

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Савина Ивилина Вячеславовна**

**Выпускная квалификационная работа**

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ  
НИЖНЕКЕМБРИЙСКИХ ГЛИН В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Основная образовательная программа магистратуры

«Геология»

Профиль «Инженерная геология»

Научный руководитель: доцент кафедры  
грунтоведения и инженерной геологии, к.г.-м.н.  
Бурлуцкий Станислав Борисович

  
«16» август 2018

Рецензент: доцент кафедры гидрогеологии и  
инженерной геологии Санкт-Петербургского  
горного университета,  
к.г.-м.н. Поспехов Георгий Борисович

Санкт Петербург  
2018

Содержание	
ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ .....	6
1.1. Общие положения.....	6
1.2. Основные факторы, влияющие на механические свойства глин .....	9
1.3. Выводы к первой главе.....	10
ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
2.1. Рельеф .....	12
2.2. Гидрография .....	17
2.3. Климат.....	23
2.4. Геологическое строение .....	26
2.4.1. Стратиграфия.....	26
2.4.2. Четвертичные отложения .....	32
2.5. Гидрогеологические условия.....	35
2.6. Выводы ко второй главе.....	40
ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЯ .....	42
3.1. Общие положения.....	42
3.2. Природные и природно-техногенные процессы.....	49
3.2.1. Радоноопасность .....	49
3.2.2. «Глиняный диапиризм» .....	50
3.2.3. Экзогенные процессы .....	51
3.3. Выводы к третьей главе .....	53
ГЛАВА 4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОПОЛЗНЕ- ОПАСНОСТИ СКЛОНОВ.....	54
4.1. Оползневые процессы .....	54
4.2. Факторы, определяющие развитие оползней.....	60
4.3. Оценка оползнеопасности.....	62
4.4. Механизм оползневого процесса .....	64
4.4. Выводы к четвертой главе .....	65
ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИН.....	66
5.1. Инженерно-геологическая характеристика исследуемого оползневого склона левого берега р. Тосна в районе г. Никольское .....	66

5.2. Влияние влажности на прочностные свойства глинистых грунтов при одноплоскостном срезе .....	70
5.3. Оценка изменения коэффициента устойчивости типичного оползневого склона под влиянием природных факторов.....	74
5.4. Выводы к пятой главе.....	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	81
Список литературы.....	83
Перечень приложений.....	87
Приложение А.....	88
Приложение Б .....	89
Приложение В.....	90
Приложение Г .....	92
Приложение Ж.....	98
Приложение И.....	110
Приложение К.....	119
Приложение Л.....	120

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В геологическом строении Ленинградской области особое место занимают нижнекембрийские глины, которые часто рассматриваются в качестве естественного основания сооружения. При строительстве на глинистых грунтах нередко возникают деформации сооружений, вызванные разуплотнением, набуханием, размоканием.

При инженерно-геологическом изучении глинистых грунтов, помимо привычных физико-механических характеристик, необходимо также учитывать факторы, влияющие на их изменение.

К основным природным факторам, оказывающим влияние на прочностные свойства глин, относятся выветривание и изменение влажности пород. Особое внимание необходимо уделить территории в пределах Предглинтовой низменности, где рассматриваемые нижнекембрийские глины выходят на дневную поверхность и наиболее подвержены влиянию упомянутых факторов.

Опыт строительства и эксплуатации инженерных сооружений в пределах Предглинтовой низменности показывает, что в ряде случаев наблюдается их переход в аварийное, либо предаварийное состояние. Например, построенное жилое сооружение на правом берегу реки Тосна в г.Никольское испытывает деформации в результате развития процесса оползнеобразования. Такая же проблема наблюдается и на левом берегу, где проходит автомобильная дорога, испытывающая разрушение дорожного полотна.

Одной из причин, провоцирующей возникновение подобных оползней, является изменение прочностных свойств глин под влиянием природных факторов. Особенно большое значение имеет изменение влажности в результате обильно снеготаяния или выпадения значительного объема осадков в виде дождей.

Вопросы изменения прочностных характеристик глинистых грунтов от влажности освещались в работах Н.Ф.Зунга, С.Б. Омуралиева и многих других исследователей.

Так как сопротивление грунта сдвигу является одним из важнейших его прочностных параметров, коренным образом определяющим устойчивость грунтовых масс на склонах, возникает необходимость изучения влияния влажности нижнекембрийских глин на изменение их прочностных свойств.

**Цель работы.** Оценка влияния влажности и выветрелости на показатели прочностных свойств нижнекембрийских глин Ленинградской области.

### **Основные задачи исследований**

1. Анализ формирования и распространения нижнекембрийских глин, изучение их физико-механических свойств.

2. Выявление и изучение природных факторов, влияющих на изменение физико-механических свойств глинистых грунтов.

3. Организация и осуществление полевых работ, сопровождающихся рекогносцировочным исследованием изучаемой территории в окрестностях г. Никольское и отбор образцов для дальнейших исследований.

4. Определение прочностных характеристик нижнекембрийских глин методом одноплоскостного среза в лабораторных условиях при различных значениях влажности.

5. Оценка закономерностей изменения прочностных характеристик глин от их влажности на основе результатов, полученных в ходе лабораторных исследований.

6. Определение расчетным методом изменения коэффициента устойчивости типичного оползневого склона при изменении влажности слагающих его глинистых грунтов и получение зависимости между этими характеристиками.

**Личный вклад автора** заключается в:

- участии в полевых работах, в которые входило рекогносцировочное исследование изучаемой территории и опробование грунтов на оползневом склоне;
- выполнении лабораторных определений физико-механических свойств грунтов;
- проведении экспериментальных исследований прочностных свойств глин с целью установления влияния влажности на удельное сцепление и угол внутреннего трения;
- камеральной обработке данных;
- определении закономерности изменения прочностных характеристик глин от их влажности;
- получении зависимости коэффициента устойчивости оползневого склона от влажности грунтов.

**Основные методы исследований.** Теоретические исследования условий формирования и природы прочности глин, лабораторные определения физико-механических свойств верхнечетвертичных отложений и нижнекембрийских глин, экспериментальные исследования прочностных свойств, анализ результатов.

### **Научная новизна**

- Теоретическими и экспериментальными исследованиями показана закономерность изменения прочностных характеристик глин от их влажности
- Получена зависимость коэффициента устойчивости от влажности грунта для оползней развивающихся по контакту суглинок-глина.

**Структура работы.** Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения. Объем работы 120 страниц машинописного текста, включая 28 рисунков и 8 таблиц, 8 приложений и библиографический список из 52 наименований.

Автор выражает благодарность за постоянную помощь и поддержку на всех этапах подготовки выпускной квалификационной работы научному руководителю к-г.-м.н., С.Б. Бурлуцкому. Отдельную благодарность автор выражает асп. Санкт-Петербургского горного университета Анастасии Голобородько за содействие в проведении полевых и лабораторных работ.

# ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. Общие положения

Одним из наиболее распространенных типов горных пород являются глины. Они составляют до 11% всего объема земной коры. При проектировании и строительстве зданий и сооружений очень часто приходится иметь дело с глинами, хотя глины широко используются и имеется продолжительный опыт строительства на них, все еще существует много вопросов, связанных с особенностями поведения глинистых пород. Об этом могут свидетельствовать многочисленные деформации различных инженерных сооружений, происходящие в результате уплотнения, набухания, усадки, разжижения и размокания глинистых пород в их основаниях.

При инженерно-геологическом изучении горных пород в первую очередь исследуют их физико-механические свойства, природу этих свойств и факторы, влияющие на их изменение.

Факторы, влияющие на свойства глинистых пород:

1) Минеральный состав. Глины состоят из очень мелких по размеру микрокристаллов глинистых минералов, именно это определяет большинство свойств этих пород. Естественное физическое состояние глин – высокая дисперсность. Физико-химическая активность глинистых минералов помимо малого размера, зависит от особенностей их кристаллического строения.

Кристаллическая структура глинистых минералов представляет собой контакт тетраэдрических и октаэдрических элементов. Первый элемент образован кремнекислородными тетраэдрами, сложенными из атома кремния и четырех окружающих его атомов кислорода. Отдельные тетраэдры, соединяясь друг с другом, образуют непрерывную двухмерную тетраэдрическую сетку. (Соколов, 2000). Следующим структурным элементом глинистых минералов является октаэдр, образованный шестью атомами кислорода или гидроксильными группами. В его центре может располагаться атом алюминия, железа или магния. Отдельные октаэдры, соединяясь, образуют двухмерную октаэдрическую сетку.

Из-за схожести в размерах тетраэдрические и октаэдрические сетки легко совмещаются друг с другом и образуют единый гетерогенный слой. Связь между гетерогенными слоями у глинистых минералов может быть различной в зависимости от особенностей строения слоя и его заряда. У некоторых глинистых минералов она достаточно прочна и обеспечивается взаимодействием атомов кислорода и

гидроксильных групп (водородная связь) или катионами, располагающимися в межслоевом пространстве (ионно-электростатическая связь). У других минералов связь между слоями менее прочная и обусловлена молекулярными силами. В первом случае глинистые минералы имеют более жесткую кристаллическую структуру, то есть такую, в которой молекулы воды и обменные катионы не могут проникать в межслоевое пространство кристалла. У минералов с жесткой кристаллической структурой (каолинит, гидрослюда, хлорит, палыгорскит) внутрикристаллическое набухание (расширение межслоевого расстояния при взаимодействии с молекулами воды) отсутствует (Рис 1). Во втором случае глинистые минералы (монтмориллонит, нонтронит) имеют раздвижную кристаллическую структуру (Рис 2.). При гидратации таких минералов молекулы воды и обменные катионы могут проникать в межслоевое пространство и существенно увеличивать межслоевое расстояние, обуславливая этим большое внутрикристаллическое набухание (Осипов, 1989).

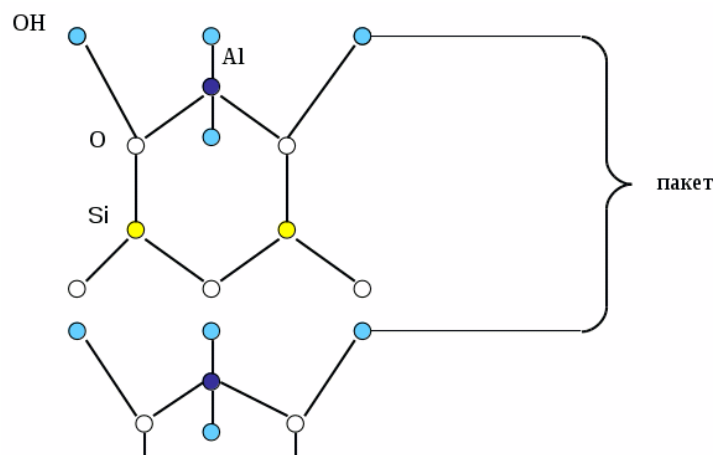


Рисунок 1. Схема кристаллической решетки каолинита. (Соколов, 2000).

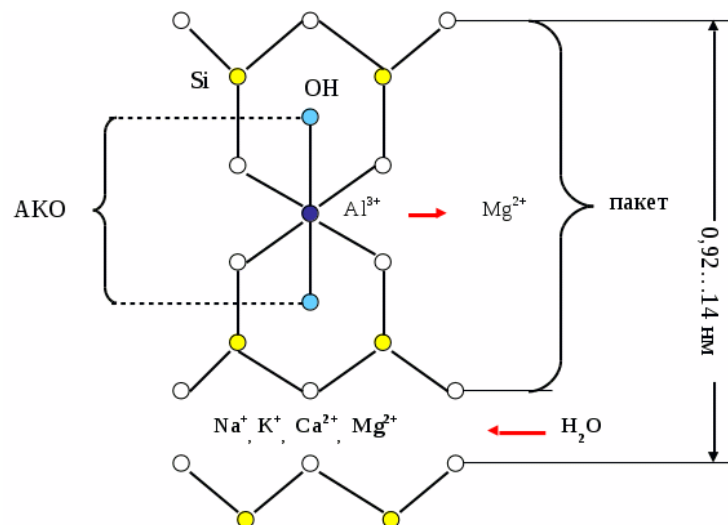


Рисунок 2. Схема кристаллической решетки монтмориллонита. (Соколов, 2000).



2. Структура глинистых пород, является следующим важным фактором, определяющим свойства глин. Под структурой понимают размер, форму, характер поверхности и количественное соотношение структурных элементов, их ориентацию в пространстве и тип структурных связей (Осипов, 1989). На многие свойства глинистых пород, и в первую очередь на прочностные и деформационные, большое влияние оказывает характер структурных связей, то есть сил, которые действуют между минеральными частицами.

В зависимости от состава и структуры глинистой породы между частицами могут существовать такие виды взаимодействий, как гравитационные, магнитные, молекулярные, электростатические, ионно-электростатические, силы поверхностного натяжения и силы, обусловленные химическими связями. Эти силы действуют не по всей межфазной границе частиц, а только в местах их непосредственных контактов. Характер индивидуальных контактов, а также их количество являются важными показателями структуры породы, от которых зависят ее прочностные и деформационные свойства (Осипов, 1989).

В глинах между минеральными частицами возможно формирование трех типов контактов: коагуляционных, переходных и фазовых (Соколов, 2000).

Коагуляционные контакты чаще всего встречаются у молодых глинистых осадков и слабоуплотненных глин. Их главной чертой является наличие между частицами тонкой равновесной пленки жидкости (связанной воды), толщина которой зависит от физико-химических факторов, и может достигать нескольких десятков нанометров. Притяжение частиц в таком контакте обусловлено дальнедействующими молекулярными, магнитными и электростатическими взаимодействиями. Главной особенностью коагуляционных контактов является низкая прочность и обратимый характер разрушения, то есть они могут быстро восстанавливаться после разрушения. С этим свойством связано такое явление, как тиксотропия молодых глинистых осадков. Оно заключается в потере прочности глинистых пород при динамических воздействиях на них и их полное восстановление после снятия таких воздействий.

Переходные контакты характерны водонасыщенным плотным глинистым породам, а также не полностью водонасыщенным глинам, находящимся в сухом и слабовлажном состояниях. Данный тип контакта характеризуется точечной площадью соприкосновения и образованием между частицами сравнительно прочной связи за счет действия ионно-электростатических и химических

(валентных) сил. Главная особенность переходных контактов это их обратимость по отношению к воздействию воды, то есть способность переходить в коагуляционные контакты при увлажнении породы и восстанавливаться при высыхании.

Фазовые контакты распространены в сильно уплотненных сцементированных глинах, аргиллитах, глинистых сланцах. Отличительной чертой данных контактов является наличие непосредственного соприкосновения между минеральными частицами на значительной контактной площади или развитие на контакте новой фазы (кремнезема, гипса, карбонатов), цементирующей минеральные частицы и микроагрегаты. Фазовые контакты образованы ионно-электростатическими и химическими силами, что обуславливает их высокую прочность. Глинистые породы с фазовыми контактами практически не теряют свою прочность и не пластифицируются при увлажнении.

В ходе геологического развития глинистых пород наблюдается закономерная смена типов контактов и изменение их прочности. Например, молодые нелигитированные глинистые осадки с коагуляционным типом контакта, за счет гравитационного уплотнения превращаются в пластичные глины с переходным типом контакта. При дальнейшем уплотнении осадков на больших глубинах при высоких значениях температуры и давления переходные контакты трансформируются в фазовые, что приводит к формированию прочных глинистых пород.

## **1.2. Основные факторы, влияющие на механические свойства глин**

При изучении свойств глинистых грунтов, большое внимание следует уделять механическим свойствам грунтов, так как по ним мы можем судить о их прочности.

Основным фактором, влияющим на поведение горных пород под воздействием нагрузок, являются именно механические свойства. Под нагрузками понимаются все воздействия внешних усилий, приводящие к деформации и разрушению пород. Свойство горных пород сопротивляться разрушению и образованию больших остаточных деформаций под действием нагрузки или, точнее, воспринимать, не разрушаясь в определенных пределах и условиях те или иные нагрузки, называется прочностью, а их свойство изменять под нагрузкой форму сложения и объем — деформацией. Эти свойства выражают и оценивают прочностными и деформационными показателями. (Ломтадзе, 1990)

Деформационные свойства пород показывают их способность противостоять нагрузкам, не приводящим к разрушению. Деформационное изменение породы под воздействием внешних сил проявляется в изменении её объёма и формы. Больше всего таким изменениям подвержены влажные пластичные глины. В них под влиянием внешних нагрузок начинаются процессы уплотнения и существенного изменения объёма. Именно за счёт этого, при строительстве и эксплуатации сооружений может происходить осадка пород, которая может достигать нескольких сантиметров. Поэтому одними из главных вопросов, которые предстоит решать при строительстве на глинистых породах, являются прогноз осадки сооружения и оценка критических условий деформирования пород оснований, при превышении которых может наступить разрушение самого сооружения (Соколов, 2000).

