



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)

На тему **Процессы заносимости Обводного
канала г. Санкт - Петербурга**

Исполнитель **Орлов Даниил Алексеевич**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **Д.Г.Н., доцент**
(ученая степень, ученое звание)

Соколова Александра Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

« 05 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

	Стр.
Введение	4
1 Физико-географическое описание Обводного канала	6
1.1 Общие сведения об Обводном канале и его притоках	6
1.2 История строительства и развития Обводного канала	12
1.3 Гидрологический режим Обводного канала	14
1.4 Термический режим	22
1.5 Физико-химические свойства воды	22
2 Полевые изыскания на Обводном канале. Расчет характеристик твердого стока	27
2.1 Рекогносцировочное обследование Обводного канала	27
2.2 Проведение промеров глубин. Измерение расходов воды	32
2.3 Эхолокационное обследование Обводного канала	37
2.4 Измерение мутности воды Обводного канала	43
2.5 Отбор проб донных отложений Обводного канала	47
3 Определение происхождения наносов, поступающих в Обводный канал	53
3.1 Естественные источники поступления наносов в Обводный канал	59
3.2 Антропогенные (техногенные) источники поступления	65

	наносов в Обводный канал	
4	Определение закономерностей движения наносов по длине Обводного канала	67
4.1	Анализ гранулометрического состава донных отложений	67
4.2	Определение транспортирующей способности Обводного канала	74
4.3	Определение скоростей заносимости	82
	Заключение	85
	Список использованной литературы	92

Введение

В городе Санкт – Петербурге насчитывается более 90 различных водотоков. За 320 летнюю историю города гидрографическая сеть претерпела серьезные изменения. С развитием и расширением города многие реки и каналы утратили свою первоначальную функцию – водоснабжение и водоотведение. В настоящее время водные объекты являются одной из «визитных карточек» Санкт – Петербурга, привлекая большое количество туристов.

Занесение, заиление, загрязнение недостаточно очищенными сточными водами и различным мусором приводит к изменению гидрологического и биологического режима водотоков, что пагубно сказывается на экологии города, уменьшая привлекательность водных объектов и их рекреационный потенциал.

Таким образом, постоянный мониторинг и своевременное и дноуглубление рек и каналов являются актуальной проблемой для правительства города.

Точный прогноз скорости заносимости водотока позволяет упростить планирование мероприятий по дноочистке и дноуглублению и повысить эффективность затрат, выделяемых на эти мероприятия бюджетных средств.

Обводный канал является условной границей южного промышленного пояса города, разделяющей исторический центр г. Санкт – Петербурга с жилыми и промышленными районами города. В наши дни канал утратил свое значение водной транспортной магистрали, превратившись в автотранспортную. По обоим берегам канала расположены многополосные автодороги, крупные железнодорожные транспортные узлы. В связи с этим на канал оказывается большая техногенная нагрузка.

Целью данной работы является определение скорости заносимости Обводного канала.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- определение источников поступления наносов в Обводный канал;
- определение закономерностей движения наносов по длине канала.

Расчеты и выводы, представленные в работе, основываются на полевых изысканиях, выполненных РГГМУ в 2022 году по договору № 140-22 об оказании услуг по оценке заносимости водотоков Санкт-Петербурга, заключенным с комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности г. Санкт-Петербурга.

1. Физико-географическое описание Обводного канала

1.1 Общие сведения об Обводном канале и его притоках

Обводной канал берет свое начало из р.Невы выше места Александра Невского и огибает исторический центр Санкт–Петербурга, впадая в Екатерингофку (рисунок 1.1.4).

Длина канала составляет 8,08 км. Ширина канала в самом узком месте составляет 20 м. Максимальная ширина канала – 64 м.

Средние глубины составляют 1,8 м, максимальные (при уровне воды близком к средним многолетним значениям) – 3,8 м.

Канал имеет одно ответвление – бассейн Обводного канала (Французский «ковш») и два притока (р. Монастырка – правый приток и р. Волковка (Черная речка) – левый приток).

Берега Обводного канала на значительном протяжении (от истока до моста Степана Разина) облицованы гранитными плитами высотой 4–8 м, углы откоса до 80–90°. Ниже моста Степана Разина правый берег канала – земляной, высотой 3–4 м, угол откоса до 50°.

Обводный канал пересекают 24 моста, в том числе 15 автомобильных, шесть пешеходных и два железнодорожных (третий железнодорожный мост, располагавшийся между Шлиссельбургским и Атаманским мостами, был демонтирован в декабре 2010 года)[1].

Бассейн Обводного канала (Французский ковш)

Бассейн Обводного канала (Французский «ковш») – является Г-образным тупиковым ответвлением (в 700 метрах ниже истока по левому берегу) Обводного канала длиной около 600 метров (рисунок 1.1.4).

«Бассейн был прокопан в 1840-е годы для стоянки и разгрузки речных судов. "Ковш" отходил от канала вблизи Александро-Невской лавры, а затем поворачивал на запад вдоль Глиняной улицы. Чтобы обеспечить возможность скопления судов вблизи этого места, Обводный канал к востоку от Атаманского моста заметно расширяется»[1].

«Это расширение вместе с ковшом на некоторых картах обозначено как "Бассейн Обводного канала". На полуострове между ковшом и каналом с конца XIX до второй половины XX века располагались железнодорожные пути».[1]

В настоящее время данный канал не имеет большого водохозяйственного значения. Через канал в районе отделения от Обводного канала переброшен Французский мост (рисунок 1.1.1).



Рисунок 1.1.1 – Место ответвления «ковша» от Обводного канала.

Французский мост

Река Монастырка

Река Монастырка берет начало из р. Нева и впадает Обводный канал в 1 км ниже от его истока, огибая территорию Александро-Невской лавры.

Раньше Монастырка входила в состав Черной речки(упоминание об этой реке имеется еще в летописях 1500 года, тогда она называлась Сетуй), часть которой в пределах старой городской черты теперь называется р. Волковкой,и соответственно являлась левым притоком.

«Самостоятельным протоком она стала лишь в начале XIX столетия с прокладкой Обводного канала. По инерции речку еще долго именовали Черной, и только 12 июля 1864 года ей было присвоено название Монастырская речка по Александро-Невскому монастырю, который она огибает. Имя быстро сократилось до современной формы – Монастырка»[2]

Длина современной реки составляет 1450 метров. Минимальная ширина – 12 метров, максимальная ширина – 30 метров. Средняя глубина реки 1-2 метра.

Берега в части, примыкающей к Обводному каналу, земляные, поросли травой, деревьями, имеют углы откоса 40-50° (противоположный берег более крутой, до 60-70°), на берегах наблюдается слабое сползание почвы, местами – боковая эрозия.

Вдоль берегов имеются остатки бетонного и кирпичного укрепления берега, единичные бетонные колодцы.

Берега в части, примыкающей к р. Неве, в непосредственной близости к стене Лавры, значительно облагорожены, углы откоса 30-40°, укреплены низким парапетом высотой около 30 см.

Через реку переброшено 7 мостов в том числе 3 автомобильных и 4 пешеходных.



Рисунок 1.1.2 –Место впадения р. Монастырки в Обводный канал.

Казачий мост

р. Волковка (Чёрная речка)

Р. Волковка – является левым притоком Обводного канала. Исток реки расположен в районе Пулковских высот, а устье в 3 км ниже истока Обводного канала.

Река упоминается ещё в летописях 1500 года под названием Сетуй. Ранее она была левым притоком Невы. Начинаясь в заболоченных полях у Пулковских высот, протекая по территориям бывших деревень Купчино, Волково и Ямской слободы, река впадала в Неву в месте истока нынешней реки Монастырки. Протяженность реки первоначально составляла 25 км. При Петре I река именовалась Чёрной речкой, как многие реки Приневской

низменности. Затем, со строительством Александро-Невского монастыря, приживается новое название – Монастырка[2].

По завершении строительства Обводного канала в XIX веке речка оказалась разделена на две неравные части. Та, что омывает стены Александро-Невской лавры, сохранила название Монастырка, другая же, южнее Обводного канала, именуется Волковкой. В 1972-1973 гг. большая часть русла Волковки была засыпана, прорыт прямой Волковский канал, от железнодорожной станции Купчино вдоль Белградской улицы до проспекта Салова.

Современная длина реки составляет 17 км. Ширина колеблется от 7–8 до 20 метров. Средняя глубина составляет 0.6 – 1 м.

Верховья реки сильно загрязнены неочищенными стоками и строительным мусором. Через реку переброшено 11 мостов в том числе 7 автомобильных, 2 пешеходных и 2 железнодорожных.

«Набережные Волковки разнородны, они включают в себя высокие стенки, украшенные рустом «под камень» без гранитной облицовки, низкие банкетные стенки и зеленые откосы, отделенные при помощи высоких поперечных стенок. Поверху идёт гранитный карниз с металлическим перильным ограждением с гранитными тумбами»[2].



Рисунок 1.1.3 – Место впадения р. Волковки в Обводный канал.
Ново–Кирпичный мост

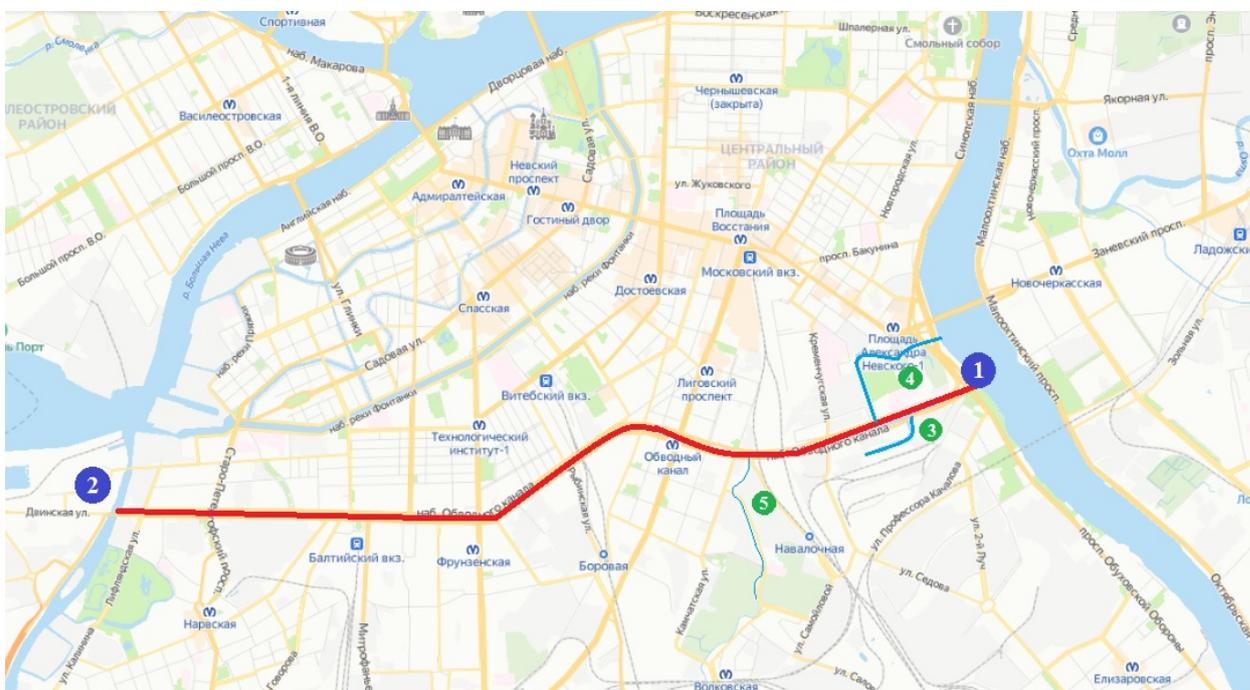


Рисунок 1.1.4 – Обводный канал на карте (1. исток- р. Нева;2. устье –р. Екатеринбург; 3. бассейн Обводного канала (Французский ковш);4. правый приток – р. Монастырка; 5. устье р. Волковка(Чёрная речка))

1.2 История строительства и развития Обводного канала

«История строительства Обводного канала делится на два периода: конец 1760-х – 70-е гг. и 1805-33 гг.

Первоначально он был задуман как городской ров для таможенных и пограничных целей. Заставы, расположенные на главных магистралях, ведущих в столицу, осуществляли паспортный контроль, здесь же досматривались товары. Ров между ними служил также целям санитарной защиты на случай эпидемий.

К концу XVIII в. городская застройка уже значительно продвинулась за Фонтанку, служившую пограничной чертой Петербурга. По ее берегам, кроме усадеб, располагались обширные слободы гвардейских полков. Вдоль южных границ участков Семеновского и Измайловского полков была проложена трасса канала или выгонного рва, к строительству которого приступили в конце 1760-х гг. Спустя примерно 10 лет он был доведен почти до Лиговского канала.

Второй этап строительства начался по указу Александра I. Согласно новому проекту, Обводный канал представлял собой транспортную магистраль, соединявшую Неву со взморьем, минуя ее дельту и городской центр. Строительству сопутствовали сложные инженерные работы по его углублению и расширению, засыпке части русла р. Волковки, сооружению каменного акведука в месте пересечения с Лиговским каналом, устройства нового русла р. Монастырки и др. Руководство работами было поручено генерал-лейтенанту И. К. Герарду. Завершением строительства руководил известный инженер, генерал-майор П. П. Базен.

25 октября 1833 г. Обводный канал был торжественно открыт для судоходства. Он представлял сложное для того времени гидротехническое

сооружение с земляными откосами, укрепленными шпунтовым рядом и булыжной бермой. Через него были перекинута чугунные и деревянные мосты, выполненные по новейшим проектам, в том числе мост-акведук, по которому канал Лиговский протекал над Обводным. Тот, в свою очередь расширялся около Александро-Невской лавры: здесь находилась гавань для речных судов. С той же целью в 1840-х гг. был прорыт Г-образный бассейн, или ковш, описанный в данной работе ранее.

Новая судоходная магистраль способствовала развитию города. Берега канала стали активно застраиваться.

В 1930-е годы значительная часть деревянных мостов через Обводный канал была заменена на более современные и начались работы по расширению и архитектурному оформлению берегов с возведением каменных подпорных стен. Были возведены железобетонные арочные Шлиссельбургский, Ново-Калинкин, Ново-Петергофский мосты. От Ново-Калинкина до Балтийского вокзала и от Шлиссельбургского до Лиговского проспекта берега канала были укреплены бетонированной стеной и устроено мощение набережных диабазом.

В послевоенный период (1950-е гг.) продолжалось укрепление берегов и благоустройство набережных.

Многие производственные здания, расположенные по берегам канала в настоящее время не используются – газгольдеры газового завода, корпуса Новой бумагопрядильной мануфактуры. С засыпкой Лиговского канала был реконструирован мост-акведук. Вместе с тем архитектурная среда здешних набережных по-прежнему остается очень индивидуальной с преобладанием промышленной темы. Краснокирпичные здания с высокими дымовыми трубами, водонапорными башнями доминируют в застройке. Канал утратил свое значение водной транспортной магистрали, превратившись со временем в автотранспортную.

В настоящее время ведутся разработки по дальнейшему преобразованию канала как одной из главных транспортных артерий города, включающих важные транзитные узлы: вокзалы, метро, развязки. Рассматриваются различные варианты устройства новых развязок в разных уровнях, в том числе его засыпка и возможность прокладки транспортной трассы по дну русла канала. Но, кроме своего утилитарного назначения, Обводный канал играет важную историко-архитектурную роль, как своеобразный, характерный район Петербурга. Многие здания и сооружения по его берегам находятся под охраной государства, являясь памятниками истории и культуры. Сам канал также представляет историческую ценность как значительное инженерное гидротехническое сооружение первой половины XIX века»[3].

1.3 Гидрологический режим Обводного канала

Являясь рукавом дельты р. Невы и не имея собственного водосборного бассейна (за счет того, что почти на всем на своем протяжении канал облицован, плоскостной смыв в канал отсутствует), Обводный канал целиком зависит от гидрологического режима устьевой зоны «Нева–Невская губа».

Регулярные наблюдения за стоком воды на канале не ведутся. Исходя из этого факта, расчеты гидрологических характеристик следует производить с учетом особенностей условий формирования жидкого, твердого и химического стока, в соответствии требованиями руководящих документов (СП33-101-2003), на основе известных гидродинамических закономерностей.

- Жидкий сток

Сток Обводного канала является частью стока р.Невы.

Площадь водосбора р. Невы составляет 281000 км². Нева отличается большой водностью, занимая по объему стока четвертое место среди рек Европейской части СССР. Водный режим ее отличается исключительно равномерным распределением стока в году, что связано с регулирующим влиянием Ладожского озера, сглаживающего весенний подъем уровня воды.

Медленный подъем уровня начинается обычно с конца марта или начала апреля, максимум его наступает во второй половине июня. В течение всего летнего периода по р. Неве проходит один огромный по количеству воды и небольшой по амплитуде колебаний уровня паводок, представляющий собой слив вод из Ладожского озера.

При расчете стоковых характеристик р. Невы использовались статистические данные гидрологической станции р. Нева – Новосаратовка, поскольку приращение стока на этом участке реки составляет менее 1 % от меженных значений.

Характерные расходы воды приведены в таблицах 1.3.1 – 1.3.3.

Помимо расхода воды, на режим колебания уровней Невы оказывают влияние нагоны и сгоны в Шлиссельбургской губе, заторы и зажоры льда, стеснение русла ледяным покровом, наконец, нагоны и сгоны, приливы и отливы, сейши и длинные волны в Финском заливе. Все эти факторы сочетаются по-разному как во времени, так и по длине.

Любое изменение уровня в Шлиссельбургской губе почти сразу же сказывается на расходе воды Невы. С повышением уровня увеличивается расход, и наоборот.

В истоке реки влияние Ладоги преобладающее, здесь уровень воды в реке целиком следует за уровнем воды в озере. По направлению от истока к устью влияние озера на уровень Невы ослабевает. В пределах же дельты, где

площадь поперечного сечения русла в 7–10 раз больше, чем на остальной реке, уровень воды уже практически не зависит от расхода.

Таблица 1.3.1 – Максимальные расходы воды весеннего половодья р.Невы, $\text{м}^3/\text{с}$

Q срочн.	Q средн.	Cv	Cs	Сток различной обеспеченности, %				
				1	2	5	10	25
4590	3320	0.15	0.66	4700	4500	4220	3980	3620

Таблица 1.3.2 – Минимальные 30 – дневные расходы воды за летний период, $\text{м}^3/\text{с}$

Q срочн.	Q средн.	Cv	Cs	Сток различной обеспеченности, %				
				75	80	85	95	97
1330	2580	0,19	0	2270	2170	2070	1960	1650

Таблица 1.3.3 – Характерные расходы воды р. Невы за многолетний период

Характерный расход воды	Наименьший		Средний	Наибольший	
	$\text{м}^3/\text{с}$	Год	$\text{м}^3/\text{с}$	$\text{м}^3/\text{с}$	Год
Средний	1340	1940	2500	3670	1924
Максимальный	2050	1940	3400	4750	1924
Минимальный в период открытого	1250	1940	2500	3740	1879

русла.					
Минимальный в период ледостава	540	1973	1540	2740	1904

По данным литературных источников [4] средний многолетний расход воды Обводного канала составляет 15,0 м³/с. Объем годового стока составляет 0,43 км³. Эта величина составляет 0,6% стока реки Невы. Принимая условия распределения стока между рукавами дельты одинаковыми для всех характерных расходов воды можно принять в качестве оценки таблицу 1.3.4.

Таблица 1.3.4 – Характерные расходы воды р. Обводного канала за многолетний период

Характерный расход воды	Наименьший	Средний	Наибольший
	м ³ /с	м ³ /с	м ³ /с
Средний	8.00	15.0	22.0
Максимальный	12.3	20.4	28.5
Минимальный (в период открытого русла)	7.50	15.0	22.4
Минимальный (при ледоставе)	3.25	9.25	16.4

Рассчитанный по тому же принципу пропорционального распределения стока сток различной обеспеченности Обводного канала приведен в таблице 1.3.5.

