

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)
Институт наук о Земле

Кафедра грунтоведения и инженерной геологии

Бересневич Виктория Алексеевна

**«Анализ инженерно-геологических условий при строительстве
гостиничного комплекса в г. Санкт-Петербург»**

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению 05.03.01 «Геология»

Научный руководитель:
Ст. преподаватель, к.т.н
И. А. Страупник

_____ 2019
«__» _____

Заведующий кафедрой:
Доцент, к.г.-м.н.
С. Б. Бурлуцкий

_____ 2019
«__» _____

Санкт Петербург
2019

Содержание

Введение	3
Глава 1. Физико-географический очерк	4
1.1. Рельеф и геоморфология.....	4
1.2. Гидрография.....	6
1.3. Климат	7
Глава 2. Характеристика геологического строения региона	8
2.1. История геологического развития.....	8
2.2. Стратиграфия	11
2.2.1. Дочетвертичные образования	11
2.2.2. Четвертичные образования	14
2.3. Тектоника	18
Глава 3. Гидрогеологические условия региона	20
Глава 4. Инженерно-геологические особенности площадки проектируемого строительства	28
4.1. Геоморфология, рельеф, гидрография	28
4.2. Геологическое строение участка работ и инженерно-геологическая характеристика площадки.....	29
4.3. Гидрогеологические условия площадки	34
Глава 5. Расчет взаимодействия свайного фундамента с массивом грунта	36
5.1. Расчет несущей способности одиночной сваи.....	36
5.1.1. Расчет частных значений предельного сопротивления	36
5.1.2. Определение несущей способности сваи	38
5.2. Определение давления по подошве куста свай и оценка расчетного сопротивления несущего слоя	40
5.2.1. Определение давления по подошве куста свай.....	40
5.2.2. Оценка расчетного сопротивления несущего слоя	42
5.3. Расчет осадки кустов свай	43
Заключение	46
Список литературы.....	47
Приложения	48

Введение

Целью настоящей работы является изучение инженерно-геологических условий и расчет взаимодействия свайного фундамента с массивом грунта на участке строительства гостиничного комплекса по адресу: Санкт-Петербург, ул. Кораблестроителей, участок 1 (западнее пересечения с Новосмоленской набережной).

Задачи:

1. Изучение и анализ инженерно-геологических условий площадки строительства;
2. Расчет несущей способности свай;
3. Определение давления по подошве куста свай;
4. Оценка расчетного сопротивления несущего слоя;
5. Расчет осадки.

Материалы для написания работы были получены в процессе прохождения производственной практики в августе 2018 года в ООО «СЗИЦ».

Работа была написана на основе литературных, фондовых материалов и собственных расчетов автора.

Глава 1. Физико-географический очерк

1.1. Рельеф и геоморфология

Территория Санкт-Петербурга находится на Восточно-Европейской равнине, в устье реки Невы, на южном и северном побережье Финского залива.

Современный рельеф территории города сформировался под действием различных геологических процессов, главным образом за счет оледенений и межледниковых периодов, а также связанных с поднятием земной коры денудационных и карстовых процессов.

Главный рельефообразующий фактор для территории Санкт-Петербурга – эрозионно-аккумулятивная деятельность водных потоков и водоемов. Эволюция уровней водоемов, а именно последовательное понижение уровней, прослеживается в террасировании Приневской и Приморской низин. Поверхность первой более высокой террасы – озерно-ледниковой (а.о. до 60-65 м), осложнена камовыми холмами и грядами с относительными высотами 5-50 м. Вторая, имеющая низкий уровень терраса (а.о. от уровня моря до 10-16 м) – литориновая, окаймляет Финский залив. Эти террасы разделены хорошо выраженным в рельефе уступом, который, будучи подверженным эрозионным и техногенным процессам, нивелируется (Геологический атлас, 2009).

На севере и востоке территории рельеф представляет собой чередование холмов, камов, озов и зандровых равнин с понижениями, которые заполняют озера, болота, речные долины – формы ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции.

Центральная часть города, а именно район в устье р. Невы, утратила естественные формы рельефа – здесь преобладает техногенный рельеф с намывными и насыпными грунтами. Также, в связи с началом формирования морского фасада города, засыпаются и намываются территории в акватории Финского залива, тем самым меняется очертание береговой линии.

На юге граница города проходит вдоль Балтийско-Ладожского глинта, ограничивающего Ижорскую возвышенность (в пределах города их можно встретить в Красносельском районе). Возвышенность имеет абсолютные отметки до 65-75 м (Пулковские высоты). Балтийско-Ладожский уступ хорошо выражен в рельефе (относительные высоты 25-30 м), расчленен долинами водных потоков. Встречаются карстовые воронки (Геологический атлас, 2009).

Геоморфологические особенности территории Санкт-Петербурга определяются поверхностью дочетвертичных образований, поздне- и постледниковым рельефом и рельефом современной поверхности, преобразованной сферой техногенеза. Главные геоморфологические элементы – Приневская и Приморская низины, связанные с дочетвертичными образованиями, имеют абсолютные отметки 0-9 м на юге и 15-18 на севере.

Дочетвертичный (полупогребенный) рельеф выражается куэстовой структурно-денудационной равниной с пологим погружением в юго-восточном направлении, которая была рассечена сетью эрозионных врезов. На территории города существуют две древние погребенные долины широтного направления, которые пересекают северную и центральную часть города. Первая – от пр. Блюхера через пл. Мужества и Комендантский аэродром до Лахты и далее через центральную часть Невской губы вдоль северного берега Финского залива. Вторая – от р. Охты в районе пересечения с шоссе Революции через Адмиралтейство и Васильевский остров уходит в Невскую губу (Геологический атлас, 2009).

Значимый элемент погребенного рельефа – Ордовикское плато (Ижорская возвышенность), склон которого заметно выражен в рельефе в виде глинта. Краевая часть глинта частично нарушена экзарацией, выраженной в присутствии широких ложбин (Красное село).

Ледниковые формы рельефа повсеместно имеют место на территории города. В районе Дудергофских высот представлены «напорные морены», разновидность краевых ледниковых аккумулятивных образований. В районе Горелово, Пулково, Пушкина – моренная (ледниковая) равнина, со следами абразии. В районе расположенных на севере пригородов и Курортного района присутствует камовые холмистые формы рельефа – Токсовская, Южковская и Колтушская возвышенности. Озерно-ледниковая равнина, образованная в результате деятельности Балтийского ледникового озера, примыкающая к Приневской низине, небольшая по площади, но четко выражена во Всеволожской возвышенности. Береговая линия бывшего озера выражается в виде размытого уступа. Ступени озерно-ледниковых террас опускаются в сторону Финского залива и р. Невы.

Следующие типы рельефа также развиты в различных областях города. Эрозионно-аккумулятивный рельеф, образуемый посредством водных потоков, встречается в нижнем течении рек Охта, Ижора, Славянка. Биогенно-аккумулятивный рельеф проявляется только в пригородах (Шушары, Парголово), т.к. в черте города он перекрыт техногенными

образованиями. Эоловые формы рельефа – дюнные гряды, территориально находятся в области Сестрорецка и поселка Солнечное. Карстовый рельеф относится к району Ижорской возвышенности (Пушкинский, Красносельский район). Техногенный рельеф – наиболее распространенный тип в Санкт-Петербурге (котловины, каналы, насыпные и намывные образования, фарватеры), типично для таких районов города, как юго-запад, Васильевский остров, остров Декабристов, Лахта (Геологический атлас, 2009).

1.2. Гидрография

Финский залив, Невская губа и р. Нева формировали и определили современный облик города.

Финский залив имеет небольшие глубины в черте города – 2,5-2,6 м, в пределах береговой полосы – до 1 м. Невская губа – восточная часть залива (дельта р. Невы – о. Котлин), через комплекс защитных сооружений сообщается с Финским заливом и имеет соленость воды не более 2% (опреснение происходит за счет вод р. Невы).

В пределах и вблизи города существуют естественные и искусственные озера. Непосредственно в городе расположены Суздальские озера (естественный генезис), Лахтинский и Сестрорецкий Разливы (техногенный генезис). Также искусственные водоемы представлены различными прудами, карьерами.

Главная артерия города – р. Нева, источник водоснабжения города. Она многоводна за счет того, что испарение гораздо меньше поступающего количества осадков. Также река является связующей между Ладожским озером и Финским заливом, тем самым обеспечивается равномерный сток из Ладоги в течение года. Глубина ее – 8-11 м, у Литейного моста – 26 м. В осенние периоды случаются значительные подъемы воды, которые связывают с действием западных ветров. Самое разрушительное наводнение произошло в ноябре 1824 года, когда вода поднялась на 4,21 м выше привычного уровня.

Помимо р. Невы в пределах города также развита густая речная сеть. Наиболее крупные реки, впадающие в Неву (север и юг города) – р. Охта, р. Черная и р. Ижора. В остальной части города реки небольшие, либо это вовсе ручьи, впадающие в Финский залив (Справочник «Санкт-Петербург», интернет-ресурс).

1.3. Климат

Климат Санкт-Петербурга переходный от морского к континентальному, что обуславливается взаимодействием воздушных масс умеренных и арктических широт. Зима относительно мягкая, лето умеренно теплое влажное. Относительная влажность достаточно высокая – большую часть года превышает 80%, погода ветреная, облачность в течение всего года. Осень теплая за счет южных и юго-западных ветров. Весна прохладная ввиду действия северных холодных ветров. Неустойчивая погода в течение всего года обуславливается интенсивной циклонической деятельностью и частой сменой воздушных масс.

Годовая норма осадков варьируется по мере удаления от Финского залива – от 700 мм до 750 мм. В теплый период времени (апрель-октябрь) выпадает большее количество осадков (60-65% от общего количества). За счет высокой относительной влажности испарение не превышает 300 мм (Геологический атлас, 2009).

Глава 2. Характеристика геологического строения региона

2.1. История геологического развития

Территория изучаемой области располагается на северо-западной окраине Русской плиты, кристаллический фундамент которой выходит в районе Карельского перешейка и входит в состав Балтийского щита.

В докембрийское время происходило формирование кратона в результате коллизии различных палеофрагментов континентальной коры. Завершение образования континентальной коры относится примерно к периоду 1880-1800 млн. лет назад.

После этого от позднего протерозоя до девона почти вся территория была покрыта морским бассейном, на дне отлагались различные осадки.

Разрез пород начинается с верхнего венда, характеризовавшимся умеренно-холодным климатом. Отложения представляют собой секвенции, которые указывают на чередовавшиеся периоды трансгрессий и регрессий бассейна. Последующая глобальная трансгрессия в начале кембрия привела к накоплению «синих глин» лонтовасского горизонта с песчаными прослоями в основании (Милановский, 1987).

Со среднего кембрия на фоне общей регрессии в условиях морского побережья начинают откладываться косослоистые кварцевые песчаники саблинской свиты (Є₂) и с перерывом залегающие на них песчаники ладожской свиты верхнего кембрия.

Начавшаяся обширная трансгрессия в начале ордовика, на фоне медленного тектонического погружения, привела к накоплению мощной толщи карбонатных, терригенных и глинистых осадков (O₁-O₂).

Силурийские отложения на территории изучаемой области не наблюдаются, т.к. в то время территория подверглась поднятию и процессам выветривания.

Отложения девона представлены уже на меньших по площади территориях. В основном они распространены на окраинах области - южной и восточной и представлены песками и песчаниками с прослоями карбонатных пород.

Отложения мезозоя и кайнозоя (до квартера) отсутствуют, т.к. бассейн «ушел» за пределы области в это время, и территория подверглась денудационным процессам.

Четвертичные отложения распространены повсеместно. В начале периода геологическая история территории была связана с периодами оледенений, неоднократно происходившими в это время и повлиявшими на строение изучаемой области.

