



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

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему Гидрологическое обоснование
проекта перехода газопроводом
р. Черной в створе Ропшинского шоссе

Исполнитель
Н.К. Байрамов
Руководитель
к.т.н., доцент
Г.Н. Угренинов

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

Угренинов

«17» *но* 2016г.

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

Кафедра гидрометрии

Зав. кафедрой,

к.г.н., доцент

Д.И.Исаев

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Гидрологическое обоснование проекта перехода газопроводом р. Черной в створе Ропшинского шоссе

Выполнил: Н.К. Байрамов
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 Топография	6
3 Полевые работы	8
3.1 Промерные работы	8
3.2 Измерение расхода воды	9
3.3 Фотоработы	11
3.4 Камеральная обработка результатов полевых работ	16
3.5 Построение поперечного профиля в морфостворе	17
3.6 Расчеты параметров зависимости расходов от уровней воды	18
4 Краткая климатическая характеристика района проектирования	20
4.1 Температура воздуха	20
4.2 Атмосферное давление	20
4.3 Осадки	21
4.4 Относительная влажность воздуха	22
4.5 Скорость и направление ветра	22
5 Гидрологическая характеристика р. Чёрная	24
5.1 Общие сведения	24
5.2 Водный режим в истоке р. Чёрной	26
5.2.1. Среднегодовые расходы воды в Старопетергофском канале	26
5.2.2 Оценка средних расходов воды, подаваемых в р.Черную	28
5.2.3. Максимальные расходы воды в истоке р.Чёрной	29
5.3 Водный режим на частном водосборе р. Черной	30
5.3.1. Средние расходы притока с частного водосбора р. Чёрной	30
5.3.2 Максимальные расходы притока с частного водосбора за весеннее половодье	34
5.3.3. Максимальные расходы дождевых паводков с частного водосбора р. Черной	37
5.4 Термический режим р. Черной	38
5.5 Бытовой ледовый режим р. Черной	42
5.6 Характеристика естественного режима русла р. Черной	44
5.6.1. Общая характеристика русла р. Черной	44
5.6.2. Исходные данные	44
5.6.3 Характеристики русла р. Черной на участке проектирования	47
5.6.4. Плановые деформации русла р. Черной	48
5.6.5. Вертикальные деформации русла р. Черной	49
Заключение	51
Литература	53

ВВЕДЕНИЕ

Для выполнения дипломного проекта произведены изыскания на реке искусственного происхождения, водный режим которой искажен попусками из Шинкарского пруда. Гидрологические наблюдения на р. Черной не ведутся, тогда как водный и ледотермический режим реки отличается аномальными особенностями.

Полевые работы, выполненные в ходе изысканий, позволили до некоторой степени восполнить недостаток сведений о режиме р. Черной.

При систематизации фондовых материалов Государственного гидрологического института и Всероссийского научно-исследовательского института им. Б.Е. Веденеева установлены косвенные сведения о режиме р. Черной.

В настоящее время водный режим р. Черной находится в ведении фирмы «Экострой», в прошлом ЮЗЭП – Юго-Западный экологический пост. Изыскания произведены с учетом информации, полученной от сотрудников фирмы «Экострой».

1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ УЧАСТКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Участок проектирования расположен в Ленинградской области на территории, прилегающей к производственной зоне «Марьино».

Река Черная – нижний по течению левобережный приток р. Стрелки, представляющей собой основной источник водообеспечения гидросистемы Константиновского дворца (см. план рис. 1.1).

Водосбор р. Черной расположен в пределах Прибалтийской низменности, слабовсхолмленной, занятой смешанными (хвойно-лиственными) лесами и сельскохозяйственными угодьями.

В XVIII веке водосбор р. Черной представлял собою заболоченную равнину, переувлажнение которой определялось ее местоположением как зоны разгрузки подземных вод Ижорской возвышенности. Переувлажнению почво-грунтов способствовало наличие водоупора – глин, достигающих отметок дневной поверхности.

Осушительные работы, произведенные по проекту Энгельмана (1810-е годы), преобразовали местность, увеличив ее сельскохозяйственный потенциал.

Водосбор р. Черной пересечён Ропшинским шоссе, разделившим речной бассейн примерно пополам.

Переход реки газопроводом планируется осуществить в 185 м ниже по течению от Ропшинского шоссе. Местность здесь имеет отметки дневной поверхности порядка 23-24 м БС, плавно понижаясь на восток – в сторону р. Стрелки.



Рис. 1.1. Ситуационный план

2. ИЗУЧЕННОСТЬ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

2.1. Топография

Северная часть водосбора р. Черной – от Старопетергофского канала до Ропшинского шоссе представлена на топографическом планшете М 1:10000, номенклатура 65-4. Состояние местности соответствует условиям 1980 года. Этот планшет в масштабе М 1:20000 представлен на ситуационном плане рис. 2.1.

Южная часть водосбора р. Черной показана на топографической карте М 1:50000, номенклатура О-35-012-4. Состояние местности соответствует периоду 1975-1985 гг.

Створ перехода р. Черной проектируемым газопроводом находится в 185 м ниже по течению от Ропшинского шоссе. Действующая площадь водосбора от истока реки до створа перехода (гидрометрического створа и морфоствора) $F_{Г/СТ} = 15,1 \text{ км}^2$.

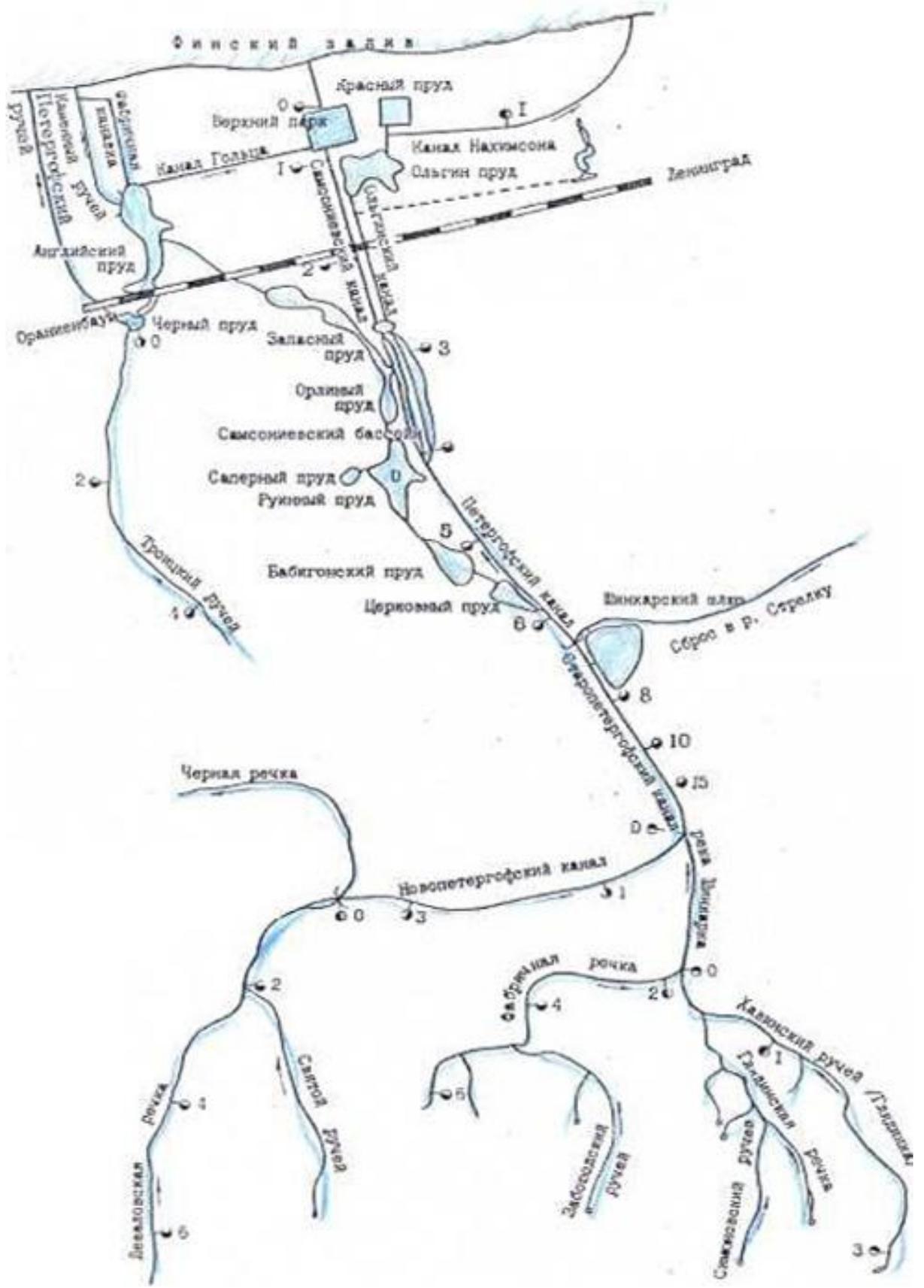


Рис. 2.1. Ситуационный план истока р. Чёрной

3. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

3.1. Промерные работы

Полевые работы выполнены в сентябре 2011 г. группой сотрудников ЗАО «Фирма УНИКОМ».