Знание прочностных свойств горных пород является определяющим фактором, при решении проблем устойчивости инженерных сооружений и позволяет составлять прогноз поведения этих пород в различных условиях. Сопротивление грунта сдвигу является одной из важных его характеристик, так как характеризует устойчивость грунта в склонах, откосах, а так же в основаниях различных инженерных сооружений.

Кроме рассмотренных факторов прочностные и деформационные свойства пород зависят от степени их выветрелости и разуплотнения. Выветривание пород сопровождается появлением и расширением микротрещин, ослаблением связи между зёрнами и изменением химического состава пород, все это приводит к уменьшению прочности глинистых пород.

Особую трудность представляет собой рассмотрение прочностных свойств глинистых пород в связи с их специфическим поведением при взаимодействии с водой. Так при увлажнении глин происходит значительная потеря их прочности. Например, когда под действием воды глины из плотных и высокопрочных пород превращаются в пластичные или жидкотекучие тела. Такие ситуации характерны для оползневых склонов, на которых из-за сильного увлажнения склоновых отложений в весеннее время, формируются оползни.

### **1.3. Выводы к первой главе**

1. При инженерно-геологическом изучении горных пород, для решения проблем устойчивости инженерных сооружений и прогноза их поведения в различных условиях необходимо изучать физико-механические свойства, природу этих свойств и факторы, влияющие на их изменение.

При изучении свойств глинистых грунтов, большое внимание следует уделять механическим свойствам грунтов, так как по ним мы можем судить о их прочности.

2. Факторы, влияющие на свойства глинистых пород: минеральный состав и структура пород.

3. К основным природным факторам, влияющим на изменение прочностных свойств глин, относятся степень выветрелости и влажность пород, которая может изменяться в результате смены сезонов.

4. Выветривание пород сопровождается разуплотнением и приводит к уменьшению прочности глинистых пород в верхней части отложений.

5. Сезонные изменения влажности глин приводят к потере прочности и переходу в пластичное и текучепластичное состояние. Изменение прочностных свойств под влиянием природных факторов провоцирует процесс оползнеобразования.

## ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глинистые породы достаточно широко распространены на территории Ленинградской области.

Рассмотрим физико-географическую обстановку и геологическое строение Ленинградской области.

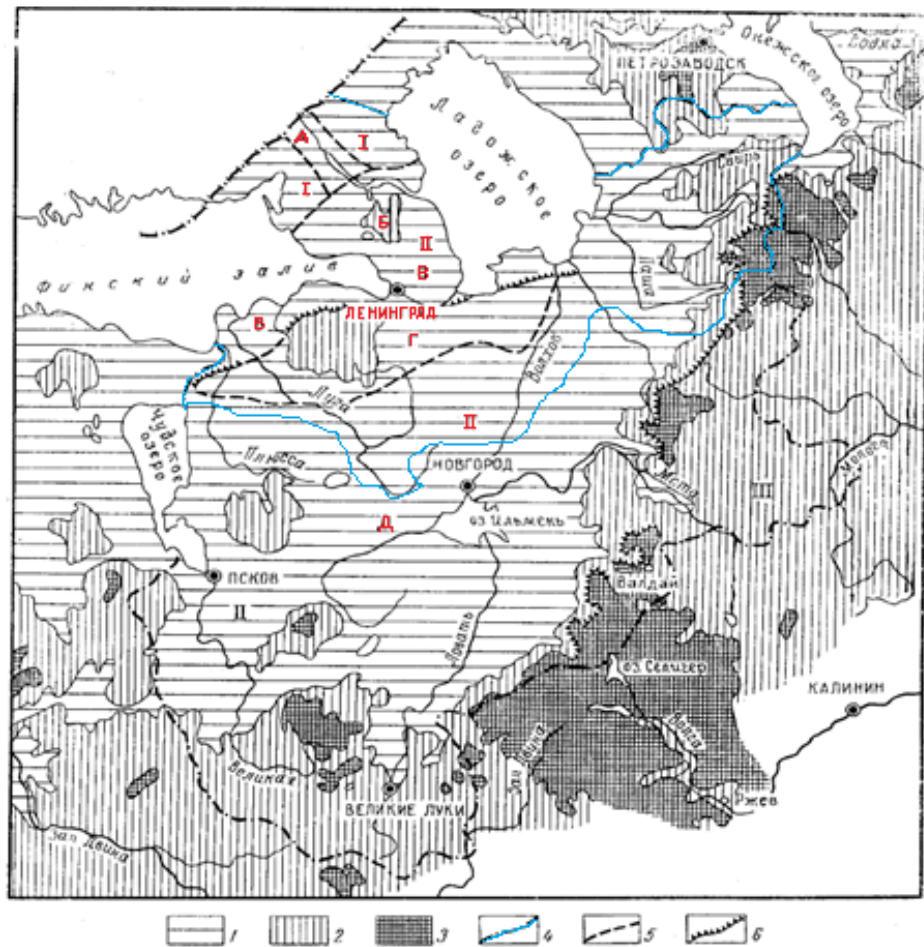
### 2.1. Рельеф

Ленинградская область расположена на северо-западе Восточно-Европейской (Русской) равнины, в пределах Прибалтийской низменности, с востока и юга она окаймляется Валдайской возвышенностью.

Северная часть Ленинградской области расположена в пределах самостоятельного орографического района – севера Карельского перешейка. Южнее расположена обширная Предглинтовая низменность с отдельными изолированными возвышенностями, ограниченная с юга Балтийско-Ладожским глинтом (Ордовикский глинт). Далее к югу простирается Ордовикское плато, к которому примыкает обширная девонская равнина, ограниченная с востока Валдайско-Онежским уступом (Карбоновым уступом). Восточную часть территории занимает Тихвинская и Вепсовская возвышенности (с максимальной отметкой 290 м), входящие в состав Валдайской, отличающиеся сильно пересеченным холмисто-моренным рельефом (Кофман, 1971).

Север Карельского перешейка характеризуется четкой северо-западной ориентировкой форм рельефа, обусловленной простиранием разломов и направлением движения ледника. Рельеф представлен чередованием ориентированных гряд, сложенных кристаллическими породами (сельг), и узких межгрядовых понижений.

В целом, территория характеризуется молодым разнообразным ледниковым рельефом, возникшим в период от 50 до 10 тыс. лет назад во время таяния последнего (валдайского) ледника. Довалдайская поверхность представляла собой ступенчатую равнину, расчлененную сетью глубоких и узких долин. Неровности этой поверхности стали «порогами», у которых сгружался рыхлый материал, принесенный ледником (Вербицкий, 2012).



Абсолютные высоты: 1 – 0-100 м; 2- 100-200 м; 3 – 200-300 м; 4 – границы Ленинградской области; 5 – границы орографических районов: I- Север Карельского перешейка, II- Прибалтийская низменность, А – Вуоксинская низина, Б – Центральная возвышенность Карельского перешейка, В – Предглинтовая низменность, Г – Ордовикское плато, Д – Девонская равнина; 6 – Балтийско-Ладожский и Валдайско-Онежский уступ.

Рисунок 3. Схематическая гипсометрическая карта Ленинградской области.  
(Архангельский, 1967)

Прибалтийская низменность представляет собой полого наклоненную на север волнистую равнину с абсолютными высотами от 50 до 100 м, пересеченную густой сетью рек. На общем фоне равнины выступает ряд изолированных возвышенностей, достигающих абсолютных отметок 200 - 300 м. Прибалтийская низменность подразделяется на следующие орографические районы: 1) Вуоксинская низина, 2) центральная возвышенность Карельского перешейка, 3) Предглинтовая низменность, 4) Балтийско-Ладожский (Ордовикский) глинт, 5) Ордовикское плато, 6) Девонская равнина (Вербицкий, 2012).

*Вуоксинская низина* разделяет север Карельского перешейка на две части, вклиниваясь в центральную его часть в виде заливообразного понижения. Поверхность низины слабоволнистая, почти равнинная, наклоненная на юго-восток к Ладожскому озеру с изменением абсолютных отметок примерно от 50 до 5 м на побережье.

*Центральная возвышенность Карельского перешейка*, включающая Котовскую возвышенность, Лемболовские и Токсовские высоты, представляет собой аккумулятивное моренное плато высотой 60 - 80 м. Поверхность плато неровная, местами волнистая. Относительные колебания высот в центральной части плато составляют 5 - 10 м, на окраинах и в пределах участков камового рельефа до 30 - 50 м. Максимальные абсолютные высоты в 170 - 205 м наблюдаются в центральной части возвышенности, к периферии они понижаются до 120 м.

*Предглинтовая низменность* ограничена с севера центральной возвышенностью Карельского перешейка, с юга - Балтийско-Ладожским уступом. Низменность представляет собой комплекс аккумулятивных террасовых поверхностей (с абсолютными высотами от 0 до 27 м), наклоненных в сторону Финского залива и Ладожского озера. Изолированные камовые массивы, нарушающие равнинный рельеф террас, возвышаются на 40 - 100 м, их высота достигает 50 - 137 м (Колтушская возвышенность 80 м, Всеволожская 50 м, Юкковская 80 м, Семейская 96 м и Соикинская 137 м). Склоны возвышенностей крутые - до 20°, обычно террасированные.

Это область развития преимущественно терригенных пород вендской и кембрийской систем, которые выходят на дневную поверхность, либо перекрыты тонким покровом молодых четвертичных отложений, мощность которых увеличивается в восточном направлении. Ширина Предглинтовой низменности 9-20 км, на востоке района по берегам р. Невы низменность переходит в Приневскую низину. Приневская низина представляют собой, заболоченную, плоско-волнистую террасированную равнину, с относительными превышениями не более 5 м.

*Балтийско-Ладожский (Ордовикский) глинт* протягивается вдоль побережий Финского залива и Ладожского озера от р. Нарвы на западе до р. Сяси на востоке, ограничивая с севера Ордовикское плато. Он представляет собой хорошо выраженный в рельефе денудационный уступ, сложенный в нижней части кембрийскими глинами, выше которых залегает кембрийско-ордовикская песчаная толща, перекрытая известняками ордовика (Вербицкий, 2012). Максимальные

отметки бровки уступа 100 - 120 м абсолютной высоты (относительная высота до 30 - 40 м). Почти на всем протяжении глинт расчленен оврагами и каньонообразными речными долинами с порожистыми руслами рек в местах пересечения ими уступа. Происхождение глинта до сих пор вызывает много споров. Некоторые исследователи считают, что он маркирует береговой уступ четвертичного моря-озера, сформировавшегося после таяния ледника, другие - что глинт образовался в результате эрозионной деятельности древней реки, протекавшей с востока на запад (Кофман, 1971). Глинт имеет, в целом, протяженность более 1000 км. Происхождение глинта до конца не выяснено, но в настоящее время большинство исследователей согласны считать, что он маркирует береговой уступ Иольдиевого моря, образовавшегося после таяния ледника (Ауслендер, 1969; Дронов, 2002). Установлено экзогенное происхождение глинта, не связанное с какими-либо тектоническими процессами и возможными нарушениями подстилающих его коренных отложений глин.

*Ордовикское плато* представляет собой плоскую возвышенную равнину, наклоненную к югу, в сторону уступа с отметками поверхности от 50 до 150 м абсолютной высоты. Плато разделяется на два обособленных участка: западный, наиболее приподнятый и обширный, называемый Ижорской возвышенностью (абсолютные отметки до 168 м), и восточный – Волховское плато (абсолютные отметки до 80 м).

*Девонская равнина* располагается к югу и северо-востоку от Ордовикского плато, представлена песчано-глинистыми карбонатными отложениями преимущественно среднего и верхнего девона. Равнина охватывает низины (абсолютные высоты 10-30 м) и разделяющие их возвышенности (абсолютные высоты 30-150 м) (Кофман, 1971).

Валдайская возвышенность представляет собой зону краевых ледниковых образований с интенсивно пересеченным холмистым (крупнохолмистым и холмисто-грядовым) рельефом. Холмы и гряды группируются в цепи и полосы, разделенные пониженными ровными и волнистыми участками. От Прибалтийской низменности отделена Валдайско-Онежским уступом, который в значительной своей части приурочен к склону Карбонового плато (к Карбоновому уступу).

*Валдайско-Онежский (Карбоновый)* уступ представляет собой наклонный уступ шириной от 3 - 5 до 20 км и высотой от 7 до 150 м, имеющий извилистые очертания с заливообразными понижениями по долинам рек, сложен в основном устойчивыми



к денудации известняками. Валдайско-Онежский уступ, перекрытый четвертичными отложениями, в современном рельефе выражен в виде склона Валдайской возвышенности (Вербицкий, 2012).

Большое влияние на формирование рельефа Ленинградской области оказали геологические процессы, происходившие в четвертичный период, когда на начальной стадии ледниковые эпохи чередовались с межледниковыми. Двигавшиеся ледники вспахивали поверхность, углубляя 20 встречавшиеся на их пути понижения рельефа и создавая новые, которые во времена таяния ледников заполнялись водой, образуя узкие приледниковые озёра, в которых накапливались песчано-глинистые отложения.

На Балтийском кристаллическом щите (север Карельского перешейка и юго-западное Прионежье) преобладал ледниковый снос, на остальной территории (Русской плите) — аккумуляция ледниковых наносов.

## 2.2. Гидрография

Практически вся территория Ленинградской области относится к бассейну Балтийского моря. Лишь небольшой район, расположенный к юго-востоку от водораздельной Вепсовской возвышенности, относится к бассейну р. Волга – Каспийского моря. Речная сеть Ленинградской области густая и разветвленная, представлена более 25 тыс. реками. Общая протяжённость рек составляет около 50 тыс. км.

Основной водной артерией области является р. Нева (длина – 74 км, площадь водосбора 281 000 кв. км, в том числе частного водосбора – около 5 тыс км<sup>2</sup>, средний расход воды – 2 500 м<sup>3</sup>/с), соединяющая Ладожское озеро и Финский залив, и протекающая по равнинной Приневской низменности. В послеледниковый период, около 10 тыс. лет назад, вся низменность была занята озерно-ледниковым водоемом, получившим название Балтийское ледниковое озеро. Последовавший затем спуск Балтийского озера привел к обособлению Ладожского озера. Соединение Ладожского озера с Финским заливом изначально происходило по водоразделу Карельского перешейка – Гейнийокского пролива. Около 3,5-4 тыс. лет назад после очередной фазы трансгрессии уровня Ладоги, ее воды прорвали Балтийско-Ладожский водораздел в его южной части и образовали реку Неву. Нева имеет невысокие берега (5-10 м) и общее падение всего 4 м. Годовой объем стока – 78,9 куб.км (Нежиховский, 1981). Река судоходна на всём протяжении и является частью Волго-Балтийского водного пути и Беломорско-Балтийского канала ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Реки Свирь (основные притоки Паша и Оять) и Волхов текут в низинах, которые в прошлом были заняты ледниковыми водоемами, и представляют собой по существу каналы - протоки между крупнейшими озерами Невско - Ладожского бассейна (Онежским и Ладожским и Ильменем и Ладожским). В среднем течении реки Свирь и в нижнем течении р. Волхов в естественном состоянии существовали пороги, однако зарегулирование рек в энергетических целях подняло их уровень и затопило пороги. Это сделало реки более пригодными для судоходства. На сегодняшний день существует глубоководный путь на всем протяжении реки Свирь, кроме того, плотина Верхнесвирской ГЭС сформировала Верхнесвирское водохранилище, включающее Ивинский разлив площадью 183 кв. км. Сток воды р. Свирь в течение года регулируется Онежским озером, поэтому, как и р. Нева, она

отличается равномерным режимом. В то же время р. Волхов характеризуется более неравномерным режимом, связанным со значительными колебаниями уровня воды озера Ильмень ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Р. Вуокса – это озёрно-речная система, включающая систему озёр и проток, и берущая свое начало в озере Сайма, на территории Финляндии. На Российской территории река Вуокса протекает через такие достаточно крупные озера Ленинградской области, как Вуокса, Суходольское, Балахановское. На российской территории в порожистой части течения Вуоксы построены две крупные гидроэлектростанции.

Река Сясь вытекает из болот на западном склоне Валдайской возвышенности и течёт по Приладожской низменности, впадая в Волховскую губу Ладожского озера. Бассейн реки охватывает восточную часть Ленинградской области. Через Тихвинский судоходный канал, пересекающий водораздел, а также через свой правый приток – р. Тихвинку, рр. Чагодошу и Мологу, р. Сясь соединяется с Волжским бассейном ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Среди многочисленных рек, впадающих в Финский залив, наиболее значительными являются р. Нарва (с притоками Плюсса и Россонь) и р. Луга (с притоком Оредеж). Р. Нарва вытекает из Чудского озера и течет по границе Ленинградской области с Эстонией, впадая в Нарвскую губу Финского залива. В нижнем течении на реке создана крупная гидроэлектростанция; с постройкой плотины образовалось Нарвское водохранилище площадью 191,4 кв. км из которых более 150 кв. км принадлежат России. Река Нарва судоходна на Нарвском водохранилище (15 км) и ниже Нарвской ГЭС (14,9 км). Река Луга берёт начало из Тесовских болот в Новгородской области, чуть юго-восточнее г. Луга пересекает границу с Ленинградской областью, и, собрав воды с ее юго-западной части, впадает в Лужскую губу Финского залива. В половодье часть воды Луги по протоке Россони сбрасываются в устье реки Нарва. Река судоходна лишь на отдельных участках. На Луге расположена находящаяся в законсервированном состоянии малая Кингисеппская ГЭС. ("Институт Озероведения Российской академии наук "электронный ресурс).