На территории Санкт-Петербурга выделяют три ледниковые эпохи, которым соответствуют определенные моренные горизонты – вологодская (днепровская – 240-180 тыс. лет), московская (125-110 тыс. лет) и осташковская (верхневалдайская – 23-12 тыс. лет). Межледниковые периоды (периоды потеплений) характеризуются отложениями морских и континентальных глин и песков с фауной, растительными остатками, линзами торфа (Справочник «Санкт-Петербург», интернет-ресурс).

После отступления материкового ледникового покрова около 12 тыс. лет назад Приневская низменность покрывалась водами приледниковых озер (от оз. Рамзая до Балтийского озера), уровни которых постепенно снижались, что обусловило образование многочисленных террас. После образования последней террасы, уровень снизился до такой степени, что Приневская низменность стала частью суши, а озеро прекратило свое существование.

В период 10-9,2 тыс. лет назад (к началу голоцена) началась Иольдиевая морская трансгрессия – внедрение соленых вод в пресное обмелевшее Балтийское озеро, завершающей стадией, которой является образование Анцилового озера, в результате высокой скорости гляциоизостатического подъема земной коры, опережавшей скорость эвстатического подъема уровня вод океана.

7-4 тыс. лет назад подъем уровня океанических вод открыл пролив, через который соленые воды вновь смогли вторгнуться в пресноводное озеро – началась Литориновая морская трансгрессия с образованием слабосоленого морского режима. К 4 тыс. лет назад трансгрессия завершилась, и уровень Балтийского моря стал снижаться. Последовавший этап – лимниевая стадия, проходил в условиях отступления морских вод, с сопровождавшим эту стадию опреснением, о чем свидетельствуют пресноводная флора и фауна.

Образование реки Невы произошло около 2-3 тыс. лет назад в результате поднятия северной части Карельского перешейка, накоплению вод в южной части Ладожского озера и прорыва этих вод в долину реки Тосна (Селиванова, Кофман, 1971).

На протяжении голоценового периода на территории суши Ленинградской области происходило накопление торфяных отложений – в болотах, за счет уменьшения озерных и морских бассейнов.

2.2. Стратиграфия

2.2.1. Дочетвертичные образования

Дочетвертичные породы территории представлены метаморфическими и интрузивными комплексами фундамента докембрийского (AR(?)-PR₁) возраста, а также плитным комплексом пород вендско-фанерозойского возраста (Милановский, 1987).

Данных о породах кристаллического фундамента территории Санкт-Петербурга немного. Известно то, что фундамент в большей части города представлен мигматизированными гнейсами и гранитами докембрия. В северных районах и Невской губе представлены гранат-биотитовые и кордиерит-силлиманит-гранат-биотитовые гнейсы лахденпохского метаморфического комплекса с мигматитами и телами амфиболитов (Геологический атлас, 2009).

Плитный чехол представлен осадочными породами, которые начинаются с валдайской серии вендского возраста. Валдайская серия подразделяется на два горизонта: редкинский (нижний горизонт, старорусская свита) и котлинский (верхний горизонт, котлинская (василеостровская) свита).

Старорусскую свиту слагают гравелиты, песчаники, аргиллиты, алевролиты (мощность свиты не более 10-15 м).

Котлинскую свиту слагают песчано-глинистые образования. Свита подразделяется на две подсвиты – нижнюю и верхнюю. Нижняя подсвита (гдовские слои) имеет мощность до 30 м, залегает в основном на отложениях старорусской свиты, но в местах выклинивания – прямо на кристаллическом фундаменте. Верхняя подсвита имеет мощность до 150 м.

Выше по разрезу с размывом на отложениях венда залегают породы ломоносовской свиты лонтоваского горизонта (Є₁). Она сложена кварцевыми мелко- и тонкозернистыми песчаниками, алевролитами и голубовато-зелеными алевролитовыми глинами (общая мощность до 12 м).

Далее залегают отложения сиверской свиты, представленной однородной толщей зеленовато-голубых глин, выходящей широкой полосой (12-18 км) на поверхность дочетвертичных образований (общая мощность 115-120 м).

Саблинская свита возраста Є₂, представленная песчаниками, мощностью 10-15 м, залегает на отложениях сиверской свиты локально, с размывом.

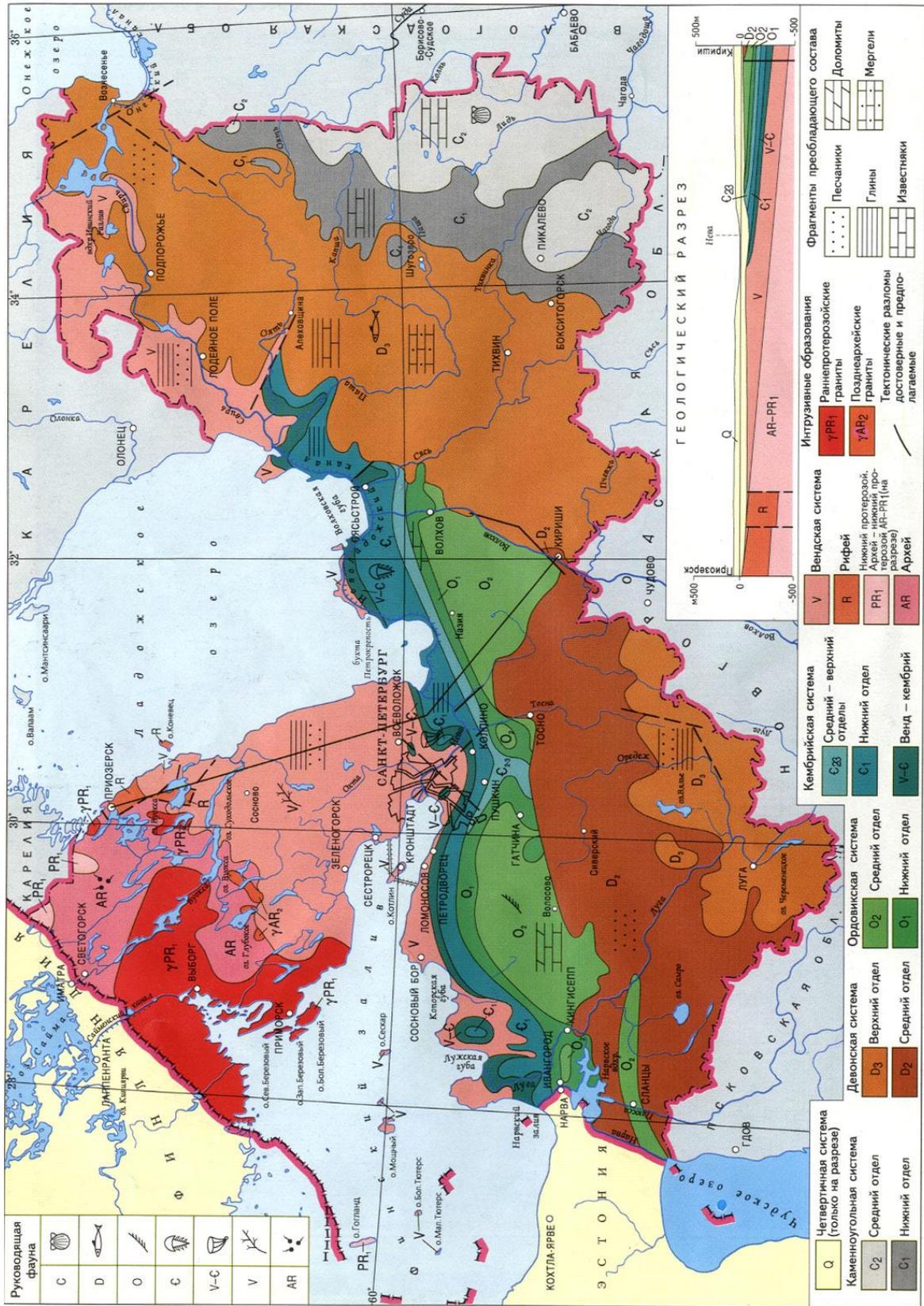
Выше по разрезу, линзовидно, проявляют себя песчаники ладожской свиты (Є_3) с обломками раковин брахиопод *Obolus*.

В южной черте города можно наблюдать выход пород ордовикского времени. Залегающая с размывом на кембрийских отложениях, тосненская свита сложена песчаниками с большим количеством обломков раковин брахиопод *Obolus*. Залегающая выше копорская свита состоит из аргиллитов и алевролитов черного цвета – «диктионемовые» сланцы. Обе свиты составляют единый горизонт O_1 – пакерортский. Мощность горизонта увеличивается в южном направлении до 12 м.

Выше с размывом залегают породы нижнего и среднего ордовика леэтсеской свиты латорпского горизонта (O_1), представленного глауконитовыми глинами, песками, мергелями, и волховской свиты волховского горизонта (O_2), представленного доломитизированными глауконитовыми известняками. Их общая мощность составляет до 8 м.

Выше по разрезу средний ордовик (O_2) представлен породами обуховской свиты – доломитизированные, глинистые, эндоцератитовые известняки с маркирующим горизонтом в основании – нижний чечевичный слой, и медниковской свиты – эхиносферитовые известняки с маркирующим горизонтом, отделяющим их от подстилающей обуховской свиты – верхний чечевичный слой. Мощность отложений до 20 м.

Среднедевонские отложения наровской свиты являются наиболее молодыми дочетвертичными образованиями. Они представлены мергелями, доломитами, известняковыми глинами (Геологический атлас, 2009).



Масштаб 1:2 000 000

Рис. 1. Геологическая карта Ленинградской области. М 1:2000000
(Гидрогеоэкология, интернет-ресурс).

2.2.2. Четвертичные образования

Образования квартера почти полностью перекрывают дочетвертичные породы территории города, имея изменчивую мощность, зависящую от палеорельефа дочетвертичных пород. В среднем мощность составляет 20-30 м, в палеодолинах – до 100-130 м.

Отложения основания квартера представлены образованиями среднего и верхнего неоплейстоцена (Q_{II} – Q_{III}), которые были сформированы в результате многократных материковых оледенений и межледниковых периодов морских трансгрессий. Оледенения привели к образованию морен – плотной несортированной смеси обломков пород и супесчано-суглинистой массы, а в межледниковые периоды накапливались разнозернистые песчано-глинистые слои.

На территории Санкт-Петербурга по моренным горизонтам выделяют три стадии материковых оледенений – вологодская, московская, осташковская.

Вологодский горизонт представлен только в понижениях палеорельефа и состоит из плотных валунных суглинков с максимальной мощностью 70 м (по результатам бурения). Московский горизонт выходит за черту палеодолин, развит в центре и на северо-востоке города (с глубин 10 м и более), с максимально отмеченной мощностью 60 м. Осташковский горизонт более выдержан по площади, развит повсеместно. Залегает с глубины 5-10 м, его мощность составляет первые десятки метров, максимальная – на юге города – 88 м (гора Воронья – холм, сложенный мореной). Моренные горизонты разных ледниковых периодов разделены между собой морскими, озерными, аллювиальными, водно-ледниковыми отложениями, но местами контактируют между собой.

Моренный горизонт осташковского оледенения перекрывают озерно-ледниковые и флювиогляциальные отложения, выходящие на поверхность на севере города. Состав этих отложений представлен мелкозернистыми песками, суглинками, супесями. В рельефе указанные отложения образуют озы и камы.

Разрез неоплейстоцена завершается озерно-ледниковыми отложениями бывшего Балтийского ледникового озера, представленными суглинками и глинами (в т.ч. ленточными). Эти отложения распространены повсеместно, перекрывают моренные горизонты и водно-ледниковые отложения осташковской стадии.

Далее по разрезу неоплейстоценовые отложения (Q_{NP}) перекрывают голоценовые образования (Q_H), представленные морскими и озерными отложениями послеледниковой Балтики, а также эоловыми, биогенными, аллювиальными и техногенными осадками.

Выделяют три стадии эволюции послеледниковой Балтики – Анцилово озеро, Литориновое море, лимниевая стадия.

Анциловые отложения в континентальной части города представлены мелкозернистыми песками, супесями, глинами с прослоями торфа и алевролита (мощность 6-9 м). На акватории – это глины и алевроглины с присущей им особенностью – стяжения аутигенных сульфидов (мощность отложений на акватории – 1-3 м).

