

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт наук о Земле
Кафедра грунтоведения и инженерной геологии

Лукина Екатерина Сергеевна
Выпускная квалификационная работа
Анализ инженерно-геологических условий строительства жилого дома в
Центральном районе г. Санкт-Петербурга

Направление 05.03.01 «Геология»
Основная образовательная программа бакалавриата СВ.5018.2017

Научный руководитель:
ст. преподаватель кафедры гидрогеологии,
канд. техн. наук
Страупник Игорь Альбертович

Рецензент:
канд. геол.-минерал. наук
Поспехов Георгий Борисович

Санкт-Петербург
2021

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Физико-географический очерк	4
1.1 География и геоморфология	4
1.2 Гидрография и гидрология	10
1.3 Климат	12
Глава 2. Общая геология	14
2.1 Стратиграфия	14
2.2 Тектоника	21
2.3 Гидрогеология	23
Глава 3. Геология участка работ	28
3.1 Инженерно-геологическое строение	28
3.2 Физико-механические характеристики инженерно-геологических элементов	28
3.3 Гидрогеологические условия	34
3.4 Специфические грунты	35
Глава 4. Расчет свайного фундамента	37
4.1 Расчет свайного фундамента по первому предельному состоянию (по несущей способности одиночной сваи)	42
4.2 Расчет свайного фундамента по второму предельному состоянию (по деформациям)	49
Заключение	57
Список использованной литературы	59

Введение

Целью этой работы является анализ инженерно-геологических условий строительства и взаимодействия фундамента с грунтовым основанием в Центральном районе города Санкт-Петербурга.

Задачи:

- выявление опасных инженерно-геологических процессов на исследуемой территории;
- анализ результатов бурения, лабораторных работ, статического зондирования и материалов ранее проведенных инженерно-геологических изысканий;
- расчет несущей способности грунтового основания.

Актуальность работы заключается в необходимости ознакомления застройщика с инженерно-геологическим отчетом для выполнения строительства объекта на исследуемом участке. Умение анализировать возможность строительства и прогнозировать изменения в ходе эксплуатации зданий и сооружений являются неотъемлемыми навыками, которыми должен обладать инженер-геолог. Кроме того, Центральный район является одним из самых интересных в плане изучения инженерно-геологической обстановки. Несмотря на то, что он имеет плотную застройку и новые постройки достаточно редки, множество техногенных факторов обуславливает высокую степень загрязнения грунтов, состояние которых должно мониториться во избежание разрушения построек. Также изучение Центрального района интересно тем, что здесь можно найти множество старинных зданий (согласно программе капитального ремонта от 31 января 2019, самый старый дом в Санкт-Петербурге, который находится по адресу ул. Социалистическая, д. 11, был построен в 1748 г.) и изучить их длительное воздействие на грунт.

Личный вклад автора состоит в обобщении имеющихся литературных данных об инженерно-геологической обстановке Санкт-Петербурга в целом и детальное рассмотрение отдельного участка строительства в Центральном районе.

Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий, на базе которого написана глава 3 и произведены все расчеты, был предоставлен ЗАО «ЛентиСИЗ».

Глава 1. Физико-географический очерк

1.1 География и геоморфология

Санкт-Петербург – второй по численности город Российской Федерации: на его территории по данным на 1 января 2020 года официально проживают 5 398 064 человек (Численность..., 2020). Расположен на северо-западе России и имеет статус города федерального значения, а также административного центра Северо-Западного Федерального округа. Географические координаты центра города: 59° 57' с.ш. и 30° 19' в.д. (что соответствует местонахождению Петропавловского собора).

Площадь города составляет 1439 км², из которых 650 км² приходятся на высокоплотную, почти сплошную застройку (Петербург..., 2015). Отличительной характеристикой территории является множество островов (рис. 1.1): в 1864 году их было 101, но в результате засыпки многие острова были объединены и их количество снизилось до 34 (31 в дельте Невы и 3 в Финском заливе). Общая площадь островов порядка 80 км². На данный момент самые крупные из них: искусственно образованный в результате откопки Обводного канала Безымянный остров (16.3 км²), моренный о. Котлин (16 км²) в Финском заливе, естественно образованный рукавами Невы и искусственно намывтый Васильевский остров (10.9 км²). Проекты по намыву западной части Васильевского острова появились еще в 1970-е годы за счет освоения территории восточной части Финского залива – Невской губы. С начала 2000-ых годов реализуется проект второго намыва, в результате которого остров уже увеличил свою площадь на 3.36 из запланированных 4.77 км² (Санкт-Петербург..., 2019). Остальные острова по площади не превышают 10 км².

Город по большей части представляет собой плоскую равнину, которая слабо наклонена в сторону Финского залива. В Кронштадте находится футшток с нулевой отметкой уровня моря Балтийской системы высот (средний уровень Балтийского моря у Кронштадта). Среднее значение высот над уровнем моря в Санкт-Петербурге колеблется в зависимости от района: в Центральном районе - 1-5 м, на севере - 5-30 м, на юге и юго-западе - 5-22 м (Петербург..., 2015). Самая высокая отметка на севере – Парголово (камовые возвышенности высотой до 50 м); на востоке – Колтушские высоты (группа камовых холмов до 78.3 м); на юге – Пулковские высоты (ледниковые наволочки напорной морены до 75.4 м) (Энциклопедия..., 2015). Наивысшая отметка находится в Красносельском районе – на территории памятника природы

регионального значения «Дудергофские высоты». Западная часть Дудергофских высот представляет собой два крупных холма, имеющих названия г. Воронья (северная) и г. Ореховая (южная) с абсолютными высотами 147 и 176 м соответственно. Образование таких несвойственных для региона возвышенностей (в радиусе 40 км образования, превышающие г. Ореховую, отсутствуют) связывают с выпором глин у края ледника из-под мертвого льда мощностью 230-250 м (Грейсер и др., 1980).



Рисунок 1.1. Самые крупные и известные острова в Санкт-Петербурге

В геоморфологическом отношении город относится к Восточно-Европейской равнине. Большая часть города находится в пределах Приморской (на западе) и Приневской (на востоке) низинам (рис. 1.2). Граница на юге проходит через Предглинтовую низменность, а в Красносельском районе пересекает Балтийско-Ладожский глинт и захватывает Ижорскую возвышенность (входящую в состав Ордовикского плато). С северо-запада он ограничивается Приморской равниной, а граница с севера на северо-восток проходит вдоль серии ледниковых и водно-ледниковых (камы и озы, чередующиеся с зандровыми равнинами) возвышенностей, ограниченных на востоке Ижорской возвышенностью.

Формирование рельефа происходило в четыре этапа:

1. Дочетвертичный этап рельефообразования.

В большинстве случаев является погребенным, частично погребенным или подвергшимся более молодыми геоморфологическим изменениям. Представлен куэстовым структурно-денудационным рельефом, погружающимся к юго-востоку. К этому этапу также относится период формирования рельефа Ордовикского плато.



Рисунок 1.2. Орографическая схема города и окрестностей (Геологический..., 2009)

Важная особенность дочетвертичного рельефа – наличие глубоких эрозионных врезов (палеодолин) с тальвегами на глубине до 130-140 м от поверхности. На территории Санкт-Петербурга имеется две крупные погребенные палеодолины субширотного простирания (рис. 1.3): одна пересекает город в Приморском, Выборгском и Калининском районах, вторая - в Василеостровском, Адмиралтейском и Центральном. Северная крупная палеодолина не была учтена при строительстве перегона между станциями метро Лесная и Площадь мужества, что в 1974 году привело к его размытию. Также палеодолины влияют на строительство во Фрунзенском, Невском и, в меньшей степени, в Колпинском и Кронштадтском районах;

2. Четвертичный этап рельефообразования.

Представлен характерным рельефом, который образовался в ходе трех эпох оледенения и двух межледниковий. Движение ледников привело к экзарации коренных пород, образуя впадины, которые в эпохи межледниковья заполнялись водой и образовывали озера с характерными лимногляциальными отложениями – ленточными глинами. Также широко встречаются моренные и флювиогляциальные формы рельефа: камы, озы, ледниковые наволоки, моренные и зандровые равнины с западинами.

3. Поздне- и послеледниковый этап рельефообразования.

Привел к образованию многочисленных террас на территории Приневской и Приморской низин, а также формированию Балтийско-Ладожского глинта. В рельефе

низин выделяются две крупные террасы (рис. 1.4), разделенные уступом, который из-за эрозионных и техногенных процессов в настоящее время трудно заметен.



Рисунок 1.3. Карта геологических рисков Санкт-Петербурга, обусловленных влиянием палеодолин (Геологические..., 2014)

Высокая терраса, на северо-западе осложненная камовыми грядами, формировалась 13-8 тыс. лет назад и представлена преимущественно озерно-ледниковыми абразионно-аккумулятивными террасами позднеледникового Балтийского ледникового озера (13-10 тыс. лет назад) и послеледниковыми Иольдивым морем и Анциловым озером (10-8 тыс. лет назад) (Свиточ, 2011). Около 7.5 тыс лет назад начинается опускание суши, вследствие чего через проливы хлынули воды Северного моря, превратив Анциловое озеро в Литориновое море. После этого Балтийское море претерпит еще одну стадию важную развития – Лимниевое море, отличающееся от Литоринового более ограниченным распространением и климатом. Предполагается, что примерно 7.5-7 тыс лет назад произошло формирование глинта, который являлся берегом древнего бассейна (Мохнач и др., 2007), но было ли это именно Литориновое или Лимниевое море до сих пор неизвестно. Эти два моря сформировали низкую террасу, которая прослеживается на западе Санкт-Петербурга. На севере города (близ Сестрорецка) формируются аккумулятивные формы рельефа – береговые валы, дюны, а также песчаные косы, которые, кроме севера, встречаются еще и на северо-востоке и в центральной части. В дальнейшем происходит опускание уровня моря, вследствие которого Балтийское море образует современную Миа стадию

(Свиточ, 2011), начинается широко распространенное формирование болот и главной реки города – Невы.

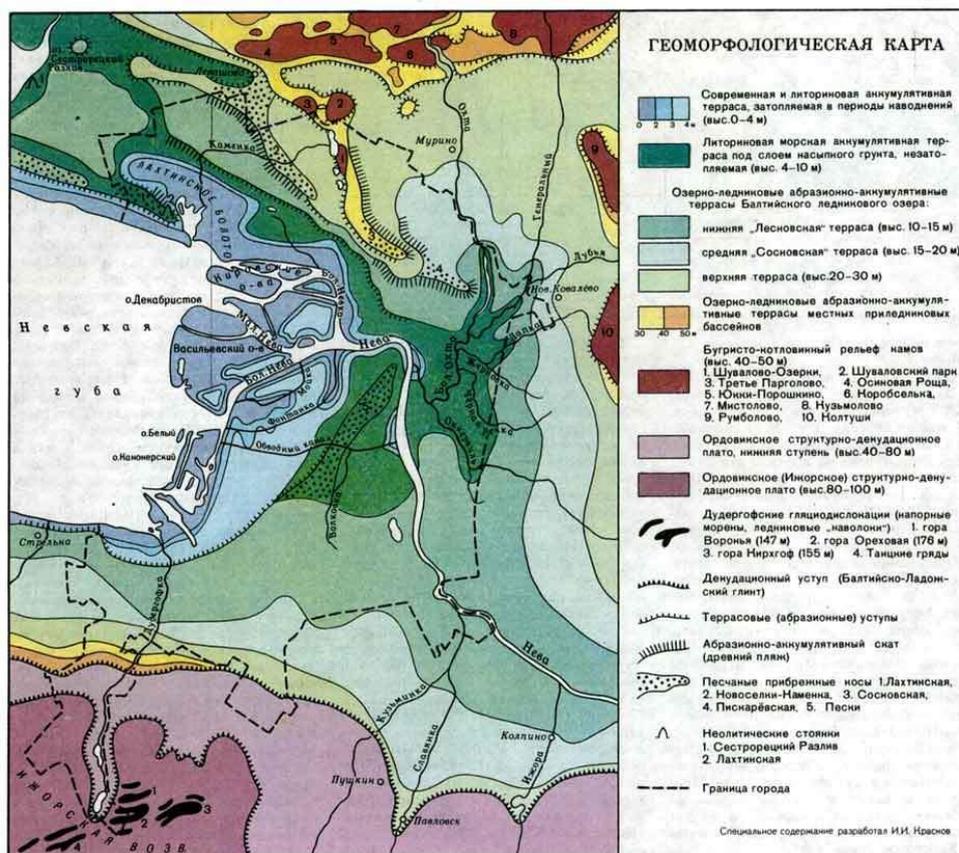


Рисунок 1.4. Геоморфологическая карта Санкт-Петербурга

(http://sankt_peterburg.academic.ru)

4. Современный этап рельефообразования.

В настоящее время главным рельефообразующим процессом является эрозионно-аккумулятивная деятельность рек. Карстовые формы рельефа могут развиваться в Пушкинском и Красносельском районах (рис. 1.5), которые захватывают территорию Ижорской возвышенности. Очевидно, что широко развиты антропогенные (техногенные) формы рельефа, связанные с активным использованием намывных и насыпных грунтов в строительстве. Аккумулятивно-фитогенный рельеф встречается преимущественно в незастроенных районах: северных и восточных пригородах.

Около 30% города занимают зеленые насаждения, большая часть которых находится в пригородах и городских лесах. До основания города ныне застроенная местность была покрыта хвойными лесами и болотами. На территории же современного Санкт-Петербурга встречаются более 5400 объектов растительного мира (из которых 254 занесены в Красную книгу Санкт-Петербурга), около 260 видов птиц (из которых 211 приходятся на особо охраняемые территории, а 71 – краснокнижные), а также 42 видов млекопитающих (в Красной книге – 17). Общая площадь

природно-заповедного фонда, в который входят 15 особо охраняемых территорий регионального значения – 6142.7 га (4.3 % города), большая часть которых находится в Курортном и Приморском районах (Красная..., 2018).



Рисунок 1.5. Карта проявления процесса карстообразования (Геологические..., 2014)

Непосредственно участок строительства расположен в г. Санкт-Петербург по адресу ул. Боровая, д. 19 (рис. 1.6). В геоморфологическом отношении участок изысканий относится к низкой литориновой террасе Приморской низины. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 5.98 до 7.05 м (по устьям пройденных выработок).

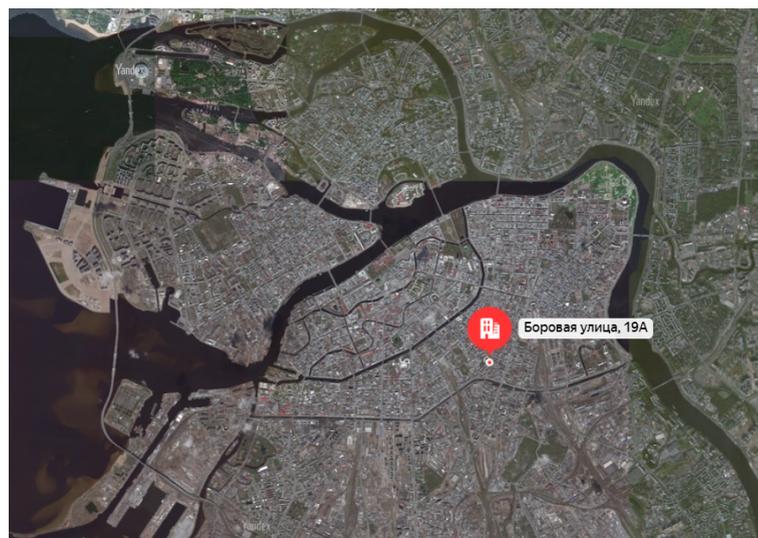


Рисунок 1.6. Местоположение участка работ

1.2 Гидрография и гидрология

Основным водным объектом Санкт-Петербурга является р. Нева, исток которой находится в Ладожском озере, а устье – в Невской губе. Длина реки – 74 км, из которых 32 км приходится на территорию Санкт-Петербурга. Ширина реки от 340 до 650 м (до 1250 у Морского торгового порта). Глубина, в основном, 8-11 м (до 26 у Литейного моста). В приустьевой части река разветвляется на 9 основных рукавов (рис. 1.7) и образует дельту площадью 50 км². Правые рукава: Большая, Средняя, Малая Невки и Малая Нева. Левые рукава: Большая Нева, река Мойка, канал Грибоедова, река Фонтанка, Обводный канал.

Всего же на территории города насчитывается до 86 рек и искусственных каналов общей протяженностью 282 км. Из них самые крупные притоки Невы: Охта и Черная – правые, Ижора – левый. Впадающие непосредственно в Финский залив: в северной части города это реки преимущественно снежно-дождевого и болотного питания (например, Сестра, Каменка и Рошинка), а в южной части они связаны с карстовыми водами и родниками из напорных горизонтов палеозойских пород (Стрелка, Караста, Дудергофка, Пулковка) (Геологический..., 2009).

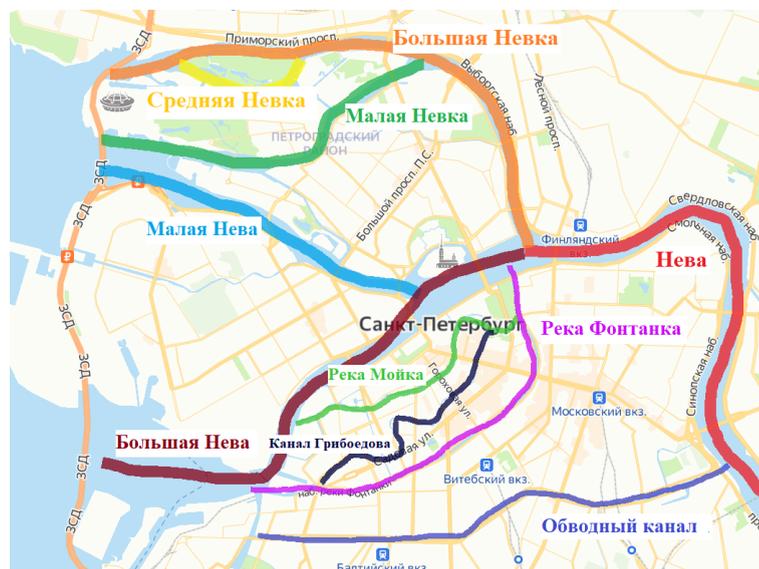


Рисунок 1.7. Рукава Невы

Вдоль западной границы город ограничен Финским заливом, протяженность берегов которого составляет 190 км. Длина от полуострова Ханко (Финляндия) до Санкт-Петербурга примерно 400 км, ширина от 70 (у выхода из залива) до 130 км. В восточной части Финский залив через комплекс защитных сооружений (КЗС) переходит

в Невскую губу длиной 21 км и шириной до 15 км. Глубина в пределах города – 2.5-6.0 м (до 1 м в береговой полосе). Из-за множества впадающих рек имеет пониженную соленость – не выше 2‰. Из-за влияния западных циклонов уровень воды в заливе непостоянен: за год в среднем 70-80 раз он увеличивается на 40 см относительно Балтийского моря, а 50-60 раз – уменьшается на ту же величину (Геологические..., 2014).