Состав полевых работ включал:

- рекогносцировочное обследование реки Черной;
- сооружение водомерного поста;
- измерения расходов воды;
- отбор проб донных отложений;
- фотоработы.

Съемка рельефа дна на участке акватории реки Черной выполнена в масштабе 1:500 в заданных границах участка проектирования. Промеры глубин произведены до верха донных отложений (до жидкого грунта) и до твердого дна.

Промеры выполнены гидрометрической штангой по 8 поперечным створам, которые располагались в целом нормально к общему направлению береговой линии.

Среднее расстояние между промерными поперечниками составило 5 м.

Съемка рельефа дна произведена с надувной лодки.

При проведении гидрологических работ на участке проектирования был сооружен свайный водомерный пост.

3.2. Измерение расхода воды

Измерение расхода воды р. Черной производилось 29 сентября 2011.

Расход вод измерен поверхностными поплавками. Произведен пуск 14 поплавков.

По длине водотока назначен базис длиной, соответствующей требованиям «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам» (Вып. 2, часть II, 1975 г.).

В гидростворе выполнено измерение глубин.

Скоростные вертикали назначались в зависимости от ширины водотока и в соответствии с условиями производства работ.

Ширина р. Чёрной по урезам в гидростворе составила 4,5 м.

В табл. 3.1 приведены результаты промеров глубин по гидроствору, а на рис. 3.1 профиль рельефа дна в гидрометрическом створе.

Таблица 3.1

Промер глубин по гидроствору р. Чёрной

Точки	Расстояние от левого берега, м	Глубина, м	Отметка, м БС
Урез левого берега	0	0	20,09
1	0,75	0,45	19,64
2	1,50	0,55	19,54
3	2,25	0,45	19,64
4	3,00	0,46	19,63
5	3,75	0,51	19,58
Урез правого берега	4,5	0	20,09

Результаты измерения расхода воды представлены в табл. 3.2.

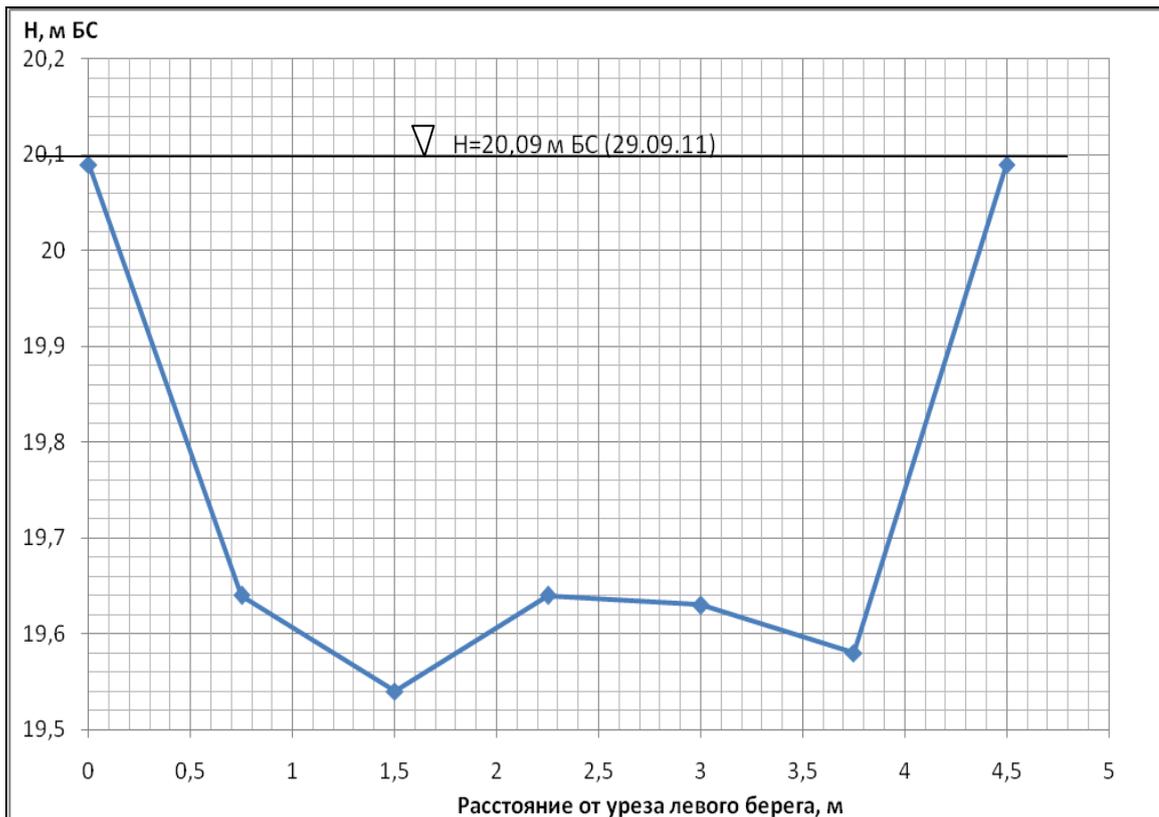


Рис. 3.1. Профиль рельефа дна р. Черной в гидростворе

Таблица 3.2

Измеренный расход воды р. Черной. Гидроствор расположен в 185 м ниже по течению от Ропшинского шоссе

Дата	Уровень воды, м БС	Расход воды, м ³ /с	Площадь водного сечения, м ²	Скорость, м/с		Ширина, м	Смоченный периметр, м	Глубина, м		Гидравлический радиус, м	Способ измерения
				сред.	макс.			сред.	макс.		
29.09.11	20,09	0,96	1,82	0,53	1,06	4,50	4,80	0,40	0,55	0,38	поплав.

3.3. Фотоработы

В ходе рекогносцировочного обследования р. Чёрной на участке проектирования была произведена фотосъемка (см. рис. 3.2-3.11).



Рис. 3.2. Берегоукрепление левого берега выше по течению от участка проектирования



Рис. 3.3. Крутой правый берег р. Черной



Рис. 3.4. Подмытый правый берег при высоких уровнях воды



Рис. 3.5. Размытые глинистые породы берега



Рис. 3.6. Река Черная. Участок проектирования



Рис. 3.7. Русло р. Чёрной на участке проектирования



Рис. 3.8. Подмытый правый берег р. Чёрной



Рис. 3.9. Заросшие берега р. Черной



Рис. 3.10. Русло р. Черной



Рис. 3.11. Река Черная ниже по течению от участка проектирования

3.4. Камеральная обработка результатов полевых работ

Обработка результатов измерения расхода воды позволила установить, что стрежень потока в створе перехода газопроводом смещен к правому берегу, где скорость течения достигала 1,06 м/с.

Иловатые отложения на твердом глинистом дне имеют толщину преимущественно 3-5 см. Только у берегов отмечено местное возрастание толщины слоя иловатых отложений до 11-14 см.

Переход от скорости на поверхности воды к среднему по вертикали значению произведен по формуле А.В. Караушева [И.П.Спицын, В.А. Соколова. Общая и речная гидравлика – Л.: Гидрометеиздат, 1990 г.]:

$$U_y = U_0 \sqrt{1 - \left(0.57 + \frac{3.3}{C}\right) \cdot \frac{y^2}{h^2}}, \quad (3.1)$$

где: y - расстояние от поверхности воды до горизонта определения скорости, м; U_y , U_0 - скорость течения на глубине y и на поверхности воды, м/с; h – глубина на скоростной вертикали, м; C – скоростной коэффициент А.Шези, определяемый как

$$C = \frac{1}{n} R^{0.167} = \frac{1}{0,025} \cdot 0.38^{0.167} = 34 \text{ (м}^{0.5}/\text{с)}, \quad (3.2)$$

при этом $n = 0,025$ – коэффициент шероховатости; $R = 0,38$ – гидравлический радиус, м.

При соотношении $\frac{y}{h} = 0,6$ скорость U_y соответствует средней скорости.

Уклон водной поверхности определен путем нивелировки поверхности воды на базе протяженностью 32,7 м. Перепад отметок составил 0,016 м, а уклон $i = 0,49$ ‰.

3.5. Построение поперечного профиля в морфостворе

Исходные данные для построения поперечного профиля в морфостворе приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Исходные данные для построения поперечного профиля в морфостворе

Точки	Расстояние от постоянного начала на левом берегу, м	Отметка, м БС
1	0	22,64
2	3,50	21,48
3	9,1	21,11
4	11,1	20,09
5	11,85	19,64
6	12,6	19,54
7	13,35	19,64
8	14,1	19,63
9	14,85	19,58
10	15,6	20,09
11	16,8	22,68
12	24,4	23,23

На рис. 3.12 представлен поперечный профиль в морфостворе.