Основное питание рек Ленинградской области смешанное, с преобладанием снегового и дождевого, а также за счет подземных вод. Для всех рек характерен

восточно-европейский тип водного режима, с весенним половодьем с резким повышением уровня воды, и летне-осенней меженью. Меженный период наблюдается летом и зимой, когда реки питаются главным образом подземными водами. Осенью, а также иногда при длительных дождях летом на реках области наблюдаются паводки со значительным подъемом уровня воды ("Научно-популярная энциклопедия «Вода России "электронный ресурс).

Согласно данным многолетних исследований реки Ленинградской области покрываются льдом в конце ноября - в декабре. Максимальной толщины лед достигает в марте. Вскрытие происходит обычно в апреле, в отдельные годы - в мае. В последние годы, в связи с потеплением климата, продолжительность ледостава на реках существенно сократилась ("Научно-популярная энциклопедия «Вода России "электронный ресурс).

По данным Института озероведения Российской Академии Наук на территории Ленинградской области расположено более 6,8 тыс. озёр и искусственных водоёмов общей площадью около 12,1 тыс. км<sup>2</sup>, которые занимают 14% ее территории. Озёра распространены по территории Ленинградской области неравномерно. Существованию озёр способствует избыточное увлажнение Северо-запада России. Среди озёр много проточных, образующих живописные межозерья. Большинство озёр по происхождению относится к ледниковому типу. Таковы моренные озера Карельского перешейка (например, Мичуринское, Правдинское и Нахимовское), а также озера восточной части области, образовавшиеся в местах отступления ледника на моренных выносах.

Вдоль побережья Финского залива расположен ряд лагунных озёр с солоноватой водой, а на востоке области – карстовые озёра, особенностью которых является их периодическое исчезновение, вызванное различными причинами (засуха, изменение течения подземных потоков, и др.) ("Научно-популярная энциклопедия «Вода России "электронный ресурс).

В Рощинском и Токсовском районах и под Лугой в плотном кольце песчаных холмов залегают небольшие, но глубокие камовые озера с округлой формой, крутыми берегами и илистым дном. В древних ложбинах, в которых на поверхность выходят известняки, расположены карстовые озера (Архангельский, 1967).

Наиболее крупные озера имеют структурно-тектоническое происхождение- Ладожское, Онежское, которые приурочены к крупным впадинам рельефа и являются остатками еще более обширных ледниковых водоемов.

Ладожское озеро - самое крупное в Европе, имеет площадь 18 400 км<sup>2</sup> длину свыше 200 км, наибольшую ширину около 125 км. Озеро занимает обширную котловину, строение которой в различных частях неоднородно. Скалистые северные берега вдаются в озеро многочисленными мысами. Южные берега низкие, заболоченные, прямолинейные Глубина озера возрастает от южного побережья к северному и достигает 225 м. Общий объем воды в озере около 900 км<sup>3</sup>. Колебания уровня менее 2 м, чаще даже менее 1 м. Годовой ход уровня озера очень плавный, что объясняется не только его значительными размерами но и огромной площадью его бассейна, составляющей около 280 000 км<sup>2</sup> В Ладожском озере имеется более 500 небольших островов общей площадью свыше 300 км<sup>2</sup>, большая часть их находится около северного побережья. Посреди озера располагаются две группы (два архипелага) островов: Валаамская (свыше 50 островов) и Мантсин- Сари (около 40 островов) ("Энциклопедия научной библиотеки " Электронный ресурс).

Онежское озеро выходит на территорию области лишь своей южной частью. Его длина — 245 км, ширина — около 90 км, средняя глубина озера — 31 м, а наибольшая глубина —120 м. Весенний подъем воды продолжается в озере 1,5—2 месяца, причем годовая амплитуда колебания уровня достигает 0,9—1 м. Высота озерных волн — 2,5—3 м. В Онежское озеро впадают около 50 рек и свыше 1000 малых водотоков. Более половины-стока несут в нее Шуя, Суна и Водла, вытекает же из озера лишь Свирь (Архангельский, 1967).

Процессы заболачивания получили широкое развитие, что обусловлено преобладанием осадков над испарением, слабой расчлененностью и равнинностью рельефа, наличием большого количества впадин, плохой водопроницаемостью грунтов и близким к поверхности залеганием грунтовых вод. Почти пятая часть территории области (17%) представлена болотами, дающими начало многочисленным рекам и ручьям. Наиболее заболочена Ладожская приозерная равнина, болота которой достигают; 20 тысяч гектаров и более. Высокой заболоченностью отличаются бассейн Невы и водораздел Финского залива и Ладожского озера.

Большая часть болот области представлена крупными массивами. Основную часть занимают верховые олиготрофные болота, питающиеся атмосферными осадками. Они имеют выпуклую поверхность и мощную торфяную залежь. Максимальная мощность торфа на таких болотах (главным образом сфагнового состава) достигает 9 м и более.

Низинные болота распространены незначительно и сложены обычно древесно-осоковыми, осоковыми и гипновыми торфами хорошей степени разложения. Они встречаются на 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 (Архангельский, 1967).

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТА

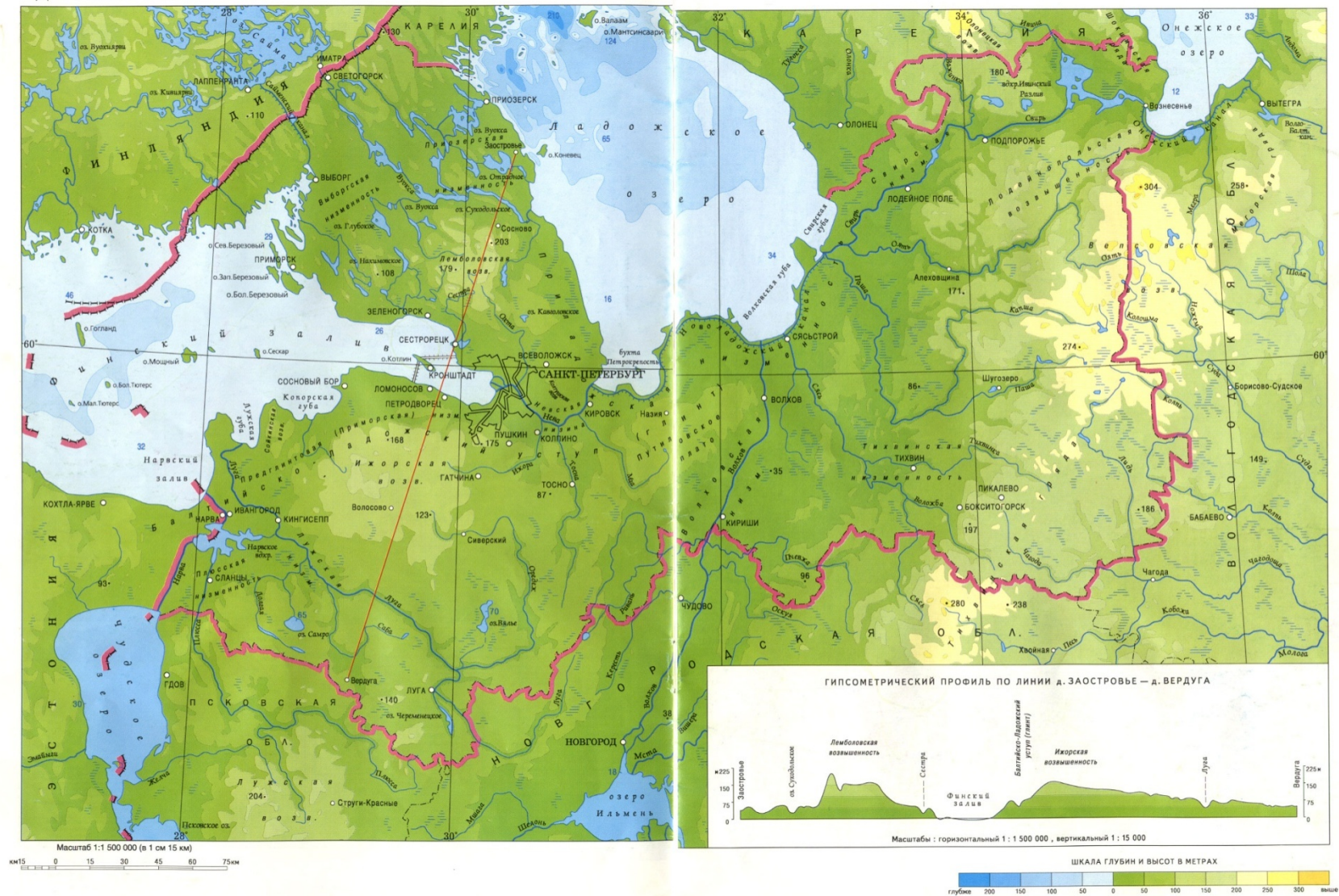


Рисунок 4. Физическая карта Ленинградской области («Института геоэкологии РАН» [Электронный ресурс])

## 2.3. Климат

Ленинградская область Район находится под воздействием морских атлантических и континентальных воздушных масс умеренных широт, частых вторжений арктического воздуха и активной циклонической деятельности. В результате формируется климат, близкий к морскому, основными особенностями которого являются большая относительная влажность воздуха в течение всего года, относительно короткое умеренно теплое и влажное лето и довольно продолжительная умеренно холодная зима с частыми оттепелями.

Циркуляция атмосферы в основном определяет формирование климата в холодный период, когда регион испытывает наибольшее влияние Атлантики. С атлантическими циклонами поступает значительное количество тепла, за счет которого зима смягчается, а осень оказывается теплее весны. Весной и летом циклоническая деятельность ослабевает, и в формировании климата возрастает роль радиационных факторов.

Средняя годовая температура воздуха 5,4 °С, наиболее холодным месяцем в году со среднемесячной температурой минус 6,6°С является январь, наиболее теплым – июль – +18,3°С. Абсолютный минимум температуры воздуха приходится на январь и составляет минус 36°С, абсолютный максимум наблюдается в июле и равен 37,1°С.

Средние и экстремальные значения основных климатических характеристик по станции Санкт-Петербург приводятся в таблицах 1 - 3.

Таблица 1. Средние и экстремальные значения температуры воздуха, °С

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
<i>средняя</i>	-6,6	-6,3	-1,5	4,5	10,9	15,7	18,3	16,7	11,4	5,7	0,2	-3,9	5,4
ср.минимальная	-10,7	-11,0	-7,2	-0,3	5,5	10,8	13,8	12,5	7,8	2,7	-2,3	-7,3	1,2
ср.максимальная	-5,1	-4,8	-0,3	7,2	14,5	19,4	22,3	20,1	14,5	7,5	1,6	-2,6	7,8
<i>абс. .минимум</i>	-35.9 (1883)	-35.2 (1956)	-29.9 (1883)	-21.8 (1881)	-6.6 (1885)	0.1 (1930)	4.9 (1968)	1.3 (1966)	-3.1 (1976)	-12.9 (1920)	-22.2 (1890)	-34.4 (1978)	<b>-35.9</b> (1883)
<i>абс. .максимум</i>	8.6 (2007)	10.2 (1989)	14.9 (2007)	25.3 (2000)	30.9 (1958)	34.6 (1998)	35.3 (2010)	37.1 (2010)	30.4 (1992)	21.0 (1889)	12.3 (1967)	9.1 (1953)	<b>37.1</b> (2010)
ср. абс.	-23	-22	-18	-8	-1	5	9	7	1	-4	-11	-19	-26
ср.абс.	2	2	6	17	24	27	28	27	22	14	8	4	30

Таблица 2. Температурные параметры теплого периода (СП 131.13330.2012, станция Санкт-Петербург)



Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	Сред. максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца °С	Абсолютная максимальная температура воздуха °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С
22	25	22,1	37	8,0

Таблица 3. Температурные параметры холодного периода (СП 131.13330.2012, станция Санкт-Петербург)

температура воздуха, °С				температура воздуха °С обеспеченностью 0,94	средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха					
наиболее холодных суток обеспеченностью		наиболее холодной пятидневки обеспеченностью				≤ 0°С		≤ 8°С		≤ 10°С	
продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура			продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура		
0.98	0.92	0.98	0.92	-11	5,3	131	-4,6	213	-1,3	232	-0,4

Средняя дата последнего заморозка 5 мая, первого – 9 октября. Продолжительность безморозного периода 156 дней.

Среднее годовое количество осадков составляет 620мм. В теплый период года выпадает 64% осадков, в холодный – 36%. Число дней в году с осадками в среднем 194. Снежный покров появляется в среднем 1 ноября, становится устойчивым 6 декабря, разрушается 31 марта, окончательно сходит 15 апреля. Средняя высота снежного покрова 33см, наибольшая 61см.

Большое значение в формировании климата имеет ветровой режим. Преобладающими в году являются ветры западного, юго-западного и южного направлений. Повторяемость их меняется от сезона к сезону. Так, зимой и осенью преобладают юго-западные, а весной и летом – западные ветры. Среднегодовая скорость ветра – 3,0 м/с. В холодный период года ветры сильнее, в теплый - они ослабевают. Сильные ветры (до 15 м/с) бывают редко, 8-10 дней в году, в основном зимой.

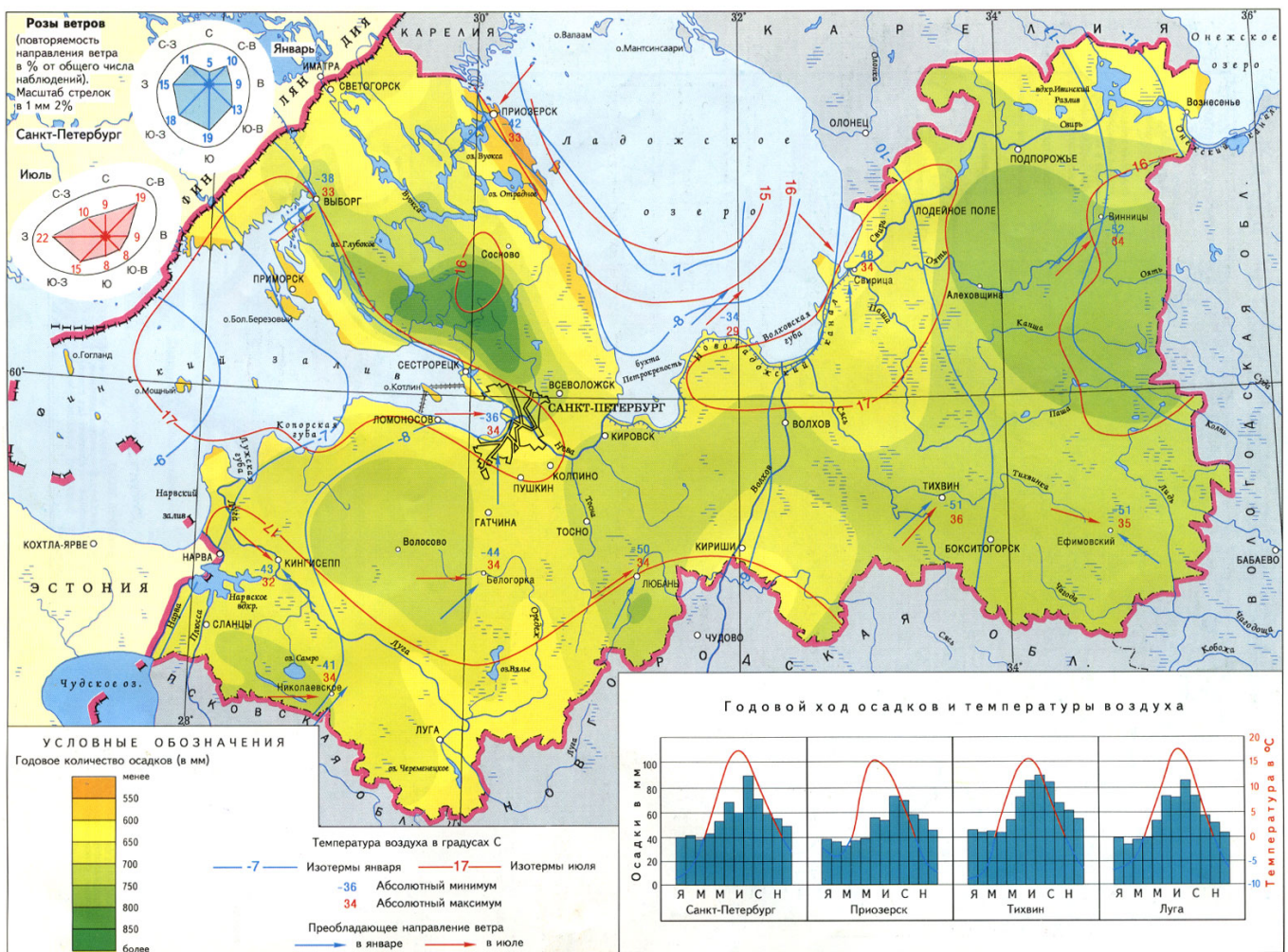
Минимальная относительная влажность воздуха наблюдается в июле, августе, когда в 15 часов она падает до 84%.