Отложения Литоринового моря в пределах континентальной части города слагают гумусированные пески, супеси, суглинки мощностью до 13,6 м. К отложениям данной стадии также относят гиттиевые глины – залежь лечебных грязей месторождения «Сестрорецкий курорт». В пределах акватории отложения литориновой стадии представлены разнозернистыми песками (волновой генезис), формирующие Ломоносовскую и Лондонскую отмели, а также алевроглинистыми илами с большим содержанием органики, слагающие дно к северу от острова Котлин.

Лимниевая стадия характеризовалась условиями понижения уровня моря. Отложения данной стадии представлены на дне Финского залива вдоль его современных берегов – волновые пески современного подводного берегового склона, а также алевроглинистые илы более глубоких частей Невской губы Финского залива. Мощность отложений составляет 0,5-3,6 м.

Аллювиальные отложения характеризуются локальным распространением, представлены, в основном, русловым аллювием изменчивым по составу (мощность 2-3 м).

Биогенные отложения, в связи с современной застройкой территории, встречаются лишь на окраинных незастроенных участках города. Данный тип отложений формируется в условиях болот – торфяные залежи мощностью от 0,5 до 8,0 м.

Локальные эоловые образования формируют дюны (высотой до 10-15 м) на севере и сложены мелкозернистыми песками.

Наиболее широко распространенным типом отложений на территории Санкт-Петербурга являются техногенные образования. Они представлены насыпными и намывными грунтами и смесью отходов различного генезиса (промышленного,

строительного, бытового) с мощностью, которая варьируется от 1 до 8 м (Геологический атлас, 2009).

2.3. Тектоника

Тектоническое строение территории города определяется структурой кристаллического фундамента, которая по результатам геологических и геофизических исследований, делится на блоки, сформировавшиеся в результате эволюции земной коры, а также условиями залегания осадочного чехла.

На рубеже 1,6-1,8 млрд. лет в результате аккреции Восточно-Европейского кратона были сформированы основные составляющие фундамента региона. Последующие периоды активизации сопровождались тектоническими движениями сдвигового характера. Каждый блок «реагировал» на горизонтальные напряжения в соответствии со своей сформированной структурой и «использовал» сеть разломов для разрядки напряжений.

Площадь города расположена на Ленинградском блоке, характеризующемся повышенной плотностью пород, что выражается в положительной аномалии гравитационного поля. Тектонический разлом, определяющий обстановку в данной области, - региональный разлом по линии Вещево-Колпино-Чудово.

Постордовикская активизация системы разломов фундамента отразилась в строении платформенного чехла. Поверхность фундамента наклонена в юго-восточном направлении и осложнена желобообразными впадинами, которые вытянуты в том же направлении, приуроченные к зонам древних разломов.

Осадочный чехол территории в своем строении подразделяется на три структурных яруса, которые отражают этапы тектогенеза, выраженные стратиграфическим несогласием.

Верхнебайкальский структурный ярус, отражающий первый этап тектогенеза плитного режима развития территории, несогласно залегает на эродированной поверхности фундамента. Ярус сложен поздневендскими-раннекембрийскими отложениями, выходящими на дневную поверхность на значительной территории. Отложения основания осложнены складчатыми куполовидными поднятиями и впадинами, которые связаны с блоками фундамента (Колпинское поднятие, Белоостровская впадина).

Каледонский структурный ярус (средне-позднекембрийские и ордовикские отложения), отражающий второй этап тектогенеза, несогласно залегая на подстилающих глинах нижнего кембрия, отражает складчатую тектонику нижележащего яруса, но в весьма выровненном виде.

Герцинский структурный ярус, отражающий третий этап тектогенеза, затрагивает южные территории, соседствующие с территорией города.

Процессы новейшей, кайнозойской тектоники – неотектонические процессы, также играют роль в тектоническом строении территории. На изучаемой территории наиболее выражены региональные тектонические движения. К ним относят, прежде всего, эпейрогенические движения, которые были вызваны исчезновением ледникового покрова, снятием ледниковой нагрузки – гляциоизостатический фактор. Действие такого процесса выражается в изменении береговых линий водных бассейнов. Общая тенденция восходящих движений земной коры нарушается локальными поднятиями/опусканиями. Например, на такие процессы может влиять техногенная нагрузка – крупномасштабное городское строительство, эксплуатация водоносных горизонтов, строительство ГЭС. Это объясняет наблюдаемые в пределах городских территорий Санкт-Петербурга отрицательные движения до 1,5-2,5 мм в год (Геологический атлас, 2009).

Глава 3. Гидрогеологические условия региона

В гидрогеологическом отношении Санкт-Петербург расположен в пределах северо-западного крыла Ленинградского артезианского бассейна (Рис. 3). Подземные воды приурочены как к дочетвертичным (венд-девонским), так и четвертичным отложениям осадочной толщи, а также к архейско-нижнепротерозойской зоне кристаллического фундамента.

Таблица 1. Подземные воды четвертичных отложений (Геологический атлас, 2009)

Гидрогеологическое подразделение	Вмещающие породы	Мощность	Глубина залегания вод/пьезометр. уровень	Химический состав	Минерализация
Голоценовый техногенно-морской слабоводоносный горизонт	Насыпные промышленные и бытовые отходы, намывные грунты	1-12 м	Менее 2 м	<u>Север, юг:</u> Сульфатно-гидрокарбонатные <u>Центр:</u> Сульфатные, хлоридные, высокое содержание нитратов	до 0,5 г/дм ³ 1-3,8 г/дм ³
Голоценовый болотный водоносный горизонт, безнапорный	Торф	3-5 м	0,2-1,0 м	Гидрокарбонатные натриево-кальциевые, магниевые-кальциевые мягкие	0,2-0,3 г/дм ³
Голоценовый аллювиально-озерный водоносный горизонт, безнапорный	Разнозернистые пески и супеси	0,5-7,0 м	0,5-1,0 м	Гидрокарбонатные со смешанным катионным составом, пресные	0,1-0,5 г/дм ³
Голоценовый озерно-морской водоносный горизонт (локально, вдоль побережья Финского залива)	Пески, супеси с прослоями суглинков	2-15 м	0-5 м	Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные со смешанным катионным составом	Пресные
Верхнеплейстоцен-голоценовый надморенный водоупорный горизонт	Суглинки, глины	10-15 м	-	-	-

Гидрогеологическое подразделение	Вмещающие породы	Мощность	Глубина залегания вод/пьезометр. уровень	Химический состав	Минерализация
Осташковский озерно-ледниковый надморенный <i>слабоводонасыщенный локально водоупорный</i> горизонт	Ленточные глины, содержащие песчаные и супесчаные прослои	0,8-15,0 м	0,2-6,0 м	Гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые	Пресные
Осташковский озерно-ледниковый надморенный <i>слабоводонасыщенный</i> горизонт, напорно-безнапорный	Переслаивающиеся тонкозернистые пески, супеси, суглинки	2-25 м	До 2 м	Гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные с переменным содержанием катионов	0,1-0,9 г/дм ³
Осташковский водно-ледниковый надморенный <i>водонасыщенный</i> горизонт, безнапорный	Разнозернистые пески	1-30 м	От 0,3 до 5-8 м	Хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатные, натриевые, кальциевые-натриевые	0,1-0,2 г/дм ³
Осташковский водно-ледниковый надморенный камовый <i>водонасыщенный</i> горизонт (северная часть), безнапорный	Тонко-, крупнозернистые пески с включениями гравия и гальки	-	0,1-45 м	Гидрокарбонатные магниевые-кальциевые	0,1-0,5 г/дм ³
Осташковский моренный <i>относительно водоупорный</i> горизонт (лужский)	Валунные суглинки и супеси	От 0 до 30-45 м	-	-	-
Московско-осташковский межморенный <i>водонасыщенный локально-водоупорный</i> горизонт (московско-валдайский, «Полостровский»), напорный	От пылеватых песков до гравийно-галечных и гравийно-валунных образований	1-40 м	5-40 м, пьезометр. уровень 3-10 м	Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, натриевые	0,1-0,6 г/дм ³ , содержание Fe ²⁺ 3-9 мг/дм ³

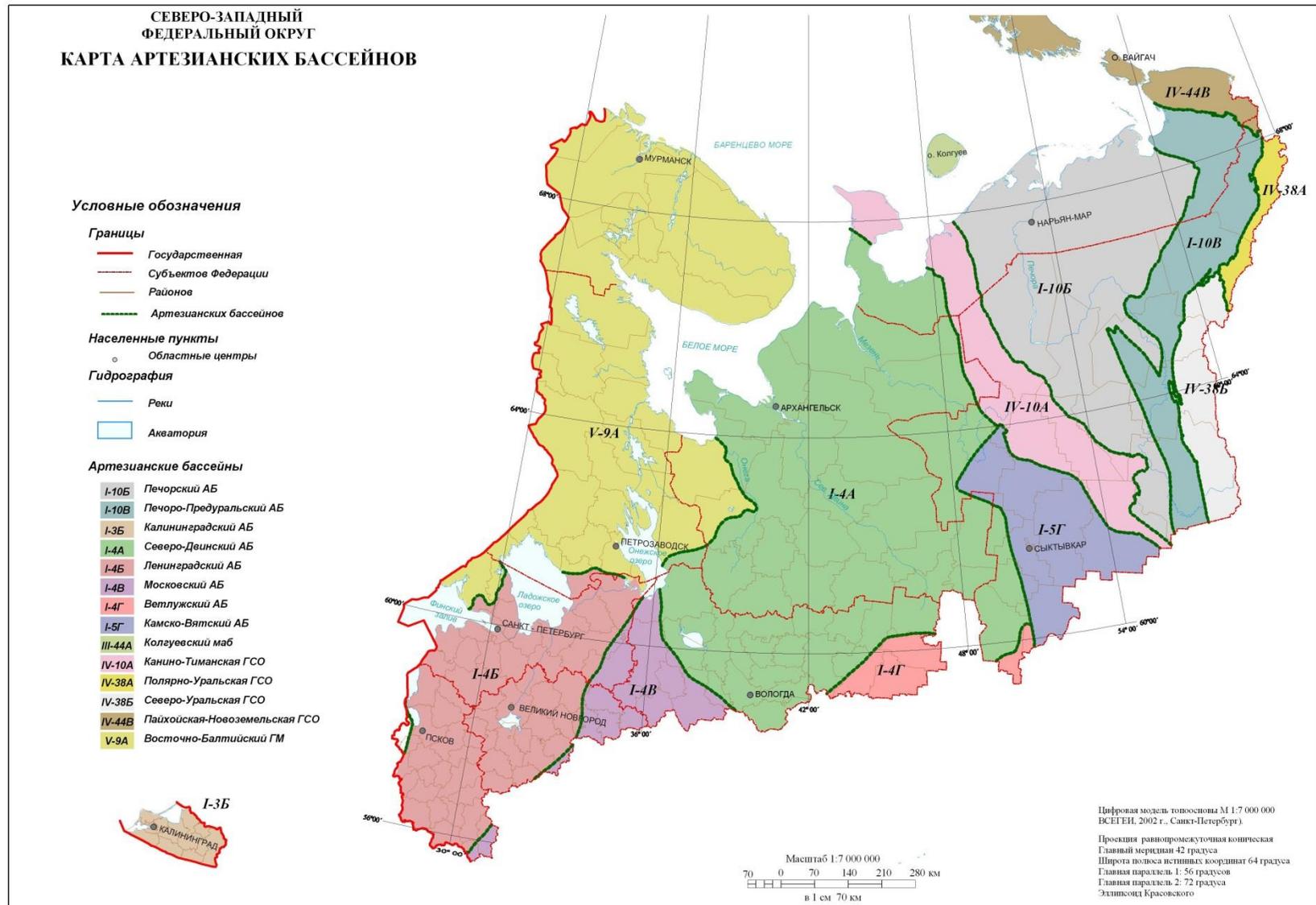
Гидрогеологическое подразделение	Вмещающие породы	Мощность	Глубина залегания вод/пьезометр. уровень	Химический состав	Минерализация
Московский моренный <i>относительно водоупорный</i> горизонт	Суглинки и супеси валунные, прослой и линзы песка – локальная водоносность	От 0-2 до 30-44 м	-	-	-
Вологодско-московский межморенный <i>водоносный</i> горизонт (днепровско-московский), напорный	Разнозернистые пески с включениям и гравия, гальки, валунов	От первых метров до 30-60 м	5-10 м	Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые	0,1-0,7 г/дм ³
Вологодский моренный <i>водоупорный</i> горизонт	Суглинки с включениям и гравия, гальки и валунов	От 1-2 до 60 м	-	-	-

Таблица 2. Подземные воды дочетвертичных образований (Рис. 4) (Геологический атлас, 2009).