Таблица 1.3.5 – Сток различной обеспеченности Обводного канала в зависимости от обеспеченного стока р. Нева

Q срочн. м ³ /с	Q средн. м ³ /с	Сток различной обеспеченности, %				
		1	2	5	10	25
27.5	19.8	28.2	27.0	25.2	23.8	21.7

- Скорость течения Обводного канала

Исходя из полученных значений расходов воды и, учитывая средние значения уровня воды, можно подсчитать значения средних скоростей течения для условного створа (со средней по каналу шириной - 33 м и средней глубиной- 1,8 м). Площадь живого сечения такого створа составит – 59,4 м². Данные расчета приведены в таблице 1.3.6

Таблица 1.3.6 – Рассчитанные скорости течения в Обводном канале при характерных расходах воды

Скорости течения при характерных расходах воды	Наименьший	Средний	Наибольший
Расход воды, м ³ /с	8.00	15.0	22.0
Скорость течения, м/с	0.130	0.250	0.370

- Уровенный режим Обводного канала

Решающее влияние на уровень Обводного канала оказывает Балтийское море, уровень которого постоянно изменяется. Различают два рода колебаний уровня.

Первый род колебаний вызывается изменением объема водных масс моря или колебаниями величины его наполнения, которая изменяется, главным образом, в результате продолжительного ветрового воздействия на водную поверхность. Устойчивые северные и северо-восточные ветры выгоняют часть воды из Балтийского моря через Датские проливы в Северное море. При этом понижается уровень всего Балтийского моря, а вслед за ним падает уровень Невской губы. Устойчивые южные и юго-западные ветры вызывают обратный эффект.

Второй род колебаний вызывается денивеляцией, то есть нарушением горизонтального положения поверхности моря, возникающей чаще всего под воздействием движущихся циклонов – мощных атмосферных вихрей с пониженным давлением в центре. В зависимости от энергии циклона, скорости и направления его движения в Балтийском море формируются или длинная волна – своего рода водяной вал небольшой высоты и чрезвычайно большой длины, которая распространяется в направлении движения самого циклона, или стоячие колебания, называемые сейшей. Воздушные потоки в циклоне увлекают за собой водные массы, вследствие чего в одной части моря уровень повышается, в другой – понижается. После прекращения действия ветра или набегания длинных волн в вершину Финского залива водные массы залива, стремясь прийти в равновесное положение, совершают затухающие сейшеобразные колебания.

Таким образом, определяющим условием для формирования уровенного режима Обводного канала является уровенный режим р. Невы. Наполнение каналов города Санкт–Петербурга, а также скорости течения в

них в значительной степени зависят от сгонно-нагонных явлений на устьевом участке и, в меньшей степени, от расходов воды р. Невы. Ниже приводятся основные характеристики стока и уровенного режима Невы.

Для данной работы было выполнено построение типового графика хода уровней воды для р. Невы – Горный институт за многолетний период. Для расчета типового графика были использованы данные об уровенном режиме с 1959 по 2012 г. График приведен на рисунке 1.3.1.

На рис. 1.3.1 приведены среднегодовые уровни воды на календарную дату, а также выборку из максимальных и минимальных среднесуточных уровней воды на ту же дату. Уровень воды приведен над нулем графика в/п Горный институт. Обработка данных о среднесуточных уровнях у Горного института позволила перейти к среднемесячным значениям уровней воды в истоке Обводного канала. По данным представленным в источнике [5], различия в среднегодовых уровнях воды у Горного института и Литейного моста составляют 0,07м.

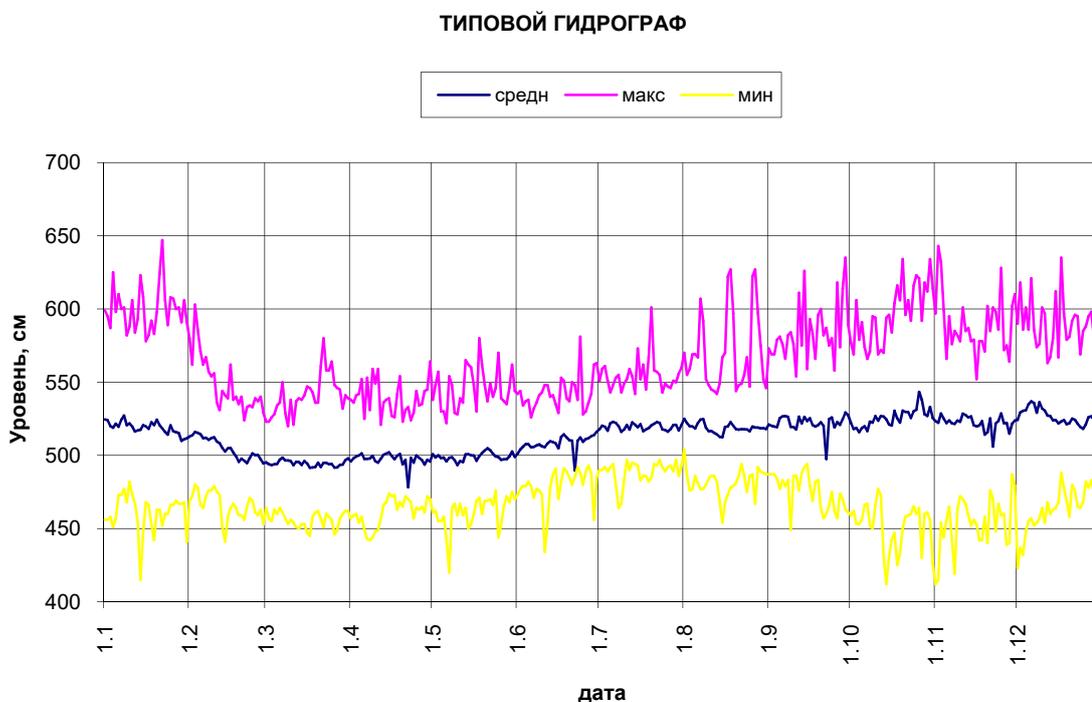


Рисунок 1.3.1 – Типовой гидрограф р. Невы – в/п Горный институт

В таблице 1.3.7 приведены расчетные уровни воды полученные в результате пересчета по графикам связей соответственных уровней воды у Кронштадта, Горного института и Литейного моста в естественных условиях[4].

Таблица 1.3.7 – Максимальные годовые уровни воды Обводного канала различной обеспеченности

М.БС	Обеспеченность,%			
	50	5	1	0,1
Исток	1.85	2.65	3.37	4.66
Устье	1.73	2.60	3.25	4.65

Подъем уровня воды в Обводном канале вызывается разными причинами. В таблице 1.3.8 приведены максимальные и минимальные годовые уровни воды повторяемостью 1 раз в 100 лет при различных обуславливающих их факторах по данным источника [4].

Таблица 1.3.8 – Годовые уровни воды Обводного канала повторяемостью 1 раз в 100 лет

М. БС	Максимальные уровни			Минимальные уровни		
	При расходе	При нагоне	При зажоре	При расходе	При сгоне	Зима
Исток	0.62	3.65	1.95	0.03	-1.03	-1.05
Устье	0.35	3.45	0.10	0.02	-1.32	-1.24

1.4 Термический режим

Благодаря большой скорости течения и интенсивному перемешиванию температура невской воды почти одинакова по ширине, глубине и длине реки. С апреля по июль вода в реке заметно холоднее окружающего воздуха. В августе температуры воды и воздуха выравниваются. А с сентября по ноябрь уже вода теплее воздуха.

Чем более многоводный год, тем, при прочих равных условиях, холоднее вода в реке. Диапазон колебания температуры воды в течение суток невелик, в общем, он уменьшается от весны к осени и составляет $0.5-1.0^{\circ}\text{C}$ в мае и $0,1-0,3^{\circ}\text{C}$ в октябре. Наиболее теплой вода бывает в конце дня (в 16–18 часов), а самой холодной — ранним утром (в 5–7 часов). Колебания температуры воды от суток к суткам также незначительны. Лишь резкое похолодание или потепление погоды, продолжающееся 5–7 суток и более, вызывает заметное изменение температуры воды.

Вода в реке обычно нагревается до конца июля чаще всего до $18-20^{\circ}\text{C}$. Температура воды выше 16°C , когда продолжается «купальный сезон», держится около 1,5 месяца. В холодное лето этот период сокращается до – 510 дней, а в жаркое удлиняется до 2,5 месяца.

1.5 Физико-химические свойства воды

Прозрачность воды (по данным [6]) составляет в среднем 2.0–2.5 м. Цвет воды – зеленовато-желтоватый из-за присутствия органических веществ растительного происхождения. Прозрачность и цвет воды меняются в течение года. Весной, в период обильного притока речной воды в Ладожское озеро,

вода в Обводном канале приобретает желтовато-бурый оттенок. Особенно резкие изменения происходят во время штормов на Ладоге. Это связано с тем, что волнение поднимает со дна Шлиссельбургской губы илистые частицы. По данным экспедиционных исследований РГГМУ в период осенних штормов мутность воды возрастала до 250 мг/л. Средние значения мутности составляют 5-7 мг/л.

«Фоновый химический состав воды поступающий из р. Невы в Обводный канал, определяется составом воды Ладожского озера. Минерализация и ионный состав воды отличаются большой устойчивостью, сезонные колебания их невелики. Приводимые ниже сведения о химическом составе воды р. Невы относятся к среднему течению реки, выше влияния Санкт-Петербурга.

Вода в Неве бедна солями: средняя ее минерализация составляет всего 61,3 мг/л, что в 3–5 раз меньше, чем на Волге и Оке. В то же время благодаря обилию лесов и болот река несет довольно много органических веществ, их концентрация в невской воде близка к средней для европейских рек.

Сумма ионов р. Невы изменяется в течение года от 39 до 75 мг/л. Минерализация несколько уменьшается в июне—августе, когда наблюдается повышенный сток.

По составу растворенных минеральных веществ вода в Неве относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе с реакцией, близкой к нейтральной, рН меняется в течение года от 7.4 до 7.7.

Вода мягкая: общая жесткость – 0.60 мг-экв/л, устранимая жесткость – 0.45 мг-экв/л; она не имеет определенного вкуса или запаха. Щелочность – 0,45 мг-экв/л, сухой остаток – 70 мг/л. Большая часть железа находится в закисной форме (Fe^{2+}), его поставляют многочисленные болота бассейна.

В ионном составе воды преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} , каждый из которых составляет 28 – 40% экв. Содержание ионов SO_4 примерно эквивалентно содержанию ионов Cl и составляет 3 – 14%. Относительное содержание ионов Mg^{2+} в воде равно 0.7 – 1.3% экв. Количество ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ колеблется от 0.6 до 16% экв.

Углекислая агрессивность воды р. Невы незначительная и изменяется в основном от 1.6 до 2.7 мг/л, повышаясь в отдельные годы до 5.3 мг/л и понижаясь до 0.7 мг/л.

Цветность воды изменяется в основном в небольших пределах – от 30 до 50°. Но в ряде случаев зимой цветность уменьшалась до 10–20°, а осенью 1952 г. она достигла значительных величин – 90–104°.

Перманганатная окисляемость в течение года изменяется незначительно – от 6 до 19 мгО/л. Содержание NO_3^- и NO_2^- сравнительно невелико, причем наибольших значений (1.0 – 1.3 мг/л) содержание NO_3^- достигает взимную межень. Количество нитритов составляет 0.000 – 0.025 мг NO_2^- /л. Количество кремния не превышает 2.0 мгSi/л. Содержание железа изменяется в основном от 0 до 0.2 мгFe/л, но в отдельные годы повышается до 0.6 мгFe/л.

Кислородный режим реки характеризуется хорошей насыщенностью растворенным газом в течение всего года. В основном содержание кислорода составляет 90 – 100% (9.3 – 13.7 мг/л). Количество CO_2 составляет 0.9 – 5.3 мг/л, при этом летом несколько меньше, чем в остальные сезоны года.

Растворенные органические вещества имеют преимущественно почвенное происхождение, на 80–90 % они состоят из устойчивых гуминовых кислот. Многовато фенолов природного происхождения продуктов гниения опавшей хвои, коры и древесины.

Ионный сток р. Невы у д. Новосаратовка составляет в среднем за 1946 – 1965 гг. 3006 тыс. т в год со следующим распределением по гидрологическим сезонам: весна (апрель–июнь) – 28%; лето (июль– сентябрь)–29%; осень (октябрь – ноябрь)–18%; зима (декабрь– март)–25%. Показатель ионного стока составляет 10.7 т/км² в год» [6].

Ниже (в таблице 1.5.1) приведено среднее содержание химических веществ выше по течению г. Санкт-Петербурга.

Таблица 1.5.1 – Природный химический состав невской воды вне пределов Санкт-Петербурга (средние многолетние величины)

Вещества	мг/л
Гидрокарбонаты, HCO ₃	28,5
Сульфаты, SO ₄	9,4
Хлориды, Cl	6,3
Кальций, Ca"	9,6
Магний, Mg"	2,7
Натрий и калий, Na+K	4,2
Нитраты, NO ₃	0,64
Минеральный фосфор, P м.	0,012
Нитритный азот, N	0.001
Железо общее, Fe	0,10
Кремний, Si	0,30

Продолжение таблицы Таблица 1.5.1

Вещества	мг/л
Двуокись углерода, CO ₂	2.0
Растворенный кислород, O ₂	12.3
БПК ₅ , O ₂	1.5
БПК полн. (полное биохим. потребление кислорода)	2.5
Органический фосфор, P _{орг.}	0,025
Фенолы	0,003

Природный состав невской воды слабо подвержен изменениям в течение года – как правило, концентрация какого-либо вещества колеблется в пределах 0.7 –1.4 от его средней величины. В этом сказывается регулирующее влияние озер бассейна.

В городской черте вода подвергается существенным химическим изменениям. Воды Обводного канала по данным за 2020 год как умеренно и относятся к III классу качества – умеренно-загрязненный водоток.

2. Полевые изыскания на Обводном канале. Расчет характеристик твердого стока

2.1 Рекогносцировочное обследование Обводного канала

Рекогносцировочное обследование водотока включало в себя:

- географическая координатная привязка будущих точек наблюдения GPS приемником;
- фотодокументация с рекогносцировочных точек наблюдения;
- ведение полевых журналов с описанием состояния водотока на рекогносцировочной точке наблюдения;

В результате рекогносцировочного обследования дана краткая характеристика водотока, включающая описание состояния берега и русла, береговых эрозионных процессов, техногенных объектов и др.

Особое внимание при рекогносцировке было уделено следующим характеристикам водотока: объектам поверхностного водоотведения, выпускам сточных вод, основным источникам антропогенного влияния, гидротехническим сооружениям, мостовым переходам, искусственным сооружениям, местам засорения и загрязнения, местам проявления эрозионных процессов.

Отдельно определялись места для спуска на воду плавсредств для дальнейших работ на Обводном канале.

Рекогносцировка проведена 10.10.2022 с 10:30 до 12:40. Погода – переменная облачность, температура воздуха 7 – 9°C, температура воды –

9 °С (измерено родниковым термометром). Течение канала – слабое. В местах ливневых водоспусков наблюдаются мутные пятна.

Краткое описание Обводного канала по результатам рекогносцировки

Положение: истекает из р. Невы выше моста Александра Невского, огибает центральную часть Санкт-Петербурга, впадает в р. Екатерингофку.

В приневской части с каналом на левом берегу соединяется Обводный бассейн, ниже – впадает р. Монастырка(по правому берегу) ир. Волковка (по левому берегу.)

Берега в основном искусственные, облицованы гранитными плитами, высотой 4-8 м, углы откоса до 80-90°. В нижней части стенок набережных довольно часто встречаются отверстия ливневой канализации диаметром около 0,2 м (рисунок 2.1.1), иногда встречаются трубы, впадающие в канал, диаметром до 0,5 м.



Рисунок 2.1.1 – Ливневые водоспуски в береговой стенке Обводного канала

Набережные в основном в хорошем состоянии, изредка наблюдаются небольшие смещения плит облицовки на горизонтальных площадках (как в районе Борового моста).

Ниже моста Степана Разина правый берег Обводного канала – земляной, высотой 3-4 м, угол откоса – до 50°.

Всего через Обводный перекинуто 24 моста в том числе 15 автомобильных, шесть пешеходных и два железнодорожных моста. Все мосты находятся в хорошем или удовлетворительном состоянии.

По результатам рекогносцировки определены положение будущих гидрологических створов, пунктов измерения мутности воды, мест отбора проб донных отложений на гранулометрический анализ. Положение створов представлено в таблице 2.1.1

Таблица 2.1.1 – Положение пунктов наблюдений на Обводном канале

№п/п	Название створа	Координаты,°		Расстояние от устья,км
		Широта	Долгота	
1	Атаманский мост	59.914949	30.374931	1.45
2	Каретный мост	59.914027	30.360093	2.26
3	Рузовский мост	59.913127	30.332742	3.94
4	Краснооктябрьский мост	59.908974	30.294077	6.24
5	м.Степана Разина	59.909260	30.264145	7.90

- Описание ситуации на точке обследования №1 (Атаманский мост): берега облицованы гранитными плитами, высотой 2-3 м, углы откоса – до

90°. Над гранитными стенками – облагороженный земляной берег, засеянный травой, с углами откоса около 40-45°. Состояние берегов хорошее.

Ближайший к точке обследования мост – Атаманский, – в хорошем состоянии (рисунок 2.1.2)



Рисунок 2.1.2 – Атаманский мост

- Описание ситуации на точке обследования №2(Каретный мост): берега – гранитные плиты, высотой до 6-7 м, углы откосов – до 80° (рисунок 2.1.3).



Рисунок 2.1.3 – Каретный мост

Правый берег выше набережной – земляной, искусственно выровненный, засеян травой, угол откоса около 40°. На бровке склона – колодец диаметром около 1 м. В стенке левого берега – 2 выхода труб диаметром около 0,5 м, вероятно, ливневая канализация. Состояние берегов, близлежащих мостов, труб и колодца хорошее.

- Описание ситуации на точке обследования № 3(Рузовский мост): берега – гранитные стенки высотой 3-4 м, углами уклонов около 80°. В береговых стенках у воды довольно много отверстий водоспусков (рисунок 2.1.4). Берега в хорошем состоянии. Рузовский мост в хорошем состоянии

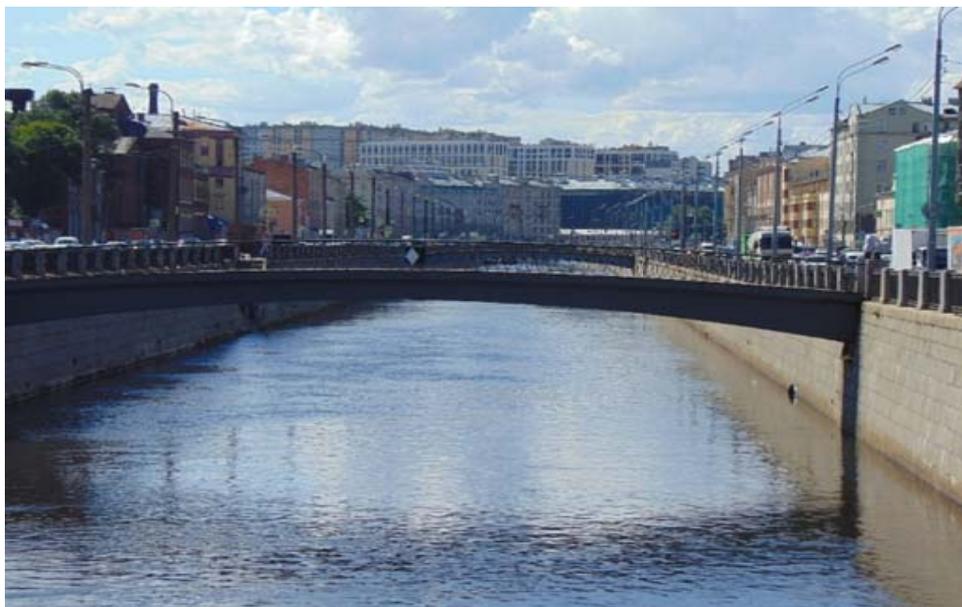


Рисунок 2.1.4 – Вид с Рузовского моста вниз по течению Обводного канала

- Описание ситуации на точке обследования № 4(Краснооктябрьский мост): берега – гранитные стенки высотой около 4 м, углами откосов около 80°. Левый берег частично укреплен бетонными плитами, на которых наблюдаются водные потоки. Имеются отверстия водосливов диаметром около 10 см. Берега в хорошем состоянии; Краснооктябрьский мост в удовлетворительном состоянии.