Нормативное количество осадков в соответствии с СП 131.13330.2012 составляет 650-700 мм в год.

Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов, согласно п 5.5.3 СП 22.13330.2011 и т 5.1 СП 131.13330.2012, составляет:

- насыпные грунты – 1,45м;
- суглинки и глины – 0,98м;
- супеси, пески пылеватые и мелкие– 1,2м;
- торф – 1,0 м.

В соответствии с климатическим районированием страны для строительства (СП 131.13330.2012), Приложение А «Строительная климатология») территория относится к строительно-климатическому району II-Б.



Масштаб 1 : 2 000 000

Рисунок 5. Климатическая карта Ленинградской области. (ИГЭ РАН, 2017)

## 2.4. Геологическое строение

В геологическом отношении Ленинградская область находится на северо-западной окраине Русской платформы и представляет собой область развития осадочных отложений, от протерозойского до карбонового возраста, залегающей моноклинально, общей мощностью до 2500 м. Докембрийский кристаллический фундамент выходит на поверхность только в районе Карельского перешейка, который составляет часть Балтийского щита и представлен гнейсами и сланцами AR и интрузиями кислых и основных пород PR<sub>1</sub>-PR<sub>2</sub> возраста. В строении рассматриваемой территории выделяются два структурных этажа: нижний – кристаллический фундамент, верхний – осадочный чехол (Вербицкий, 2012).

На поверхности практически вся территория Ленинградской области перекрыта почти сплошным чехлом рыхлых четвертичных отложений различной мощности, преимущественно ледникового и водно-ледникового происхождения. (Кофман, 1971).

### 2.4.1. Стратиграфия

В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие архейские и нижнепротерозойские кристаллические породы фундамента, которые встречаются на глубине 200 – 220 м. Они представлены различными гнейсами и кристаллическими сланцами, прорванными многочисленными интрузиями гранитов, диоритов и габбро. На них залегают осадочные отложения верхнего протерозоя, которые также не выходят на поверхность, но вскрыты буровыми скважинами. Эти отложения представлены красноцветными песчаниками с силлами средних и кислых пород (Кофман, 1971).

В основании фундамента на месте подвижных поясов доплатформенного этапа или в зонах крупных нарушений в фундаменте платформ расположены многочисленные рифтовые структуры — авлакогены, выполненные мощными толщами континентальных и мелководно-морских обломочных отложений рифея — нижнего венда. Отложение нижнего рифея представлены щелочными гранитами А-типа, среднего и верхнего рифея – песчано-алевролитоглинистыми образованиями.

Плитный комплекс чехла Русской платформы начинает формироваться в середине венда. Вендские отложения представлены Старорусской и Василеостровской свитой. Старорусская свита представлена плотными глинами с песчаниками в основании. В кровле породы выветрелые, ожелезненные, табачно-желтой окраски, с трещинками усыхания. Породы старорусской свиты содержат обедненный комплекс

органогенных микрофоссилий – акритарх *Laisphaeridia minutissima* E i s., *L.Culgynica* J a n k., растительные пленки аморфного органического вещества (определения Е. Ю. Голубковой, ИГГД РАН). В строении разреза Василеостровской свиты отражается трансгрессивный характер седиментации. Нижняя его часть представлена глинисто-алевролитно-песчаной пачкой, верхняя, большая – аргиллито-глинистой, достаточно выдержанной по латерали. Первая представляет нижнюю, вторая верхнюю подсвиты. Нижняя подсвита ( $V_{2vo1}$ ) в стратотипическом разрезе скважины Геолкома на Васильевском острове, внизу сложена 42-метровой песчаной пачкой, вверху глинами уплотненными тонкослоистыми зеленовато-серыми (5 м) общей мощностью 47 м. Песчаники в основании среднезернистые, вверху мелкозернистые полевошпатово-кварцевые, глинистые. Глины алевритовые с ляминаритовыми пленками. В других разрезах нижняя подсвита представлена песчаниками, переслаивающимися с алевролитами и глинами. Мощность нижней подсвиты василеостровской свиты на западе зоны составляет 10–25 м, к югу и востоку увеличивается до 30–45 м, на севере, в районе Красный Бор достигает 60 м. Верхняя подсвита ( $V_{2vo2}$ ) в основании представлена песчаниками глинистыми (5 м), выше однородной глинистой толщей – плотными тонкослоистыми «ляминаритовыми» глинами (45 м) общей мощностью 50 м, выходящими под покров четвертичных образований (Вербицкий, 2012).

Отложения кембрийской системы (Є) на территории Ленинградской области представлены следующими свитами: Ломоносовской, Сиверской, Саблинской, Ладожской.

Отложения Ломоносовской свиты ( $Є_{1lm}$ ), представлены песчаниками, алевролитами и глинами. Свита залегает с размывом на породах василеостровской свиты, о чем свидетельствуют песчаные отложения в нижней части разреза. Мощность свиты на северо-западе Ленинградской области 3-5 м. Ломоносовская свита отвечает нижней части лонтоваского горизонта нижнего кембрия ( $Є_1$ ).

Отложения сиверской свиты ( $Є_{1sv}$ ), залегают на ломоносовской свите без видимых перерывов, представлены голубовато-зеленовато-серыми тонкодисперсными, гидрослюдистыми, однородными глинами, содержащими на плоскостях основания многочисленные пиритизированные следы ползания червеобразных и отдельные прослойки алевролитов. Местами в верхней части разреза встречаются скопления глинистых окатанных галек. Глины относительно глубоководные, это связано с обширной морской трансгрессией. (Бискэ Г. С., 2015) Органические остатки встречаются редко, главным образом это трубки морских червей и споры растений.

Сиверская свита отвечает верхней части лонтоваского горизонта нижнего кембрия ( $E_1$ ). Мощность отложений составляет 100-120 м (Натальин, 2001).

Саблинская свита ( $E_{2sb}$ ), имеет широкое распространение, прослеживается в виде узкой полосы вдоль Балтийско-Ладожского глинта. Она с размывом перекрывает подстилающие отложения. Слагающие ее кварцевые пески зрелые, хорошо отсортированы, обладают мелкозернистой структурой и отчетливо выраженной косою слоистостью. В песчаных породах саблинской свиты редко встречаются тонкие прослой глини и алевролитов, прослой и гнезда пестроцветных песчаников, кольца Лизеганда, в кровле отложений – конкреции окислов железа. Отложения отвечают условиям морского побережья и образованы на фоне общей регрессии. Мощность свиты 10-15 м (Бискэ, 2014).

Отложения ладожской свиты ( $E_{3ld}$ ), выходят на дневную поверхность по берегам рек Тосна и Саблинка, залегают на саблинской свите несогласно. Породы представлены серыми, белыми кварцевыми песками и песчаниками с обломками раковин беззамковых брахиопод рода *Obolus*, с примесью полевых шпатов, с фосфатными и железистыми стяжениями в кровле. Ладожская свита сформировалась в промежуток времени, который соответствует сравнительно краткосрочной трансгрессии и регрессии. Сверху и снизу она, ограничена поверхностями со следами размыва. Мощность свиты колеблется от 1 до 3 м.

Новая обширная трансгрессия началась в ордовике (O) и создала, на фоне медленного тектонического погружения, мощную толщу в основном карбонатного состава. В основании ее находятся песчаники тосненской свиты ( $O_{1ts}$ ). Свита, представлена светло-серыми и желтовато-серыми средне-мелкозернистыми кварцевыми песчаниками с косою слоистостью. В подошве свиты наблюдаются «карманы», глубиной до 15 см, заполненные фосфатными гальками и оболочным детритом. Отложения богаты фосфат - содержащими раковинами брахиопод рода *Obolus apollinis* Eichw, *Schmidtites celatus* и точно датированы конодонтами *Cordylodus proavus* нижнего тремадокского яруса ордовика ( $O_{1ts}$ ). Мощность отложений 2-5 м. (Бискэ, 2014).

Копорская свита ( $O_{1kp}$ ), не имеет выхода на дочервертичную поверхность, сложена аргиллитами и алевролитами черного, серовато-черного цвета, местами замещенными сланцеватыми битуминозными глинами. Эти отложения являются маркирующим горизонтом. Линия контакта сланца с вышележащей глауконитовой толщей обычно неровная, со следами размыва, нижняя граница пород тосненской и копорской свит согласная. (Кузнецов С. С., 1940) Породы свиты, содержащие остатки

дендроидных граптолитов рода *Rhabdinopora desmograptoides*, *R. multithecata*, *R. rossica*, *R. bryoraptoides* и конодонтов *Cordylodus angulatus* – *C. rotundus*, соответствуют тремадокскому ярусу нижнего ордовика (O<sub>1ts</sub>). Мощность слабо изменяется и составляет 10-30 см. (Натальин, 2001).

Песчаники Тосненской свиты вместе с черными сланцами копорской свиты образуют широко распространенный пакерортский горизонт (Бискэ, 2014).

Лээтсеский тонкий горизонт залегает на неравномерно размытой поверхности копорской или ладожской свит и перекрываются породами волховской свиты. Лээтсеская свита (O<sub>1lt</sub>) представлена мелкозернистыми темно-зелеными песками и песчаниками, содержащими с зерна глауконита до 50%. В разрезе свиты выделяются три зоны конодонтов – *Paroistodus proteus*, *Prioniodus elegans*, *Oepikodus evae*. Мощность отложений 1-2 м. (Вербицкий, 2012).

Карбонатная часть разреза ордовика начинается с волховской свиты (O<sub>2vl</sub>). Слагающие свиту известняки и доломиты неоднородны по литологическому составу и разделяются на три подсвиты. Первая – «дикари», сложена пестроокрашенными доломитизированными глауконитовыми известняками, с гнездами кальцита, с прослоями красно-бурых глин. В верхней части разреза – слабокавернозный. Подсвита «желтяки» сложена мелкокристаллическими, в основном тонкоплитчатыми и глинистыми, местами органогенными известняками с яркой пятнистой окраской, преимущественно охристо-желтой и фиолетово-бурой. Встречаются прослои доломитов и мергелистых глин. «Желтяки» в целом соответствуют конодонтовой зоне *Microzarkodina parva*. Подсвита «фризы» занимает верхнюю часть свиты без резкой границы с подсвитой «желтяки». Это известняки, местами неравномерно доломитизированные вплоть до перехода в доломиты, в основном тонкослоистые с редкими тонкими прослоями мергелей и глин, зеленовато-серые со слабым фиолетовым оттенком и с примесью глауконита. Наиболее распространенными органическими остатками волховской свиты являются головоногие моллюски *Endoceras glauconiticum* Heinr., *E. frisense* Bal., трилобиты *Iliaenus centrotus* (Bock.), *Niobe frontalis* Dalm, брахиоподы *Paurorthis parva*, *Pseudocrania antiquissima*, остракоды *Tetradella grewingki* (Bock), *Primitia zonata*. Мощность отложений колеблется от 1,5 до 6,5 м. (Бискэ, 2014).

Обуховская свита (O<sub>2ob</sub>) распространена под четвертичными образованиями в виде узкой (шириной не более 1,5–2 км) полосы по глинту и прилегающей к нему площади совместно с отложениями волховской свиты. Свита представлена тонкоплитчатыми зеленовато- и желтовато-серыми глинистыми известняками и

доломитами с прослоями известковистых глин и мергелей. На границе между волховской и обуховской свитами выделяется маркирующий слой темно-серого глинистого известняка или мергелей с обильными включениями фосфатно-железистых оолитов (нижний чечевичный слой). Выше свита представлена глинистыми и доломитизированными известняками. Характерными окаменелостями являются трилобиты *Asaphus raniceps* Dalm. и брахиоподы *Orthis calligramma* Dalm. Верхняя граница обуховской свиты, проводится по «верхнему чечевичному слою». Мощность свиты – от 1,5 до 7,5 м. (Вербицкий, 2012).

Силурийских отложений на территории Ленинградской области нет, так как в это время данная территория представляла возвышенную равнину, на которой происходили процессы выветривания.

Девонские отложения широко распространены в южной и восточной частях Ленинградской области. Это средне- и верхнедевонские отложения (D<sub>2-3</sub>), состоящие из песроцветных песков и песчаников. В них встречаются остатки древних палеозойских рыб. Прослой мергелей и доломитов редки. Сясинская свита (D<sub>3ss</sub>) представлена микро- и тонкокристаллическими доломитами и глинистыми мергелями. Верхняя часть сложена чередующимися слоями светло- и зеленовато-неравномерно глинистых органогенных и органогенно-детритовых известняков, мергелей, ракушечников. Залегает согласно на среднедевонских песчаниках. Мощность девонских отложений непостоянная, достигающая на юге более 100 м.

Отложения четвертичного периода (Q<sub>IV</sub>) залегают на размытой поверхности архейских, протерозойских и палеозойских пород. По генезису преобладают отложения ледникового ряда – моренные, флювиогляциальные и озерно-ледниковые, а из водных – широко развиты морские, озерные и болотные осадки (Вербицкий, 2012).



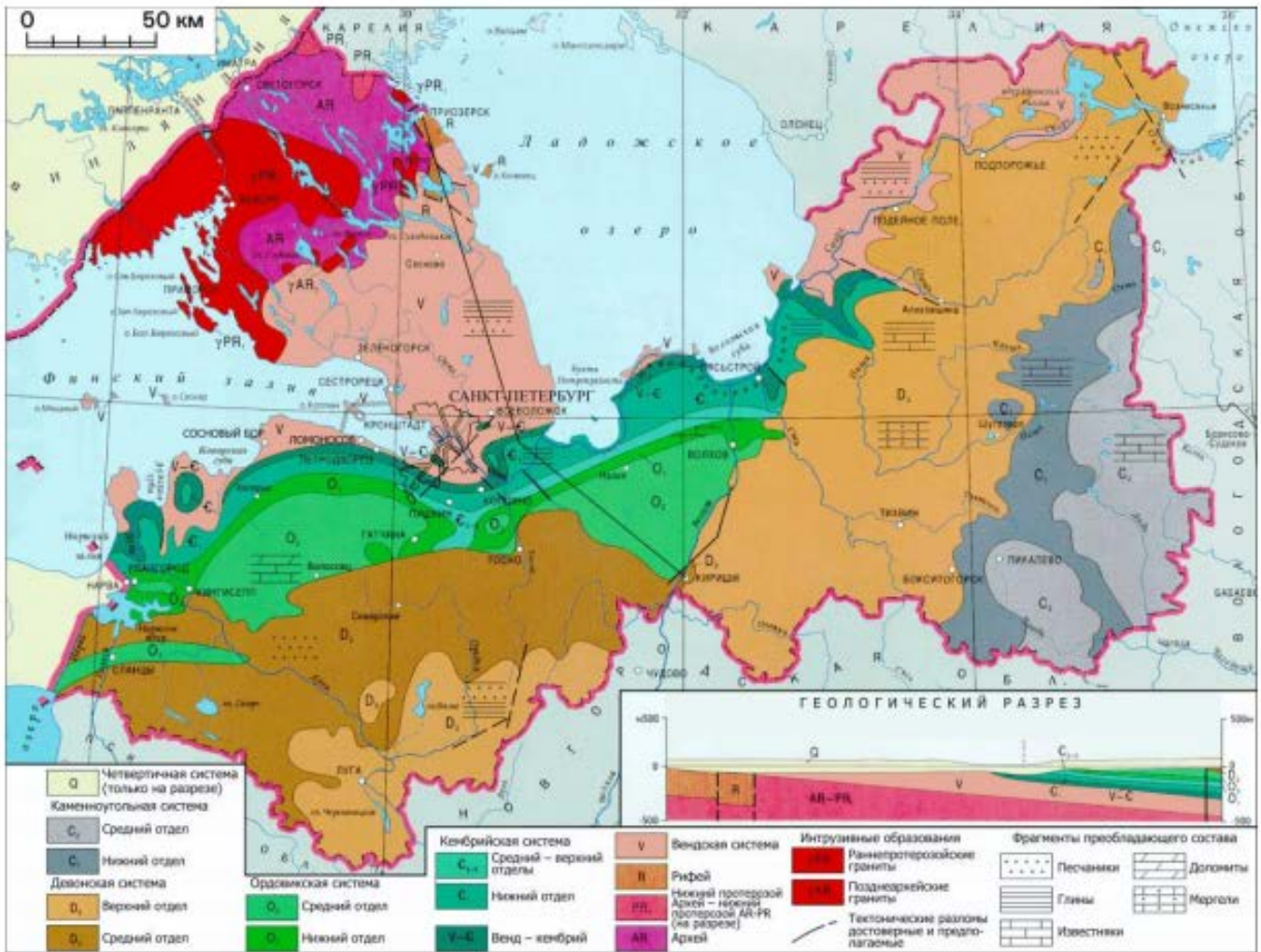


Рисунок 6. Геологическое строение северо-западного окончания Русской платформы на территории Ленинградской области. (Вербицкий, 2012).



