

Санкт-Петербургский государственный университет

Юферова Дария Сергеевна

Выпускная квалификационная работа

**ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЙ НА УЧАСТКАХ РАЗВИТИЯ ТОРФЯНЫХ
ГРУНТОВ**

Основная образовательная программа бакалавриата
«Геология»

Научный руководитель: к. г.-м. н.,
доцент Корвет Надежда Григорьевна

_____ 2018
« » _____

Рецензент: канд. тех. наук
Городнова Елена Владимировна

_____ 2018
« » _____

Санкт-Петербург
2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Физико-географический очерк	4
1.1. Орогидрография.....	4
1.2. Климатические условия	8
Глава 2. Геологическое строение территории	9
2.1. Стратиграфия	9
2.2. Тектоника	15
Глава 3. Гидрогеологические условия территории	19
Глава 4. Инженерно-геологические особенности торфяных грунтов	23
Глава 5. Устройство фундаментов на торфяных грунтах для промышленных и гражданских сооружений	27
5.1. Типы оснований.....	27
5.2. Свайные фундаменты.....	29
5.2.1. Свайные фундаменты на торфяных грунтах.....	30
5.2.2. Особенности работы свай при вертикальной нагрузке.....	32
Глава 6. Инженерно-геологическая характеристика участка строительства.....	35
6.1. Местоположение и рельеф.....	35
6.2. Геологическое строение.....	35
6.3. Гидрогеологические условия.....	36
6.4. Состав и физико-механические свойства грунтов	37
Глава 7. Инженерно-геологические расчеты	38
7.1. Расчёт свайных фундаментов и их оснований.....	38
7.2. Особенности расчёта несущей способности свай в торфяных грунтах	39
7.3. Учёт изменения показателей физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов, залегающих ниже толщи болотных отложений, в расчётах несущей способности свай и свайных фундаментов	41
7.4. Расчёт несущей способности висячей забивной свай	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	48
ПРИЛОЖЕНИЯ	49

ВВЕДЕНИЕ

Значительные территории России являются заболоченными, т.е. покрыты слоем торфа, что вызывает при проектировании и возведении сооружений определенные трудности. Наличие торфа на площадке существенно ухудшает работу основания из минеральных грунтов, на которых могут происходить значительные осадки. Исходя из необходимости освоения подобных территорий и использования торфяных грунтов в качестве оснований для промышленных и гражданских сооружений, одной из главных задач является разработка и научное обоснование методов строительства на них.

Учитывая наличие на территории Санкт-Петербурга и области участков, предполагаемых для использования строительства промышленных и гражданских сооружений, в геологическом разрезе которых с поверхности и на глубине развит торф, в представленной работе рассматриваются особенности работы оснований, проектирования и устройства оснований и фундаментов на подобных участках.

Исходя из этого, *целью* данной выпускной квалификационной работы является:

- инженерно-геологическая оценка условий строительства административного здания на участке развития торфяных грунтов во Всеволожском районе Ленинградской области.

Для её достижения были поставлены следующие *задачи*:

- изучить литературные источники и нормативные документы по исследованию влияния особенностей торфяных грунтов на строительство сооружений,

- охарактеризовать инженерно-геологические условия строительной площадки во Всеволожском районе Ленинградской области,

- обосновать выбор фундамента для административного здания при наличии в разрезе торфа,

- произвести расчёт несущей способности сваи двумя способами: при возникновении отрицательного трения и с внесением изменений в расчётную схему, учитывающей изменение показателей свойств дисперсных грунтов, залегающих ниже торфа; сравнить полученные данные.

Данная работа основана на материалах инженерно-геологических изысканий института «Ленгидропроект» на площадке проектируемого строительства комплекса во Всеволожском районе Ленинградской области.

Выражаю благодарность за постоянные консультации при написании бакалаврской работы своему научному руководителю доц. Корвет Н.Г.

Глава 1. Физико-географический очерк

1.1. Орогидрография

Ленинградская область занимает площадь 85308 км². Абсолютные отметки высот поверхности колеблются от 0 до 200 м над уровнем мирового океана (Атлас, 1967; Киселёв и др., 1997).

Большая часть территории области расположена в пределах северо-западной окраины Русской плиты. В общем виде поверхность представляет собой ступенчатую равнину куэстового типа.

Современный рельеф территории сформировался в результате длительного взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов и отражает особенности геологического и тектонического строения территории.

Историю формирования рельефа области можно разделить на три основных этапа: доледниковый (дочетвертичный), ледниковый и послеледниковый.

В доледниковое (дочетвертичное) время вследствие неравномерного тектонического поднятия территории (более интенсивного в ее северной части), выветривания древних пород и сноса продуктов выветривания сформировался денудационно-тектонический рельеф на кристаллических породах. На остальной части территории, сложенной залегающими наклонно осадочными породами, возник структурно-денудационный рельеф - ряд невысоких ступенчатых плато и низин, разделенных уступами. В это время образовались котловины Онежского и Ладожского озер и впадина Финского залива. Крупные формы доледникового рельефа - возвышенности и низины отчетливо выражены в современном рельефе области. К депрессиям в поверхности дочетвертичных пород приурочены наиболее крупные низины (Приладожская, Предглинтовая, Волховская).

Наиболее низкой является Предглинтовая низменность (Приморская равнина, Приневская низина), поверхность которой сложена морскими послеледниковыми отложениями. Она окаймляет Финский залив и является низкой заболоченной поверхностью. Её цоколь, погруженный на глубину до минус 50 м (в Приневской низине), состоит из пород венда и кембрия. Дочетвертичная поверхность Предглинтовой низменности изрезана древними долинами. Абсолютные отметки дна некоторых из них располагаются на 100 м ниже уровня моря.

Южнее ордовикского плато располагается равнинная поверхность главного девонского поля, наклоненная в целом в сторону долины реки Волхов и котловины озера Ильмень. В междуречье Луги и Плюсы девонская поверхность рассечена густой сетью древних долин,

образованных в неотектонический этап (неоген) вследствие подъема территории и усиления эрозии. Эти древние долины не всегда совпадают с современными. В четвертичное время территория неоднократно покрывалась материковыми льдами, мощность которых превышала 1,5-2,0 км. В последнюю межледниковую эпоху (85-75 тыс. лет назад) северная часть территории была затоплена водами моря, в результате переноса и отложения осадков ледниками и талыми ледниковыми водами, а также в результате отложения толщи морских осадков были несколько сглажены неровности доледникового рельефа. В период предпоследнего и последнего оледенений сформировался аккумулятивный ледниковый и водноледниковый рельеф: моренные равнины, холмисто-моренные формы, камы, озерно-ледниковые, абразионно-аккумулятивные и абразионные террасированные равнины, а так же озовые гряды, по своей морфологии, напоминающие железнодорожные насыпи.

Холмисто-моренный рельеф представляет собой беспорядочное скопление холмов, чередующихся с понижениями, нередко занятыми озерами и болотами. Холмы сложены супесями и суглинками со щебнем и валунами. Они образовались в результате заполнения трещин в леднике обломочным материалом. Участки холмисто-моренного рельефа можно наблюдать в Южной части Лужского района, на Ижорской возвышенности, но особенно широко формы ледниковой аккумуляции распространены в восточной части области - в Лодейнопольском, Подпорожским и Бокситогорском районах.

Перед краем ледника в позднеледниковое время существовали подгруженные озера, в которых отлагался песчано-глинистый материал (ленточные глины). Теперь это озерно-ледниковые равнины, сложенные, в основном, ленточными глинами и песками.

Камовый рельеф - это скопление холмов, сложенных обычно песками. Образовались камы во время стаивания последнего ледникового покрова, когда в толще льда возникали проталины - озера, заполнявшиеся осадками.

В конце последнего оледенения, во время таяния ледника, воды, скапливаясь в низинах, образовывали обширные озерные бассейны, уровень которых лежал не ниже 150-155 м абс.. По мере спада уровня воды в этих бассейнах возникали ступени - террасы, сохранившиеся до наших дней на склонах Валдайской возвышенности, а также участки абразионно-аккумулятивных и абразионных озерно-ледниковых равнин. В заключительную фазу последнего оледенения (12,5-10,0 тыс. лет назад) обширный приледниковый водоем существовал и в Предглинтовой низменности. В это время Центральная возвышенность Карельского перешейка являлась островом. Следы абразионно-аккумулятивной деятельности этого водоема отчетливо выражены в виде серии террас на склонах этой возвышенности и на побережьях Финского залива, Ладожского и Онежского озёр.

После стаивания последнего ледникового покрова и спуска озерноледниковых водоемов (последние 8-9 тыс. лет) развитие рельефа происходила под влиянием эрозивно-аккумулятивной деятельности рек, абразии и аккумуляции озерных и морских водоемов, эоловой деятельности, карстовых процессов и торфообразования. Значительное влияние оказывало неравномерное поднятие территории, более значительное на севере. В результате этого поднятия (5-6 тыс. лет назад) прекратил свое существование пролив в районе Выборга, соединявший Ладожское озеро с Литориновым морем. Значительное поднятие северного побережья Ладожского озера вызвало перемещение водных масс к югу и затопление южного побережья этого озера. Результатом этой трансгрессии явилось и возникновение р. Невы (4,5-5 тыс. лет назад).

Все перечисленные выше факторы привели к формированию современного рельефа Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

На северо-западе, в пределах Балтийского щита, протягивается полоса грядового и холмистого рельефа (до 70-80 м абс.). Южнее расположена широкая полоса низин (с отдельными возвышенностями до 205-210 м абс.) и крупных впадин с Онежским и Ладожским озерами и Финским заливом. На юге она ограничена Балтийско-Ладожским уступом (Ордовикский глинт), высотой 40-60 м. Глинт пересекают многие реки, на которых наблюдаются водопады (лучше всего такой водопад сохранился на р. Саблинке). Вдоль подножья глинта расположена Предглинтовая низменность, включающая в себя отдельные возвышенности (Колтушская, Сойкинская). На побережье Ладожского озера эта низменность носит название Приладожской, в бассейне реки Невы - Приневской, а западнее Санкт-Петербурга - Приморской.

Южнее глинта простирается Ордовикское плато, его западная повышенная часть называется Ижорской возвышенностью (168 м абс.), а восточная, пониженная - Путиловским плато (50-70 м абс.). Отличительной чертой Ижорской возвышенности является почти полное отсутствие рек и озер. Здесь часто встречаются сухие долины и карстовые воронки.

С юга и востока к Ордовикскому плато примыкает обширная равнина (100-150 м абс.), ограниченная на востоке ступенчатым склоном Валдайской возвышенности.

Восточную часть области занимает северная оконечность Валдайско-Онежской возвышенности (Тихвинская гряда и Вепсовская возвышенность), которая ограничена с запада Карбоновым уступом. Здесь также развиты древние погребенные и полупогребенные долины и ложбины стока. Также на севере и на юге есть изолированные возвышенности - это останцы полигенетических аккумулятивных равнин высотой до 90-110 м (Парголовская, Юкковская и др.). (Матинян, 2003).

Территория Ленинградской области характеризуется хорошо развитой гидрографической сетью. Избыточно влажный климат обуславливает обилие рек, озер и болот.

Большая часть рек принадлежит к бассейну Балтийского моря. Лишь на востоке области расположены верховья рек Колпи, Суды, Мологи и ряда более мелких, относящихся к бассейну Каспийского моря. Водоразделом этих двух основных бассейнов является Валдайская возвышенность. Реки, берущие начало на ее западном склоне, относятся к бассейну Балтийского, а на восточном - к бассейну Каспийского моря. Внутренними водоразделами являются Ижорская, Лужская, Судомская, Бежаницкая возвышенности.

Речная сеть густая (0,35 км/км²). Исключение составляет ордовикское плато, где дождевые и талые воды поглощаются карстовыми воронками.

Основная масса вод области сбрасывается в Балтийское море через Неву, средний годовой расход которой - 2600 м³/сек.

Для рек характерен слабо выработанный продольный профиль с одной или двумя надпойменными террасами, иногда только с поймой, Это свидетельствует о молодости гидрографической сети. Долины крупнейших рек обычно четко подразделяются на участки верхнего, среднего и нижнего течения. Реки области характеризуются смешанным питанием с преобладанием снегового (40-50% от годового стока) и большей долей дождевого (30%), по сравнению с подземным (до 25%). По характеру водного режима реки относятся к восточноевропейскому типу с высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и подъемом уровня воды осенью под влиянием обложных дождей. Эти общие черты нарушаются лишь на сильно зарегулированных озерами реках, где колебания стока сглажены.

Общая заболоченность территории Ленинградской области очень велика: площадь болот достигает 17%. Преобладают верховые болота. Максимальная мощность торфа на болотах достигает 9 м и более. Низинные болота распространены незначительно, они встречаются в пойменных террасах рек и в прибрежной полосе озер. Питание большинства низинных озер происходит за счет паводковых вод, болота грунтового (ключевого) питания редки, занимают незначительные площади.

Крупнейшими болотами являются Зеленецкий мох (площадь 60,2 тыс. га, бассейн реки Сясь и Паши), Мшинское болото (39 тыс. га, бассейн р. Оредеж), Тесовское болото (36,1 тыс. га, водораздел бассейнов Луги и Волхова).

Озерность Ленинградской области составляет 14%. Озера разнообразны по размерам, форме, происхождению. Наиболее крупные озера расположены в районе Парголово и Шувалово. Это Большое, Среднее и Верхнее Шуваловские (Суздальские) озера. Площадь Большого Шуваловского озера составляет 72,40 га, средняя глубина – 2,5-3,0 м.

Финский залив имеет протяженность около 420 км, ширину в восточной части 15 км, в средней - 130 км, а в западной - 75 км. Площадь залива около 29500 км². Северный берег сильно изрезан заливами - фьордами, с множеством мелких островков. Благодаря притоку большого количества пресной воды, которую несут впадающие в него реки, вода в Финском заливе отличается слабой соленостью. Приливы и отливы в Финском заливе не заметны, но часты волнения, называемые циклонами. Замерзает лишь восточная часть залива. Окончательное освобождение ото льда происходит в конце апреля - начале мая.

1.2. Климатические условия

Радиационные условия территории определяются положением области в северных широтах и, следовательно, большой изменчивостью в течение года высоты стояния солнца над горизонтом и продолжительности дня (от 5.50 до 18.55 часов («Белая ночь»)). Приход солнечной энергии неравномерен: ничтожно мал зимой и достаточно высок летом (Атлас, 1967; Ленинград, 1977).

При формировании климата на радиационные условия накладывается влияние морских (Атлантических) и континентальных воздушных масс умеренных широт западных и восточных направлений. Очень часты вторжения холодного арктического воздуха. На территории области ярко выражена активная циклоническая деятельность.

В результате взаимодействия всех климатообразующих факторов на территории области формируется климат, переходный от континентального к морскому с умеренно теплым летом, довольно продолжительной умеренно холодной зимой и неустойчивым режимом погоды. Среднегодовая температура воздуха составляет +3,7-4,3°С. Средняя температура наиболее теплого месяца (июля) +17-17,8°С, а наиболее холодного (января) -8-8,1°С.