- Описание ситуации на точке обследования № 5 (мост Степана Разина): левый берег – гранитная стенка высотой 3-4 м, углом откоса до 90°. Состояние хорошее. Правый берег ниже моста – земляной, высотой 3-4 м, углом откоса до 50°, порос травой, березой, осиной, ивой, неухоженный. У воды под откосом – песчаный пляж 1х3 м, уклон до 10°



Рисунок 2.1.5 – Вид на мост Степана Разина

2.2 Проведение промеров глубин. Измерение расходов воды

Измерение глубин в установленных створах было совмещено с измерениями расходов воды Обводного канала, выполненными при помощи ADCP профилографа StreamPro.

ADCP профилограф «Stream Pro» от «RD Instruments» («Teledyne») – является эффективным и надежным инструментом контроля

гидрологических параметров рек и каналов с малой глубиной. Прибор эффективен при работе на глубине до от 10 см до 6 метров и имеет разрешение – 2 см. На рисунке 2.2.1 представлен процесс подготовки профилографа к работе.



Рисунок 2.2.1 Подготовка профилографа «Stream Pro» к работе

Расходы воды были измерены на всех 5 створах путем провода прибора по поверхности воды перпендикулярно руслу в прямом и обратном направлении для получения одного усредненного значения. Значения расходов вычислялись сопутствующим ПО на месте и заносились в электронную память прибора. Уровень воды в каждом створе на момент измерения был рассчитан, относительно уровня воды р. Нева по в/п Горный институт (на момент начала работ в 10:00 15.10.2022 уровень воды составил 0.42 мБс; на момент окончания измерения расходов воды в 15:00 уровень

воды существенно не изменился) и устоявшихся значений местных ординаров (мБс) для каждого створа (рассчитаны при уклоне русла Обводного канала составляющего - 0.0000407). Значения измеренных расходов воды и соответствующих им уровней представлены в таблице 2.2.1

Таблица 2.2.1 – Измеренные расходы воды и соответствующие им уровни воды

№п/п	Название створа	Дата измерений	Расход воды, м ³ /с	Уровень воды, мБс
1	Атаманский мост	15.10.2022	17.3	0.62
2	Каретный мост	15.10.2022	19.3	0.60
3	Рузовский мост	15.10.2022	16.5	0.52
4	Краснооктябрьский мост	15.10.2022	18.9	0.41
5	мост Степана Разина	15.10.2022	18.2	0.38

Также при помощи профилографа были получены промеры глубин исследуемых створов в виде графических трансектов записанных в электронную память прибора. Данные трансекты были обработаны и перенесены в MSExcel. Отметки дна на профилях (рисунки 2.2.2 – 2.2.6) даны сразу в мБс.



Рисунок 2.2.2 – Поперечный профиль Обводного канала в створе №1
(Атаманский мост)

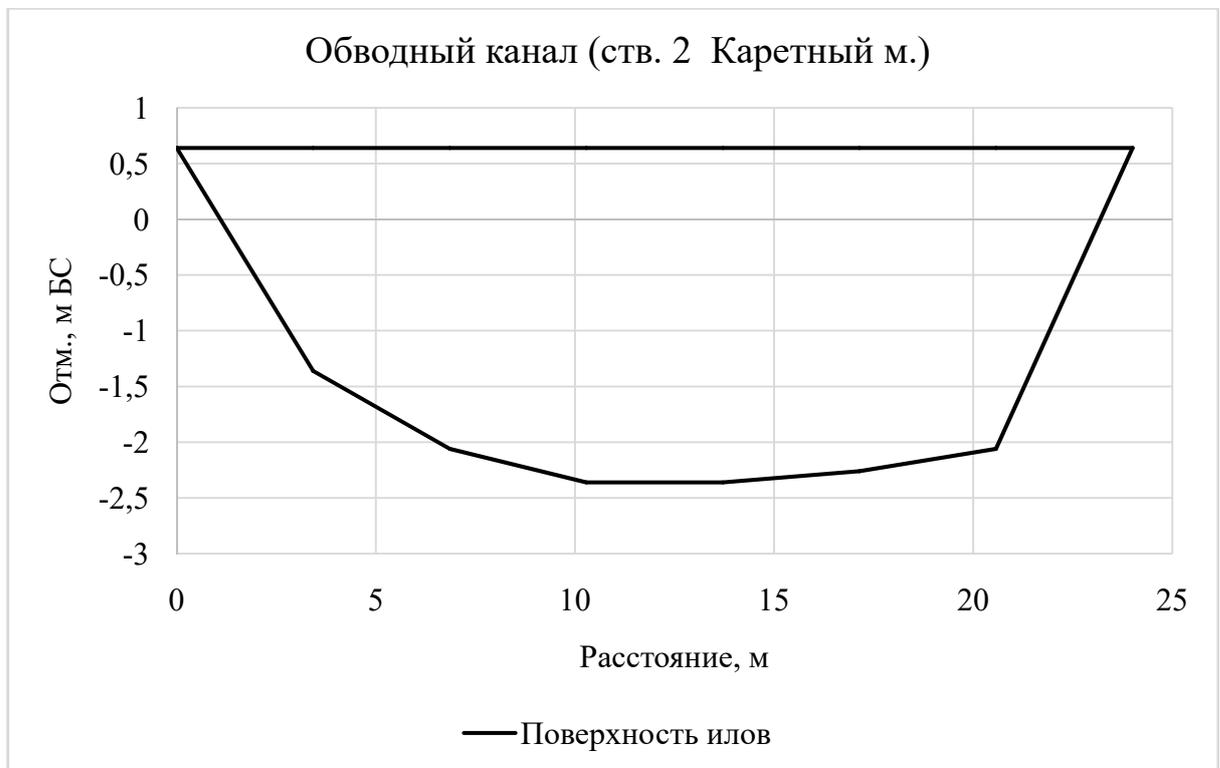


Рисунок 2.2.3 – Поперечный профиль Обводного канала в створе №2
(Каретный мост)



Рисунок 2.2.4 – Поперечный профиль Обводного канала в створе №3
(Рузовский мост)



Рисунок 2.2.5 – Поперечный профиль Обводного канала в створе №4
(Краснооктябрьский мост)

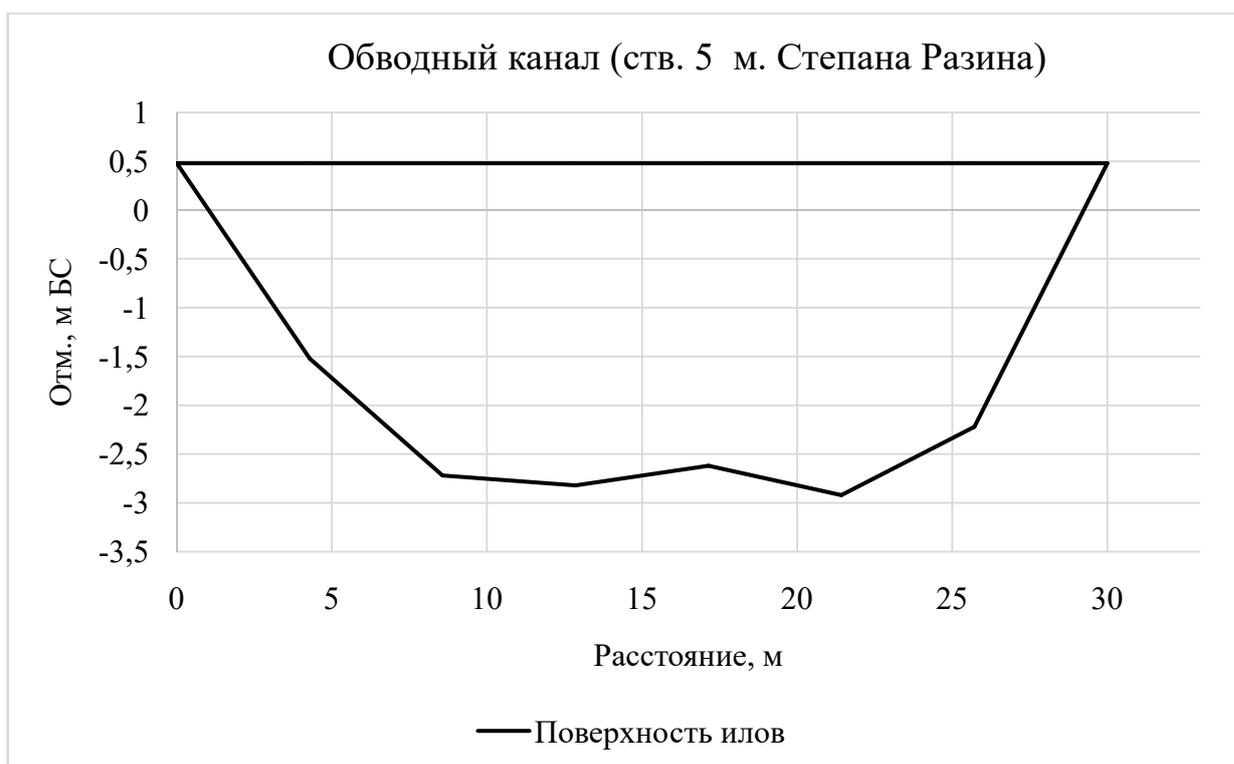


Рисунок 2.2.6 – Поперечный профиль Обводного канала в створе №5
(мост Степана Разина)

2.3 Эхолотное обследование Обводного канала

Для определения мощности донных отложений в исследуемых створах было проведено эхолотная съемка русла Обводного канала при помощи эхолота с дополнительным использованием функций локатора бокового обзора («HummingbirdSOLIXG3 10 SI»).

Гидролокатор бокового обзора (ГБО) – одно из наиболее удобных средств для выполнения подводных обзорных и картографических работ. Комплекс аппаратуры, совмещенный с ГБО – GPS-приемник, портативный компьютер, блок дешифрирования принимаемого сигнала, – позволяет получить площадное изображение дна в реальном времени (сонограмму). Обзор дна производится не только непосредственно под судном, но и по обе

стороны от него. Мощность мягких отложений оценивалась с помощью низкочастотных эхограмм. Рабочая частота низкочастотного датчика при проведении съемок водотоков составляла 15-220 кГц. Для бокового сканирования и высокочастотного эхолотирования нижним локатором для условия мелководных водоемов был использован режим MEGA, позволяющий производить съемку дна на максимальных частотах (более 1000 мГц).

Датчик эхолота был закреплен на борту лодки, погруженным в воду на несколько см. Информация с эхолота передавалась на экран прибора в режиме реального времени, а также записывалась в электронную память прибора. Начало и конец выполнения измерений эхолота в исследуемых створах также фиксировались в памяти прибора для дальнейшей интерпретации и анализа полученных результатов.

На рисунке 2.3.1 Представлены характеристики стандартной эхограммы.

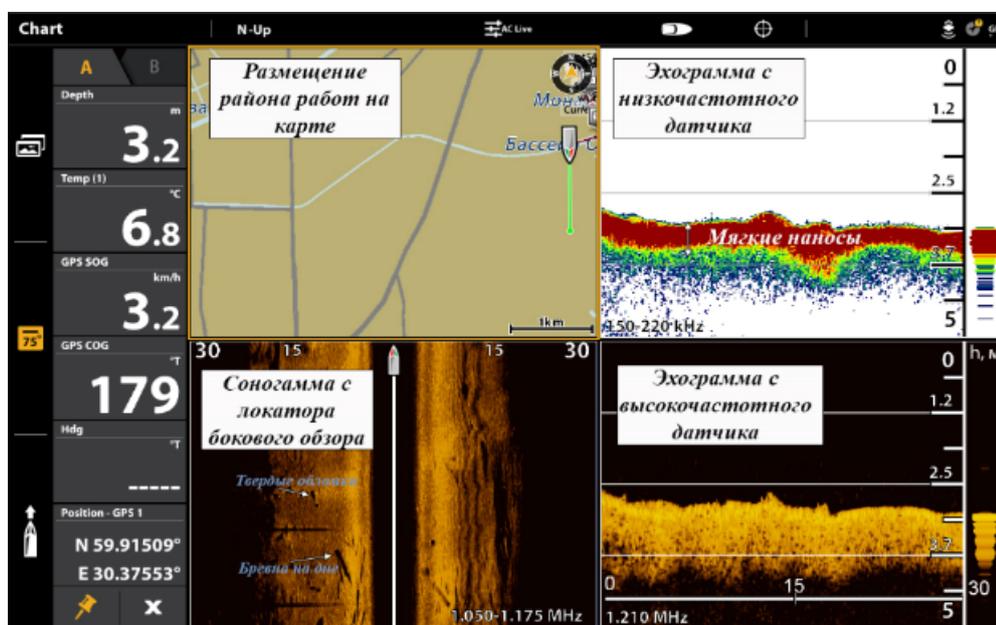


Рисунок 2.3.1 – Характеристики стандартной эхограммы

Слой донных отложений (осадков) выявлялся при низкочастотном эхолотировании (цветовой диапазон на эхограмме – от красного до желтого).

Его верхняя граница соответствует поверхности дна водотока, нижняя граница (ниже нее лежат твердые подстилающие слои, цветовое выделение - синего цвета) – соответствует нижней границе слоя современных обводненных рыхлых отложений. На некоторых участках Обводного канала движение водного транспорта поднимало волны, которые также фиксировалась на эхограммах (волнообразный характер поверхности на эхограммах) (рисунок 2.3.1)

В результате обработки полученных эхограмм в MSExcel были построены графики изменения мощности донных отложений в исследуемых створах №1 – №5 (рисунки 2.3.2 – 2.3.6). На каждом графике представлено значение площади донных отложений в м².

В таблице 2.3.1 следующей после графиков представлены результаты расчетов средней мощности илов в створе, а также объемов накопленных илов между створами с учетом средней мощности илов на участке.

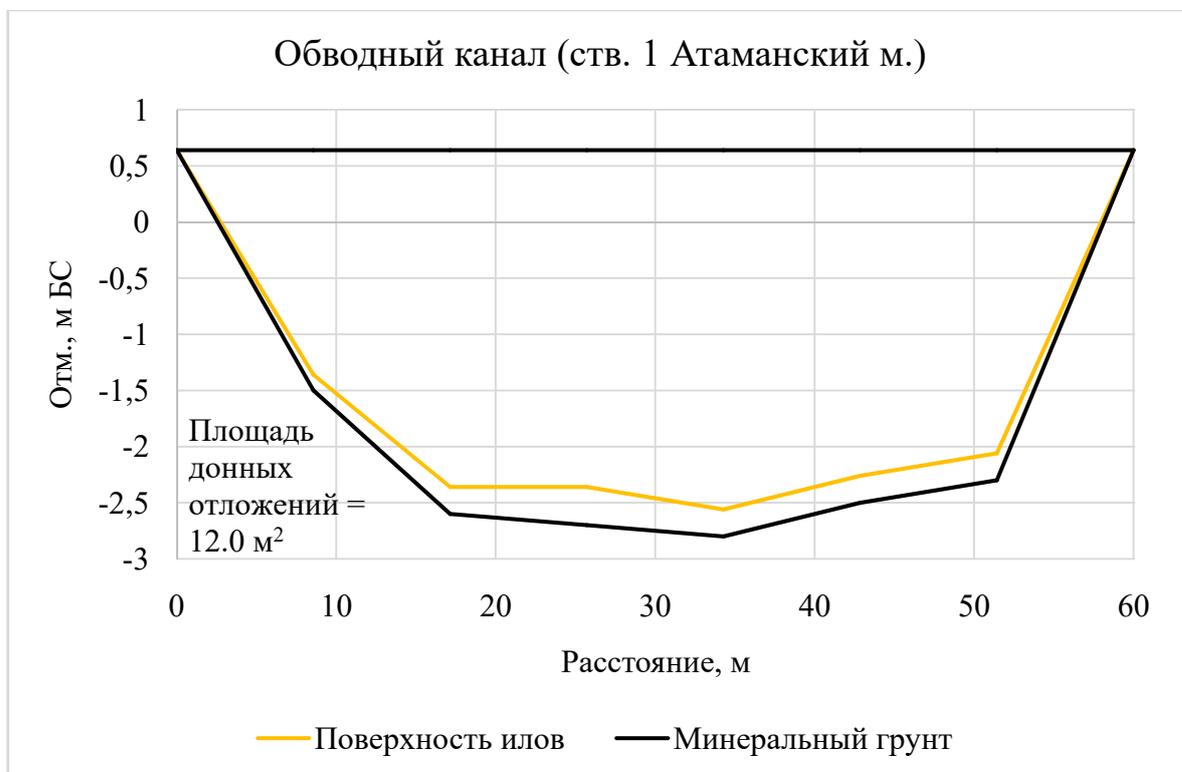


Рисунок 2.3.2 – Мощность донных отложений Обводного канала в створе №1 (Атаманский мост)

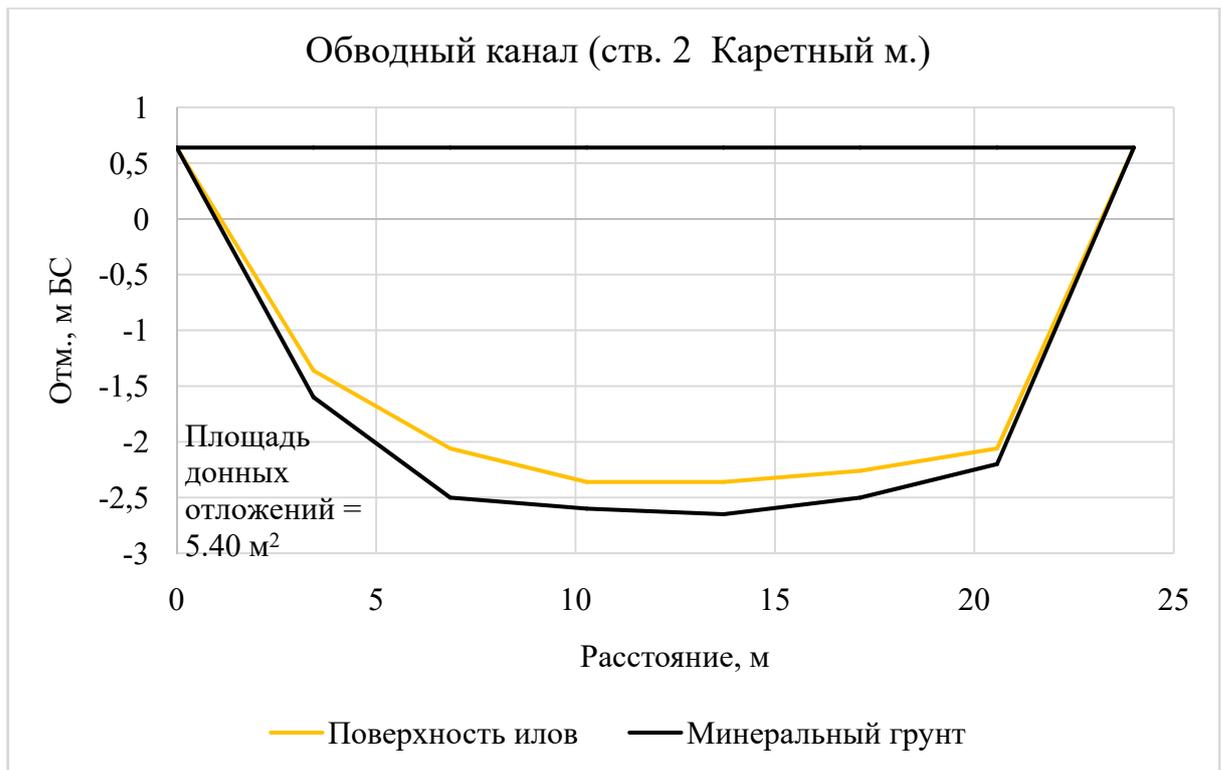


Рисунок 2.3.3 – Мощность донных отложений Обводного канала в створе №2 (Каретный мост)