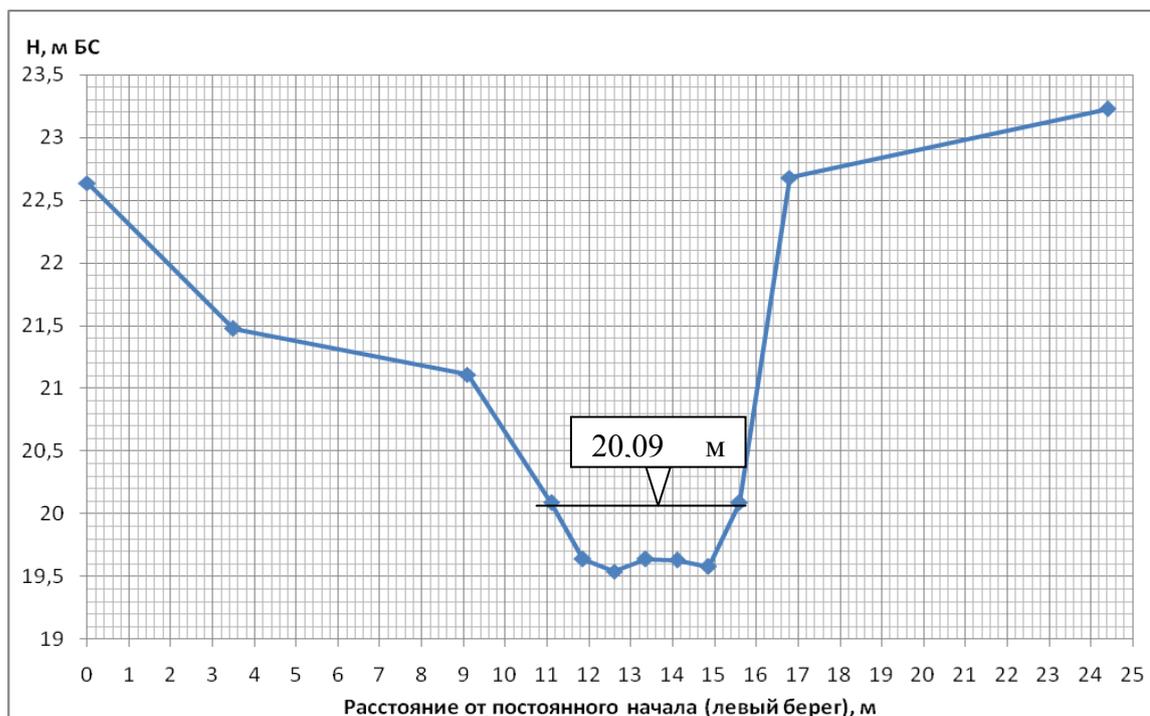


Рис. 3.12. Поперечный профиль р. Чёрной в морфостворе

3.6. Расчеты параметров зависимости расходов от уровней воды

Для построения кривой расходов воды были произведены вычисления по формуле А. Шези

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i} , \quad (3.3)$$

где: H – отметка уровня воды, м БС;

n – шероховатость русла;

i – уклон водной поверхности, в долях 1,0;

B – ширина реки, м;

$h_{\text{ср}}$ – средняя глубина, м;

R – гидравлический радиус, м;

C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

ω – площадь водного сечения реки, м²;

Q – расход реки, м³/с.

Показатели параметров формулы (3.3) назначались в соответствии с особенностями пропускной способности русла при заданных отметках уровня воды H . Расчеты произведены в диапазоне изменения уровней воды до отметки $H = 22,5$ м БС, т.е. в пределах русловой части морфоствова. Результаты расчетов сведены в табл. 3.4, а кривая $Q = f(H)$ представлена на графике рис. 3.13.

Таблица 3.4

Исходные данные для построения кривой расходов воды

H	n	i	B	$h_{\text{ср}}$	R	C	$\sqrt{R \cdot i}$	ω	Q
22,5	0,04	0,0005	15,7	1,58	1,55	27,0	0,0278	24,87	18,7
22,0	0,04	0,00055	14,1	1,23	1,21	25,8	0,0258	17,37	11,6
21,5	0,032	0,0006	12,2	0,89	0,88	30,6	0,0230	10,87	7,65
21,0	0,03	0,0005	6,40	1,00	0,95	33,0	0,0218	6,37	4,58
20,5	0,03	0,00049	5,00	0,72	0,68	31,3	0,0183	3,62	2,07
20,09	0,025	0,00049	4,50	0,40	0,38	34,0	0,0136	1,82	0,96

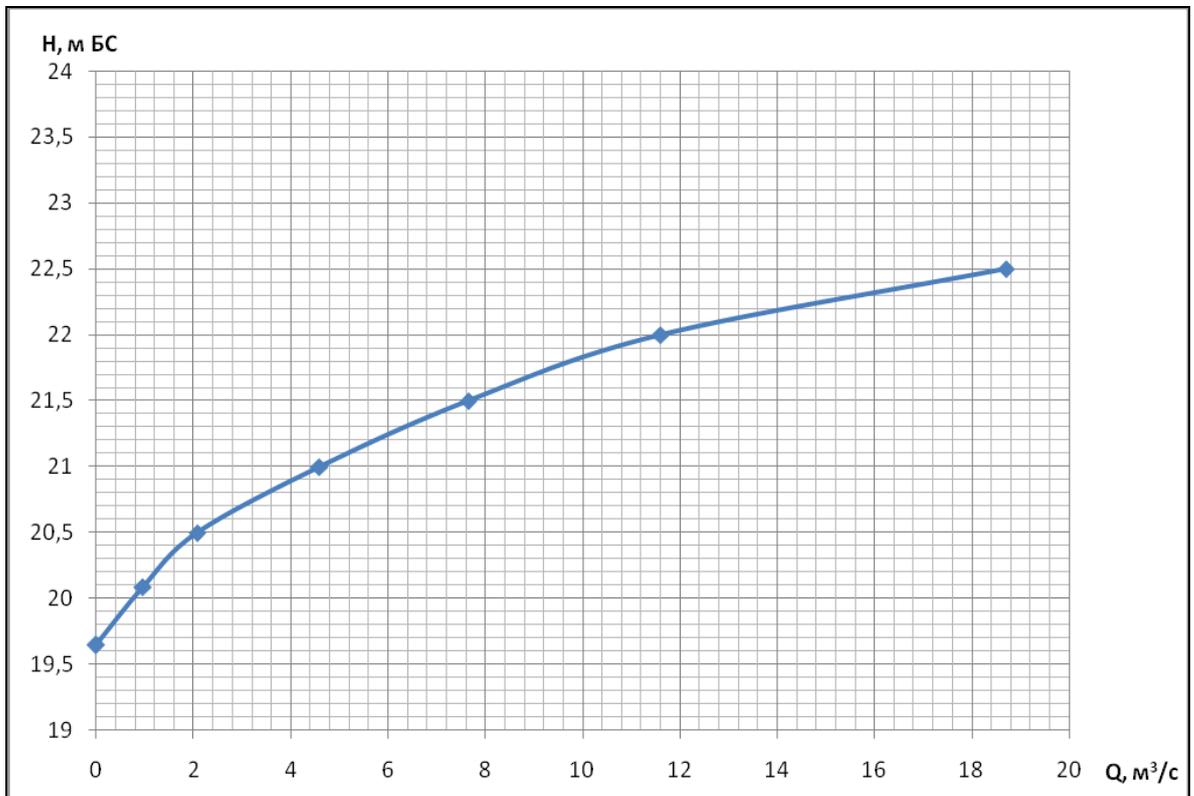


Рис. 3.13. График зависимости расходов от уровней воды
в морфостворе р. Черной

4. КРАТКАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

4.1. Температура воздуха

Средняя годовая температура воздуха по данным метеостанции Ломоносов равна +4,1°С. Наиболее теплый месяц – июль со среднемесячной температурой +17,4°С (максимальная +33°С), наиболее холодный месяц – февраль со среднемесячной температурой минус 8,0°С (минимальная температура – минус 35°С).

Многолетние данные о среднемесячной температуре воздуха по метеостанции Ломоносов приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

Среднемесячные значения температуры воздуха, °С
(метеостанция Ломоносов)

Характеристика	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя	-7,6	-8,0	-4,6	2,0	8,9	14,3	17,4	15,7	10,9	5,1	-0,2	-4,8	4,1
Абсолютный максимум	6	6	13	24	31	31	33	31	27	21	12	10	33
Абсолютный минимум	-35	-35	-31	-26	-6	2	7	3	-2	-13	-22	-34	-35

4.2. Атмосферное давление

Среднее годовое значение атмосферного давления изменяется в диапазоне от 1010,5 до 1015,1 гПа, а размах колебаний среднего месячного значения давления в течение года составляет 4,6 гПа.

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 и декабрю (см. табл. 4.2).

Таблица 4.2

Среднемесячные значения атмосферного давления, гПа
(метеостанция Ломоносов)

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
12,8	15,0	14,5	12,8	15,1	11,8	10,5	11,6	11,4	12,6	12,1	10,9	12,6

Примечание: в таблице приведены 3 последние значащие цифры. Первые разряды тысяч и сотен (10) во всех значениях опущены. То есть значение 12,8 следует читать как 1012,8.