Территория области расположена в зоне избыточного увлажнения. Большая часть тепла, приходящего от солнца, тратится на испарение (75%), и до 30% - на таяние снега и льда. На прогревание воздуха и почвы остается ничтожно малая доля тепла (около 5%). Среднегодовое количество осадков 550-850 мм с максимумом в августе и минимумом в марте. Устойчивый снежный покров устанавливается с начала декабря, а окончательное таяние снега как правило завершается к середине апреля. Максимальной высоты снежный покров достигает в третьей декаде марта. Реки замерзают в конце ноября - начале декабря и вскрываются в апреле. Средняя глубина промерзания почвы 1,2 м.

Среднегодовая абсолютная влажность воздуха 5,6 мм с минимумом в феврале (2,3 мм) и максимумом в июле (до 11,1 мм). Относительная влажность колеблется от 93% в сентябре - декабре до 70% в мае - июле.

Глава 2. Геологическое строение территории

2.1. Стратиграфия

Геологическое строение области обусловлено ее положением на стыке Балтийского кристаллического щита, сложенного дислоцированными и в различной степени метаморфизированными докембрийскими образованиями, и Русской плиты, образованной осадочными породами (Геология СССР, 1971).

В северной части Карельского и Олонецкого перешейков непосредственно на поверхность выходят древнейшие кристаллические породы архейского и протерозойского возрастов. На всей остальной территории области развита мощная (до 1200-1300 м) толща верхнепротерозойских и палеозойских осадочных пород. Породы залегают наклонно, со слабым падением под углом 10-20° к юго-востоку и образуют на северо-западе крыло Московской синеклизы. Древние породы перекрыты четвертичными отложениями, мощность которых достигает местами 200 и более метров (рис.1).

Архейская акротема

(AR, возраст более 2500 млн. лет)

Самые древние, архейские, породы представлены различными гнейсами, кристаллическими сланцами. Эти породы составляют основной фон геологической карты Приозерского района. Архейские образования прорываются многочисленными интрузиями гранитов и, реже, диоритов и габбро.

Протерозойская акротема

(PR, возраст 2500-570 млн. лет назад)

Протерозойские породы выходят на поверхность в Подпорожском районе и на Онежско-Ладожском перешейке. Они представлены пестро-красноцветными кварцито-песчаниками шокшинской свиты нижнего протерозоя (PR₁). В северо-восточной части Подпорожского района встречаются жилы долеритов (диабазов), жилы кислых пород, прослои мигматитов.

Выше по разрезу залегают гравелиты и конгломераты рифея (R). В юго-восточной части Приозерского района они залегают непосредственно под четвертичными отложениями. Юг Карельского перешейка и южное побережье Финского залива слагают песчаники и алевролиты гдовского и глины, алевролиты и песчаники котлинского горизонтов (венд, V).

Палеозойская эратема

(PZ, возраст 570-248 млн. лет назад)

В основании палеозойской эратемы залегают отложения кембрийской системы (Є, 570-505 млн. лет). Они распространены к югу от Финского залива и Ладожского озера. В юго-восточной части области они залегают на глубине 450-500 м. Общая мощность кембрийских пород достигает 130 и более метров.

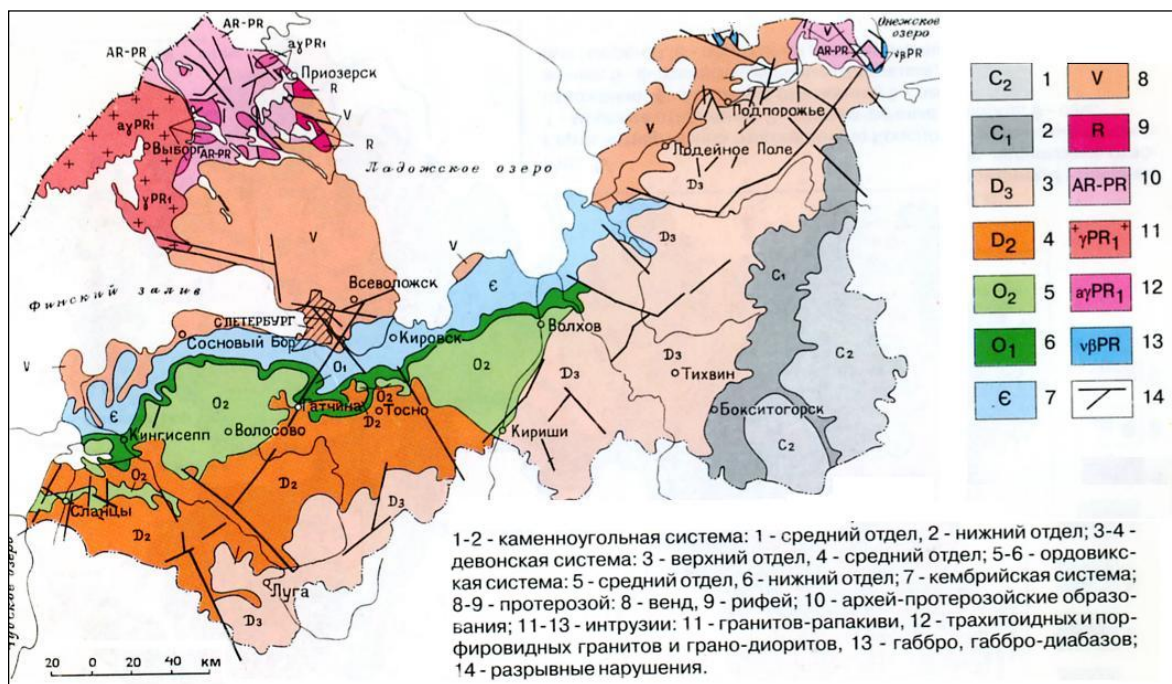


Рисунок 1. Карта дочетвертичных отложений Ленинградской области по В.Г. Гаскельбергу и В.С. Кауфману, 1988 г. (Киселев и др., 1997)

Нижняя часть нижнего отдела кембрия (Є₁) - Ломоносовский горизонт - сложена песчаниками, алевролитами и глинами общей мощностью до 23 м. Выше залегают однородные по составу, плотные, часто сланцеватые голубовато- и зеленовато-серые глины лантоваского горизонта. Глины (т.н. «синие глины») в различной степени алевритистые, тонкослоистые с алевритовыми пленками (присыпками) на плоскостях напластования. Эти глины выходят на поверхность в обнажениях в долинах рек, прорезающих глинт (Тосна, Саблинка, Поповка, Ижора). Мощность глин колеблется от 79 до 133 м. Глины перекрываются песчаниками, алевролитами, алевролитовыми глинами с глауконитом.

Средний отдел кембрия (Є₂) сложен микрозернистыми полевошпатокарцевыми косослоистыми песками с линзами кремнистых и карбонатных песчаников мощностью более 30 м. В верхней части располагаются небольшие линзы кварцевых песков, выходящих на поверхность у подножия глинта. Их мощность от 7 до 31 м.

Верхнекембрийские отложения (Є_3) имеют небольшую мощность (1-5 м) и сложены преимущественно кварцевыми песчаниками с прослойками глины и глинистых алевролитов.

В южном и юго-восточном направлениях кембрийские отложения погружаются под образования ордовикской системы (0,505-438 млн. лет).

Отложения ордовикской системы выходят на поверхность в пределах ордовикского и Путиловского плато, на остальной части территории залегают на глубине 75-280 м, а в восточной части отсутствуют.

Отложения нижнего отдела *ордовикской системы* (O_1) имеют небольшую мощность и представлены двумя пачками. Нижнюю слагают отложения пакерортского и леэтского горизонтов. Пакерортский горизонт сложен оболочными песками и песчаниками (включающими обломки и целые створки раковин брахиопод из группы *Obolus*) и, залегающими выше, диктионемовыми сланцами. Оболочный песчаник имеет сплошное распространение к югу от глинта. Его мощность в местах выхода на поверхность колеблется от 2-4,5 (реки Поповка, Славянка, Ижора) до 17-20 м к югу от г. Волхов.

Верхнюю часть пакерортского горизонта слагают, так называемые «диктионемовые сланцы» - темно-коричневые плотные аргиллиты и тонкослоистые сланцеватые глины, состоящие на 80-90% из глинистой минеральной части и 10-20% органического вещества. В них встречаются кристаллы и конкреции пирита, антраконита и мелкие кристаллы гипса. Их мощность непостоянна: от 0,15-0,25 до 5 м.

Верхняя часть нижнего ордовика сложена доломитами и доломитизированными известняками волховского горизонта. Волховский горизонт на основании фаунистических остатков и литологических особенностей подразделяется на три подгоризонта, называемых: «дикари», «желтяки» и «фризы».

Нижний подгоризонт - «дикари» - мощностью до 2,4 м представлен толстоплитчатыми массивными, плотными, крепкими известняками и доломитами с характерными шипообразными выступами на подошве. «Желтяки» залегают выше, их мощность 1-2 м, они менее плотные, более глинистые. Слои «фризов» мощностью 0,7-5 м трещиноватые и тонкоплитчатые, содержат многочисленные слои мергелей и глин.

Среднеордовикские отложения (O_2) представлены преимущественно известняками и доломитами с прослоями мергелей. В нижней части встречаются железистые оолиты, в средней (кукрузерский и идаверский горизонты) - промышленные прослои горючих сланцев.

Верхнеордовикские отложения (O_3) встречаются только на западе Ленинградской области в районе г. Сланцы. Их мощность 14-32 м. Они представлены известняками и доломитами с прослоями глинистых известняков.

В *силуре* (8, 438-408 млн. лет) территория Ленинградской области представляла сушу, подвергавшуюся интенсивному размыву. Отложения этого возраста не сохранились.

Отложения *девонской системы* (D, 408-360 млн. лет) распространены в южной и юго-восточной частях области и занимают 40% ее площади. Восточнее Валдайского уступа они погружаются под осадки каменноугольной системы. Сохранились отложения среднего и верхнего девона.

Средний отдел (D₂) в своей центральной части (наровский горизонт) представлен мергелями, известняками, доломитами с прослоями песчаников, алевролитов и глин. Сверху (пярнусский горизонт) и снизу (старооскольский горизонт) залегают пески и песчаники с прослоями алевролитов и глиной.

Верхнедевонские отложения (D₃) занимают большую часть Ленинградской области. В их составе преобладают песчано-глинистые породы франкского яруса (D_{3f}), и только узкая полоса юго-восточной приграничной части области сложена карбонатными породами.

Отложения *каменноугольной системы* (C, 360-286 млн. лет) распространены восточнее Валдайского уступа в пределах карбонового плато. Они представлены нижними и средними отделами. Общая мощность отложений составляет около 300 м.

В нижнем отделе (C₁) объединены отложения тульского, алексинского, михайловского, веневского, тарусского, стешевского и протвинского горизонтов визейского (C_{1v}) и серпуховского (C_{1s}) ярусов. В песчано-глинистых отложениях тульского горизонта располагаются месторождения бокситов, огнеупорных и тугоплавких глин. Песчано-глинистая толща алексинского горизонта содержит высоко кремнеземистые кварцевые пески. Карбонатная толща веневского горизонта сложена в верхней части доломитами и известняками. Выше по разрезу залегают крепкие доломитизированные известняки тарусского и стешевского горизонтов. Протвинский горизонт сложен в основании песчано-глинистой толщей мощностью 1-10 м, перекрытой карбонатными породами мощностью до 20 м.

В геологическом разрезе Ленинградской области отсутствуют отложения *пермской системы* (P) палеозоя и полностью отсутствуют мезозойские образования (MZ). Они были размывы и снесены за пределы рассматриваемой нами территории.

Кайнозойская эратема

(KZ, от 65 млн. лет назад до наших дней)

Отложения ранних этапов кайнозойской эры (палеогеновые и ранненеогеновые (N₁)) на территории Ленинградской области не сохранились.

Верхнеогеновые (N_2) песчано-глинистые отложения предположительно озерно-речного генезиса вскрыты буровыми скважинами в бассейне реки Оять на глубине более 124 м. Их мощность превышает 25 м.

Четвертичная система (Q)

Четвертичные отложения (Q) практически сплошным чехлом покрывают всю территорию Ленинградской области (рис. 2). Их мощность очень сильно изменяется. Минимальные ее значения 0-3 м наблюдаются на севере Карельского перешейка, на Ижорской возвышенности, Путиловском плато, а максимальные (до 180 м) - в древних долинах и депрессиях. Средняя мощность отложений 50-70 м.

Основную часть разреза составляют ледниковые и водно-ледниковые отложения.

Водно-ледниковые отложения по условиям образования разделяются на флювиогляциальные, сложенные разнозернистыми песками с включениями разного количества гальки, гравия и валунов, и озерно-ледниковые, представленные песками, супесями и глинами характерного ленточного строения.

Ледниковые отложения (морена) представлены несортированной смесью глины, песка, щебня и валунов. Их мощность колеблется в больших пределах и может достигать десятков метров.

Ледниковые отложения разделяются морскими отложениями, связанными с межледниковой бореальной трансгрессией (микулинский горизонт) и развитием Балтийского моря в поздне- и последниковье.

Выделяют четыре горизонта морен, разделенных межморенными отложениями:

Среднечетвертичные отложения залегают ниже микулинского горизонта ($Q_{III}mIII_{mk}$).