Гидрогеологическое подразделение	Вмещающие породы	Мощность	Глубина залегания вод/пьезометр. уровень	Химический состав	Минерализация	Примечания
Наровский водоносный горизонт	Мергели, доломиты с прослоями глин	5-8 м	-	-	-	-
Ордовикский водоносный комплекс, безнапорный	Трещиноватые, закарстованные известняки	20-35 м	От 2-5 до 25 м	Гидрокарбонатные кальциево-магниевого, жесткие и умеренно жесткие	0,3-0,5 г/дм ³	Водоснабжение населения (Красное село, Ломоносов, Петродворец)
Копорско-леэтсеский водоупорный горизонт	Глины, глинистые песчаники, диктионемовые сланцы	От 1,5-3,0 до 5,0-7,0 м	-	-	-	-
Кембро-ордовикский водоносный комплекс, напорный	Пески, песчаники	10-15 м	Напор 3-20 м	Гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, кальциево-магниевого, содержание железа 0,4-0,7 мг/дм ³ , повышенное содержание радона	0,3-0,6 г/дм ³	По площади распространения совпадает с ордовикским водоносным комплексом
Лонтоваский водоупорный горизонт	Плотные глины	От 3-10 до 20-90 м	-	-	-	Региональный водоупор Ленинградского артезианского бассейна
Ломоносовский водоносный горизонт	Песчаники с частыми прослоями глин	10-20 м	-	-	1-3 г/дм ³	Водообильность невысокая
Котлинский водоупорный	Плотные зеленовато-серые	50-110 м	-	-	-	Региональный водоупор

Гидрогеологическое подразделение	Вмещающие породы	Мощность	Глубина залегания вод/пьезометр. уровень	Химический состав	Минерализация	Примечания
горизонт	глины					
Вендский водоносный комплекс (гдовский): - Котлинский водоносный горизонт, напорный	Переслаивание песчаников, алевролитов, глин	70-80 м	Напор 70-100 м	<u>Севернее Сестрорецка:</u> Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые <u>п. Серголово:</u> гидрокарбонатно-хлоридные <u>Санкт-Петербург:</u> Хлоридные натриевые <u>Южный берег Финского залива:</u> Хлоридные натриевые	0,1-0,3 г/дм ³ 0,8 г/дм ³ От 2-2,5 г/дм ³ до 3,8-4,4 г/дм ³ 4,2-4,9 г/дм ³	Техническое водоснабжение предприятий, бальнеологические цели
- Редкинский водоупорный горизонт		10-20 м	-	-	-	
- Редкинский водоносный горизонт, напорный	Разнозернистые песчаники	13-35 м		По мере погружения к ЮВ: смена гидрокарбонатных вод на хлоридно-	До 5 г/дм ³	Водоснабжение в Рощино, Смолячково, Репино, Комарово и др.

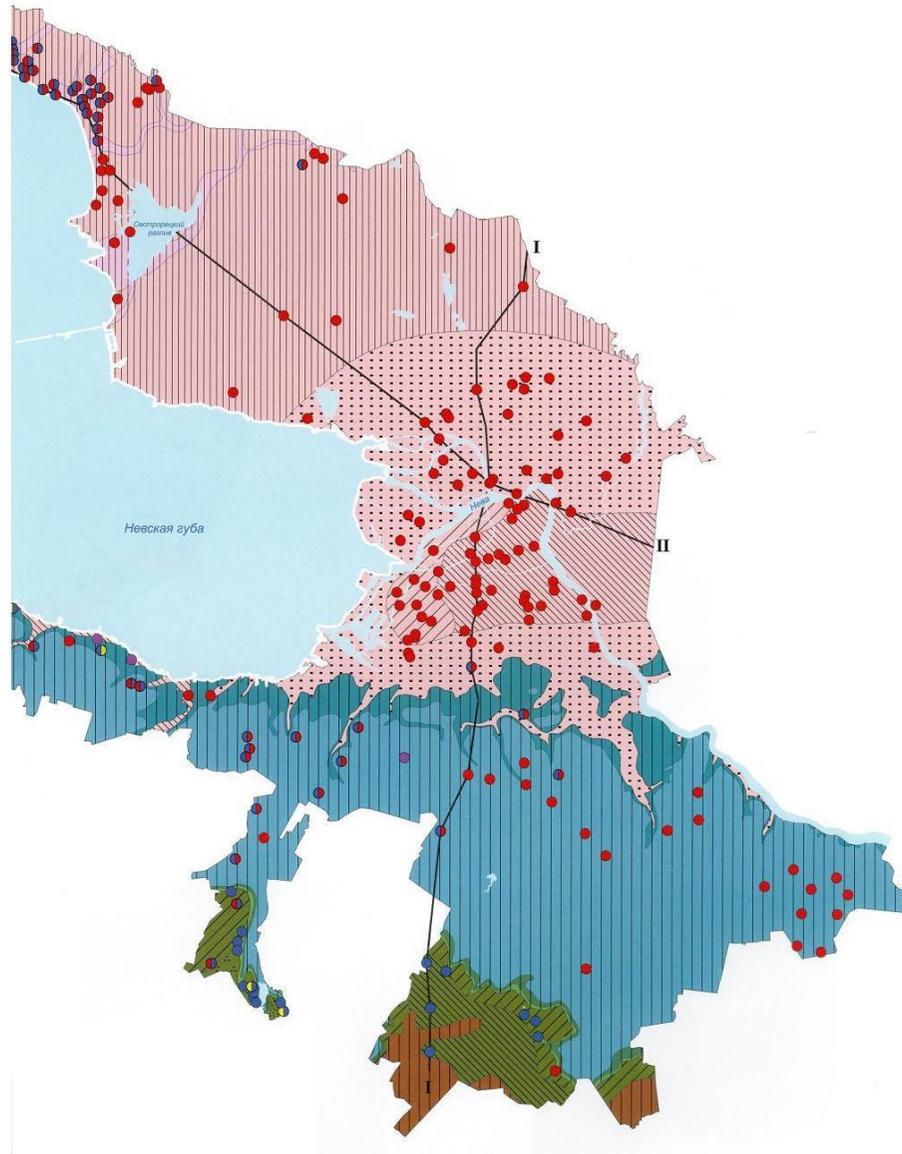
Гидрогеологическое подразделение	Вмещающие породы	Мощность	Глубина залегания вод/пьезометр. уровень	Химический состав	Минерализация	Примечания
				гидрокарбонатные и хлоридные натриевые		



*Рис. 3. Карта артезианских бассейнов Северо-Запада (Гидрогеоэкология,
интернет-ресурс)*

Гидрогеологическая карта дочетвертичных образований

Масштаб 1:200 000



Условные обозначения

I. Распространение гидрогеологических подразделений

- Q Четвертичные отложения (только на разрезах)
- D_{nr} Наровский водоносный горизонт. Мергели, доломиты с прослоями песчаников, алевролитов и глин
- O Ордовикский водоносный комплекс. Известняки, доломиты с прослоями мергелей и глин
- O₁kp-lt Копорско-петтесский водоупорный горизонт. Диктионемовые сланцы, глинистые песчаники, глины
- e₁-O₁ Кембро-ордовикский водоносный комплекс. Пески и песчаники с редкими прослоями алевролитов
- e₁ln Лонтоваский водоупорный горизонт.
- e₁lm "Синие глины" с редкими тонкими прослоями алевролитов и глин
- V₁kt Ломоносовский водоносный горизонт. Чередование песчаников, алевролитов и глин
- V₁kt Котлинский водоупорный горизонт. Глины с прослоями песчаников, алевролитов и глин
- V₁kt Вендский водоносный комплекс Котлинский водоносный горизонт. Переслаивание песчаников, алевролитов и глин
- V₂rd Редкинский водоупорный горизонт. Глины с прослойками алевролита
- V₂rd Редкинский водоносный горизонт. Песчаники мелкозернистые и разнозернистые, в подошве гравелистые, с прослоями глины, артилита или алевролита в кровле
- AR-PR₁ Архейско-нижнепротерозойская слабоводоносная зона кристаллических пород. Граниты, гнейсы, мигматиты

II. Водопроницаемость водоносных горизонтов и комплексов (м²/сутки)

- менее 50
- 50-100
- 100-200
- 200-300
- 300-400
- 500-1000
- 1000-5000

III. Опорные водоупункты и химический состав подземных вод:

- гидрокарбонатный
- хлоридный
- хлоридно-гидрокарбонатный
- гидрокарбонатно-сульфатный
- сульфатно-гидрокарбонатный
- гидрокарбонатно-хлоридный
- смешанный трехкомпонентный

IV. Прочие знаки

- граница распространения гидрогеологических подразделений
- линия гидрогеологического разреза
- граница участков с разной водопроницаемостью

V. Дополнительные знаки на гидрогеологических разрезах

- пьезометрический уровень подземных вод вендского комплекса
- скважина гидрогеологическая. Закраска соответствует химическому составу воды в опробованном интервале глубины. Стрелка соответствует средней величине напора подземных вод в 1998 году

Рис. 4. Гидрогеологическая карта дочетвертичных образований (Геологический атлас, 2009)

Глава 4. Инженерно-геологические особенности площадки проектируемого строительства

Участок строительства располагается в северо-западной части Санкт-Петербурга Василеостровского административного района (Рис. 5). Планируется строительство гостиничного комплекса высотой 40 м (11 этажей), размерами в плане 98,5х69,7 м (Приложение 1).

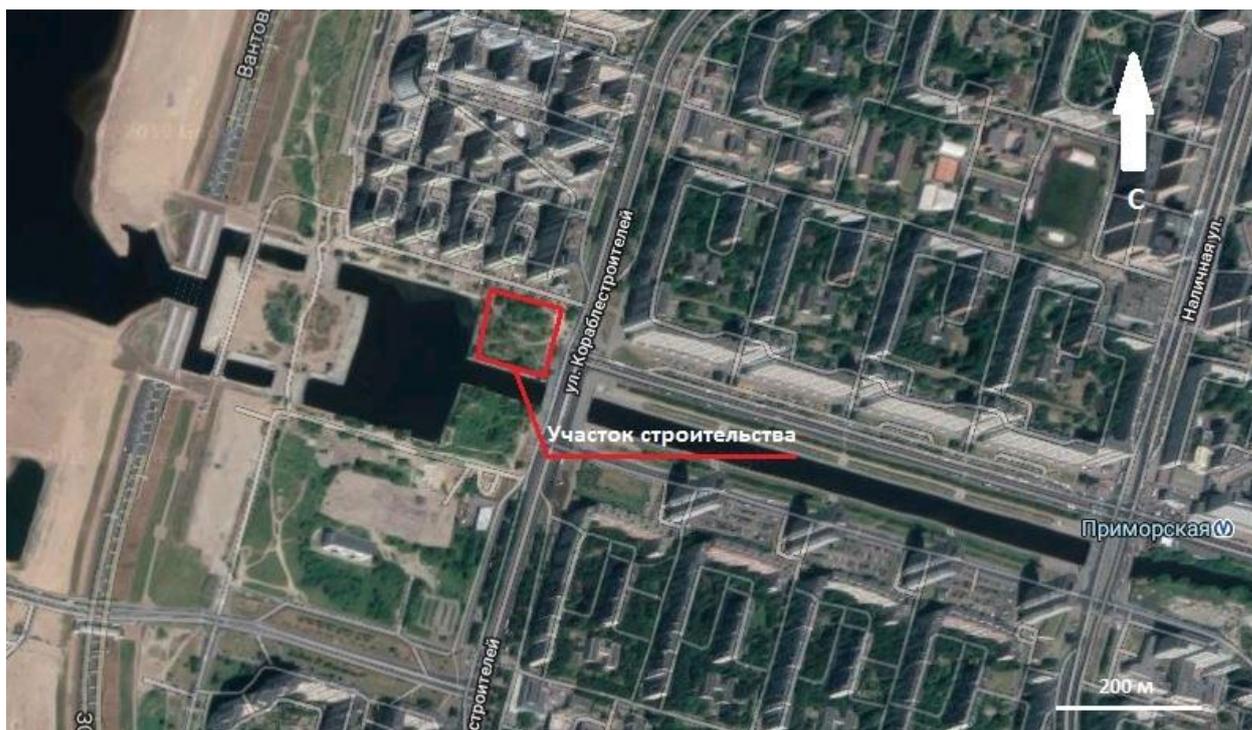


Рис. 5. Расположение участка проектируемого строительства

4.1. Геоморфология, рельеф, гидрография

В геоморфологическом отношении рассматриваемая территория строительства расположена в пределах Приморской низины, на намывной территории Финского залива. Абсолютные отметки поверхности (по устьям пройденных выработок на всей территории) составляют 2,5-4,0 м.