4.3. Осадки

Среднегодовой слой выпадающих осадков составляет 666 мм/год. Наибольшее среднемесячное количество осадков отмечается в августе и составляет 88 мм, наименьшее – в марте (35 мм). В табл. 4.3 приведены сведения о количестве выпадающих осадков по метеостанции Ломоносов.

Суточный максимум осадков в Ломоносове колеблется от 13 мм в феврале до 58 мм в августе (см. табл. 4.3). Наименьшее количество осадков выпадает в зимний период (февраль-март).

Таблица 4.3

Данные об осадках (метеостанция Ломоносов)

Осадки	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Среднемесячные, мм/мес	52	47	35	38	47	58	66	88	68	56	60	51	666
Суточные максимумы, мм/день	19	13	19	23	32	47	49	58	37	33	20	18	58

4.4. Относительная влажность воздуха

Средняя годовая относительная влажность воздуха составляет 80% (см. табл. 4.4). Наибольшая среднемесячная относительная влажность воздуха наблюдается в ноябре-декабре, наименьшая в мае-июне.

В табл. 4.4 приведены сведения о среднемесячных значениях относительной влажности воздуха по м/ст Ломоносов.

Таблица 4.4

Годовой ход относительной влажности воздуха, %

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ломоносов	86	84	80	76	71	71	74	78	80	83	86	87	80

4.5. Скорость и направление ветра

Сведения о сезонном ходе среднемесячной скорости ветра над Невской губой по м/ст Ломоносов представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Годовой ход модуля средней скорости ветра, м/с

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ломоносов	5,4	5,2	4,9	4,7	4,9	5,0	4,6	4,5	5,0	5,5	5,7	5,5	5,1

Повторяемость ветра различной скорости и направлений за период ледовых явлений (ноябрь-апрель) и за период открытой воды (май – октябрь) даны в табл. 4.6-4.7.

Таблица 4.6

Повторяемость ветра различной скорости за период ледовых явлений (ноябрь-апрель), % ст. Ломоносов

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Σ
0,5	0,68	0,86	1,6	2,0	1,7	2,1	2,1	1,2	12,24
3,5	1,9	2,6	4,5	7,7	6,8	9,3	8,7	5,0	46,5
7,5	1,4	1,8	3,2	5,0	3,9	7,0	5,9	3,2	31,4
11,5	0,33	0,53	1,1	1,0	0,9	1,62	1,92	0,87	8,27
15,5	0,04	0,13	0,27	0,14	0,11	0,27	0,40	0,19	1,55
19	0	0	0,02	0	0	0,01	0,01	0	0,04
Σ	4,35	5,92	10,69	15,84	13,41	20,3	19,03	10,46	100

Таблица 4.7

Повторяемость ветра различной скорости за период открытой воды (май-октябрь), % ст. Ломоносов

Скорость ветра, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Σ
0,5	0,7	1,07	1,2	1,3	1,3	2,3	2,6	1,3	11,77
3,5	2,9	4,3	5,2	5,8	6,1	11,4	9,5	6,3	51,5
7,5	2,5	3,9	3,0	2,1	2,5	5,4	5,7	4,7	29,8
11,5	0,60	1,2	0,62	0,22	0,20	0,64	1,3	1,1	5,88
15,5	0,12	0,17	0,12	0	0,03	0,09	0,27	0,18	0,98
19	0,01	0	0,01	0	0,0	0,0	0,03	0,02	0,07
Σ	6,83	10,64	10,15	9,42	10,13	19,83	19,4	13,6	100

5. ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Р. ЧЕРНОЙ

5.1. Общие сведения

Река Черная искусственный водоток, устроенный для сброса излишков воды из Старопетергофского канала в р. Стрелку.

Водообеспечение системы фонтанов, каналов и прудов Петергофского дворца и парка потребовало сооружения специального канала, подводящего родниковую воду карстового района Ижорской возвышенности.

Несмотря на высокую естественную зарегулированность подземного питания при наступлении циклов маловодных засушливых лет, случающихся и на Северо-Западе России, водообеспечение фонтанов и всей гидросистемы Петергофского дворцового комплекса потребовало создания дополнительного искусственного регулятора в виде Шинкарского пруда с шлюзом. Создание этого гидротехнического сооружения датируется 1720-1721 гг. Проектировщик – инженер В.Г. Туволков.

В прошлом столетии Шинкарский пруд вполне обеспечивал водой гидросистему Петергофского дворцового комплекса даже в крайне маловодные циклы 1937-1940 гг. и 1972-1973 гг.

Створ проектируемого перехода р. Черной газопроводом расположен в 185 м ниже по течению от Ропшинского шоссе. Водность реки в этом створе имеет два источника питания:

- сбросы воды из Старопетергофского канала через Шинкарский шлюз;
- приток воды с частного водосбора р. Черной от Старопетергофского канала до Ропшинского шоссе.

Источники питания существенно отличаются по многим параметрам:

- по внутригодовому распределению водности;
- по скорости реакции на изменение метеорологических условий;
- по ледотермическим характеристикам;
- по качеству воды, в частности: по содержанию кальция и магния (по жесткости), по загрязненности поллютантами (прежде всего, органического происхождения).

Расчеты водности р. Черной произведены с использованием сведений о водности водотоков-аналогов: р. Стрелки – д. Олики; р. Чермы – д. Якушино и р. Коваши – д. Лендовщина.

Ледотермический режим р. Черной отмечается своеобразием: в холодный сезон река питается преимущественно подземной водой, имеющей повышенную температуру, по сравнению с окрестными водотоками; в теплое время года – напротив, температура воды относительно низкая, если водность близка к средней или превышает средние показатели. В засушливые годы температура воды летом незначительно отличается от температуры окрестных малых водотоков, исключая Старопетергофский канал и р. Стрелку.

Соответственно термическому режиму формируется ледовый режим р. Черной: замерзает река в среднем несколько позднее окрестных водотоков, а вскрывается раньше.

Русловые процессы отражают два фактора: искусственное происхождение реки и постепенное развитие естественных деформаций русла – плановых и вертикальных. Особого внимания заслуживает направленность и темп русловых деформаций в створе перехода газопроводом. В настоящее время имеющаяся здесь излучина выражена сравнительно слабо, но тенденция к размыву правого берега четко прослеживается и подлежит количественной оценке.

5.2. Водный режим в истоке р. Черной

5.2.1. Средние расходы воды в Старопетергофском канале

Река Черная берет начало из Старопетергофского канала, подающего воду к Комплексу фонтанов Петродворца. Вода в р. Черную поступает через Шинкарский шлюз, регулирующий водообеспечение фонтанов, водотоков и водоемов Петергофского дворцового комплекса.

Инструментальные наблюдения за расходами воды, подаваемыми через шлюз в р. Черную, не производятся. Нет надежных сведений и о водности Старопетергофского канала выше и ниже по течению от Шинкарского шлюза.

Водность Старопетергофского канала до Шинкарского шлюза определена по аналогии с водностью р. Стрелки в гидростворе деревни Олики. Гидрологический режим обоих водотоков отличается сходством: питание преимущественно подземными водами; выровненный характер внутри годового распределения водности; четко выраженное увеличение водности во второй – третьей декадах апреля и первой декаде мая.

Гидрометрические работы, произведенные в сентябре 2011 года, показывают, что однофазная водность обоих водотоков отличается примерно на $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$, причем водность Старопетергофского канала больше, чем водность р. Стрелки – д. Олики.

Данные о стоке р. Стрелки в створе д. Олики за 1971 – 1986 гг. приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Среднемесячные и среднегодовые расходы воды

р. Стрелки в створе д. Олики, м³/с

год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	среднее
1971	1.53	1.12	2.52	4.36	2.16	1.38	1.24	1.39	1.46	1.36	0.92	1.00	1.70
1972	0.78	0.72	0.99	1.55	0.88	0.65	0.82	0.74	0.89	1.15	0.69	0.72	0.88
1973	0.61	0.52	1.13	1.04	0.44	0.52	0.49	0.46	0.88	1.33	1.12	0.82	0.78
1974	0.80	1.15	1.19	2.07	1.37	2.02	2.03	2.90	2.34	2.10	2.10	2.82	1.91
1975	2.46	1.82	1.99	2.62	1.80	1.27	1.24	1.03	1.12	1.33	0.69	0.78	1.51
1976	0.66	0.47	0.87	3.38	2.08	1.89	1.46	1.24	1.11	1.22	1.06	1.31	1.40
1977	0.71	0.70	1.26	2.84	1.71	1.28	1.27	1.09	1.43	1.53	1.61	1.64	1.42
1978	1.67	0.94	1.18	3.23	1.65	1.21	1.39	1.59	1.88	2.39	2.20	1.84	1.76
1979	1.60	1.34	1.71	2.55	1.63	1.02	1.13	1.17	1.36	1.44	1.21	1.74	1.49
1980	1.21	1.40	1.10	2.60	1.30	1.04	1.14	1.12	1.05	1.40	1.73	1.79	1.41
1981	1.60	1.41	2.26	3.07	2.24	2.23	1.68	1.39	1.74	2.32	2.31	1.95	2.02
1982	1.56	1.18	2.01	3.95	2.53	2.21	1.86	1.39	1.62	1.83	1.82	1.86	1.99
1983	2.10	1.49	2.26	4.06	2.48	1.55	1.26	1.12	1.66	1.64	1.76	2.32	1.98
1984	1.94	1.36	1.32	5.34	2.66	1.78	1.53	1.30	1.79	2.61	2.23	1.74	2.13
1985	1.43	1.29	1.31	2.52	1.94	1.35	1.22	1.33	1.93	2.21	1.92	2.08	1.71
1986	1.33	1.70	2.42	3.28	2.00	1.66	1.64	1.56	3.32	3.06	2.53	2.59	2.26
среднее	1.49	1.23	1.61	3.08	1.85	1.50	1.36	1.43	1.71	1.81	1.62	1.69	1.70