К среднечетвертичным отложениям относятся:

- Ледниковые отложения днепровского горизонта (gII_{dn}) залегают на глубине 43,0-53,5 м в северной части, 109,5 м в южной, их мощность 0,25-22,5 м. Они представлены суглинками и глинами с включениями крупнообломочного материала.
- Днепровско-московские флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения - (fg , $IgII_{dn}-ms$) залегают на днепровской и прикрываются московской мореной. Глубина залегания кровли 35-50 м на севере и 60-70 на юге. Представлены неоднородными песками, суглинками и обломочным материалом. Мощность отложений до 42,5 м.
- Московский горизонт включает в себя ледниковые, флювиогляциальные и озерно-ледниковые образования. Внизу залегают ледниковые отложения (gII_{ms}) (широко распространенные в пределах Приморской и Приневской низменностей) на сильно размывших

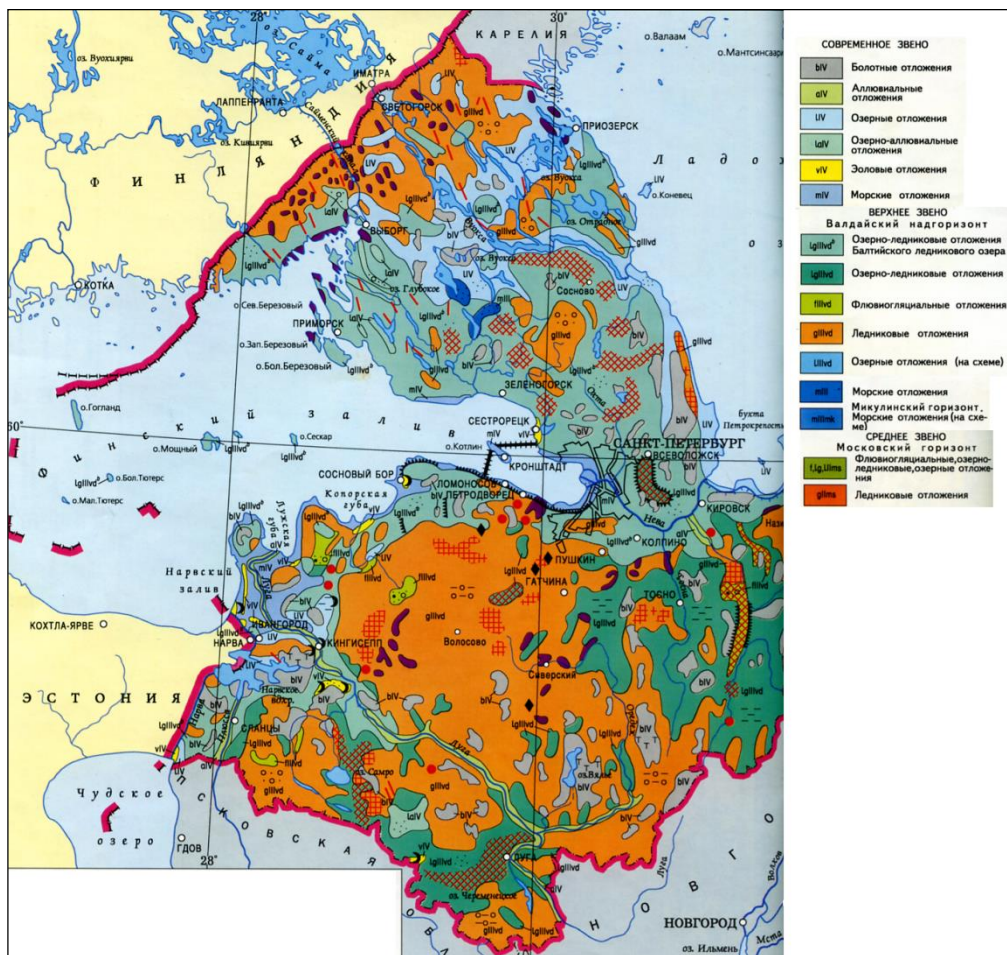


Рисунок 2. Карта четвертичных образований Ленинградской области (Учебный географический атлас, 1997)

днепровско-московских образованиях, либо на коренных породах, и представлены глинами, реже суглинками и супесями. Их мощность варьирует от 1 м на севере до 30 м на юге области. Выше по разрезу располагаются флювиогляциальные отложения (fgIVms), сохранившиеся в отдельных понижениях на поверхности московской морены, представлены мелкозернистыми желтыми песками с гравийно-галечным слоем в основании. Глубина их залегания - от 29 м на севере до 62 м на юге, а мощность достигает 6,5 м. Выше залегают озерно-ледниковые отложения (lgIVo), сложенные песками, суглинками, супесями с редкими включениями гравия и гальки, их мощность 2-4 м.

Верхнечетвертичные отложения представлены микулинским горизонтом и валдайским надгоризонтом.

– Микулинский горизонт (mIVmk) (мгинская толща морских осадков) представлен песками разной крупности с гравием, галькой, зелено-черными глинами и суглинками. Средняя мощность отложений 5-10 м.

– Валдайский надгоризонт состоит из отложений ниже- и верхневалдайского стадийных горизонтов, залегающих несогласно на отложениях микулинского горизонта.

Нижневалдайский горизонт представлен озерными (IIIvd₁), аллювиальными (aIIIvd₁), флювиогляциальными (fgIIIvd₁) и озерно-ледниковыми (lgIIIvd₁) отложениями нерасчлененных кругловских и верхневолжских слоев - от валунно-галечных образований до глин. Верхневалдайский горизонт включает (снизу - вверх):

- лужские ледниковые отложения (gIIIvdlz), представленные пылеватыми суглинками и супесями;

- невские ледниковые отложения (gIIIvdnv), маломощные и малораспространенные, сложенные супесями, реже суглинками и песками;

- отложения первого балтийского ледникового озера (IIIvdb₁), имеющими широкое распространение. Они представлены песками и глинами (в том числе и ленточными), их мощность - 8м;

- отложения первого иольдиевого моря (mIIIvdi₁) - суглинками, супесями и песками;

- отложения второго балтийского озера (IIIvdb₂) – малораспространенные песчанистые отложения.

Современные отложения (Q_{IV}) представлены морскими и континентальными образованиями, сформированными в ходе развития Балтийского моря. Они включают в себя отложения второго иольдиевого моря, анцилового озера, литоринового моря и древнебалтийского моря. Здесь развиты аллювиальные (a_{IV}), озерные (l_{IV}) и органогенные отложения (b_{IV}).

Из континентальных отложений наиболее широко развиты торфяно-болотные. Мощность торфа может превышать 10 м. Практически во всех озерах области распространен озерный ил - сапропель. На песчаных побережьях Финского залива и Ладожского озера распространены эоловые отложения. Молодость речной сети предопределила незначительность развития аллювия. Лишь в некоторых древних долинах можно встретить многометровые слои речных песчано-галечных отложений.

Завершают разрез Ленинградской области техногенные образования (t_{IV}), представленные намывными и насыпными отложениями.

2.2. Тектоника

Ленинградская область расположена в зоне сочленения двух крупных тектонических структур Восточно-Европейской платформы: Балтийского щита и Русской плиты. Эти структуры сопрягаются по линии Финский залив - южный берег Ладожского озера - долина реки Свирь.

Большая часть территории имеет трехъярусное строение: в самом низу залегает складчатый фундамент, выше располагаются осадки Русской платформы, перекрытые четвертичными отложениями различного генезиса.

Наиболее древними кристаллическими образованиями фундамента являются плагиограниты, слагающие срединные массивы. Они облекаются молодыми карельскими и свекофенскими складчатыми системами, состоящими из гнейсов. Карельская складчатая система может быть прослежена из Финляндии через восточную половину акватории Ладожского озера и далее в субмеридиональном направлении через восточную часть Ленинградской области на юг. Свекофенские образования протягиваются через Карельский перешеек в район Санкт-Петербурга и далее уходят на юг.

Структурный план кристаллического фундамента представляет собой систему ступенчатых горстов (Заонежский, Онежско-Ладожский, Центральный горст Карельского перешейка) и грабенов (Онежско-Водлицкий, Волховский, Пашско-Ладожский), имеющих северо-западное простираие. Он оказал большое влияние на характер строения всего вышележащего осадочного чехла.

Крупнейшими структурами осадочного покрова, определяющими его тектонический облик, являются байкальский структурный комплекс, каледонский, герцинский и альпийский структурные яруса, соответствующие главным циклам орогенеза. Основная тенденция самого продолжительного по времени *байкальского* структурного комплекса (1 млрд. лет) - общее погружение территории. В его составе выделяются два яруса - нижнебайкальский, сложенный рифейскими терригенными и вулканогенными образованиями, которыми заполнены линейно-вытянутые впадины - авлакогены, и верхнебайкальский, объединяющий в себе вендские и нижнекембрийские образования.

Каледонский структурный ярус охватывает кембрийские, ордовикские, силурийские и среднедевонские осадки. Тектонический режим этого этапа характеризуется циклическим чередованием опусканий и поднятий отдельных участков суши.

Герцинский структурный ярус сложен породами верхнего девона, карбона и перми. Тектонический режим здесь был более стабильным. Активно проявляли себя лишь разломы, обрамляющие осевые прогибы Московской синеклизы. Усиление тектонической деятельности вдоль всего юго-восточного обрамления Балтийского щита отмечалось лишь в завершающую стадию раннегерцинского времени. С этого периода начался последовательный ступенчатый подъем территории с постепенным захватом все более глубоких частей Московской синеклизы. Верхнегерцинский подъярус распространен в восточной части области и ограничен Карбоновым уступом. Основной тектонической тенденцией в данный период являлось погружение в центральных частях Московской синеклизы и блоковые

дифференцированные движения по ее периферии. В конце герцинского этапа большую активность приобрели вертикальные тектонические движения, способствовавшие общему подъему территории занятой герцинидами.

Альтийский структурный пояс слагает неоген-четвертичные отложения. В это время формируются крупнейшие на северо-западе денудационно-тектонические структуры куэстового типа: Балтийско-Ладожский глинт, Карбоновый уступ, Ижорская возвышенность и Путиловское плато. В неогене территория испытала подъем не менее чем на 100-150 м и, в связи с этим, интенсивный врез речной сети. Днища некоторых древних долин, образованных в это время, располагаются ниже уровня мирового океана на 100 и более метров.

В осадочном покрове северо-западной окраины Русской плиты отмечаются нарушения в виде небольших складок и разрывов. В пределах Ленинградской области выделены несколько зон таких нарушений: гдовская, котловская, гатчинская, мгинская и др.

Гдовская зона тектонических нарушений проходит вдоль западной границы области от поселка Усть-Нарва до г. Гдова. Она фиксируется вертикальными разрывами слоев с амплитудой сбросов от первых сантиметров до 15-20 м. Наиболее хорошо они проявлены в горизонте горючих сланцев Ленинградского месторождения.

Котловская зона нарушений прослеживается между поселком Котлы и озером Самро. Она установлена в породах волховского горизонта. Западное ее крыло опущено относительно восточного примерно на 35 м. Обрывы слоев наблюдаются в отложениях на Веймарнском участке Ленинградского месторождения горючих сланцев. Пликативные дислокации отмечаются в районе поселка Котлы. Собственно котловская дислокация проявлена на площади 0,6 км² и представляет складку куполовидной формы с амплитудой 40 м. Гатчинская зона нарушений расположена по линии Красное Село - г. Гатчина - станция Батецкая. Далее она прослеживается на юг до Лужской дислокации. Ее протяженность более 115 км. Вблизи г. Гатчина структура состоит из трех блоков, ступенчато поднятых относительно друг друга, Мгинская зона нарушений проходит от г. Приозерска вдоль западного берега Ладожского озера и далее к югу до г. Чудово. В этой зоне выявлены разрывы со смещением блоков до 70 м.

Волховская зона нарушений прослеживается от низовий реки Свирь по долине реки Волхов через озеро Ильмень. Смещение по разрывам в этой зоне составляют 20-45 м.

В восточной части области выявлена Восточно-Ладожская зона разрывных нарушений примерно по линии Лодейное Поле - Пикалево.

Геоморфологические признаки указывают на то, что северный берег Финского залива в настоящий момент поднимается, а южный - опускается.

Инструментальные геодезические методы также показали, что отдельные участки Ленинградской области поднимаются, а другие опускаются. Например, северная часть Карельского перешейка поднимается со скоростью 1,7 мм в год, в то время как на большей части области происходит опускание со скоростью 0,1-0,8 мм в год.

Ленинградская область расположена в сейсмически спокойном районе. Однако слабые толчки в земных недрах отмечаются и здесь. Признаком сейсмической активности зоны считается Осмуссаарское землетрясение, произошедшее в 1976 г. Его магнитуда составляла 4,74 ед., а интенсивность в эпицентре была 6-7 баллов.

Глава 3. Гидрогеологические условия территории

Территория Санкт-Петербурга и Ленинградской области относится к Ленинградскому артезианскому бассейну второго порядка, представляющему собой северо-западную окраину Русского артезианского бассейна. (Геология СССР. Том 1, 1975; Гидрогеология СССР. Том 3, 1967).

Ленинградский артезианский бассейн представлен верхнепротерозойскими (вендскими) и палеозойскими (от кембрийских до ордовикских) образованиями,

В пределах изученного разреза и исследованных глубин выделяется 6 водоносных горизонтов:

1. Горизонт грунтовых вод (включает 7 подгоризонтов);
2. Верхний межморенный (Полюстровский);
3. Нижний межморенный;
4. Ломоносовский;
5. Котлинский;
6. Гдовский (включает 2 подгоризонта).

1. Горизонт грунтовых вод распространен на всей рассматриваемой территории. Грунтовые воды отсутствуют лишь там, где на дневную поверхность выходят глины и суглинки. Водовмещающими породами являются все литолого-стратиграфические разности, залегающие выше Лужской морены, торфы и техногенные грунты. Мощность водовмещающих пород варьирует от десятков сантиметров до 30 м.

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, областями питания являются возвышенности: Сосновская, Бугровская, Колтушская, Всеволожская. Движение водопотока направлено в сторону Финского залива и к руслу Невы (в пределах зоны разгрузки грунтовый поток часто подвергается влиянию нагонных явлений). Уклоны потока варьируют от 0,001-0,005 в зоне питания до 0,01-0,05 в зоне разгрузки.

Воды не напорные, отмечаются лишь местные напоры. По типу циркуляции это порово-пластовые воды.

По фильтрационным свойствам водовмещающие породы слабо- и средне-проницаемые с k_f не более 1-5 м/сут. Химический и минеральный состав очень не постоянны, что обусловлено внесением в почву различных минеральных веществ, застройкой и заасфальтированностью территорий, прокладкой подземных коммуникаций. В естественных условиях воды пресные, гидрокарбонатно-кальциевые. Воды неагрессивны к бетону, для водоснабжения непригодны.

Подгоризонты грунтового горизонта:

1. Подгоризонт приурочен к торфу и техногенным грунтам, аллювию и древнебалтийским пескам. Имеет повсеместное распространение. Глубина залегания 0-2 м, мощность 0,5-8 м, k_f варьирует от 0,05 до 5 м/сут;

2. Подгоризонт приурочен к пескам и супесям литоринового моря. Непрерывно распространен в Приморской части Приневской низменности. Глубина залегания 0-2 м, мощность 0,5-15 м, k_f от 0,1 до 5 м/сут;

3. Подгоризонт приурочен к пескам и супесям анцилового моря-озера и 2-го Иольдиевого моря. Распространен в пределах литориновой террасы. Глубина залегания 0,5-5 м, мощность 1,5-3 м, k_f варьирует от 0,1 до 5 м/сут;

4. Подгоризонт приурочен к пескам и супесям 2-го Балтийского ледникового озера и имеет спорадическое распространение. Глубина залегания 0-8м, мощность 1-17м, k_f варьирует от 0,1 до 5 м/сут;

5. Подгоризонт приурочен к супесям и мелким пылеватым пескам 1-го Иольдиевого моря. Распространен в пределах Приморской и Приневской низин. Глубина залегания 0,5-2,5 м, мощность 0,5-8м, k_f варьирует от 0,05 до 0,1 м/сут;

6. Подгоризонт приурочен к ленточным глинам 1-го Балтийского ледникового озера. На юге распространен сплошной полосой, на востоке и западе - спорадически. Глубина залегания 2-25 м, мощность 0,5-12 м, k_f варьирует от 0,005 до 0,01 м/сут;

7. Подгоризонт приурочен к супесям и пескам Охтинского межстадиала. Распространен на севере и востоке. Глубина залегания 6-15 м, мощность 1-30 м, k_f варьирует от 0,01 до 25 м/сут.

Отдельно следует выделить верховодку. Она имеет сезонное проявление и приурочена к насыпному слою, в основании которого залегают водоупорные породы.