## 2.4.2. Четвертичные отложения

Большая часть Ленинградской области покрыта четвертичными отложениями, происхождение которых связано с тремя ледниковыми, двумя межледниковыми, позднеледниковыми и послеледниковыми периодами в геологической истории развития региона. (Астахов, 2008)

В разрезе четвертичных отложений участвуют отложения среднего плейстоцена, верхнего плейстоцена и голоцена. На дневной поверхности преимущественно распространены отложения верхнего плейстоцена (осташковский горизонт) и позднеледниковья. По генезису преобладают отложения ледникового ряда – моренные, флювиогляциальные и озерно-ледниковые, а из водных – широко развиты морские, озерные и болотные осадки. Все они представлены в основном сильно переслаивающимися песчано-глинистыми отложениями, являющиеся специфическими грунтами. Четвертичные отложения отличаются частой литологической изменчивостью, как в плане, так и в разрезе. Мощность этих осадков обычно не превышает 20-30 м, но в погребенных долинах может достигать 100-130 м. (Сергеева, 2013).

Поступающий ледник двигался главным образом со Скандинавского полуострова. Каждый вновь поступающий ледник почти полностью уничтожал отложения предыдущих, следовательно история развития территории до днепровского оледенения включительно устанавливается с трудом. Четвертичные отложения описываемой территории это в основном отложения московского (в глубоких палеодолинах) и валдайского оледенений (Сергеев, 1982).

Наступившее после днепровского московское оледенение обусловило развитие морены и озерно-ледниковых отложений, которые в описываемом регионе встречаются только в тальвегах погребенных палеодолин. В составе образований московского ледника выделяются основная и краевая морены. На площади, покрывавшейся валдайским ледником, основная московская морена ( $g_{\text{цмс}}$ ) прослеживается в виде выдержанного по площади горизонта в Предглинтовой низменности. В понижениях дочетвертичного субстрата на Ордовикском, Карбоновом плато, Девонской равнине так же местами сохранились отложения московской морены. В составе морены преобладают серые, зеленовато-серые суглинки с большим количеством валунов гранита, гранитогнейсов, порфириров. Краевые ледниковые образования ( $g_{\text{кпмс}}$ ) на изучаемой территории отсутствуют.

Начало позднего неоплейстоцена ознаменовалось крупным потеплением (микулинским межледниковым), которое привело к полному исчезновению ледникового покрова и возникновению обширного морского бассейна, южным берегом которого служил Балтийско-Ладожский глинт. Предглинтовая низменность являлась морской акваторией непродолжительное время, волна похолодания, начавшаяся во второй половине межледниковья (110-115 тыс. лет назад), обусловила возникновение последнего валдайского покровного оледенения (Сергеев, 1982).

Ранневалдайские отложения микулинского горизонта представлены континентальными фациями и морской мгинской свитой. На рассматриваемой территории присутствуют только в пределах палеодолин.

Морские отложения мгинской свиты (m<sub>шmg</sub>) распространены в пределах южного побережья Финского залива и Ладожского озера. Мгинские отложения представлены зеленовато-черными, темно-серыми глинами и суглинками, с примесью органических веществ, с включениями раковин моллюсков. Отложения формировались в относительно глубоководной, застойной части бассейна. К югу и востоку от Балтийско-Ладожского (Ордовикского) глинта микулинский межледниковый горизонт представлен континентальными отложениями. (Астахов, 2008)

В течение всего средневалдайского интервала (50 -24 тыс. лет назад) территория Ленинградской области представляла собой область широкого развития древних озер различных по размерам. Для отложений средневалдайского (ленинградского) горизонта характерны континентальные водные осадки и торфяники. В пределах Приневской равнины широкое распространение имеют лимний и лимноаллювий, преимущественно представленные пылеватыми песками, алевритами, илами, супесями с примесью растительных осадков, мощность отложений до 12 м.

Начало позднего валдая (осташковское время) связано с новым похолоданием, имевшим место примерно 25 тыс. лет назад (лужская стадия). В связи с наступлением поздневалдайского ледника вся территория вновь была покрыта льдом. С его деградацией начался новый этап окончательного освобождения Ленинградской области от ледникового покрова, начало этапа оценивается в 14 тыс. лет назад. В период, когда территория постепенно освобождалась от ледникового покрова, во впадинах между отступающим ледником и поднятиями рельефа скапливались талые воды, образовавшие Балтийское ледниковое озеро. Отложения этого водного бассейна представлены песками, супесями, ленточными суглинками и глинами (Астахов, 2008).



## 2.5. Гидрогеологические условия

Территория Ленинградской области приурочена к двум гидрогеологическим структурам, ее северная часть (Карельский и Онего-Ладожский перешейки) относится к Балтийскому гидрогеологическому массиву, а вся остальная — к Ленинградскому артезианскому бассейну. (Грейсер Е.Л., 2005)

Четвертичный водоносный комплекс литологически изменчив, невыдержан в плане и разрезе, приурочен к озо-камовым массивам, флювиогляциальным полям и межморенным водоносным горизонтам. Водовмещающие породы — пески различной крупности. Мощность водоносного комплекса меняется от единиц до 80 м. Водообильность комплекса неравномерная. В озо-камовых массивах и на площадях развития флювиогляциальных песков водоносный комплекс характеризуется коэффициентом водопроницаемости до 200 м<sup>2</sup>/сут.

В Ленинградской области выделено 2 межморенных водоносных горизонта, верхний и нижний. Верхний, московско-валдайский, межморенный водоносный горизонт залегает под отложениями лужской морены и подстилается московской. Нижний, днепровско-московский, межморенный водоносный горизонт перекрывается московской мореной, подстилается днепровской мореной. Характер их распространения дискретный. Водопроницаемость межморенных водоносных горизонтов составляет 20–50 м<sup>2</sup>/сут. Пьезометрические уровни межморенных горизонтов в пределах водоразделов залегают на глубинах 10–20 м, а на побережье Финского залива и в долинах рек на 1–10 м выше поверхности земли. Напор подземных вод на значительной площади составляет 20–40 м для верхнего и 40–60 м для нижнего межморенных водоносных горизонтов. Особый интерес для водоснабжения представляют переуглубленные долины, в которых межморенные водоносные горизонты залегают один под другим и гидравлически связаны с водоносными комплексами, в которые эти долины вложены. Долины представляют собой дренажи, в которые разгружаются сопредельные водоносные комплексы. В долинах установлена неоднородность состава песков по вертикали, как правило, грубозернистые разности, залегающие в основании горизонтов, постепенно сменяются мелкозернистыми. Дебиты скважин достигают 10–30 л/с при понижениях на 2–4 м, водопроницаемость оценивается в 600–3500 м<sup>2</sup>/сут. (Грейсер Е.Л., 2005).

Московский водоносный горизонт развит в юго-восточной части Ленинградской области, в пределах Карбонового плато. Залегает под четвертичными отложениями на глубине 0,5–15 м, подстилается верейскими водоупорными глинами. Сложен трещиноватыми и закарстованными карбонатными породами мощностью 15–55 м.

Воды горизонта безнапорные. Глубина залегания уровня подземных вод 0,5–10 м при абсолютных отметках 180–220 м в северной части площади развития и 140–150 м — в южной. Направление движения подземных вод юго-восточное.

Верейский водоупорный горизонт развит на юго-восточной окраине Ленинградской области, отделяет московский водоносный горизонт от нижележащего веневско-протвинского водоносного комплекса. Представлен красноцветными глинами с прослоями мелкозернистых глинистых песков, песчаников, доломитов, известняков и мергелей общей мощностью 5–10 м.

Веневско-протвинский водоносный комплекс распространен в восточной части Ленинградской области. Водовмещающие породы — известняки и доломиты, переслаивающиеся глинами. Мощность водоносного комплекса 50–80 м. Повышенные коэффициенты водопроницаемости, от 400–500 до 1500–5000 м<sup>2</sup>/сут, приурочены к закарстованным известнякам. На остальной территории водопроницаемость не превышает 100 м<sup>2</sup>/сут. Удельный дебит скважин изменяется от 0,3 до 38,4 л/с. Подземные воды комплекса широко используются для водоснабжения юго-восточных районов области. Наиболее крупные водозаборы: Пикалево (14,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут), Бубровецкий (5,33 тыс. м<sup>3</sup>/сут). На Пикалевском месторождении известняка производится водоотлив в объеме 3,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Малевско-михайловский водоносный комплекс развит в восточной части области, залегает на отложениях верхнего девона, представленного глинами мощностью от первых метров до 20–30 м, у западной границы распространения перекрыт четвертичными отложениями (мореной мощностью до 5 м). Комплекс представляет собой слоистую систему и сложен, преимущественно, глинами с прослоями песков, на отдельных участках — вблизи Карбонового уступа — песками с прослоями глин, алевролитов, известняков, доломитов, мергелей. Общая мощность комплекса 55–90 м. (Грейсер Е.Л., Иванова Н.Г., 2005 )

Водоносный комплекс практически не эксплуатируется.

Верхнедевонский водоносный комплекс залегает на глубине 5–60 м. Породы, слагающие комплекс — переслаивающиеся песок, глина, песчаник, известняк. Водоупорные слои не выдержаны и не нарушают гидравлическую связь водовмещающих прослоев, все они имеют общую уровенную поверхность. Мощность водоносного комплекса увеличивается с севера-запада на юго-восток от 1–15 м до 120–140 м (г. Бокситогорск). Максимальные значения водопроницаемости (100–300 м<sup>2</sup>/сут) характерны для района Тихвин — Бокситогорск и вдоль восточной границы территории севернее г. Бокситогорск. Преобладающее значение удельного

дебита 0,05–0,5 л/с, максимальное — 1–4 л/с (п. Шугозеро). Подземные воды преимущественно безнапорные и слабонапорные (с величиной напора менее 20 м).

Саргаевско-даугавский водоносный комплекс распространен на юге центральной части Ленинградской области. Залегает на отложениях девона и ордовика. От нижележащих водоносных комплексов отделен относительным водоупором — глинами саргаевского горизонта мощностью 3–6 м. Перекрывается четвертичными и вышележающими девонскими отложениями. Водовмещающие породы — переслаивающиеся мергель, доломит, известняк, глина; в меньшей степени — песок и песчаник. На долю водосодержащих пород приходится, как правило, 30–40 % общего объема пород. Мощность всего комплекса увеличивается в юго-восточном направлении от 10 до 135 м. Коэффициенты водопроницаемости комплекса ниже 50 м<sup>2</sup>/сут. Подземные воды безнапорные и слабонапорные. Глубина залегания уровня воды на водоразделах и склонах составляет 10–30 м, в долине р. Волхов скважины фонтанируют. Водоносный комплекс эксплуатируется единичными скважинами (Грейсер Е.Л., 2005).

Аракюласко-швянтскойский водоносный комплекс распространен в юго-западной части Ленинградской области. Перекрывается, в основном, четвертичными отложениями мощностью 5–60 м, и только ближе к границе Ленинградской области погружается под девонские отложения. Подстигается наровским относительно водоупорным горизонтом. Водовмещающие породы — красноцветные пески и песчаники, переслаивающиеся глинами и алевролитами. Мощность комплекса увеличивается в юго-восточном направлении и составляет 15–140 м. Фильтрационные свойства водовмещающих пород характеризуются коэффициентом водопроницаемости от 50–100 до 300–500 м<sup>2</sup>/сут. Дебит эксплуатационных скважин составляет 3–10 л/с. Воды комплекса слабонапорные с величиной напора менее 20 м. Воды комплекса используются для водоснабжения г. Луга, п.п. Толмачево, Оредеж, Вырица.

Наровский относительно водоупорный (слабоводоносный) горизонт распространен на юго-западе Ленинградской области. Сложен слаботрещиноватыми мергелем, доломитом и известняком, глиной, встречаются прослои песков и песчаников. Мощность горизонта 20–55 м. На большей части распространения наровский горизонт является относительным водоупором и разделяет ниже- и вышележащие водоносные комплексы. В той части, где он выходит под четвертичные отложения, горизонт может квалифицироваться как слабоводоносный, для централизованного водоснабжения значения не имеет.

Ордовикский водоносный комплекс распространен к югу от Балтийско-Ладожского уступа (глинта). Водовмещающие породы — трещиноватые и закарстованные известняки и доломиты. Мощность комплекса увеличивается в юго-восточном направлении от 5 до 130 м. Степень трещиноватости карбонатных толщ не однородна как в плане, так и в разрезе. Наиболее интенсивно трещиноватость пород развита на Ижорской возвышенности (до глубины 40–50 м). Коэффициент водопроницаемости на большей части плато составляет 500–2500 м<sup>2</sup>/сут. Воды комплекса безнапорные и слабонапорные. Величина напора увеличивается в юго-восточном направлении от 2 до 190 м. Питание подземных вод атмосферное. Разгружается в комплекс через родники, приуроченные к периферии Ордовикского плато, а также в нижележащий кембро-ордовикский водоносный комплекс. Эксплуатируется водоносный комплекс большим числом водозаборов.

Кембро-ордовикский водоносный комплекс распространен к юго-востоку от Балтийско-Ладожского уступа (глинта). Водовмещающие породы — песок и слабосцементированный песчаник с маломощными прослоями глин и алевролитов. Мощность водоносного комплекса увеличивается в юго-восточном направлении и составляет 2–60 м. Фильтрационные свойства пласта характеризуются коэффициентом водопроницаемости 50–300 м<sup>2</sup>/сут. Воды комплекса напорные и высоконапорные. Величина напора изменяется от первых метров до 340 м. Формирование подземных вод происходит за счет их перетекания из ордовикского водоносного комплекса, а разгрузка — в сторону регионального погружения и через действующие водозаборы и дренажные шахты. Как источник водоснабжения кембро-ордовикский водоносный комплекс наибольшее значение имеет в приглинтовой полосе, особенно в северной части Волховского плато, где вышележащие ордовикские известняки в значительной мере дренированы (Грейсер Е.Л., 2005).

Лонтоваский водоупорный горизонт распространен к югу от Финского залива и Ладожского озера. Представлен «синей» глиной, мощность которой увеличивается к югу от 2–10 до 60–80 м, а к востоку — 80–130 м. Является региональным водоупором, разделяющим пресные воды выше залегающих водоносных комплексов от солоноватых и соленых вод ниже залегающих водоносных комплексов.

Ломоносовский водоносный горизонт распространен к югу от Финского залива и Ладожского озера. В большей части своего распространения содержит солоноватые и соленые воды. Только в западной части Ленинградской области горизонт содержит пресные воды. Водовмещающие породы — мелко- и

среднезернистые песчаники, переслаивающиеся с тонкими прослоями алевролитов и глин общей мощностью 5–60 м. Эксплуатационное значение горизонт имеет только в Кингисеппском и Сланцевском районах. Водоносный горизонт напорный. Величина напора возрастает с севера на юг и юго-восток от 5 до 300 м (Грейсер Е.Л., 2005).

Верхнекотлинский водоносный горизонт. Развигт практически на всей территории Ленинградской области, за исключением Выборгского и Приозерского районов. Представлен плотными глинами мощностью 50–130 м.

Вендский водоносный комплекс распространен повсеместно и содержит, в основном, минеральные воды. Водовмещающие породы — пески и песчаники с прослоями глин и алевролитов общей мощностью 7–57 м. Фильтрационные свойства характеризуются водопроницаемостью в 50–100 м<sup>2</sup>/сут. Водоносный комплекс напорный, величина напора увеличивается с севера на юг от 30 до 174 м.

Архей-протерозойская водоносная зона — зона трещиноватости и коры выветривания пород кристаллического фундамента, залегающего с поверхности или под четвертичными отложениями. Приурочена к северной части Карельского перешейка и западному берегу Онежского озера. Южнее кристаллические породы погружаются под мощную толщуг палеозойских и верхнепротерозойских отложений, где трещиноватость кристаллических пород затухает, и они становятся безводными. Водовмещающие породы — гнейсы, граниты и кристаллические сланцы. Мощность коры выветривания и трещиноватой зоны колеблется от 1–2 до 50 м. Трещиноватость пород весьма неравномерная, что обуславливает их слабую обводненность. Подземные воды до глубины 50 м пресные, а ниже их минерализация возрастает. Практическое значение водоносной зоны весьма ограничено из-за трудности обнаружения обводненных зон (Грейсер Е.Л., 2005).