С учетом систематической невязки, средние расходы воды в Старопетергофском канале (выше по течению от Шинкарского шлюза) представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Средние расходы воды в Старопетергофском канале (до шлюза), м³/с

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1,70	1,44	1,82	3,29	2,06	1,71	1,57	1,64	1,92	2,02	1,83	1,90	1,91

5.2.2. Оценка средних расходов воды, подаваемых в р. Черную

Анализ фондовых гидрологических материалов, результатов гидрометрических работ и оценок распределения водности Старопетергофского канала, сообщенных сотрудниками фирмы «Экострой», позволяют приблизительно установить принцип водообеспечения фонтанного комплекса ручьев, каналов и прудов Петродворца.

Минимально допустимый расход, подаваемый в парковую водную систему, принят равным $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует расходу обеспеченностью $P=95\%$ (повторяемость 1 раз в 20 лет). Этот расход определен по аналогии с минимальной водностью р. Стрелки в д. Олики, где $Q_{P=95\%}^{\text{Олики}} = 0,22 \text{ м}^3/\text{с}$. С учетом несколько большей водности Старопетергофского канала расход $Q_{P=95\%}^{\text{Олики}}$ домножен на соотношение годовых норм водности $\bar{Q}_n / \bar{Q}_{\text{Олики}}$, где $\bar{Q}_n = 1.91 \text{ м}^3/\text{с}$ – норма годового расхода в Старопетергофском канале, $\bar{Q}_{\text{Олики}} = 1,70 \text{ м}^3/\text{с}$ - то же в створе д. Олики на р. Стрелке.

Расход обеспеченностью $P = 95\%$ обычно рассматривается как расход санитарного попуска, обеспечивающего необходимую промывку гидросистемы Петергофского дворцового комплекса.

По сведениям сотрудников фирмы «Экострой», для штатной работы фонтанов достаточен среднесуточный расход около $Q_{\text{ср}} = 1,00 \text{ м}^3/\text{с}$, подаваемый в водную систему Петергофского парка.

Период сезона фонтанов в среднем с 15 мая по 15 октября.

В апреле-мае производится накопление воды в Шинкарском пруду. Объем ежегодно изымаемой из стока Старопетер-

гофского канала и накапливаемой талой воды составляет в среднем около

$$\Delta V = 30,5 \cdot 86400 \cdot \sum_{i=VI}^{i=IX} (2,00 - \bar{Q}_{n,i}) = 3056832(\text{м}^3),$$

Где $\bar{Q}_{n,i}$ - средние расходы воды Старопетергофского канала за i - ый месяц.

С учетом накопления воды в Шинкарском пруду, средние расходы воды, сбрасываемой в р. Черную, составляют величины, приведенные в табл. 5.3. Майский и октябрьский расходы в истоке р. Черной учитывают подачу воды в гидросистему Петродворца в течение 15 дней каждого месяца.

Таблица 5.3

Средние расходы воды в истоке р. Черной, м³/с

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1,45	1,19	1,57	1,90	1,44	0,71	0,57	0,64	0,92	1,40	1,58	1,65	1,25

По достижении отметки нормального подпорного уровня в Шинкарском пруду избыточная вода сбрасывается через шлюз в р. Черную.

5.2.3. Максимальные расходы воды в истоке р. Черной

В ходе инженерно-гидрометеорологических изысканий не обнаружен однозначно трактуемый регламент сброса в р. Черную через Шинкарский шлюз. Однако, по фондовым материалам Государственного гидрологического института и Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева, установлено, что максимальный расход попуска в

р. Черную, повторяемостью 1 раз в 100 лет, составляет $Q_{max,P=1\%} = 18,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Статистические характеристики максимальных расходов в истоке р. Черной таковы: средний из максимальных расходов, по аналогии с водностью р. Стрелки у д. Олики, равен $Q_{max} = 7,96 \text{ м}^3/\text{с}$, коэффициент вариации максимумов водности $C_V = 0,40$, а коэффициент асимметрии $C_S = 1,20$.

С использованием этих параметров распределения максимальных расходов, получены значения максимумов сброса в р. Черную, приведенные в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Максимальные расходы в истоке р. Черной

Обеспеченность, %	1	5	10
Расходы, $\text{м}^3/\text{с}$	18,0	13,9	12,1

Согласно поперечному профилю в морфостворе (рис. 3.13) и зависимости $Q = f(H)$ (рис. 3.14), при расходе в истоке р. Черной порядка $18,0 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе проектируемого перехода газопроводом вода достигает отметок бровки коренного левого берега р. Черной. В действительности, возможен больший расход (той же обеспеченности) в створе перехода газопроводом, т.к. весьма вероятно наложение однофазных максимумов водности в истоке р. Черной и притока с частного водосбора площадью $F_{\text{вдсб}} = 15,1 \text{ км}^2$.

5.3. Водный режим на частном водосборе р. Черной

5.3.1. Средние расходы притока с частного водосбора р. Черной

Ввиду отсутствия регулярных гидрологических наблюдений на р. Черной, расчет гидрологических характеристик притока с частного водосбора произведен с использованием сведений о

водности реки-аналога, в качестве которого принята р. Черма – д. Якушино.

Основные характеристики реки-аналога приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Основные характеристики реки-аналога

Характеристика	р. Черма – д. Якушино
Расстояние от истока, км	10
Площадь водосбора, км ²	32,8
Длина реки, км	48
Залесенность, %	40
Заболоченность, %	53
Озерность, %	0
Средний уклон реки, ‰	1,46
Средневзвешенный уклон реки, ‰	2,40
Средний уклон водосбора, ‰	2,90
Средняя высота водосбора, м	66

Статистические характеристики среднегодовых расходов р. Чермы даны в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Статистические характеристики среднегодовых расходов р. Чермы – д. Якушино

$\bar{Q}_{\text{Черма}}, \text{ м}^3/\text{с}$	C_V	C_S
0,28	0,32	0,50

Расходы воды р. Чермы в створе д. Якушино пересчитаны применительно к р. Черной по формуле:

$$Q_{\text{вдсб}} = Q_{\text{Черма}} \cdot \frac{F_{\text{Г/СТ}}}{F_{\text{Черма}}}, \quad (5.1)$$

где $Q_{\text{вдсб}}$ – расходы воды р. Черной в проектном створе; $Q_{\text{Черма}}$ – расходы воды р. Чермы в створе д. Якушино; $F_{\text{Г/СТ}}$ – площадь водосбора р. Черной в створе проектирования, равная 15,1 км²; $F_{\text{Черма}}$ – площадь водосбора р. Чермы в створе д. Якушино, равная 32,8 км².

В соответствии с формулой (5.1), норма годового расхода р. Черной в створе перехода газопроводом составляет

$$\bar{Q}_{\text{вдсб}} = \bar{Q}_{\text{Черма}} \cdot \frac{F_{\text{Г/СТ}}}{F_{\text{Черма}}} = 0,28 \cdot \frac{15,1}{32,8} = 0,13 \text{ (м}^3\text{/с)}, \quad (5.2)$$

Средние за месяц расходы притока с частного водосбора р. Черной представлены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Средние расходы притока воды с частного водосбора р. Черной

Характеристика водности	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Относительный показатель водности, $k_{a,i} = \frac{\bar{Q}_{a,i}}{\bar{Q}_a}$	0,43	0,37	0,67	4,66	2,01	0,27	0,14	0,25	0,43	0,77	1,07	0,93	1,0
Расход притока, $\bar{Q}_{\text{вдсб}}$, м ³ /с	0,056	0,048	0,087	0,61	0,26	0,035	0,018	0,032	0,056	0,10	0,14	0,12	0,13

Примечание:

$\bar{Q}_a = \bar{Q}_{\text{Черма}} = 0,28 \text{ м}^3/\text{с}$ – норма расхода р. Чермы - д. Якушино;

$\bar{Q}_{a,i}$ - норма расхода воды р. Чермы за i - ый месяц;

$\bar{Q}_{\text{вдсб},i} = \bar{Q}_{\text{вдсб}} \cdot k_{a,i}$.