2. *Верхний межморенный горизонт (Полюстровский)* имеет невыдержанный литологический состав: пески мелкие и пылеватые с прослоями суглинков, средне- и крупнозернистые гравелистые пески. Все пески относятся к кругловским и верхневолжским слоям. На севере горизонт распространен повсеместно, а на юге он наблюдается в виде узкой полосы (1-1,5 км) вдоль рек Невы и Славянки. Также горизонт развит на территории г. Санкт-Петербурга и продолжается на востоке и юго-востоке за его пределами, доходя до левобережья Невы. Залегает горизонт на глубинах от 2 до 23 м между двумя водоупорами, представленными моренами и безвалунными глинами. Мощность горизонта колеблется в широких пределах - от 1 до 44 м. Горизонт повсеместно обладает напором величиной от 2,2 до 36 м. В северо-восточной части г. Санкт-Петербурга некоторые скважины фонтанируют.

Водообильность горизонта чрезвычайно пестрая, и удельный дебит скважин изменяется от 0,002 до 4 л/сек (преимущественно порядка 0,5-0,9 л/сек, хотя могут достигать и значений 5-10 л/сек- Полюстрово, Пискаревка). Эксплуатационный дебит скважин колеблется от 1 до 10 л/сек, в Полюстрово - более 20 л/сек). Питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Химический состав вод изменяется от гидрокарбонатно-кальциевого (минерализация 0,2-0,5 г/л) до хлоридно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевого (минерализация 1,5-2 г/л). Воды Полюстровского горизонта железистые, содержат до 46 мг/л окисного и закисного железа (Полюстрово, Коркино). Водоносный горизонт, приуроченный к межморенным отложениям, содержит спонтанные газы. При вскрытии некоторыми скважинами газоносных линз фонтан достигал 10-12 м над поверхностью земли. В составе газов преобладают метан и азот. Верхний межморенный горизонт на значительной площади Приневской низменности является основным горизонтом питьевых вод.

3. *Нижний межморенный горизонт.* Его водовмещающими породами являются мелкие и средние пески с большим содержанием гравия и гальки, относящиеся к отложениям Днепропетровско-Московского межстадиала. Этот горизонт имеет намного меньшее распространение, нежели предыдущий. Глубина его залегания 22-64 м, мощность до 23 м, величина напора 22-55 м, а коэффициент фильтрации варьирует от 0,25 до 6,5 м/сут. Химический состав изменчив.

4. *Ломоносовский горизонт* сложен тонко- и мелкозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов и глин, относящимися к образованиям Ломоносовской свиты. Горизонт имеет очень широкое распространение и выходит далеко за пределы Ленинградской области. Глубина залегания этого горизонта 3,7-7 м, мощность 1,5-28 м, величина напора 0,3 м, k_f от 0,05 до 0,005 м/сут. Химический состав постоянный: хлоридно-гидрокарбонатно-натриевый, степень минерализации 1,2-1,3 г/л.

5. *Котлинский горизонт* сложен мелко- и тонкозернистыми трещиноватыми песчаниками, расположенными в толще котлинских глин. Горизонт имеет спорадическое распространение. Глубина залегания 20-150 м, мощность 0,1-10 м, величина напора 10-120 м, k_f от 0,05 до 0,005 м/сут. Степень минерализации постоянна и равна 1,5 г/л. Химический состав постоянный.

6. *Гдовский горизонт* обычно подразделяют на два подгоризонта:

1. Гдовский верхний подгоризонт сложен переслаивающимися песчаниками, алевролитами и глинами. Распространен повсеместно. Глубина залегания 50-65 м, мощность 26-50 м, величина напора 170-200 м, k_f . От 0,1 до 0,4 м/сут. Общая минерализация 1,5-5,6 г/л.

Химический состав воды - хлоридно-натриевый. Комплекс эксплуатировался интенсивно с конца прошлого века для технического водоснабжения и в бальнеологических целях.

2. Гдовский нижний (стрельницкий) горизонт. Вмещающими породами являются два слоя песчаников, разделенных пачкой глинистых пород мощностью от 0,5 до 5 м. Залегают на кристаллических породах фундамента. Подгоризонт развит только в южной и восточной частях Санкт-Петербурга. Горизонт высоконапорный. Глубина залегания горизонта 197-271 м, мощность 3-9,5 м, величина напора 200-220 м, k_f от 0,1 до 0,33 м/сут. Степень минерализации 7-7,5 г/л, химический состав хлоридно-натриевый. С начала 60 годов использовался как естественный резервуар для хранения природного газа (район г. Колпино и Гатчина), что вызвало резкие подъемы пьезометрических уровней, амплитудой 100 м и более.

В целом горизонт отличается высокой, но неравномерной водообильностью, определяемой крупностью зерен песчаника и мощностью горизонта. Удельный дебит скважин колеблется от сотых долей литра в секунду до 3,6 л/сек; эксплуатационные дебиты скважин свыше 10 л/сек. Уровни подземных вод гдовского горизонта устанавливаются на различной глубине. Скважины, пробуренные вдоль южного берега Финского залива и в юго-восточной части Санкт-Петербурга, фонтанировали. Наблюдается понижение уровней в южном направлении (до 30 м ниже поверхности земли в районе пос. Сиверской). Общее падение отметок уровней происходит с юга на север, в сторону Финского залива.

В северо-западной части Ленинградской области вследствие интенсивной эксплуатации гдовского горизонта образовалась глубокая депрессионная воронка.

Воды гдовского горизонта характеризуются повышенной минерализацией, которая имеет тенденцию к повышению в юго-восточном направлении. В водах горизонта (скважины в Стрельне, Рыбацком) отмечается повышенное содержание микрокомпонентов: Вг, Sr, Ва. Воды соленые, очень жесткие, для питьевого водоснабжения не пригодны. Они широко используются для технических целей.

По степени водообеспеченности на территории Ленинградской области выделяются три гидрогеологических района:

1-ый район расположен в Приневской впадине, не полностью обеспечен подземными питьевыми водами, так как, межморенный водоносный горизонт, являющийся основным источником водоснабжения, не имеет повсеместного распространения;

2-ой район также расположен на территории Предглинтовой низменности и плохо обеспечен питьевой водой;

3-ий район располагается в области плато, где распространены водообильные ордовикские известняки и доломиты и лужские пески и песчаники. Этот район вполне обеспечен питьевой водой хорошего качества.

Глава 4. Инженерно-геологические особенности торфяных грунтов

Торфяным грунтом (торфом) в соответствии с ГОСТ 25100-2011 называется органический грунт, содержащий в своем составе 50 % (по массе) и более органического вещества, представленного растительными остатками и гумусом. Песчаный или глинистый грунт, содержащий в своем составе от 3 % (для песка) и от 5 % (для глинистого грунта) до 50 % (по массе) торфа называется *зоторфованным грунтом*.

Непосредственно на площадке строительства встречается торф. Торф - своеобразное, относительно молодое геологическое образование, формирующееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. На площадке он залегает либо с поверхности, либо под грунтами.

В соответствии с общей инженерно-геологической классификацией горных пород, торфяные грунты относятся к группе пород особого состава, состояния и свойств.

К торфам предъявляют определенные требования и при методиках исследования, и при методах строительства на них. Со строительной точки зрения они в основном относятся к слабым грунтам, так как для них характерны:

- малая несущая способность (менее 1 кг/см²);
- низкие механические свойства;
- сильно сжимаемы.

Торф – полидисперсная система, состоящая из растительных остатков, разложившейся части торфа и минеральных частиц. Соотношение между разложившейся частью торфа и растительными остатками определяет степень разложения торфа.

Степень разложения (R) – процентное содержание продуктов распада (разложения) с полной утратой клеточного строения.

R < 20% - торф слаборазложившийся,

R = 20 – 45% - среднеразложившийся,

R > 45% - сильноразложившийся.

Степень разложения и обуславливает специфические инженерно-геологические особенности торфа.

Для торфа характерна высокая влагоемкость и влажность в естественном состоянии обычно в пределах 150 - 2000 % (рис. 3). Они практически всегда полностью насыщены водой. Их относительная влажность, выраженная процентным отношением весового количества воды всех категорий к весу общей массы торфа, составляет 90-98%.

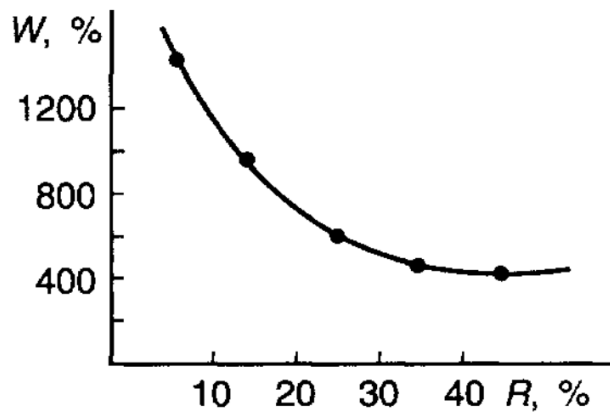


Рисунок 3. Кривая зависимости влажности от степени разложения (Трофимов и др., 2005)

Также для торфа характерны:

- высокая пористость - 80-95%;
- низкая плотность - 0,55 - 1,00 г/см³ (рис. 4);
- значительная усадка и сжимаемость (рис. 5).

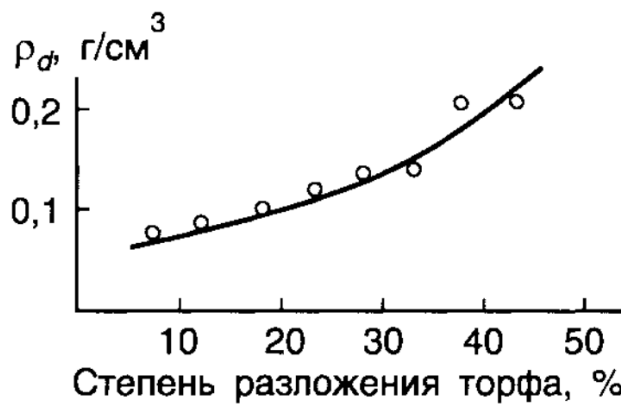


Рисунок 4. Кривая зависимости плотности от степени разложения (Трофимов и др., 2005)

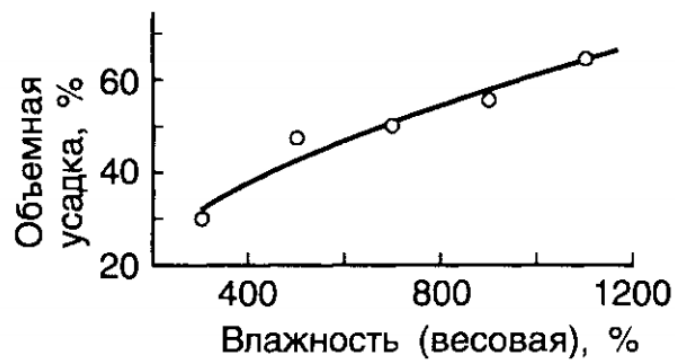


Рисунок 5. Зависимость объемной усадки торфа от влажности (Трофимов и др., 2005)

Физические характеристики определяют низкие прочностные и деформационные свойства. Ниже приведены физико-механические характеристики торфов по ТСН 50-302-2004 (Таблица 1).

Таблица 1

Нормативные характеристики торфов региона Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Наименование характеристик торфов	Значения нормативных характеристик различных типов торфов при степени разложения D_{pd} , %							
	Верховой			Переходной		Низинный		
	$D_{pd} < 20$	$20 \leq D_{pd} \leq 30$	$D_{pd} > 30$	$D_{pd} < 20$	$20 \leq D_{pd} \leq 30$	$D_{pd} < 20$	$20 \leq D_{pd} \leq 30$	$D_{pd} > 30$
Влажность природная W	10,6	8,4	5,1	7,1	6,5	5,7	5,3	3,5
Относительное содержание органического вещества $I_{от}$	0,93	0,95	0,96	0,88	0,88	0,74	0,70	0,44
Плотность ρ , т/м ³	0,91	0,96	1,10	0,92	0,97	0,87	0,93	1,06
Удельный вес частиц γ_g , кН/м ³	16,2	15,9	15,6	16,7	16,8	18,6	18,8	20,4
Коэффициент пористости e_0	19,6	14,6	7,6	13,7	12,0	13,3	11,7	7,7
Структурная прочность p_{str} , кПа	23	17	15	21	10	28	22	-
Коэффициент фильтрации k_0 , см/с	$3,6 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$	$9,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$9,6 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-5}$
Коэффициент изменчивости водопроницаемости α_k	0,55	0,62	1,70	0,70	0,97	0,68	1,55	1,92
Коэффициент Пуассона ν	0,17	0,26	0,30	0,19	0,26	0,20	0,27	0,36
Угол внутреннего трения φ_n , град.	8	11	13	-	-	10	12	14
Удельное сцепление c_n , кПа	14	17	10	-	-	15	16	14
Модуль деформации E , кПа, при уплотняющих напряжениях p , кПа:								
10	78	82	123	117	130	128	133	150
30	73	79	116	94	106	96	120	138
80	128	131	164	155	162	160	172	180
Параметр ползучести b при уплотняющих напряжениях p , кПа:								
10	0,0067	0,0091	0,0054	0,0054	0,0063	0,0041	0,0058	0,0058
30	0,0164	0,0147	0,0121	0,0157	0,0170	0,0097	0,0179	0,0147
80	0,0257	0,0236	0,0173	0,0257	0,0220	0,0281	0,0248	0,0275

Экспериментальные исследования и теоретические обобщения, проводимые на кафедре инженерной геологии и гидрогеологии Горного института, показывают, что на условия строительства и эксплуатацию сооружений на территории Санкт -Петербурга особое

влияние оказывают торфа, преобразовывая дисперсные грунты, залегающие под торфами (Таблица 2).

Таблица 2

Сравнительная оценка показателей сопротивления сдвигу для песчано-глинистых отложений, служащих основанием зданий и сооружений в Санкт-Петербурге (Захарова, 2006)

Тип отложений	Изменение показателя текучести	с, МПа		φ, град	
		ТСН 50-302-2004	Опытные данные*	ТСН 50-302-2004	Опытные данные*
Озерно-ледниковые	$0 < I_L \leq 0,5$	0,035-0,023	0,028-0,018	17-12	0-3
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,021-0,015	0,016-0,012	17-12	0-2
	$1,1 < I_L \leq 1,7$	0,013-0,007	0,01-0,009	17-12	0-2
Моренные	$0 < I_L \leq 0,5$	0,030-0,017	0,026-0,02	24-22	0-5
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,015-0,01	0,02-0,017	24-22	0-4

В результате, изменяются показатели физико-механических свойств грунтов, залегающих ниже слоя погребённого торфа, что необходимо учитывать при расчёте свай и свайных фундаментов.

Глава 5. Устройство фундаментов на торфяных грунтах для промышленных и гражданских сооружений

Как следует из главы 4, торфяные грунты характеризуются многими специфическими свойствами. Они имеют весьма высокую естественную влажность, малую плотность, большую влагоемкость и чрезвычайно значительную и неравномерную сжимаемость. Все эти особенности характеризуют их как отложения слабые, малопригодные для строительства на них различных сооружений. При хозяйственном освоении территорий, сложенных этими грунтами, применяют специальные методы инженерно-геологических исследований и оценки. При необходимости строительства на них сооружений используют способы, предусматриваемые при строительстве на сильно и неравномерно сжимаемых породах.