Группа	Система	Отдел	Литологическая колонка	Краткое описание пород	Мощность, м	Гидрогеологическое подразделение, индекс
Кайнозой	Четвертичная			Песок, супесь, суглинок, глина, суглинок валунный	5-80	Четвертичный ВК, Q
		Палеозой	Карбон	средний		Известняк, доломит
				Глина, мергель	5-10	Верейский ВУГ, C <sub>2</sub> vt
нижний				Известняк, доломит, глина	50-80	Веневско-протвинский ВК, C <sub>1</sub> vt-pr
				Песок, известняк, глина	55-80	Малееско-михайловский ВК, C <sub>1</sub> m-ph
Девон	верхний			Песок, глина, известняк, песчаник	5-140	Верхнедевонский ВК, D <sub>3</sub>
				Известняк, доломит, глина	10-135	Саргавско-даугавский ВК, D <sub>3</sub> sr-dg
	средний			Песок, песчаник, алевролит	15-140	Аруяскасско-швантойский ВК, D <sub>2</sub> ar-d <sub>2</sub> sv
				Мергель, доломит, известняк, глина	20-55	Наровский относительно ВУГ(СВУГ), D <sub>2</sub> nr
Ордовикский	вер. ср. ниж.			Известняк доломитизированный, доломит	5-130	Ордовикский ВК, O
				Песок, песчаник, глина	2-80	Кембро-ордовикский ВК, O <sub>1</sub> - O <sub>1</sub>
	Кембро-ордовикский	нижний		Глина	2-130	Лонтовский ВУГ, O <sub>1</sub> ln
			Песок, алевролит, глина	5-80	Ломоносовский ВГ, O <sub>1</sub> lm	
Протерозой (верхний)	Венд		Глина	50-130	Верхнекотлинский ВУГ, V kt <sub>1</sub>	
			Песчаник, песок, глина	10-80	Вендский ВК, V	
Архей-нижний протерозой			Гнейсы, граниты, мигматиты	-	Архей-протерозойская водоносная зона, AR-PR	

Рисунок 8. Гидрогеологическая стратиграфическая колонка: ВК — водоносный комплекс; ВГ — водоносный горизонт; СВУГ — слабоводоносный горизонт; ВУГ — водоупорный горизонт (Грейсер Е.Л., 2005).

## 2.6. Выводы ко второй главе

1. Нижнекембрийские синие глины широко распространены на территории Ленинградской области. В Предглинтовой низменности они выходят на дневную поверхность, либо перекрыты маломощным чехлом четвертичных отложений. Следовательно, на этой территории они являются основанием сооружений, и подлежат более детальному изучению влияния природных факторов на изменение

свойств. Геологические и инженерно-геологические особенности Предглинтовой низменности будут рассмотрены в следующей главе.

2. Нижнекембрийские глины – типичные морские осадки, отличающиеся однородностью и постоянством химического и гранулометрического состава, хорошими пластическими свойствами. По составу они гидрослюдистые, реже монтмориллонитовые, в кровле выветрелые, осветленные присутствующим каолинитом. Характерно присутствие пиритизированных следов червеобразных мелких кристаллов и друз пирита.

3. Вся территория Ленинградской области находится в зоне избыточного увлажнения при относительной влажности воздуха от 50 до 90 %. Количество осадков колеблется от 550 до 850 мм в год, а испарение составляет всего 300 мм. Следовательно, сезонные изменения климата приводят к сезонным колебаниям температуры и влажности глин.

4. Новейшая четвертичная история региона связана с изменениями климата, отступанием ледникового покрова, тектоническими движениями земной коры, вызванными как внутренними, так и изостатическими процессами, а также колебаниями уровня Мирового океана.

5. За время своего существования нижнекембрийские глины прошли несколько стадий прогрессивного и регрессивного литогенеза. В конце мелового периода в пределах Санкт-Петербургского региона глинистая толща была выведена на поверхность, что привело к разуплотнению и палеовыветриванию верхней части пород.

## ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 3.1. Общие положения

Участок исследований расположен в Предглинтовой низменности, так как на этой территории кембрийские глины выходят на дневную поверхность, либо перекрыты маломощным чехлом четвертичных отложений.

Территория Предглинтовой низменности расположена в южной и юго-западной части Ленинградской области, в Кировском, Красносельском, Московском, Колпинском, Пушкинском, Петродворцовом, Фрунзенском, Невском районах Санкт-Петербурга, а так же в Ломоносовском и Тосненском районе Ленинградской области (Рис. 9).



 Линия Балтийско-Ладожского глинта

Рисунок 9. Районы Санкт-Петербурга и Ленинградской области в пределах Предглинтовой низменности (Коробко, 2015).

Предглинтовая низменность расположена в зоне сочленения двух структур: Балтийского кристаллического щита и северо-западной части Русской плиты. На западе рассматриваемая низменность граничит с Финским заливом, на северо-востоке примыкает к реке Неве, с севера ограничена Центральным поднятием Карельского перешейка, с юга - Балтийско-Ладожским уступом (Рис 10). Геодинамические условия зоны сочленения определяются сменой поднятия кристаллических формаций Фенно-Скандии на прогибание пород Восточно-Европейской низменности (флексура Полканова).

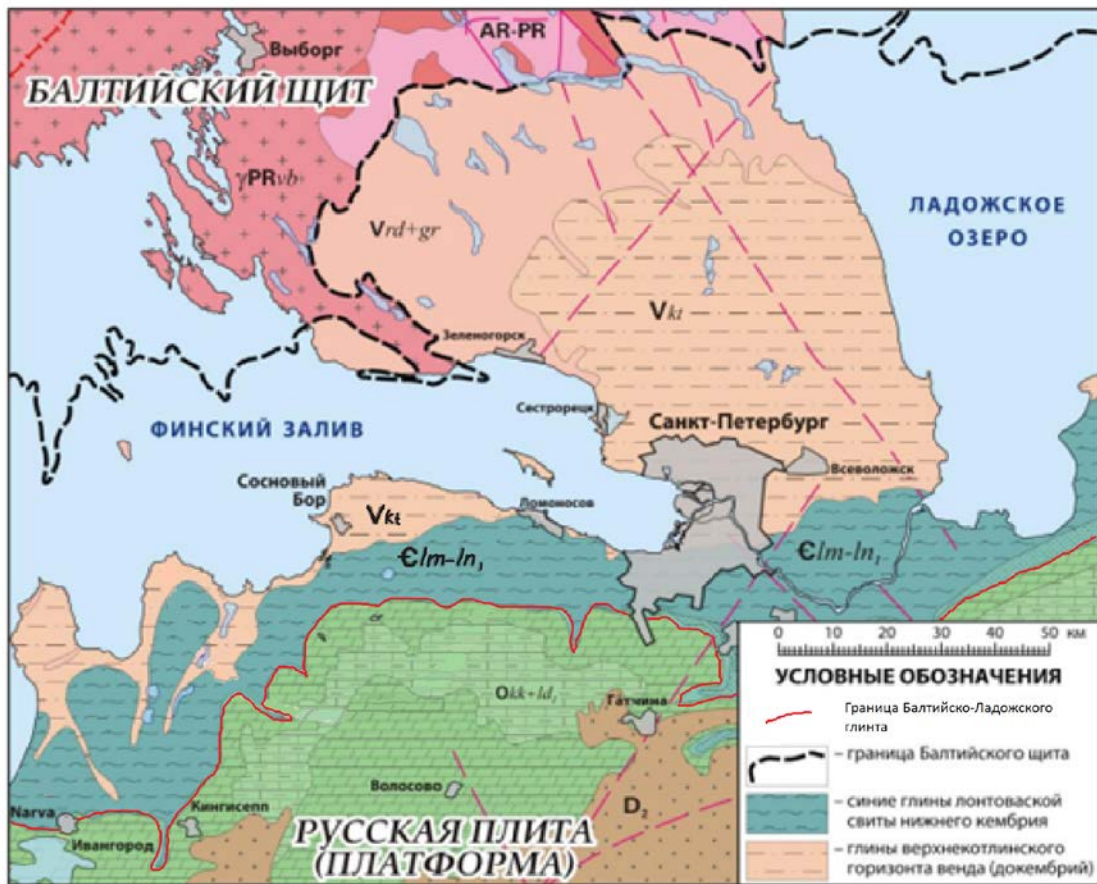


Рисунок 10. Зона сочленения Балтийского щита и Русской плиты на северо-западе Ленинградской области (Масленников.2010)

На геодинамику оказывают обоюдное влияние тектонические процессы двух крупных литосферных мегаблоков – Балтийского кристаллического щита и Русской платформы. Для оценки геодинамического состояния региона принимается модель субдукции (поддвигания) плиты раскрывающегося Палеоатлантического океана и пород мантии под край другой плиты (палеоконтинента). При этом активизировались древние зоны северо-западного простирания, что привело к формированию ортогональной системы тектонически ослабленных зон, разделяющих крупные жесткие блоки кристаллических пород. В архейское время породы кристаллического щита представляли протоконтинентальную кору с «куполами» и «полями» метаморфогенных меланократовых плагиогранит-чарнокитов в обрамлении поясов мигматит-гранитов. Сформировалась «нуклеарная», купольно-поясная структура, характерная для древнейшего этапа развития земной коры (Гарбар, 1992). В зоне сочленения двух сформировавшихся стабильных структур – Новгородского массива и Ладожского блока (территория Ленинградской области) купола представлены мигматизированными гнейсами и

массивами плагиогранитов. В позднем архее растяжение сформировавшихся структур сменилось сжатием, в результате чего образовались породы гнейсово-сланцевого комплекса. На раннепротерозойском этапе происходит структурно-тектоническое развитие склонов кристаллического щита и прилегающих к нему районов платформы. Остаются стабильными Новгородский массив и Ладожский блок. Образовавшиеся коллизионные нарушения заполняются и «свариваются» гранитами рапакиви, завершая тем самым раннепротерозойский этап построения континентальной коры. За всё протерозойское время происходило последовательное формирование, по крайней мере, трёх групп гранитоидов в возрастных интервалах 2400–1900, 1800–1500 и 1300–900 млн. лет. В дальнейшем территория Балтийского щита и его обрамления вступает в платформенный период развития. В позднепротерозойское время (конец рифея) происходит кратковременный подъем территории и её пенеplanation. В связи с этим верхняя часть разреза кристаллического фундамента представлена обычно дресвяно-песчано-галечными породами коры выветривания (Кабаков, 1998).

В пределах Предглинтовой низменности кровля пород фундамента погружается в юго-восточном направлении, и залегает на глубине 200-285 м.

Первая обширная трансгрессия в регионе началась в вендское время (650– 570 млн. лет), когда к юго-востоку от Балтийского щита началось опускание обширной части Восточно-Европейской платформы, продолжавшееся с короткими перерывами до конца ордовика (480 млн. лет). Начиная с венда формируется в качестве самостоятельной структурно-тектонической единицы платформы её восточная часть – Русская платформа (плита).

В пределах Предглинтовой низменности кристаллический фундамент перекрывается осадочным чехлом, в котором выделяется две толщи отложений верхняя и нижняя. Верхняя толща представлена песчано-глинистыми грунтами четвертичного возраста, нижняя - коренными породами осадочного чехла - нижнего кембрия (505-570 млн. лет) и верхнего венда (570-650 млн. лет).

Вендские отложения формировались в мелководных эпиконтинентальных морях, терригенный материал поступал с Балтийского щита. (Мачабели, 1981).

В кембрийском периоде продолжается смена трансгрессий и регрессий, обусловленная дифференциацией тектонического режима. Осадки вендского периода с несогласием перекрываются песками и глинистыми песками ломоносовского горизонта. В лонтоваский век, в условиях теплого климата, в



сравнительно спокойном гидродинамическом режиме, когда трансгрессия достигла максимума, происходило накопление мощных слоев «синих» глин (Рис. 11).

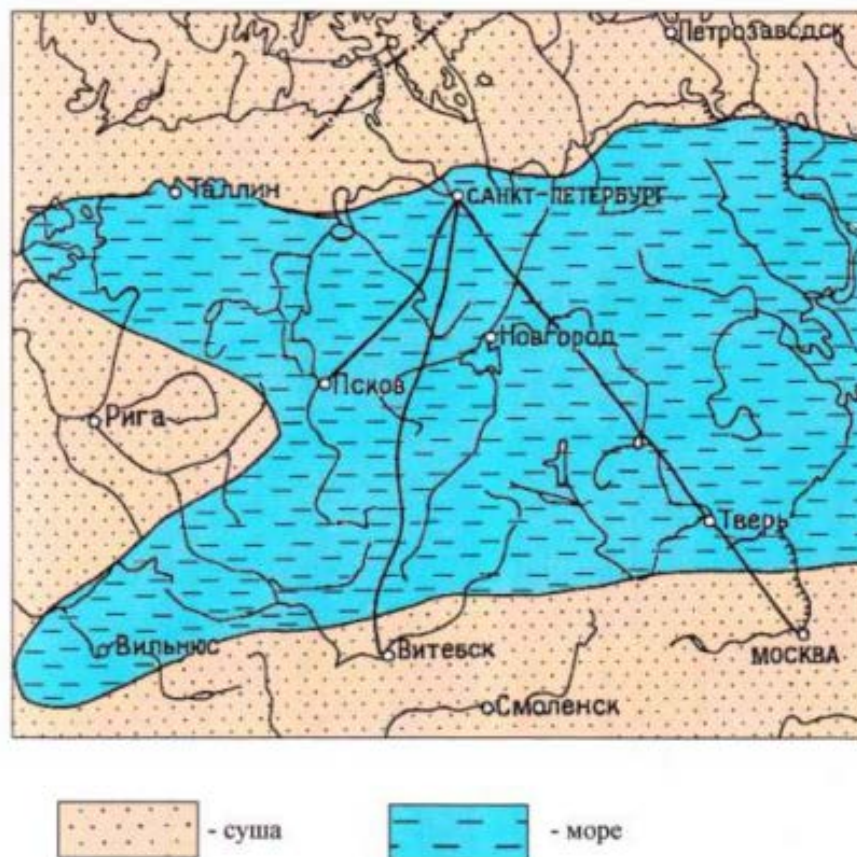


Рисунок 11. Соотношение моря и суши в раннем кембрии (лонтоваский век) (Мачабели, 1981).

Лонтоваское время бассейна завершилось поднятием всей территории и субаэральным выветриванием, о чем свидетельствует наличие железистой и каолиновой коры выветривания.

Отличительной особенностью геологического строения осадочного чехла изучаемой территории, является развитие структурно-денудационных форм дочетвертичного рельефа, представляющих собой Предглинтовую низменность и глинт - уступ, ограничивающий эту низменность (рис. 12).

Происхождение глинта до конца не выяснено, но в настоящее время большинство исследователей согласны считать, что он маркирует береговой уступ Иольдиевого моря, образовавшегося после таяния ледника (Ауслендер, 1969; Дронов, 2002). Установлено экзогенное происхождение глинта, не связанное с

какими-либо тектоническими процессами и возможными нарушениями подстилающих его коренных отложений глин.

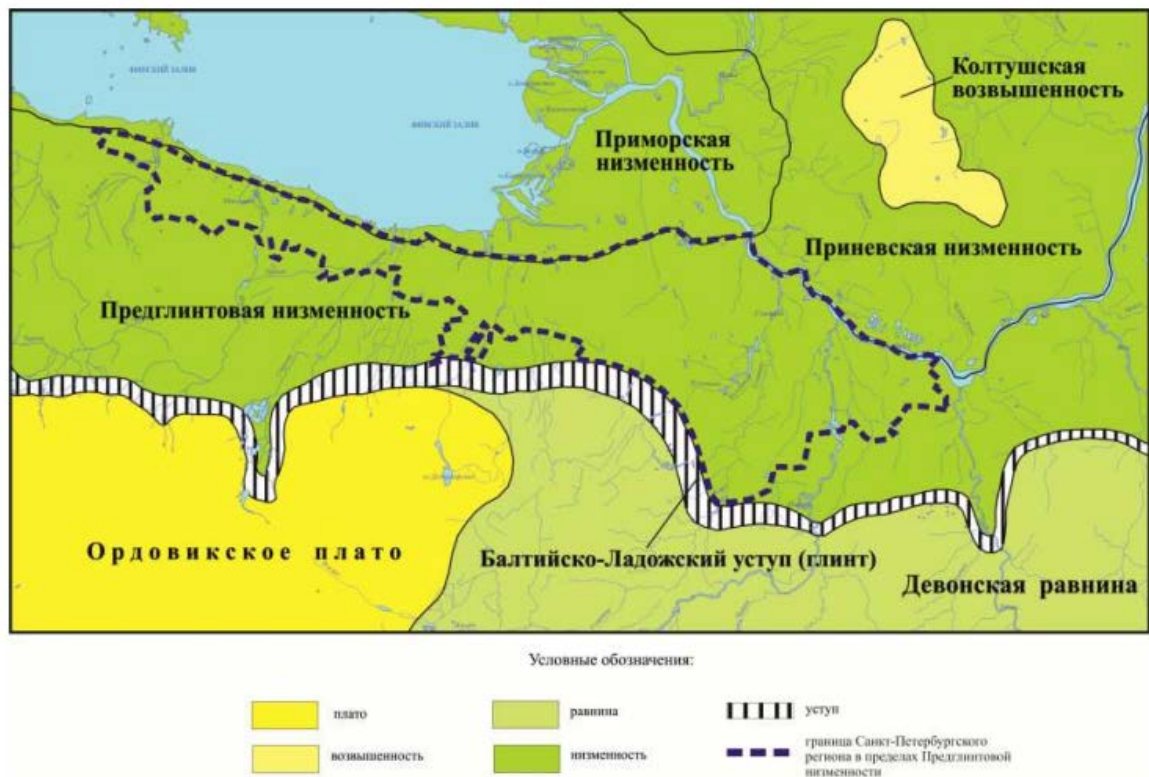


Рисунок 12. Орографическая (Коробко,2015).

