибольший	
	м <sup>3</sup> /с	год		м <sup>3</sup> /с	год
Средний годовой	1340	1940	2510	3670	1924
Максимальный годовой	2050	1940	3400	4750	1924
Минимальный при отсутствии льда	1250	1940	2500	3740	1879
Минимальный при наличии льда	540	1973	1540	2740	1904

Внутригодовое распределение расходов воды р. Невы (по месяцам) показано в табл. 5.11. Здесь расходы соотнесены с водностью года.

Таблица 5.11

Внутригодовое распределение стока воды р. Невы  
у Новосаратовки

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1924 г. – самый многоводный												
2870	2760	2920	3700	4280	4450	4390	4180	3980	3800	3590	3210	3670
6,3	6,3	6,6	8,4	9,7	10,1	10,0	9,5	9,0	8,6	8,2	7,3	100
1927 г. – средний по водности												
1660	1620	2440	2630	2920	3120	3150	3020	2930	2820	2360	1850	2540
5,4	5,3	8,0	8,6	9,6	10,2	10,3	9,9	9,6	9,3	7,7	6,1	100
1940 г. – самый маловодный												
747	770	921	1280	1790	1770	1540	1460	1520	1540	1400	1270	1340
4,6	4,8	5,7	8,0	11,1	11,0	9,6	9,1	9,4	9,6	9,2	7,9	100

Распределение невской воды по рукавам дельты и фарватерам взморья не остается постоянным и зависит от многих причин: расхода и уровня воды в самой Неве, толщины ледяного покрова и пр., а главное от силы и направления ветра. Однако влияние этих причин сравнительно невелико и с приемлемой для практических целей точностью с ними можно не считаться, – по крайней мере для главных рукавов дельты в диапазоне уровня от – 50 до 100 см БС и скорости ветра от 0 до 12 м/с. Что касается малых водотоков дельты, то здесь положение несколько иное. Замечено, что при значительных нагонах воды, сопровождающихся западным ветром, в них уменьшаются расходы воды, более того, возникает обратное течение, и вода перетекает из малых рукавов в большие.

Приближенная зависимость расхода воды водотоков системы р. Фонтанки от расхода р. Невы (до ответвления р. Большой Невки) приведена на графике рис. 5.5.

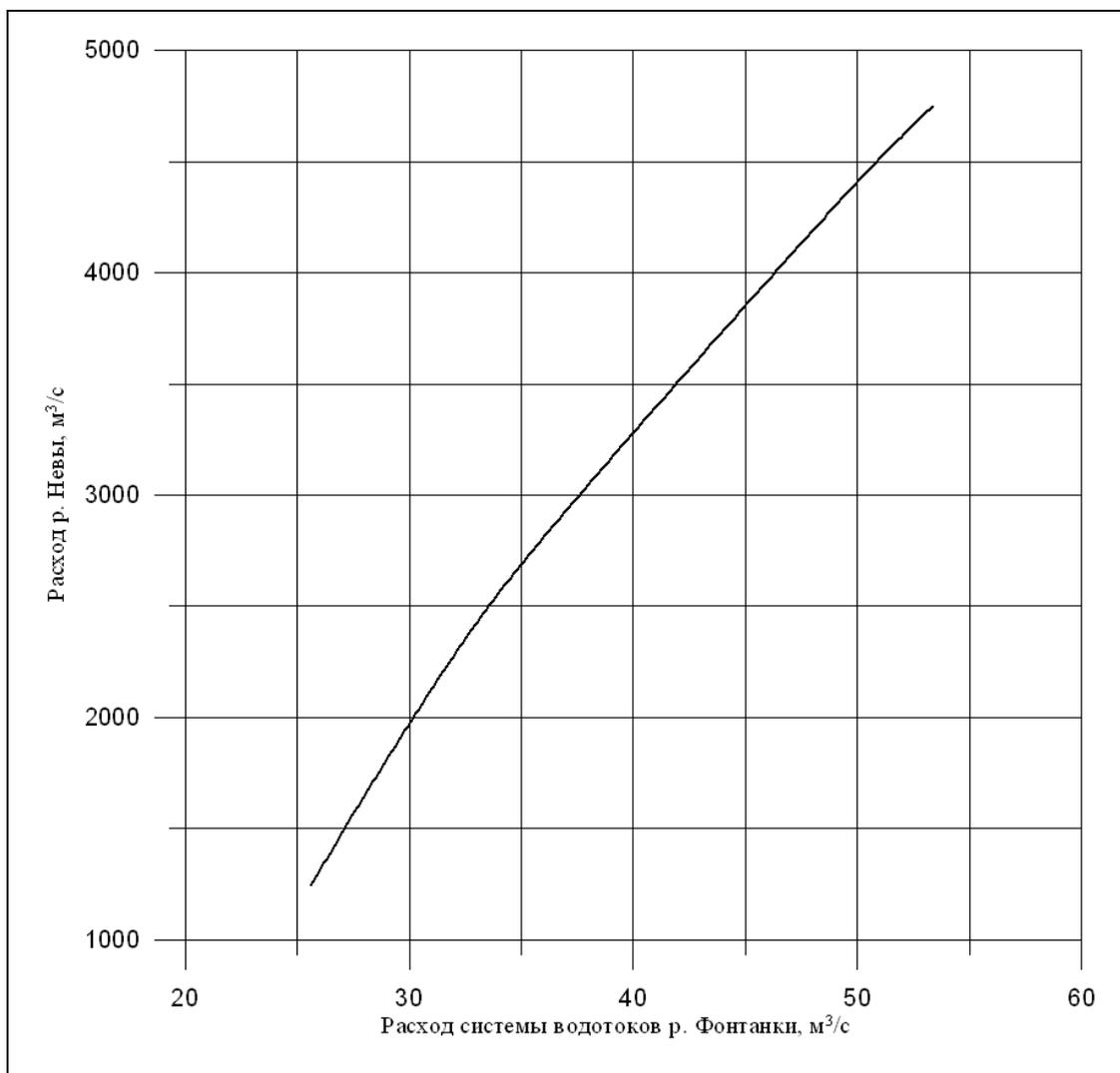


Рис. 5.5. График зависимости расходов р. Невы и системы водотоков р. Фонтанки за безледоставный период

#### 5.4.2. Моделирование потока р. Фонтанки

Расчет векторного поля скоростей осуществлялся с использованием системы дифференциальных уравнений, описывающих неравномерное неустановившееся движение воды [9]:

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \lambda_w + \tau_x = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial y} + v \frac{\partial v}{\partial y} + u \frac{\partial v}{\partial x} + \lambda_w + \tau_y = 0 \end{cases} \quad (5.3)$$

где  $H$  – отметка уровня воды, м БС;  $x, y$  – пространственные координаты в горизонтальной плоскости, м;  $t$  – координата времени, с;  $q_x$  и  $q_y$  – элементарные расходы воды через грани расчетной сетки,

перпендикулярные соответствующим координатным осям,  $m^2/c$ ;  $u$ ,  $v$  – проекции вектора скорости на оси координат,  $m/c$ ;  $g$  – ускорение свободного падения, равное  $9,81 m^2/c$ ;  $h$  – глубина,  $m$ ;  $\lambda_w$  – функция, характеризующая гидравлические сопротивления;  $\tau$  – проекция функции касательного напряжения, создаваемого ветром.

Исходная информация при моделировании в данном случае:

- уровни воды р. Невы на участке от устья (Большой Гутуевский ковш – Невская устьевая станция) до истока р. Фонтанки;
- морфометрические характеристики рек и каналов системы р. Фонтанки (см. табл. 5.12);
- число расчетных створов равно 10.