На территории Петербурга имеются многочисленные озера как естественного, так и техногенного происхождения, а также искусственные водоемы. Естественные озера, как правило, ледникового происхождения и заполняют понижения между возвышенностями: например, Суздальские озера заполняют понижения между камами, а Дудергофское – между моренными холмами.

Наличие водных объектов приводит к постоянным угрозам затопления, которым наиболее подвержены острова и территории, прилегающие непосредственно к Финскому заливу, а также левобережье Невы (рис. 1.8). Высота подъема уровня воды отсчитывается или от Кронштадтского футштока, или от ординара Невы (ноль соответствует среднему уровню воды в Неве у Горного института), разница между которыми составляет 11 см (ординар выше футштока). Основной причиной повышения уровня воды является юго-западные и западные ветры, которые нагоняют воду в Финский залив. Непосредственно наводнением считается подъем уровня воды на 160 см от нулевого уровня футштока (или на 149 см от ординара). Наводнения при повышении уровня до 210 см называются опасными, до 299 см – особо опасными, свыше 300 см – катастрофическими. На территории Санкт-Петербурга известно не менее 309 наводнений, самое первое из которых зарегистрировано до основания города и датируется 1691 годом, когда вода покрывала центральную часть современного города на высоту 7.62 м. Первое наводнение непосредственно Санкт-Петербурга произошло спустя 3 месяца после его основания – в ночь с 19 на 20 августа 1703 года. Последнее – 27 декабря 2011 года. Самым катастрофичным является наводнение 7 (19) ноября 1824 года, когда уровень воды поднялся на 421 см выше ординара. Также интересно, что по сравнению с XIX-XX веками количество особо опасных наводнений за промежуток с 1979 по 2008 годы увеличилась более чем на 30% (Геологические..., 2014).

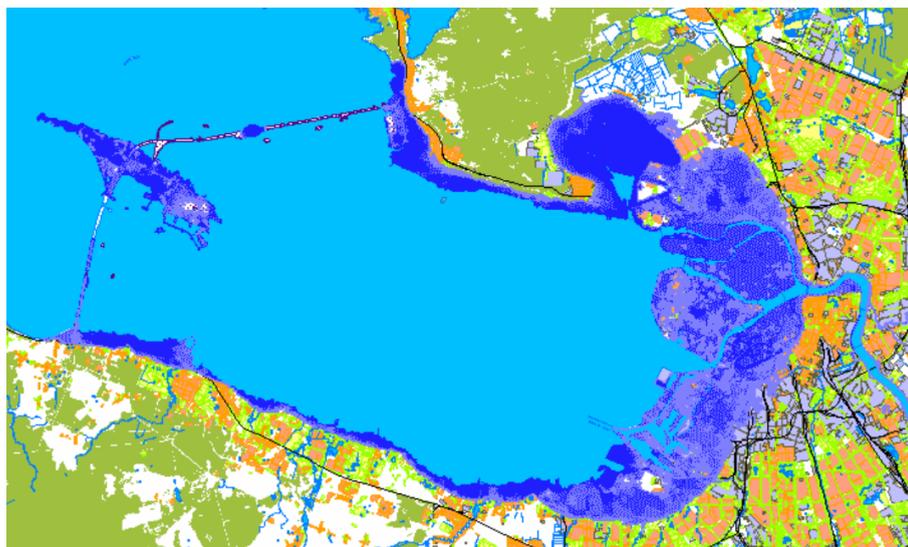


Рисунок 1.8. Темно-синим выделены территории, которые окажутся затоплены при повышении уровня воды в Неве на 4 метра (данные без учета комплекса защитных сооружений от наводнений, постройка которых закончилась в 2011 г.) (Теоретические..., 2000)

1.3 Климат

Город относится к зоне взаимодействия воздушных масс Атлантического океана (Финского залива) и внутренних водоемов (Ладожского озера), что обуславливает переходный от континентального к морскому климату. Частые вхождения арктического воздуха, активная циклоническая деятельность и, как следствие, частые смены воздушных масс, обуславливают непостоянство Санкт-Петербургской погоды. Отличительные черты: высокая относительная влажность, ветреная погода, высокая облачность и небольшое количество ясных дней – в среднем 60 дней в год, у которых продолжительность солнечной активности составляет 10.1 часа в июньские дни и 2 часа в декабрьские (Геологические..., 2014).

Климат четырехсезонный, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым влажным летом. По данным сайта WeatherOnline самый холодный месяц за последние 10 лет – январь со средней температурой -5.6°C , самый теплый – июль с $+19.7^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура $+7.0^{\circ}\text{C}$.

В последние годы среднегодовая температура и количество аномально жарких дней имеет тенденцию к увеличению, а продолжительность зимнего сезона и количество аномально холодных дней с температурой ниже -15°C – к уменьшению. В среднем температура зимой повысилась на 3.5°C , а летом – на 1.5°C , что объясняется увеличением парникового эффекта от выбросов водяного пара. Центром такого локального увеличения температуры под влиянием городской деятельности (так называемый «городской остров тепла»), вероятно, являются Центральный и Адмиралтейский район (Геологические..., 2014).

Относительная влажность воздуха в течение года меняется от 60-70% в теплые месяцы до 83-88% в холодные месяцы. В среднем 140-155 дней в году относительная влажность превышает 80% (Геологические..., 2014). По данным сайта WeatherOnline среднегодовая сумма осадков за последние 10 лет (январь 2010 – апрель 2021) составляет 676.4 мм при годовой величине испаряемости 300 мм. За теплый период (апрель-октябрь) выпало 65% общего количества осадков. Количество осадков зависит от района: на севере города их больше, чем в центральном и восточных районах, а в устье Невы и на побережье Финского залива – меньше. Значительная часть осадков приходится на декабрь и январь, когда выпадает больше всего снега, лежащего примерно 120 дней в городе и 130 дней в пригородах.

В осенне-зимний период (сентябрь-март) преобладают ветра южного и юго-западного направлений, в весенне-летний период (апрель-август) – западного. Среднегодовая скорость ветра составляет 2.2 м/с.

Глава 2. Общая геология

2.1 Стратиграфия

Территория Санкт-Петербурга и Ленинградской области относится к Восточно-Европейской платформе, которая имеет характерное двухэтажное строение. Нижний структурный этаж представлен карельским (более 1650 млн лет) складчатым кристаллическим фундаментом, который выступает немного севернее от Санкт-Петербурга в качестве Балтийского щита. Верхний структурный этаж представлен венд-фанерозойскими осадочными отложениями.

В пределах города большая часть покрыта четвертичными отложениями, которые перекрывают породы вендской системы (рис. 2.1). На юге четвертичными отложениями перекрыты породы кембрийской системы и только в отдельных районах (например, в Красносельском и Пушкинском, которые захватывают территорию Ижорской возвышенности) можно увидеть породы ордовикской и девонской систем. Мощность четвертичных отложений зависит от палеорельефа и составляет в среднем от 20-30 м до 130-140 м в палеодолинах.

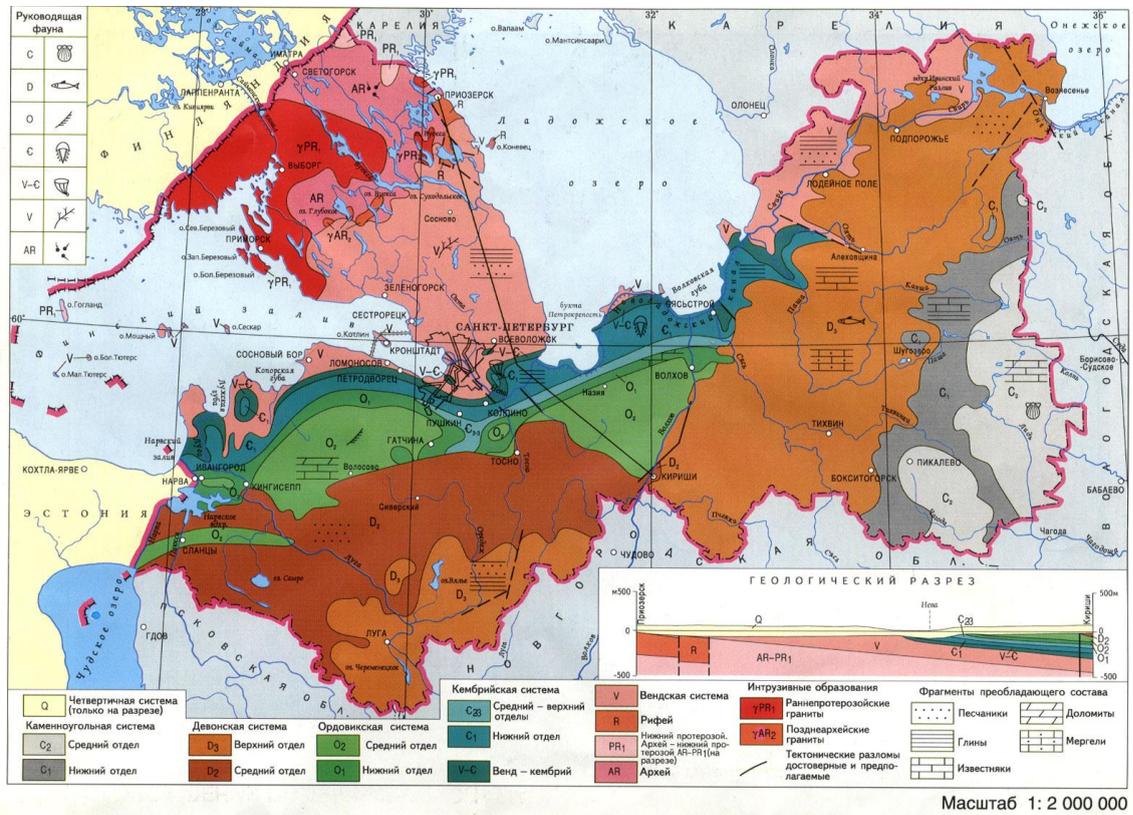


Рисунок 2.1. Геологическая карта Ленинградской области (<http://hge.spbu.ru/>)

Архей-протерозойская акротема AR-PR

Протерозойская акротема включает в себя только нижнепротерозойскую эонотему.

Представлен метаморфическими и интрузивными комплексами: мигматизированными гнейсами и гранитами, а также гранодиоритами, диоритами и другими метаморфическими и магматическими породами. Почти повсеместно они подвергались значительному выветриванию: кровля фундамента сильно разрушена и каолинизирована. В пределах Санкт-Петербурга фундамент залегает на глубинах 180-240 м (Дашко и др., 2011). К югу и юго-западу наблюдается пологое погружение фундамента и разница в абсолютных отметках кровли может составлять 200 м. Вскрытая мощность пород 10-18 м (Селиванов и др., 1963).

На породах кристаллического фундамента несогласно залегают породы вендской системы.

Протерозойская акротема PR

Верхнепротерозойская эонотема PR₂

Вендская система V

Вендская система представлена только верхним отделом.

Верхний отдел включает в себя два горизонта: редкинский и котлинский.

Редкинский горизонт, выделенный в старорусскую свиту (V_{2st}), представлена трансгрессивной последовательностью умеренно глубоководных морских отложений: у основания наблюдается чередование мелкогалечниковых конгломератов с грубозернистыми полевошпат-кварцевыми песчаниками, которые вверх по разрезу переходят в средне-мелкозернистыми, а в кровле сменяются гидрослюдистыми и монтмориллонитовыми глинами с прослоями алевро-песчаников (Вербицкий и др., 2012; Подковыров и др., 2020). Мощность старорусской свиты от 28-29 м в центре Санкт-Петербурга и до 40-45 м на юго-востоке (Подковыров и др., 2020).

На породах редкинского горизонта несогласно залегают породы котлинского горизонта.

Котлинский горизонт включает в себя две свиты: василеостровскую (V_{2vo}) (непосредственно в Санкт-Петербурге) и воронковскую (V_{2vr}) (встречается только на западе Ленинградской области).

Василеостровская свита делится на нижнюю подсвиту, представленную чередованием алевролитов и песчаников с тонкими прослоями глин (15-30 м), и верхнюю подсвиту, представленную глинистыми песчаниками у основания (5 м), переходящими в плотную тонкослоистую алеврито-глинистую толщу (так называемые

«ляминаритовые» глины) с линзами и прослоями сидерита (не менее 30 м) (Вербицкий и др., 2012; Подковыров и др., 2020). Общая мощность василеостровской свиты увеличивается с северо-запада на юго-восток, где может достигать 150 м (Подковыров и др., 2020).

На породах вендской системы несогласно залегают породы кембрийской системы.

Фанерозойская эонотема

Палеозойская эратема PZ

Кембрийская система Є

Кембрийская система представлена всеми тремя отделами: нижним, средним и верхним.

Нижний отдел состоит из отложений лонтовасского горизонта томмотского яруса (Федоров, 2019).

Лонтовасский горизонт включает в себя две свиты: ломоносовскую ($Є_1lm$) и сиверскую ($Є_1sv$).

Ломоносовская свита выходит на поверхность в южных районах города и представлена у основания мелкозернистыми полевошпат-кварцевыми песчаниками, вверх по разрезу переходящими в чередование алевролитов и песчано-алевритовых глин. Мощность ломоносовской свиты увеличивается с северо-запада на юго-восток, где достигает 12 м (Вербицкий и др., 2012; Геологический..., 2009; Подковыров и др., 2020).

На породах ломоносовской свиты согласно залегают сиверская свита.

Сиверская свита представлена голубовато-серыми неравномернослоистыми алевритистыми, гидрослюдистыми (реже монтмориллонитовыми) глинами (более известный как «горизонт синих глин») с включениями пирита. Мощность сиверской свиты 115-120 м.

На породах лонтовасского горизонта несогласно залегают породы среднего отдела.

Средний отдел состоит из отложений луковского горизонта майского яруса (Федоров, 2019).

Луковский горизонт включает в себя саблинскую свиту ($Є_2sb$), представленную косослоистыми разномелкозернистыми (преимущественно средне-мелкозернистыми) кварцевыми (реже полевошпат-кварцевыми) песчаниками с прослоями глин, алевролитов и квартицовидных песчаников. Мощность саблинской свиты – 10-15 м.

На породах луковского горизонта несогласно залегают породы верхнего отдела.

Верхний отдел состоит из отложений ладожского горизонта батырбайского яруса (Федоров, 2019).

Ладожский горизонт включается в себя ладожскую свиту (C_3ld), представленную косослоистыми средне-мелкозернистыми кварцевыми песчаниками с частыми прослоями зеленовато-серых глин. Ладожская свита не выдержана по простиранию и в пределах города имеет незначительную мощность.

На породах кембрийской системы несогласно залегают породы ордовикской системы.

Ордовикская система О

Ордовикская система представлена только двумя отделами: нижним и средним.

Нижний отдел состоит из отложений пакерортского горизонта тремадокского яруса (Бискэ, 2019), латорпского горизонта флоского яруса, а также частично волховского горизонта дапинского яруса (Федоров, 2019).

Пакерортский горизонт включает в себя тосненскую (O_1ts) и копорскую (O_1kp) свиты.

Тосненская свита представлена палевыми косослоистыми среднезернистыми фосфорито-кварцевыми песчаниками с множеством органо-фосфатных обломков раковин брахиопод семейства оболита. Копорская свита представлена черными сланцеватыми битуминозными аргиллитами и алевролитами (так называемый «комплекс диктионемовых сланцев»). Мощность горизонта увеличивается в южном направлении, где достигает 12 м.

На породах пакерортского горизонта несогласно залегают породы латорпского горизонта.

Латорпский горизонт включает в себя лезтсескую свиту (O_1lt), представленную светло-зелеными мелкозернистыми глауконит-кварцевыми песчаниками с прослоями глауконитовых глин и мергелей.

На породах латорпского горизонта согласно залегают породы волховского горизонта.

Волховский горизонт является переходным между нижним и средним отделами ордовикской системы и включает в себя волховскую свиту (O_{1-2vl}), представленную пестрыми (промышленное название – «дикари»), желтыми («желтяки») и светло-серыми («фризы») толщами доломитизированных глауконитовых известняков с прослоями серых глин. Общая мощность латорпского и волховского горизонтов – до 8 м.

На породах волховского горизонта несогласно залегают породы кундакского горизонта дарривильского яруса (Федоров, 2019).

Кундакский горизонт включает в себя силлаорусскую (O_2sl) и обуховскую (O_2ob) свиты.

Силлаорусская свита (более известная как «нижний чечевичный горизонт») представлена серыми мергелями, глинистыми известняками с железистыми оолитами и прослоями серых глин. Обуховская свита представлена голубовато-серыми глинистыми («ортоцеративными») известняками с множеством крупных обломков и целых раковин наутилоидей рода ортоцерас. Общая мощность кундакского горизонта составляет 20 м.

На породах ордовикской системы несогласно залегают породы девонской системы.

Девонская система D

Девонская система представлена только средним отделом.

Средний отдел состоит из отложений мосоловского и клинцовского горизонтов эйфельского яруса (Федоров, 2019).

Мосоловский и клинцовский горизонты включают в себя наровскую свиту (D_2nr), представленную доломитовыми мергелями, известняками и карбонатными глинами. Мощность свиты – до 1-2 м (Геологический..., 2009).

На породах палеозойской эратемы несогласно залегают породы кайнозойской системы.

Кайнозойская эратема KZ

Четвертичная система Q

Плейстоценовый отдел P

Плейстоценовый отдел на территории Санкт-Петербурга включает только неоплейстоцен, а именно его средний и верхний звенья. Представлен тремя эпохами оледенения и двумя эпохами межледниковья. Межледниковые и межстадиальные отложения имеют различный литологический состав, размерность и генезис: аллювиальный, озерный, маринный, лимногляциальный и флювиогляциальный. Имеет более широкое распространение в углублениях палеодолин, так как на равнинах такие отложения подвергаются экзарации более молодыми ледниками. Ледниковые отложения представляют собой мощную толщу плотных моренных отложений.