Гидрографическая сеть района участка проектируемого строительства относится к бассейну Балтийского моря, а именно к искусственно прорытому в 1970-1972 гг. каналу, соединившему реку Смоленку с Финским заливом (Справочник «Санкт-Петербург», интернет-ресурс).

4.2. Геологическое строение участка работ и инженерно-геологическая характеристика площадки

В геологическом строении исследуемого участка в пределах глубины бурения 70,0 м принимают участие современные четвертичные отложения голоценового отдела - техногенные (t IV), морские и озерные (m, l IV) образования, отложения верхнего звена плейстоценового отдела, представленные озерно-ледниковыми (lg III) и ледниковыми (g III) отложениями (Приложения 2-5).

Всеми скважинами с поверхности вскрыт почвенно-растительный слой, мощностью от 0,1 м до 0,2 м.

В пределах глубины бурения до 70,0 м инженерно-геологические элементы выделены сверху вниз.

Согласно ГОСТ 25100-2011 с учетом возраста, генезиса, номенклатурного вида грунтов, слагающих участок, в пределах рассматриваемой глубины, на основе статистической обработки результатов лабораторных определений физико-механических свойств грунтов, согласно ГОСТ 20522-2012, выделено 20 ИГЭ.

Четвертичная система Q

Голоценовые отложения (IV)

Современные техногенные отложения tIV

Техногенные отложения (tIV) представлены:

- **ИГЭ-1** - Насыпные грунты: пески коричневые влажные, ниже УГВ насыщенные водой, со щебнем, строительным мусором, с примесью органических веществ. Срок отсыпки более 5 лет.

- **ИГЭ-2** - Намывные грунты: пески пылеватые коричневато-серые плотные, с прослоями песков средней плотности, влажные, ниже УГВ насыщенные водой, с растительными остатками.

Вскрытая мощность отложений составляет от 2,3 до 5,1 м. Их подошва пересечена на глубинах от 2,5 до 5,1 м., на абсолютных отметках от «минус» 1,5 до 0,6 м.

Морские и озерные отложения (m, I IV)

Морские и озерные отложения (m, I IV) представлены:

- **ИГЭ-3** - Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричневато-серые насыщенные водой.
- **ИГЭ-4** - Пески пылеватые средней плотности коричневато-серые насыщенные водой, с растительными остатками.
- **ИГЭ-5** - Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка, с примесью органических веществ, тиксотропные.
- **ИГЭ-5а** - Глины легкие пылеватые текучепластичные серые, с примесью органических веществ, слоистые.
- **ИГЭ-6** - Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси, с растительными остатками.
- **ИГЭ-6а** - Пески мелкие средней плотности серые насыщенные водой, с примесью органических веществ.
- **ИГЭ-7** - Супеси пылеватые пластичные серые с прослоями песка неяснослоистые с растительными остатками.
- **ИГЭ-8** - Суглинки легкие пылеватые текучие серые слоистые, с примесью органических веществ, тиксотропные.

Вскрытая мощность морских и озерных отложений составляет от 18,0 до 22,3 м., их подошва пересечена на глубинах от 22,1 до 27,3 м., на абсолютных отметках от «минус» 23,8 до «минус» 19,4 м.

Верхнечетвертичные отложения (верхний плейстоцен) (III)

Озерно-ледниковые отложения (lg III)

Озерно-ледниковые отложения (lg III) представлены:

- **ИГЭ-9** - Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые тиксотропные слоистые.
- **ИГЭ-10** - Суглинки тяжелые пылеватые текучие серовато-коричневые ленточные.
- **ИГЭ-11** - Суглинки легкие пылеватые текучепластичные серые слоистые.
- **ИГЭ-12** - Пески средней крупности, плотные серые насыщенные водой.
- **ИГЭ-13** - Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой.

Вскрытая мощность озерно-ледниковых отложений составляет от 5,5 до 11,3 м, их подошва пересечена на глубинах от 29,6 до 37,1 м, на абсолютных отметках от «минус» 33,6 до «минус» 26,5 м.

Ледниковые отложения (g III lz)

Ледниковые отложения (g III) представлены:

- **ИГЭ-14** - Супеси пылеватые пластичные коричневато-серые с гравием, галькой до 5%, с линзами песка.
- **ИГЭ-15** - Пески крупные плотные серые насыщенные водой.
- **ИГЭ-16** - Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые с гравием, галькой до 5%.
- **ИГЭ-17** - Суглинки легкие пылеватые тугопластичные серые с гравием, галькой до 5%.
- **ИГЭ-18** - Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%.

Пройденная мощность ледниковых отложений составляет от 32,9 до 40,4 м, пройдены до глубины 70,0 м, до абсолютных отметок от «минус» 67,5 до «минус» 66,5 м.

Таблица 3. Сводная таблица физико-механических свойств грунтов.

Наименование грунта	ИГЭ	Индекс	Плотность, ρ , г/см ³	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	Показатель текучести, I_L , д.ед.	Модуль деформации, Е, МПа	Угол внутреннего трения, φ , °	Удельное сцепление, С, кПа
Насыпные грунты: пески коричневые влажные, ниже УГВ насыщенные водой, со щебнем, строительным мусором, с примесью органических веществ	1	t IV	-	-	-	-	-	-
Намывные грунты: пески пылеватые коричневато-серые плотные, с прослоями песков средней плотности, влажные, ниже УГВ насыщенные водой, с растительными остатками	2	t IV	-	-	-	28	33	-
Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричневато-серые насыщенные водой	3	m, I IV	1,70	0,97	1,78	2	7	7
Пески пылеватые средней плотности коричневато-серые насыщенные водой, с растительными остатками	4	m, I IV	-	-	-	16	29	-
Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка, с примесью органических веществ, тиксотропные	5	m, I IV	1,92	0,98	1,09	8	13	10
Глины легкие пылеватые текучепластичные серые, с примесью органических веществ, слоистые	5a	m, I IV	1,64	0,98	0,90	3	11	12
Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси, с растительными остатками	6	m, I IV	-	-	-	26	30	-
Пески мелкие средней плотности серые насыщенные водой, с примесью органических веществ	6a	m, I IV	-	-	-	26	30	-
Супеси пылеватые пластичные серые с прослоями песка неяснослойные с растительными остатками	7	m, I IV	1,95	0,97	0,83	39	19	16

Наименование грунта	ИГЭ	Индекс	Плотность, ρ , г/см ³	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	Показатель текучести, I_L , д.ед.	Модуль деформации, E, МПа	Угол внутреннего трения, φ , °	Удельное сцепление, C, кПа
Суглинки легкие пылеватые текучие серые слоистые, с примесью органических веществ, тиксотропные	8	m, I IV	1,89	0,99	1,11	7	6	8
Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые тиксотропные слоистые	9	lg III	1,92	0,96	0,67	9	13	8
Суглинки тяжелые пылеватые текучие серовато-коричневые ленточные	10	lg III	1,81	0,99	1,10	6	10	6
Суглинки легкие пылеватые текучепластичные серые слоистые	11	lg III	1,88	0,98	0,83	8	13	14
Пески средней крупности, плотные серые насыщенные водой	12	lg III	-	-	-	66	35	-
Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой	13	lg III	-	-	-	44	34	-
Супеси пылеватые пластичные коричневато-серые с гравием, галькой до 5%, с линзами песка	14	g III lz	2,22	0,97	0,25	13	29	15
Пески крупные плотные серые насыщенные водой	15	g III lz	-	-	-	49	35	-
Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые с гравием, галькой до 5%	16	g III lz	2,02	0,99	0,59	10	16	17
Суглинки легкие пылеватые тугопластичные серые с гравием, галькой до 5%	17	g III lz	2,06	0,96	0,36	12	20	32
Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%	18	g III lz	2,11	0,98	0,14	14	26	24

4.3. Гидрогеологические условия площадки

В гидрогеологическом отношении рассматриваемый участок характеризуется наличием трех горизонтов подземных вод.

- 1) Водоносный безнапорный горизонт приурочен к пескам техногенных (t IV) отложений, песчано-пылеватым прослоям в связных грунтах и пескам морских, озерных (m, l IV) отложений. Наблюдаемый уровень в период бурения (апрель 2018 г.) отмечен на глубине от 1,9 до 4,6 м, на абсолютных отметках от «минус» 1,4 до 1,6 м.

По данным архивной скважины № 635 безнапорный водоносный горизонт приурочен к пескам техногенных современных отложений (t IV). Наблюдаемый уровень в период бурения (сентябрь 2017 г) отмечен на глубине 2,1 м, на абсолютной отметке 1,8 м.

В неблагоприятные периоды года (периоды осенних обложных дождей, весеннего снеготаяния) уровень грунтовых вод со свободной поверхностью устанавливается вблизи дневной поверхности на глубинах 0,1-0,2 м (абс. отм. 2,4-3,9 м), с возможным образованием открытого зеркала грунтовых вод.

Питание водоносного горизонта - за счет инфильтрации атмосферных осадков, нарушения естественного испарения. Разгрузка грунтовых вод на участке происходит в местную гидрографическую сеть (река Смоленка, Финский залив). Сгонно-нагонные явления в Финском заливе вызывают колебания уровня грунтовых вод, амплитуда которых может превышать 2 м.

Участок работ, в соответствии с СП 11-105-97, часть II, прил. И, относится к району I-A-2 сезонно (ежегодно) подтопленные в естественных условиях.

- 2) Первый водоносный напорный горизонт приурочен к пескам морских, озерных (m, l IV) отложений. Наблюдаемый водоносный горизонт вскрыт на глубине от 15,0 до 18,4 м, на абсолютных отметках от «минус» 14,9 до «минус» 11,9 м. Величина напора - 0,9-2,5 м, пьезометрический уровень устанавливается на глубине от 12,7 до 16,6 м от поверхности земли, что соответствует абсолютным отметкам от «минус» 13,1 до «минус» 9,7 м.
- 3) Второй водоносный напорный горизонт приурочен к пескам озерно-ледниковых (lg III) и ледниковых (g III) отложений. Наблюдаемый водоносный горизонт вскрыт на глубине от 29,5 до 49,4 м, на абсолютных отметках от «минус» 46,5 до «минус» 26,9 м. Величина напора - 6,6-15,2 м, пьезометрический уровень устанавливается на глубине

от 22,7 до 34,2 м от поверхности земли, что соответствует абсолютным отметкам от «минус» 31,3 до «минус» 20,1 м.

Воды 1 и 2-ого водоносных горизонтов гидравлически взаимосвязаны.