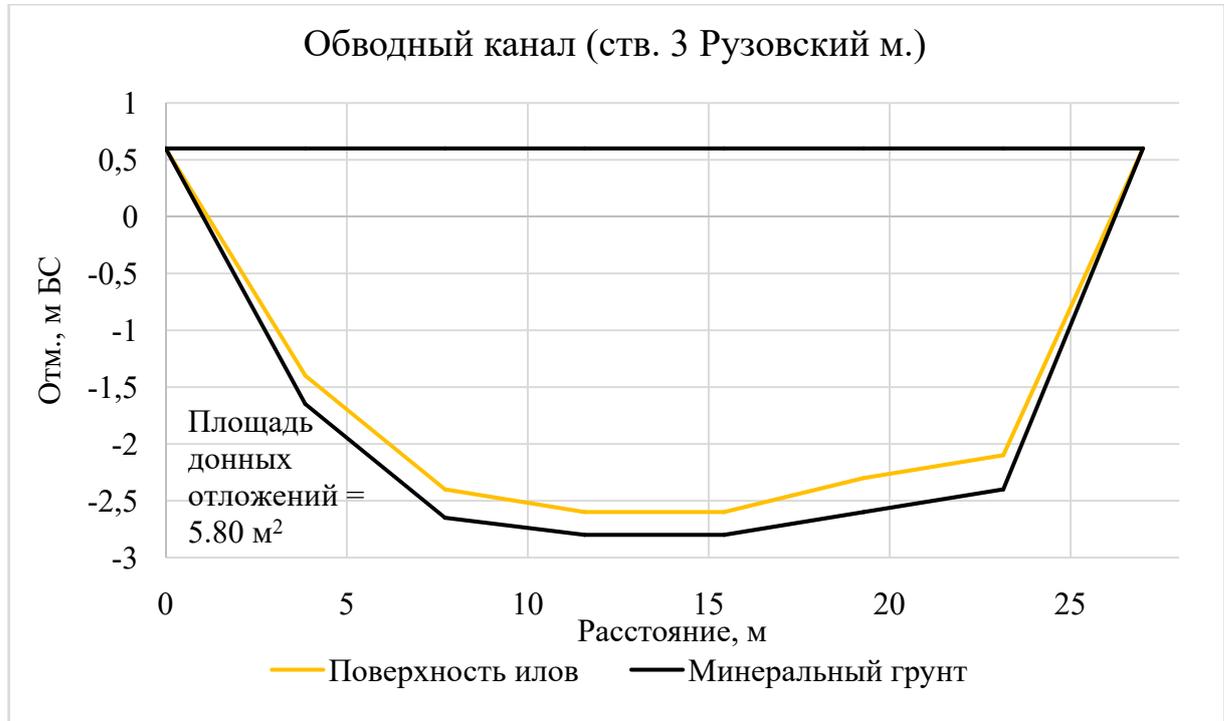


Рисунок 2.3.4 – Мощность донных отложений Обводного канала в створе №3 (Рузовский мост)

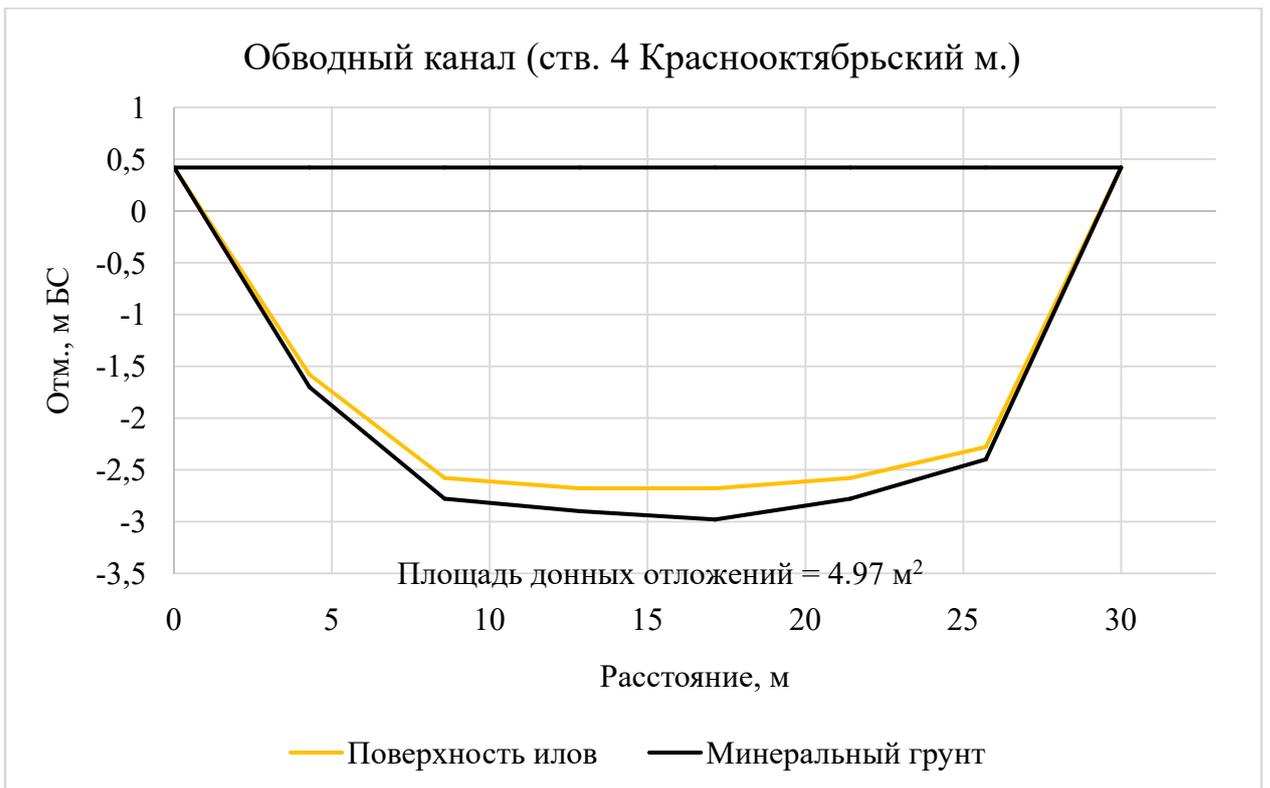


Рисунок 2.3.5 – Мощность донных отложений Обводного канала в створе №4
(Красноярский мост)

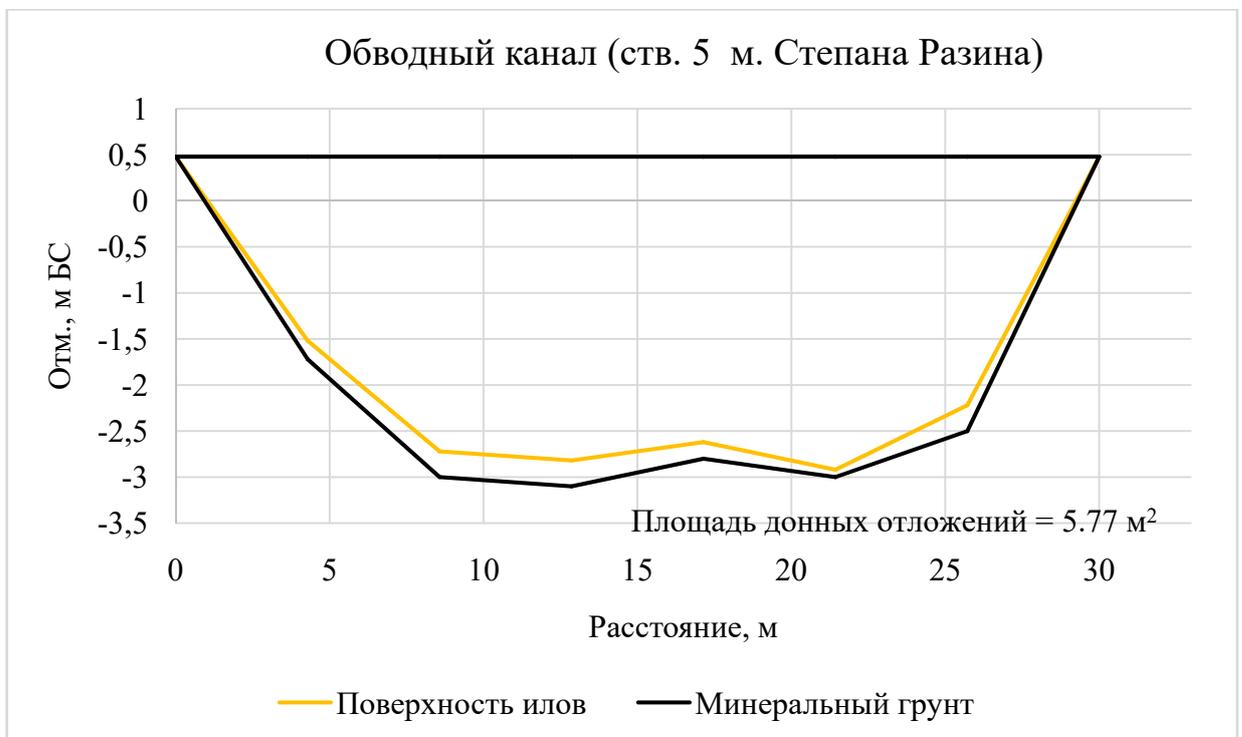


Рисунок 2.3.6 – Мощность донных отложений Обводного канала в створе №5
(мост Степана Разина)

Таблица 2.3.1 – Донные отложения обводного канала

Название створа	Расст. от истока, м	Ширина створа, м	Площадь донных отложений в створе, м ²	Средняя мощность донных отложений в створе, м	Объем накопленных донных отложений, м ³
Исток (р. Нева)	0	-	-	-	
Атаманский мост	1450	60	12.0	0.20	17400
Каретный мост	2260	24	5.40	0.23	7047
Рузовский мост	3940	27	5.80	0.21	9408
Краснооктябрьский мост	6240	30	4.97	0.17	12386
М. Степана Разина	7900	30	5.77	0.19	8914
Устье (р. Екатерингофка)	8080	-	-	-	1039
Сумма накопленных донных отложений в Обводном канале, м ³					56193

Для более подробного анализа изменения мощности донных отложений по длине Обводного канала был построен график, представленный на рисунке 2.3.7.

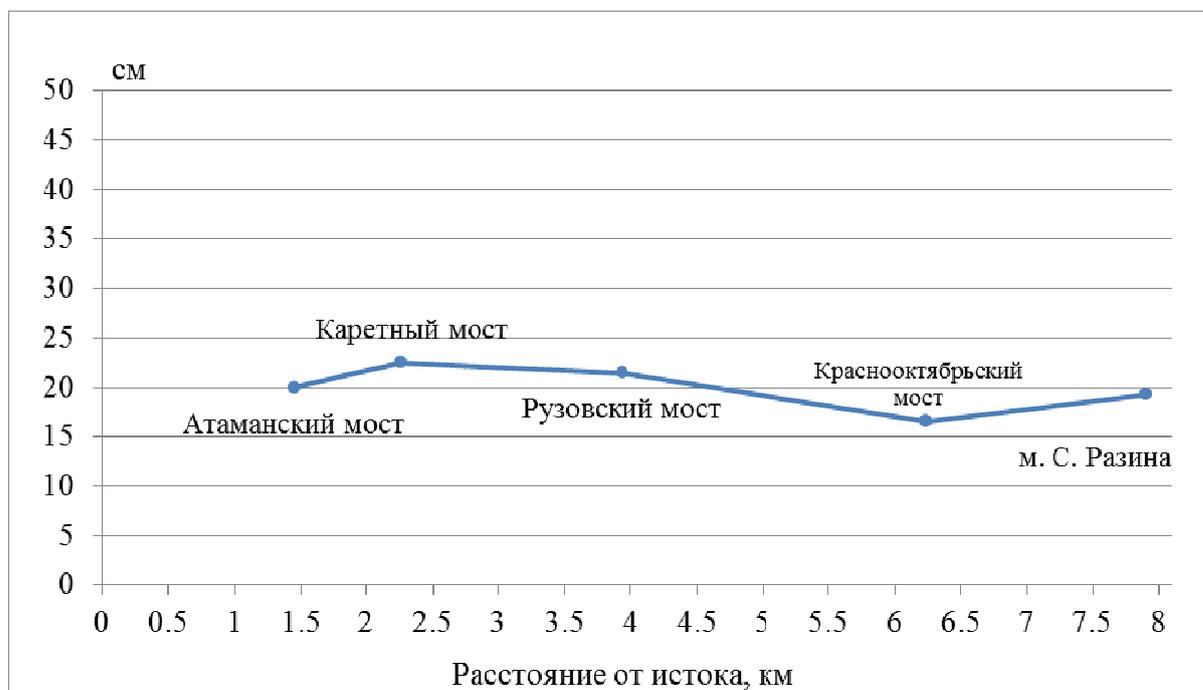


Рисунок 2.3.7 – Распределение толщины донных отложений по длине Обводного канала

2.4 Измерение мутности воды Обводного канала

Для расчета расходов взвешенных наносов в исследуемых створах в во время полевых изысканий были выполнены измерения мутности воды Обводного канала.

Определение значений мутности в единичных пробах выполнялось стандартным прибором – батометром-бутылкой с мостов приуроченных к исследуемым створам. Одновременно с батометром измерения мутности проводились датчиком «Seapoint Turbidity Meter» в составе океанологического зонда. На рисунке 2.4.1 представлен момент подготовки зонда к работе.

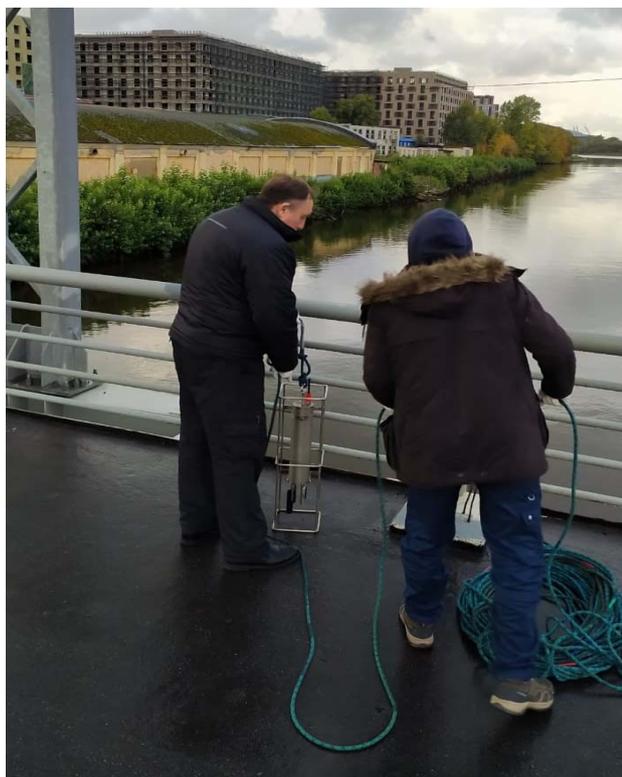


Рисунок 2.4.1 – Подготовка прибора с датчиком мутности к измерениям

Измерения обоими приборами выполнялись одновременно в одной точке посередине русла на глубине примерно равной половине глубины канала в данной точке. Измерения мутности проводились параллельно с измерениями расхода воды.

Пробы воды, отобранные при помощи батометра, были отстаиваны и отфильтрованы в лабораторных условиях при помощи прибора Куприна. После просушки и взвешивания проб был произведен расчет мутности воды. Результаты, полученные по батометру и мутность воды, измеренная датчиком мутности, показали хорошую связь, поэтому было принято решение использовать данные с датчика мутности в дальнейших расчетах. В таблице 2.4.1 представлены результаты измерения мутности в исследуемых створах.

Таблица 2.4.1 – Мутность воды Обводного канала

№п/п	Название створа	Координаты, °		Мутность воды, г/м ³
		Широта	Долгота	
1	Атаманский мост	59.914949	30.374931	18.5
2	Каретный мост	59.914027	30.360093	17.8
3	Рузовский мост	59.913127	30.332742	24.0
4	Краснооктябрьский мост	59.908974	30.294077	24.7
5	м.Степана Разина	59.909260	30.264145	25.4

По данным представленным в таблице 2.4.1 был построен график изменения мутности воды по длине Обводного канала (рисунок 2.4.2)

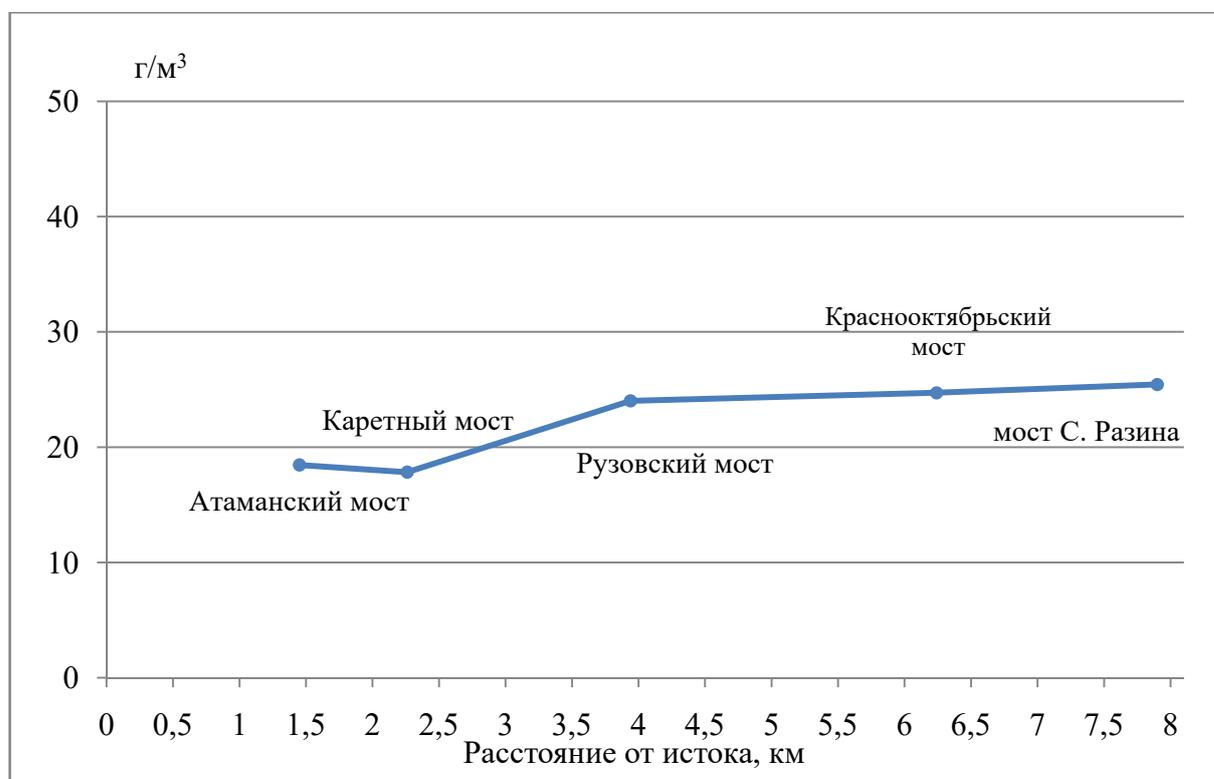


Рисунок 2.4.2 – График изменения мутности воды Обводного канала

По результатам измерения расходов воды (п. 2.2) и измерения мутности были рассчитаны показатели расхода взвешенных наносов (как произведение расхода воды ($\text{м}^3/\text{с}$) и мутности воды ($\text{г}/\text{м}^3 \times 10^{-3}$)) в исследуемых створах (таблица 2.4.2). Также был построен график изменения расхода взвешенных наносов по длине Обводного канала (рисунок 2.4.5).