Вологодский горизонт

Вологодская (днепровская) морена gPvI

Представлена, в основном, валунными суглинками, реже – плотными супесями и пылеватыми глинами. Распространена локально (в тальвегах глубоких палеодолин) и

имеет незначительную мощность до первых десятков метров. Максимальная вскрытая мощность – 70 м (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Московский горизонт

Московская морена gIIms

Представлена плотными суглинками и супесями с редкими включениями валунов и крупных обломков. В отличие от вологодской, распространена за пределами палеодолин с глубины 10 м. Чаще всего встречается в центральных и северо-восточных районах и имеет мощность от метров до первых десятков метров. Максимальная вскрытая мощность – 60 м (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Осташковский горизонт

Осташковская (лужская) морена gIIos

С севера на юг сменяются с супесей на суглинки и глины. Наиболее распространенная морена, встречающаяся повсеместно. Первое от поверхности надежное основание. Залегает с глубины 5-10 м. Мощность от первых десятков метров на северо-западе и увеличивается к югу, где выходит на поверхность и на г. Воронья (Дудергофские высоты) достигает 88 м (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Осташковский (лужский) гляциолимний lgIIos и флювиогляциал fIIos

Представлены мелкозернистыми песками, суглинками и супесями. Распространены, в основном, на севере и востоке Санкт-Петербурга, где слагают озово-камовый рельеф. Мощность – 0.5-14.0 м (Геологический..., 2009).

Отложения Балтийского ледникового озера

Балтийский гляциолимний lgIIIbI

Представлен суглинками и глинами (местами присутствуют характерные озерно-ледниковые отложения: ленточные глины), реже – тонкие и пылеватые пески. При мощности более 7 м имеют трехслойное строение. Нижний слой – пылеватые ленточноподобные глины, которые легко размокают и размываются. Средний слой – ленточные глины с тиксотропными свойствами. Верхний слой – неяснослоистые супеси. Вся толща характеризуется низкой прочностью и склонностью к морозному пучению и образованию пlyingунов. Мощность – 1-20 м (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Голоценовый отдел Н

Самые распространенные на территории Санкт-Петербурга современные образования, залегающие на поверхности (рис. 2.2) – это отложения послеледниковых стадий Балтийского моря: Иольдиевого моря, Литоринового моря, Анцилового озера и Лимниевского моря. Чаще всего они не выделяются в отдельные слои и рассматриваются

как единая толща *озерно-морских песчано-глинистых отложений* (*m,IV* или *m,IIH*). Они представлены песками, супесями, суглинками и, реже, глинами. Важной характеристикой этих отложений является значительное содержание органики: гуммузированных слоев, гиттии, погребенных торфяников и прослоев торфа. Суммарная мощность озерно-морских отложений – 3-5 м до 20 м (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

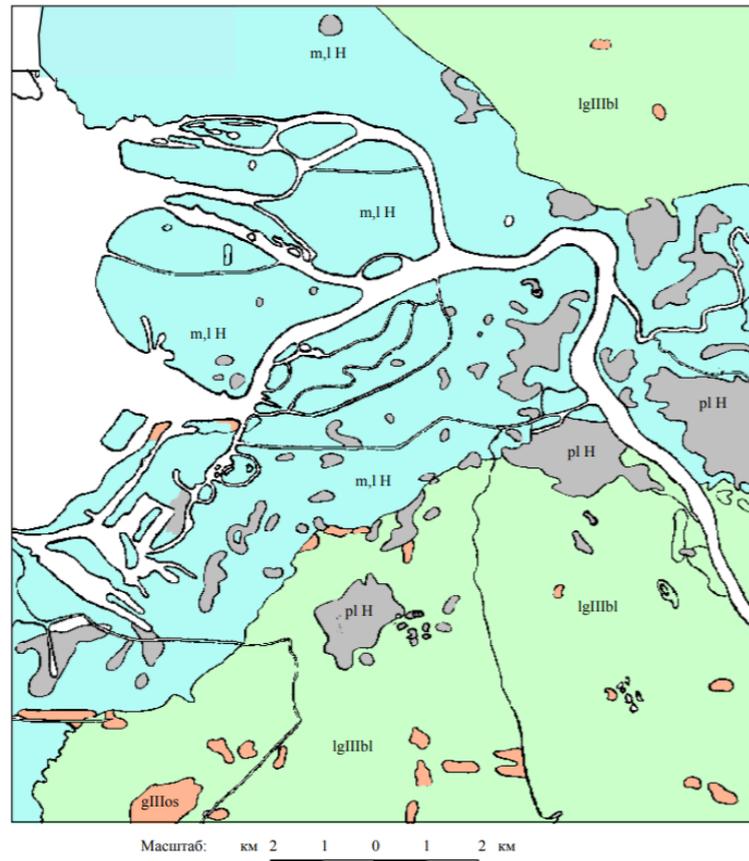


Рисунок 2.2. Схематическая карта четвертичных отложений Санкт-Петербурга (Дашко и др., 2011)

Озерные отложения (*IV* или *IIH*) распространены в современных озерах и представлены песками, глинами и илами. Мощность – до 3 м (Геологический..., 2009).

Аллювиальные отложения (*aIV* или *aH*) имеют ограниченное распространение и представлены, в основном, русловой группой фаций аллювия и только у берегов Невы можно наблюдать пойменные фации. Как и любой аллювий, имеет различный по размерам обломков материал: от гальки до глинистых частиц. Мощность не превышает 2-3 м (Геологический..., 2009).

Биогенные отложения (*pIV* или *pIIH*) сейчас имеют распространение только на территории незастроенных окраин города, в черте города они либо снимались, либо засыпались или замывались в процессе стройки. Мощность – 0.5-8.0 м, но их

негативное влияние распространяется на глубины 30-50 м (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Эоловые отложения (vIV или vH) имеют локальное распространение на северо-западе города, где они образуют дюны с однородными мелкозернистыми песками. Высота таких дюн может достигать 10-15 м (Геологический..., 2009).

Техногенные отложения (tIV или tH) встречаются повсеместно и представлены преимущественно насыпными и намывными грунтами, а также различными строительным мусором, свалками и дорожными насыпями. Мощность может достигать до 7-8 м (Геологический..., 2009).

2.2 Тектоника

Рассматриваемая территория является относительно тектонически спокойной (согласно СП 14.14330.2018, сейсмическая активность в пределах Санкт-Петербурга составляет менее 6 баллов), однако по данным геолого-разведочных, геофизических и геохимических исследований фундамент (а также нижняя часть чехла) пронизан сетью достаточно крупных региональных разломов и мелких локальных разрывных нарушений (рис. 2.3). Это система дизъюнктивов, которая формировалась на протяжении всей геологической истории, в большей степени во время фанерозойских эпох тектонической активизации. В течение всего времени они двигались относительно друг друга с разной амплитудой (на севере амплитуда смещения кристаллического фундамента и вендского комплекса может достигать до 40 м) и скоростью.

Новейшие же тектонические движения в большей степени обусловлены тремя факторами: гляциоизостатическими поднятиями, неотектоническим поднятием Балтийского щита и опусканием вследствие техногенеза.

Гляциоизостатические поднятия связаны со снятием нагрузки после таяния ледников. Со временем поднятия уменьшают свою интенсивность и к настоящему времени происходят со скоростью примерно 0.5-1.5 мм/год (увеличивается с юго-востока на северо-запад).

На сопряженном с территорией Санкт-Петербурга Балтийским щитом гляциоизостазия также оказала влияние на воздымание территории, но в дальнейшем

было отмечено, что интенсивность поднятия не только не уменьшается, но и увеличивается, что связано с неотектоническими движениями.

Современные крупные объекты строительства: активная застройка многоэтажными зданиями, постройка Лахта-центра весом 493 000 тонн, возведение гидротехнических сооружений, а также интенсивная откачка воды из водоносных горизонтов и др., – все это приводит к образованию локальных опусканий территорий под весом возводимых конструкций, которые имеют скорость до 1.5-2.5 мм/год (Геологический..., 2009).

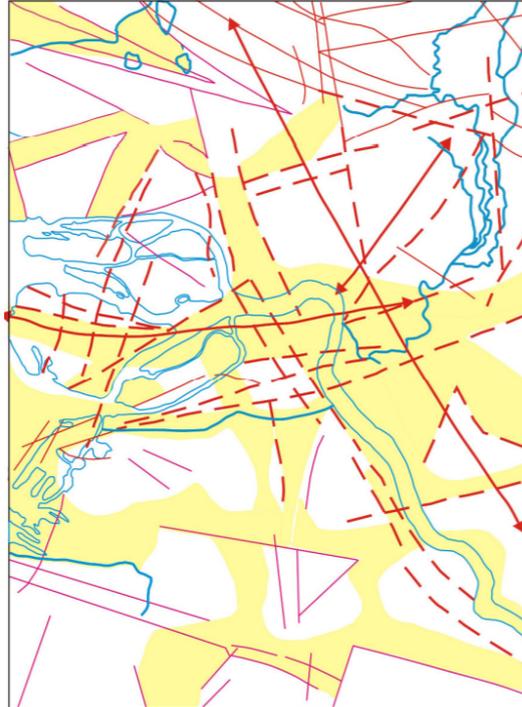


Рисунок 2.3. Структурно-тектоническая схема Санкт-Петербурга (Дашко и др., 2011)

Таким образом, новейшие тектонические движения в пределах города (рис. 2.4) характеризуются значительной неравномерностью, а также существенным влиянием на условия строительства и эксплуатации. Например, в зонах тектонических разломов в толще верхнекотлинских глин наблюдается значительное снижение прочности на сжатие, незакономерность и неравномерность деформационной способности, а также увеличение водопроницаемости (верхнекотлинские глины считаются водоупором, но наличие трещиноватости увеличивает коэффициент фильтрации на 2-3 порядка – до 10^{-1} - 10^{-2} м/сут) и, как следствие, подтопление водами нижележащего напорного горизонта (Дашко и др., 2011). Это важно учитывать, так как котлинские отложения часто рассматриваются как надежное основание и в них проложена значительная часть станций метрополитена.

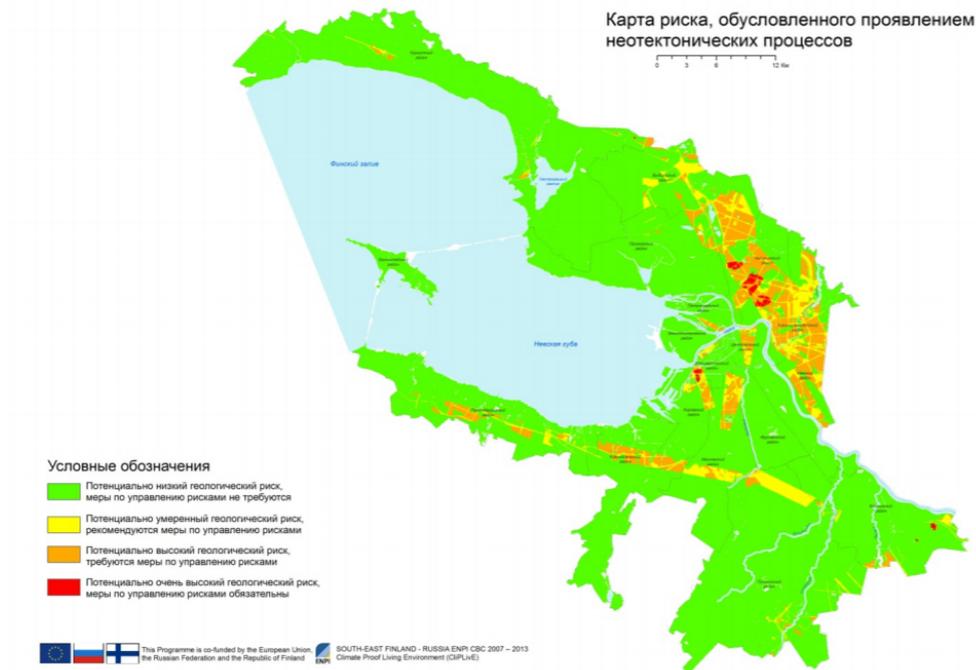


Рисунок 2.4. Карта риска, обусловленного проявлением неотектонических процессов (Геологические..., 2014)

2.3 Гидрогеология

Гидрогеологический разрез характеризуется вертикальной зональностью по степени минерализации: в среднем до 100-200 м незагрязненные воды преимущественно пресные с минерализацией 0.2-0.3 г/дм³ (встречаются разности до 300 м в зоне хорошо проницаемых пород на юго-западе и до 0-50 м в Предглинтовой и Приневском низменностях), а ниже минерализация может достигать 8.4 г/дм³, что соответствует соленым водам. Пресные воды характеризуются гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом, который ниже сменяется на хлоридный натриевый (Виноград и др., 2019).

Четвертичные водоносные горизонты

Водоносные горизонты поздне- и послеледниковых отложений

Техногенно-морской слабоводоносный горизонт приурочен к насыпным и намывным грунтам мощностью до 12 м. Воды безнапорные. Глубина залегания вод – менее 2 м. Воды сильно загрязнены и в пределах города имеют различных состав: от

сульфатно-гидрокарбонатных на севере и юге до сульфатных и хлоридных с высоким содержанием нитратов в центральной части (Геологический..., 2009). Минерализация – более 1 г/дм³, в отдельных особо загрязненных местах достигает 3-5 г/дм³ (Дашко и др., 2011).

Болотный водоносный горизонт приурочен к биогенным отложениям мощностью 3-5 м. Воды безнапорные. Глубина залегания вод – 0.2-1.0 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – натриево- и магниевое-кальциевые. Минерализация – 0.2-0.3 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Аллювиально-озерный водоносный горизонт приурочен к пескам и супесям аллювия и лимния мощностью 0.5-7.0 м. Воды безнапорные. Глубина залегания вод – 0.5-1.0 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – смешанные. Минерализация – 0.1-0.5 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Озерно-морской водоносный горизонт приурочен к пескам и супесям с прослоями суглинков у побережья Финского залива мощностью 2-15 м. Воды безнапорные. Глубина залегания вод – 0-5 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные и хлоридно-карбонатные, по катионному – смешанные. Минерализация – 0.2-0.3 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Водоносные горизонты межледниковых отложений

Осташковский лимногляциальный надморенный слабоводоносный локально водоупорный горизонт приурочен к ленточным глинам с прослоями песка и супеси мощностью 0.8-15.0 м. Воды безнапорные, местами имеют небольшой напор. Глубина залегания вод – 0.2-6.0 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные, по катионному – магниевое-кальциевые. Минерализация – 0.2-0.3 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Осташковский лимногляциальный надморенный слабоводоносные горизонт приурочен к чередованию тонкозернистых песков, супесей и суглинков мощностью 2-25 м. Воды безнапорные, местами имеют небольшой напор. Глубина залегания вод – до 2 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатные, по катионному – смешанные. Минерализация – 0.1-0.9 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Осташковский флювиогляциальный надморенный водоносный горизонт приурочен к разнозернистым пескам мощностью 1-30 м. Воды безнапорные. Глубина залегания вод – 0.3-8.0 м. По анионному составу воды хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатные, по катионному – натриевые и кальциевое-натриевые. Минерализация – 0.1-0.2 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Осташковский флювиогляциальный надморенный камовый водоносный горизонт приурочен к камам, сложенным тонко- и крупнозернистыми песками с включениями гравия и гальки мощностью 0.5-14.0 м. Воды безнапорные. Глубина залегания вод – 0.1-45.0 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – магниево-кальциевые. Минерализация – 0.1-0.5 г/дм³ (Геологический..., 2009).

Отложения осташковской морены являются относительно водоупорными, но на его отдельных участках он размыт межледниковыми водами, вследствие чего образуются “гидрогеологические окна”, где могут смешиваться межморенные и грунтовые загрязненные воды. Наличие таких окон (а также техногенные факторы, в частности связанные с неправильным тампониowaniem скважин) в верхней части разреза создает опасность подтопления (рис. 2.5). Кроме того, толща вмещает напорные воды, приуроченные к линзам песков и создающие угрозу прорыва при выработке (Дашко и др., 2011).

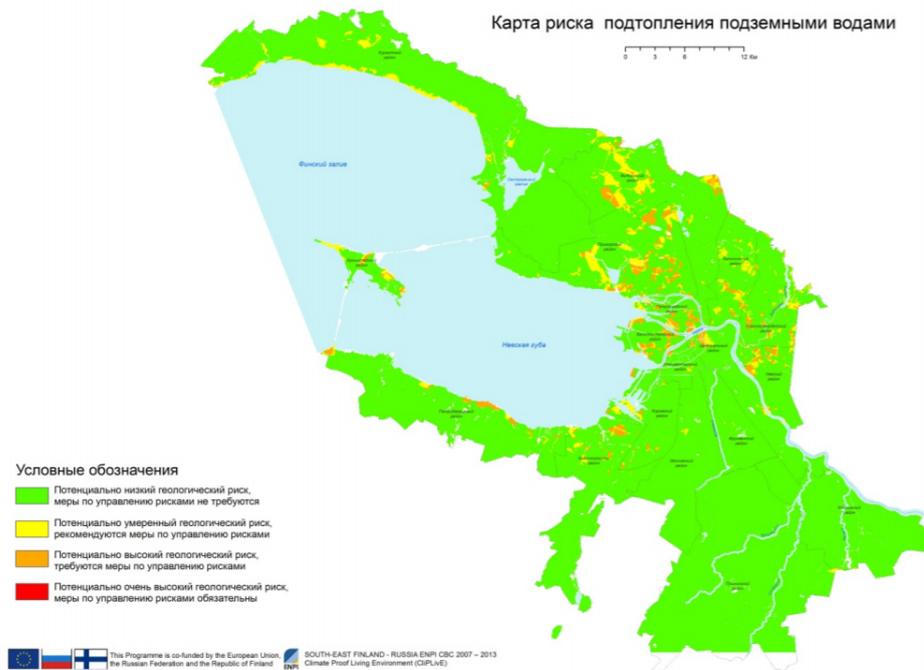


Рисунок 2.5. Карта риска подтопления подземными водами (Геологические..., 2014)

Верхний (московско-осташковский) межморенный водоносный локально водоупорный горизонт приурочен к различным по размерам обломкам породам: от пылеватых песков до гравийно-валунных, – максимальной мощностью до 40 м. Воды напорные с величиной напора 1-40 м, который обычно не превышает 20 м. Глубина залегания кровли горизонта – 5-40 м. Пьезометрический уровень на глубине от 2-5 м и до 25-30 на возвышенностях. По анионному составу воды гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные, по катионному – магниево-кальциевые или натриевые.