Таблица 5.12

Морфометрические характеристики водотоков Центрального района

Название водотока	Длина, км	Ширина, м		Глубина, м	
		Наименьшая	Наибольшая	Наименьшая	Наибольшая
Фонтанка	6,70	35	70	2,60	3,50
Мойка	4,67	20	40	2,10	3,20
кан. Грибоедова	5,00	10	32	1,50	3,20
Лебяжья канавка	0,65	8	12	0,70	2,00
Зимняя канавка	0,25	11	14	1,50	1,80
Ново-Адмиралтейский канал	0,27	8	11	1,00	2,00
Пряжка	1,32	20	33	1,00	2,90
Крюков канал	1,15	21	23	1,80	3,00
канал Круштейна	0,38	9	14	1,50	2,70

При оценке водности малых водотоков Центрального района представляет интерес рассмотрение как экстремальной, так и обычной гидрологических ситуаций. Поскольку водностью р. Невы (при отсутствии сгонов, нагонов, длинноволновых и сейшевых денивеляций поверхности Невской губы) полностью определяются расходы водотоков системы р. Фонтанки, моделирование условий формирования стока этих рек и каналов приурочено к историческому максимуму расходов Невы, годовой норме и историческому минимуму расхода воды за безледоставный период. Эти сведения приведены в табл. 5.10:  $Q_{max} = 4750 m^3/c$ ;  $Q_{норма} = 2510 m^3/c$ ;  $Q_{min} = 1250 m^3/c$  [6].

Моделирование ограничено условиями периода открытого русла (без льда).

Расходы воды и скорости течения (соответственно, числитель и знаменатель) на водных объектах системы р. Фонтанки при различной водности р. Невы представлены на схемах рис. 5.6-5.8. На участке проектируемого мостового перехода при максимальной водности р. Невы расход воды и средняя скорость течения составляют 35,3 м<sup>3</sup>/с и 0,22 м/с, при норме водности – 20,8 м<sup>3</sup>/с и 0,13 м/с, а в маловодье – 15,9 м<sup>3</sup>/с и 0,10 м/с.

Планы течений на участке проектирования свидетельствуют об упорядоченной скоростной структуре водных масс р. Фонтанки и благоприятных условиях протекания.

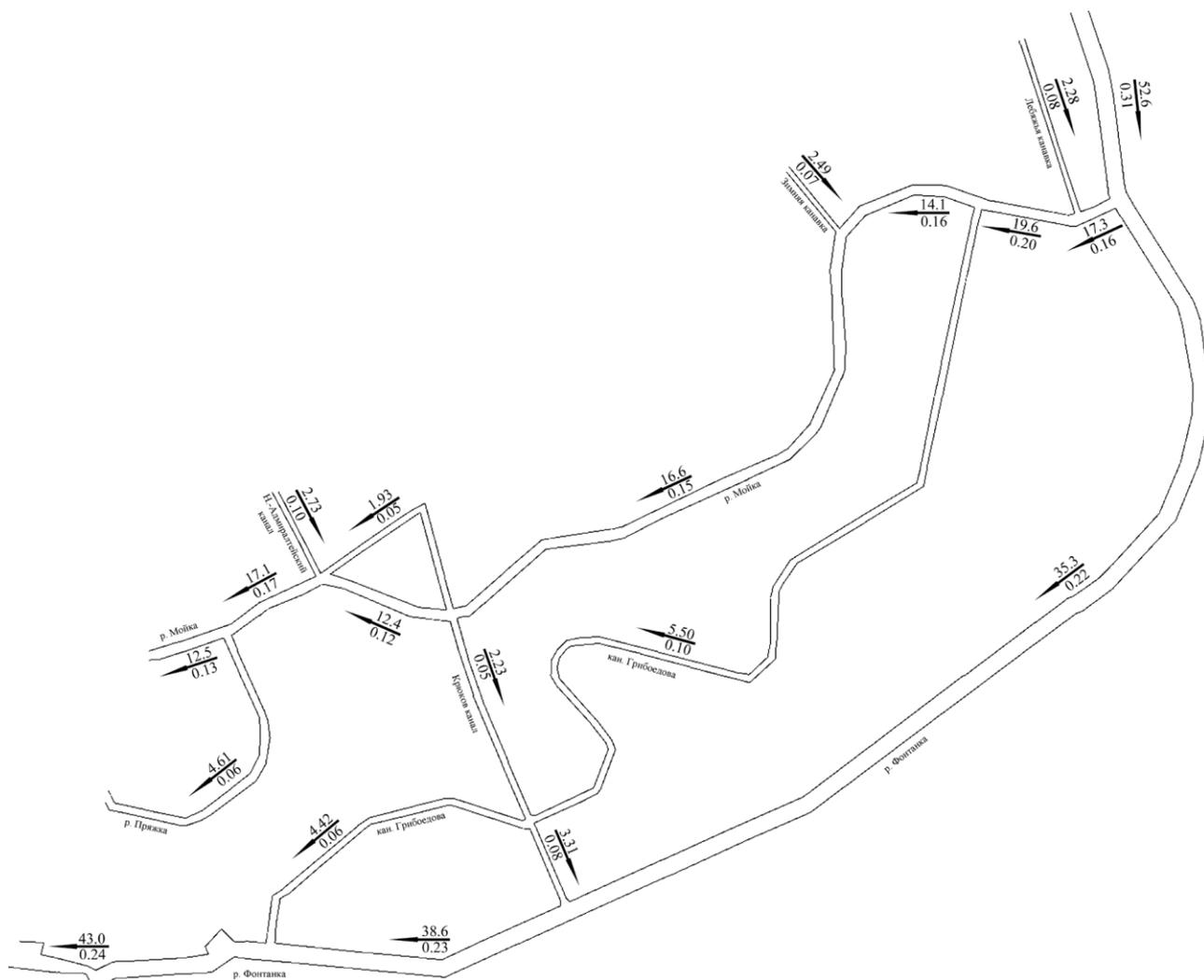


Рис. 5.6. Распределение расходов, средних скоростей и направлений течения в водной системе р. Фонтанки при максимальном расходе воды р. Невы.