Таблица 2.4.2 – Расход взвешенных наносов Обводного канала

№п/п	Название створа	Расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$	Мутность воды, $\text{г}/\text{м}^3 \times 10^{-3}$	Расход взвешенных наносов, $\text{кг}/\text{с}$
1	Атаманский мост	17.3	0.018	0.319
2	Каретный мост	19.3	0.018	0.344
3	Рузовский мост	16.5	0.024	0.396
4	Краснооктябрьский мост	18.9	0.025	0.467
5	Мост Степана Разина	18.2	0.025	0.463

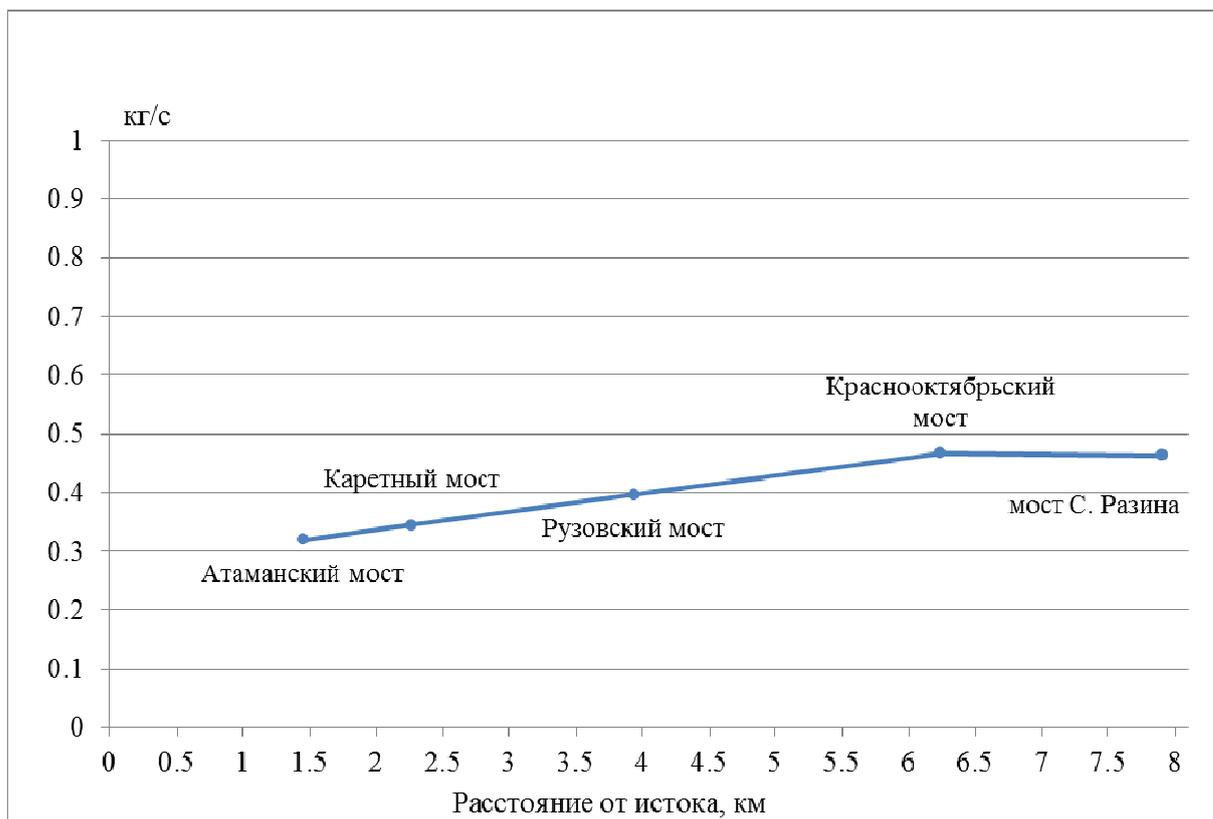


Рисунок 2.4.3 – График изменения расхода взвешенных наносов по длине Обводного канала

2.5 Отбор проб донных отложений Обводного канала

При выполнении полевых изыскания на Обводном канале был произведен отбор донных отложений на поперечных профилях для определения физико-механических свойств (гранулометрический состав), проведение лабораторных исследований.

Пробы отбирались с помощью облегченного дночерпателя Петерсена (площадь раскрытия 0,025 м²), представленного на рисунке 2.5.1 в середине исследуемых створов.

При пробоотборе велся полевой дневник (Таблица 2.5.1), в который заносилась информация о местоположении точки пробоотбора, глубине

водотока, типе пробоотборника, типе донного осадка. Производилась также фотодокументация работ.

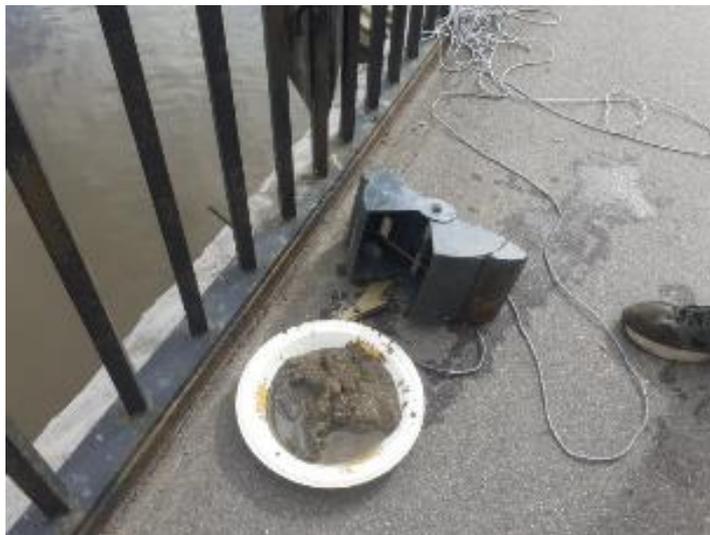


Рисунок 2.5.1 – Отбор проб донных отложений дночерпателем Петерсена

Каждая проба упаковывалась в полиэтиленовые пакеты согласно ГОСТ 17.1.5.01 80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность». Отбор проб донных отложений произведен в соответствии с требованиями, установленными нормативной документацией:

- ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов;
- ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3.2-03. Отбор проб почв, грунтов, осадков биологических очистных сооружений, шламов промышленных сточных вод, донных отложений искусственно созданных водоемов, прудов-накопителей и гидротехнических сооружений;
- ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.

После отбора пробы на гранулометрический анализ были переданы в гранулометрическую лабораторию ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН для дальнейшей обработки и анализа.

Таблица 2.5.1 – Полевой дневник отбора проб донных отложений Обводного канала на 02.09.2022

Время	Место отбора/№пробы	Описание пробы	Примечания
14:00	Атаманский мост/Обв.-1	0-5 см. Песок верхний слой 3 см - серо-коричневый, ниже - серый, разнотельный, алеврита до 5%, отмыт плохо, двусторонки, остатки мелкий корней. У п.б. визуальное песчаное дно	Глубина отбора - 3 метра. Прибор - дночерпатель Петерсена.1 спуско-подъем.
14:30	Каретный мост/ Обв.-2	0-1 см. Песок оранжево - серый, полимиктовый, среднеотмытый, гранита, дресвы, гравия до 5%.крупные обломки пород	Глубина отбора - 1.5 метра. Прибор - дночерпатель Петерсена.4 спуско-подъема.
15:30	Рузовский мост/ Обв.-3	0-2 см. Песок оранжево-темно-серый, разнотельный, отмытый, до 10-20% щебня,дресвы. В основном техногенный шлак, керамика, бетон	Глубина отбора - 1.5 метра. Прибор - дночерпатель Петерсена.1 спуско-подъем. <u>Малая проба</u>
16:15	Красно-октябрьский мост/Обв.-4	0-5 см. Песок оранжево-темно-серый, полимикт (1/3), гранит, промыт, дресвы до 5-10%	Глубина отбора - 1.5 метра. Прибор - дночерпатель Петерсена.2 спуско-подъем.

Продолжение таблицы 2.5.1

16:40	Мост С. Разина/Обв. -5	0-5 см. Песок оранжево-темно-серый, полимикт (1/3), гранит, промыт, дресвы до 5%. Песок чуть более сортирован чем в пробе Обв.-4	Глубина отбора - 1.5 метра. Прибор - дночерпатель Петерсена.1 спуско-подъем.
-------	------------------------------	---	---

Гранулометрический состав грунта определялся в лаборатории по массовому содержанию в нем частиц различной крупности, выраженному в процентах по отношению к массе сухой пробы грунта, взятой для анализа.

Все пробы предварительно сушились в сушильном шкафу ES-4620 (ООО «Экросхим», Санкт-Петербург). Взвешивания производили на лабораторных весах AND DX-120 (точность до 0,001 г) и аналитических весах AND HR-100AZG (точность до 0,1 мг) (производитель A&D, Токио).

Для выполнения ситового анализа использовался комплект сит С12/38 с сеткой нормальной точности (материал – нержавеющая сталь, производитель ООО «Вибротехник», Санкт-Петербург).

Перед ситовым анализом проба высушивается в сушильном шкафу при температуре 105⁰С, затем 1 час охлаждается в эксикаторе и растирается в фарфоровой ступке. Методом конверта из неё отбирается аликвота весом 100 грамм и взвешивается на аналитических весах с точностью до 0,001. В воздушно-сухом состоянии навеска пропускается через сита с диаметром пор 10-5-2-1-0,5 мм. Частицы, осевшие на сите, переносятся в предварительно высушенный и взвешенный пластиковый стаканчик и взвешиваются на аналитических весах с точностью до 0,001. Для частиц менее 0,5 мм применяется мокрое ситование с использованием дистиллированной воды и кисточки. Перед взвешиванием грунт высушивается в накрытых стаканах в шкафу при температуре 105⁰С, затем охлаждаются в эксикаторе в течение

часа. Грунт, осевший на сите, осматривается, в том числе под лупой, при необходимости дополнительно растирается.

Результаты обработки проб донных отложений Обводного канала и гранулометрический анализ проб представлен далее в работе.

Таким образом, за период полевых изысканий с августа по октябрь 2022 года на Обводном канале были выполнены следующие работы:

- Рекогносцировочное обследование Обводного канала. Выбор точек и закрепление створов для дальнейших исследований (5 створов).
- Промеры глубин, измерение расходов воды. Построение поперечных профилей дна исследуемых створов.
- Эхолотное обследование канала с целью определения мощности донных отложений в исследуемых створах. Анализ эхограмм и построение профилей мощности донных отложений.
- Измерение мутности воды. Анализ результатов, полученных двумя приборами. Построение графика изменения мутности воды по длине канала.
- Отбор проб донных отложений (5шт.) Лабораторное исследование проб донных отложений. Гранулометрический анализ проб.

На рисунке 2.5.2 представлена карта-схема со всеми видами выполненных на Обводном канале полевых работ.



Рисунок 2.5.2 – Картосхема выполненных работ

3. Определение происхождения наносов, поступающих в Обводный канал

Определение генезиса донных и взвешенных наносов водотоков г. Санкт-Петербурга является сложной задачей, так эти наносы весьма разнообразны как по составу, так и по времени накопления или оседания. Эти и другие факторы определяют неравномерную картину их распределения на дне водотоков, в частности Обводного канала.

Формирование донных отложений Обводного канала происходит в результате сложных процессов осаждения минерального и органического вещества (рисунок 3.1).

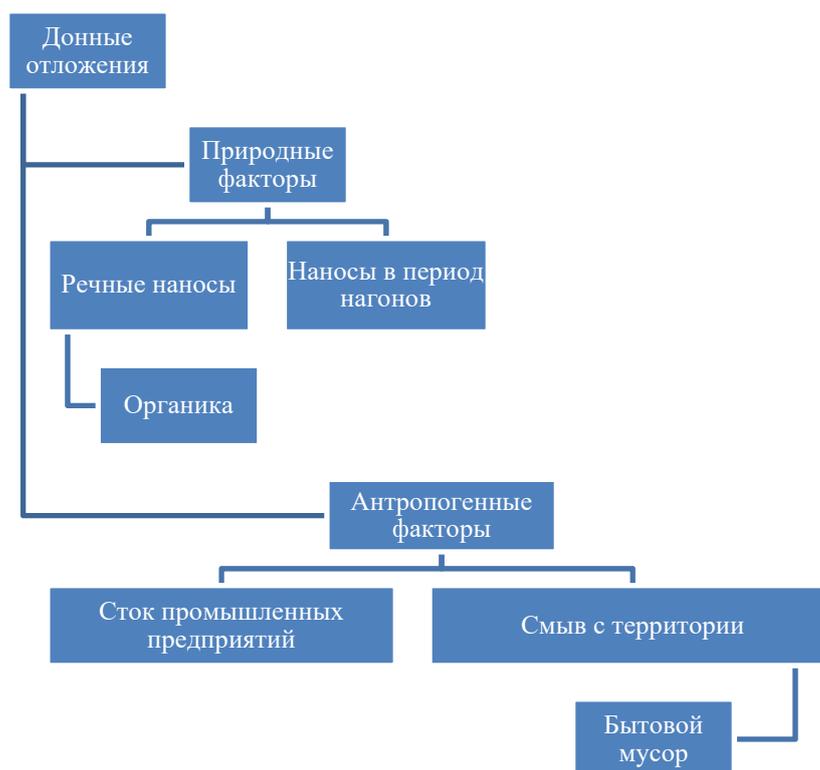


Рисунок 3.1 – Основные источники формирования донных отложений

Обводного канала

В литологическом отношении донные отложения рек и водотоков Санкт-Петербурга представлены разнообразными гранулометрическими типами осадков: от гравийных до глинистых. Русловые отложения сравнительно крупных рек, расположенных по периферии города (Тосно, Ижора, Славянка) представлены преимущественно кварц-полевошпатовыми крупно-среднезернистыми песками средней сортировки. В устьевых частях рек отложения представляют собой водонасыщенные илы алевритового состава с примесью песчаного материала до 10 – 15 %.

Донные осадки рек, расположенных в пределах центральных частей Санкт-Петербурга, в гранулометрическом отношении характеризуется более тонким составом.

Так, предшествующий анализ физико-механических свойств донных отложений Обводного канала, показал, что в поверхностном слое донных отложений Обводного канала преобладают алевритистые и среднезернистые пески. В начале Обводного канала дно сложено алевритистыми песками и песчаным алевритом, затем появляются прослойки среднезернистых песков в районе реки Волковка, от Лиговского проспекта до Рыбинской улицы и от Ново-Московского моста до Варшавского вокзала. В районе Варшавского вокзала вплоть до улицы Циолковского дно слагают алевритистые пески и алевриты, где залегают среднезернистые пески, которые затем (в районе Бумажной улицы) переходят в алевритистые пески.

По результатам исследований последних лет установлено, что поверхностный слой донных осадков Обводного канала характеризуется аномально высокими концентрациями ПАУ [11]. Для разных водотоков среднее содержание суммы 15 незамещенных полиаренов меняется в пределах от 4246 до 709168 мкг/кг. В их структуре преобладают тяжелые 5 и 6-циклические полиарены, поступление которых в донные отложения, связано преимущественно с техногенезом. Изучение соотношения

содержания индивидуальных веществ показало, что основными источниками полиаренов являются сжигание топлива (водный и автотранспорт) и нефтяное загрязнение водотоков. Сравнение полученных данных с результатами исследований, проведенных в начале и середине 90-х годов прошлого века, показало, что загрязнение донных осадков водотока за прошедшие 20 лет увеличилось.

С целью унификации результатов исследования индивидуального состава ПАУ предложено использовать коэффициент опасности (К ПАУ). Он рассчитывается как произведение индекса токсичности полиарена и его содержания в среде (воде, донных осадках или почве). Коэффициент позволяет выполнить свертку данных и облегчает сопряженный анализ степени загрязненности и опасности донных отложений в пространственно-временном срезе. Полученные значения коэффициента опасности (К ПАУ) показали очень высокий уровень экологической опасности (загрязнения) донных осадков водотоков города, особенно рек Екатерингофка, Карповка, Мойка и Обводного канала.

Городские реки и каналы в черте Санкт-Петербурга в последние несколько десятков лет характеризовались постепенной сменой природных условий осадконакопления техноседиментогенезом, что вызвано ростом численности населения города и развитием промышленного производства. В настоящее время для большинства городских водотоков типичен техногенный режим развития, который определяется, в первую очередь, превышением уровня химического воздействия над самоочищающейся способностью водотоков, накоплением техногенных илов и деградацией биоценозов водных объектов.

Так, в ходе исследований специалистами СПбГУ и ВСЕГЕИ [12] донных отложений Обводного канала установлены следующие особенности пространственного распределения загрязняющих веществ.

1. В разрезе донных отложений водотоков канала выделено два литолого-страти-графических комплекса (ЛСК), которые залегают на позднеплейстоценовых озерно-ледниковых отложениях (ЛСК 1): ЛСК 2 – аллювиальные осадки доиндустриального периода развития водотоков и ЛСК – техногенные (природно-техногенные) отложения, сформировавшиеся приблизительно за 60 лет. В Обводном канале в ЛСК 3 выделено два слоя: ЛСК 3-1, образовавшийся в период максимального уровня техногенного воздействия («советский» период), и ЛСК 3-2, который возник в новейший «постсоветский» этап развития, характеризующийся снижением объемов производства и соответственно антропогенной нагрузки на канал. Техногенные осадки представлены алевропелито-песчаными миктитами (или песчаными полимиктитами), характеризуются низким объемным весом (менее $1,20 \text{ г/см}^3$) и высокой природной влажностью (до 300%). Современные скорости осадконакопления достигают 3 – 4 см/год.

2. Осадки характеризуются высоким содержанием кислоторастворимых форм тяжелых металлов, превышающих фоновые показатели от n (Zn, Cu, Ni, Cr) до $n \cdot 10$ (Cd, Pb, Hg) раз – в Обводном канале. На основе фазового анализа в Обводном канале выявлено большое количество высокоподвижных сорбционно-карбонатных (Cd, Mn, Co, Zn, Ni) и подвижных органоминеральных комплексов (Cu, Co, Zn, Ni), что относится к фундаментальным свойствам техногенных илов.

3. В геохимической структуре современных осадков выделяются два парагенезиса: ассоциация металлов-халькофилов, типоморфная комплексному загрязнению природной среды, присущему крупным промышленным городам. Этот парагенезис трассирует накопление органоминеральных техногенных осадков в Обводном канале. Вторая ассоциация Co-Mn в данной геохимической структуре может быть отражением естественных процессов дифференциации осадочного материала, что характерно локальных участков Обводного канала. Современные отложения водотоков отличаются высокими концентрациями

токсичных органических соединений (нефтяные углеводороды, 3,4-бензапирен), включая ксенобиотики (ПХБ).

4. Максимальный уровень загрязнения донных осадков водотока, рассчитанный по индексу суммарного загрязнения, показал, что в Обводном канале уровень загрязнения отложений ЛСК 3-1 (средняя величина $Z_c = 89$, максимальная – 181) в два раза выше, чем в вышележащем горизонте ($Z_c = 44$). В основном содержания металлов в поверхностных осадках канала соответствуют уровню высокого загрязнения ($Z_c = 30 - 100$).

5. Вертикальная неоднородность распределения металлов в толще донных осадков водотоков свидетельствует о снижении масштабов техноседиментогенеза, явившегося результатом уменьшения объемов сброса промышленных сточных вод в водные объекты, и постепенным восстановлением природных механизмов дифференциации осадочного материала. Причинами стали закрытие предприятий, снижение объемов производства и ликвидация прямых выпусков сточных вод. При условии проведения тотальных дноочистных работ и других водоохраных мероприятий это позволяет надеяться на постепенную стабилизацию гидроэкологической ситуации в городских водотоках.