5.1. Типы оснований

Для проектирования и устройства оснований и фундаментов в рассматриваемых условиях большое значение имеет инженерно-геологический анализ, т.е. анализ природной обстановки.

Открытый торф является очень слабым грунтом. Погребенный торф, в результате последующих отложений минеральных грунтов или искусственной подсыпки, кровля которого находится под слоем минерального грунта, обладает уже гораздо лучшими строительными свойствами. Для успешного строительства и эксплуатации промышленных и гражданских зданий и сооружений необходимы значительные изменения имеющихся природных заболоченных территорий. Для этого торф покрывается достаточно мощным слоем минерального грунта путем подсыпки и намыва. Под действием природной или искусственно созданной нагрузки торф уплотняется, и его строительные свойства изменяются, улучшаются (Морарескул, 1999).

Для промышленного и гражданского строительства предлагается классификация условий строительства на площадках с торфом, приведенных в таблице 3.

При использовании торфяных грунтов выбирают типы оснований и фундаментов, приведённые на рис. 6.

При использовании торфяных грунтов с открытым залеганием (рис. 6, а) тяжелые промышленные и гражданские здания устраивают с прорезкой торфа на минеральном грунте, на песчаных подушках или на свайном фундаменте. Прорезку торфа для заложения фундаментов на минеральном грунте можно осуществлять обычными методами при глубине подошвы слоя торфа до 3-4 м.

Классификация условий строительства на площадках с торфом (Морарескул, 1999)

Классификационные признаки		Торф	
		Открытый	Погребенный
Природные условия	Залегание торфа	На поверхности (верхний пласт)	В толще минеральных грунтов
	Мощность пласта	Максимальная и минимальная	Максимальная и минимальная
	Качество торфа	Плотный Слабый Сплавина	Плотный
	Гидрогеологические условия	Грунтовые воды Питание грунтовых вод (поверхностными и атмосферными водами; подземными водами; смешанное)	Грунтовые воды Питание грунтовых вод подземными водами
Факторы, влияющие на проектные решения	Глубина до подошвы слоя торфа	До 4 м Более 4 м	До 4 м Более 4 м
	Рельеф кровли грунтов, подстилающих торф	Ровный Неровный	Ровный Неровный
	Типы грунтов, подстилающих торф	Песчаный Глинистый	Песчаный Глинистый
Факторы, влияющие на производство работ	Древесная растительность на поверхности	Имеется Не имеется	
	Условия освоения территории	Необходима специальная инженерная подготовка территории	Специальной инженерной подготовки не требуется
	Проходимость торфа для гусеничных строительных машин	Проходим Непроходим	
	Ожидаемый приток воды в котлован	Большой Малый	Большой Малый

Песчаные подушки представляют собой искусственное основание, когда слабый грунт (торф) заменяется хорошим грунтом – песком, гравием и т.п. Подушку можно делать из любого грунта, но лишь песчаные сыпучие грунты быстро уплотняются до требуемой плотности сложения. При хорошем уплотнении подушка является совершенно надежным основанием, обеспечивающим малые равномерные осадки здания и их быстрое затухание.

Материал подушки непучинистый, и поэтому фундаменты закладываются независимо от глубины промерзания грунтов. В качестве песчаной подушки иногда можно использовать и мощный слой подсыпанного на торф минерального грунта.

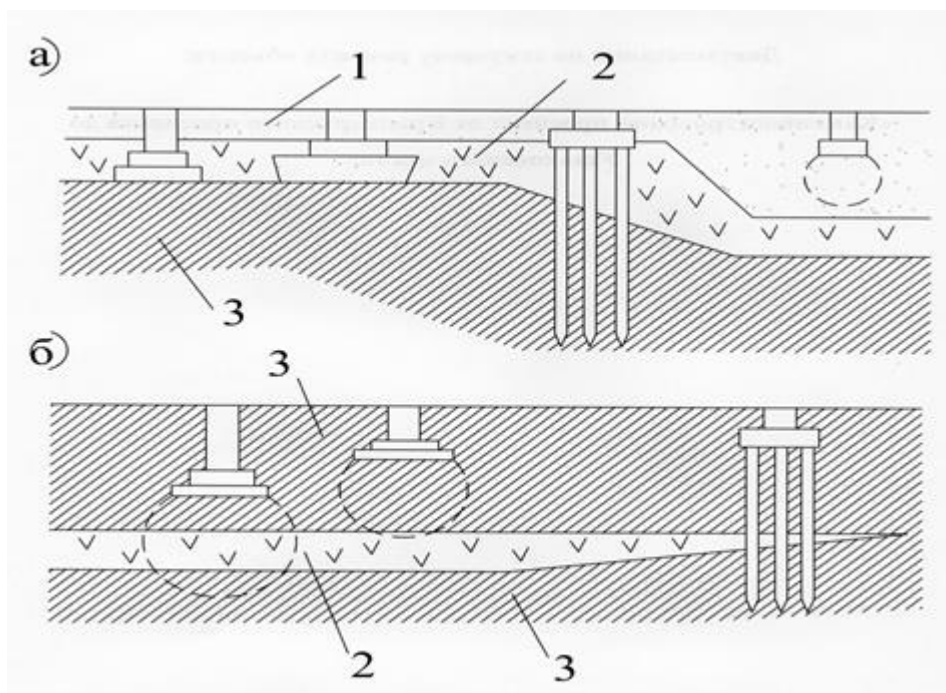


Рисунок 6. Типы оснований и фундаментов в торфяных грунтах: а - с открытым торфом и подсыпкой; б - с погребенным торфом; 1 – подсыпка; 2 – торф; 3 – минеральный грунт

Свайные фундаменты обладают большими достоинствами, особенно при глубоком залегании торфа. Устройство этих фундаментов в технологическом отношении довольно просто и доступно любой строительной организации. Сваи легко погружаются в слабые грунты. Объем земляных работ мал, водоотлива почти нет, крепления откосов не требуется.

При строительстве на погребенном торфе (рис.6, б) типы оснований и фундаментов выбирают с учетом изложенных выше соображений. Этот выбор во многом зависит от глубины залегания торфа, его сжимаемости, массы сооружения и возможных осадков. Иногда верхний слой минерального грунта можно использовать в качестве основания сооружения.

5.2. Свайные фундаменты

Свайный фундамент состоит из свай и плиты, объединяющей сваи и распределяющей на них нагрузку от сооружения - ростверка. Их применяют при залегании слабых грунтов в основании. Сваи передают нагрузку от сооружения на прочные грунты, а ростверки предназначены для распределения нагрузки между сваями от несущих конструкций сооружения. (Руководство по проектированию ...1980)

В промышленном и гражданском строительстве применяют ростверки низкие, т.е. заглубленные в грунт, и высокие, когда часть свай возвышается над поверхностью земли.

Отличительным признаком конструкции свайного фундамента является уровень расположения ростверка. В зависимости от этого различают два типа свайных фундаментов. Если ростверк заглублен в грунт ниже возможного размыва, то это *свайный фундамент с низким ростверком*. Если же ростверк расположен над поверхностью грунта, то такую конструкцию называют *свайным фундаментом с высоким ростверком*.

По условиям взаимодействия с грунтом сваи делятся на *сваи-стойки*, то есть те, которые опираются на практически несжимаемые грунты (скальные, крупнообломочные, глинистые при $E \geq 50 \text{ МПа}$) и *висячие сваи*, опирающиеся на сжимаемые грунты, которые воспринимают нагрузку за счёт сопротивления грунта по боковой поверхности и острию.

Это различие находит отражение и в формулах для расчёта несущей способности свай по условию прочности грунтов основания.

Как было рассмотрено, торф по своим строительным свойствам существенно отличается от минеральных грунтов, и этот фактор определяет качественные изменения в работе оснований и фундаментов.

При строительстве свайных фундаментов, погружение сваи в грунт – наиболее трудоёмкий, длительный и ответственный технологический процесс. Погружение должно быть организовано таким образом, чтобы свая имела заданную проектом несущую способность по грунту, чтобы были обеспечены сохранность сваи (не разрушена при погружении) и минимальные затраты труда и времени.

5.2.1. Свайные фундаменты на торфяных грунтах

В торфяных грунтах применяют забивные типовые железобетонные сваи сплошного сечения. При небольших нагрузках на фундаменты, высоком уровне грунтовых вод и малой мощности торфа могут использоваться деревянные сваи.

Слой торфа обязательно должен быть прорезан сваями. Оставление торфа ниже острия свай может привести к очень большим осадкам фундаментов, т.к. напряжения в грунтах концентрируются именно в зоне расположения нижних концов свай. Нижние концы свай должны быть заглублены в минеральный грунт на глубину не менее 2 м. Если торф подстилается малосжимаемым грунтом с показателем текучести $I_L \leq 0,1$, то минимальное заглубление можно принять 0,5 м.

Выбор глубины сваи связан также с глубиной и рельефом дна болота. Чтобы сохранить несущую способность сваи по грунту, необходимо погружать ее на требуемую величину ниже подошвы слоя торфа.

На выбор длины сваи и глубины заложения ростверка оказывает влияние *подземная часть здания, толщина песчаной подсыпки $h_{п}$ территории и толщина подсыпки под зданием.* Толщина слоя песка $h_{п.тр}$ ниже пола подвала или подполья должна быть не менее 1 м, но более точно определяется по условиям производства работ.

Рассмотрим различные варианты подземной части здания (рис. 7).

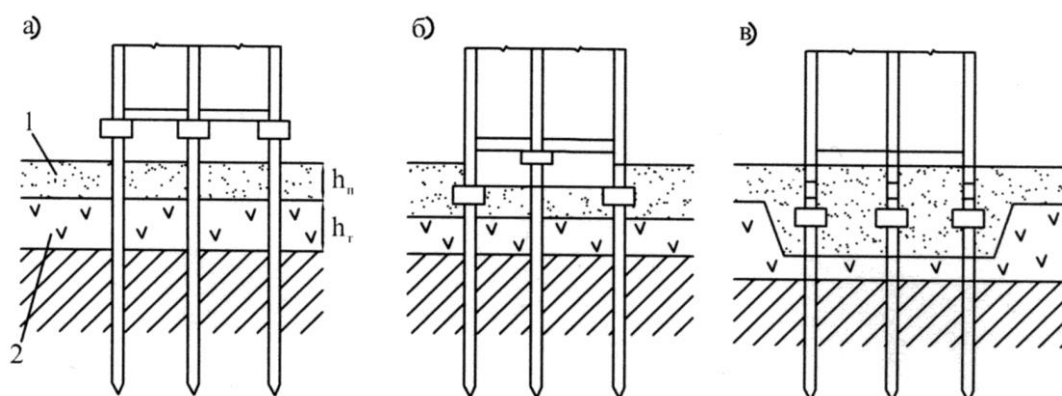


Рис. 7. Свайные ростверки и подсыпки: а – высокий ростверк; б – здание с техническим подпольем; в – здание с подвалом

Бескотлованный фундамент (рис. 7, а). При $h_{п} \geq h_{п.тр}$ земляные работы отсутствуют. Если $h_{п} < h_{п.тр}$, необходимы частичное выторфовывание и подсыпка песка в пределах здания до величины $h_{п.тр}$.

Здание с заглубленным техническим подпольем (рис. 7, б). Требуется отрывка котлована. Если оказывается, что толщина оставшегося в пределах здания слоя песка менее $h_{п.тр}$, то необходимо сделать частичное выторфовывание и подсыпку с тем, чтобы толщина песка под зданием была $h_{п} = h_{п.тр}$.

Здание с подвалом (рис. 7, в). Если пол подвала ниже кровли слоя торфа, то необходимы частичное выторфовывание и подсыпка песка до толщины $h_{п.тр}$. Если от пола подвала до кровли слоя минерального грунта расстояние менее $h_{п.тр}$, то выторфовывание будет полным, т.е. под зданием не останется торфа.

Лучшим типом ростверка для зданий с несущими стенами является высокий ростверк бескотлованного фундамента (рис. 7, а). Сваи погружаются с планировочной отметки, верх свай возвышается над поверхностью грунта на 1,5-1,8 м, затем устраивается ростверк и цокольная часть здания.

Одним из специфических требований, предъявляемых к свайному фундаменту в рассматриваемых условиях, является его способность сопротивляться горизонтальному давлению торфа на сваи. При отрывке котлованов и траншей рядом с уже забитыми сваями торфяные откосы могут сдвинуться в сторону выемки и оказать давление на сваи. Горизонтальное давление может также развиваться от веса находящихся рядом строительных машин, отвалов грунта, складированных материалов и деталей. Смещение свай в горизонтальном направлении резко осложняет всю обстановку на строительстве.

Одиночные сваи не могут оказать необходимого сопротивления. Поэтому в работу нужно включать все сваи, все свайное поле. Практика показала, что необходимо делать единый монолитный железобетонный ростверк по всем сваям, т.е. устраивать горизонтальную раму. Для большей жесткости всей плоской или пространственной системы свай-ростверк необходима заделка свай в ростверк на 200 мм. Рабочая арматура ленточных ростверков должна опускаться ниже верха свай во избежание скола бетона.

Из рассмотренных вариантов подземной части здания выбираем бескотлованный фундамент. Исходя из рекомендаций, в которых указывается, что лучшим типом ростверка для зданий с несущими стенами является высокий ростверк бескотлованного фундамента (рис. 7, а), будем применять этот тип.

5.2.2. Особенности работы свай при вертикальной нагрузке

Наличие в основании сооружения торфа приводит к возникновению целого ряда факторов, ухудшающих работу свай по грунту и материалу. Поэтому свайный фундамент в таких случаях является одним из наиболее рациональных типов фундаментов, особенно при большой мощности слоя торфа.

Рассмотрим основные случаи работы свай в трехслойном основании «минеральный грунт – торф - минеральный грунт», т.е. в условиях строительства на подсыпанной (намытой) территории (рис. 8).

Действие вертикальной вдавливаемой нагрузки (рис. 8, а), когда консолидация торфа закончилась. Нагрузка уравнивается сопротивлением всех трех грунтов по боковой поверхности сваи и сопротивлением грунта под острием. Сопротивление нижнего слоя минерального грунта участвует в работе в полной мере. Сопротивление торфа по боковой поверхности сваи будет небольшим и постепенно уменьшающимся во времени ввиду ползучести торфа. Сопротивление верхнего (подсыпанного) слоя грунта зависит от осадки торфяного слоя под действием нагрузки, приложенной к свае. В зависимости от этой осадки и

некоторых других факторов сопротивление верхнего слоя изменяется от максимального до нуля.

Действие вертикальной вдавливающей нагрузки (рис. 8, б), когда консолидация торфа не закончилась, т.е. верхний слой минерального грунта и торф оседают. Сопротивление обоих грунтов по боковой поверхности сваи меняет знак. Силы трения не только не поддерживают сваю, но наоборот, пригружают ее. Возникает негативное (отрицательное) трение по боковой поверхности сваи. Нагрузке сопротивляется только часть сваи в нижнем минеральном грунте. Несущая способность сваи резко понижается.

Понижение уровня грунтовых вод (рис.8, в). Если уровень грунтовых вод (УГВ) понижается в период эксплуатации сооружения, но находится в пределах намывного слоя минерального грунта, то эффект взвешивания грунта водой пропадает, намывный слой делается «тяжелее», торф получает дополнительную осадку; в результате оседания появляется негативное трение, несущая способность сваи уменьшается.