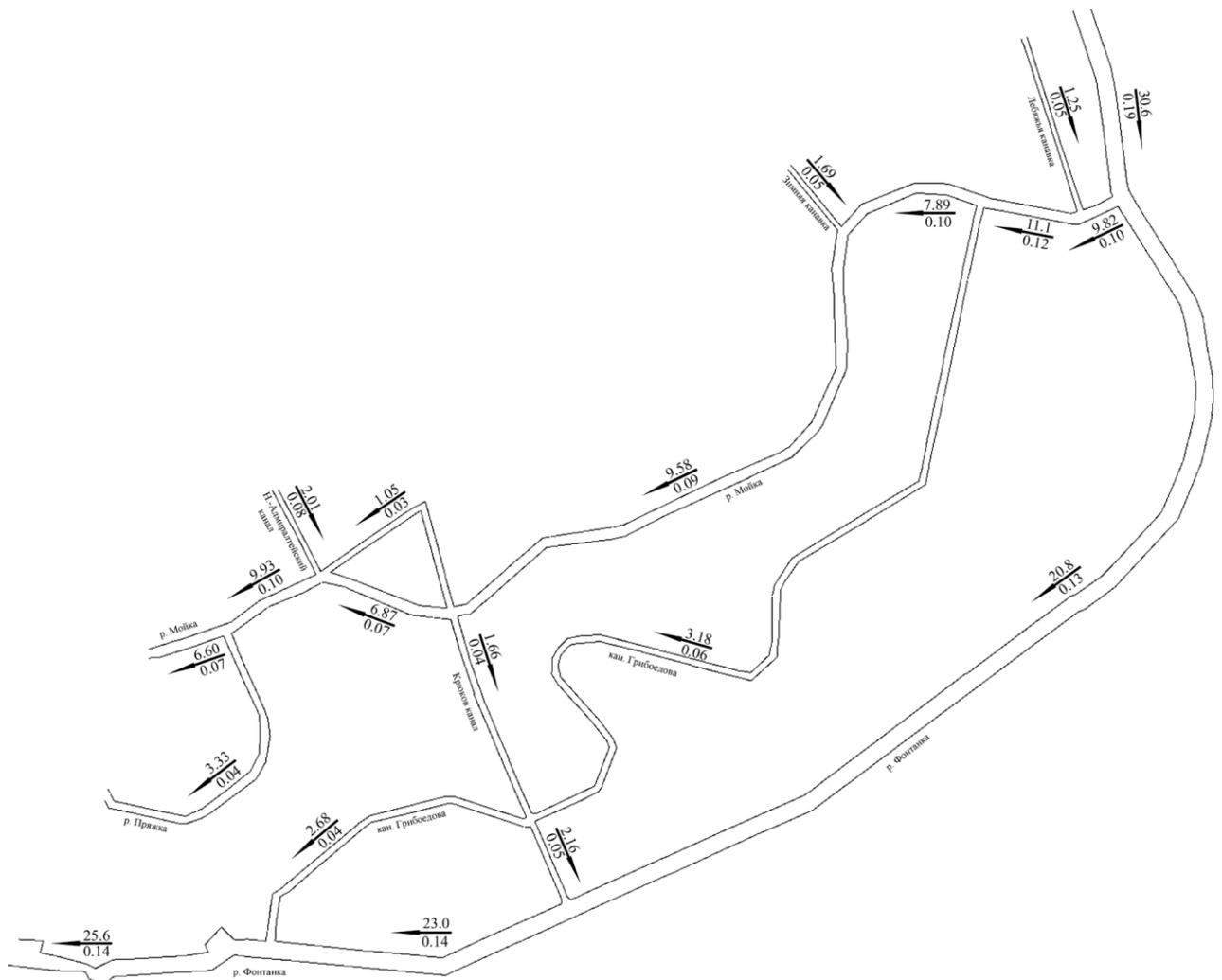


Рис. 5.7. Распределение расходов, средних скоростей и направлений течения в водной системе р. Фонтанки при среднем расходе воды р. Невы.

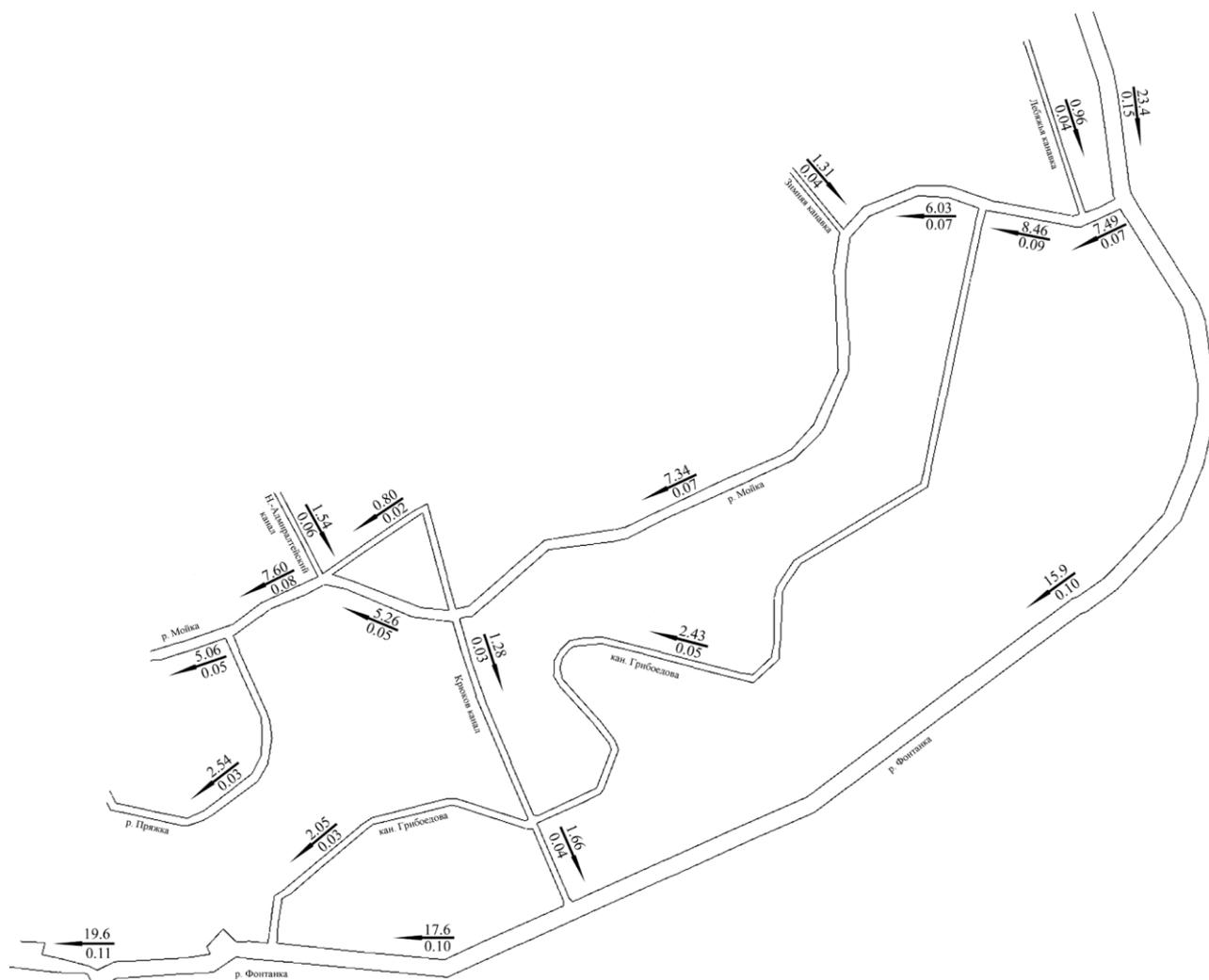


Рис. 5.8. Распределение расходов, средних скоростей и направлений течения в водной системе р. Фонтанки при минимальном расходе воды р. Невы.

## 6. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА РУСЛА Р. ФОНТАНКИ

### 6.1. Общие положения

Река Фонтанка – искусственный водоток, прорытый в 1712 году и первоначально называемый Ериком или Безымянным Ериком.

Являясь главным рукавом одноименной водной системы, р. Фонтанка протекает в укрепленных берегах через плотно застроенные городские кварталы. Продольные уклоны реки невелики. Условия протекания, в целом, благоприятны.

Водотокам системы р. Фонтанки характерно преобладание аккумулятивной направленности руслового процесса.

### 6.2. Твердый сток р. Фонтанки

Озерная система, питающая р. Неву, представляет собой огромный отстойник, в связи с чем концентрация взвешенных минеральных веществ в невской воде очень мала и составляет в среднем 7-8 мг/л.

Развитие фитопланктона («цветение ладожской воды»), приводит к тому, что в штилевые периоды на Ладоге доля органических веществ во взвеси может составить до 70%. Однако, эти периоды характеризуются незначительной мутностью порядка 2-5 мг/л.

Объем жидкого стока притоков р. Невы не превышает 2% объема речных вод, но вклад невских притоков в формирование мутности воды весьма существен. В весеннее половодье и в летне-осенние паводки на левобережных притоках р. Невы (рр. Мга, Тосна, Ижора, Славянка и др.) мутность невской воды способна возрасти до 60 мг/л и более.

Наибольший вклад в формирование твердого стока р. Невы вносят штормы на Ладожском озере. Продолжительные штормовые ветра северо-восточного и, особенно, северо-северо-восточного направлений, вызывают сильное ветровое волнение в Шлиссельбургской губе. Возрастание орбитальных скоростей на баре в невском истоке (выше острова Орешек), характерное для интенсивного ветрового волнения, приводит к размыву материала, слагающего бар, и выносу его в р. Неву. При этом зафиксирована мутность воды в истоке, достигшая 145 мг/л (21 октября 1990 г.).