Наконец, следует иметь в виду, что современные исследования показывают, что имеет место набирающий обороты новый вид загрязнения, прежде всего, донных наносов водотоков - микропластиковыми частицами, т.е. частицами пластических масс, размером менее 5 мм.

Усилиями ГГУП «Специализированная фирма «Минерал» к настоящему времени сформирована обширная сеть постоянного наблюдения за состоянием береговой зоны внутренних водотоков Санкт-Петербурга.

Установлено, что состояние берегов рек определяется как природными процессами, так и техногенным воздействием. К естественным относят процессы переработки речных берегов, включающую в себя боковую,

плоскостную и склоновую эрозии, оползни, осыпи, обвалы и тому подобные геологические процессы, развивающиеся в руслах водотоков.

На урбанизированных территориях, к которым относится и Санкт-Петербург, происходит трансформация факторов русловых процессов, которая заключается, в первую очередь, в регулировании стока воды и наносов гидротехническими сооружениями. С другой стороны, любой населенный пункт - источник дополнительного количества наносов, приобретающих по мере его укрупнения и развития промышленности исключительно техногенный характер. Сток воды и наносов изменяется под влиянием городской застройки, твердого покрытия (асфальт, бетон) улиц и площадей, ливневой канализации.

Особенно сильному антропогенному прессу в городах подвергаются русла малых рек, которые либо механически уничтожаются, либо превращаются в сточные канавы, бетонные лотки и т.д. Механическое изменение русел малых рек, превращение их в свалки бытового мусора и отходов производства типично и для Санкт-Петербурга.

Загрязнение воды и специфический химический состав донных отложений и илистых осадков на реках в городах создают совершенно новые черты динамики потоков, движения наносов в руслах рек и, как следствие, формы проявления русловых процессов. Под влиянием загрязнений в руслах рек происходит физико-химическое преобразование руслообразующих наносов и речных отложений в тяжелые техногенные илы. Эти явления характерны для всех, даже для больших рек особенно там, где они протекают через градопромышленные агломерации. Благодаря последующим русловым деформациям, размыву и техногенному нарушению отложений в реках возможно и часто наблюдается вторичное загрязнение речной воды.

В результате активной техногенной деятельности происходит планация рельефа, образование новых техногенных участков на территории города, и,

как следствие, большие площади речных долин утрачивают свой первоначальный облик. В условиях техногенной нагрузки возрастает роль антропогенного фактора, который изменяет естественный ход рельефообразования и способствует возникновению новых природно-техногенных экзогенных геологических процессов, не наблюдавшихся на данной территории до начала интенсивной хозяйственной деятельности человека. Прилегающая к населённым пунктам территория, а также склоны и берега рек часто бывают замусорены бытовыми отходами и строительным мусором. В местах, где растительность полностью уничтожена, широко развиваются участки плоскостного сноса. Все перечисленные особенности техногенного влияния на состояние береговых зон характерны и для нашего города.

3. 1 Естественные источники поступления наносов в Обводный канал

В общепринятой гидрологической практике принято делить наносы на донные (влекомые) и взвешенные.

Донные (влекомые) наносы – это наносы, перемещаемые потоком в тонком придонном слое и движущиеся путем скольжения, перекатывания и скачков. Скольжение означает, что частица как бы протаскивается движущимся потоком воды (Перекатывание – это наподобие движения мяча). К донным наносам относятся частицы, высота скачка которых над дном имеет порядок поперечного размера частицы. По представлениям ГГИ, для равнинных рек донные наносы – это наносы, поднимающиеся до 7-10 средних диаметров частиц, а для горно-предгорных рек – до 2 диаметров.

Взвешенные наносы – более мелкие частицы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии. Их масса в единице объема воды определяет ее мутность.

Опираясь на теорию русловых процессов и фактическую информацию, Обводный канал является боковым отводом р. Невы. Следовательно, можно сделать предположение, что донные и взвешенные наносы р. Невы захватываются каналом с площади большей, чем его ширина и поступают в русло канала. Так как Обводный канал почти на всей своей протяженности облицован гранитными набережными и тем, самым не имеет собственного водосборного бассейна (за исключением водосбора р. Волковки, приток стока которой, составляет весьма малую часть в сравнении с поступающим стоком р.Невы)естественный плоскостной смыв в канал отсутствует.

Таким образом, единственным естественным источником твердого стока Обводного канала может являться часть твердого стока р. Невы.

Основные особенности гидрологического режима р. Невы, влияющие на процессы осаждения наносов в Обводном канале, а также основные характеристики сгонов и нагонов описаны в разделе 1.3 данной работы.

Помимо минеральной составляющей, донные отложения представлены и органической составляющей, образующейся в результате отмирания водной растительности и микроорганизмов. Однако, доля таких органических отложений значительно меньше доли минеральных отложений. К тому же исследование органики требует отдельного биологического анализа, который не был предусмотрен данной работой.

Поступление взвешенных наносов со стоком р. Невы

Режим естественного поступления твердого стока в исток Обводного канал, как уже было сказано ранее, определяется стоком взвешенных и влекомых наносов р. Невы.

Реки, протекающие по территории бассейнов Онежского и Ладожского озер, имеют меньшую мутность, чем другие реки Российской Федерации, вследствие расположения их русел в устойчивых к размывам породах, значительной залесенности и заболоченности собственных водосборов, а также наличия естественных отстойников, какими являются Ладога и Онега.

Наблюдения за мутностью и расходом взвешенных наносов в Неве производились в 1948-50, 1952-56 и в 1958 гг. В настоящее время систематические наблюдения за мутностью воды проводятся на водозаборных сооружениях ГУП “Водоканал”. Сведения о суточном изменении мутности воды в черте Санкт-Петербурга за 2004 год приведены на рисунке 3.1.1.

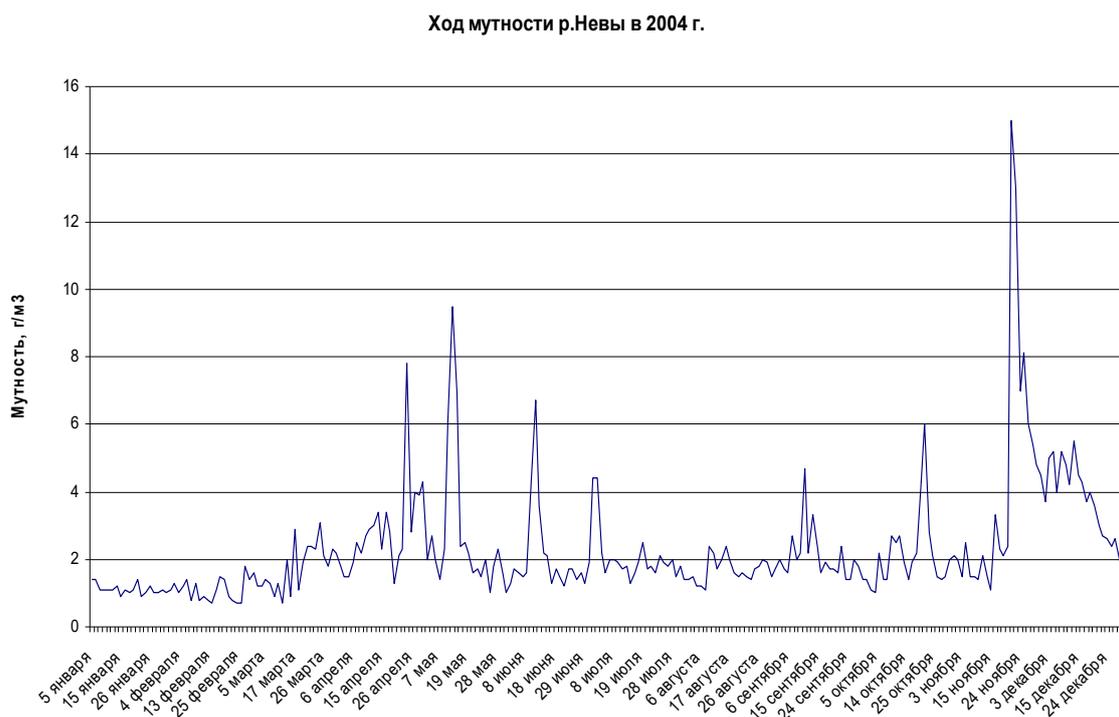


Рисунок 3.1.1 – Ход мутности р. Невы в пределах г. Санкт - Петербурга

Среднее значение мутности за этот период составило 2.3 г/м^3 , тогда как максимальное значение достигало 15 г/м^3 .

Среднегодовое значение мутности воды в р. Неве, согласно [2], составляет 7 г/м^3 .

Сезонный ход взвешенных наносов имеет выраженные минимумы и максимумы. Минимальные расходы взвешенных наносов наблюдаются в феврале и в марте, при минимальном стоке воды. Ледяной покров в Шлиссельбургской губе исключает влияние ветра и волнения на взмучивание наносов и вынос их в Неву. Максимум расходов взвешенных наносов совпадает по времени с максимумом расходов воды и наблюдается в июне. Второй максимум наблюдается в октябре и по своим абсолютным значениям несколько превосходит первый. Такой характер внутригодового распределения мутности воды и расходов взвешенных наносов связан с режимом ветров и выносом взмученных отложений в р. Неву.

Донные (влекомые) наносы р. Невы

Движение донных наносов может происходить в двух формах: структурной (в виде гряд) и бесструктурной, при которой частицы движутся по дну сплошным потоком, а не в составе замкнутых русловых форм.

Преимущественной формой транспорта донных наносов в русловых потоках является грядовая форма.

Гряды (или микроформы) – это песчаные и гравелистые скопления наносов, обычно покрывающие всё дно русловых потоков.

В грядах выделяются следующие основные элементы:

- верховой откос (напорный склон) – поверхность гряды, обращенная против течения, имеющая более пологий наклон, чем низовой откос (тыловой склон),
- гребень образован наивысшими точками гряды,
- подвалье образовано низшими точками,

- высота гряды – превышение гребня над подвалем,
- длина гряды – расстояние по горизонтали между гребнями (подвальями) двух смежных гряд.

Поток, обтекающий гряду, отрывается от ее гребня и образует в подвале водоворотную зону, состоящую из одного или нескольких более-менее устойчивых вальцов.

Скорость потока, обтекающего гряду, обычно возрастает вдоль верхового откоса и достигает наибольшего значения над гребнем гряды или над водоворотной зоной.

На верховом откосе гряды происходит непрерывное перемещение донных частиц в сторону гребня. Достигнув гребня, частички скатываются в подвале гряды, отлагаясь на крутом низовом откосе. Скорость течения воды у дна в подвале, в зоне водоворота, имеет направление, противоположное общему течению потока. Здесь частицы находятся или в покое или, при сильно развитом вальце, перемещаются в сторону низового откоса вышележащей гряды, т.е. против течения реки, и отлагаются на этом откосе.

В результате размыва верхового откоса и отложения наносов на ее низовом откосе происходит перемещение всей гряды вниз по течению.

В случае грядового движения донных наносов расход донных наносов может быть рассчитан путем перемножения высоты гряд на их скорость.

Размеры микроформ соизмеримы с глубиной потока. Длина их мала по сравнению с шириной реки (обычно 2-10 глубин потока), а высота составляет лишь небольшую часть глубины (0.1-0.25). По исследованиям РГГМУ прошлых лет, в районе истока Обводного канала в Неве наблюдается грядовый режим движения влекомых наносов со следующими характеристиками дефицитных гряд: высота гряды – 0.11 м, длина гряды – 1–1.5 м.

Закономерности формирования гранулометрического состава донных отложений

Гранулометрический состав донных отложений (или наносов) – это относительное содержание в них частиц различного размера.

Размер руслового аллювия в реках изменяется в широких пределах в пространстве и во времени в зависимости от уклона дна, расхода воды, глубины и скорости потока и морфологического строения русла. Подробные измерения на равнинных реках, например на Полонии (Валдайская возвышенность), показывают, что с увеличением расхода воды средняя крупность песка на участке русла может изменяться в 7,0 раз.

Если говорить о горных и предгорных реках, то там состав донных отложений может существенно отличаться на различных фрагментах участка длиной в километр.

Многочисленные исследования гранулометрического состава руслового материала показывают, что состав донных отложений поверхностного слоя дна существенно отличается от состава подповерхностного слоя. Причина заключается в факте постоянного контакта поверхности донных отложений с русловым потоком, приводящем к непрерывной сортировке донных отложений по крупности. Подповерхностный слой, как правило, имеет иное (геологическое) происхождение и меньшую крупность.

Вдоль течения Обводного канала фиксируются 4 отдельных ливневых водоспуска Водоканала суммарным годовым объемом 0.239 тыс. куб. м. и 1 промышленный водоспуск НПО ЦКТИ в верхнем течении канала суммарным годовым объемом – 2424.3 тыс. куб. м.

Кроме того, в среднем и нижнем течении канала имеются 3 линии с частым расположением ливнеспусков, общим числом 139 ливнеспусков, общим годовым объемом сточных вод 68.7 тыс. куб. м (данные Комитета по природопользованию). Эти водоспуски, принося до 7.8 т твердых осадков в год, могут существенно влиять на процесс осадконакопления на дне Обводного канала.

Исходя из расположения ливневых водоспусков (рисунок 3.2.1) можно предположить об их достаточно равномерном влиянии на общую картину мутности по длине Обводного канала.

При этом, по информации государственного водоканала г. Санкт – Петербурга весь сток в Обводный канал нормируется, а мутность, как ливневых, так и промышленных стоков по результатам постоянных наблюдений предприятия не превышает 20 г/м³.

Таким образом, по предположениям, представленным в этой главе, основным источником поступления влекомых и взвешенных наносов в Обводный канал является часть твердого стока р. Невы.

Чтобы подтвердить или опровергнуть данную теорию был проведен анализ гранулометрического состава донных отложений, полученного по результатам полевых работ, а также расчет способности потока к транспорту наносов.

4. Определениезакономерностей движения наносов по длине Обводного канала

4.1 Анализ гранулометрического состава донных отложений

Как уже было описано в предшествующей главе, во время полевых изысканий на Обводном канале было отобрано 5 проб донных отложений для определения их физико-механических свойств (гранулометрического состава наносов).Пробы на при помощи облегченного дночерпателя Петерсена (площадь раскрытия 0,025 м²).

Гранулометрический состав, то есть крупность составляющего данный осадок обломочного материала, является основным параметром, определяющим свойства осадка.

Лабораторные анализы проб на гранулометрический состав проводились вгранулометрической лаборатории ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН.

В результате проведенных лабораторных анализов были получены таблицы распределения частиц по крупности в соответствии с классификацией, принятой на сети Росгидромета (таблица 4.1.1).

Таблица 4.1.1 – Процентное содержание частиц донных отложений различной крупности Обводного канала

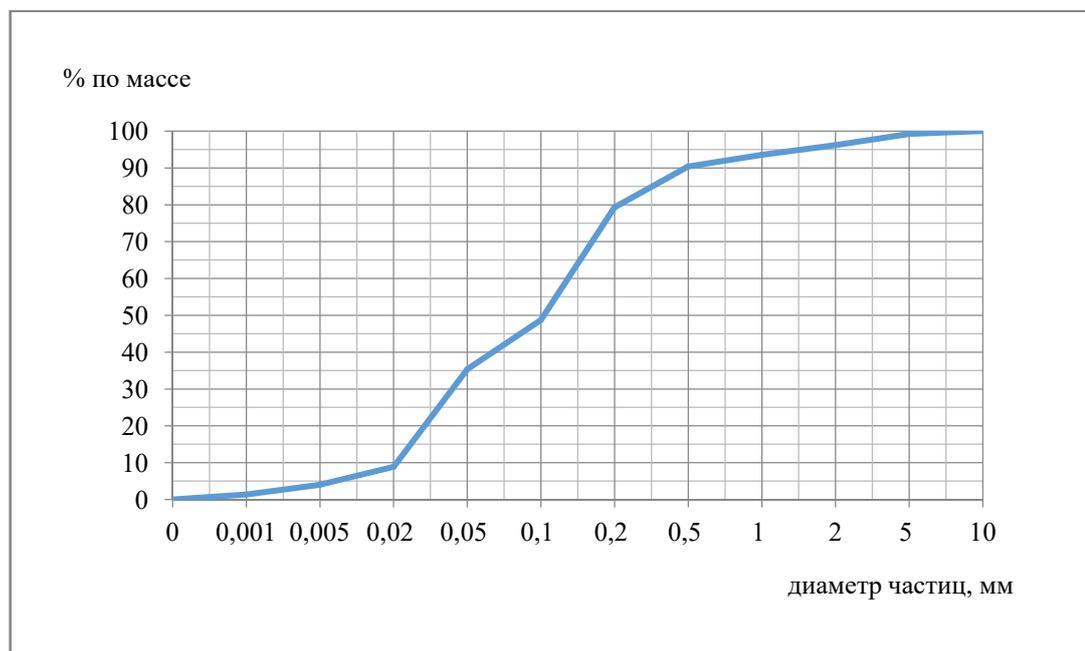
Название образца	Глина	Ил		Пыль		Песок			Гравий			Галька
		мелкий	крупный	мелкая	крупная	мелкий	средний	крупный	мелкий	средний	крупный	
	<0,001	0.001-0.005 мм	0.005-0.02 мм	0.02-0.05 мм	0.05-0.1 мм	0.1-0.2 мм	0.2-0.5 мм	0.5-1 мм	1-2 мм	2-5 мм	5-10 мм	>10 мм
Обв. - 1	0.01	1.3	2.6	7.6	29.1	23.2	15.5	11.1	3.2	2.6	3	0.8
Обв. - 2	–	–	–	–	–	17.1	31.2	23.3	16.4	9.1	2.9	0
Обв. - 3	–	–	–	–	–	8.3	20.9	18.3	11.5	13.9	17.4	9.6
Обв. - 4	–	–	–	–	–	2	38.3	41.6	13.5	4.4	0.2	0
Обв. 5	–	–	–	–	–	6.4	27.3	36.9	17.9	10.1	1.3	0

Для выполнения дальнейшей статистической обработки данных по гранулометрическому составу наносов, принятой в сети Росгидромета [13] были построены интегральные кривые гранулометрического состава донных отложений, приведенные на рисунке 4.1.1.

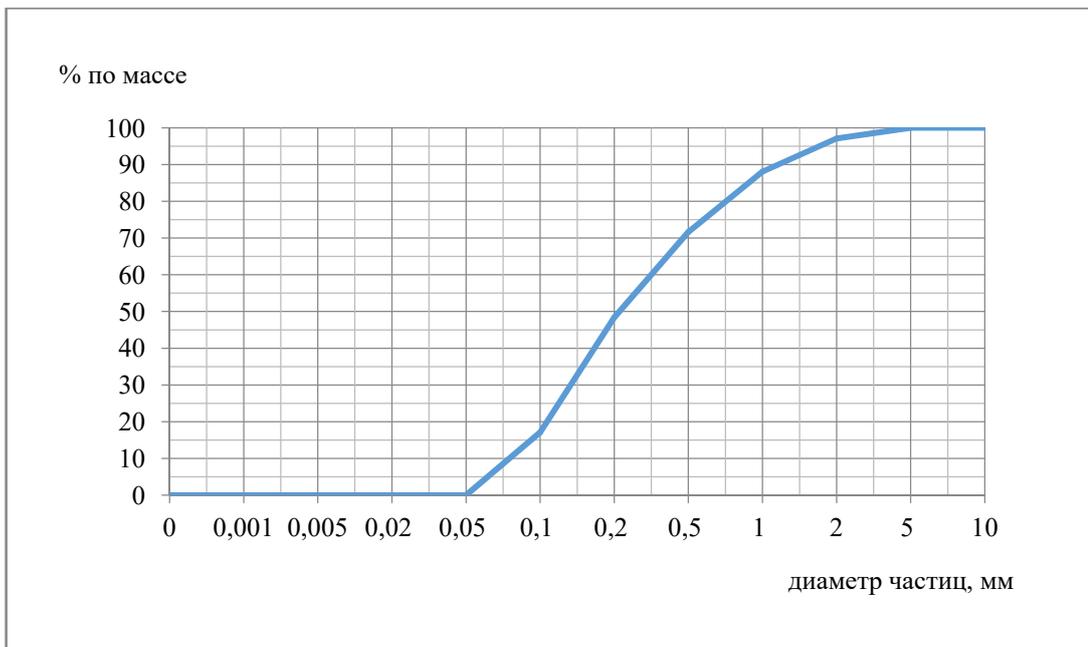
В данном случае имеет место графическое изображение результатов гранулометрического анализа донных отложений, которое характеризует постепенное нарастание объема пробы по мере увеличения диаметра частиц. При построении этих кривых на оси абсцисс откладываются диаметры частиц, а на оси ординат – сумма процентов частиц (по отношению к объему

всей пробы) меньше тех или иных величин диаметров, отложенных на горизонтальной оси. В соответствии с принятым алгоритмом обработки [13] границы фракций откладывались на оси абсцисс графика через равные интервалы (независимо от фактических размеров этих интервалов).