Если уровень грунтовых вод в период эксплуатации сооружения понижается в пределах слоя торфа, то происходят те же явления, но они усиливаются аэрацией торфа, его усадкой и, как следствие, происходит дополнительная осадка и торфа и намывного грунта.

Действие нагрузки на поверхность грунта (рис. 8, г). Этой нагрузкой могут быть подсыпка после устройства фундаментов, отвалы грунта, строительные материалы и изделия и др. Давление от этой нагрузки передается на слой торфа, вызывает его сжатие и появление негативного трения. При площадной нагрузке процессы деформации грунтов распространяются на большую глубину. Если толщина грунтов слабая, то происходит общая осадка всего массива вместе со сваями.

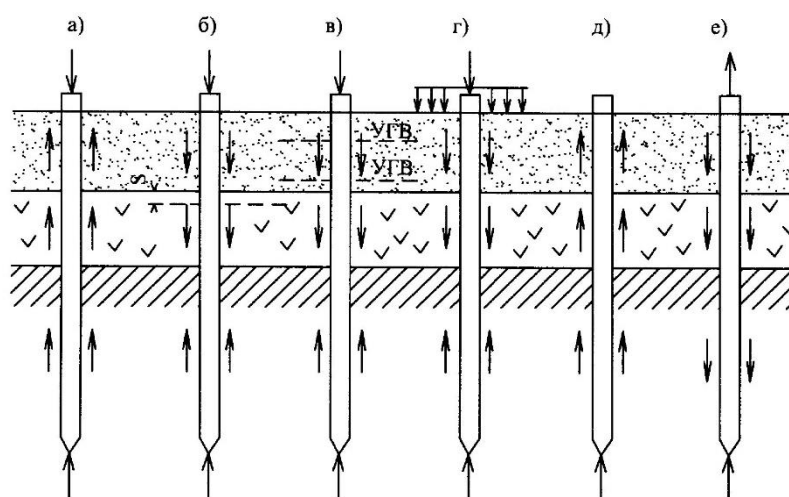


Рис. 8. Основные случаи работы сваи в трехслойном основании

Действие динамической нагрузки на сваю (рис. 8, д). Действие этой нагрузки мгновенное. Свая погружается, грунты основания не успевают уплотниться и получить осадку. Поэтому все три вида грунта участвуют в сопротивлении погружения сваи. Это может привести к ошибкам при динамических испытаниях свай. Вибрационная нагрузка может вызвать некоторые изменения прочностных и деформационных свойств грунтов.

Действие выдерживающей нагрузки (рис. 8, е). Все три вида грунта при этой нагрузке участвуют в сопротивлении сваи выдергивания; острие сваи не работает.

Таковы главные особенности работы свай при вертикальной нагрузке в условиях искусственного погребенного торфа.

Глава 6. Инженерно-геологическая характеристика участка строительства

6.1. Местоположение и рельеф

Участок инженерно-геологических изысканий, где проектируется административный корпус, расположен в квартале строительства многоэтажных домов в д. Старой Всеволожского района, Ленинградской области, в Колтушском сельском поселении на незначительном удалении от восточной границы Санкт-Петербурга.

Рельеф участка холмистый. Находится на Колтушской возвышенности. Понижение рельефа идет с северо-востока на юго-запад. Абсолютные отметки геологических выработок изменяются от 39, 8 м до 32, 15 м. Перепад высот составляет 7,65 м. Территория частично заболочена, местами покрыта кустарником.

6.2. Геологическое строение

В геологическом строении участка изысканий на разведанную глубину до 25м принимают участие современные и верхнечетвертичные отложения.

Современный отдел (Q_{IV}) представлен почвенными (p_{IV}) и биогенными образованиями (b_{IV}), верхнечетвертичный отдел (Q_{III}) слагают озёрно–ледниковые отложения (Ig_{III}).

Современный отдел - Q_{IV}

Почвенные образования - p_{IV}

Вскрыты всеми скважинами с поверхности и представлены почвенно-растительным слоем. Мощность слоя составляет 0,1-0,3 м.

Биогенные отложения - b_{IV}

Торфа слаборазложившиеся встречены скважинами №1625-1627 (в пятне административного здания) под почвенно-растительным слоем на глубине 0,1 м.

Торфа характеризуются темно-коричневым цветом, влажным, с глубины 0,4 м водонасыщенным состоянием, содержат корни растений.

Мощность торфов в пятне застройки изменяется от 0,9 до 7,8 м.

Верхнечетвертичный отдел - Q_{III}

Озерно-ледниковые отложения Ig_{III}

На исследуемом участке встречены следующие грунты: пески, супеси и суглинки.

Пески встречены скважинами №1621-1624 под почвенно-растительным слоем на глубине 0,2-0,3 м в виде прослоя мощностью 0,2-0,3 м; под суглинками в скважинах №1618, 1619, 1621-1627 на глубинах 7,2, 7,3-8,0 и на глубине 9,2-12,1 м; под супесями в скважинах №1618-1620 на глубине 5,1 м и на глубине 10,2-11,0 м.

Мощность песков изменяется от 0,2-0,3 до 0,6-1,2 м и от 0,9 до 15,4 м.

Суглинки разной степени пластичности залегают под почвенно-растительным слоем на глубине 0,3 м в скважине №1620; под песками на глубине 0,4- 0,6 м и на глубине 7,8-8,3 м в скважинах №1621-1624; под супесями на глубине 3,3- 5,2 м в скважинах №1622, 1624 и на глубине 4,8-5,7 м в скважинах №1618, 1619, 1621, 1623; под торфами на глубине 1,0-7,9 м в скважинах №1625 – 1627.

Мощность суглинков изменяется от 0,8-1,8 до 1,4-8,6 м.

Супеси встречены скважинами №1618, 1619 под почвенно-растительным слоем на глубине 0,2-0,3 м; скважинами №1618-1620 под песками на глубине 7,8-9,0 м; скважиной №1620 на глубине 5,1 м и скважинами №1621-1624 на глубине 1,3-1,6 м под суглинками.

Мощность супесей изменяется от 1,6 до 5,4 м.

6.3. Гидрогеологические условия

В период проведения изысканий на площадках проектируемого строительства встречены два водоносных горизонта.

Первый водоносный горизонт встречен скважинами №1625-1627 на глубине 0,4 м (абс. отм. 31,70-32,0 м) и приурочен к торфам. Зафиксированные уровни близки к среднегодовым. Амплитуда сезонных колебаний УГВ составляет около 0,5 м.

Второй водоносный горизонт встречен скважинами №1618-1624 на глубине 6,0 м - (абс. отм. 26,12-29,10 м). Водовмещающими породами являются озерно-ледниковые песчаные отложения и песчаные прослои в связных грунтах этих же отложений.

На площадке проектируемого жилого дома I и II горизонтов гидравлически взаимосвязаны и образуют единый водоносный комплекс.

Питание горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка горизонтов осуществляется по рельефу в местную гидрографическую сеть и ближайшие канавы. Амплитуда сезонных колебаний уровня подземных вод II водоносного горизонта составляет около 1,5 м.

Максимальные уровни следует ожидать вблизи дневной поверхности, на пониженных участках с образованием зеркала воды со свободной поверхностью.

Территория подтапливается.

6.4. Состав и физико-механические свойства грунтов

В соответствии с учётом возраста, генезиса, физико-механических свойств грунтов и анализа пространственной изменчивости частных показателей этих свойств, на участке строительства всего комплекса в пределах исследуемой толщи выделено 7 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

ИГЭ-1. Торфа тёмно-коричневого цвета, влажные, с глубины 0,4 м. водонасыщенные. Мощность торфов ИГЭ-1 изменяется от 0,9 до 7,8 м.

ИГЭ-2. Пески пылеватые, светло-коричневые, средней плотности сложения, маловлажные. Мощность песков пылеватых ИГЭ-2 изменяется от 0,2-0,3 до 0,6-1,2 м.

ИГЭ-3. Суглинки твердые пылеватые, светло-коричневые, содержат линзы и прослойки песка, редкие включения гравия и гальки, выветрелые. Мощность суглинков ИГЭ-3 изменяется от 0,8 до 1,4 м.

ИГЭ-4. Супеси пылеватые, пластичные, участками твердые. Характеризуются светло-коричневым и серым цветом, пылевым составом, слоистостью, содержат прослойки песка пылеватого. Мощность супесей ИГЭ-4 изменяется от 1,6 до 5,4 м.

ИГЭ-5. Суглинки полутвердые пылевые. Характеризуются серым цветом, содержат прослойки песка. Мощность суглинков ИГЭ-5 изменяется от 1,7 до 2,0 м.

ИГЭ-6. Суглинки легкие пылеватые, полутвёрдые и твёрдые с прослоями тугопластичных, серые, содержат прослойки песка. Мощность суглинков ИГЭ-6 изменяется от 1,8 до 8,6 м.

ИГЭ-7. Пески мелкие светло-коричневые, серые, средней плотности сложения, влажные. Вскрытая мощность песков ИГЭ-7 изменяется от 0,9 до 15,4 м.

В пределах возможной сферы взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой непосредственно на площадке строительства административного здания на исследуемой глубине встречаются следующие ИГЭ:

ИГЭ-1. Торфа тёмно-коричневого цвета, влажные, с глубины 0,4 м. водонасыщенные.

ИГЭ-6. Суглинки легкие пылеватые, полутвёрдые и твёрдые с прослоями тугопластичных, серые, содержат прослойки песка.

ИГЭ-7. Пески мелкие светло-коричневые, серые, средней плотности сложения, влажные.

Показатели нормативных и расчетных значений физико-механических свойств грунтов представлены в приложении А. Геолого-литологический разрез представлен в приложении Б.

Глава 7. Инженерно-геологические расчеты

Согласно техническому заданию на исследуемом участке предполагается строительство административного здания высотой 5 этажей, II класса, фундамент свайный, нагрузка на сваю – 100 тс.

7.1. Расчёт свайных фундаментов и их оснований

Производят по двум группам предельных состояний:

а) первая группа:

- по прочности свай и свайных ростверков;
- по несущей способности свай;
- по устойчивости оснований свайных фундаментов в целом при действии горизонтальных или выдёргивающих нагрузок;

б) вторая группа:

- по абсолютным осадкам и неравномерностям осадок оснований свайных фундаментов;
- по перемещениям свай от совместного действия вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов;
- по образованию и раскрытию трещин в элементах железобетонных конструкций.

По первой группе предельных состояний проверяется усилие, действующее в свае, согласно формуле

$$N_p \leq F_d / \gamma_k = F_R,$$

где N_p – расчётная нагрузка первой группы предельных состояний, передавая на отдельную сваю, кН;

F_d – несущая способность сваи по прочности грунта основания, кН;

γ_k – коэффициент надёжности, зависящий от способа определения несущей способности и принимаемый равным 1,4 – для расчётного метода и динамических испытаний сваи, выполненных без учёта упругих деформаций грунта; 1,25 – для метода зондирования и динамических испытаний сваи, выполненных с учётом упругих деформаций грунта; 1,2 – для испытания сваи пробной нагрузкой;

F_R – сила расчётного сопротивления сваи (по материалу или грунту), кН.

При определении N_p учитывается нагрузка, действующая по обрезу фундамента, собственный вес ростверка и грунта на его уступах.

По второй группе предельных состояний проводится расчёт осадки основания свайных фундаментов согласно условиям:

$$S \leq S_u$$

$$(\Delta S/L) \leq (\Delta S/L)_u$$

где S_u и $(\Delta S/L)_u$ - соответственно предельные абсолютная и относительные неравномерности осадок сооружения, устанавливаемые в соответствии со СП 24.13330.2011, СП 50-102-2004.

Важнейшим этапом проектирования свайного фундамента является назначение свай по характеру их работы.

По характеру работы сваи делятся на:

– *сваи-стойки*, то есть те, которые опираются на практически несжимаемые грунты (скальные, крупнообломочные, глинистые при $E \geq 50 \text{ МПа}$), и несущая способность таких свай, ввиду отсутствия их перемещений, определяется только сопротивлением грунта по острию сваи.

– *висячие сваи*, которые воспринимают нагрузку за счёт сопротивления грунта по боковой поверхности и острию сваи, т.к. они погружены в сжимаемые грунты и имеют перемещения.

Это различие находит отражение и в формулах для расчёта несущей способности свай по условию прочности грунтов основания.

7.2. Особенности расчёта несущей способности свай в торфяных грунтах

На величину несущей способности сваи при наличии в пределах её длины сильно сжимаемого грунта (торфа) влияют силы отрицательно направленного трения.

В связи с этим, рассмотрим определение несущей способности сваи расчётным методом при возникновении отрицательного трения (Проектирование фундаментов...2006).

При наличии в пределах длины сваи слоя сильно сжимаемого грунта, отрицательно направленное трение может возникнуть тогда, когда верхние слои грунта дают осадку из-за сжимаемости слоя слабого грунта в результате следующих причин:

- при планировании территории подсыпкой;
- загрузении поверхности грунта или пола по грунту длительно действующими полезными нагрузками;
- снятии взвешивающего действия воды в результате понижения уровня грунтовых вод;
- динамических воздействиях на грунты, способные уплотняться от этих воздействий (рыхлые пески, тиксотропные грунты);
- уменьшении объема грунта, содержащегося растворимые соли и гниющие органические вещества;
- замачивании просадочных грунтов;

- незавершенном уплотнении молодых отложений.

На приведённом ниже рисунке показано влияние сил отрицательного трения на величину несущей способности сваи. Для определения точки, выше которой на величину несущей способности сваи действует отрицательное трение, по длине сваи построена прямоугольная эпюра 1 с интенсивностью перемещения, равного половине предельно допустимой осадки фундамента и эпюра 2 послойной осадки грунтов около боковой поверхности сваи. В точке пересечения эпюр (НТ) на глубине z_0 вертикальные перемещения грунта равны осадке сваи.

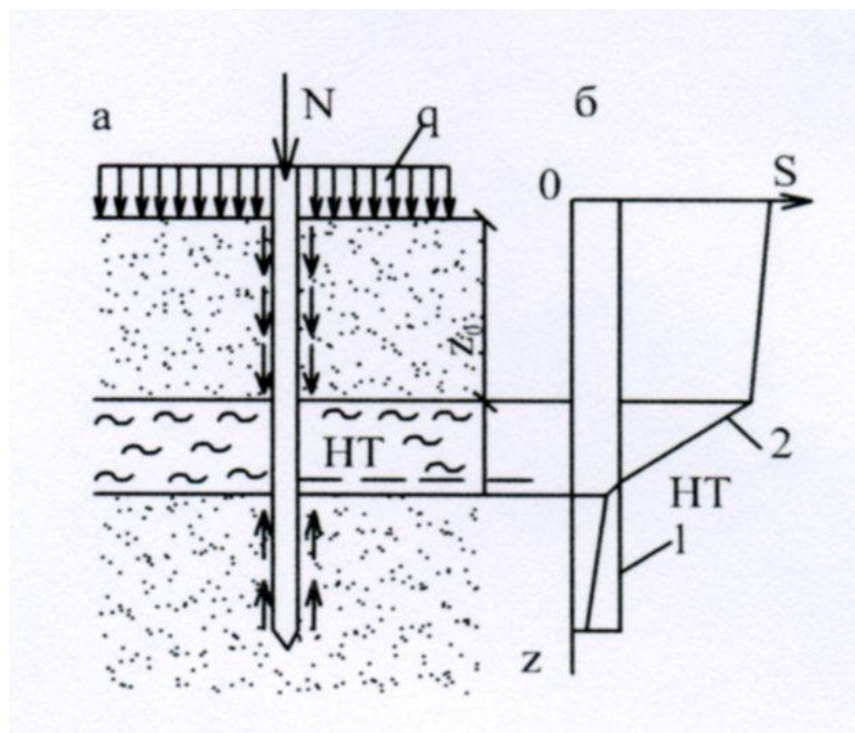


Рисунок 9. Влияние сил отрицательного трения (Проектирование фундаментов...2006).