В штилевую погоду основными источниками взвешенных наносов в невской воде являются притоки — рр. Мга, Тосна, Ижора,

Славянка, Охта, ручей Спартак и др. Дренируя свои водосборы, эти водотоки приносят в р. Неву более грубый алевритовый материал. Однако, твёрдый сток перечисленных рек формируется не только в результате эрозионных процессов на водосборах (аллохтонные факторы), но и в результате приёма этими водотоками сточных и ливневых вод с урбанизированных территорий Петербургской агломерации.

Возрастание мутности воды р. Невы происходит также при сгонах, вызывающих залповую разгрузку русловых запасов на устьевых участках невских притоков, большую часть года находящих в подпоре от р. Невы.

Концентрации взвешенных наносов достигают экстремальных значений при одновременном воздействии нескольких факторов, например, при усилении северо-восточных ветров на Ладоге и прохождении паводка на левобережных притоках р. Невы. При таких гидрометеорологических ситуациях мутность невской воды в ряде случаев превышает 90 мг/л.

Хронологический график изменения расходов взвешенных наносов по наблюдениям на ГП р. Нева – д. Новосаратовка приведен на рис. 6.1.

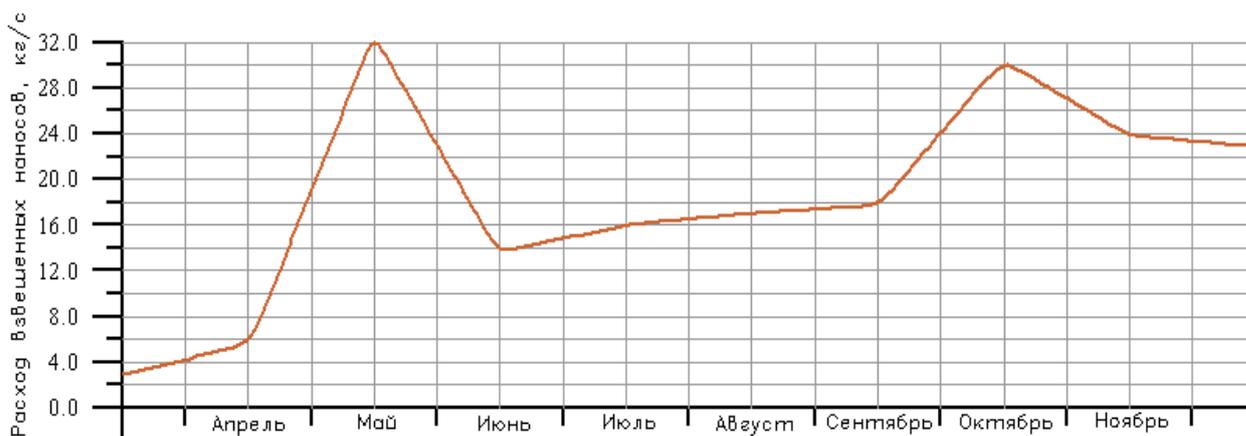


Рис. 6.1. Ход расходов взвешенных наносов в воде р. Невы – д. Новосаратовка

Такое внутригодовое распределение расходов взвешенных наносов можно объяснить возрастанием массы твердого материала, поступающего в р. Неву из притоков в периоды весеннего половодья и осенних паводков.

Расходы наносов, как и мутность, незначительны во всех рукавах Невской дельты. Наименьшая мутность отмечается в Б. Неве, в остальных рукавах мутность больше.

Среднемноголетний расход взвешенных наносов в створе д. Новосаратовки составляет 17,6 кг/с, а годовая масса взвешенных наносов, транспортируемых потоком невской воды – 555 тыс. тон в год.

С учетом данных литературных источников, добавку к стоку взвешенных наносов за счет влияния города в створе проектируемого перехода через р. Неву можно оценить примерно в 15-20 % к твердому стоку в створе гидрологического поста Новосаратовка.

При этом среднемноголетняя величина суммарного расхода взвешенных наносов в створе Литейного моста составит примерно 21 кг/с, а масса стока взвешенных наносов – около 662 тыс. тон в год.

Сведения о стоке влекомых наносов р. Невы отрывочны и противоречивы. Факторы, определяющие генезис влекомых наносов, и величина стока таких наносов, транспортируемых водами р. Невы, освещены в работах [10-14].

По данным Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы (новые сведения, помещённые на сайте в Интернете), годовая масса влекомых наносов р. Невы «составляет 65 тыс. т/год».

По результатам выполненного в 1983 году Российским государственным гидрометеорологическим университетом (РГГМУ) исследования твёрдого стока р. Невы, годовая масса стока влекомых наносов составила около 152 тыс. т.

Различия в оценках стока влекомых наносов, полученные РГГМУ и Государственным гидрологическим институтом (ГГИ), ярко характеризуют сведения, приведённые в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Вычисленные расходы влекомых наносов (средние условия)

Диаметр 95% обеспеченности, м	Скорость гряды, м/сут		Расход наносов, кг/сек	
	ГГИ	РГГМУ	ГГИ	РГГМУ
0,001	1,94	1,37	3,75	4,83

Наметившееся уменьшение стока влекомых наносов р. Невы объясняется, в частности, сокращением объёма дноуглубительных работ на судоходном фарватере. Масштабные работы по увеличе-

нию габаритов судоходного пути в 1960-ых, 1970-ых и начале 1980-ых годов способствовали поступлению дополнительного твёрдого материала в р. Неву. Созданные в эти годы подводные свалки грунта на р. Неве и в Шлиссельбургской губе являлись важным фактором формирования твёрдого стока.

В городской черте одним из значимых источников твёрдого материала являлись погрузочно-разгрузочные работы на грузовых площадках Речного порта (в основном, песчано-гравийная смесь), расположенных на правом берегу р. Невы между Володарским и Финляндским мостами.

Количественная оценка изменения стока влекомых наносов р. Невы требует проведения дополнительных исследований. В настоящее время допустимо, в качестве предварительного варианта, принять, что годовая масса влекомых наносов р. Невы в пределах плотной городской застройки составляет не более 65 тыс. т/год (средний расход равен 2,06 кг/с).

Концентрация взвешенных наносов в воде р. Фонтанки по данным анализа эпизодически отбираемых проб воды примерно в 1,2 раза превышает мутность невской воды выше устья р. Славянки в гидрометрическом створе д. Новосаратовки, что характерно для участков рек, протекающих в зонах плотной городской застройки. Норма мутности воды р. Фонтанки принята равной  $\bar{S} = 9,0 \text{ г/м}^3$ .

Один из источников поступления твёрдого материала в воду р. Фонтанки – ветровой перенос пыли и песка на водную поверхность с городских территорий (эоловое загрязнение воды), а также смыв со спусков к воде.

Существен вклад ливневых стоков в формирование мутности р. Фонтанки.

В результате приближенных расчетов (по аналогии с твердым стоком р. Невы в городской черте) среднемноголетняя масса взвешенных наносов р. Фонтанки за год составляет  $M_{\text{ВЗВ}} = 5900 \text{ т/год}$ .

Масса влекомых донных наносов р. Фонтанки, как и на других равнинных реках Северо-Запада Европейской территории России, равняется приблизительно 10% массы взвешенных наносов –  $M_{\text{дон}} = 590 \text{ т/год}$ .

### 6.3. Деформации русла р. Фонтанки

Берега р. Фонтанки укреплены, поэтому исключены плановые деформации русла. Практически по всей длине р. Фонтанки преобладают условия аккумуляции твердого материала. На верхнем по течению участке происходит отложение наиболее крупных частиц преимущественно минерального (природного) происхождения.

В среднем течении вблизи спусков к воде на дне прослеживаются отложения песка, смытого с дорожного полотна. Скопления песка отмечены у выпусков ливневых вод (ниже по течению).

На участке проектирования донные грунты представлены текучими суглинками (легкими пылеватыми, коричневатого цвета, тиксотропными - от текучих до текучепластичных, перекрытыми сверху слоем песков пылеватых и средней крупности).