Минерализация – 0.11-0.85 г/дм³. Часто с высоким содержанием двухвалентного железа до 3-9 мг/дм³. Распространен на севере и северо-востоке города (Виноград и др., 2019; Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Отложения московской морены являются относительно водоупорными также содержит участки размыва и прослои и линзы песков.

Нижний (вологодско-московский) межморенный водоносный горизонт приурочен к палеодолинам, сложенным песками с включениями гравия, гальки, реже валунов, мощностью до 30-70 м. Воды высоконапорные с величиной напора 20-80 м. Глубина залегания кровли горизонта – 40-60 м до 80-100 м. Пьезометрический уровень на глубине от 5-10 м и до 0.5-3.0 м в понижениях рельефа. По анионному составу воды гидрокарбонатные, хлоридно- и сульфатно-гидрокарбонатные, по катионному – магниевые-кальциевые. Минерализация – 0.08-0.70 мг/дм³. Распространен на севере и юго-востоке (Виноград и др., 2019; Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Отложения вологодской морены подстилают нижний межморенный водоносный горизонт и являются водоупорными.

Дочетвертичные водоносные горизонты

Наровский слабоводоносный горизонт приурочен к слаботрещинноватым мергелям, доломитам и известнякам с прослоями глин мощностью 5-8 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – магниевые-кальциевые. Минерализация – 0.27-0.70 г/дм³. На большей части Ленинградской области считается водоупором, разделяющим водоносные горизонты. В пределах Санкт-Петербурга горизонт ограниченно распространен на юге и перекрыт четвертичными отложениями, а потому может рассматриваться как слабоводоносный (Виноград и др., 2019; Геологический..., 2009).

Ордовикский водоносный горизонт приурочен к трещиноватым и закарстованным известнякам и доломитам мощностью 20-35 м. Воды преимущественно безнапорные, либо с локальным слабым напором. Глубина залегания кровли горизонта – 2-25 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – кальциевые-магниевые и магниевые-кальциевые. Воды жесткие и умеренно-жесткие. Минерализация – 0.3-0.5 г/дм³. Распространен на юге города (Виноград и др., 2019; Геологический..., 2009).

Отложения копорской и леэтсеской свит подстилают ордовикский водоносный горизонт и являются водоупорными.

Кембро-ордовикский водоносный горизонт приурочен к пескам и песчаникам мощностью 10-15 м. Воды напорные и высоконапорные с величиной напора 3-20 м (на юге Ленинградской области достигает 340 м), также близ границы

Балтийско-Ладожского уступа присутствуют слабонапорные и безнапорные. Под четвертичными отложениями глубина залегания кровли горизонта – 1-10 м. По анионному составу воды гидрокарбонатные, хлоридно- и сульфатно-гидрокарбонатные, по катионному – магниевые-кальциевые. Минерализация – 0.46-1.00 г/дм³. Содержание брома, бария и марганца немного выше нормы, а также радона, обусловленного диктионемовыми сланцами в кровле (Виноград и др., 2019; Геологический..., 2009).

Отложения ломоносовского горизонта подстилают кембро-ордовикский водоносный горизонт и является водоупорными.

Лонтовасский водоносный горизонт приурочен к мелко- и среднезернистым песчаникам с частыми прослоями глин и алевритов мощностью 3-4 м до 20 м (увеличивается в юго-восточном направлении). Воды напорные с величиной напора достигающей 50-60 м. Под четвертичными отложениями глубина залегания кровли горизонта составляет 20 м (в Петергофе) и увеличивается в южном направлении до 50 м. По анионному составу пресные воды – гидрокарбонатные, солоноватые – гидрокарбонатно-хлоридные, по катионному – натриевые. Минерализация изменяется от 0.4-0.6 г/дм³ на западе до 1-3 г/дм³ на большей части города (Геологический..., 2009; Дашко и др., 2011).

Вендский водоносный горизонт приурочен к переслаивающимся песчаникам, алевритам и глинам мощностью 45-90 м. Воды высоконапорные с величиной напора свыше 100 м, но она постоянно меняется в зависимости от длительности и объемов откачек. В центральной части города глубина залегания кровли горизонта 100-120 м. Пьезометрический уровень составляет 15-20 м и увеличивается на 1.5-2.0 м в год. По анионному составу воды хлоридные, по катионному – натриево-калиевые. Минерализация 3.5-5.0 г/дм³ (Дашко и др., 2011).

Архейско-нижнепротерозойская слабоводоносная зона приурочена к трещинам кристаллического фундамента. По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – натриевые.

Глава 3. Геология участка работ

3.1 Инженерно-геологическое строение

В геологическом строении участка по данным бурения, статического зондирования и изысканий прошлых лет до глубины 45.0 м принимают участие:

– современные техногенные образования (*t IV*): насыпные грунты слежавшиеся (**ИГЭ 1**);

– современные морские и озерные (*m, l IV*) отложения: пески пылеватые плотные (**ИГЭ 2**), пески средней крупности средней плотности (**ИГЭ 4**), пески крупные средней плотности (**ИГЭ 5**), слабозаторфованные глинистые грунты (**ИГЭ 6**), суглинки текучие неяснослоистые (**ИГЭ 7**);

– верхнечетвертичные озерно-ледниковые (*lg III*) отложения: суглинки текучие ленточные (**ИГЭ 8**);

– верхнечетвертичные ледниковые (*g III*) отложения: супеси пластичные ($\Pi < 0.5$) с гравием и галькой 15% (**ИГЭ 9**), супеси пластичные ($\Pi > 0.5$) с гравием и галькой 15% (**ИГЭ 10**), суглинки мягкопластичные с гравием и галькой 5-10% (**ИГЭ 11**), суглинки тугопластичные с гравием и галькой 5-10% (**ИГЭ 12**), пески пылеватые плотные (**ИГЭ 13**);

– среднечетвертичные озерно-ледниковые (*lg II*) отложения: суглинки мягкопластичные (**ИГЭ 14**), суглинки текучепластичные (**ИГЭ 15**);

– среднечетвертичные ледниковые (*g II*) отложения: гравийные грунты (**ИГЭ 18**), суглинки твердые с гравием и галькой 15-20 % (**ИГЭ 20**);

– вендские отложения (*Vkt*): глины твердые дислоцированные (**ИГЭ 21**), глины твердые (**ИГЭ 22**).

3.2 Физико-механические характеристики инженерно-геологических элементов

Четвертичная система Q
Современные отложения Q IV
Техногенные образования t IV

Представлены насыпными грунтами, которые повсеместно распространены на участке работ, залегают с поверхности, локально перекрыты почвенно-растительным слоем мощностью до 0.20 м.

ИГЭ 1 – *Насыпные грунты, слежавшиеся*: асфальт; щебень и строительный мусор (куски кирпича, бетона, древесины), перемешанный с песками мелкими, пылеватыми, влажными, коричневато-серыми; пески пылеватые, неоднородные, с органическими остатками, перемешанные с почвенно-растительным слоем, темно-серые, влажные, со строительным мусором до 10-15%. Срок отсыпки – более 5 лет. Залегают либо с поверхности, либо на глубине 0.10-0.20 м (абс. отм. 6.60-7.30 м) под слоем асфальта. Мощность насыпных грунтов (**ИГЭ 1**) составляет 1.90-6.40 м.

Коэффициент фильтрации для насыпных грунтов (**ИГЭ 1**) составляет 0.5 м/сут (приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979 г.).

Морские и озерные отложения m, l IV

Повсеместно распространены на участке изысканий под насыпными грунтами. Представлены песками пылеватыми, средней крупности, крупными, слабозаторфованными грунтами и суглинками текучими.

ИГЭ 2 – Пески пылеватые, неоднородные, плотные, насыщенные водой, коричневато-серые, с растительными остатками. Залегают на глубинах 2.60-6.40 м (абс. отм. от 0.30-4.10 м), мощность составляет 1.00-4.40 м.

Коэффициент фильтрации для песков пылеватых плотных (**ИГЭ 2**) составляет 1.0 м/сут (приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979 г.).

ИГЭ 4 – Пески средней крупности, средней плотности, неоднородные, насыщенные водой, коричневато-серые, с растительными остатками. Вскрыты в архивной скважине 678 на глубине 2.80 м (абс. отм. 4.10 м), мощность составляет 0.60 м.

Коэффициент фильтрации для песков средней крупности (**ИГЭ 4**) составляет 5.0 м/сут (приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979 г.).

ИГЭ 5 – Пески крупные, неоднородные, средней плотности, насыщенные водой, коричневато-серые, с растительными остатками. Залегают на глубинах 2.50-4.20 м (абс. отм. 2.85-4.80 м), мощность составляет 1.50-3.10 м.

Коэффициент фильтрации для песков крупных (**ИГЭ 5**) составляет до 15 м/сут (приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979 г.).

ИГЭ 6 – Слабозаторфованные глинистые грунты, реже среднезаторфованные, черно-серые, насыщенные водой. Залегают на глубинах 1.90-7.80 м (абс. отм. от минус 0.80 м до 5.10 м), мощность составляет 0.20-1.90 м.

Коэффициент фильтрации для слабозаторфованных глинистых грунтов (**ИГЭ 6**) составляет 0.05 м/сут (приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979 г.).

ИГЭ 7 – Суглинки легкие пылеватые текучие, неяснослоистые, тиксотропные, серые, с прослоями песков пылеватых и мелких насыщенных водой, с растительными остатками. Залегают на глубинах 7.00-8.40 м (абс. отм. от минус 1.40 м до 0.00 м), мощность составляет 0.80-4.00 м.

Коэффициент фильтрации для суглинков текучих (**ИГЭ 7**) составляет 0.05 м/сут (приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979 г.).

Верхнечетвертичные отложения Q III

Озерно-ледниковые отложения lg III

Повсеместно распространены на участке работ под толщей озерно-морских отложений. Представлены суглинками текучими ленточными.

ИГЭ 8 – Суглинки тяжелые пылеватые текучие, ленточные, тиксотропные, с прослоями глин, коричневато-серые, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой. Залегают на глубинах 7.70-12.10 м (абс. отм. от минус 5.05 м до минус 0.80 м), мощность составляет 2.00-6.80 м.

Ледниковые отложения g III

Повсеместно распространены на участке изысканий под толщей озерно-ледниковых отложений. Представлены супесями пластичными, суглинками мягкопластичными и тугопластичными, песками пылеватыми. Представляют собой толщу взаимного переслаивания и замещения.

Толща ледниковых супесей пластичных по гранулометрическому составу, физико-механическим свойствам и данным статического зондирования была разделена на два ИГЭ: супеси с $И < 0.5$ и супеси с $И > 0.5$.

ИГЭ 9 – Супеси пылеватые пластичные ($И < 0.5$), коричневые, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой, с гравием и галькой изверженных пород до 15 %. Залегают на глубинах 9.80-20.60 м (абс. отм. от минус 13.50 м до минус 2.80 м), мощность составляет 1.20-6.00 м.

ИГЭ 10 – Супеси пылеватые пластичные ($И > 0.5$), коричневые, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой, с гравием и галькой изверженных пород до 15 %.

Залегают на глубинах 13.40-18.60 м (абс. отм. от минус 12.00 м до минус 6.60 м), мощность составляет 0,80-6,60 м.

ИГЭ 11 – Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные, серые, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой, с включениями гравия и гальки до 5-10 %. Залегают на глубинах 17.90-18.40 м (абс. отм. от минус 11.40 м до минус 10.80 м), мощность составляет 1.40-4.60 м.

ИГЭ 12 – Суглинки легкие пылеватые тугопластичные, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой, с включениями гравия и гальки до 5-10%. Залегают на глубинах 18.20-26.20 м (абс. отм. от минус 19.10 м до минус 11.30 м), мощность составляет 4.80-17.50 м.

ИГЭ 13 – Пески пылеватые, плотные, неоднородные, насыщенные водой, коричневато-серые. Вскрыты в архивной скважине 535 на глубине 13.20 м (абс. отм. минус 6.20 м), мощность составляет 1.50 м.

Среднечетвертичные отложения Q II

Озерно-ледниковые отложения lg II

Практически повсеместно распространены на участке работ под толщей верхнечетвертичных ледниковых отложений. Представлены суглинками мягкопластичными и текучепластичными.

ИГЭ 14 – Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные, неяснослоистые, тиксотропные, с прослоями тугопластичных, серые, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой. Залегают на глубинах 30.50-33.10 м (абс. отм. от минус 26.10 м до минус 23.50 м), мощность составляет 1.70-5.10 м.

ИГЭ 15 – Суглинки легкие пылеватые текучепластичные, неяснослоистые, тиксотропные, с прослоями текучих, неяснослоистые, серые, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой. Залегают на глубинах 32.30-34.00 м (абс. отм. от минус 26.80 м до минус 25.30 м), мощность составляет 1.90-3.00 м.

В современных морских и озерных суглинках текучих (ИГЭ 7), в верхнечетвертичных озерно-ледниковых суглинках текучих ленточных (ИГЭ 8), в среднечетвертичных озерно-ледниковых суглинках мягкопластичных (ИГЭ 14), суглинках текучепластичных неяснослоистых (ИГЭ 15) отмечена способность к тиксотропным превращениям, которая выражается в переходе этих грунтов в более текучее состояние под воздействием динамических нагрузок, а после прекращения - в частичном восстановлении своей структуры и прочности. Тиксотропные свойства подтверждаются разницей в наименовании консистенции по визуальному описанию, по показателю «С_в» и «IL».

Разность средних значений «С_в» при нарушенной и ненарушенной структуре в суглинках текучих (ИГЭ 7) – 0.58, степень выраженности структурных связей – значительная; в суглинках текучих ленточных (ИГЭ 8) – 0.50, в суглинках мягкопластичных (ИГЭ 14) – 0.37, в суглинках текучепластичных (ИГЭ 15) – 0.45, степень выраженности структурных связей – средняя. (Методические указания П.О. Бойченко «Определение пределов пластичности и консистенции глинистых грунтов методом конуса», ЛГУ, 1964 г.).

Ледниковые отложения g II

Локально распространены на участке изысканий под среднечетвертичными озерно-ледниковыми отложениями. Представлены гравийными грунтами, суглинками твердыми.

ИГЭ 18 – Гравийные грунты серые, насыщенные водой, заполнитель (около 30 %) – супеси пластичные. Залегают на глубинах 34.70-35.10 м (абс. отм. от минус 28.20 м до минус 27.70 м), мощность составляет 0.30-1.00 м.

ИГЭ 20 – Суглинки легкие пылеватые твердые, с прослоями полутвердых, зеленовато-серые, с прослоями песков мелких и средней крупности, влажных, с гравием и галькой, с щебнем и дресвой песчаников до 15-20%. Вскрыты в скважине 28 на глубине 35.10 м (абс. отм. минус 28.10 м), мощность составляет 1.90 м.

Вендская система V

Котлинский горизонт Vkt

На исследуемом участке вендские отложения котлинского горизонта повсеместно распространены под толщей среднечетвертичных отложений и представлены пылевато-глинистыми грунтами высокой степени литификации. Толща литифицированных котлинских глин представляет собой переслаивание глинистых, пылеватых, песчаных (местами превратившихся в песчаники) слоев, мощностью от 0.5 до 5 см. Подобное переслаивание обусловлено циклами седиментации в морском бассейне, где происходило образование этих глинистых осадков.

ИГЭ 21 – Глины легкие пылеватые твердые, дислоцированные, серо-зеленые, с обломками песчаников малопрочных, с прослойками песков пылеватых, влажных. Залегают на глубинах 35.10-37.00 м (абс. отм. от минус 30.00 м до минус 28.05 м), мощность 0.60-5.90 м.

ИГЭ 22 – Глины легкие пылеватые твердые, пылеватые, серо-зеленые, с прослоями песчаников малопрочных, с прослойками песков пылеватых, влажных. Залегают на глубинах 36.30-41.00 м (абс. отм. от минус 33.95 м до минус 29.30 м), вскрытая мощность составляет 4.00-13.30 м.

Кроме того, границы ИГЭ были уточнены с помощью статического зондирования, а также были получены значения удельного сопротивления грунта под конусом зонда и на участке боковой поверхности зонда (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Результаты статического зондирования

Номер ИГЭ	Наименование грунта	Геолог. индекс	Удельное сопротивление грунта под конусом зонда, МПа			Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности зонда, МПа
			от	до	среднее	среднее
2	Пески пылеватые, плотные	m,IV	10.5	20.2	11.1	0.179
5	Пески крупные, средней плотности	m,IV	8.5	14.5	9.6	0.127
6	Слабозаторфованные грунты	m,IV	0.5	1.9	1.4	0.064
7	Суглинки текучие слоистые	m,IV	1.3	1.8	1.5	0.047
8	Суглинки текучие ленточные	lgIII	0.8	1.5	1.3	0.039
9	Супеси пластичные (II<0.5) с гравием и галькой до 15%	gIII	3.2	6.4	5.8	0.104
10	Супеси пластичные (II>0.5) с гравием и галькой до 15%	gIII	1.8	2.9	2.2	0.055
11	Суглинки мягкопластичные с гравием и галькой до 5-10%	gIII	1.2	1.8	1.4	0.036
12	Суглинки тугопластичные с гравием и галькой до 5-10%	gIII	2.5	3.8	3.0	0.104
13	Пески пылеватые плотные	gIII	10.2	12.3	11.4	0.293
14	Суглинки мягкопластичные	lgII	1.9	3.1	2.7	0.074
15	Суглинки текучепластичные	lgII	1.5	2.1	1.8	0.064
18	Гравийные грунты	gII	>20		>20	0.258
20	Суглинки твердые, с гравием и галькой, с щебнем и дрсвой песчаников до 15-20%	gII	8.1	10.5	8.9	0.338
21	Глины твердые, дислоцированные	Vkt	5.2	7.3	5.6	0.297
22	Глины твердые	Vkt	10.5	13.4	12.1	0.753

3.3 Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия участка работ на глубину бурения характеризуются наличием безнапорных и напорных подземных вод, приуроченных к комплексу четвертичных отложений.