Выше этой точки (то есть выше низшей отметки торфа) действует отрицательно направленное трение. В таком случае несущая способность сваи рассчитывается по следующей формуле:

$$F_d = \gamma_c(\gamma_{cr}RA + u\sum\gamma_{cf}f_{ih_i} - u\sum\gamma_{cf}f_{ih_i}),$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый $\gamma_c=1$;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое для забивной сваи по таблице (СП 24.13330.2011 таблица 7.2) (Приложение В);

A – площадь поперечного сечения сваи, m^2 ;

u – периметр поперечного сечения сваи, м;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, кПа, принимаемое по таблице (СП 24.13330.2011 таблица 7.3) (Приложение Г);

h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м, принимаемая $h_i \leq 2$ м;

$\gamma_{сR}$, γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа изготовления сваи и принимаемые для забивных свай по таблице (СП 24.13330.2011 таблица 7.4) (Приложение Д).

7.3 Учёт изменения показателей физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов, залегающих ниже толщи болотных отложений, в расчётах несущей способности свай и свайных фундаментов

Как было показано в параграфе 7.2, в схемах расчета несущей способности свай, прорезающих торфа предложено (согласно СП 24.13330.2011) вводить силы отрицательного либо нулевого трения только в пределах торфа и перекрывающих его образований – природных либо техногенных. Если в пределах длины погруженной части сваи залегают напластования торфа толщиной более 30 см и возможна планировка территории подсыпкой или иная ее загрузка, эквивалентная подсыпке, то расчетное сопротивление грунта – f_i , расположенного выше подошвы наинизшего (в пределах длины погруженной части сваи) слоя торфа, предполагается принимать:

а) при подсыпках высотой менее 2 м – для грунтовой подсыпки и слоев торфа - равным нулю;

б) при подсыпках высотой от 2 до 5 м – для грунтов, включая подсыпку - равным 0,4 значений, указанных в таблице (СП 24.13330.2011), но со знаком «минус», а для торфа - минус 0,005 МПа (отрицательные силы трения);

в) при подсыпках высотой более 5 м - для грунтов, включая подсыпку - равным значениям, указанным в таблице (СП 24.13330.2011), но со знаком «минус», а для торфа - минус 0,005 МПа.

Ниже слоя торфа, используют показатели сопротивления сдвигу неизменных отложений:

- для глинистых – в зависимости от консистенции и глубины их залегания,
- для песчаных – с учетом их гранулометрического состава, плотности и также глубины залегания.

Таким образом, в этих схемах расчёта несущей способности свай в торфяных грунтах не учитывается изменение показателей физико-механических свойств дисперсных грунтов, залегающих ниже слоя торфа.

В тоже время, на основе большого объёма экспериментальных исследования и теоретических обобщений, проводимых на кафедре инженерной геологии и гидрогеологии СПбГГИ (Санкт-Петербургского Государственного Горного института), установлено, что при оценке влияния погребённых болот на преобразование грунтов в зоне их развития, необходимо учитывать:

- негативное влияние болотных отложений на изменение состояния и свойств вмещающих их песчано-глинистых пород, которое выражается в снижении устойчивости и несущей способности последних, в переходе песков различного гранулометрического состава в плавунное состояние, развитии тиксотропных свойств песчано-глинистых грунтов;

- изменение показателей физико-механических свойств дисперсных грунтов, залегающих ниже слоя погребённого торфа, при расчёте свай и свайных фундаментов (Захарова, 2006).

Проведённый анализ существующих схем расчёта несущей способности свай, прорезающих торф, в соответствии со (СП 24.13330.2011), показал необходимость внесения корректив в существующие расчёты, т.к. расчет по такой схеме предполагает получение завышенных значений несущей способности свай. Опыт строительства свайных фундаментов при наличии в разрезе торфов показывает, что во многих случаях наблюдается развитие длительных и неравномерных осадок, приводящих к переходу сооружения в аварийное либо предаварийное состояние. Для надёжности проектирования и повышения достоверности расчетов несущей способности свай рекомендуется ввести уточнение в значения расчетного сопротивления по боковой поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования, а также изучение преобразования песчано-глинистых пород под торфяными отложениями, показали, что наблюдается снижение показателей сопротивления сдвигу c и ϕ (Захарова, 2006). Это подтверждают данные, представленные в таблице 2. Согласно исследованиям СПбГГИ, проведенным на различных объектах Санкт-Петербурга, установлена закономерность изменения показателей сопротивления сдвигу песчано-глинистых отложений различного генезиса под торфяными отложениями относительно нормативных значений (ТСН 50-302-2004), о чём сказано выше (таблица 2).

В связи с этим рекомендуется в глинистых отложениях одного и того же генезиса, возраста и консистенции, залегающих ниже слоя торфа использовать постоянное значение f . Для песков, залегающих под торфами, следует снижать величину угла внутреннего трения по результатам экспериментальных исследований их прочности при минимальных нормальных давлениях, обеспечивающих отсутствие уплотнения. Для повышения достоверности расчетов

несущей способности висячих свай требуется ввести изменения в значения расчетного сопротивления по боковой поверхности сваи для различных типов отложений под торфяными отложениями (таблица 4).

Таблица 4

Сопротивление по боковой поверхности сваи с учетом преобразования песчано-глинистых отложений Санкт-Петербурга под влиянием торфяных отложений (Захарова, 2006)

Тип отложений	Изменение показателя текучести	Сопротивление по боковой поверхности свай, МПа
Озерно-ледниковые	$0 < I_L \leq 0,5$	0,028-0,018
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,016-0,012
	$1,1 < I_L \leq 1,7$	0,01-0,009
Моренные	$0 < I_L \leq 0,5$	0,026-0,02
	$0,6 < I_L \leq 1,0$	0,02-0,017

7.4. Расчёт несущей способности висячей забивной сваи

С целью оценки влияния изменения свойств дисперсных грунтов, расположенных под торфом (установленного в СПбГГИ), на результаты расчёта несущей способности висячей забивной сваи, расчёт проводился двумя способами. Принята висячая свая, т.к. разрез сложен сжимаемыми грунтами, которые воспринимают нагрузку за счёт сопротивления грунта по боковой поверхности и острию.

Для расчёта несущей способности грунта основания была использована информация по скважине № 1626. Согласно техническому заданию - нагрузка на сваю – 100 тс, свая квадратная, сечением 0,40х0,40 м. В связи с этим, для расчёта была использована квадратная свая со стороной 0,4 м, погружённая на глубину 19 м.

Важно учесть, что в соответствии с рекомендациями, предусмотренными при строительстве на торфяных грунтах, необходима предварительная подготовка территории (Морарескул, 1999). На данной площадке рекомендуется подготовка территории методом подсыпки песка мощностью 2м. Схематический разрез с подсыпанным песком представлен на рисунке 10.

Результаты расчёта №1.

Расчёт производится в соответствии с «Определением несущей способности свай расчётным методом при возникновении отрицательного трения» по формуле:

$$F_d = \gamma_c \cdot \left(\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i - u \sum \gamma_{cf} f_i h_i \right)$$

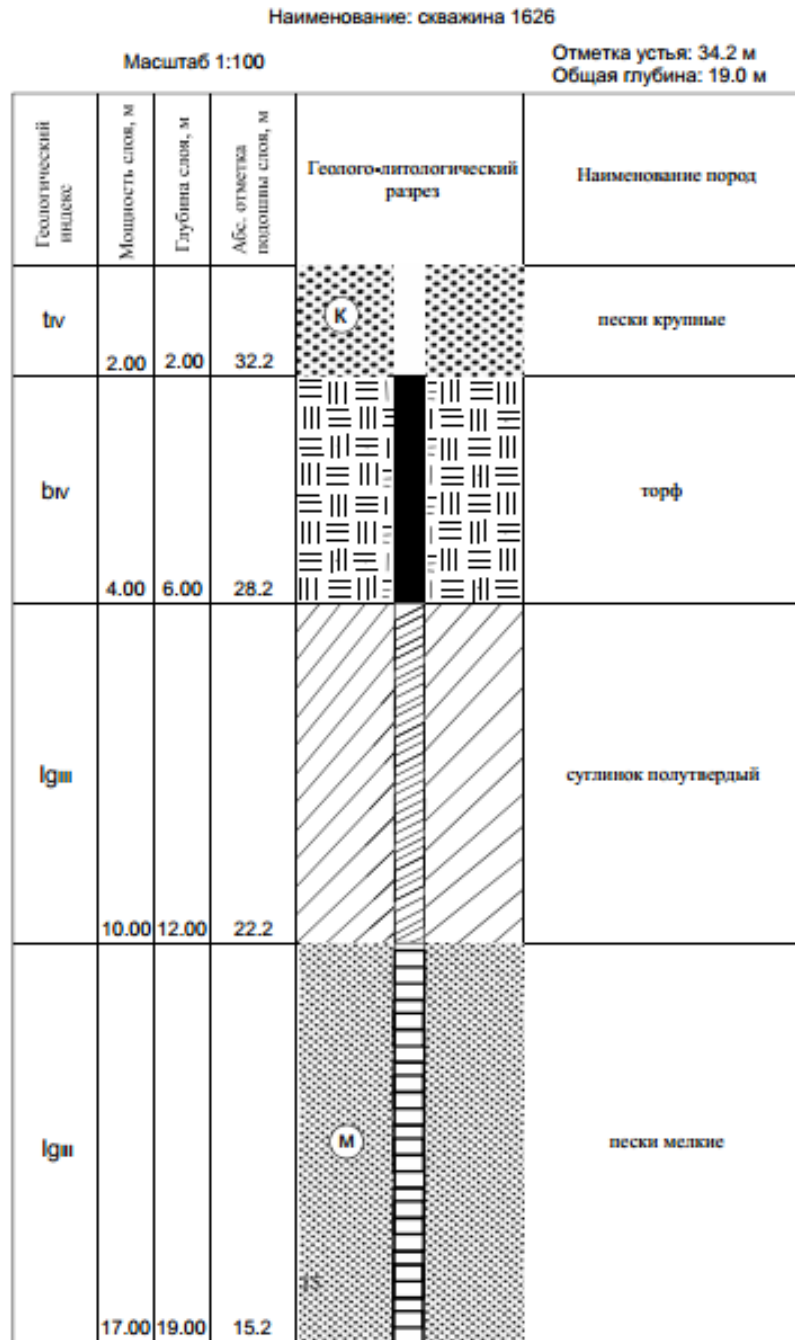


Рисунок 10. Инженерно-геологическая колонка скв. №1626 (выполнена с помощью программы CorelDRAW)

Составляем таблицу для расчетов:

скв. 1626				
	l, м	hi, м	fi, тс/м2	$\gamma_{cf} * f_i * h_i$
пески к/з	1	2	-3,5	-7
bIV	3	2	-0,5	-1
	5	2	-0,5	-1
Σ				-9
суглинки	7	2	6	12
	9	2	6,35	12,7
	11	2	6,64	13,28
пески м/з	13	2	4,8	9,6
	15	2	5,1	10,2
	17	2	5,3	10,6
	18,5	1	5,41	5,41
Σ				73,79
γ_{cR}	1			
γ_{cf}	1			
γ_c	1			
R, тс/м ²	314			
A м ²	0,16			
u	1,6			
γ_k	1,4			

$$F_d = 1 \cdot (1 \cdot 314 \cdot 0,16 + 1,6 * 73,79 - 1,6 \cdot (-9)) = 182,7 \text{ тс}$$

$$F_R = \frac{182,7}{1,4} = 130,5 \text{ тс}$$

$$N_p = 100 \text{ тс} \leq F_R = 130,5 \text{ тс}$$

Результаты расчёта №2.

Расчет производится в соответствии с параграфом 7.3. (с учетом изменения сопротивления по боковой поверхности f_i (таблица 4)).

Составляем таблицу для расчетов:

скв. 1626				
	l, м	h _i , м	f _i , тс/м ²	γ _{cf} *f _i *h _i
пески к/з	1	2	-3,5	-7
бIV	3	2	-0,5	-1
	5	2	-0,5	-1
Σ				-9
суглинки	7	2	2,6	5,2
	9	2	2,6	5,2
	11	2	2,6	5,2
пески м/з	13	2	4,8	9,6
	15	2	5,1	10,2
	17	2	5,3	10,6
	18,5	1	5,41	5,41
Σ				51,41
γ _{cR}	1			
γ _{cf}	1			
γ _c	1			
R, тс/м ²	314			
A м ²	0,16			
u	1,6			
γ _k	1,4			

$$F_d = 1 \cdot (1 \cdot 314 \cdot 0,16 + 1,6 * 51,41 - 1,6 \cdot (-9)) = 146,89 \text{ тс}$$

$$F_R = \frac{146,89}{1,4} = 104,92 \text{ тс}$$

$$N_p = 100 \text{ тс} \leq F_R = 104,92 \text{ тс}$$

Расчеты показали, что в целом результаты определения несущей способности сваи по предложенным методам имеют близкие значения.

По первому методу $F_d = 182,7$ тс, по второму $F_d = 146,89$ тс. Расчетные нагрузки с учетом коэффициента надежности 1.4 составили по первому методу $F_R = 130,5$ тс, по второму методу $F_R = 104,92$ тс. Значения не превышают проектной расчетной нагрузки на сваю 100 тс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено геологическое строение и инженерно-геологические особенности исследуемого участка.

Площадка сложена современными биогенными и верхнечетвертичными ледниковыми и озерно-ледниковыми отложениями лужского горизонта.

По результатам лабораторных исследований и по данным бурения были выделены 7 ИГЭ.

Строительные условия рассматриваемого участка являются неблагоприятными вследствие залегания с поверхности мощной толщи сильносжимаемых слаборазложившихся торфов. В таких условиях наиболее целесообразным является устройство бескотлованного свайного фундамента с высоким ростверком. Для исключения нежелательных деформаций основания во время устройства свайного фундамента рекомендуется сделать подсыпку из крупнозернистого песка мощностью 2 м.

С целью проверки надежности, выбранного типа свайного фундамента были произведены расчеты несущей способности свай с учетом слоя песка двумя способами:

- первый способ - расчет несущей способности свай при возникновении отрицательного трения;
- второй способ - расчет с учетом внесения коррективов в расчетную схему, предложенный СПбГИ (Захарова, 2006).