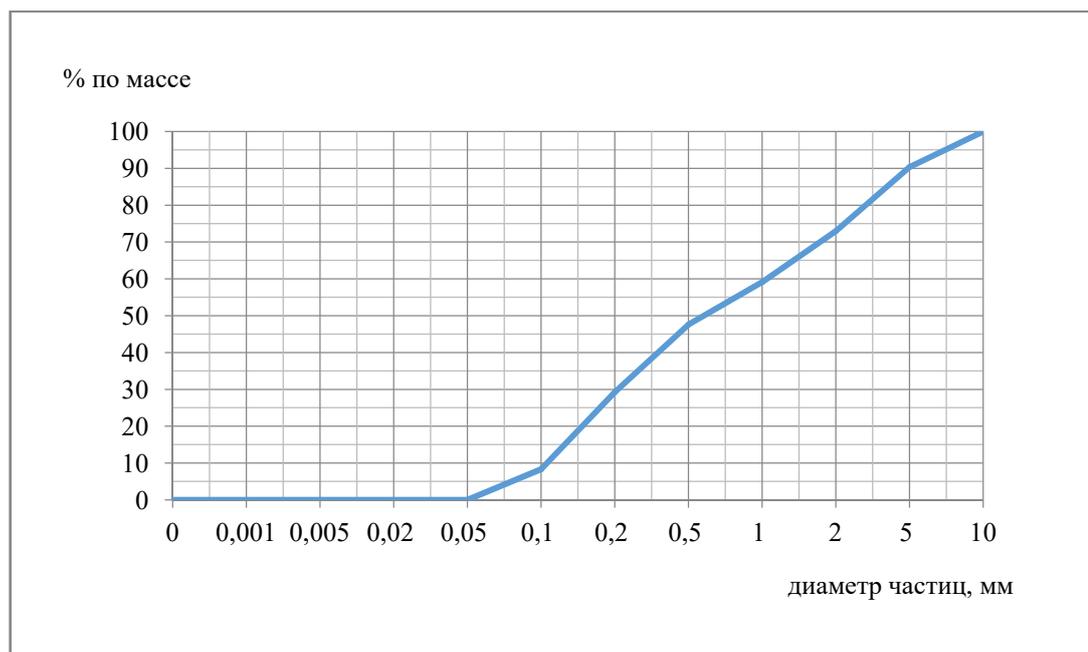
Кривые гранулометрического состава дают представление о механическом составе донных отложений данного водотока, степени его однородности и соотношении фракций различных диаметров. Данные кривые используются для установления величины действующего средневзвешенного диаметра, коэффициента неоднородности (или сортированности) донных отложений и дают иллюстративное представление о размерном составе пробы для возможности сравнения с аналогичными пробами на данном водотоке.



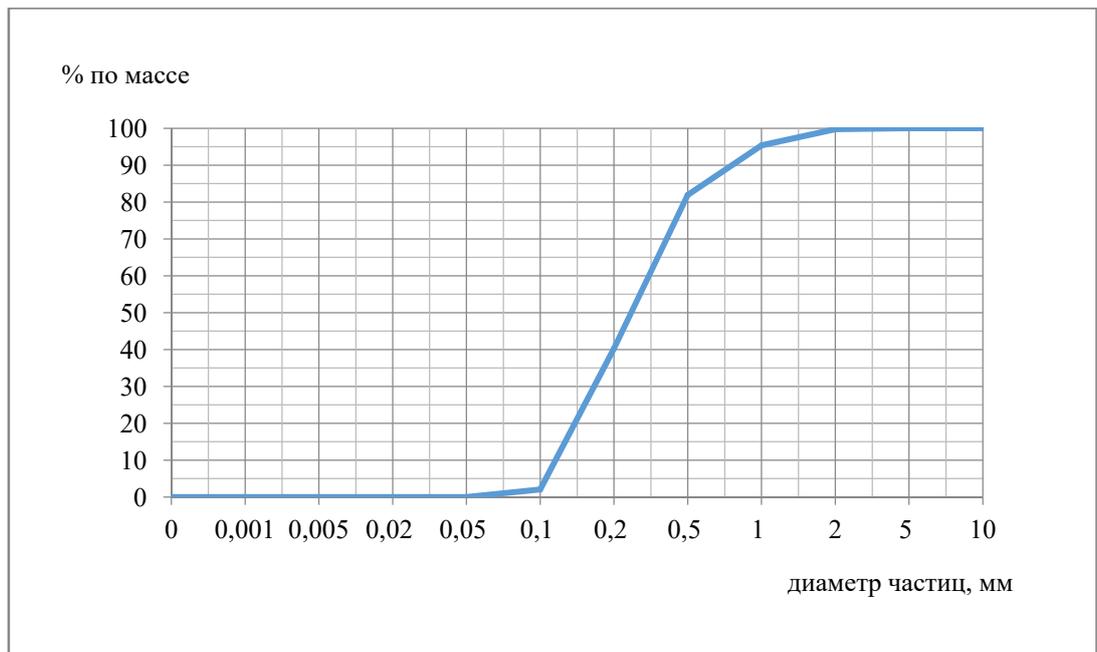
а)



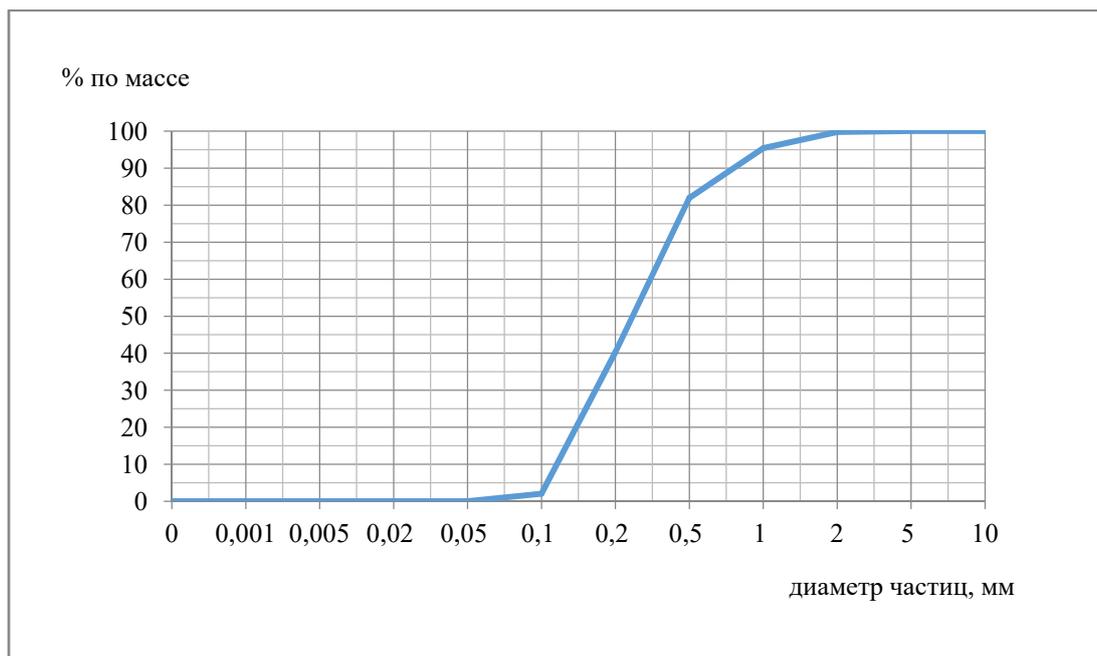
б)



в)



г)



д)

а) – д) – Точки отбора проб донных отложений:

а) Обв. - 1; б) Обв. - 2; в) Обв. - 3; г) Обв. - 4; д) Обв. - 5;

Рисунок 4.1.1 –Интегральные кривыегранулометрического состава донных отложений Обводного канала

Полученные графики позволили выполнить определение гранулометрических параметров $d_5, d_{10}, d_{25}, d_{50}, d_{75}, d_{90}, d_{95}$, где индекс при d показывает, какой процент частиц меньше данного диаметра содержится в составе рассматриваемой пробы донных отложений. По соотношению параметров интегральных кривых, характеризующих крупнозернистую и мелкозернистую части донных отложений, были вычислены показатели степени неоднородности (сортированности) проб. В данном случае применялся показатель $KC = d_{95} \setminus d_5$. Результаты обработки приведены в таблице 4.1.2.

Таблица 4.1.2 – Гранулометрические параметры проб донных отложений Обводного канала

Проба	d ср.	d5	d10	d25	d50	d75	d90	d95	KC
Обв. - 1	0,3	0,008	0,021	0,008	0,1	0,19	0,5	1,5	188
Обв. - 2	0,6	0,085	0,014	0,125	0,21	0,6	1,25	1,85	21,8
Обв. - 3	2,4	0,08	0,15	0,18	0,6	3,3	5,0	7,5	93,8
Обв. - 4	0,4	0,11	0,12	0,16	0,27	0,42	0,8	1,0	9,1
Обв. - 5	0,2	0,09	0,12	0,17	0,34	0,6	0,11	0,16	1,8

По результатам гранулометрического анализа донных проб в пределах Обводного канала по классификации, установленной в источнике [13], было выделено несколько типов донных отложений. Выделение проводилось по процентному соотношению частиц разной гранулометрической крупности, которая определялась скоростью оседания частицы в литровом высоком цилиндре (использовались стеклянные цилиндры SIMAX (Чехия)).

Были выделены следующие типы донных отложений: грунт несортированный, песок несортированный, песок крупно-средний, песок мелко-средний, пыль опесчаная. Названия приведены для отдельных проб.

Ниже приводятся общие свойства этих донных отложений, позволяющие определить их генезис.

Грунт несортированный: осадок характеризуется наличием обломков галечной, гравелистой, песчаной, иногда – крупнопылеватой размерности в сопоставимых пропорциях обычно неокатанных; цвет обычно желтовато-серый, состав гранитный, консистенция рассыпчатая, плохо промыт; происхождение существенно антропогенное.

Песок несортированный: песчаный осадок с близкими соотношениями мелкой, средней и крупной фракций, с малыми примесями пыли (алеврита), редко – гальки, щебня; цвет обычно желто-коричнево- и оранжево-серый, рассыпчатый, плохо промытый, гранитного состава; происхождение существенно антропогенное, частично аллювиальное.

Песок крупно-средний: состоит в основном из крупных и средних песчаных зерен с преобладанием последних; существенные примеси гравия, дресвы, мелкого песка, малые примеси щебня, гальки; цвет оранжево- и коричнево-серый, рассыпчатый, состав в основном гранитный, обычно плохо отмыт; происхождение скорее всего аллювиальное, но может быть частично антропогенным.

Песок мелко-средний: состоит из мелких и средних песчаных зерен с существенной примесью крупного песка, небольшими примесями дресвы, гравия, гальки, щебня, иногда – с примесью пылеватых частиц; цвет желто-серый, присутствие примеси пылеватых частиц определяет плохую промытость и некоторую связность осадка; состав полимиктовый; происхождение аллювиальное и антропогенное.

Пыль опесчаненая: осадок состоит в основном из крупных пылеватых и мелких песчаных частиц с существенной примесью мелких пылеватых частиц и малыми примесями песка и ила; цвет серый до темно-серого, мягкий вязкий обводненный; происхождение существенно аллювиальное.

Средний диаметр частиц донных отложений Обводного канала колеблется от 0,7 до 3,6 мм. В составе наносов 60-70 % процентов навески представлены песками с крупностью от 0,25 до 1 мм.

4.2 Определение транспортирующей способности Обводного канала

В предыдущей главе работы было выдвинуто предположение, о том, что основным источником донных и взвешенных наносов Обводного канала можно считать часть твердого стока р. Невы. Чтобы подтвердить или опровергнуть данную гипотезу были выполнены расчеты критической скорости потока, а конкретно средней несдвигающей скорости.

Одной из гидравлических характеристик грунтов и наносов являются критические скорости срыва и сдвига зерен на дне потока. Превышение несдвигающей скорости на определенном участке водного объекта, говорит о том, что течение способно передвигать частицу данной крупности.

Учеными было разработано множество различных формул для расчета несдвигающей скорости. Далее представлены некоторые из этих формул.

1. Формула В.Н. Гончарова:

$$V_H = \log \frac{8.8h}{k_5} \sqrt{\frac{2g(\rho_1 - \rho)k}{3.5\rho}} \text{ где,} \quad (4.1)$$

- h – средняя глубина в створе;
- k_5 – крупность частицы, соответствующая параметру d_5 , мм;
- g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;
- ρ – средняя плотность частиц наносов – 2650 кг/м^3 ;
- ρ_1 – плотность воды – 1000 кг/м^3 ;
- k – средняя крупность частицы в пробе, м.

2. Формула В.А Великанова:

$$V_H = 3.14\sqrt{15k + 0.006} \text{ где,} \quad (4.2)$$

- k – средняя крупность частицы в пробе, м.

3. Формула И.И Леви:

$$V_H = 1.4\sqrt{gk} \log \frac{12R}{k_{10}} \text{ где,} \quad (4.3)$$

- k_{10} – крупность частицы, соответствующая параметру d_{10} , мм;
- g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;
- R – гидравлический диаметр, м;
- k – средняя крупность частицы в пробе, м.

4. Формула Г.И Шамова:

$$V_H = 4.6\sqrt{k} \left(\frac{h}{k}\right)^{\frac{1}{6}} \text{ где,} \quad (4.4)$$

- k – средняя крупность частицы в пробе, м;
- h – средняя глубина в створе.

5. Формула В.С Кнороза:

$$V_H = 1.3 \log \left(\frac{14.7R}{k^{0.75}} \right) \sqrt{gk} \text{ где,} \quad (4.5)$$

- g – ускорение свободного падения, м/с²;
- R – гидравлический диаметр, м;
- k – средняя крупность частицы в пробе, м.

Для определения средних неподвижных скоростей в створах с графиков, представленных на рисунках 2.2.2 -2.2.6 были получены средние глубины в исследуемых створов. Также, для расчета средней скорости в створе, как отношения расхода воды (м³/с) в створе к площади живого сечения (м²), с графиков были получены соответствующие площади живого сечения (таблица 4.2.1). Расчет неподвижных скоростей представлен в таблице 4.2.2

Таблица 4.2.1 – Расчет характеристик исследуемых створов

№п/п	Название створа	Расход воды, м ³ /с	Площадь живого сечения, м ²	Средняя скорость в створе, м/с	Средняя глубина, м
1	Атаманский мост	17.3	144	0.120	2.80
2	Каретный мост	19.3	55.9	0.345	2.72
3	Рузовский мост	16.5	65.6	0.252	2.83
4	Краснооктябрьский мост	18.9	72.4	0.261	2.82
5	м.Степана Разина	18.2	75.9	0.240	2.95

Таблица 4.2.2 – Расчет неподвижных скоростей потока

Формула	Неподвижная скорость (V_H), м/с				
	Створ №1	Створ №2	Створ №3	Створ №4	Створ №5
Формула В.Н Гончарова	0.342	0.406	0.818	0.325	0.235
Формула М.А Великанова	0.250	0.247	0.285	0.277	0.277
Формула И.И Леви	0.243	0.362	0.506	0.215	0.153
Формула Г.И Шамова	0.363	0.456	0.729	0.400	0.320
Формула В.С Кнороза	0.300	0.401	0.715	0.339	0.254
Средняя скорость в створе, м/с	0.120	0.345	0.252	0.261	0.240

Исходя из расчетов, представленных в таблице:

- створ №1 – неподвижные скорости по всем формулам превышают среднюю в створе скорость. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,3 мм невозможно;
- створ №2 – неподвижные скорости превышают среднюю в створе скорость по все формулам кроме формулы М.А Великанова. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,6 мм маловероятно;
- створ №3 – неподвижные скорости по всем формулам превышают среднюю в створе скорость. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 2.4 мм невозможно;
- створ №4 – неподвижные скорости превышают среднюю в створе скорость по все формулам кроме формулы И. И. Леви. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,4 мм маловероятно;
- створ №5 – неподвижные скорости превышают среднюю в створе скорость по все формулам кроме формул В. Н. Гончарова и И. И. Леви.

Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,2 мм возможно;

Для более подробного анализа при использовании формулы В.Н. Гончарова был произведен расчет диаметра частицы ($d_{\text{непередв.}}, \text{мм}$), которую с учетом средней скорости в каждом створе течение способно переместить. Результаты расчета представлены в таблице 4.2.3

Таблица 4.2.3 – Расчет $d_{\text{непередв.}}$ частицы

№п/п	Название створа	$d_{\text{непередв.}}, \text{мм}$
1	Атаманский мост	0.04
2	Каретный мост	0.4
3	Рузовский мост	0.2
4	Краснооктябрьский мост	0.3
5	Мост Степана Разина	0.2

Из результатов, представленных в таблице 4.2.3 можно сделать вывод, что при средних скоростях в исследуемых створах, рассчитанных по измеренным расходам воды, в верхнем течении канала (1450 метров) начиная от истока и заканчивая створом №1 (Атаманский мост) движения донных наносов нет, так как течение способно переносить частицы меньшие или равные по диаметру 0.04 мм (мелкая пыль). Этот факт опровергает предположение о том, что при расходах воды близких к среднемноголетним значениям в Обводный канал поступают как взвешенные, так и влекомые наносы.

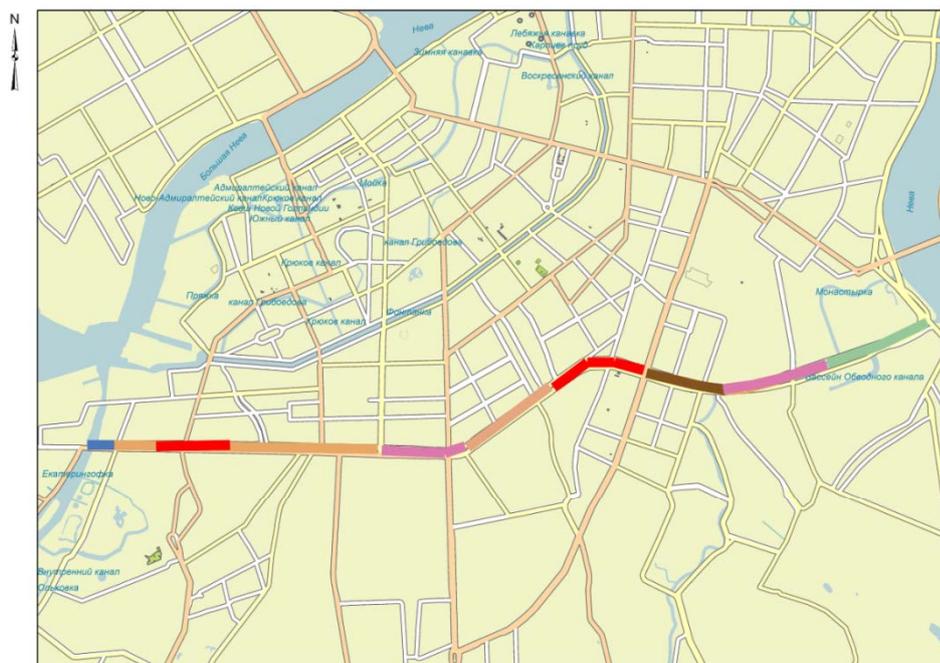
Конструктивные особенности участка канала от истока до Атаманского моста (русло канала на этом участке имеет ширину в два раза большую (60 м.), чем на всем остальном протяжении канала (30 м.)) скорее всего, способствуют активному осаждению более крупных частиц наносов.