Глава 5. Расчет взаимодействия свайного фундамента с массивом грунта

Согласно техническому заданию на площадке планируется строительство 11-этажного гостиничного комплекса высотой 40 м, размерами в плане 98,5х69,7 м. Проектируемый тип фундамента – свайный (свая забивная, круглая, диаметр – 620 мм, предполагаемая нагрузка на одну сваю – 162 тс), глубина подошвы ростверка - 10 м.

5.1. Расчет несущей способности одиночной сваи

5.1.1. Расчет частных значений предельного сопротивления

В результате выделения инженерно-геологических элементов были выявлены наиболее прочные грунты для заглубления свай (ИГЭ-17, ИГЭ-18) – средняя глубина кровли по площади всего участка – 48 м, включая 2 м заглубления. Длина свай, таким образом, будет составлять (с учетом котлована) 38 м.

Расчет частных значений предельного сопротивления выполнялся в соответствии с СП 24.13330.2011, п. 7.3.10, с использованием программы Microsoft Excel. Значения предельных сопротивлений получены по 23 точкам статического зондирования, данные которого были взяты из отчета об инженерно-геологических изысканиях (Приложение 6).

Значения предельных сопротивлений F_u , кН были определены по формулам:

$$F_u = R_s A + f h u \quad (1)$$

$$R_s = \beta_1 q_s \quad (2)$$

$$f = \frac{\sum \beta_i f_{si} h_i}{h} \quad (3)$$

где R_s - предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, кПа;

f - среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, кПа;

h - глубина погружения сваи от поверхности грунта около сваи, м;

u - периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

β_1 - коэффициент перехода от q_s к R_s , принимается по таблице 7.16, приведенной в СП 24.13330.2011;

q_s - среднее значение сопротивления грунта, кПа, предоставленные данные по результатам зондирования;

β_i – коэффициент, принимается по таблице 7.16, приведенной в СП 24.13330.2011;

f_{si} - среднее сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности зонда, кПа, предоставленные данные по результатам зондирования;

h_i - толщина i -го слоя грунта, м.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристика предельных сопротивлений и их составляющих.

ТСЗ	Составляющие		Fu, кН	Fu, тс
	$f \cdot h \cdot u$	$R_s \cdot A$		
3	2117,62	804,52	2922,15	297,97
2	2117,99	436,39	2554,38	260,47
4	2569,87	481,99	3051,85	311,20
6	2532,52	674,37	3206,89	327,01
18	2394,64	456,62	2851,26	290,75
19	2221,19	747,45	2968,64	302,72
21	2421,74	456,62	2878,37	293,51
7	2286,24	415,55	2701,79	275,51
8	2381,74	747,45	3129,19	319,09
24	2295,41	732,53	3027,94	308,76
23	2300,84	697,62	2998,46	305,76
22	2135,94	642,53	2778,47	283,32
15	2582,87	697,62	3280,49	334,52
13	2483,29	697,62	3180,92	324,36
10	2096,20	782,18	2878,38	293,51
27	2289,78	523,85	2813,63	286,91
29	1984,34	604,00	2588,34	263,94
31	2076,89	544,81	2621,69	267,34
36	2157,74	697,62	2855,36	291,16
38	2285,75	793,66	3079,41	314,01
41	2253,46	956,74	3210,19	327,35
47	2200,77	562,63	2763,39	281,79
16	3259,81	697,62	3957,43	403,55

5.1.2. Определение несущей способности свай

Согласно СП 24.13330.2011, п. 7.3.4, при наличии более шести испытаний, несущую способность F_d следует определять на основании результатов статистической обработки частных значений предельных сопротивлений свай (ГОСТ 20522-2012).

Полагая, что $X_i = F_u$, было вычислено среднеарифметическое значение X_n :

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

где, n – число определений;

X_i – частные значения характеристики, получаемые по результатам отдельных i -х опытов.

Далее было вычислено среднеквадратичное отклонение S :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - X_i)^2} \quad (5)$$

Была выполнена статистическая проверка данных для исключения возможных ошибок по условию:

$$|X_n - X_i| < vS \quad (6)$$

где, v – статистический критерий, принимаемый в зависимости от числа определений ($v = 2,82$).

Далее был вычислен коэффициент вариации V и показатель точности ее среднего значения ρ_α :

$$V = \frac{S}{X_n} \quad (7)$$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

где, t_α – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и степеней свободы (принимается по таблице, $t_\alpha = 1,72$, ГОСТ 20522-2012).

После этого был рассчитан коэффициент надежности по грунту:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 - \rho_\alpha} \quad (9)$$

По итогу было найдено расчетное значение несущей способности одиночной сваи F_d по формуле:

$$X = F_d = \frac{X_n}{\gamma_g} \quad (10)$$

Таблица 5. Данные и результаты статистической обработки

n , кол-во испытаний	23
X_n , среднеарифметическое частных значений предельных сопротивлений	285,26 кН
S , среднеквадратичное отклонение	27,15
V , коэффициент вариации	0,09
ρ_α , показатель точности	0,03
γ_g , коэффициент надежности по грунту	1,03
F_d , расчетное значение несущей способности одиночной сваи	260,47 тс

5.2. Определение давления по подошве куста свай и оценка расчетного сопротивления несущего слоя

Для дальнейших расчетов были выбраны относительно разнородные разрезы «10-6» и «15-1» – Приложения 2 и 3 соответственно.

Возьмем кусты, состоящие из 4-х свай (Рис. 6).

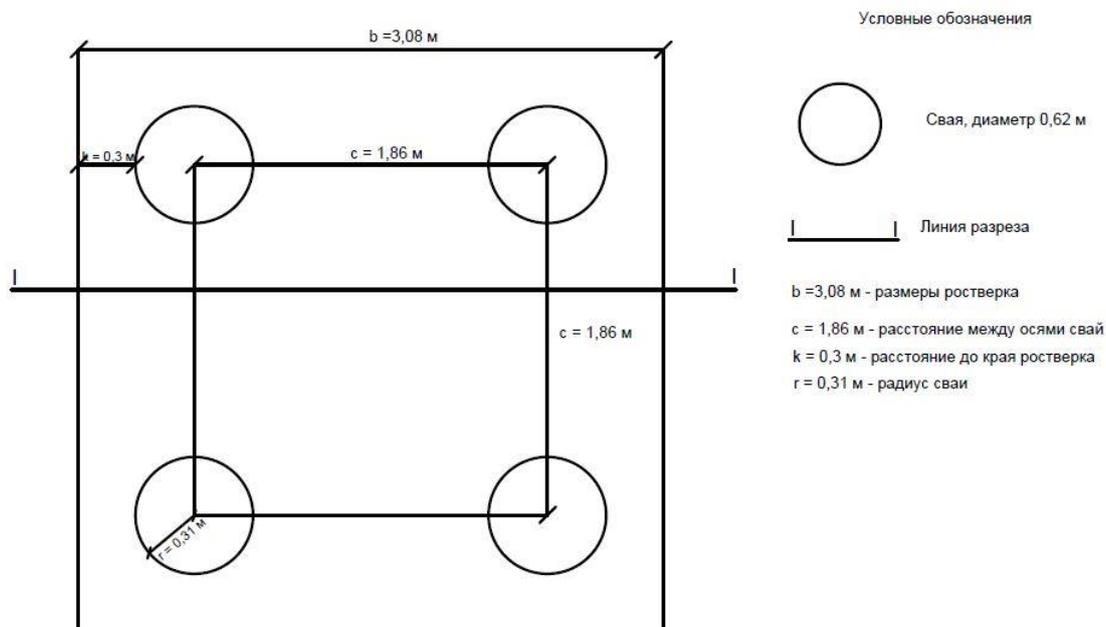


Рис. 6. Схема расположения свай в кусте.

5.2.1. Определение давления по подошве куста свай

Свайный фундамент оказывает влияние на большую площадь, чем площадь по его ширине b_1 (Рис. 7), для этого была рассчитана площадь условного фундамента F_y по формуле (11).

$$F_y = (b_1 + 2a)(1 + 2a) \quad (11)$$

где, b_1 - ширина куста свай, м;

$$a = (\sum h_{gi} + h_z) \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{4}\right);$$

φ - угол внутреннего трения средневзвешенный по мощности пород, соприкасающихся с боковой поверхностью свай.

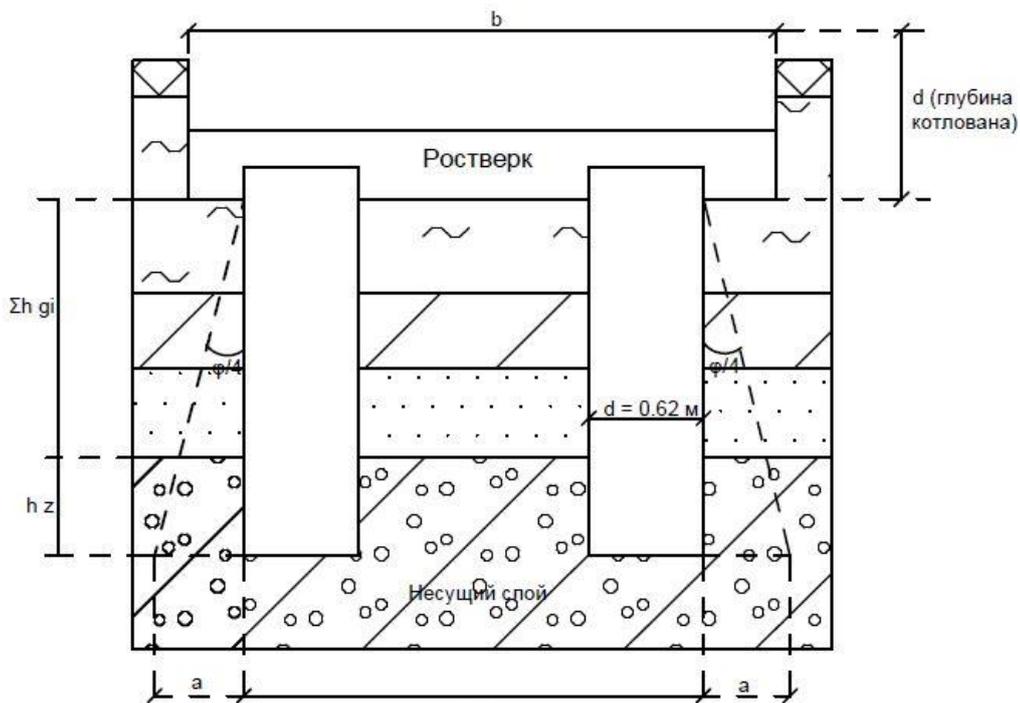


Рис. 7. Схематический разрез по линии I-I, проходящей через куст свай (из рис. 6).

Рассчитанные площади условных фундаментов F_y в типовых разрезах представлены в таблице 6.

Таблица 6. Площадь условного фундамента

Разрез	$F_y, \text{м}^2$
«10-6» (Приложение 2)	39,80
«15-1» (Приложение 3)	61,45

Далее было рассчитано давление по подошве каждого из условных фундаментов P_{II} , тс/м², по формуле:

$$P_{II} = \frac{N_{OII} + N_{GII} + N_{PII} + N_{SII}}{F_y} \quad (12)$$

где, N_{OII} – нагрузка по обрезу фундамента (тс);

N_{GII} – нагрузка, создаваемая ростверком (тс);

N_{PII} – нагрузка, создаваемая сваями (тс);

N_{SII} – нагрузка, создаваемая грунтом между сваями (тс).