В целом результаты определения несущей способности свай (F_d) по предложенным двум методам имеют близкие значения: по первому способу $F_d = 182,7$ тс, по второму $F_d = 146,89$ тс. Расчетные нагрузки с учетом *коэффициента надежности 1.4* составили по первому способу $F_R = 130,5$ тс, по второму $F_R = 104,92$ тс. Значения не превышают проектной расчетной нагрузки на сваю 100 тс.

Второй способ является более точным и надежным при проектировании, т.к. он учитывает негативное влияние болотных отложений на толщину грунтов, залегающих ниже болотных отложений, что приводит к снижению устойчивости и несущей способности грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Монографии:

1. Киселев И.И, Проскуряков В.В., Саванин В.В., Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. СПб.: 1997, 196 с.
2. Геология СССР. Том 1. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. М.: Недра, 1975, 423 с.
3. Гидрогеология СССР. Том III. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. 1967, 328 с.
4. В.Трофимов, В.А.Королёв, Е.А.Вознесенский и др., Грунтоведение. Издание шестое. М.: Изд-во Наука. 2005, - 1024с.
5. Морарескул Н.Н. Основания и фундаменты в торфяных грунтах. Учебное пособие. - СПб: Петербургский гос.ун-т путей сообщения. 1999. - 49 с.
6. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1980, 201 с.
7. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений/ Под ред. Б.И.Далматова; - М.: Изд-во АСВ; СПб., СПбГАСУ, 2006. - 428 с.

Фондовые материалы:

8. Учебный географический атлас Ленинградской области и Санкт-Петербурга. Под ред. А.И.Чистобаева, Т.С.Комисаровой, А.Г.Тихомирова и др. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1997, 20 с.
9. Захарова Е.Г. «Влияние погребенных болот на формирование инженерно-геологических и геоэкологических условий в подземном пространстве Санкт-Петербурга». Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Санкт-Петербург. 2006
10. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях, выполненных на площадке проектируемого строительства Всеволожского района Ленинградской области. Фонды ОАО «Ленгражданпроект». 2016

Нормативные документы:

11. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. 2004
12. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. 2011

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А [10]

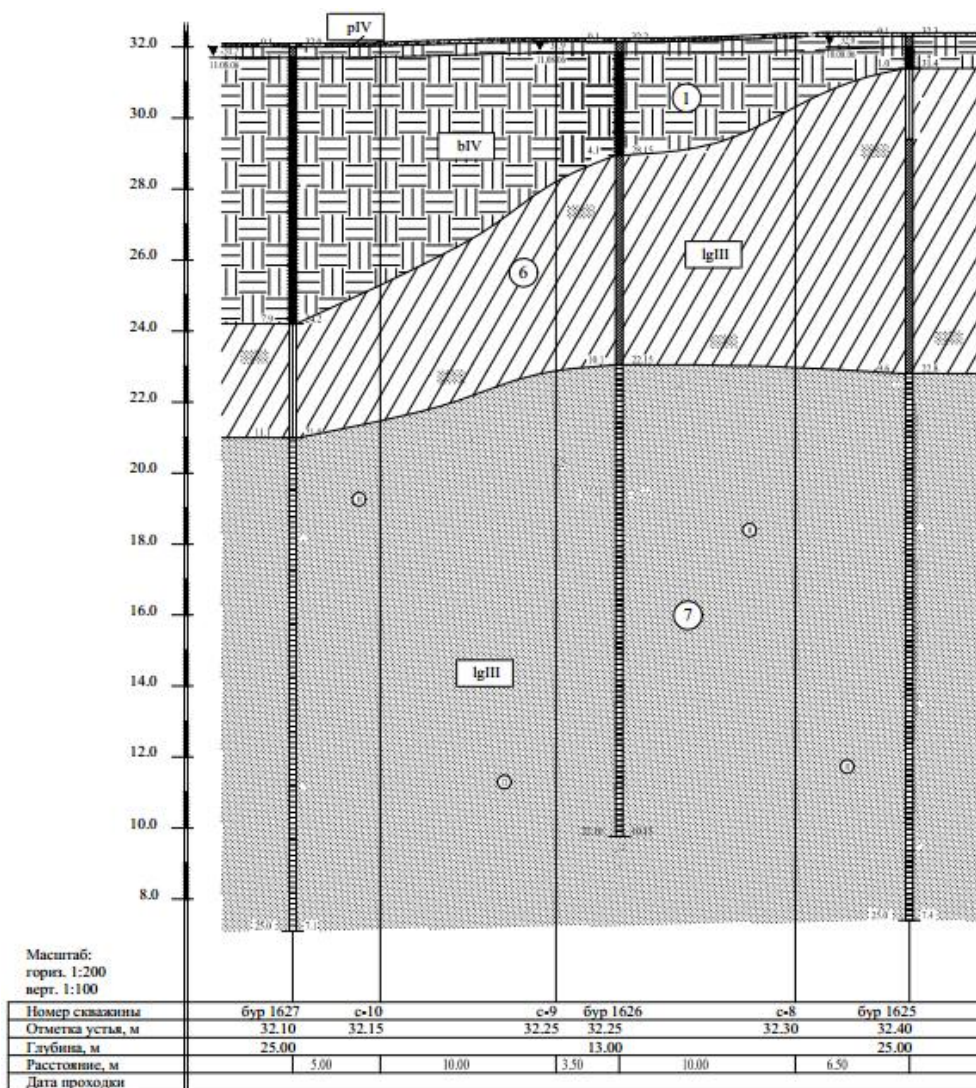
Нормативные и расчетные значения физико-механических характеристик грунтов, слагающих разрез площадки

№ ИЭ	Наименование грунтов	Геологический индекс	Плотность грунта, г/см ³			Коэффициент пористости	Естественная влажность, дол.ед	Число пластичности	Показатель текучести	Прочностные характеристики						Модуль деформации, МПа кгс/см ²	Коэф. фильтрации м/сут	Метод определения расчетных характеристик
										угол внутреннего трения, [°]			сцепление, МПа кгс/см ²					
			ρ _n	ρ _{II}	ρ _I	e	We	I _p	I _L /C _B	φ _n	φ _{II}	φ _I	C _n	C _{II}	C _I	E	K _ф	
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
1	Торф	b _{IV}					1,83	В качестве естественного основания не рекомендуется										
6	Суглинки полутвердые с прослоями тугопластичных	lg III	2.08	2.08	2.06	0.587	0.21	0.13	$\frac{0.01}{-0.20}$	16	15	14	$\frac{0.038}{0.38}$	$\frac{0.036}{0.36}$	$\frac{0.032}{0.32}$	$\frac{16}{160}$	<0.001	φ, с – лабораторные данные E – статическое зондирование
7	Пески мелкие	lg III	1.83	1.83	1.81	0.800	влажные	-	-	28	27	25	$\frac{0.000}{0.00}$	$\frac{0.000}{0.00}$	$\frac{0.000}{0.00}$	$\frac{12}{120}$	4.0*	φ, с, E – прим. к СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83*) прил.Б, табл.Б.1 с учетом стат. зондирования

Примечание:

- 1) доверительная вероятность принята равной при расчете: ρ_{II}, φ_{II}, C_{II} - α = 0.85; ρ_I, φ_I, C_I - α = 0.95;
- 2) K_ф - принят по "Справочнику строителя" («Стройиздат», Москва, 1983г), *K_ф - лабораторные данные

Геолого-литологический разрез



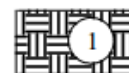
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Четвертичная система - Q
 Современные отложения - Q IV
 Почвенные образования - pIV



Почвенно-растительный слой

Биогенные отложения - bIV

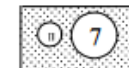


ИГЭ - 1. Торфа слаборазложившиеся, темно-коричневые, с гл. 0,4 м - водонасыщенные

Верхнечетвертичный отдел - Q III
 Озерно-ледниковые отложения - IgIII



ИГЭ - 6. Суглинки пылеватые тугопластичные, мягкопластичные, (в скв.1621 с гл.6,5 м - текучепластичные), серые, слоистые, с прослоями песка



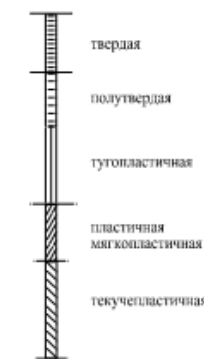
ИГЭ - 7. Пески мелкие светло-коричневые, серые, средней плотности слоистая

Подземные воды

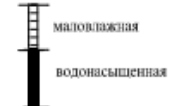


26.05
08.08.06 Слева:
абсолютная отметка уровня воды, м
Дата замера

Консистенции для связных грунтов



Консистенции для несвязных грунтов



Литологическая граница
 Стратиграфическая граница



Номер инженерно-геологического элемента

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, R , кПа						
	песков средней плотности						
	гравелистых	крупных	-	средней крупности	мелких	пылеватых	-
	глинистых грунтов при показателе текучести I_L , равном						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	7500	$\frac{6600}{4000}$	3000	$\frac{3100}{2000}$	$\frac{2000}{1200}$	1100	600
4	8300	$\frac{6800}{5100}$	3800	$\frac{3200}{2500}$	$\frac{2100}{1600}$	1250	700
5	8800	$\frac{7000}{6200}$	4000	$\frac{3400}{2800}$	$\frac{2200}{2000}$	1300	800
7	9700	$\frac{7300}{6900}$	4300	$\frac{3700}{3300}$	$\frac{2400}{2200}$	1400	850
10	10500	$\frac{7700}{7300}$	5000	$\frac{4000}{3500}$	$\frac{2600}{2400}$	1500	900
15	11700	$\frac{8200}{7500}$	5600	$\frac{4400}{4000}$	2900	1650	1000
20	12600	8500	6200	$\frac{4800}{4500}$	3200	1800	1100
25	13400	9000	6800	5200	3500	1950	1200
30	14200	9500	7400	5600	3800	2100	1300
≥ 35	15000	10000	8000	6000	4100	2250	1400

Примечания

1 Над чертой даны значения R для песков, под чертой - для глинистых грунтов.

2 В таблицах 7.2 и 7.3 глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта при планировке территории срезкой, подсыпкой, намывом до 3 м следует принимать от уровня природного рельефа, а при срезке, подсыпке, намыве от 3 м - от условной отметки, расположенной соответственно на 3 м выше уровня срезки или на 3 м ниже уровня подсыпки.

Глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта в водоеме следует принимать от уровня дна после общего размыва расчетным паводком, на болотах - от уровня дна болота.

При проектировании путепроводов через выемки глубиной до 6 м для свай, забиваемых молотами без подмыва или устройства лидерных скважин, глубину погружения в грунт нижнего конца сваи в таблице 7.2 следует принимать от уровня природного рельефа в месте сооружения фундамента. Для выемок глубиной более 6 м глубину погружения свай следует принимать как для выемок глубиной 6 м.

3 Для промежуточных глубин погружения свай и промежуточных значений показателя текучести I_L глинистых грунтов значения R и f_i в таблицах 7.2 и 7.3 определяют интерполяцией.

4 Для плотных песков, плотность которых определена по данным статического зондирования, значения R по таблице 7.2 для свай, погруженных без использования подмыва или лидерных скважин, следует увеличить на 100%. При определении плотности грунта по данным других видов инженерных изысканий и отсутствии данных статического зондирования для плотных песков значения R по таблице 7.2 следует увеличить на 60%, но не более чем до 20000 кПа.

5 Значения расчетных сопротивлений R по таблице 7.2 допускается использовать при условии, если заглубление свай в неразмываемый и несрезаемый грунт составляет не менее, м:

4,0 - для мостов и гидротехнических сооружений;

3,0 - для зданий и прочих сооружений.

6 Значения расчетного сопротивления R под нижним концом забивных свай сечением 0,15x0,15 м и менее, используемых в качестве фундаментов под внутренние перегородки одноэтажных производственных зданий, допускается увеличивать на 20%.

7 Для супесей при числе пластичности $I_p \leq 4$ и коэффициенте пористости $e < 0,8$ расчетные сопротивления R и f_i следует определять как для пылеватых песков средней плотности.

8 При расчетах показатель текучести грунтов следует принимать применительно к прогнозируемому их состоянию в период эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

Средняя глубина расположения слоя грунта, м	Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек f_i , кПа								
	песков средней плотности								
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых	-	-	-	-	-	-
	глинистых грунтов при показателе текучести I_L , равном								
	$\leq 0,2$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	9	8	7	5
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	6
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7
≥ 35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Примечания
1 При определении расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности свай f_i следует учитывать требования, изложенные в примечаниях 2, 3 и 8 к таблице 7.2.
2 При определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай f_i пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 м.
3 Значения расчетного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай f_i следует увеличивать на 30% по сравнению со значениями, приведенными в таблице.
4 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 7.3, при любых значениях показателя текучести.

Способы погружения забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, и виды грунтов	Коэффициенты условий работы грунта при расчете несущей способности свай	
	под нижним концом γ_{cR}	на боковой поверхности γ_{cf}
1 Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механическими (подвесными), паровоздушными и дизельными молотами	1,0	1,0
2 Погружение забивкой и вдавливанием в предварительно пробуренные лидерные скважины с заглублением концов свай не менее 1 м ниже забоя скважины при ее диаметре: а) равно стороне квадратной сваи б) на 0,05 м менее стороны квадратной сваи в) на 0,15 м менее стороны квадратной или диаметра сваи круглого сечения (для опор линий электропередачи)	1,0 1,0 1,0	0,5 0,6 1,0
3 Погружение с подмывом в песчаные грунты при условии добивки свай на последнем этапе погружения без применения подмыва на 1 м и более	1,0	0,9
4 Вибропогружение свай-оболочек, вибропогружение и вибровдавливание свай в грунты: а) пески средней плотности: крупные и средней крупности мелкие пылеватые б) глинистые с показателем текучести $I_L = 0,5$: супеси суглинки глины в) глинистые с показателем текучести $I_L \leq 0$	1,2 1,0 1,0 0,9 0,8 0,7 1,0	1,0 1,0 1,0 0,9 0,9 0,9 1,0
5 Погружение молотами полых железобетонных свай с открытым нижним концом: а) при диаметре полости сваи менее 0,4 м б) то же, от 0,4 до 0,8 м	1,0 0,7	1,0 1,0
6 Погружение любым способом полых свай круглого сечения с закрытым нижним концом на глубину 10 м и более с последующим устройством в нижнем конце свай камуфлетного уширения в песчаных грунтах средней плотности и в глинистых грунтах с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при диаметре уширения, равном: а) 1,0 м независимо от указанных видов грунта б) 1,5 м в песках и супесях в) 1,5 м в суглинках и глинах	0,9 0,8 0,7	1,0 1,0 1,0
7 Погружение вдавливанием свай: а) в пески крупные, средней крупности и мелкие б) в пески пылеватые в) в глинистые грунты с показателем текучести $I_L < 0,5$ г) то же, $I_L \geq 0,5$	1,1 1,1 1,1 1,0	1,0 0,8 1,0 1,0
Примечание Коэффициенты γ_{cR} и γ_{cf} по поз.4 для глинистых грунтов с показателем текучести $0,5 > I_L > 0$ определяют интерполяцией.		