Безнапорные подземные воды приурочены к современным техногенным (*tIV*) насыпным грунтам, морским и озерным (*m, l IV*) пескам, а так же к прослоям песков в глинистых грунтах морского и озерного (*m, l IV*) и озерно-ледникового (*lg III*) генезисов. Подземные воды со свободной поверхностью.

В период проведения изысканий (июнь-июль 2016 г.) безнапорные подземные воды вскрыты на глубинах 1.40-4.00 м (абс. отм. 2.80-5.30 м). Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка осуществляется в местную гидрографическую сеть.

Зафиксированный на момент бурения уровень близок к среднегодовому. По данным материалов «Отчетов о режиме подземных вод Ленинградского артезианского бассейна за 1987-90 гг., СЗТГУ, 1991 г.» максимальная многолетняя амплитуда колебания уровня подземных вод составляет 2.20 м. Максимальный уровень грунтовых вод следует ожидать на абсолютной отметке около 6.40 м.

По данным ранних изысканий (июнь, октябрь 1996 г., июнь 1997 г., октябрь 2011 г.) ЗАО "ЛентИСИЗ" и Треста ГРИИ безнапорные подземные воды были вскрыты на глубине 1.40-3.20 м (абс.отм. 2.80-5.30 м).

Напорные подземные воды приуроченные к среднечетвертичным ледниковым (*g II*) гравийным грунтам (*ИГЭ 18*), развиты практически повсеместно на площадке проектируемого строительства.

В период изысканий (июнь-июль 2016 г.) напорные подземные воды вскрыты на глубинах 34.70-35.10 м (абс. отм. от минус 28.20 до минус 27.70 м). Уровень установился на глубине 13.90-16.10 м (абс. отм. от минус 9.10 до минус 6.85 м). Величина напора составила 18.70-21.20 м.

Верхним относительным водоупором являются верхнечетвертичные ледниковые (*g III*) суглинки тугопластичные (*ИГЭ 12*), среднечетвертичные озерно-ледниковые (*lg II*) суглинки мягкопластичные (*ИГЭ 14*), суглинки текучепластичные (*ИГЭ 15*), суглинки твердые (*ИГЭ 20*), нижним относительным водоупором являются

среднечетвертичные среднечетвертичные ледниковые (*g II*) суглинки твердые (**ИГЭ 20**), вендские (*Vkt2*) глины твердые дислоцированные (**ИГЭ 21**).

3.4 Специфические грунты

Согласно СП 11-105-97, Часть III, к специфическим грунтам на исследованном участке относятся:

- насыпные грунты **ИГЭ 1**;
- органо-минеральные грунты (слабозаторфованные грунты **ИГЭ 6**).

Насыпные грунты слежавшиеся (ИГЭ 1) – асфальт; щебень и строительный мусор (куски кирпича, бетона, древесины), перемешанный с песками мелкими, пылеватыми, влажными, коричневато-серыми; пески пылеватые, неоднородные, с органическими остатками, перемешанные с почвенно-растительным слоем, темно-серые, влажные, со строительным мусором до 10-15%.

Срок отсыпки – более 5 лет.

Залегают либо с поверхности, либо под почвенно-растительным слоем на глубине 0.10-0.20 м (абс. отм. 6.60-7.30 м). Мощность насыпных грунтов (**ИГЭ 1**) составляет 1.90-6.40 м.

Насыпные грунты имеют неоднородный состав, обладают неоднородными свойствами по глубине и простираению.

Насыпные грунты в качестве основания не рекомендуются. Рекомендуется их выемка и замена песчаной подсыпкой.

Органо-минеральные грунты (ИГЭ 6) – слабозаторфованные глинистые грунты, реже среднезаторфованные, черно-серые, насыщенные водой.

Залегают на глубинах 1.90-7.80 м (абс. отм. от минус 0.80 м до 5.10 м), мощность составляет 0.20-1.90 м.

Органо-минеральные грунты имеют следующие специфические особенности: высокая пористость и влажность; малая прочность и большая сжимаемость с длительной консолидацией при уплотнении; высокая гидрофильность и низкая водоотдача; существенное изменение деформационных, прочностных и фильтрационных свойств при нарушении их естественного сложения, а также под

воздействием статических и динамических нагрузок; анизотропия прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик; склонность к разжижению и тиксотропному разуплотнению при динамических воздействиях; наличие ярко выраженных реологических свойств; проявление усадки с образованием усадочных трещин в процессе высыхания (осушения); разложение растительных остатков в зоне аэрации; повышенная агрессивность к бетонам и коррозионная активность к металлическим конструкциям. Эти особенности позволяют считать рассматриваемые грунты непригодными для использования их в качестве основания, рекомендуется их выемка и замена песчаной подсыпкой.

Глава 4. Расчет свайного фундамента

Для расчета несущей способности свай по физико-механическим характеристикам грунтов (табл. 4.1) и допустимой осадки был выбран жилой дом по адресу ул. Боровая, д. 19. Количество этажей – 8-9, а также подземная парковка. Высота – до 30 м. Тип фундамента – свайный ($D = 450-600$ мм). Длина – $l = 60$ м, ширина здания – $b = 40$ м. Нагрузка на сваю – $N_{II} = 250$ тс. Глубина заложения ростверка – $d = 3.9$ м. Мощность ростверка – $h = 1$ м. Предварительная глубина заложения фундамента – 25-35 м. Материал стен и фундамента – монолитный железобетон.

Категория сложности инженерно-геологических условий в соответствии с СП 47.13330.2016, Прил. Г – III (сложная). Уровень ответственности здания в соответствии с ТСН 50-302-2004 – II (нормальный). Геотехническая категория в соответствии с ТСН 50-302-2004 – 3.

Согласно схеме планируемого строительства (рис. 4.1) наиболее характерными и отвечающими разрезам под внешними поперечными стенами являются разрезы по линии VI-VI (рис. 4.2) и VII-VII (рис. 4.3). Рассмотрим архивные скважины 674 и 678, а также пробуренные скважины 16 и 19.

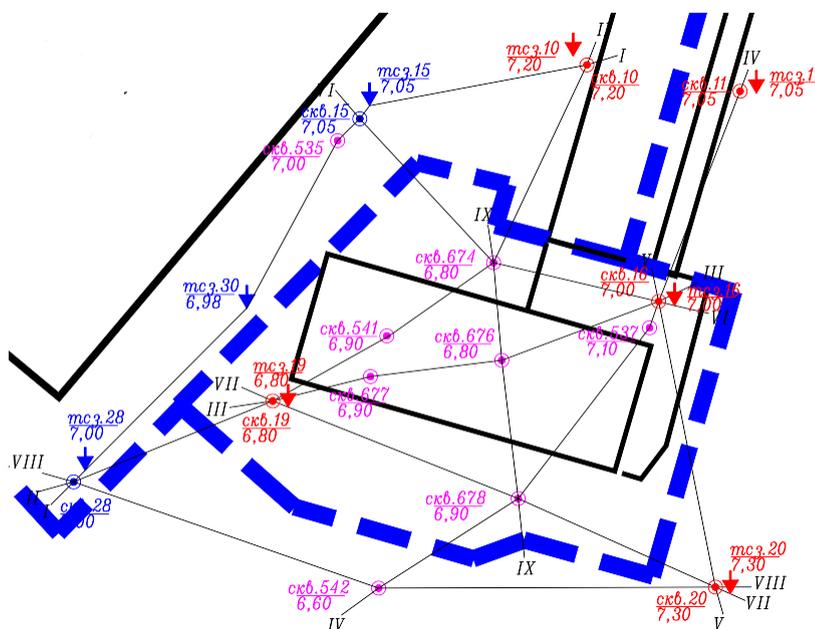


Рисунок 4.1. Схема строительства дома по адресу ул. Боровая, д. 19 (синим пунктиром – контур подземной парковки, черной линией – контур жилого дома)

Таблица 4.1. Нормативные и расчетные значения физико-механических характеристик грунтов

№ Элемент а	Наименование грунтов	Геологический индекс	Плотность грунта, г/см ³			Кoeffициент пористости	Естественная влажность, д.е.	Число пластичности	Показатель текучести	Прочностные характеристики						Модуль деформации, МПа кгс/см ²
										Угол внутреннего трения, [°]			Сцепление МПа кгс/см ²			
			ρ_n	ρ_l	ρ_{II}	e	W_e	I_p	$\frac{I_L}{C_u}$	φ_n	φ_l	φ_{II}	C_n	C_l	C_{II}	E
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Насыпные грунты слежавшиеся	<i>tIV</i>	R ₀ =0,10 МПа (1.0 кгс/см ²)													
2	Пески пылеватые, плотные	<i>m,IV</i>	2.06	2.04	2.06	0.550	Насыщ.водой	-	-	34	31	34	$\frac{0.006}{0.06}$	$\frac{0.004}{0.04}$	$\frac{0.006}{0.06}$	$\frac{28}{280}$
4	Пески средней крупности, средней плотности	<i>m,IV</i>	2.03	2.01	2.03	0.600	Насыщ.водой	-	-	37	33	37	$\frac{0.001}{0.01}$	$\frac{0.001}{0.01}$	$\frac{0.001}{0.01}$	$\frac{35}{350}$
5	Пески крупные, Средней плотности	<i>m,IV</i>	2.03	2.01	2.03	0.600	Насыщ.водой	-	-	39	35	39	-	-	-	$\frac{35}{350}$
6	Слабозаторфованные грунты	<i>m,IV</i>	1.48	1.46	1.48	2.387	0.986	0.17	1.17	В качестве основания не рекомендуются						$\frac{2.5}{25}$
7	Суглинки текучие слоистые	<i>m,IV</i>	1.93	1.92	1.92	0.819	0.295	0.09	$\frac{1.10}{0.49}$	14	12	13	$\frac{0.010}{0.10}$	$\frac{0.009}{0.09}$	$\frac{0.010}{0.10}$	$\frac{6}{60}$
8	Суглинки текучие ленточные	<i>lgIII</i>	1.79	1.78	1.78	1.175	0.424	0.15	$\frac{1.22}{0.56}$	6	6	6	$\frac{0.008}{0.08}$	$\frac{0.008}{0.08}$	$\frac{0.008}{0.08}$	$\frac{4}{40}$
9	Супеси пластичные (II<0.5) с гравием и галькой до 15%	<i>gIII</i>	2.27	2.26	2.26	0.314	0.112	0.03	$\frac{0.30}{0.11}$	29	27	28	$\frac{0.012}{0.12}$	$\frac{0.011}{0.11}$	$\frac{0.011}{0.11}$	$\frac{17}{170}$
10	Супеси пластичные (II>0.5) с гравием и галькой до 15%	<i>gIII</i>	2.23	2.22	2.22	0.354	0.128	0.04	$\frac{0.72}{0.45}$	10	9	10	$\frac{0.016}{0.16}$	$\frac{0.015}{0.15}$	$\frac{0.015}{0.15}$	$\frac{12}{120}$
11	Суглинки мягкопластичные с гравием и галькой до 5-10%	<i>gIII</i>	2.07	2.04	2.05	0.594	0.216	0.09	$\frac{0.55}{0.31}$	11	11	11	$\frac{0.020}{0.20}$	$\frac{0.019}{0.19}$	$\frac{0.019}{0.19}$	$\frac{11}{110}$
12	Суглинки тугопластичные с гравием и галькой до 5-10%	<i>gIII</i>	2.09	2.08	2.09	0.557	0.201	0.08	$\frac{0.34}{0.12}$	12	12	12	$\frac{0.023}{0.23}$	$\frac{0.022}{0.22}$	$\frac{0.022}{0.22}$	$\frac{13}{130}$
13	Пески пылеватые плотные	<i>gIII</i>	2.09	2.07	2.09	0.500	Насыщ.водой	-	-	35	32	35	$\frac{0.007}{0.07}$	$\frac{0.005}{0.05}$	$\frac{0.007}{0.07}$	$\frac{34}{340}$
14	Суглинки мягкопластичные	<i>lgII</i>	1.96	1.94	1.95	0.778	0.285	0.12	$\frac{0.62}{0.26}$	10	10	10	$\frac{0.015}{0.15}$	$\frac{0.015}{0.15}$	$\frac{0.015}{0.15}$	$\frac{11}{110}$
15	Суглинки текучепластичные	<i>lgII</i>	1.91	1.90	1.90	0.876	0.314	0.10	$\frac{0.95}{0.43}$	9	9	9	$\frac{0.011}{0.11}$	$\frac{0.011}{0.11}$	$\frac{0.011}{0.11}$	$\frac{7}{70}$

18	Гравийные грунты	<i>gII</i>	$R_0=0.40$ МПа (1.0 кгс/см ²)													
20	Суглинки твердые, с гравием и галькой, с щебнем и дресвой песчаников до 15-20%	<i>gII</i>	2.14	2.12	2.13	0.457	0.149	0.08	$\frac{-0.09}{-0.25}$	28	26	27	$\frac{0.071}{0.71}$	$\frac{0.067}{0.67}$	$\frac{0.068}{0.68}$	$\frac{21}{210}$
21	Глины твердые, дислоцированные	<i>Vkt</i>	2.14	2.13	2.13	0.505	0.175	0.15	$\frac{-0.39}{<-0.27}$	17	16	16	$\frac{0.115}{1.15}$	$\frac{0.107}{1.07}$	$\frac{0.109}{1.09}$	$\frac{30}{300}$
22	Глины твердые	<i>Vkt</i>	2.14	2.13	2.13	0.492	0.169	0.13	$\frac{-0.61}{<-0.27}$	18	17	17	$\frac{0.119}{1.19}$	$\frac{0.112}{1.12}$	$\frac{0.114}{1.14}$	$\frac{36}{360}$