Средние расходы воды в створе перехода газопроводом, рассчитаны как

$$\bar{Q}_{\text{Г/ст},i} = \bar{Q}_{\text{ш},i} + \bar{Q}_{\text{вдсб},i}, \quad (5.3)$$

где $\bar{Q}_{\text{ш},i}$ - средние расходы в истоке р. Черной за i - ый месяц, представленные в табл. 5.3.

Результаты расчетов расходов воды в створе перехода газопроводом сведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Средние расходы воды Старопетергофского канала (Q_n), сбросы через Шинкарский шлюз в р. Черную ($Q_{\text{ш}}$), расходы притока с частного водосбора ($Q_{\text{вдсб}}$) и расходы в створе перехода газопровода ($Q_{\text{Г/ст}}$)

Расходы, м ³ /с	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Q_n	1,70	1,44	1,82	3,29	2,06	1,71	1,57	1,64	1,92	2,02	1,83	1,90	1,91
$Q_{\text{ш}}$	1,45	1,19	1,57	1,90	1,44	0,71	0,57	0,64	0,92	1,40	1,58	1,65	1,25
$Q_{\text{вдсб}}$	0,056	0,048	0,087	0,61	0,26	0,035	0,018	0,032	0,056	0,10	0,14	0,12	0,13
$Q_{\text{Г/ст}}$	1,51	1,24	1,66	2,51	1,70	0,75	0,59	0,67	0,98	1,50	1,72	1,77	1,38

5.3.2. Максимальные расходы притока с частного водосбора за весеннее половодье

Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья для рек района проектирования выполнен по формуле, рекомендованной СП 33-101-2003 [10] и «Пособием...» [11]:

$$Q_{P\%} = K_0 \cdot h_{P\%} \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \frac{F}{(F + f)^n} \quad (5.4)$$

где $Q_{P\%}$ - максимальный мгновенный расход воды расчетной обеспеченности P %, м³/с;

K_0 - параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; рассчитывается обратным путем из формулы (5.4) для реки-аналога;

$h_{P\%}$ - слой суммарного весеннего стока (без срезки подземного питания) той же обеспеченности, мм; определяют в зависимости от коэффициента вариации C_V (лист 8, [12]) и отношения C_S/C_V (лист 9, [12]), а также среднего многолетнего слоя стока h_0 (лист 6, [12]);

μ - коэффициент, учитывающий различие коэффициентов вариации слоя стока и максимальных расходов воды половодья (неравенство статистических параметров), определяется по табл. 9 [11];

δ - коэффициент, учитывающий снижение максимальных расходов воды на реках, зарегулированных проточными озерами, при $f_{оз} < 2$ % $\delta = 1$;

δ_1, δ_2 - коэффициенты, учитывающие снижение максимальных расходов воды на заболоченных (при заболоченности менее 2 % $\delta_1=1$) и залесенных водосборах соответственно;

F – площадь водосбора расчетной реки, км²;

f – площадь водосбора, начиная с которой наблюдается редукция стока по площади, км² (табл. 10 из работы [11]);

n – показатель степени редукции (табл. 10 [11]).

Значения $\delta, \delta_1, \delta_2$ рассчитывают по формулам:

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot f_{оз}}; \quad \delta_1 = 1 - \beta \cdot \lg(0,1 \cdot f_б + 1);$$
$$\delta_2 = \frac{\alpha}{(1 + f_л)^n}, \quad (5.5)$$

где $f_{оз}, f_б, f_л$ - соответственно озерность, заболоченность и залесенность водосбора;

c, β, α, n устанавливают по табл. 20-22 в работе [11].

При расчете значения коэффициента дружности весеннего половодья использованы сведения о максимальной водности рек-аналогов: р. Стрелка – д. Олики, р. Коваши – д. Лендовщина, р. Черма – д. Якушино, характеристики которых приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Основные характеристики водосборов

Характеристика	р. Стрелка – д. Олики	р. Коваши – д. Лендовщина	р. Черма – д. Якушино
Расстояние от истока, км	13	22	10
Площадь водосбора, км ²	94,0/23,2	505/88,7	32,8
Длина реки, км	32,4	38	48
Расстояние от устья до расчетного створа, км	19,4	16	
Залесенность, %	38	60	40
Заболоченность, %	1	3	53
Озерность, %	<1	<1	0
Средневзвешенный уклон реки, ‰	4,61	0,85	2,40
Средний уклон водосбора, ‰	13,7	12,6	2,90

Для расчета максимальных расходов воды 1% обеспеченности р. Черной установлены следующие параметры: $F = 15,1$ км²; $f_{оз} = 0\%$; $f_6 = 30\%$; $f_л = 60\%$; $h_0 = 130$ мм; $C_V = 0,35 \cdot 1,25 = 0,44$; $C_S = 3 C_V$; $K_0 = 0,004$; $k_{1\%} = 2,42$, $k_л = 0,96$; $h_{1\%} = 302$ мм; $\mu_{1\%} = 1$; $f = 1$ км²; $n = 0,17$; $\delta = 1$; $\delta_1 = 0,58$; $\delta_2 = 0,40$. Таким образом, максимальный расход воды весеннего половодья 1% обеспеченности составляет $Q_{1\%} = 2,64$ м³/с (см. табл. 5.10).

В табл. 5.10 представлены весенние расходы повторяемостью 1 раз в 100, 20 и 10 лет.

Таблица 5.10

Максимальные расходы воды весеннего половодья р. Черной различной обеспеченности, м³/с

Обеспеченность, %		
1	5	10
2,64	1,93	1,61

5.3.3. Максимальные расходы дождевых паводков с частного водосбора р. Черной

Максимальные расходы воды паводков малых рек рассчитывают по формуле предельной интенсивности [10, 11]:

$$Q_P = A_{1\%} \cdot \varphi \cdot H_{1\%} \cdot F \cdot \delta \cdot \lambda_P, \quad (5.6)$$

где $A_{1\%}$ - максимальный модуль стока обеспеченностью 1%, выраженный в долях произведения $\varphi \cdot H_{1\%}$ при $\delta = 1$; определяется по табл. 9 [11] в зависимости от гидроморфологической характеристики русла исследуемой реки Φ_P , продолжительности склонового добега $\tau_{СКЛ}$ (мин) и района, принимаемого по листу 14 [11];

$H_{1\%}$ - максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения P , равной 1%; определяется по карте (лист 14 [12]);

φ - сборный коэффициент стока.

Расчет гидроморфологической характеристики русла исследуемой реки Φ_P производят по формуле:

$$\Phi_P = \frac{1000 \cdot L}{m_p \cdot I_p^{m_1} \cdot F^{0.25} (\varphi \cdot H_{1\%})^{0.25}}, \quad (5.7)$$

где L – длина реки, км; m_p - гидравлический параметр русла, определяемый по таблице 27 из работы [11], м/мин; I_p - средневзвешенный уклон русла реки, ‰; m_1 - коэффициент, определяемый по табл. 27 работы [11].

Величина φ рассчитывается: при отсутствии рек-аналогов

$$\varphi = \frac{c \cdot \varphi_0}{(F + 1)^{n_3}} \cdot \left(\frac{i_B}{50}\right)^{n_2}, \quad (5.8)$$

где $c = 1,2$ – для тундры и лесной зоны, а для остальных зон $c = 1,3$; φ_0 - сборный коэффициент стока для водосбора площа-

дью 10 км² и средним уклоном 50 ‰, значения φ_0 определяют по табл. 11 [11]; n_2 - определяют по табл. 11 [11]; $n_3 = 0,07$ – для лесотундры и лесной зоны, а для остальных природных зон $n_3 = 0,11$; i_B – средний уклон водосбора расчетной реки, ‰.

Для расчета максимального расхода притока с частного водосбора за дождевые паводки 1% обеспеченности р. Черной определены следующие характеристики: $F = 15,1$ км²; $L = 3,8$ км; $f_{оз} = 0\%$; $f_б = 30\%$; $f_л = 60\%$; $I_p = 0,5$ ‰; $i_B = 5,9$ ‰; $H_{1\%} = 100$ мм; $c = 1,2$; $\varphi_0 = 0,28$; $n_2 = 0,65$; $n_3 = 0,07$; $\varphi = 0,069$; $\tau_{скл} = 100$ мин.; $m_{скл} = 0,15$; $m_p = 9$; $m_1 = 1/3$; $\Phi_p = 166$; $A_{1\%} = 0,0157$. Подставляя полученные значения параметров в формулу (5.6) при $\delta = 1$; $\lambda_p = 1$, получаем:

$$Q_{1\%} = A_{1\%} \cdot \varphi \cdot H_{1\%} \cdot F = 0,0157 \cdot 0,069 \cdot 100 \cdot 15,1 = 1,64 \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (5.9)$$

В табл. 5.11 приведены максимумы дождевого притока повторяемостью 1 раз в 100, 20 и 10 лет.