На участке канала ниже створа № 2 (Каретный мост) средние скорости, возрастающие за счет сужения русла, способны обеспечить транспорт не

только взвешенных частиц ($d < 0.1$ мм.), но мелкого ($d = 0.1 - 0.2$ мм.), а также, местами среднего ($d = 0.2 - 0.5$ мм.) песка.

При отсутствии возможности перемещения влекомых наносов в условиях, сложившихся на момент полевых изысканий можно сделать вывод, что преобладающий объем донных отложений на участке канала ниже створа №1 (Атаманский мост) образовался за счет техногенного воздействия, а также возможного транспорта донных наносов при расходах воды меньшей обеспеченности. К сожалению, на данный момент для Обводного канала не существует единой методики расчета обеспеченных расходов воды, так как уровни воды в канале всецело зависят от уровня воды реки Невы, на которые в свою очередь в разные периоды имеет влияния стгонно – нагонные явления, денивелиция уровня Ладожского озера и другие причины.

В соответствии с итоговыми выводами о генезисе донных отложений Обводного канала была составлена общая схема происхождения донных отложений (рисунок 4.2.1). На этой схеме выделены участки с различными типами происхождения осадков.



Условные обозначения

1:60 000

Происхождение донных отложений:

- аллювиально-диффузное
- сточно-аллювиально-диффузное
- диффузно-аллювиальное
- диффузно-техногенное
- сточно-диффузно-техногенное
- эрозионно-диффузное

Рисунок 4.2.1 – Схема происхождения донных отложений Обводного канала

Согласно схеме, донные отложения приневского участка Обводного канала, представленные здесь пылью опесчаненой, имеют аллювиально-диффузное происхождение и составлены частицами, принесенными диффузным сносом с берегов канала и невским аллювием, заходящим в канал с течением Невы.

Ниже по течению следует участок, на котором та же опесчаненая пыль существенно разбавлена частицами, поступившими в канал с мощным водоспуском НПО ЦКТИ с суммарным годовым объемом 2 424.29 тыс. куб. м., расположенным в районе истока р. Монастырки. Происхождение осадка – сточно-аллювиально-диффузное.

Далее следует участок осаждения несортированного песка, явно

поступившего в канал в основном с течением р. Волковки, впадающей в Обводный канал в этом месте. Происхождение осадка – диффузно-аллювиальное, т.к. кроме аллювия р. Волковки на участок в заметном количестве поступают частицы диффузного сноса с берегов канала.

Еще ниже по течению расположен участок с накопленным на дне несортированным грунтом, имеющим сточно-диффузно-техногенное происхождение, поскольку сюда поступают твердые частицы из линии ливневых водоспусков, с береговой диффузией, а также путем техногенного привноса, с которым приносятся наиболее крупные частицы – дресва, гравий, галька, щебень.

Далее следует участок с диффузно-техногенным происхождением несортированного грунта, образованного за счет техногенного привноса и диффузного берегового сноса твердых частиц, отличие этого участка от предыдущего заключается в отсутствии линии частых ливневых водоспусков.

Ниже осажден песок крупно-средний сточно-аллювиально-диффузного происхождения; он образован в основном за счет накопления твердых частиц из сноса, аллювиального привноса и стоков из расположенной на участке линии дождевых водоспусков.

Ниже по течению следует участок с накопленным песком крупно-средним диффузно-техногенного происхождения. Он сменяется далее участком с отложенным несортированным грунтом сточно-диффузно-техногенного происхождения, которое определяется присутствием на нем линии ливнеспусков. Далее опять идет участок несортированного грунта с осадком диффузно-техногенного происхождения.

В приустьевой части Обводного канала его правый берег является грунтовым, довольно крутым (уклоны до 40°) и подверженным плоскостной

эрозии. Осажденный здесь мелко-средний песок имеет эрозионно-диффузное происхождение.

4.3 Определение скоростей заносимости

Данные для расчета скорости заносимости, а также информация по объемам донных отложений и скоростям заносимости Обводного канала приведены в таблице 4.3.1.

Переход от объемов к мощности донных отложений осуществляется делением всего объема донных отложений на площадь зеркала водного объекта. В общем случае скорость осадконакопления рассчитывается как мощность накопленных грунтов, отнесенная на количество лет, прошедшее с года последней дноочистки (архивные данные комитета экологии и природопользования г. Санкт - Петербурга). Ввиду существенной протяженности водотока и неравномерности продольного профиля и распределения донных отложений оценка скорости заносимости проводится с учетом разделения русла на части.

Таблица 4.3.1 – Данные для расчета скорости заносимости

Участок	Средняя ширина	Год дноочистки	Мощность донных отл., см	Накопленный объем осадков, м ³	Объем вынутого грунта, м ³	Скорость зан-ти, см/год
Исток – створ №1	60	2015	20	17400	46116	2.9
Створ №1 – створ №2	26	2014	23	7047	40220	2.9
Створ №2 – створ №3	26	2013	21	9408	36030	2.3

Продолжение таблицы 4.3.1

Участок	Средняя ширина	Год дноочистки	Мощность донных отл., см	Накопленный объем осадков, м ³	Объем вынутого грунта, м ³	Скорость зан-ти, см/год
Створ №3 – створ №4	29	2012	17	12386	59241	1.7
Створ №4 – створ №5	30	2011	19	8914	63656	1.7
Створ №5 – устье	30	2015	20	1039	25241	2.9
Сумма				56194	270504	Средняя 2.3

Основываясь на выводах о генезисе донных и взвешенных наносах Обводного канала, а также результатах расчета скорости заносимости на участках канала можно сделать следующие выводы:

1. Скорость заносимости участка от истока канала до створа №1 (Атаманский мост) составила 2.9 см/год, что на 0.6 см/год больше, чем среднее значение. Такое увеличение накопления донных отложений связано с процессом аккумуляции донных наносов, поступающих из Невы, за счет меньшей средней скорости в канале на этом участке.
2. Скорость заносимости участка от створа №1 (Атаманский мост) до створа №2 (Каретный мост) составила те же 2.9 см/год. Это можно объяснить усиленным техногенным стоком предприятий, расположенных на данном участке.
3. Скорость заносимости участка от створа №2 (Каретный мост) до створа №3 (Рузовский мост) составила 2.3 см/год, что на 0.6 см/год меньше чем на двух предыдущих участках, при этом скорость

заносимости на данном участке совпадает со средней скоростью по каналу.

4. Скорость заносимости на участках от створа №3 (Рузовский мост) до створа №4 (Краснооктябрьский мост) и от створа №4 (Краснооктябрьский мост) до створа №5 (мост Степана Разина) составляет 1.7 см/год, что на 0.6 см/год меньше среднего значения скорости заносимости по всему каналу. Это можно объяснить осаждением части твердого стока на выше лежащих участках.
5. Скорость заносимости на коротком устьевом участке канала ниже створа №5 (мост Степана Разина) составила 2.9 см/год. Это можно связать с эрозией берегов, а также подпором реки Екатерингофки.

Заключение

В данной работе была проведена оценка заносимости Обводного канала г. Санкт – Петербурга. В период с августа по декабрь 2022 года в рамках договора № 140-22 об оказании услуг по оценке заносимости водотоков Санкт-Петербурга, заключенным междукомитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности г. Санкт-Петербурга и РГГМУ был выполнен следующий объем полевых изысканий на Обводном канале: рекогносцировка, определение местоположения исследуемых створов (5 створов), промеры глубин (5 створов), измерения расходов воды (5 шт.), эхолокационное обследование (5 створов), измерение мутности воды (5 шт.), отбор проб донных отложений (5 проб).

На основе полученных во время полевых работ данных были построены поперечные профили канала (5 шт.), поперечные профили канала с мощностью и рассчитанной площадью (m^2) донных отложений, графики распределения донных отложений и изменения мутности воды по длине канала. Рассчитаны расходы взвешенных наносов (5 шт.), проведен гранулометрический анализ проб донных отложений (5 проб).

Характеристики, рассчитанные на основе полевых работ по створам

- Створ №1 (Атаманский мост): ширина створа – 60 метров, средняя глубина в створе – 2.8 метра, площадь живого сечения в створе – $144 m^2$, расход воды – $17.3 m^3/c$, средняя скорость воды – $0.120 m/c$, мутность воды – $18.5 g/m^3$, расход взвешенных наносов

– 0.319 кг/с, средняя мощность донных отложений в створе – 0.2 м, площадь донных отложений в створе – 12.0 м².

- Створ №2 (Каретный мост): ширина створа – 24 метра, средняя глубина в створе – 2.72 метра, площадь живого сечения в створе – 55.9 м², расход воды – 19.3 м³/с, средняя скорость воды – 0.345 м/с, мутность воды – 17.8 г/м³, расход взвешенных наносов – 0.344 кг/с, средняя мощность донных отложений в створе – 0.23 м, площадь донных отложений в створе – 5.4 м².
- Створ № 3 (Рузовский мост): ширина створа – 27 метров, средняя глубина в створе – 2.83 метра, площадь живого сечения в створе – 65.6 м², расход воды – 16.5 м³/с, средняя скорость воды – 0.252 м/с, мутность воды – 24.0 г/м³, расход взвешенных наносов – 0.396 кг/с, средняя мощность донных отложений в створе – 0.21 м, площадь донных отложений в створе – 5.8 м².
- Створ № 4 (Краснооктябрьский мост): ширина створа – 30 метров, средняя глубина в створе – 2.82 метра, площадь живого сечения в створе – 72.4 м², расход воды – 18.9 м³/с, средняя скорость воды – 0.261 м/с, мутность воды – 24.7 г/м³, расход взвешенных наносов – 0.467 кг/с, средняя мощность донных отложений в створе – 0.17 м, площадь донных отложений в створе – 5.0 м².
- Створ № 5 (мост Степана Разина): ширина створа – 30 метров, средняя глубина в створе – 2.95 метра, площадь живого сечения в створе – 75.9 м², расход воды – 18.2 м³/с, средняя скорость воды – 0.240 м/с, мутность воды – 25.4 г/м³, расход взвешенных наносов – 0.463 кг/с, средняя мощность донных отложений в створе – 0.19 м, площадь донных отложений в створе – 5.8 м².

По результатам проведенного гранулометрического анализа определено процентное содержание частиц донных отложений различной крупности в каждой пробе, построены интегральные кривые гранулометрического состава донных отложений, рассчитаны гранулометрические параметры проб донных отложений.

Таким образом, в створе № 1: средний диаметр частиц донных отложений составил (d_{cp}) – 0.3 мм, преобладающей фракцией стала крупная пыль ($d= 0.05 – 0.1$ мм)– 29.1 % от массы пробы.

В створе № 2: средний диаметр частиц донных отложений составил (d_{cp}) – 0.6 мм, преобладающей фракцией стал средний песок ($d= 0.2 – 0.5$ мм) – 31.2 % от массы пробы.

В створе № 3: средний диаметр частиц донных отложений составил (d_{cp}) – 2.4 мм, преобладающей фракцией стал средний песок ($d= 0.2 – 0.5$ мм) – 20.9 % от массы пробы.

В створе № 4: средний диаметр частиц донных отложений составил (d_{cp}) – 0.4 мм, преобладающей фракцией стал крупный песок ($d= 0.5 – 1$ мм) – 41.6 % от массы пробы.

В створе № 5: средний диаметр частиц донных отложений составил (d_{cp}) – 0.2 мм, преобладающей фракцией стал крупный песок ($d= 0.5 – 1$ мм) – 36.9 % от массы пробы.

Опираясь на теорию русловых процессов и фактическую информацию, полученную в работе, была выдвинута гипотеза о том, что являясь боковым отводом р. Невы Обводный канал захватывает Невские донные и взвешенные наносы с площади большей, чем его ширина. Так как Обводный канал почти на всей своей протяженности облицован гранитными набережными и тем, самым не имеет собственного водосборного бассейна (за исключением водосбора р. Волковки, привнос стока которой, составляет

весьма малую часть в сравнении с поступающим стоком р.Невы) естественный плоскостной смыв в канал отсутствует.

Таким образом, единственным естественным источником твердого стока Обводного канала может являться часть твердого стока р. Невы.

Для подтверждения или опровержения данной гипотезы на основе данных полученных во время полевых работ были рассчитаны неподвижные скорости по 5 различным формулам.

- створ №1 – неподвижные скорости по всем формулам превышают среднюю в створе скорость. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,3 мм невозможно;
- створ №2 – неподвижные скорости превышают среднюю в створе скорость по все формулам кроме формулы М.А Великанова. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,6 мм маловероятно;
- створ №3 – неподвижные скорости по всем формулам превышают среднюю в створе скорость. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 2.4 мм невозможно;
- створ №4 – неподвижные скорости превышают среднюю в створе скорость по все формулам кроме формулы И. И. Леви. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,4 мм маловероятно;
- створ №5 – неподвижные скорости превышают среднюю в створе скорость по все формулам кроме формул В. Н. Гончарова и И. И. Леви. Вывод: движение наносов со средней крупностью частиц – 0,2 мм возможно;

Для более подробного анализа при использовании формулы В.Н. Гончарова был произведен расчет диаметра частицы($d_{\text{непердв.}}$,мм), которую с учетом средней скорости в каждом створе течение способно переместить.

Так для первого створа $d_{\text{неперевдв}}$ составил 0.04 мм, для створа № 2 – 0.4 мм, для створа № 3 – 0.2 мм, для створа № 4 – 0.3 мм и для створа № 4 – 0.2 мм.

Таким образом, в верхнем течении канала (1450 метров) начиная от истока и заканчивая створом №1 (Атаманский мост) движения донных наносов существовать не может, так как течение способно переносить частицы меньшие или равные по диаметру 0.04 мм (мелкая пыль). Этот факт опровергает предположение о том, что при расходах воды близких к среднегодовым значениям в Обводный канал поступают как взвешенные, так и влекомые наносы.

Конструктивные особенности участка канала от истока до Атаманского моста (русло канала на этом участке имеет ширину в два раза большую (60 м.), чем на всем остальном протяжении канала (30 м.)) скорее всего, способствуют активному осаждению более крупных частиц наносов.

На участке канала ниже створа № 2 (Каретный мост) средние скорости, возрастающие за счет сужения русла, способны обеспечить транспорт не только взвешенных частиц ($d < 0.1$ мм.), но мелкого ($d = 0.1 - 0.2$ мм.), а также, местами среднего ($d = 0.2 - 0.5$ мм.) песка.

При отсутствии возможности перемещения влекомых наносов в условиях, сложившихся на момент полевых изысканий можно сделать вывод, что преобладающий объем донных отложений на участке канала ниже створа №1 (Атаманский мост) образовался за счет техногенного воздействия, а также возможного транспорта донных наносов при больших расходах воды. К сожалению, на данный момент для Обводного канала не существует единой методики расчета обеспеченных расходов воды, так как уровни воды в канале всецело зависят от уровня воды реки Невы, на которые в свою очередь в разные периоды имеет влияния сгонно – нагонные явления, денивелиция уровня Ладожского озера и другие причины.

По результатам изыскания были выявлены следующие техногенные источники поступления наносов в Обводный канал:

- 4 отдельных ливневых водоспуска Водоканала суммарным годовым объемом 0.239 тыс. куб. м.
- 1 промышленный водоспуск НПО ЦКТИ в верхнем течении канала суммарным годовым объемом – 2424.3 тыс. куб. м.
- 3 линии с частым расположением ливнеспусков, общим числом 139 ливнеспусков, общим годовым объемом сточных вод 68.7 тыс. куб. м (данные Комитета по природопользованию).

Эти водоспуски, принося до 7.8 т твердых осадков в год, существенно влияют на процесс осадконакопления на дне Обводного канала. Несмотря на этот факт, по информации государственного водоканала г. Санкт – Петербурга весь сток в Обводный канал нормируется, а мутность, как ливневых, так и промышленных стоков по результатам постоянных наблюдений предприятия не превышает 20 г/м³.

Также, на основе, полученной в работе информации и выводах о генезисе донных отложения канала, был произведен расчет скорости заносимости на участках Обводного канала.

Так, скорость заносимости на участке от истока канала до створа №1 (Атаманский мост) составила 2.9 см/год, что на 0.6 см/ год больше. Такое увеличение накопления донных отложений связано с процессом аккумуляирования донных наносов, поступающих из Невы, за счет меньшей средней скорости в канале на этом участке, а также конструктивными особенностями канала.

Скорость заносимости на участке от створа №1 (Атаманский мост) до створа № 2 (Каретный мост) составила те же 2.9 см/год. Это можно объяснить возможным увеличенным осадконакоплением в период большей водности канала, а также усиленным техногенным стоком предприятий, расположенных на данном участке.

Скорость заносимости на участке от створа №2 (Каретный мост) до створа № 3 (Рузовский мост) составила 2.3 см/год, что на 0.6 см/год меньше чем на двух предыдущих участках, при этом скорость заносимости на данном участке совпадает со средней скоростью по каналу. Это можно объяснить снижением возможного привноса донных осадков р. Невы.

Скорость заносимости на участках от створа №3 (Рузовский мост) до створа №4 (Краснооктябрьский мост) и от створа №4 (Краснооктябрьский мост) до створа №5 (мост Степана Разина) составляет 1.7 см/год, что на 0.6 см/год меньше среднего значения скорости заносимости по всему каналу. Это можно связать с еще большим снижением возможного привноса донных осадков р. Невы, а также снижением техногенного стока твердых частиц в канал.

Скорость заносимости на коротком устьевом участке канала ниже створа №5 (мост Степана Разина) составила 2.9 см/год. Это можно связать с редкой для канала эрозией берегов, а также накоплением перенесенных со всего канала мелких фракций песка.

Таким образом, основная цель работы, состоявшая в определении скорости заносимости Обводного канала, была достигнута, а сопутствующие достижению этой цели задачи – выполнены.

Список использованной литературы

1. Обводный канал. URL: <https://peterburg.center/content/otkryt-dlya-sudohodstva-samyu-krupnyu-kanal-v-peterburge-obvodnyu-kanal.html> (дата обращения 16.05.2023)
2. Владимирович А.Г., Ерофеев А.Д. Петербург в названиях улиц. Происхождение названий улиц и проспектов, рек и каналов, мостов и островов. Санкт – Петербург: Астрель СПб, 2009. 265 с.
3. Проект дноочистительных работ на Обводном канале. Раздел: Сбор и обобщение фондовых гидрометеорологических, гидрологических и гидродинамических характеристик по Обводному каналу в соответствии со СП 33-101-2003. ООО «Инженерная гидрология», 2007. 22с.
4. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа. Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. 108с.
5. Гидрология устьевой области Невы под ред. С.С. Байдина. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. 382с.
6. Нежиховский Р.А. Река Нева. Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. 191с.
7. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. Москва: Стройиздат, 2004. 72 с.
8. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Москва: Стандартинформ, 2019. 12с.
9. ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3.2-03. Отбор проб почв, грунтов, осадков биологических очистных сооружений, шламов промышленных сточных вод, донных отложений искусственно созданных водоемов, прудов-накопителей и гидротехнических сооружений. Москва, 2003. 13 с.

10. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. Москва: ИПК издательство стандартов, 2002. 7с.
11. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" I. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. 2021.1025 с.
12. Опекунов А.Ю., Янсон С.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю. Минеральные фазы металлов в техногенных осадках рек Санкт-Петербурга при экстремальном загрязнении // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2020. Т.66. Вып. 2. С. 267–288. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.205267>
13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч.1, Ленинград :Гидрометеоиздат, 1978. 384 с.