разрез: VI-VI

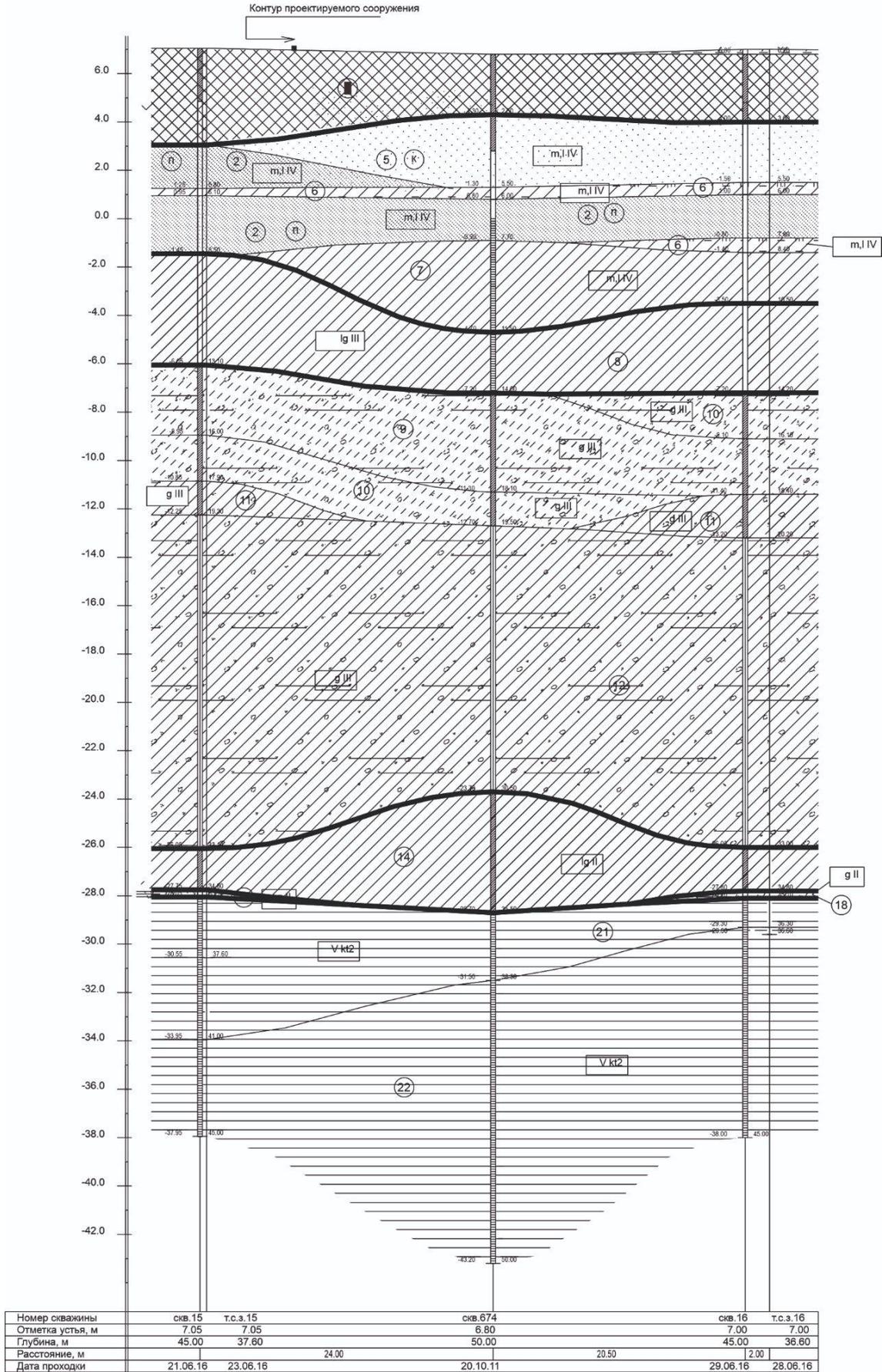


Рисунок 4.2. Разрез по линии VI-VI

разрез: VII-VII

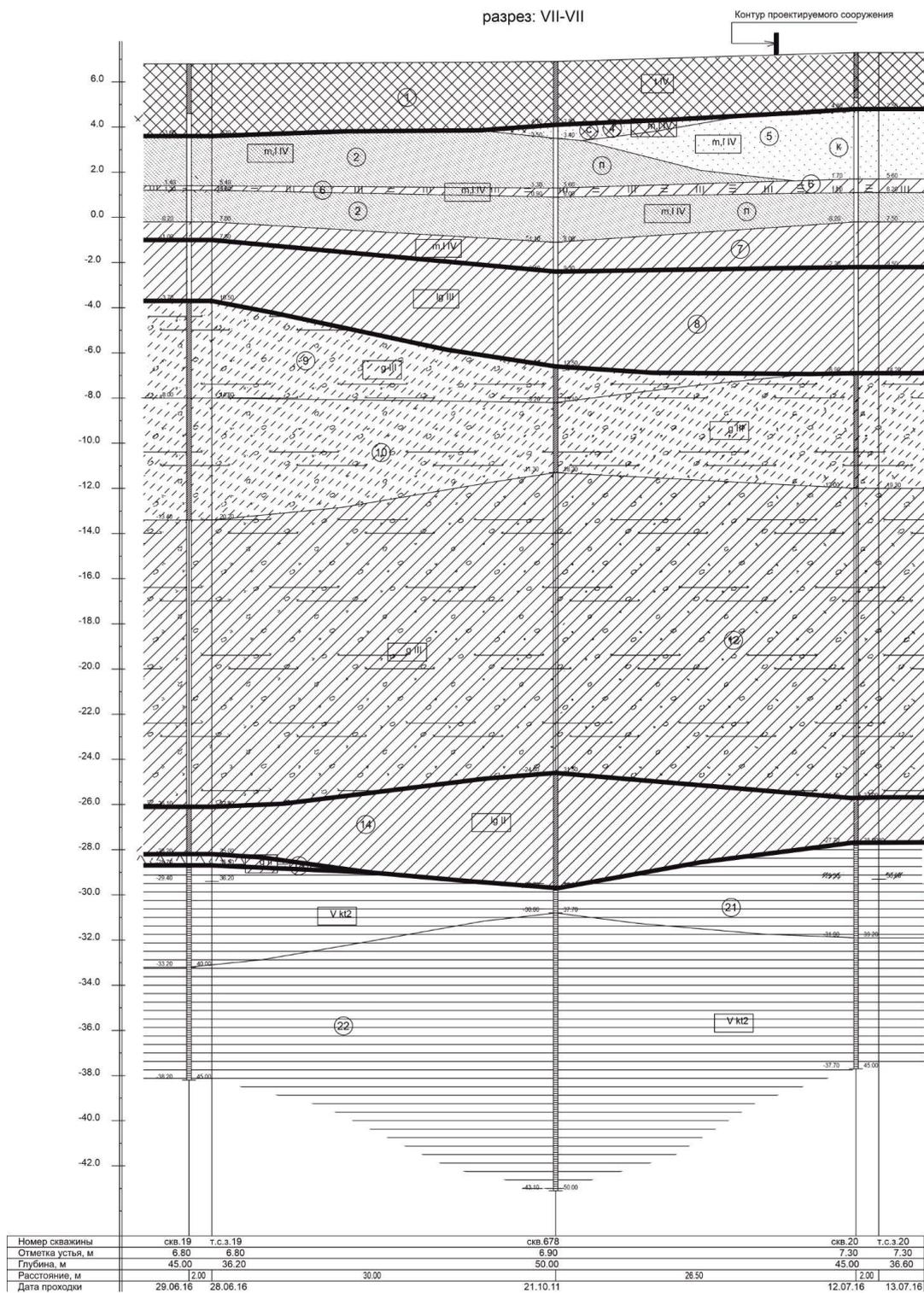


Рисунок 4.3. Разрез по линии VII-VII

В соответствии с СП 24.13330.2011, по условиям взаимодействия с грунтом следует выбрать висячие сваи (сваи трения), так как в разрезе отсутствуют слои с модулем деформации $E \geq 50$ МПа. Такие сваи будут опираться на сжимаемые грунты и передавать нагрузку боковой поверхностью и нижним концом.

Исходя из результатов статического зондирования (табл. 3.1) и физико-механических характеристик грунтов (табл. 4.1) в качестве надежного

основания следует выбрать вендские котлинские глины (*ИГЭ 22*) ввиду достаточно высоких значений удельного сопротивления и модуля деформации, а также выдержанности по простиранию и достаточной мощности (80-100 м).

4.1 Расчет свайного фундамента по первому предельному состоянию (по несущей способности одиночной сваи)

1. Определение расчетной нагрузки

Расчетная нагрузка N_I , необходимая для расчета нагрузки по первому предельному состоянию, приближенно связана с нагрузкой на N_{II} обобщенным коэффициентом перегрузки, который равен 1.2:

$$N_I = 1.2 \cdot N_{II} \quad (1)$$

$$N_I = 1.2 \cdot 250 = 300 \text{ тс}$$

2. Выбор длины сваи

Расчетная длина сваи L определяется по формуле:

$$L = \Delta z + \sum h_{gi} + h_z \quad (2)$$

, где Δz - заделка в ростверк, равная не менее 0.05 м (примем 0.05 м);

h_{gi} - мощность грунтов, прорезаемых сваями, м;

h_z - величина погружения сваи в несущий слой, равная более 1.5 м (примем 2.0 м)

(рис. 4.4).

Расчетная длина сваи для скв. 674:

$$L = 0.05 + 34.4 + 2.0 = 36.45 \sim 37 \text{ м}$$

Расчетная длина сваи для скв. 678:

$$L = 0.05 + 33.8 + 2.0 = 35.85 \sim 36 \text{ м}$$

Расчетная длина сваи для скв. 16:

$$L = 0.05 + 32.2 + 2.0 = 34.25 \sim 35 \text{ м}$$

Расчетная длина сваи для скв. 19:

$$L = 0.05 + 36.1 + 2.0 = 38.15 \sim 39 \text{ м}$$

Рабочая длина сваи l_{cb} – длина, вдоль которой свая соприкасается с грунтом, т.е. длина без заделки в ростверк: 36.95, 35.95, 34.95 и 38.95 м соответственно.

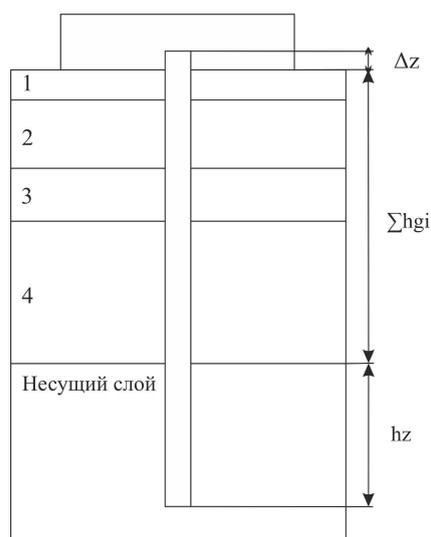


Рисунок 4.4. Схема расчета длины сваи

3. Определение расчетной несущей способности по грунту и расчетной нагрузки на сваю

Расчетная несущая способность одиночной висячей сваи по грунту F_d определяется как сумма сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности:

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + \gamma_{cf} \cdot u \cdot \sum f_i \cdot h_i) \quad (3)$$

, где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, который равен 1.0;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое по СП 24.13330.2011, табл. 7.2, тс/м²;

A – площадь опирания сваи на грунт, принимаемая по площади поперечного сечения сваи, 0.45×0.45 м²;

u – наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, принимаемое по СП 24.13330.2011, табл. 7.3, тс/м²;

h_i – мощность i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

γ_{cR}, γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта, принимаемые по СП 24.13330.2011, табл. 7.4, равными 1.0 и 1.0 соответственно.

Примечания по определению расчетных сопротивлений R и f_i :

1 – для промежуточных глубин погружения свай и промежуточных значений показателя текучести I_L глинистых грунтов значения R и f_i в СП 24.13330, табл. 7.2 и 7.3, определяют интерполяцией (при отрицательных значениях показателя текучести

принимается $I_L = 0$ для табл. 7.2 и $I_L \leq 0.2$ для табл. 7.3, при $I_L > 1.0$ для табл. 7.3 принимается $I_L = 1.0$);

2 – при определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай f_i пласты грунтов следует расчленять на однородные элементарные слои толщиной не более 2 м;

3 – расчетное сопротивление элементарных слоев следует определять для глубин залегания середины слоя (рис. 4.5);

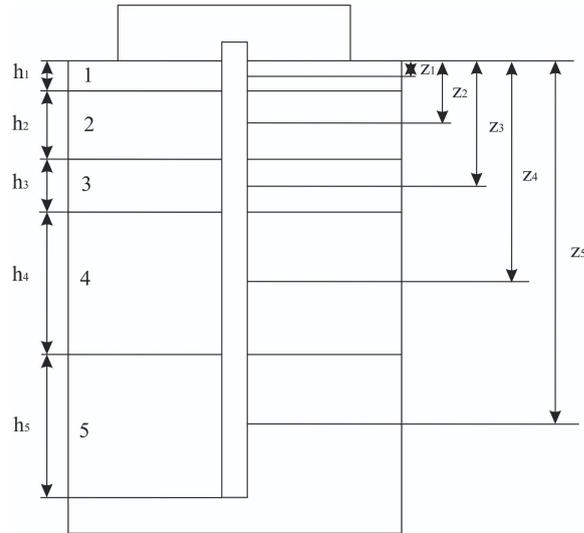


Рисунок 4.5. Схема для определения расчетного сопротивления элементарного слоя

4 – значения расчетного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай f_i следует увеличивать на 30 % по сравнению со значениями, приведенными в таблице;

5 – расчетные сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости $e < 0.5$ и глин с коэффициентом пористости $e < 0.6$ следует увеличивать на 15 % по сравнению со значениями, приведенными в таблице, при любых значениях показателя текучести.

Расчетное сопротивление под нижним концом сваи в соответствии с СП 24.13330.2011, табл. 7.2: $R = 15\,000$ кПа.

Размеры свай 0.45×0.45 м.

Расчетная несущая способность висячей сваи для скв. 674 (необходимые для расчета данными приведены в табл. 4.2):

Таблица 4.2. Расчетные сопротивления для слоев в скв. 674

№ ИГЭ	Мощность элементарного слоя h , м	Глубина залегания середины слоя z , м	Расчетное сопротивление f_i , кПа	Примечания
5	1.6	4.7	55.1	
6	0.5	5.75	6	

2	1.7	6.85	31.85	Пески плотные, +30%
7	2	8.7	6	
7	1.8	10.6	6	
8	2	12.5	6	
8	0.5	13.75	6	
9	2	15	51	Супеси $e < 0.5$, +15%
9	2	17	53	Супеси $e < 0.5$, +15%
9	0.1	18.05	54.05	Супеси $e < 0.5$, +15%
10	1.4	18.8	11.008	Супеси $e < 0.5$, +15%
12	2	20.5	50.42	
12	2	22.5	52.1	
12	2	24.5	54.78	
12	2	26.5	55.46	
12	2	28.5	57.14	
12	1	30	58.4	
14	2	31.5	19.5	
14	2	33.5	19.9	
14	1	35	20.2	
21	2	36.5	100	Глины $e < 0.6$, +15%
21	0.8	37.9	100	Глины $e < 0.6$, +15%
22	2	39.3	100	Глины $e < 0.6$, +15%
22	0.55	40.575	100	Глины $e < 0.6$, +15%

Примечание: здесь и далее в этом подпункте для расчета несущей способности значение $\frac{1}{9.8}$ - коэффициент перевода кПа в тс/м².

$$F_{d674} = 1 \cdot \left(1 \cdot \frac{15000}{9.8} \cdot 0.45 \cdot 0.45 + 1.8 \cdot \left(\frac{1}{9.8} \cdot (55.1 \cdot 1.6 + 6 \cdot 0.5 + 31.85 \cdot 1.7 \cdot 1.3 + 6 \cdot 3.8 + 6 \cdot 2.5) + (51 \cdot 2 + 53 \cdot 2 + 54.05 \cdot 0.1) \cdot 1.15 + 11.008 \cdot 1.4 \cdot 1.15 + (50.42 \cdot 2 + 52.1 \cdot 2 + 54.78 \cdot 2 + 55.46 \cdot 2 + 57.14 \cdot 2 + 58.4 \cdot 1) + (19.5 \cdot 2 + 19.9 \cdot 2 + 20.2 \cdot 1) + 100 \cdot 2.8 \cdot 1.15 + 100 \cdot 2.55 \cdot 1.15 \right) \right) = 636 \text{ тс}$$

Расчетная несущая способность висячей сваи для скв. 678 (необходимые для расчета данными приведены в табл. 4.3):

Таблица 4.3. Расчетные сопротивления для слоев в скв. 678

№ ИГЭ	Мощность элементарного слоя h, м	Глубина залегания середины слоя z, м	Расчетное сопротивление f_i , кПа	Примечания
2	1.7	4.75	28.5	Пески плотные, +30%
6	0.4	5.8	6	
2	2	7	32	Пески плотные. +30%
7	1.3	8.65	6	
8	2	10.3	6	
8	2	12.3	6	

8	0.2	13.4	6	
9	1.6	14.3	50.3	Супеси $e < 0.5$, +15%
10	2	16.1	8.82	Супеси $e < 0.5$, +15%
10	1.1	17.65	6.58	Супеси $e < 0.5$, +15%
12	2	19.2	49.328	
12	2	21.2	51.008	
12	2	23.2	52.688	
12	2	25.2	54.37	
12	2	27.2	56.05	
12	2	29.2	57.73	
12	1.3	30.85	60.6	
14	2	32.5	19.7	
14	2	34.5	20.1	
14	1.1	36.05	20.2	
21	1.1	37.15	100	Глины $e < 0.6$, +15%
22	2	38.7	100	Глины $e < 0.6$, +15%
22	0.15	39.775	100	Глины $e < 0.6$, +15%

$$F_{d678} = 1 \cdot \left(1 \cdot \frac{15000}{9.8} \cdot 0.45 \cdot 0.45 + 1.8 \cdot \left(\frac{1}{9.8} \cdot (28.5 \cdot 1.7 \cdot 1.3 + 6 \cdot 0.4 + 32 \cdot 2 \cdot 1.3 + 6 \cdot 1.3 + 6 \cdot 4.2 + 50.3 \cdot 1.6 \cdot 1.15 + (8.82 \cdot 2 + 6.58 \cdot 1.1) \cdot 1.15 + (49.328 \cdot 2 + 51.008 \cdot 2 + 52.688 \cdot 2 + 54.37 \cdot 2 + 56.05 \cdot 2 + 57.73 \cdot 2 + 60.6 \cdot 1.3) + (19.7 \cdot 2 + 20.1 \cdot 2 + 20.2 \cdot 1.1) + 100 \cdot 1.1 \cdot 1.15 + 100 \cdot 2.15 \cdot 1.15 \right) \right) = 585 \text{ тс}$$

Расчетная несущая способность свай для скв. 16 (необходимые для расчета данными приведены в табл. 4.4):

Таблица 4.4. Расчетные сопротивления для слоев в скв. 16

№ ИГЭ	Мощность элементарного слоя h, м	Глубина залегания середины слоя z, м	Расчетное сопротивление f_i , кПа	Примечания
5	1.6	4.7	55.1	
6	0.5	5.75	6	
2	1.8	7.2	32.2	Пески плотные, +30%
6	0.6	8.1	6	
7	2	9.4	6	
7	0.1	10.45	6	
8	2	11.5	6	
8	1.7	13.35	6	
10	1.9	15.15	10.424	Супеси $e < 0.5$, +15%
9	2	17.1	53.1	Супеси $e < 0.5$, +15%
9	0.3	18.25	54.25	Супеси $e < 0.5$, +15%
11	1.8	19.3	24.86	
12	2	21.2	51.008	
12	2	23.2	52.688	
12	2	25.2	54.37	

12	2	27.2	56.05	
12	2	29.2	57.73	
12	2	31.2	59.264	
12	0.8	32.6	60.272	
14	1.8	33.9	19.98	
18	0.3	34.95	100	
21	1.2	35.7	100	Глины $e < 0.6$, +15%
22	2	37.3	100	Глины $e < 0.6$, +15%
22	0.55	38.575	100	Глины $e < 0.6$, +15%

$$F_{d16} = 1 \cdot \left(1 \cdot \frac{15000}{9.8} \cdot 0.45 \cdot 0.45 + 1.8 \cdot \left(\frac{1}{9.8} \cdot (55.1 \cdot 1.6 + 6 \cdot 0.5 + 32.2 \cdot 1.8 \cdot 1.3 + 6 \cdot 0.6 + 6 \cdot 2.1 + 6 \cdot 3.7 + 10.424 \cdot 1.9 \cdot 1.15 + (53.1 \cdot 2 + 54.25 \cdot 0.3) \cdot 1.15 + 24.86 \cdot 1.8 + (51.008 \cdot 2 + 52.688 \cdot 2 + 54.37 \cdot 2 + 56.05 \cdot 2 + 57.73 \cdot 2 + 59.264 \cdot 2 + 60.272 \cdot 0.8) + 19.98 \cdot 1.8 + 100 \cdot 0.3 + 100 \cdot 1.2 + 100 \cdot 2.55) \right) = 608 \text{ тс}$$

Расчетная несущая способность висячей сваи для скв. 19 (необходимые для расчета данными приведены в табл. 4.5):

Таблица 4.5. Расчетные сопротивления для слоев в скв. 19

№ ИГЭ	Мощность элементарного слоя h , м	Глубина залегания середины слоя z , м	Расчетное сопротивление f_r , кПа	Примечания
2	1.5	4.65	28.3	Пески плотные, +30%
6	0.2	5.5	6	
2	1.4	6.3	31.3	Пески плотные, +30%
7	0.8	7.4	6	
8	2	8.8	6	
8	0.7	10.15	6	
9	2	11.5	47.5	Супеси $e < 0.5$, +15%
9	2	13.5	49.5	Супеси $e < 0.5$, +15%
9	0.3	14.65	50.65	Супеси $e < 0.5$, +15%
10	2	15.8	10.528	Супеси $e < 0.5$, +15%
10	2	17.8	10.848	Супеси $e < 0.5$, +15%
10	1.4	19.5	11.12	Супеси $e < 0.5$, +15%
12	2	21.2	51.008	
12	2	23.2	52.688	
12	2	25.2	54.37	
12	2	27.2	56.05	
12	2	29.2	57.73	
12	2	31.2	59.264	
12	0.7	32.55	60.236	
14	2	33.9	19.98	
14	0.1	34.95	20.19	
18	0.5	35.15	100	
21	2	36.4	100	Глины $e < 0.6$, +15%

21	2	38.4	100	Глины е < 0.6, +15%
21	0.5	39.65	100	Глины е < 0.6, +15%
22	2	40.9	100	Глины е < 0.6, +15%
22	0.85	42.325	100	Глины е < 0.6, +15%

$$F_{d19} = 1 \cdot \left(1 \cdot \frac{15000}{9.8} \cdot 0.45 \cdot 0.45 + 1.8 \cdot \left(\frac{1}{9.8} \cdot (28.3 \cdot 1.7 \cdot 1.3 + 6 \cdot 0.2 + 31.3 \cdot 1.4 \cdot 1.3 + 6 \cdot 0.8 + 6 \cdot 2.7 + (47.5 \cdot 2 + 49.5 \cdot 2 + 50.65 \cdot 0.3)) \cdot 1.15 + (10.528 \cdot 2 + 10.848 \cdot 2 + 11.12 \cdot 1.4) \cdot 1.15 + (51.008 \cdot 2 + 52.688 \cdot 2 + 54.37 \cdot 2 + 56.05 \cdot 2 + 57.73 \cdot 2 + 59.264 \cdot 2 + 60.236 \cdot 0.7) + (19.98 \cdot 2 + 20.19 \cdot 0.1) + 100 \cdot 4.5 \cdot 1.15 + 100 \cdot 2.85 \cdot 1.15 \right) = 693 \text{ тс}$$

Таблица 4.6. Сводная таблица значений расчетной несущей способности

№ Сква.	F _d , тс
674	636
678	585
16	608
19	693

Все расчетные несущие способности значительно выше, чем закладываемая нагрузка на сваю до 250 тс. Согласно данным статического зондирования несущие способности одиночной сваи размером 0.45 м могут достигать необходимой величины несущей способности и на меньших глубинах. Например, в скв. 19 на глубине 34.9 м несущая способность одиночной сваи составляет 258.36 тс. Тем не менее, в качестве надежного основания рекомендуются глины **ИГЭ 22**, так как на глубине 34.9 м в скв. 19 неподходящие в качестве основания мягкопластичные суглинки (**ИГЭ 14**), а нижележащие водонасыщенные гравийные грунты (**ИГЭ 18**) и дислоцированные глины (**ИГЭ 21**) не выдержаны по простиранию и имеют прочностные показатели в 2 и более раз меньше, чем у глин **ИГЭ 22**. Кроме того, участок строительства находится недалеко от двух неотектонических зон, что обуславливает вероятность неравномерности по простиранию и вертикали свойств дислоцированных глин.