Ближе к устью уменьшается крупность частиц в донных отложениях.

Повсеместно дно захлавлено бытовым мусором, особенно у мостов. В нижнем течении нередко встречаются топляки – следы происходившего в прошлом лесосплава.

По мнению ряда исследователей (архивные данные), по длине р. Фонтанки осаждается на дно до 29% поступившего из р. Невы твердого материала. Есть основания признать этот темп аккумуляции чрезмерным, в частности, потому, что авторами принята не вполне корректная схема изменения мутности воды по длине реки:

$$\frac{S_l}{S_0} = e^{-\frac{wt}{h}}, \quad (6.1)$$

где  $S_l, S_0$  – мутность воды на расстоянии  $l$  от истока и в самом истоке, г/м<sup>3</sup>;

$w$  – гидравлическая крупность частиц, м/с;

$t$  – время, за которое происходит перемещение масс воды от истока до створа, отстоящего на расстоянии  $l$ , с;

$h$  – средняя глубина на участке длиной  $l$ , м.

Расчеты по формуле (6.1) не учитывают того факта, что в турбулентном потоке р. Фонтанки осаждение твердых частиц происходит со скоростью, меньшей, чем гидравлическая крупность  $w$ .

Эпизодические отборы проб воды на мутность показали, что заносимость дна р. Фонтанки практически не связана с поступлением взвеси из Невской губы при нагонах, когда вода в губе взмучена.

Так: по данным натурных работ в нагон 17-19 ноября 2005 года мутность воды р. Фонтанки составила  $S = 8-9 \text{ г/м}^3$ , что вполне соответствовало показателям мутности до начала нагона.

Более того, на спаде высоких нагонных уровней воды ( $H > 1,60$  м БС) расходы воды р. Фонтанки возрастают, и происходит разгрузка локальных застойных зон.

Подсыпка песком дорожного полотна зимой приводит к загрязнению льда в рукавах Невской дельты. При весеннем таянии льда и снега на льду песок осаждается на дно, тем более, что обычно он представлен крупными фракциями. В среднем, годовое приращение массы такого материала на дне р. Фонтанки равно примерно 6,5 т/год. Суммарная масса твердого материала, поступающего в р. Фонтанку в результате эолового переноса примерно 19,5 т/год. С ливневыми водами за год в реку поступает, большей частью осаждающаяся на дно, около 1,9 т/год.

По результатам эпизодических отборов проб донных отложений (архивные сведения) ежегодная заносимость дна р. Фонтанки примерно равна 5,4 мм/год, что соответствует 3200 т/год. Сравнение годового приращения массы донных отложений с массой твердого стока указывает на то, что вклад антропогенного воздействия на режим наносов и отложения твердого материала на дне р. Фонтанки более значим, чем это было указано ранее (по архивным данным).

Квазиприродные процессы заносимости дна р. Фонтанки слабо прослеживаются при анализе результатов разновременных русловых съемок. Это обстоятельство объясняется производством дноуглубительных работ, направленных, в частности, на поддержание габаритов судового хода с проектной глубиной 2,75 м БС. С 1998 года ГУП «Ленводхоз» возобновил такие работы, общий объем которых в 2000 году на участке между Семеновским и Обуховским мостами составил  $14088 \text{ м}^3$ .

Очередное дноуглубление на участке между Семёновским и Обуховским мостами произведено в 2012 году. Объем выемки грунта  $14200 \text{ м}^3$ , глубина при ординаре уровней составит 2,75 м.

Существенное техногенное воздействие на рельеф дна р. Фонтанки затрудняет возможность построения профиля предельного размыва в створе мостового перехода. Для оценки направленности руслового процесса произведен расчет предельной неразмы-

вающей скорости при несвязных и связных грунтах по методике Ц. Е. Мирцхулавы [15]. Получены следующие результаты:

– для несвязных грунтов неразмывающая скорость составляет  $V_H = 0,40$  м/с;

– для связных грунтов – скорость  $V_H = 0,46$  м/с.

Как показано в разделе 5, скорости течения р. Фонтанки не достигают значений, превышающих полученные показатели  $V_H$ .

Скопления песков средней крупности при преобладании тонкодисперсных фракций донного грунта создают условия образования отмостки, наличие которой способствует возрастанию показателей неразмывающей скорости. В нашем случае, критериальное со-

отношение крупностей донных грунтов  $d_{95}/d_5 > 5$  [16]. Таким образом, образование отмостки на дне р. Фонтанки весьма вероятно.

Вывод: значимый размыв «твердого» дна в русле р. Фонтанки исключён.

## 7. ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ Р. ФОНТАНКИ

Термический режим р. Фонтанки практически не отличается от такового в других рукавах и протоках Невской дельты. Температура воды в них определяется фазой термического режима Ладожского озера и р. Невы. При этом следует оперировать данными о термике южной мелководной части Ладожского озера и, прежде всего, Шлиссельбургской губы.

Теплообмен с атмосферой не играет существенной роли при формировании термического состояния реки. Более значим в отношении термики водообмен с Невской губой при нагонах, но нагоны – сравнительно кратковременное явление, не способное нарушить сезонные тренды температуры.

Сбросы сточных вод, несомненно, могут создать аномальные по термическим характеристикам зоны. Этот факт наглядно выявляется при замерзании реки. Полыньи и вдольбереговые промоины – нередкое явление на р. Фонтанке в течение всей зимы.

В то же время, естественный тепловой расход реки на порядки превышает тепловой расход сточных вод. По архивным данным, среднегодовой расход сточных вод составляет около 269 тыс. м<sup>3</sup>/год, или в среднем 8,5 л/с, при норме речного расхода р. Фонтанки 20,8 м<sup>3</sup>/с (в створе проектируемого мостового перехода).

При отсутствии результатов натурных наблюдений за температурой воды, ориентировочные сведения о термике р. Фонтанки можно получить по данным гидрологических постов вблизи истока реки (ГП р. Нева – Литейный мост) и в устьевой зоне (ГП р. Большая Нева – Горный институт), см. табл. 7.1.

В дополнение к термическим данным, представленным в табл. 7.1, приведем сведения о температуре воды второго по величине водотока системы р. Фонтанки – р. Мойки (у Синего моста за 1980-81 гг.) – см. табл. 7.2.

Сравнение этих данных позволяет констатировать близкое совпадение температуры невской воды и воды рек системы р. Фонтанки.

Таблица 7.1

Температура воды, °С

Характеристика	Дата перехода температуры воды весной через 0,2 °С	Март		Апрель			Май			Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь			Декабрь			Дата перехода температуры воды осенью через 0,2 °С	Высшая температура воды за год		
		2	3	1	2	3	1	2	3						1	2	3	1	2	3		T °С дата	дата (средняя)	
р. Большая Нева – Горный институт (1920-1977 гг.)																								
Средняя				1,1			6,5			13,3	17,2	16,5	12,5	6,6	1,8									
р. Нева – Литейный мост (1945 – 1986 гг.)																								
Средняя	06.04	0,1	0,2	0,4	1,1	2,2	4,1	6,5	9,1	13,7	17,1	16,5	12,5	6,6	3,0	2,0	0,8	0,3	0,1	-	07.12	20,3	24,07	
Наибольшая (ранняя) год (% случаев)	28.02.61	<u>0,2</u> 36%	<u>0,6</u> 1968	<u>1,2</u> 1975	<u>3,0</u> 1975	<u>6,0</u> 1950	<u>8,0</u> 1975	<u>12,1</u> 1975	<u>14,5</u> 1984	<u>16,2</u> 1948	<u>21,8</u> 1972	<u>19,5</u> 1959	<u>14,5</u> 1949	<u>9,4</u> 1961	<u>7,6</u> 1967	<u>5,7</u> 1967	<u>3,5</u> 1982	<u>2,0</u> 1982	<u>2,0</u> 1972	<u>0,7</u> 1972	08.11.56	<u>23,0</u> 05.08.67	09.06.48	
Наименьшая (поздняя) год (% случаев)	29.04.55	<u>0</u> 44%	<u>0</u> 33%	<u>0</u> 14%	<u>0</u> 1947	<u>0,3</u> 1955	<u>0,9</u> 1969	<u>1,4</u> 1956	<u>4,2</u> 1974	<u>10,6</u> 1955	<u>14,7</u> 1976	<u>14,2</u> 1976	<u>9,8</u> 1986	<u>4,1</u> 1976	<u>0,5</u> 1976	<u>0,2</u> 1968	<u>0</u> 22%	<u>0</u> 31%	<u>0</u> 47%	<u>0</u> 56%	н.б. 1975, 1976, 1982	<u>17,7</u> 31.07.58	26.08.68	