Полученные результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7. Давление по подошве условного фундамента – куста свай

Разрез	P_{II} , тс/м ²
«10-6» (Приложение 2)	33,70
«15-1» (Приложение 3)	20,69

5.2.2. Оценка расчетного сопротивления несущего слоя

Согласно СП 22.13330.2016 было подсчитано расчетное сопротивление R , тс/м² несущего слоя по формуле:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma}k_z b\gamma + M_q h_{\phi}\gamma' + M_c c] \quad (13)$$

где, $\gamma_{c1}\gamma_{c2}$ – коэффициенты условий работы (табл. 5.4, СП 22.13330.2016);

k – коэффициент, равный единице, т.к. характеристики прочности породы были определены непосредственно в результате испытаний;

k_z – безразмерный коэффициент, зависящий от ширины фундамента ($k_z = 1$ при $b < 10$ м);

c – сцепление породы несущего слоя, кПа;

γ и γ' - значения плотности пород соответственно ниже или выше подошвы фундамента;

M_{γ}, M_q, M_c – безразмерные коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения пород несущего слоя, принимаемые по таблице 5.5 (СП 22.13330.2016).

В результате подсчетов расчетное сопротивление несущего слоя (ИГЭ 17, 18) R составило 61,49 тс/м².

Таким образом, сравнивая расчетное сопротивление несущего слоя R и давления под подошвой кустов свай P_{II} ($P_{II} < R$), можно сказать, что слой (ИГЭ 17, 18) может быть выбран в качестве несущего.

5.3. Расчет осадки кустов свай

Для установления неравномерности осадки в разрезе на площадке строительства была рассчитана осадка куста свай в двух относительно разнородных участках в разрезах «10-6» и «15-1».

Все расчеты производились в соответствии с СП 24.13330.2011.

Сначала была найдена осадка одиночной сваи S , см, в каждом из разрезов по следующей формуле:

$$S = \beta \frac{N}{G_1 l} \quad (14)$$

где, N – вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, МН ($N = 162 \text{ тс} = 1,59 \text{ МН}$);

l – длина сваи, м;

G_1 – модуль сдвига грунта, который прорезает свая, МПа;

β – коэффициент, который определяется по формуле (15):

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + 0,5 \frac{1 - \frac{\beta'}{a'}}{\chi} \quad (15)$$

где, $\beta' = 0,17 \ln \left(\frac{k_v G_1 l}{G_2 d} \right)$ – коэффициент, соответствующий абсолютной жесткости сваи;

$a' = 0,17 \ln \left(\frac{k_{v1} l}{d} \right)$ – коэффициент, учитывающий случай однородного основания;

$\chi = \frac{EA}{G_1 l^2}$ – относительная жесткость сваи (EA – жесткость ствола сваи на сжатие, МН);

$\lambda_1 = \frac{2,12 \chi^{3/4}}{1 + 2,12 \chi^{3/4}}$ – параметр, учитывающий возможность увеличения осадки за счет сжатия ствола сваи.

G_1 и G_2 – модули сдвига в грунте, который прорезается свайей, и грунта, на который свая опирается, соответственно; ν_1 и ν_2 – коэффициенты Пуассона в этих грунтах, соответственно.

В результате расчетов были получены следующие значения осадок одиночных свай – таблица 8.

Таблица 8. Осадка одиночной сваи

Разрез	S , см
«10-6»	0,8
«15-1»	0,6

Далее по каждому разрезу была рассчитана осадка куста свай:

$$S_i = S + \sum \delta_{ij} \frac{N_j}{G_1 l} \quad (16)$$

$$\text{где, } \delta = \begin{cases} 0,17 \ln \frac{k_v G_1 l}{2 G_2 a}, & \text{если } \frac{k_v G_1 l}{2 G_2 a} > 1 \\ 0 & \text{, если } \frac{k_v G_1 l}{2 G_2 a} \leq 1 \end{cases}$$

a – расстояние между осями свай, м;

N_j – нагрузка на сваю, МН.

Результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9. Осадка куста свай

Разрез	S_i , см
«10-6»	2,7
«15-1»	1,9

В соответствии с СП 22.13330.2016, Прил. 2, максимальная допустимая осадка для заданного типа сооружения – гражданское здание с железобетонным каркасом – составляет 10 см. Таким образом, рассчитанные осадки кустов свай не превышают максимального допустимого значения.

Относительная разность осадок кустов свай считается допустимой, если выполняется следующее условие (17):

$$\frac{\Delta S}{L} < \left(\frac{\Delta S}{L} \right)_u \quad (17)$$

где, ΔS – разность осадок, см;

L – расстояние между осями блоков фундаментов, см;

$\left(\frac{\Delta S}{L}\right)_u$ – предельно допустимое значение относительной разности осадок.

В результате расчетов было получено значение относительной разности осадок кустов свай, которое не превысило предельного значения (таблица 10).

Таблица 10. Рассчитанная относительная разность осадок и предельно допустимое значение

$\frac{\Delta S}{L}, \text{ см}$	$\left(\frac{\Delta S}{L}\right)_u, \text{ см}$
0,00011	0,002

Заключение

Рассматриваемый участок строительства находится в пределах древней погребенной долины, протягивающейся от р. Охты в районе пересечения с шоссе Революции через Адмиралтейство и Васильевский остров и уходящей в Невскую губу.

В результате инженерно-геологических изысканий был выявлен разрез участка, который оказался однородным. Однако в направлении запад-северо-запад в отдельных скважинах можно отметить появление линз песка. В целом в геологическом строении в пределах глубины бурения 70,0 м принимают участие современные четвертичные отложения голоценового отдела - техногенные (t IV), морские и озерные (m, l IV) образования, отложения верхнего звена плейстоценового отдела, представленные озерно-ледниковыми (lg III) и ледниковыми (g III) отложениями.

С учетом всех особенностей разреза было рассчитано среднее значение максимальной нагрузки, которую способна выдержать свая – 260,47 тс, что удовлетворяет заявленному заказчиком в техническом задании значению – 162 тс.

По результатам расчета давления по подошве куста свай и оценке расчетного сопротивления несущего слоя был сделан вывод, что слой (ИГЭ 17, 18) может быть использован в качестве несущего.

В связи с тем, что в разрезе появляются линзы песка, были выбраны два относительно неоднородных участка (разрезы «15-1» и «10-6», Приложения 2,3), на основе которых была посчитана неравномерность осадки кустов свай. Рассчитанные осадки не превысили предельно допустимых значений, приведенных в нормативной документации.

Список литературы

Монографии

- 1) Милановский Е. Е. Геология СССР. Часть 1. Введение. Древние платформы и метаплатформенные области. М.: Издательство МГУ, 1987, 416 с.
- 2) Селиванова В. А., Кофман В. С. Геология СССР. Том 1. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Северо-западное территориальное ГУ. М.: Недра, 1971, 504 с.

Статьи в журналах

- 1) Дашко Р. Э., Александрова О. Ю., Котюков П. В., Шидловская А. В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство, 2011. № 1. С. 1-47.

Нормативные документы

- 1) ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 20 с.
- 2) СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартиформ, 2017. – 162 с.
- 3) СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. – Введ. 2011-05-20. – М.: Стандартиформ, 2017. – 90 с.

Фондовые материалы

- 1) Отчет ООО «Приоритет»
- 2) Геологический атлас Санкт-Петербурга. СПб, 2009, 57 с.

Ресурсы сети интернет

- 1) https://sankt_peterburg.academic.ru/ - энциклопедический справочник «Санкт-Петербург»
- 2) <http://hge.spbu.ru/> - Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН и НИЦ Гидрогеологии Института Наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета

Приложения

Приложение 1 – План участка

Приложение 2 – Разрез «10-6»