Максимальная расчетная нагрузка на одну сваю находится по формуле:

$$P_{cb} = \frac{\gamma_0 \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k} \quad (4)$$

, где, согласно СП 24.13330.2011, п. 7.1.11, γ_0 – коэффициент надежности по грунту, учитывающий повышение однородности грунтовых условий при применении свайных фундаментов, который для односвайного фундамента равен 1.0;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, который для II уровня ответственности равен 1.15;

γ_k – коэффициент надежности по грунту, который для расчетных несущих способностей равен 1.4.

$$P_{cb-674} = \frac{1.0 \cdot 636}{1.15 \cdot 1.4} = 395 \text{ тс}$$

$$P_{cb-678} = \frac{1.0 \cdot 585}{1.15 \cdot 1.4} = 363 \text{ тс}$$

$$P_{cb-16} = \frac{1.0 \cdot 608}{1.15 \cdot 1.4} = 378 \text{ тс}$$

$$P_{cb-19} = \frac{1.0 \cdot 693}{1.15 \cdot 1.4} = 430 \text{ тс}$$

4. Определение фактической вертикальной нагрузки и проверка по первому предельному состоянию

Для проверки по первому предельному состоянию необходимо найти фактическую вертикальную нагрузку под сваей и сравнить с максимальной расчетной нагрузкой. Должно выполняться условие первого предельного состояния:

$$F < P_{cb} \quad (5)$$

Найдем непосредственно фактическую вертикальную нагрузку:

$$F = \frac{N_I + 1.2 \cdot Q_p}{n} = \frac{N_I + 1.2 \cdot V_p \cdot \gamma_{ж/б}}{n} \quad (6)$$

, где Q_p – вес ростверка, тс;

n – количество свай, равное 1, так как $N_I \ll P_{cb}$,

V_p – объем ростверка, м³;

$\rho_{ж/б}$ – плотность железобетона ростверка, равная 2.4 т/м³.

$$F = \frac{300 + 1.2 \cdot (1 \cdot 0.65 \cdot 0.65) \cdot 2.4}{1} = 301 \text{ тс}$$

Полученное значение меньше, чем $P_{cb} = 363-430$ тс, поэтому условие выполняется.

4.2 Расчет свайного фундамента по второму предельному состоянию (по деформациям)

1. Определение площади условного фундамента

Свайный фундамент оказывает влияние на большую площадь, чем площадь его поперечного сечения (рис. 4.6), поэтому необходимо найти площадь подошвы условного фундамента:

$$A_{усл} = (b + 2a) \cdot (1 + 2a) \quad (7)$$

, где b и l – ширина и длина поперечного сечения сваи соответственно, в данной работе свая квадратная, поэтому оба значения равны 0.45 м;

a – дополнительное расстояние по подошве условного фундамента, находится по формуле:

$$a = l_{cb} \cdot \operatorname{tg} \alpha = l_{cb} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{cp}}{4} \quad (8)$$

, где l_{cb} – рабочая длина сваи, рассчитанная в гл. 4.1, п. 2: 36.95, 35.95, 34.95 и 38.95 м для 674, 678, 16 и 19 скважин соответственно;

α – угол распределения напряжений, град.;

φ_{cp} – средневзвешенный угол внутреннего трения вдоль рабочей поверхности сваи, находится по формуле:

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum \varphi_{ii} \cdot h_i}{\sum h_i} \quad (9)$$

, где φ_{ii} – угол внутреннего трения по второму предельному состоянию для i -го соприкасающегося со свайей слоя, град.;

h_i – мощность i -го соприкасающегося со свайей слоя, м.

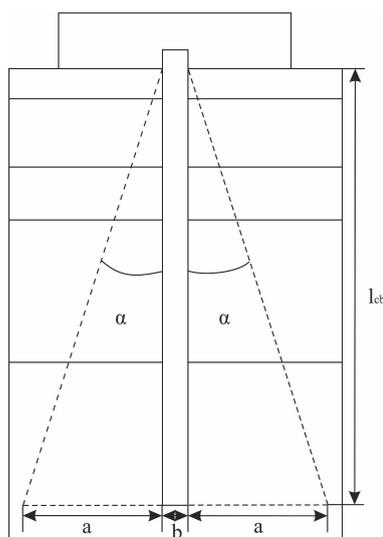


Рисунок 4.6. Схема условного фундамента

Средневзвешенный угол внутреннего трения:

$$\varphi_{cp-674} = \frac{1.6 \cdot 39 + 0.5 \cdot 0 + 1.7 \cdot 34 + 3.8 \cdot 13 + 2.5 \cdot 6 + 4.1 \cdot 28 + 1.4 \cdot 10 + 11 \cdot 12 + 5 \cdot 10 + 2.8 \cdot 16 + 2.55 \cdot 17}{1.6 + 0.5 + 1.7 + 3.8 + 2.5 + 4.1 + 1.4 + 11 + 5 + 2.8 + 2.55} = 15.79 \text{ град.}$$

$$\varphi_{cp-678} = \frac{1.7 \cdot 34 + 0.4 \cdot 0 + 2 \cdot 34 + 1.3 \cdot 13 + 4.2 \cdot 6 + 1.6 \cdot 28 + 3.1 \cdot 10 + 13.3 \cdot 12 + 5.1 \cdot 10 + 1.1 \cdot 16 + 2.15 \cdot 17}{1.7 + 0.4 + 2 + 1.3 + 4.2 + 1.6 + 3.1 + 13.3 + 5.1 + 1.1 + 2.15} = 14.14 \text{ град.}$$

$$\varphi_{cp-16} = \frac{1.6 \cdot 39 + 0.5 \cdot 0 + 1.8 \cdot 34 + 0.6 \cdot 0 + 2.1 \cdot 13 + 3.7 \cdot 6 + 1.9 \cdot 10 + 2.3 \cdot 28 + 1.8 \cdot 11 + 12.8 \cdot 12 + 1.8 \cdot 10 + 0.3 \cdot 0 + 1.2 \cdot 16 + 2.55 \cdot 17}{1.6 + 0.5 + 1.8 + 0.6 + 2.1 + 3.7 + 1.9 + 2.3 + 1.8 + 12.8 + 1.8 + 0.3 + 1.2 + 2.55} = 14.61 \text{ град.}$$

$$\varphi_{cp-19} = \frac{1.5 \cdot 34 + 0.2 \cdot 0 + 1.4 \cdot 34 + 0.8 \cdot 13 + 2.7 \cdot 6 + 4.3 \cdot 28 + 5.4 \cdot 10 + 12.7 \cdot 12 + 2.1 \cdot 10 + 0.5 \cdot 0 + 4.5 \cdot 16 + 2.85 \cdot 17}{1.5 + 0.2 + 1.4 + 0.8 + 2.7 + 4.3 + 5.4 + 12.7 + 2.1 + 0.5 + 4.5 + 2.85} = 15.24 \text{ град.}$$

a :

$$a_{674} = 36.95 \cdot \operatorname{tg} \frac{15.79}{4} = 2.55 \text{ м}$$

$$a_{678} = 35.95 \cdot \operatorname{tg} \frac{14.14}{4} = 2.22 \text{ м}$$

$$a_{16} = 34.95 \cdot \operatorname{tg} \frac{14.61}{4} = 2.23 \text{ м}$$

$$a_{19} = 38.95 \cdot \operatorname{tg} \frac{15.24}{4} = 2.59 \text{ м}$$

Площадь подошвы условного фундамента:

$$A_{\text{усл} - 674} = (0.45 + 2 \cdot 2.55) \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.55) = 9.00 \text{ м}^2$$

$$A_{\text{усл} - 678} = (0.45 + 2 \cdot 2.22) \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.22) = 7.14 \text{ м}^2$$

$$A_{\text{усл} - 16} = (0.45 + 2 \cdot 2.23) \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.23) = 7.18 \text{ м}^2$$

$$A_{\text{усл} - 19} = (0.45 + 2 \cdot 2.59) \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.59) = 9.26 \text{ м}^2$$

2. Определение среднего вертикального давления под подошвой условного фундамента

Давление по подошве условного фундамента:

$$P_{\text{II}} = \frac{N_{\text{OII}} + N_{\text{GII}} + N_{\text{PII}} + N_{\text{SII}}}{A_{\text{усл}}} \quad (10)$$

, где N_{OII} – нагрузка по обрезу фундамента, 250 тс;

N_{GII} – нагрузка создаваемая ростверком, тс;

N_{PII} – нагрузка создаваемая сваями, тс;

N_{SII} – нагрузка создаваемая грунтом в объеме условного фундамента, тс.

Нагрузка от ростверка:

$$N_{\text{GII}} = \frac{V_p \cdot \gamma_{\text{ж/б}}}{9.8} = \frac{V_p \cdot \rho_{\text{ж/б}} \cdot g}{9.8} \quad (11)$$

, где V_p – объем ростверка, м³;

$\rho_{\text{ж/б}}$ – плотность железобетона ростверка, равная 2.4 т/м³;

g – ускорение свободного падения, 9.8 м/с².

Для всех скважин будет равна:

$$N_{\text{GII}} = \frac{(1 \cdot 0.65 \cdot 0.65) \cdot 2.4 \cdot 9.8}{9.8} = 1.014 \text{ тс}$$

Нагрузка от свай:

$$N_{\text{PII}} = \frac{n \cdot V_c \cdot \gamma_{\text{б}}}{9.8} = \frac{n \cdot V_c \cdot \rho_{\text{б}} \cdot g}{9.8} \quad (12)$$

, где n – число свай;

V_c – объем одной сваи, м³;

$\rho_{\text{б}}$ – плотность бетона свай, равная 2.3 т/м³;

g – ускорение свободного падения, 9.8 м/с².

Расчет по рассматриваемым скважинам:

$$N_{\text{PII-674}} = \frac{1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 36.95) \cdot 2.3 \cdot 9.8}{9.8} = 17.21 \text{ тс}$$

$$N_{\text{PII-678}} = \frac{1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 35.95) \cdot 2.3 \cdot 9.8}{9.8} = 16.74 \text{ тс}$$

$$N_{\text{PII-16}} = \frac{1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 34.95) \cdot 2.3 \cdot 9.8}{9.8} = 16.28 \text{ тс}$$

$$N_{\text{PII-19}} = \frac{1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 38.95) \cdot 2.3 \cdot 9.8}{9.8} = 18.14 \text{ тс}$$

Нагрузка от грунта:

$$N_{\text{СИ}} = \frac{(V - V_p - n \cdot V_c) \cdot \rho_{\text{ср.грунт}} \cdot g}{9.8} \quad (13)$$

, где V – весь объем над подошвой условного фундамента, м^3 ;

$\rho_{\text{ср.грунт}}$ – средневзвешенная плотность пород в пределах условного фундамента, $\text{т}/\text{м}^3$;

n – число свай;

g – ускорение свободного падения, $9.8 \text{ м}/\text{с}^2$.

$$\rho_{\text{ср.грунт}} = \frac{\sum \rho_{\text{II}i} \cdot h_i}{\sum h_i} \quad (14)$$

, где $\rho_{\text{II}i}$ – плотность i -того слоя, $\text{т}/\text{м}^3$;

h_i – мощность i -того слоя, м .

$$\rho_{\text{ср.грунт-674}} = \frac{2.6 \cdot 2.03 + 0.5 \cdot 1.48 + 1.7 \cdot 2.06 + 3.8 \cdot 1.92 + 2.5 \cdot 1.78 + 4.1 \cdot 2.26 + 1.4 \cdot 2.22 + 11 \cdot 2.09 + 5 \cdot 1.95 + 2.8 \cdot 2.13 + 2.55 \cdot 2.13}{2.6 + 0.5 + 1.7 + 3.8 + 2.5 + 4.1 + 1.4 + 11 + 5 + 2.8 + 2.55} = 2.05 \text{ т}/\text{м}^3$$

$$\rho_{\text{ср.грунт-678}} = \frac{2.7 \cdot 2.06 + 0.4 \cdot 1.48 + 2 \cdot 2.06 + 1.3 \cdot 1.92 + 4.2 \cdot 1.78 + 1.6 \cdot 2.26 + 3.1 \cdot 2.22 + 13.3 \cdot 2.09 + 5.1 \cdot 1.95 + 1.1 \cdot 2.13 + 2.15 \cdot 2.13}{2.7 + 0.4 + 2 + 1.3 + 4.2 + 1.6 + 3.1 + 13.3 + 5.1 + 1.1 + 2.15} = 2.04 \text{ т}/\text{м}^3$$

$$\rho_{\text{ср.грунт-16}} = \frac{2.6 \cdot 2.03 + (0.5 + 0.6) \cdot 1.48 + 1.8 \cdot 2.06 + 2.1 \cdot 1.92 + 3.7 \cdot 1.78 + 1.9 \cdot 2.22 + 2.3 \cdot 2.26 + 1.8 \cdot 2.05 + 12.8 \cdot 2.09 + 1.8 \cdot 1.95 + 0.3 \cdot 1.85 + (1.2 + 2.55) \cdot 2.13}{2.6 + 0.5 + 1.8 + 0.6 + 2.1 + 3.7 + 1.9 + 2.3 + 1.8 + 12.8 + 1.8 + 0.3 + 1.2 + 2.55} = 2.03 \text{ т}/\text{м}^3$$

$$\rho_{\text{ср.грунт}} = \frac{2.5 \cdot 2.06 + 0.2 \cdot 1.48 + 1.4 \cdot 2.06 + 0.8 \cdot 1.92 + 2.7 \cdot 1.78 + 4.3 \cdot 2.26 + 5.4 \cdot 2.22 + 12.7 \cdot 2.09 + 2.1 \cdot 1.95 + 0.5 \cdot 1.85 + 4.5 \cdot 2.13 + 2.85 \cdot 2.13}{2.5 + 0.2 + 1.4 + 0.8 + 2.7 + 4.3 + 5.4 + 12.7 + 2.1 + 0.5 + 4.5 + 2.8} = 2.09 \text{ т}/\text{м}^3$$

Нагрузка от грунта для рассматриваемых скважин:

$$N_{\text{СИ-674}} = (9 \cdot 37.95 - (1 \cdot 0.65 \cdot 0.65) - 1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 36.95)) \cdot 2.05 \cdot 9.8 / 9.8 = 684 \text{ тс}$$

$$N_{\text{СИ-678}} = (7.14 \cdot 36.95 - (1 \cdot 0.65 \cdot 0.65) - 1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 35.95)) \cdot 2.04 \cdot 9.8 / 9.8 = 522 \text{ тс}$$

$$N_{\text{СИ-16}} = (7.18 \cdot 35.95 - (1 \cdot 0.65 \cdot 0.65) - 1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 34.95)) \cdot 2.03 \cdot 9.8 / 9.8 = 509 \text{ тс}$$

$$N_{\text{СИ-19}} = (9.26 \cdot 39.95 - (1 \cdot 0.65 \cdot 0.65) - 1 \cdot (0.45 \cdot 0.45 \cdot 38.95)) \cdot 2.09 \cdot 9.8 / 9.8 = 756 \text{ тс}$$

Подставляя в формулу 10 значения, рассчитанные по формулам 7, 11, 12 и 13, получаем среднее вертикальное давление под подошвой фундамента:

$$P_{II-674} = \frac{250 + 1.014 + 17.21 + 684}{9} = 106 \text{ тс}$$

$$P_{II-678} = \frac{250 + 1.014 + 16.74 + 522}{7.14} = 111 \text{ тс}$$

$$P_{II-16} = \frac{250 + 1.014 + 16.28 + 509}{7.18} = 108 \text{ тс}$$

$$P_{II-19} = \frac{250 + 1.014 + 18.14 + 756}{9.26} = 111 \text{ тс}$$

Расчетное сопротивление грунта всегда будет больше давления по подошве условного фундамента ввиду существенной глубины заложения фундамента. Последующее проектирование по второму предельному состоянию (расчет осадки) позволит принять решение о возможности устройства рассчитанного свайного фундамента.

3. Расчет осадки

Массив грунта под подошвой условного фундамента разбивается на элементарные слои. Мощность каждого слоя не должна превышать:

$$h_i = 0.4 \cdot b_{\text{усл}} \quad (15)$$

, где $b_{\text{усл}}$ – сторона условного фундамента, равная $b + 2a$, м.

$$h_{i-674} = 0.4 \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.55) = 2.22 \text{ м}$$

$$h_{i-678} = 0.4 \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.22) = 1.956 \text{ м}$$

$$h_{i-16} = 0.4 \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.23) = 1.964 \text{ м}$$

$$h_{i-19} = 0.4 \cdot (0.45 + 2 \cdot 2.59) = 2.072 \text{ м}$$

Напряжения от собственного веса грунта суммируется с напряжением вышележащего:

$$\sigma_{Zg} = \sum \gamma_i \cdot h_i \quad (16)$$

, где γ_i – удельный вес i -того слоя, тс/м³;

h_i – мощность элементарного слоя, м.