Таблица 7.2

Температура воды, °С  
р. Мойка – Синий мост

Год	Дата пере- хода темпе- ратуры воды весной через		Март	Апрель			Май			Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь			Де- кабрь	Дата перехода температуры воды осенью через		Высшая температу- ра воды за год	
	0,2 °С	10 °С		3	1	2	3	1	2						3	1	2		3	1	10 °С	0,2 °С
1980	06.04	01.06			1,0	1,6	1,3	4,4	5,5	15,1	16,6	17,4	12,8	7,2	1,2	0,4	0,2	0,0	30.09	26.11	22,2	02.08
1981	04.04	22.05	0,2	0,5	0,8	1,0	3,6	7,9	11,5	13,3	16,4	16,1	12,2	8,6	3,7	2,2	0,8	0,1	12.10	06.12	20,1	12.07

## 8. ХАРАКТЕРИСТИКА БЫТОВОГО ЛЕДОВОГО РЕЖИМА Р. НЕВЫ, РУКАВОВ НЕВСКОЙ ДЕЛЬТЫ И Р. ФОНТАНКИ

### 8.1. Общие сведения

В связи с тем, что р. Нева питается относительно теплыми в осенний период водами Ладожского озера, ледовые явления на ней начинаются позднее, чем на других реках региона, не вытекающих из озер.

Процесс замерзания р. Невы начинается после охлаждения поверхности воды до температуры 0 °С. Затем образуются сало и забереги. Откалываясь от берегов, забереги уносятся течением. Вскоре наступает осенний ледоход. Характерным для р. Невы является разнообразный состав плывущего по реке ледяного материала: темная рыхлая шуга (сбитые течением в комья частицы внутриводного льда), плотная шуга грязно-коричневого цвета (всплывший на поверхность донный лед), речной лед и льдины, вынесенные течением из Ладожского озера. В период осеннего ледохода лед имеет толщину 4-6 см. Наиболее интенсивное шугообразование происходит при температуре воздуха -4..-6 °С.

Ледоход сравнительно быстро завершается ледоставом, продвижение которого происходит всегда в одной и той же последовательности: после нескольких дней интенсивного ледохода и образования припая в Невской губе ледостав образуется в устье реки, после чего он распространяется вверх по течению за счет прибывающего льда. При достаточно холодной погоде (-8..-12 °С) и поступлении ладожского льда верхняя кромка ледостава интенсивно продвигается вверх. Наступившая оттепель может вызвать подвижки льда и обратное движение кромки ледостава.

Темп замерзания реки в черте города зависит от густоты поступающего ладожского льда и от продолжительности ледохода, в среднем составляющей 8-11 дней, но изменяющейся в широком диапазоне – от 1 до 50 дней.

При редком и среднем ледоходе продолжительность образования ледостава составляет 5-7 дней. При густом ледоходе нижняя часть реки может встать за 1 сутки. Скорость прохождения льда от Шлиссельбурга до черты города около 19 часов. Для равномерного поступления льда в Неву необходимо, чтобы в Шлиссельбургской губе было достаточно плавучего льда и наблюдались бы ветра С и СВ четверти, ветра остальных румбов отжимают лед.

Обычно р. Нева замерзает скачкообразно. Кромка ледяного покрова то продвигается вверх по течению, то останавливается и смещается вниз из-за колебаний температуры воздуха и изменений густоты речного и озерного ледохода. В отдельные годы на ограниченном участке реки (3-5 км) кромка сдвигается вверх и вниз по 5-7 раз.

В среднем для нижней половины реки скорость продвижения кромки ледяного покрова вверх по течению составляет 0,3 км/сутки на 1° отрицательной температуры воздуха при отсутствии ледохода, 1,0 км/сутки – при редком ледоходе, 2,1 км/сутки – при густом ледоходе. Период замерзания Невы на 46-километровом участке от Большеохтинского моста до мыса Святки колеблется от 2-4 до 15-20 суток.

Максимальная толщина ледяного покрова за зимний период на городском участке р. Невы составляет 15-25 см в мягкую зиму, 35-45 см в среднюю зиму и 60-80 см в суровую. Наибольшей толщины ледяной покров достигает обычно в середине марта.

Продолжительность ледостава на рассматриваемом участке р. Невы в среднем составляет 122 дня.

Естественное разрушение ледяного покрова начинается после устойчивого перехода температуры воздуха через 0° С. Весенний ледоход на р. Неве начинается обычно в конце марта – начале апреля.

Продолжительность речного ледохода невелика и составляет около 3-5 дней. Обычно через неделю начинается озерный ледоход, средняя продолжительность которого составляет 8-12 дней. В отдельные годы продолжительность озерного ледохода достигает 30-40 дней, как это отмечалось в 1907 и 1954 гг.

Несмотря на то, что выносимые из Ладожского озера льдины могут достигать значительных размеров, в процессе продвижения к устью, время которого составляет около 18-20 часов, они интенсивно разрушаются и тают, так что до устья доходит около 4% поступающего в истоке льда.

Льдины, достигающие устья, имеют преимущественно игольчатую структуру.

Обычные сроки наступления ледовых явлений в нижнем течении р. Невы по наблюдениям на посту «р. Нева-Охтинский мост» приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Средние многолетние даты ледовых явлений р. Невы  
в нижнем течении

Пункт	Осенние явления			Весенние явления	
	Сало, за- береги	Ледоход	Ледостав	Ледоход (вскрытие)	Очищение от льда
Охтинский мост	18.11	21.11	03.12	11.04	28.04

## 8.2. Зажорные явления

Процесс замерзания р. Невы сопровождается образованием зажоров на определенных участках реки. Причины, приводящие к зажорам, следующие: неустойчивый ход температуры воздуха; уровень Ладожского озера, определяющий расход Невы; поступление в Неву озерного льда; подвижки ледяного покрова после его установления; скорость продвижения кромки ледостава вверх по реке; морфологические особенности участков (излучины, сужения русла); влияние мостовых переходов и другие менее значительные факторы.

При температуре  $-4..-6$  °С на реке интенсивно образуется шуга и донный лед. Речной и ладожский лед при такой температуре смерзается плохо, в результате возникает зажор, в формировании которого принимает участие весь поступающий к кромке ледостава шуго-ледяной материал. Зажорная масса довольно плотная, на 60-70 % она состоит из льда и на 30-40 % – из воды.

Зажоры льда на Неве образуются почти ежегодно. При этом решающая роль принадлежит величине расхода воды р. Невы. Так, мощные устойчивые зажоры льда отмечаются в многоводные годы при высоком стоянии уровней воды Ладожского озера в осенний период (выше 440 см БС у Шлиссельбурга) и неустойчивом характере погоды.

Продолжительность стояния высоких зажорных уровней составляет в среднем 29 дней, достигая 115 суток (зима 1962-63 гг.). Подвижками охватываются участки протяженностью от 1-2 до 8-12 км.