К концу карбона (300 млн лет назад) рассматриваемая территория последний раз поднялась выше уровня моря, и превратилась в равнинную сушу. Под влиянием выветривания, речной эрозии, а, в сравнительно недавней истории, и движения ледников отложения позднего протерозоя, мезозоя и ранних этапов кайнозоя на рассматриваемой территории не сохранились.

Дочетвертичные отложения перекрываются отложениями четвертичного возраста, представленными озерными, ледниковыми и озерно-ледниковыми отложениями. Предглинтовая низменность расположена в области распространения последнего валдайского оледенения, и в приповерхностной части четвертичного покрова распространены отложения заключительной стадии оледенения (осташковский горизонт), и современные.

В юго-западной и западной части Предглинтовой низменности в небольших понижениях рельефа на породах дочетвертичного возраста залегает одна толща морены, а в северо-восточной и восточной части в пределах древних долин и впадин

встречены два горизонта морены: московской и осташковской (лужской) (Коробко,2015).

Рассматриваемая территория характеризуется следующей последовательностью залегания четвертичных отложений.

#### Четвертичная система Q

Плейстоцен. Неоплейстоцен.

Московский горизонт.

Отложения связаны с московским оледенением, представлены флювиогляциальными, ледниковыми и озерно-ледниковыми образованиями.

*Ледниковые отложения ( $g_{IIms}$ )* приурочены к древним долинам, залегают на кембрийских глинах и перекрываются морскими отложениями микулинского горизонта. Ледниковые отложения представлены суглинками, реже супесями зеленовато-серыми, с включениями гравия, гальки, валунов, обогащены глинистым материалом кембрия, консистенция изменяется от твердой до текучей. Мощность отложений составляет от 1 до 45 м, глубина залегания кровли от 14 до 55 м.

*Флювиогляциальные отложения ( $f_{IIms}^3$ )* подстилаются ледниковыми образованиями, перекрываются московскими озерно-ледниковыми отложениями и осташковской мореной. Флювиогляциальные отложения представлены песками различной зернистости и песчано-гравийными грунтами. Мощность отложений 10-15 м, глубина залегания кровли от 13 до 60 м, на абсолютных отметках от минус 6 до минус 58 м.

*Озерно-ледниковые отложения ( $lg_{IIms}^3$ )* распространены на юго-западе Предглинтовой низменности, представлены песками мелкими, пылеватыми, супесями и ленточными глинами. Мощность отложений 3,5 м., залегают на глубине 33,5 м.

Микулинский горизонт

Мгинская свита

*Морские отложения мгинской свиты ( $m_{III}mg$ )* распространены в северо-восточной части в погребенных долинах, представлены суглинками пылеватыми серыми, зеленовато-серыми, с единичными включениями гравия, свключениями органических веществ (до 20%); песками мелкими; супесями слоистыми с включениями гравия и валунов. Отложения содержат биохимические газы – метан, азот, углекислый газ и др. Мощность отложений от 2,0 до 18,8 м., залегают на глубине от 1,5 до 50,0 м.



### Валдайский надгоризонт

#### Подпорожский горизонт

*Озерные и озерно-ледниковые отложения (I,lgIII<sub>2</sub>pd)* распространены в Предглинтовой низменности на водоразделе между р. Саблинка и р. Тосна, представлены суглинками, супесями, мощность до 6 м.

#### Ленинградский горизонт

*Озерные отложения (III<sub>3</sub>ln)* представлены песками пылеватыми, алевролитами, супесями и торфом. Мощность отложений от 5,4 до 18,0 м.

#### Осташковский горизонт

*Ледниковые отложения (gIII<sub>0</sub>s)* в пределах Предглинтовой низменности распространены на поверхности почти повсеместно, перекрывают кембрийские и верхнекотлиские глины. Ледниковые отложения представлены суглинками, супесями с включениями гравия, гальки, валунов. Мощность отложений до 0,2 до 80 м.

*Флювиогляциальные надморенные отложения (fIII<sub>4</sub>os)* распространены локально, приурочены к озам и камам. Отложения представлены песками крупными и средними, с включениями гравия, гальки до 30%. Мощность отложений от 0,5 до 5,0 м.

*Озёрно-ледниковые отложения (lgIII<sub>0</sub>s)* распространены локально, представлены серыми и зеленовато-серыми песками средними и крупными, ленточными глинами и суглинками. Мощность отложений изменяется от 4,0 до 20,0 м.

*Озерно-ледниковые отложения (lgIII<sub>4</sub><sup>3</sup>bl)* Балтийского ледникового озера широко распространены на изучаемой территории. Отложения представлены песками с включениями гравия, гальки; супесями, суглинками и глинами. Верхняя часть отложений характеризуется глинистыми отложениями с ленточной слоистостью, которые ниже переходят в супеси и дальше в пески. Мощность отложений изменяется от 0,5 до 30,0 м.

### Голоцен

Голоценовые отложения имеют широкое распространение, представлены биогенными (болотными) отложениями и аллювиальными отложениями, развитыми по всем рекам.

*Биогенные (болотные) отложения (pH)* представлены торфом коричневым до черного, мощностью от 1,5 до 3,0 м.

*Аллювиальные отложения (aH)* представлены песками разномерными, супесями, мощность отложений до 4,0 м.

### **3.2. Природные и природно-техногенные процессы**

При проектировании и строительстве инженерных сооружений необходимо учитывать влияние опасных геологических процессов, а так же давать прогноз таких процессов при анализе взаимодействия сооружения с геологической средой.

На территории Предглинтовой низменности большое влияние на развитие и активацию опасных геологических процессов имеют инженерно-геологические условия. Для их предотвращения производят анализ действующих и прогноз возможных природных и техногенных процессов и явлений. Эти процессы делятся на две группы: эндогенные и экзогенные.

С точки зрения обеспечения надежности строительства и эксплуатации сооружений в пределах Предглинтовой низменности, к эндогенным процессам относят радоноопасность и «глиняный диапиризм». К экзогенным: оползневые процессы; заболачивание и развитие пльвунов.

#### **3.2.1. Радоноопасность**

Ленинградская область относится к зонам с повышенной опасностью радонового загрязнения. Содержание естественных радионуклидов в породах зависит от особенностей геологического строения изучаемой территории, в пределах Предглинтовой низменности главной причиной является расположение в непосредственной близости от земной поверхности диктионемовых сланцев, содержащих уран выше фонового в 10-100 раз. (Горький, 2009)

Из-за широкого распространения кембрийских глин на территории Предглинтовой низменности, сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета было проведено исследование влияния воздействия радиации на глины. Было установлено, что синие глины претерпевают следующие изменения: происходит уменьшение содержания глинистых минералов за счет их аморфизации, снижение содержания пылеватой фракции, емкость поглощения возрастает в 2 раза, плотность глин уменьшается в 1,2 раза, снижаются параметры механических свойств, наблюдается радиолиз поровой воды, постепенное снижение влажности и развитие дезинтегрированности толщи глин, а также интенсификация микробной деятельности во вмещающей толще синих глин, сопровождающаяся

дополнительным снижением их прочности и повышением уровня биохимической коррозии конструкционных материалов (Коробко, 2015).

### 3.2.2. «Глиняный диапиризм»

Термин «глиняные диапиры» подразумевает достаточно крупные тела осадочного материала, которые в результате вязко-пластичного течения внедрились в перекрывающую толщу (Филлипов, 2016).

До конца 70-х гг. XX в. дислокации и отторженцы в толще современных отложений исследователи северо-запада Русской равнины описывали, как результат деятельности покровных ледников. Во второй половине XX в. ряд исследователей выдвинули гипотезу, в которой генезис описываемых структур связывают с проявлением блоковых движений фундамента и неотектоники.

На территории Ленинградской области крупные и наиболее известные сложные дислокации и отторженцы в верхней части перекрывающей толщи изучали Волин А.В. и Лобанов И.Н., они считают выдавливание нижнекембрийских пластичных глин сквозь толщу осадочного чехла результатом неравномерной, в том числе и ледниковой нагрузки и вероятно разнонаправленного движения блоков фундамента (Волин, 1974; Лобанов, 1979).

В зонах распространения диапировых структур нижнекембрийские глины имеют характерный визуальный признак – тонкослоистую текстуру, слои которой располагаются под различными углами к горизонту. В таких глинах наблюдается трещиноватость и расслоенность, что повышает проницаемость и снижает прочность. (Чочиа, 1993)

Исходя из вышесказанного при проектировании и строительстве в районах развития глиняных диапировых структур необходимо уделять особое внимание оценке состояния и свойств синих глин.

### 3.2.3. Экзогенные процессы

Распространение и развитие различных видов экзогенных процессов обусловлено структурно-тектоническим положением, напряженно-деформированным состоянием горных пород, деятельностью подземных и поверхностных вод, гидродинамическими условиями, а так же техногенным воздействием.

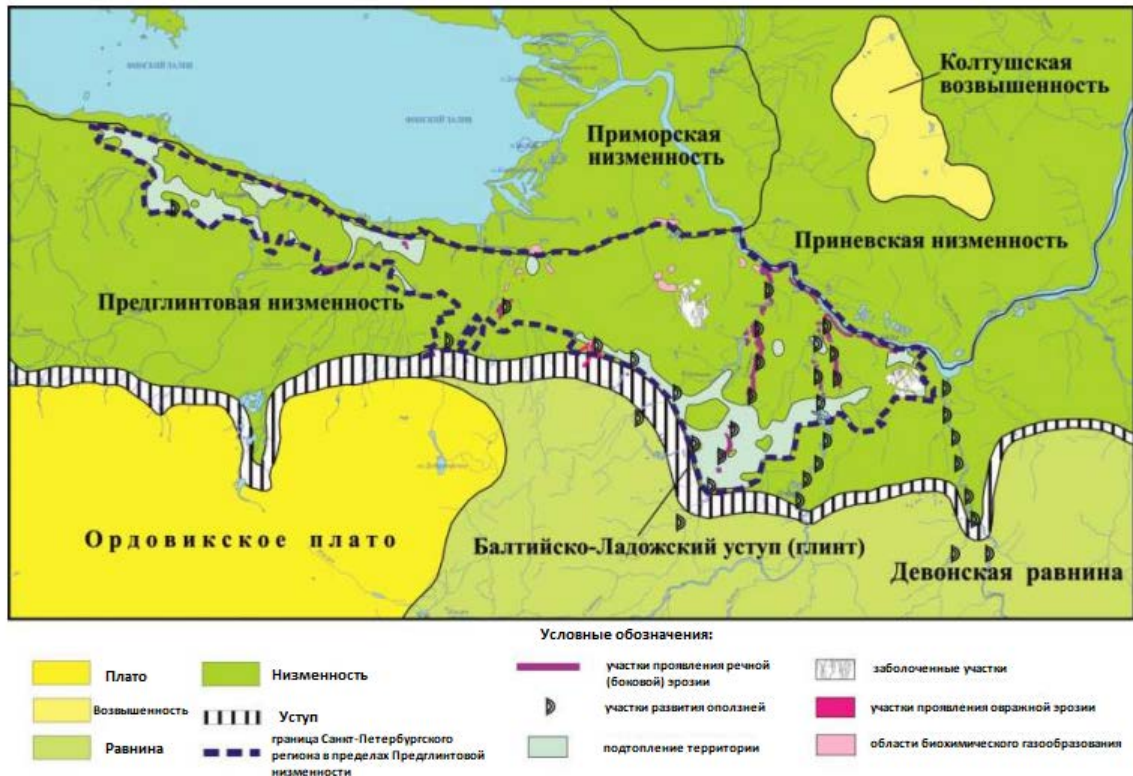


Рисунок 13. Схематическая карта проявления экзогенных процессов в пределах Санкт-Петербурга и Ленинградской области (Коробко, 2015).

К экзогенным процессам, развивающимся в пределах Предглинтовой низменности, относятся:

- овражная эрозия, наиболее часто развивается по моренным суглинкам и имеет ограниченное распространение (Рис. 13). Длина оврагов редко превышает 200 м, глубина 3-20 м, форма У-образная (Коробова). На изучаемой территории количество и форма проявления оврагообразования не представляют угрозы для зданий, сооружений и людей.

- речная (боковая) эрозия проявляется на всех реках рассматриваемой территории. В пределах Предглинтовой низменности наиболее интенсивно процесс боковой эрозии проявляется на реках Дудергофка, Кикенка, Большая Ижорка,

Ижора, Попова Ижорка, Кузьминка, Славянка, Стрелка, Пулковка, Дачная, Черная (Петродворцовый район), Шингарка, Госна, Поповка.

- подтопление и изменение температурного режима за счет утечек из инженерных коммуникаций наблюдается в Санкт-Петербурге и застроенных районах Ленинградской области, что приводит к ухудшению свойств грунтов, изменению их напряженного состояния, а это в свою очередь влияет на устойчивость сооружений.

- заболачивание, так же оказывает негативное воздействие на подстилающие грунты. Заболоченные участки имеют широкое распространение в Предглинтовой низменности, так как территория характеризуется избыточно-влажным гумидным климатом, распространением на поверхности слабопроницаемых отложений и развитием равнинного рельефа. Обогащение коренных глин нижнего кембрия органической компонентой способствует увеличению трещиноватости пород.

Воздействие торфов, а также возможность проникновения загрязнения в трещиновато-блочную среду коренных глин вызывает интенсивный рост микробной массы и способствует снижению их угла внутреннего трения до  $5^\circ$ , а сцепления до 0,035 МПа (Панкратова, 2012).

- на исследуемой территории пльвунными свойствами обладают песчаники ломоносовского горизонта, разрушенные до песков, и водонасыщенные песчано-глинистые озерно-ледниковые и флювиогляциальные отложения. Пески-пльвуны характеризуются низкими величинами угла внутреннего трения ( $\varphi = 3-4^\circ$ ), высокой пористостью (40 – 56%), низкими значениями коэффициента фильтрации (от 10-3 м/сут до первых м/сут) и низкой водоотдачей (Дашко, 2011). Развитие пльвунов обусловлено наличием погребенных долин, в которых формируются особые гидродинамические условия, наблюдается аккумуляция загрязнения и негативное преобразование песчано-глинистых пород; наличием водонасыщенных раздробленных до состояния песков песчаников ломоносовской свиты, находящихся под действием напоров ломоносовского водоносного горизонта, а также наличием природных и природно-техногенных источников контаминации подземного пространства исследуемого региона (Коробко, 2015).

- оползневые процессы широко развиты в пределах Предглинтовой низменности по берегам рек, сложенных нижнекембрийскими глинами. Изменение прочностных свойств глин под влиянием природных факторов провоцирует процессы оползнеобразования, вследствие этого оползневые процессы и влияние природных

факторов на устойчивость склонов будут рассмотрены подробно в следующих главах.

### 3.3. Выводы к третьей главе

1. Негативное воздействие природных и техногенных процессов на горные породы, необходимо учитывать при изучении инженерного геологических условий территории. В связи с широким распространением нижнекембрийских глин в Предглинтовой низменности, необходимо учитывать влияние природных факторов на прочностные свойства.

2. Из экзогенных факторов наибольшее влияние оказывает радоновое загрязнение, обусловленное наличием в разрезе минералов с повышенным содержанием урана. Влияние радиационного излучения выражается в изменении параметров физических и механических свойств глинистых пород.

В зонах распространения диапировых структур нижнекембрийские глины характеризуются трещиноватостью и расслоенностью, что повышает проницаемость, снижает прочность.

3. Распространение и развитие различных видов экзогенных процессов обусловлено структурно-тектоническим положением, напряженно-деформированным состоянием горных пород, деятельностью вод, гидродинамическими условиями. К экзогенным процессам, развивающимся в пределах Предглинтовой области относятся: овражная и речная эрозия, подтопление и заболачивание. На рассматриваемой территории речная эрозия проявляется на всех реках и способствует развитию оползневых процессов, которые являются наиболее опасными действующими и прогнозируемыми процессами, развитие которых зависит от прочностных свойств глин.

## ГЛАВА 4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОПОЛЗНЕ-ОПАСНОСТИ СКЛОНОВ

### 4.1. Оползневые процессы

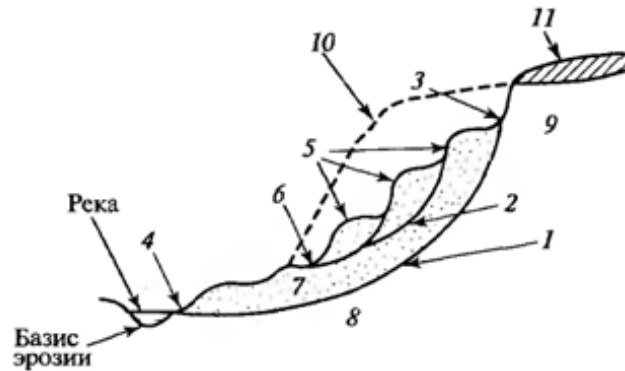
Развитие на склонах и откосах гравитационных процессов в пределах городских территорий является одной из самых важных и сложных проблем инженерной геодинамики в сложившихся условиях интенсивной техногенной нагрузки.