При определении дополнительного напряжения принимают, что грунт однороден и изотропен на значительную глубину, давление по подошве условного фундамента распределено равномерно. Дополнительное давление от фундамента по подошве каждого элементарного слоя:

$$\sigma_{Zp} = P_{II} \cdot \alpha \quad (17)$$

, где α – коэффициент, находящийся по величине соотношению сторон подошвы фундамента $\eta = \frac{l}{b}$ (в рассматриваемом случае фундамента квадратный, поэтому $\eta = 1.0$)

и $\xi = \frac{2z}{b_{\text{усл}}}$ (z – глубина залегания подошвы слоя грунта, у подошвы условного

фундамента $z=0$ м (рис. 4.7)) из СП 22.13330.2016, табл. 5.8 (для промежуточных η и ξ коэффициент α определяется интерполяцией).

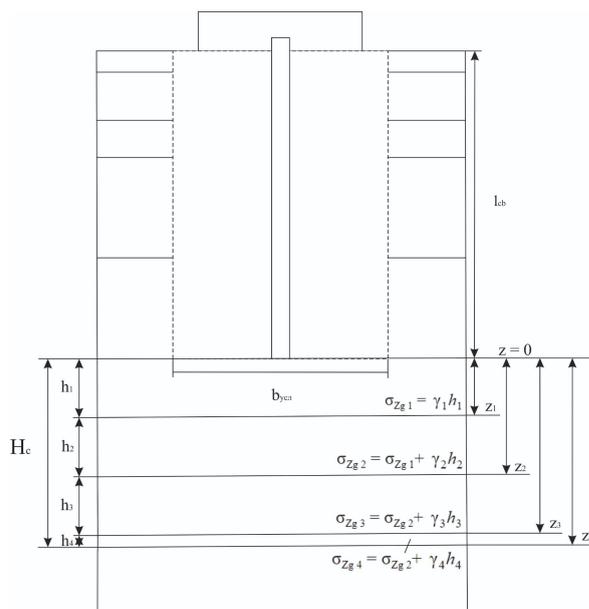


Рисунок 4.7. Схема для определения мощности сжимаемой толщи

Нижнюю границу сжимаемой толщи основания принимают на глубине $z = H_c$, где выполняется условие $\sigma_{zp} = 0.2\sigma_{zg}$. При этом глубина сжимаемой толщи H_{min} должна быть не меньше $b/2$, равной при $b < 10$ м.

Тогда осадка в пределах сжимаемого слоя будет находиться как сумма осадок элементарных слоев:

$$s = \beta \cdot \sum \frac{\sigma_{zp\text{ ср}} \cdot h_i}{E_i}$$

(18)

, где β – безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента относительных поперечных деформаций, принимаемый равным 0.8;

E_i – модуль деформации i -го слоя грунта, тс/м²;

$\sigma_{zp\text{ ср}}$ – среднее дополнительное напряжение i -го слоя:

$$\sigma_{zp\text{ ср}} = \frac{\sigma_{zp\text{ }i-1} + \sigma_{zp\text{ }i}}{2} \quad (19)$$

, где $\sigma_{zp\text{ }i}$ – дополнительное напряжение на подошве i -го слоя, тс/м²;

$\sigma_{zp\text{ }i-1}$ – дополнительное напряжение на кровле i -го слоя (на подошве предыдущего), тс/м².

Для скв. 674 при $z = 0$ учитывается только дополнительное напряжение, которое равно напряжению, создаваемому давлением условного фундамента $\sigma_{zp} = 106$ тс/м². Данные для определения сжимаемой толщи приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7. Результаты расчета нагрузок для скв. 674

№ ИГЭ	z, м	Глубина залегания от поверхности, м	ξ	α	Собственная нагрузка σ_{zg} , тс/м ²	Дополнительная нагрузка σ_{zp} , тс/м ²	Доп/собств
22	2.22	43.07	0.80	0.8	46.34	84.80	1.83
22	4.44	45.29	1.60	0.449	92.68	47.59	0.51
22	6.66	47.51	2.40	0.257	139.02	27.24	0.20

Условие $\sigma_{zp} = 0.2\sigma_{zg}$ выполняется при мощности сжимаемой толщи $H_c = 6.66$ м.

Тогда полная осадка будет составлять (здесь и далее $\frac{1}{102}$ - коэффициент перевода МПа в тс/м²):

$$s = 0.8 \cdot \left(\frac{95.4 \cdot 2.22}{36 \cdot 102} + \frac{66.195 \cdot 2.22}{36 \cdot 102} + \frac{37.415 \cdot 2.22}{36 \cdot 102} \right) = 0.0963 \text{ м} = 9.63 \text{ см}$$

Для скв. 678 при $z = 0$ учитывается только дополнительное напряжение, которое равно напряжению, создаваемому давлением условного фундамента $\sigma_{zp} = 111$ тс/м². Данные для определения сжимаемой толщи приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8. Результаты расчета нагрузок для скв. 678

№ ИГЭ	z, м	Глубина залегания от поверхности, м	ξ	α	Собственная нагрузка σ_{zg} , тс/м ²	Дополнительная нагрузка σ_{zp} , тс/м ²	Доп/собств
22	1.956	41.806	0.80	0.8	40.83	88.80	2.17
22	3.912	43.762	1.60	0.449	81.66	49.84	0.61
22	5.868	45.718	2.40	0.257	122.49	28.53	0.23
22	6.2	46.05	2.54	0.237	129.42	26.31	0.20

Условие $\sigma_{zp} = 0.2\sigma_{zg}$ выполняется при мощности сжимаемой толщи $H_c = 6.2$ м.

Тогда полная осадка будет составлять:

$$s = 0.8 \cdot \left(\frac{99.9 \cdot 1.956}{36 \cdot 102} + \frac{69.32 \cdot 1.956}{36 \cdot 102} + \frac{39.185 \cdot 1.956}{36 \cdot 102} + \frac{27.42 \cdot 0.332}{36 \cdot 102} \right) = 0.0908 \text{ м} = 9.08$$

см

Для скв. 16 при $z = 0$ учитывается только дополнительное напряжение, которое равно напряжению, создаваемому давлением условного фундамента $\sigma_{zp} = 108$ тс/м². Данные для определения сжимаемой толщи приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9. Результаты расчета нагрузок для скв. 16

№ ИГЭ	z, м	Глубина залегания от поверхности, м	ξ	α	Собственная нагрузка σ_{zg} , тс/м ²	Дополнительная нагрузка σ_{zp} , тс/м ²	Доп/собств
22	1.964	40.814	0.80	0.8	41.00	86.40	2.11
22	3.928	42.778	1.60	0.449	81.99	48.49	0.59
22	5.892	44.742	2.40	0.257	122.99	27.76	0.23
22	6.2	45.05	2.53	0.239	129.42	25.81	0.20

Условие $\sigma_{zp} = 0.2\sigma_{zg}$ выполняется при мощности сжимаемой толщи $H_c = 6.2$ м.

Тогда полная осадка будет составлять:

$$s = 0.8 \cdot \left(\frac{97.2 \cdot 1.964}{36 \cdot 102} + \frac{67.445 \cdot 1.964}{36 \cdot 102} + \frac{38.125 \cdot 1.964}{36 \cdot 102} + \frac{26.785 \cdot 0.308}{36 \cdot 102} \right) = 0.0886 \text{ м} = 8.86$$

см

Для скв. 19 при $z = 0$ учитывается только дополнительное напряжение, которое равно напряжению, создаваемому давлением условного фундамента $\sigma_{z_p} = 111 \text{ тс/м}^2$. Данные для определения сжимаемой толщи приведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10. Результаты расчета нагрузок для скв. 19

№ ИГЭ	z, м	Глубина залегания от поверхности, м	ξ	α	Собственная нагрузка σ_{z_g} , тс/м ²	Дополнительная нагрузка σ_{z_p} , тс/м ²	Доп/собств
22	2.072	44.922	0.80	0.8	43.25	88.80	2.05
22	4.144	46.994	1.60	0.449	86.50	49.84	0.58
22	6.216	49.066	2.40	0.257	129.75	28.53	0.22
22	6.41	49.26	2.47	0.247	133.80	27.42	0.20

Условие $\sigma_{z_p} = 0.2\sigma_{z_g}$ выполняется при мощности сжимаемой толщи $H_c = 6.41 \text{ м}$.

Тогда полная осадка будет составлять:

$$s = 0.8 \cdot \left(\frac{99.9 \cdot 2.072}{36 \cdot 102} + \frac{69.32 \cdot 2.072}{36 \cdot 102} + \frac{39.185 \cdot 2.072}{36 \cdot 102} + \frac{27.975 \cdot 0.194}{36 \cdot 102} \right) = 0.0953 \text{ м} = 9.53$$

см

4. Разность осадок фундамента

Относительная разность осадок находится по формуле:

$$\Delta s = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{L} \quad (19)$$

, где s_{\max} – максимальная осадка на участке, м;

s_{\min} – минимальная осадка на участке, м;

L – расстояние между ними, м.

$$\Delta s = \frac{0.0963 - 0.086}{20.67} = 0.0005$$

Таким образом, все рассчитанные осадки не превышают максимальные значения, установленные СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1, а именно 10 см для осадки и 0.002 для относительной разности осадок. Следовательно, рассчитанный свайный фундамент может быть использован.

Заключение

В ходе анализа инженерно-геологических условий строительства и взаимодействия фундамента с грунтовым основанием в Центральном районе города Санкт-Петербурга были выполнены следующие задачи:

– изучена литература по рассматриваемой местности, исходя из которой были получены общие представления о территории. Данные о географии региона позволяют оценить целесообразность, возможность и темпы строительства в городе. Город обладает постоянно увеличивающейся высокой плотностью населения, а также имеет стабильное социально-экономическое развитие, которые обуславливают высокие темпы и практическую значимость строительства. Данные о геоморфологическом строении позволяют оценить закономерности рельефа, а также обратить внимание на важную особенность в разрезе – наличие палеодолин, которые имеют высокую степень водонасыщения и плавунные свойства. Данные о гидрографии и гидрологии позволяют оценить эрозионно-аккумулятивную деятельность водоемов и риски затопления территории. Данные о климате позволяют оценить питание грунтовых вод за счет инфильтрации, а также возможность развития морозного пучения. Данные о стратиграфии и тектонике позволяют оценить пригодность для наземного строительства, а данные о гидрогеологии позволяют оценить риски подтопления подземными водами;

– проанализирован план участка работ с расположением 5 пробуренных ЗАО “ЛентиСИЗ” скважин и 8 архивных скважин, а также результаты статического зондирования, которые проводились для уточнения границ слоев. Были изучены 9 разрезов, из которых было выбрано 2 характерных разреза, отвечающих участку строительства жилого дома: разрез по линии VI-VI и разрез по линии VII-VII. В пределах этих разрезов для дальнейшего детального рассмотрения были отобраны 4 скважины: скв. 674, 678, 16 и 19, которые находятся вблизи углов проектируемого здания. По результатам статического зондирования также было сделано предположение о возможности использования верхнекотлинских глин в качестве надежного основания;

– по результатам расчетов несущей способности одиночных свай был сделан вывод о том, что висячие сваи, погруженные в вендские глины, действительно обладают достаточной несущей способностью в пределах 585-693 тс, чтобы выдержать нагрузку от здания в 250 тс на сваю. По результатам расчета осадки сделан вывод о том,

что предложенные характеристики фундамента (а именно, размеры фундамента в плане, размеры ростверка, а также длина и поперечное сечение свай) удовлетворяют требованиям по допустимым осадкам, возникающим в результате взаимодействия грунтов со свайным фундаментом.

Кроме того, можно дать рекомендации о соблюдении мер безопасности при строительстве во избежания затопления подземными водами, так как грунты имеют как безнапорные (приуроченные к ИГЭ 1, ИГЭ 2,4-5, а также к прослоям песков в глинистых грунтах ИГЭ 7 и ИГЭ 8), так и один напорный (приуроченный к ИГЭ 18) водоносные горизонты. Следует обратить внимание на то, что в разрезе есть пески пылеватые (ИГЭ 2 и ИГЭ 13), которые насыщены водой и обладают возможностью образовать пьезуны, а также тиксотропные грунты ИГЭ 7, 8, 14, 15, которые при приложении сил переходят в текучее состояние. Наконец рекомендуется произвести выемку и замену песчаной подсыпкой органо-минеральных грунтов (ИГЭ 6).

В заключение, хотелось бы выразить благодарность моему научному руководителю Страупнику И.А. за тщательное консультирование по данной работе, старшему преподавателю кафедры грунтоведения и инженерной геологии СПбГУ Еремеевой А.А. за помощь в поиске материалов и овладении навыками расчета свайного фундамента, а также ЗАО “ЛентиСИЗ” за предоставление технического отчета.

Список использованной литературы

1. Бискэ, Г.С. Геология России: курс лекций. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. – 2019. – 228 с.
2. Вербицкий, В.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы 0-35 – Псков, (N-35) 0-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка / В. Р. Вербицкий, И. В. Вербицкий, О. В. Васильева, В. В. Саванин [и др.]. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2012. – 510 с.
3. Виноград, Н.А. Особенности формирования подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов Санкт-Петербурга и окрестностей по данным о химическом и изотопном составе / Н.А. Виноград, И.В. Токарев, Т.А. Строганова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2019. – 64 (4). – с. 575–597.
4. Геологические и экологические риски Санкт-Петербурга. Практические рекомендации по адаптации к климатическим изменениям / О. Томилова, Ю. Меньшова, Г. Савенкова и др. – Санкт-Петербург. – 2014. – 78 с.
5. Геологический Атлас Санкт-Петербурга / Т.С. Бахарев, В.А. Жамойда, С.Э. Зубарев и др.; отв. ред. Н.Б. Филиппов, науч. ред. М.А. Спиридонов. – СПб: Комильфо. – 2009. – 57 с.
6. Грейсер Е.Л. Строение и происхождение Дудергофских высот (окрестности Ленинграда) / Е.Л. Грейсер, Р.Э. Дашко, И.В. Котлукова, Д.Б. Малаховский // Известия ВГО. – 1980. – том 112, № 2. – с. 138-146.
7. Дашко, Р.Э. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, П.В. Котюков, А.В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – №1. – с. 1-47.
8. Красная книга Санкт-Петербурга / Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности; Ботанический институт им. В. Л. Комарова и др.; редакционная коллегия: Д. В. Гельтман (отв. ред.) и др.. – Санкт-Петербург: Дитон. – 2018. – 568 с.
9. Мохнач, М.Ф. Методическое пособие по учебной геологической практике / Мохнач М.Ф., Прокофьева Т.И. // СПб.: Изд-во РГГМУ. – 2007. – 56 с.
10. Новикова, А.Ю. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации на

объекте "Жилой дом со встроенными помещениями и встроенной автостоянкой" по адресу: г. Санкт-Петербург, Центральный район, ул. Боровая, д. 19. – Санкт-Петербург: ЗАО «ЛЕНТИСИЗ». – 2016.

11. Об утверждении краткосрочного плана реализации региональной программы капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах в Санкт-Петербурге в 2020, 2021 и 2022 годах: распоряжение Жилищного комитета от 31.12.2019 № 2421-р // Правительство Санкт-Петербурга. – 2019.

12. Петербург в цифрах [Электронный ресурс] / Администрация Санкт-Петербурга. Официальный сайт. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург. – 2015. – Режим доступа: <https://www.gov.spb.ru/helper/day/> (дата обращения: 10.04.2020).

13. Подковыров, В.Н. Литогеохимия и условия формирования отложений верхнего венда и нижнего кембрия северо-запада Балтийской моноклинали / В.Н. Подковыров, Л.Н. Котова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2020. – 65 (3). – с. 600–619.

14. Санкт-Петербург 1999–2019: что обрел и потерял город за 20 лет [Электронный ресурс] // Ведомости. – 2019. – 4 декабря. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2019/12/04/817884-sankt-peterburg-1999-2019> (дата обращения: 07.05.2020).

15. Свиточ, А.А. Голоценовая история Каспийского моря и других окраинных бассейнов Европейской России: сравнительный анализ // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2011. – №2. – с. 28-38.

16. Свод правил: СП 14.13330.2018 – Строительство в сейсмичных районах [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: Стандартинформ. – 2018. – 115 с.

17. Свод правил: СП 22.13330.2016 – Основания зданий и сооружений [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва. – 220 с.

18. Свод правил: СП 24.13330.2011 – Свайные фундаменты [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва. – 2011. – 85 с.

19. Свод правил: СП 47.1330.2016 – Инженерные изыскания для строительства [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: Стандартинформ. – 2017. – 82 с.

20. Селиванов, В.А. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000 (первое поколение). Серия Ильменская. Лист О-36-I. Объяснительная записка / В.А. Селиванов, И.С. Недригайлова; ред. Т.Н. Алихова // Москва: ГНТИ. – 1963. – 124 с.

21. Теоретические уровни затопления Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] / Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений. –

Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург. – 2000. – Режим доступа: <http://www.semiotic.ru/d/pro/levels.htm> (дата обращения: 24.04.2020).

22. Территориальные строительные нормы: ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург – Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге [Текст]: нормативно-технический материал. – Санкт-Петербург. – 2004. – 57 с.

23. Федоров, П.В. Стратиграфия, геологическая история и тектоника долины реки Поповки // Окружающая среда Санкт-Петербурга. – 2019. – № 2(12). – с. 90-106.

24. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2020 года [Электронный ресурс] / Росстат. Федеральная служба государственной статистики. – Электрон. текстовые дан. – Москва. – 2020. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 10.04.2020).

25. Энциклопедический справочник «Санкт-Петербург» [Электронный ресурс]: Рельеф Санкт-Петербурга. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: https://sankt-peterburg.academic.ru/2563/Рельеф_Санкт-Петербурга (дата обращения: 14.05.2021).

26. Энциклопедия Санкт-Петербург [Электронный ресурс]: Возвышенности и высоты / Комитет по культуре Санкт-Петербурга; Институт Петра Великого. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург. – 2015. – Режим доступа: <http://www.encspb.ru/object/2803921001> (дата обращения: 11.04.2020).

27. WeatherOnline [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pogodaonline.ru/> (дата обращения: 07.05.2020).