Весь участок от Большеохтинского моста до мыса Святки (12,5-46 км от устья) является зажорным. Нередко зажор формиру-

ется у Большеохтинского моста, но чаще – у Финляндского ж/д моста. При зажоре русло, забитое шуго-ледяной массой, стесняет течение реки, ниже зажора резко уменьшаются расходы воды, выше «головы зажора» начинаются подъемы уровня на 1,5-2,5 м, достигая в отдельные годы критических отметок 3,5-4,0 м БС (Обуховский з-д – «Большевик»).

Около 80 % льда (от объема 8,8 млн.м<sup>3</sup>) размещается на участке Литейный мост – Ивановское (7,8-45 км от устья). При средней ширине реки на этом участке 420 м и пористости шуги 0,8 это соответствует начальной толщине слоя льда 0,7 м.

Как уже указано выше, в местах сброса теплых вод (ГРЭС 5, 8) часто наблюдаются искусственные полыньи и промоины, обычно в виде сравнительно узких полос воды вдоль берегов. Большая Нева от устья до Благовещенского моста часто вскрывается ледоколами, и значительные по площади участки открытой воды распространяются в теплую зиму до Троицкого моста и даже до с. Рыбацкого.

Ледостав в нижнем течении реки неровный, сторошенный, непрочный. При частых перепадах температур до 0° и выше прочность его резко уменьшается.

Ниже впадения р. Охты Нева резко поворачивает на запад, происходит изменение направления течения – оно отжимается от левого к правому берегу. На этом же участке русло реки искусственно сужено в результате строительства Смольной и Свердловской набережных с широким дорожным полотном вдоль правого и левого берегов. Эти обстоятельства привели к возрастанию скоростей течения. Поэтому здесь при образовании ледостава через 3-4 недели начинает формироваться промоина. Размеры ее колеблются в зависимости от характера зимы: в суровые зимы протяженность промоины уменьшается до 100 м или промоина практически исчезает, в мягкие зимы длина промоины увеличивается до 500 м и более. При обширных размерах промоины в ней образуется шуга. Дополнительным фактором для искусственного увеличения количества шуги служит сбрасываемый в реку снег, убираемый с улиц города. Это происходит в районе завода Шампанских вин (правый берег) и у Смольного, несколько выше Главной водопроводной станции. Шуга, перемещаемая течением реки от левого к правому берегу, способна осложнить эксплуатацию новых водозаборов ГВС, которые плани-

руется разместить у правого берега выше по течению от устья р. Охты.

Зажор в нижнем течении р. Невы рассасывается сам - ни взрывных, ни каких-либо других работ производить нельзя. Весь опыт зажорной службы показывает, что любое вмешательство ведет на этом участке лишь к дополнительным подвижкам льда, росту уровней и уплотнению зажора. На участке реки от Большеохтинского моста (12,5 км) и ниже в течение зимы сохраняется ледостав с редкими промоинами.

### **8.3. Характеристика бытового ледового режима р. Фонтанки**

Ледовый режим р. Фонтанки определяется естественными и антропогенными факторами.

Появление льда наблюдается несколько позднее даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C. Это вызвано инерционностью термических процессов в водной массе Ладожского озера, питающего р. Неву, из которой берет начало р. Фонтанка.

Значительный тепловой запас озерной воды сдвигает даты фаз ледообразования примерно на 10 дней позднее сроков, обычных для безозерных рек Приневской низменности.

Река Фонтанка, подобно другим рукавам Невской дельты, замерзает снизу вверх по течению, хотя из-за многочисленных выпусков сточных вод календарный график продвижения кромки ледостава прослеживается нечетко.

Осенний ледоход, предшествующий на р. Неве ледоставу, на р. Фонтанке выражен слабо, но, в то же время, проявляется заметнее, чем на р. Мойке и, особенно, – на канале Грибоедова.

Характерные для р. Невы зажорно-заторные явления в начале ледостава на Фонтанке не наблюдаются. Замерзает река в первой декаде декабря, но в большинстве случаев это неполный ледостав – с полыньями в начале зимы и разводьями – в феврале-марте.

Невские наводнения в зимний период при подъемах уровней на 0,5 м и более над ординаром приводят к взлому ледяного покрова и локальному торошению льда (прежде всего у мостов), а также – к навалам льда на спусках к воде.

Вскрытие р. Невы происходит сверху вниз по течению, но эта последовательность не характерна для р. Фонтанки, вскрывающейся участками, причем в ряде случаев лед тает на месте. Вскрытие

обычно происходит в начале апреля – на 4-6 дней раньше, чем на р. Неве.

Слабовыраженный весенний речной ледоход на р. Фонтанке представлен, как правило, льдинами, сплывающими из р. Невы.

Несколько более заметен озерный («ладожский») ледоход, но как речной, так и озерный ледоходы не способны на р. Фонтанке оказать значимое воздействие на гидротехнические сооружения.

Календарь наступления фаз ледового режима р. Фонтанки отличается значительными интервалами сроков в зависимости от типа зимы. Особенно велика перебойность (неустойчивость) гидрометеорологических процессов в начале зимы. Средние за многолетний период сроки наступления ледовых фаз приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Средние многолетние даты ледовых явлений на р. Фонтанке

Осенние ледовые фазы			Весенние ледовые фазы	
Появление сала и заберегов	Начало ледохода	Начало ледостава	Вскрытие	Очищение ото льда
16.11	21.11	03.12	07.04	23.04

В период зимних наводнений, когда возможны торошения льда и навалы на спусках к воде, толщина льда обычно невелика – 0,10-0,15 м.

Максимальная толщина льда р. Фонтанки наблюдается в конце февраля и составляет 0,20-0,30 м. В суровые зимы толщина льда достигает показателей 0,40-0,50 м. Следует отметить неравномерность распределения толщины льда по длине и ширине реки. Такая неравномерность вызвана не подсовами льда, как это наблюдается на зажорно-заторных участках р. Невы, а, прежде всего, локальными сбросами теплых вод и загрязнением льда у мостов и парапетов.

В целом, ледовый режим р. Фонтанки можно охарактеризовать как спокойный, не представляющий затруднений для эксплуатаций гидротехнических сооружений: мостов, берегоукреплений, спусков и т.д.

Отсутствие данных регулярных измерений толщины льда р. Фонтанки ставит задачу получения этих сведений расчетными способами.

Максимальная толщина льда определяется, с учетом рекомендаций «Методических указаний по определению ледовых нагрузок на опоры мостов» [17], по формуле

$$h_{л} = \frac{a \cdot \sqrt{\sum |-t^0|}}{(0,8 \cdot h_c + 1)^{0,167}}, \quad (8.1)$$

где:  $a$  – эмпирический коэффициент;

$\sum |-t^0|$  – сумма градусо-дней;

$h_c$  – высота снега на льду, м.

По разновременным результатам эпизодических измерений толщины льда р. Фонтанки, принято:  $a = 0,92$ ;  $h_c = 0,1$  м.

Статистические характеристики максимальных толщин льда р. Фонтанки с учетом картированных зон среднеквадратических отклонений [18], составляют:

–  $\bar{h}_{л} = 25$  см – средняя из ежегодных максимумов толщина льда;

–  $\bar{\sigma}_{л} = 15$  см – среднеквадратическое отклонение ежегодных максимумов толщин льда за зимний период от  $\bar{h}_{л}$ ;

–  $C_v = 0,33$  – коэффициент вариации;

–  $C_s = 0,5$  – коэффициент асимметрии ( $C_s \approx 1,5 \cdot C_v$ ).

Интегральное распределение максимальных толщин льда р. Фонтанки представлено в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Координаты кривой обеспеченности максимальной толщины льда

Обеспеченность, %	1	5	10	25	50	75	90	95	99
Толщина льда, см	48	40	36	30	25	19	15	13	9

Сведения, приведенные в табл. 8.3, следует принимать в качестве ориентировочных оценок максимальной толщины льда. Результаты расчета по формуле (8.1) и региональные статистические характеристики толщины льда не вполне соответствуют условиям ледового режима р. Фонтанки, где природные гидрологические процессы нарушены антропогенным воздействием – в частности, сброс

сами теплых сточных вод и на отдельных участках складированием на льду снега, счищаемого с дорожного полотна набережных.