Приложение 3 – Разрез «15-1», условные обозначения

Приложение 4 – Стратиграфическая колонка по скважине 8

Приложение 5 – Стратиграфическая колонка по скважине 16

Приложение 6 – Колонка по скважине 8 с данными статического зондирования

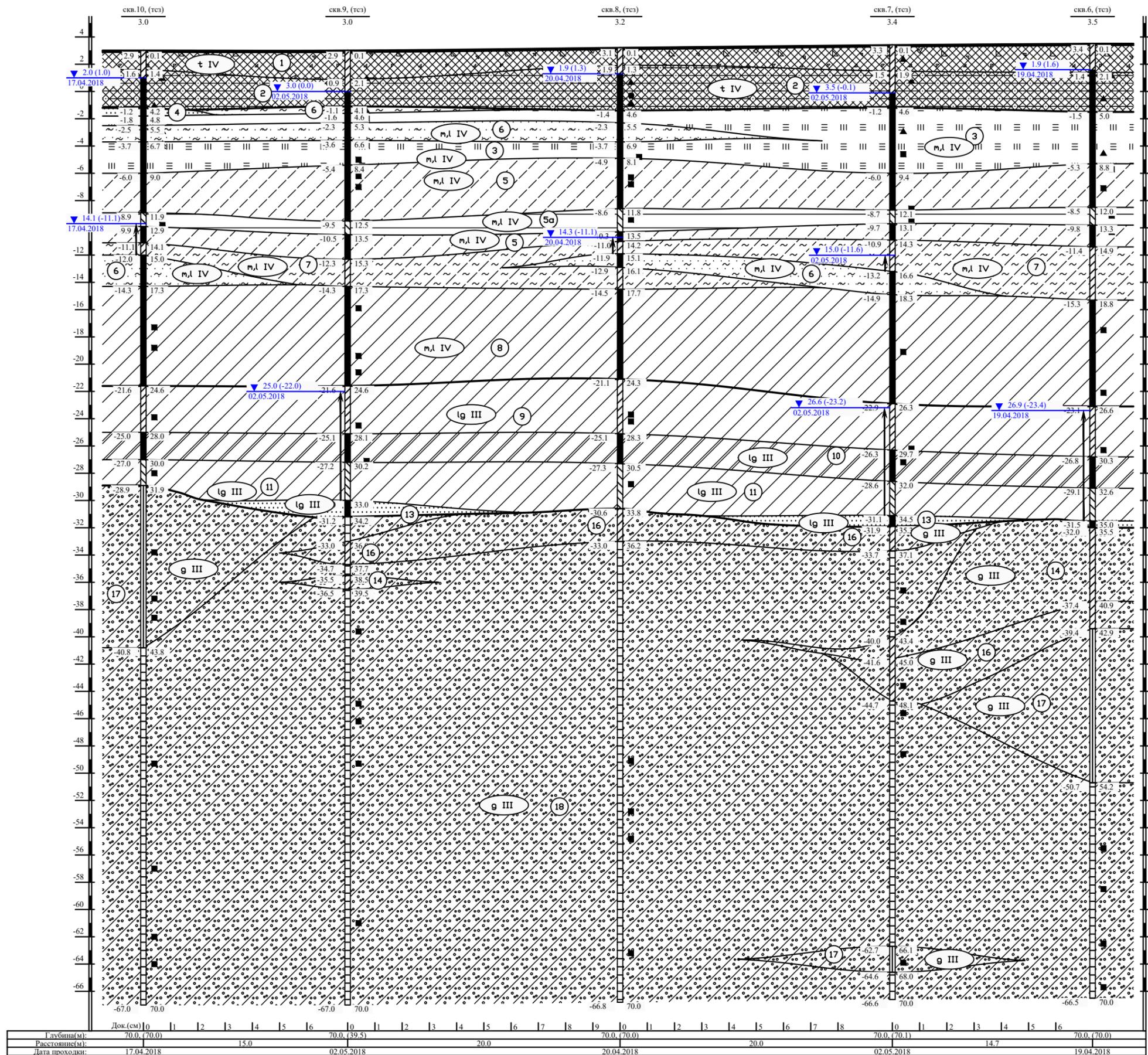


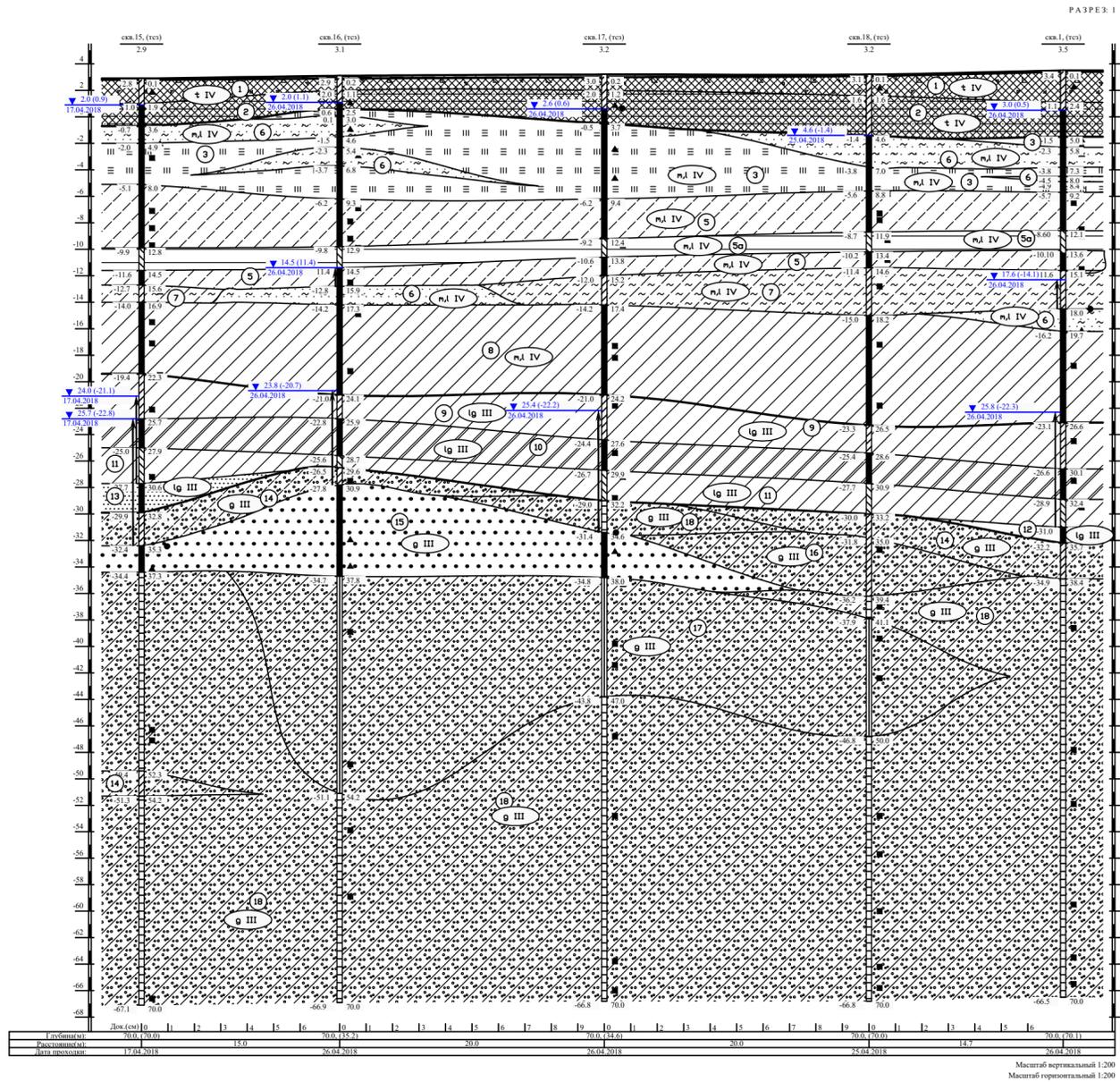
Условные обозначения:

- Точка статического зондирования.
- Скважина и точка статического зондирования.
- Номер инженерно-геологического разреза
- Скважина архивная, ее номер абсолютная отметка, м
- Контур проектируемого сооружения

СОГЛАСОВАНО
Инв.№Н подл. Подпись и дата Взам. инв.№Н

					ГП.1				
					«1» оштинка по адресу: Санкт-Петербург, Василеостровский район, ул. Кораблестроителей, участок 1 (западные пересечения с Новосмоленской набережной), земельный участок с кадастровым номером 78:06:0220301:4»				
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ дж.	Подпись	Дата	Инженерно-геологические изыскания	Стадия	Лист	Листов
Геолог	Баскакова			<i>[Signature]</i>	05.18		П.Р	1.1	1
План расположения инженерно-геологических выработок и разрезов, М 1:500							ООО «Приоритет»		





- ① Номер инженерно-геологического элемента
- g III Геологический индекс
- Место отбора пробы грунта нарушенной структуры
- ▲ Место отбора пробы грунта нарушенной структуры
- Место отбора пробы воды
- Граница между инженерно-геологическими элементами
- Стратиграфическая граница

- 70.0 Скважина на разрезе
Глубина подошвы скважины
- скв. (мет) 3.5 Номер выработки (точка статического зондирования)
Абсолютная отметка
- 2.0 (1.5) 26.04.2018 Уровень грунтовых вод (абс. отметка)
Дата наблюдения
- 1245 3.2 Номер точки статического зондирования
Абсолютная отметка
- график статического зондирования

Обозначения состояния грунта	Состояние грунтов		
	суглинки	супеси	степень влажности малой степени водонасыщения
твёрдые	твёрдые	_____	_____
полутвёрдые	_____	_____	_____
тугопластичные	_____	_____	_____
мягкопластичные	пластичные	_____	средней степени водонасыщения
текучепластичные	_____	_____	_____
текучие	текучие	_____	насыщенные водой

- Почвенно-растительный слой
- Насыщенные грунты: пески коричневые влажные, ниже УГВ насыщенные водой, со щебнем, строительным мусором, с примесью органических веществ. Срок отсыпки более 5 лет.
- Насыщенные грунты: пески пылеватые коричнево-серые плотные, с прослоями песков средней плотности, влажные, ниже УГВ насыщенные водой, с растительными остатками
- Слаботорфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой
- Пески пылеватые средней плотности коричнево-серые насыщенные водой с растительными остатками
- Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка с примесью органических веществ тиксотропные
- Глины легкие пылеватые текучепластичные серые с примесью органических веществ слоистые
- Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супесей, с растительными остатками
- Пески мелкие средней плотности серые насыщенные водой с примесью органических веществ
- Супеси пылеватые пластичные серые с прослоями песка неслоистые с растительными остатками
- Суглинки легкие пылеватые текучие серые слоистые с примесью органических веществ тиксотропные
- Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые тиксотропные слоистые
- Суглинки тяжелые пылеватые текучие серовато-коричневые летучие
- Суглинки легкие пылеватые текучепластичные серые слоистые
- Пески средней крупности плотные серые насыщенные водой
- Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой
- Супеси пылеватые пластичные коричнево-серые с гравием, галькой до 5% и лигзами песка
- Пески крупные плотные серые насыщенные водой
- Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые с гравием, галькой до 5%
- Суглинки легкие пылеватые тугопластичные серые с гравием, галькой до 5%
- Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%

Система высот - Балтийская.
Плановое положение разрезов и скважин приведено в Графическом приложении 1.

				ГП.3		
				«1» объект по адресу: Санкт-Петербург, Василеостровский район, ул. Кораблестроителей, участок 1 (наименование пересечения с Новосмоленской набережной), земельный участок с кадастровым номером 78-06-0270301-4»		
Изм.	Код	Лист	№ экз.	Подпись	Дата	
Геолог	Баскакова				05.18	
				Инженерно-геологические изыскания		Студия Лист Листов
				Инженерно-геологические разрезы		ООО «Приоритет»

Приложение 4

Масштаб 1:200
Дата выработки: 20.04.2018

Скважина: 8
Абсолютная отметка устья: 3.2м.

Геол. возр.	Глуб. подш. 0.1	Абсол. отмет. 3.1	Мощн. слоя 0.1	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
t IV	1.3	1.9	1.2	1	Почвенно-растительный слой Насыпные грунты: пески коричневые влажные со щебнем, строительным мусором, с примесью органических веществ		1.9
				2	Намывные грунты: пески пылеватые коричнево-серые плотные, с прослоями песков средней плотности, влажные, с гл. 1.9 м насыщенные водой, с растительными остатками	3.5	
m.IV	4.6	-1.4	3.3	3	Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой		
	5.5	-2.3	0.9	6	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси с растительными остатками		
	6.9	-3.7	1.4	3	Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой		
	8.1	-4.9	1.2	5	Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка с примесью органических веществ тиксотропные		
	11.8	-8.6	3.7	5а	Глины легкие пылеватые текучепластичные серые с примесью органических веществ слоистые		13.9
	13.5	-10.3	1.7	5	Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка с примесью органических веществ тиксотропные		
	14.2	-11.0	0.7	7	Супеси пылеватые пластичные серые с прослоями песка неяснослоистые с растительными остатками		
	15.1	-11.9	0.9	7	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси с растительными остатками	15.1	
	16.1	-12.9	1.0	6	Супеси пылеватые пластичные серые с прослоями песка неяснослоистые с растительными остатками		
	17.7	-14.5	1.6	7	Суглинки легкие пылеватые текучие серые слоистые с примесью органических веществ тиксотропные		
lg III	24.3	-21.1	6.6	8	Суглинки легкие пылеватые текучие серые слоистые с примесью органических веществ тиксотропные		
	28.3	-25.1	4.0	9	Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые тиксотропные слоистые		
	30.5	-27.3	2.2	10	Суглинки тяжелые пылеватые текучие серовато-коричневые ленточные		
	33.8	-30.6	3.3	11	Суглинки легкие пылеватые текучепластичные серые слоистые		
s III	36.2	-33.0	2.4	16	Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%		
	70.0	-66.8	33.8	18	Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%		

Приложение 5

Масштаб 1:200
Дата выработки: 26.04.2018

Скважина: 16
Абсолютная отметка устья: 3.1м.

Геол. возр.	Глуб. подп. 0.2	Абсол. отмет. 2.9	Мощн. слоя 0.2	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
t IV	1.1	2.0	0.9	1	Почвенно-растительный слой		
	2.5	0.6	1.4	2	Насыпные грунты: пески коричневые влажные со щебнем, строительным мусором, с примесью органических веществ	2.0	2.0
	3.0	0.1	0.5	3	Насыпные грунты: пески пылеватые коричнево-серые плотные, с прослоями песков средней плотности, влажные гл. 2.0 м насыщенные водой, с растительными остатками		
m.IV	4.6	-1.5	1.6	6	Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой		
	5.4	-2.3	0.8	3	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси с растительными остатками		
	6.8	-3.7	1.4	6	Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой		
	9.3	-6.2	2.5	3	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси с растительными остатками		
	12.9	-9.8	3.6	5	Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой		
	14.5	-11.4	1.6	5a	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси с растительными остатками		14.5
	15.9	-12.8	1.4	5	Слабозаторфованные грунты (супеси текучие) коричнево-серые насыщенные водой	15.9	
	17.3	-14.2	1.4	6	Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка с примесью органических веществ тиксотропные		
	24.1	-21.0	6.8	8	Глины легкие пылеватые текучепластичные серые с примесью органических веществ слоистые		
	24.1	-21.0	6.8	8	Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка с примесью органических веществ тиксотропные		23.8
lg III	25.9	-22.8	1.8	9	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой с прослоями супеси с растительными остатками		
	28.7	-25.6	2.8	10	Суглинки легкие пылеватые текучие серые слоистые с примесью органических веществ тиксотропные		
	29.6	-26.5	0.9	11	Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные серые тиксотропные слоистые		
g III	30.9	-27.8	1.3	14	Суглинки тяжелые пылеватые текучие серовато-коричневые ленточные		
	30.9	-27.8	1.3	14	Суглинки легкие пылеватые текучепластичные серые слоистые	30.9	
	30.9	-27.8	1.3	14	Супеси пылеватые пластичные коричнево-серые с гравием, галькой до 5% с линзами песка		
	30.9	-27.8	1.3	14	Пески крупные плотные серые насыщенные водой		
	37.8	-34.7	6.9	15	Суглинки легкие пылеватые тугопластичные серые с гравием, галькой до 5%		
	54.2	-51.1	16.4	17	Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%		
	70.0	-66.9	15.8	18	Суглинки легкие пылеватые полутвердые серые с гравием, галькой до 5%		

Приложение 6

Масштаб 1:200
Дата выработки: 20.04.2018

Скважина: 8
Абсолютная отметка устья: 3.2м.

ТСЗ: 8
Абсолютная отметка устья: 3.2м.