Таблица 5.11

Максимальные заданной обеспеченности расходы дождевых паводков р. Черной, м³/с

Обеспеченность, %		
1	5	10
1,64	1,10	0,90

5.4. Термический режим р. Черной

Водность р. Черной в створе перехода газопроводом определяется преимущественно подземным питанием реки. Отсюда

отличие температуры воды от фоновых показателей, обычных для малых водотоков Прибалтийской низменности.

Такое отличие можно проследить на примере дат перехода температуры воды через 0 °С:

– На р. Коваши – д. Лендовщина весной температура воды переходит через 0 °С в среднем 15 апреля (дата близкая к фоновым показателям), а на реке-аналоге (по термическому режиму) р. Хревице – 1 апреля.

– Осенью температура воды через 0 °С переходит на р. Коваши – д. Лендовщина в среднем 24 ноября, а на р. Хревице – с. Ивановское – 21 декабря.

Отметим, что на более информативном аналоге (р. Стрелке – д. Олики) отличие температуры от фоновых показателей еще существеннее: весной – переход через 0 °С в конце марта, а осенью (точнее, зимой) – в конце декабря. К сожалению, опубликованные сведения о термическом режиме р. Стрелки – д. Олики очень скудны и ограничены 1975-1976 гг.

Река Хревица выбрана в качестве аналога по термическому режиму из-за обильного подземного питания, свойственного Старопетергофскому каналу и р. Черной. Среднегодовой модуль стока в верхнем по течению створе р. Хревицы – д. Хревица 17 л/с·км², при районной норме около 9 л/с·км², а зимний период уникально многоводен: модуль зимнего стока 8 л/с·км² и более.

Максимальная температура воды на реке-аналоге (р. Хревица – с. Ивановское) в среднем наблюдается 17 июля и составляет 21,1 °С, а на р. Коваши – д. Лендовщина – 10 июля и равна 23,1 °С.

Термический режим р. Черной более полно характеризуется внутригодовым распределением температуры воды. В приведенной ниже табл. 5.12 представлен средний за многолетие ход

температуры воды р. Черной в створе перехода газопроводом (данные получены по аналогии с р. Хревицей). Для сравнения приведены данные о температуре воды р. Коваши в створе д. Лендовщина и результаты наблюдений за температурой воды р. Стрелки в д. Олики за 1975-1976 гг.

Таблица 5.12

Среднегодовое температуры воды

Дата перехода температуры через 0 °С (весна)	IV			V			VI	VII	VIII	IX	X	XI			XII		Максимум	Дата перехода температуры через 0 °С (осень)
	1	2	3	1	2	3						1	2	3	1	2		
р. Черная – створ перехода газопроводом																		
1/IV	1,2	2,8	5,8	8,0	10,1	11,2	14,8	17,1	15,8	11,4	6,3	3,3	2,1	1,2	0,8	0,6	21,1	21/XII
р. Коваши – д. Лендовщина																		
15/IV	-	1,5	4,4	7,7	10,5	12,5	16,6	18,7	16,8	11,5	5,3	2,2	0,9	-	-	-	23,1	24/XI
р. Стрелка – д. Олики																		
-	2,8	4,3	5,7	9,1	11,0	12,6	14,9	17,3	15,3	10,5	5,2	2,6	1,7	-	-	-	22,2	

5.5. Бытовой ледовый режим р. Черной

Особенности термики р. Черной определяют характер ледового режима реки. Отсутствие данных наблюдений за ледовой обстановкой вынуждает восстанавливать ледовые процессы по аналогии с другими реками, на которых наблюдения за ледовой обстановкой производятся и их результаты опубликованы: р. Коваши – д. Лендовщина, р. Вруда – д. Извоз, причем р. Коваши характеризует фоновые условия, а ледовый режим р. Вруды в какой-то мере аналогичен р. Черной из-за существенной доли подземной составляющей питания в годовом балансе.

В отношении толщины льда, максимум которой наступает в феврале, более информативными (в качестве аналога р. Черной) представляются сведения о толщине льда р. Оредеж д. Моровино. В эту реку, как и в р. Черную, разгружаются подземные воды карстового плато. В то же время нельзя не учитывать искажения естественных гидрологических процессов в результате регулирования стока каскадом Оредежских гидроузлов, ныне почти бездействующих.

В целом, комплексный анализ влияния различных факторов позволяет установить отличия ледового режима р. Черной от фоновых показателей:

- Появление льда (сало, забереги) и осенний ледоход наблюдаются на 10-20 дней позднее фоновых сроков.
- Ледостав – на 10-20 дней позднее.
- Вскрытие реки и весенний ледоход – на 10 дней раньше.
- Продолжительность периода с ледовыми явлениями – примерно на месяц меньше фоновых показателей.

Расчетные даты наступления ледовых фаз на р. Черной, полученные путем обобщения имеющейся информации по рекам-аналогам, таковы:

Таблица 5.13

Средние сроки наступления ледовых фаз на р. Черной

Фазы ледового режима	Появление льда	Начало осеннего ледохода	Ледостав	Начало весеннего ледохода	Продолжительность, сут.	
					периода с ледовыми явлениями	периода ледостава
Даты	15/XII	18/XII	22/XII	5/IV	113	104

Толщина льда на р. Черной меньше средних показателей по рекам равнинного подножия Ижорской возвышенности. Полученные по аналогам примерные сведения о толщине льда приведены в табл. 5.14.

Таблица 5.14

Расчетные значения толщины льда р. Черной

Дата	31/XII	10/I	20/I	31/I	10/II	20/II	28/II	10/III	20/III	31/III
Толщина льда, см	10	14	18	20	22	23	22	19	15	5

Для бытового ледового режима р. Черной характерно наличие шуги подо льдом.

5.6. Характеристика естественного режима русла р. Черной

5.6.1. Общая характеристика русла р. Черной

Река Черная – искусственный водоток, проложенный с учетом рельефа местности в виде ломаной линии от Старопетергофского канала до р. Стрелки.

С течением времени плановые очертания русла принимали все более естественную форму. Особую роль в формировании русла имеют залповые сбросы через Шинкарский шлюз.

Слаборазмываемые глины, являющиеся местным водоупором, ограничивают развитие вертикальных деформаций. Отбор проб донных отложений р. Черной в сентябре 2011 года позволил установить практическое отсутствие на дне несвязанного аллювия, что свидетельствует о незначимости транспорта влекомых наносов в форме перемещения песчаных гряд.

Плановые деформации на участке проектирования выражаются в размыве правобережного склона. Фотоматериал наглядно демонстрирует значимость этого явления (рис. 3.5).

Коэффициент извилистости русла р. Черной на всем ее протяжении от Старопетергофского канала до р. Стрелки составляет $k = 1,1$, а на участке от истока до Ропшинского шоссе извилистость характеризуется коэффициентом $k = 1,2$.

5.6.2. Исходные данные

Для оценки характера и величин плановых деформаций русла реки Черной использованы следующие разновременные материалы:

- Карта окрестностей Петрограда. 1914-17 г. Составил Ю. Гаш. Четвертое издание. Масштаб в 1 дм: 3 версты (рис. 5.1).

- Топографический планшет КГА СПб М 1:10 000, номенклатура 65-4 по состоянию на 1980-ые годы (рис. 5.2).
- Современные космические снимки высокого разрешения Google Earth (рис. 5.3).



Рис. 5.1. Фрагмент карты окрестностей Петрограда. 1914-17 г.