## 9. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Среднемноголетнее содержание взвешенных веществ в воде р. Фонтанки около 9 мг/л. При сильных и продолжительных северо-северо-восточных ветрах над Ладожским озером содержание взвешенных веществ в воде повышается до 60-80 мг/л, а в экстремальных условиях – до 145 мг/л. Возрастание мутности воды также приурочено к периоду весеннего половодья на притоках Невы и при прохождении на них дождевых паводков. Резкое возрастание мутности обычно непродолжительно, но в предзимний период во время штормов на Ладожском озере повышенная мутность воды может сохраняться несколько дней. Сброс сточных и ливневых вод в р. Фонтанку способен вызвать локальные шлейфы замутненной воды.

Цвет воды в малых водотоках центральных районов Петербурга зеленовато-желтоватый. Весной вода приобретает желтовато-бурый оттенок. Вода довольно прозрачна, и темные предметы видны на глубине 1-2 м, а белые – на глубине 2,0-2,5 м.

В р. Фонтанку осуществляются сбросы сточных и ливневых вод из 83 дождеприемников и выпусков Южного предприятия водотока (ЮПВ). Годовые объемы сточных вод достаточно велики: так, к примеру, в р. Фонтанку за год поступает около 269 тыс. м<sup>3</sup> стоков.

Качество воды р. Фонтанки существенно меняется в зависимости от расположения того или иного выпуска. Ниже выпусков отмечены шлейфы загрязненной воды. В целом, гидрохимические характеристики в устье р. Фонтанки могут быть охарактеризованы результатами химического анализа проб воды, выполненного Северо-Западным УГМС. Эти сведения приведены в табл. 9.1.

Сведения, приведенные в табл. 9.1, характеризуют качество воды на участках, находящихся в зонах водообмена с Невой. Гидрохимические характеристики малых водотоков Невской дельты существенно изменяются по длине. В какой-то мере сведения о качестве воды в устье характеризуют гидрохимическое состояние водотока в целом. Данные, представленные в табл. 9.1, указывают на превы-

шение рыбохозяйственных ПДК<sub>рх</sub>, отмеченное в отношении средних концентраций меди и летучих фенолов. Максимальные значения концентраций нефтепродуктов и показателя БПК-5 также превышают соответствующие ПДК<sub>рх</sub>.

Таблица 9.1

Концентрации загрязняющих веществ в устье р. Фонтанки, мг/л

№ п/п	Ингредиент/показатель	Средний	Максимум	Минимум	ПДК <sub>рх</sub>
1	Железо общее	0,05	0,06	0,05	0,1
2	Взвешенные вещества	2,0	4,1	<2,0	9,25
3	БПК-5	1,0	2,7	<1,0	2
4	Азот аммонийный	0,05	0,09	<0,02	0,4
5	Азот нитратный	0,19	0,40	0,04	9,0
6	Азот нитритный	0,016	0,050	<0,010	0,02
7	СПАВ	0,011	0,050	0,010	0,1
8	Кадмий	<0,0004	0,0004	<0,0004	0,005
9	Марганец	<0,004	–	–	0,01
10	Медь	0,0038	0,0048	0,0031	0,001
11	Свинец	<0,004	–	–	0,006
12	Летучие фенолы	0,005	0,016	<0,001	0,001
13	Нефтепродукты	0,04	0,06	<0,03	0,05
14	рН	7,5	7,55	7,3	6,5-8,5
15	ХПК	22	25	19	30

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дипломного проектирования получены исходные гидрометеорологические данные для обоснования проектных решений по теме «Строительство магистральных выводов НПС «Введенская» (Сенной, Апраксинской, Театральной т/м)».

При выполнении инженерно-гидрометеорологических изысканий использованы:

- материалы Государственного водного кадастра;
- результаты промерных работ ЗАО «Фирма УНИКОМ» (2011 г.);
- результаты инженерно-геологических изысканий ООО «ПетроБур-Сервис»;
- фондовые и архивные материалы.

В дипломном проекте представлены:

- общие сведения об участке и акватории проектирования;
- климатическая характеристика района проектирования;
- гидрологическая характеристика р. Фонтанки.

Особое внимание уделено оценке распределения расходов воды по рукавам водной системы р. Фонтанки. Такая оценка произведена методом математического моделирования. Обоснованы характерные гидрологические сценарии, во многом определяющие условия транспорта наносов, а также направленность и темп русловых деформаций.

В результате изысканий установлены характеристики водности р. Фонтанки (уровни, расходы, скорости течения), включая экстремальные гидрометеорологические сценарии. Условия протекания потока р. Фонтанки благоприятны.

Температура воды практически следует за температурой р. Невы. Ледовый режим реки, в целом, спокойный, воздействия на гидротехнические сооружения невелики.

Суммируя имеющиеся в наличии сведения о русловых деформациях на участке проектирования, следует указать:

- плановые деформации русла р. Фонтанки отсутствуют;
- высотные деформации обладают аккумулятивной направленностью, нарушаемой техногенным переформированием рельефа дна, в частности, - дноуглубительными работами для поддержания проектных габаритов судового хода.

Природный темп заносимости «твердого» дна русла – около 5,4 мм/год. Сколько-нибудь существенный размыв «твердого» дна в русле р. Фонтанки практически исключен, благодаря наличию от-мостки на дне реки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Магистральные выводы МПС «Введенская» (Сенной, Апраксинский, Театральный). Пешеходный мост-теплопровод через р. Фонтанка в створе улицы Введенского канала. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях. ООО «ПетроБурСервис», Арх. №152, СПб, 2012.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000 г.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области. Части II-V. ГИМИЗ, Л., 1966 г.
4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области. Л., Гидрометеиздат, 1988 г.
5. Гидрология устьевой области р. Невы. Под ред. С.С. Байдина, М., Гидрометеиздат, 1965, 383 с.
6. Нежиховский Р.А. Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. Л., Гидрометеиздат, 1988, 224 с.
7. ГОСТ 26775-97 «Габариты подмостовых судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования».
8. Пособия к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы».
9. В.К. Дебольский и соавторы – Динамика русловых потоков и литодинамика прибрежной зоны моря. – М.: Наука, 1994.
10. Обследование участков русла р. Невы в районах подводных переходов газопроводов с целью разработки рекомендаций по учету режима донных деформаций при эксплуатации подводных переходов. НТО, ГГИ, Л., 1983.
11. Левашов А.А. Русловой процесс реки Невы и её возраст/Материал итоговой сессии Учёного Совета РГГМУ, СПб, 26-27 янв. 1998 г., СПб, 1998, с. 69-70.
12. Капитальный ремонт самотечных линий водоприемных оголовков 2-го машинного отделения 1-го подъема ГВС с определением

нового местоположения оголовков. Рабочий проект. Гидрологическое обоснование проектных решений. Шифр № 209-2003.ГД. ЗАО «Фирма УНИКОМ», СПб., 2003.

13. Морской паромно-пассажирский комплекс на Васильевском острове. Декларация о намерениях. Инженерно-гидрологические работы. Шифр № 245-2004.ГД. ЗАО «Фирма УНИКОМ», СПб., 2004.

14. Комплексная реконструкция Южной водопроводной станции. Обоснование инвестиций. Гидрологическое обоснование проектных решений по улучшению условий эксплуатации водозаборных сооружений Южной водопроводной станции. Пояснительная записка. Шифр № 247- 04.ГД.ПЗ. ЗАО «Фирма УНИКОМ», СПб., 2005.

15. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974, 280 с.

16. Рекомендации по расчету трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов. – Л.: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 1981, 100 с.

17. Методические указания по определению ледовых нагрузок на опоры мостов. – М.: ЦНИИС, 1993 (2009).

18. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994 г.