Составил Ю. Гаш

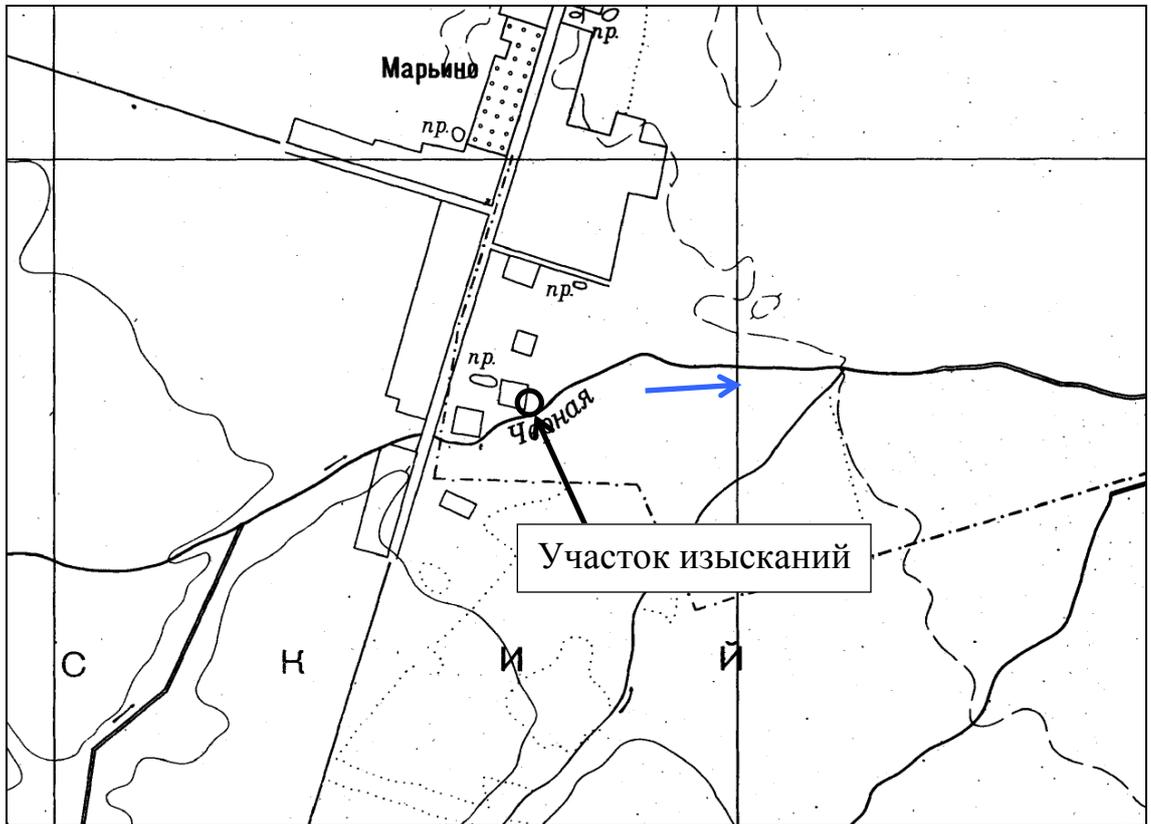


Рис. 5.2. Фрагмент топографического планшета М 1:10000, номенклатура 65-4 по состоянию на 1980-ые годы



Рис. 5.3. Современный космический снимок высокого разрешения Google Earth (2 мая 2006 года).

5.6.3. Характеристики русла р. Черной на участке проектирования

Как видно на рис. 5.1, ранее река Черная представляла собой рукотворный канал из Петергофского водопровода (сейчас – Старопетергофский канал) в р. Стрелку.

В плане канал представлял собой ломаную линию, состоящую из прямых отрезков. Именно так он показан на карте 1914-1917 гг. (см. план рис. 5.4).

Участок исследований расположен на бывшем отрезке прямой длиной около 350 м от пересечения с Ропшинским шоссе с юго-запада на северо-восток. Далее вниз по течению река поворачивает на восток (рис. 5.4).

Первоначально прямое русло канала в настоящее время представляет собою серию излучин и по плановым очертаниям соответствует меандрирующему руслу.

Прогноз русловых деформаций выполнен на основе требований нормативных документов [12] в соответствии с положениями гидролого-морфологической теории русловых процессов [13].

Тип русловых процессов – **ограниченное меандрирование.**

При ограниченном меандрировании излучины большей частью сползают вниз по течению, постепенно увеличивая степень своей развитости, а при относительно большом угле разворота сползание вниз прекращается и излучины развиваются поперёк долины. Так развиваются плановые деформации русла р. Черной в 150-250 м ниже участка проектирования, где на современном космическом снимке видны сильно развитые излучины.

5.6.4. Плановые деформации русла р. Черной

Для оценки плановых деформаций русла выполнено совмещение планов 1914-17 г., 1980 г. и 2006 года (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Плановое совмещение русла р. Ловать в районе проектного створа за период с 1914-17 г. (красная линия) до 1980 г. (черная подложка) по 2006 г. (синие линии)

В проектном створе излучина развивается вправо. Смещение за период с 1917 года по 1980 год (63 года) составило 7 м (0,1 м/год), а за период с 1980 по 2006 год (26 лет) – 5 м (0,2 м/год).

В непосредственной близости от проектного створа максимальное смещение русла за период 1917-1980 гг. составило 11 м (0,2 м/год), а за период 1980-2006 гг. – 16 м (0,6 м/год). В среднем за 1917-2006 гг. темп смещения русла составил 0,36 м/год.

Учитывая характер размыва правого берега в проектном створе (рис. 3.5), допустимо принять темп смещения русла вправо 0,36 м/год.

На соседней излучине (выше по течению от проектного створа, но ниже моста на Ропшинском шоссе) темп бокового смещения русла несколько выше. Не исключено, что скорость размыва правого берега в створе перехода газопроводом возрастет в последующие годы.

В то же время есть основания предполагать, что на прогнозный период (30 лет) смещение русла вправо в проектном створе не превысит 15 м, т.е. темп размыва правого берега будет меньше 0,5 м/год.

Левый берег р. Черной в проектном створе устойчив, тем более, что выше по течению сооружено самодельное берегоукрепление (рис. 3.3).

Река на участке перехода газопроводом протекает в высоких берегах. Образование спрямляющих протоков на этом участке исключено.

5.6.5. Вертикальные деформации русла р. Черной

На участке проектирования в пределах 10 ширин русла минимальная отметка дна составляет $H_{min} = 18,89$ БС (см план рис. 3.1).

Согласно рекомендациям ВСН 163-83 [13], минимальные отметки дна ($H_{minПППР}$) в результате размыва определяются по формуле:

$$H_{minПППР} = H_{min} - h_{г} - \Delta_{г} - \delta, \quad (5.10)$$

где $h_{г}$ - расчетная высота гряд, м;

$\Delta_{г}$ - дополнительные деформации дна, обусловленные перестроением русловых микроформ в половодья и паводки редкой повторяемости;

δ - погрешность промеров глубин при русловой съемке; $\delta = 0,02$ м.

Русловая съемка 29.09.2011 г. указывает на отсутствие донных гряд на участке проектирования, поэтому слагаемые h_T и Δ_T в формуле (5.10) приняты равными нулю.

Нельзя исключать, что в процессе размыва дна при экстремально высоком половодье в створе перехода газопроводом наименьшая отметка профиля предельного размыва составит

$$H_{minППРР} = H_{min} - \delta = 18,89 - 0,02 = 18,87 \text{ м БС.}$$

На момент русловой съемки 29.09.2011 г. минимальная отметка дна в створе перехода равна 19,54 м БС, таким образом, возможен естественный размыв дна на 0,67 м по тальвегу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе инженерно-гидрометеорологических изысканий на р. Черной выполнены:

- полевые работы, согласно Техническому заданию (см. Приложение 1);
- систематизация гидрометеорологических сведений по району изысканий – северо-запад Ленинградской области.

Выявлены важные особенности р. Черной:

- искусственное происхождение;
- преимущественно подземное питание;
- водный режим, зависящий от регламента регулирования на Шинкарском шлюзе;
- аномальность ледотермического режима реки;
- значимость плановых деформаций русла.

В связи с отсутствием опубликованных данных о водном режиме р. Черной, оценка водности реки произведена с использованием сведений о водотоках-аналогах. В качестве основного признака аналогии принято сходство по источнику питания, поскольку р. Черная, беря исток из Старопетергофского канала, питается преимущественно подземными водами.

В ходе изысканий собрана информация и составлена краткая климатическая характеристика района проектирования.

Полевые работы на р. Черной в известной мере восполнили пробелы в информационной базе.

С использованием информации о водотоках-аналогах р. Черной, установлены характеристики водности Старопетергофского канала, сбросов в р. Черную через Шинкарский шлюз, притока с частного водосбора р. Черной. Определены максимальные расходы воды в створе перехода газопроводом. Выяв-

лено, что пропуск экстремальных расходов сопряжен с выходом воды за бровку левого берега.

Термический режим р. Черной подобен таковому на р. Стрелке (в верховьях этой реки) и на р. Хревице. Обе эти реки питаются преимущественно подземной водой. Распределение температуры воды по сезонам года более выровнено, по сравнению с фоновыми районными показателями: в теплое время года температура ниже, в холодное – выше.

Ледовый режим р. Черной соответствует термике: замерзание реки происходит позже фоновых сроков, а вскрытие – раньше.

Проект перехода газопроводом нуждается в информации о профиле предельного размыва дна и о плановых деформациях русла. Установлено, что максимальный размыв в проектном створе (по тальвегу) может составить 0,67 м. Смещение русла вправо происходит со средней интенсивностью 0,36 м/год, но за 30 последующих лет не превысит 15 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
2. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области. Часть III. Ветер. ГИМИЗ, Л., 1966, 271 с.
5. 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., Гидрометеоиздат, 1988, 692 с.
6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Том 1, Вып. 0-3. Бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Саланца. Л.-Таллин, 1978-1980.
7. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1, Вып. 5. РСФСР, Бассейн рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озёр. СЗУГКС. Л., 1981-1988.
8. Гидрологическая изученность. Т. 2, Карелия и Северо-Запад, 1965.
9. Основные гидрологические характеристики. Т. 2. Карелия и Северо-Запад, Л., Гидрометеоиздат, 1966.
10. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. М., Госстрой России, 2004.

11. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
12. Атлас расчётных гидрологических карт и номограмм. Л., Гидрометеоиздат, 1986
13. ВСН 163-83. Учёт деформаций речных русел и берегов водоёмов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). Миннефтегазстрой. Л., Гидрометеоиздат, 1985, 144 с.
14. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л., Гидрометеоиздат, 1982.