Оползневые процессы представляют угрозу для всех видов инженерных сооружений. Основной областью развития таких процессов являются склоны, долины, овраги и берега рек. Кроме разрушения зданий, деформации в результате сползания подвергаются насыпи железных и автомобильных дорог, водоотводные трубы, водосливные лотки. Оползни, разрушая целые города, приводят к катастрофам с человеческими жертвами и большими материальными убытками. Кроме всего вышеперечисленного, оползни оказывают большое влияние на изменение природных условий и на развитие геологических процессов, с которыми они генетически связаны.

В соответствии с СП 11-105-97 под оползнями понимается движение (скольжение, вязкопластическое течение) масс пород на склоне, происходящее без потери контакта между смещающейся массой и подстилающим неподвижным массивом.

В оползне выделяют следующие элементы (Ананьев, 2005):

- тело оползня;
- поверхность скольжения;
- бровка срыва, место, где произошел отрыв оползневого тела от коренного массива пород;
- террасовидные уступы;
- вал выпучивания, разбитый трещинами;
- подошва оползня - место выхода на поверхность плоскости скольжения.



1 — наиболее глубокая линия скольжения; 2 — верховая линия скольжения; 3 — оползневый уступ (обрыв); 4 — «язык» оползня; 5 — смещенные мелкие тела (части оползня); 6 — оползневые террасы с уклоном к оползню; 7 — тело оползня; 8 — подстилающие породы; 9 — породы (коренные) оползневого склона; 10 — форма склона до оползня; 11 — делювий

Рисунок 14. Основные элементы оползневого склона (Ананьев, 2005)

Главная причина возникновения оползней – это нарушение соотношения между сдвигающими силами и силами, препятствующими смещению горных пород, что происходит вследствие изменения напряжённого состояния и снижения сопротивления сдвигу пород.

Оползни разнообразны по строению, размерам, причинам и условиям образования, способствующим их возникновению и развитию. Исходя из этого не существует единой классификации этого процесса (Ломтадзе, 1977).

Рассмотрим наиболее известные из них.

Наиболее часто используемую в настоящее время классификацию оползней предложил Ф.П. Саваренский (1934 г.), построив ее на основе положения поверхности скольжения по отношению к склоновому массиву. Согласно этой классификации все разнообразие оползней укладывается в три группы: асеквентные, инсеквентные и консеквентные.

**Асеквентные оползни**, возникают в однородной или квазиоднородной среде, имеют как правило, вогнутую круглоцилиндрической поверхности скольжения, которая обусловлена физико-механическими свойствами пород.



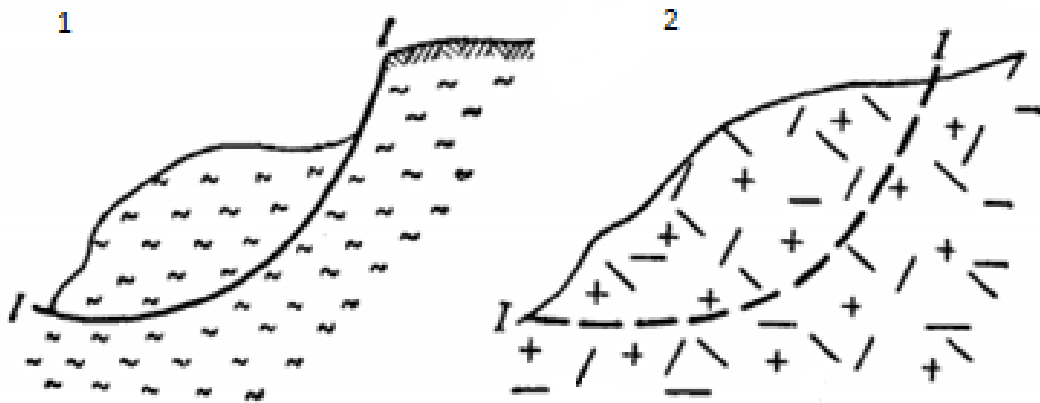


Рисунок 15. Асеквентный оползень: 1- в однородных глинистых породах, 2 – в трещиноватых твердых породах (Ломтадзе, 1977).

**Консеквентные оползни**, образуются в неоднородных и трещиноватых породах, где плоская, волнистая или наклонно-ступенчатая поверхность скольжения обусловлена строением склона или откоса, существующими поверхностями ослабления.

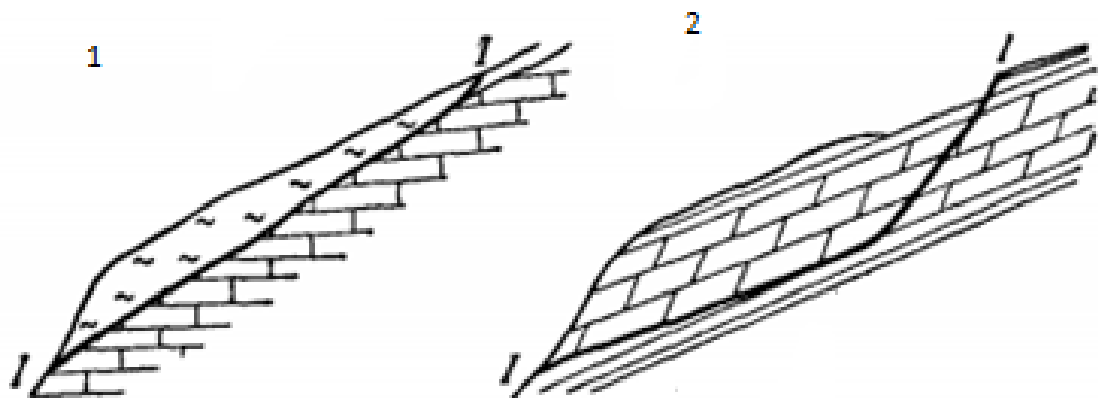


Рисунок 16. Консеквентный оползень: 1- делювия по коренным породам, 2 – в моноклинально наклонных слоистых породах (Ломтадзе, 1977).

**Инсеквентные оползни**, формируются в слоистых, неоднородных, породах залегающих горизонтально или наклонно в сторону склона, поверхность скольжения у таких оползней криволинейная, врезается и пересекает слоистость под разными углами (Иванов, 2001).

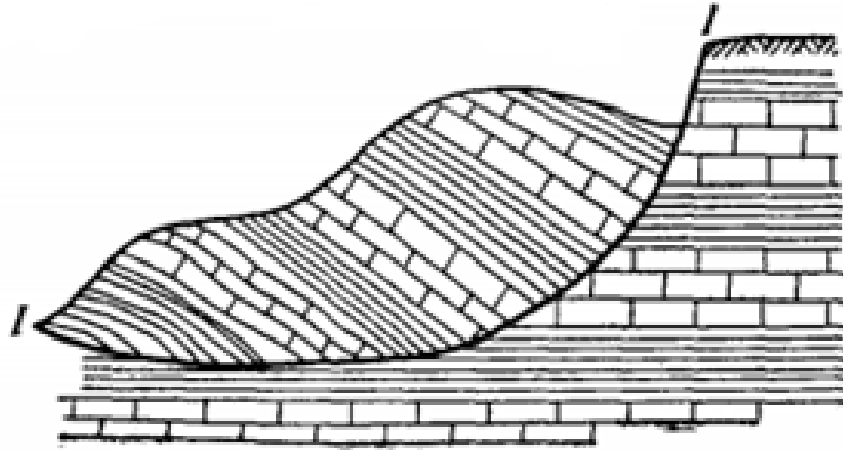


Рисунок 17. Инсеквентный оползень (Ломтадзе, 1977).

Важно значение имеет классификация оползней по их возрасту, предложенная И.В. Поповым.

Таблица 4. Схема подразделений оползневый явлений по возрасту (Попов, 1959)

Возраст оползней	Вид оползней	Состояние равновесия масс горных пород
Современны, отвечающие современному положению базиса эрозии и уровня абразии	Движущиеся	Процесс установления равновесия продолжается
	Приостановившиеся	Действие силы, вызывающей нарушение равновесия, временно уравновешено факторами устойчивости
	Остановившиеся	Силы нарушающие равновесие, временно устранились
	Закончившиеся	Действие силы, вызывающей нарушение равновесия, исчерпано
Древние, не отвечающие современному положению базиса эрозии и уровня абразии	Открытые	Оползневое тело выходит на поверхность
	Погребенные	Оползневое тело перекрыто позднейшими отложениями

Г. С. Золотарев (1956 г.) классифицировал оползни по механизму смещения оползневых масс и их строению (составу и структуре). По механизму смещения были выделены группы: 1) смещенные массивы скальных пород, 2) оползни-блоки (глинистые и полускальные породы), 3) оползни потоки, 4) сплывы, 5) оползни-оплывины, 6) срывы.

В 1964 г Золотарев дополнил свою классификацию генетическими типами: 1) детрузивные и вдавливания, 2) соскальзывания, или консеквентные, 3) деляпсивные, 4) оплывины, 5) «внезапного разжижения», 6) суффозионные, 7) коры выветривания изверженных и метаморфических пород, 8) сложные и переходные типы (Ломтадзе,1977) .

В классификации В.Д. Ломтадзе (1977 г.) оползни рассматриваются в трех видах в зависимости от состава и характера движения оползневых масс: **структурные** - скольжение блока или блоков горных пород по поверхности скольжения без существенного нарушения их внутреннего строения (этот вид подразделяется на асеквентные, консеквентные, инсеквентные оползни), **пластические** – течение масс горных пород подобно вязкой жидкости по наклонной поверхности скольжения (всегда консеквентные) и **структурно-пластические** – скольжение блока или блоков горных пород, которые при движении разрушаются, дробятся и превращаются в массу, ползущую подобно вязкой жидкости по поверхности скольжения (Ломтадзе,1977).

В основе классификации И.П. Иванова лежит причина потери устойчивости склонов и откосов. Все нарушения сгруппированы в 10 типов, выделение которых обусловлено генезисом оползневого процесса, привязано к геологическим условиям и выражено формами проявления (Иванов, 2001).

Классификация оползней по СП 11.105-97:

Таблица 5. Классификация оползней по СП 11.105-97.

Типы опасных склоновых процессов (по механизму смещения пород)	Подтипы	Характеристика пород основного деформируемого горизонта (ОДГ)	Характер проявления
Оползни сдвига (скольжения)	Инсеквентные (срезающие)	Глинистые (реже выветрелые полускальные и скальные) породы, массивные или слоистые, с пологим, или обратным падению склона	Отрыв и смешение блоков пород по вогнутой криволинейной поверхности с одновременным их запрокидыванием

		залеганием слоев	
	Консеквентные (соскальзывающие)	Прослой глинистых пластичных грунтов в толще более прочных грунтов и поверхности ослабления, наклоненные в сторону падения склона	Смещение массива или блоков пород по поверхностям ослабления
Оползни выдавливания	-	Глинистые, преимущественно пластичные	Выдавливание грунта из-под подошвы приборочного уступа склона и его смещение совместно с ранее образовавшимися на склоне оползневыми накоплениями
Оползни вязкопластические	Оползни-потоки  Сплывы (оплывины)	Глинистые, малоуплотненные и слаболитифицированные, пластичные	Вязкопластическое течение массы грунта: по ложбинам - оползни-потоки, вытянутой по оси оползания формы в плане; на увлажненных крутых уступах - сплывы; в пределах зоны сезонного промерзания при оттаивании - оплывины
Оползни гидродинамического разрушения	Суффозионные  Гидродинамического выпора	Водонасыщенные песчаные и глинистые пылеватые грунты	Отрыв оползневого тела или обрушение суффозионной ниши с последующим растеканием сместившейся водонасыщенной массы
Оползни внезапного разжижения	Несейсмогенного разжижения  Сейсмогенного разжижения	Слабоуплотненные глинистые и песчаные водонасыщенные грунты, подверженные быстрому разупрочнению при динамических воздействиях	Разжижение при динамическом воздействии (техногенном сотрясении или сейсмических толчках) и быстрое вязкое течение разжиженного грунта по уклону рельефа

## 4.2. Факторы, определяющие развитие оползней.

Любое оползневое смещение масс горных пород возникает под действием силы тяжести и возможно лишь в том случае, если сдвигающая составляющая силы тяжести превысит прочность горных пород, т.е. будет нарушено предельное равновесие пород.

Нарушению предельного состояния горных пород способствуют многие факторы в различных сочетаниях друг с другом. Но в каждой конкретной геолого-геоморфологической обстановке существует решающий фактор, проводящий к активизации оползневого процесса. Этот фактор следует называть причиной процесса, без которого не произошел бы оползень. Но не смотря на это, в основе оценки оползнеопасности и противооползневых мероприятий, лежит комплексный, детальный анализ всех факторов развития оползня.

Основные факторы возникновения и развития оползней можно разделить на две группы. Первая группа связана с изменением свойств горных пород, слагающих склон, вторая – с изменением напряженного состояния пород приоткосного массива (Иванов, 2001).

Таблица 6. Перечень основных факторов возникновения оползней по Иванову И.П.

Природные факторы	Техногенные факторы	Характер и результаты воздействий
<b>Факторы, изменяющие свойства пород, слагающих склон, откос</b>		
Выветривание пород	Разрушение пород горными и строительными работами	Уменьшение прочности пород за счет изменения из физического состояния
Увлажнение природными водами	Увлажнение техногенными водами	Уменьшение прочности пород за счет их разуплотнения, размокания, набухания
Изменение температуры пород	Оттаивание ММП при разработке МПИ и эксплуатации сооружений	Уменьшение прочности, за счет разрушения цементационных связей
Суффозия	Фильтрационный вынос	Уменьшение плотности и прочности песчано-

		глинистых пород
Вековая ползучесть горных пород	Продолжительность эксплуатации откосного сооружения	Реологические изменения, уменьшение прочности
<b>Факторы, изменяющие напряженное состояние пород приоткосного массива</b>		
Эрозия, абразия	Подрезка природных склонов	Увеличение угла наклона склонов и откосов, возрастание сдвигающих усилий
Изменение баланса эрозии	Углубление выемки	Увеличение высоты склонов, возрастание сдвигающих усилий
Изменение уровня грунтовых вод	Осушение карьеров	Формирование гидростатического и гидродинамического давлений вод
Затопление атмосферными осадками и поверхностными водами	Затопление и подтопление при строительстве гидротехнических сооружений	Формирование гидростатического и гидродинамического давлений вод
Пригрузка склонов делювием и обвальными массивами	Статистическая и динамическая нагрузка от сооружений и транспорта	Возрастание сдвигающих усилий, формирование порового давления
Землетрясения	Наведенные землетрясения, промышленные взрывы	Возрастание сдвигающих усилий, формирование порового давления
Аккумуляция аллювиально-делювиальных отложений	Террасирование, подпорные сооружения	Увеличение удерживающих усилий. Возрастание коэффициента устойчивости.

### 4.3. Оценка оползнеопасности

Согласно СП 11-105-97 к оползнеопасным следует относить склоны, на которых происходят или ранее происходили оползневые процессы.

К потенциально оползне-опасным следует относить склоны, на которых возможно развитие процессов при прогнозируемом воздействии природных и (или) техногенных факторов.

Для оценки устойчивости склона инженерно-геологические изыскания следует проводить, как правило, на всей площади опасного (потенциально опасного) склона и прилегающих к его верхней бровке и подошве зон (до предполагаемой границы устойчивой части склона), а для береговых склонов - с обязательным охватом их подводных частей, в том числе в случаях, когда территория проектируемого объекта занимает только часть склона.

Границы обследуемой территории необходимо определять с учетом ожидаемого негативного техногенного воздействия (при хозяйственном освоении площадки проектируемого строительства и прилегающей территории) и развития оползне-образующих процессов (боковой и донной эрозии, абразии, выветривания и др.)

При изысканиях на оползнеопасных и потенциально оползнеопасных склонах необходимо устанавливать в соответствии с классификацией оползней по СП 11-105-97, приведенной в таблице 2, типы и подтипы склоновых процессов по механизму смещения пород, условия их возникновения и характер проявления, а также выявлять взаимосвязь оползневых деформаций с рельефом, геологическим строением, воздействием подземных вод, геологическими и инженерно-геологическими процессами (эрозия, абразия, выветривание, подтопление, осушение и др.), а также с результатами хозяйственной деятельности (подрезка, пригрузка склонов, изменение уровня подземных вод, уничтожение древесной растительности, динамические нагрузки и т.п.).

Для определения оползне-опасных склонов в задачу маршрутных наблюдений согласно СП 11-105-97 входит:

- описание и оценка состояния поверхности склона и его характерных особенностей на отдельных оползневых, осыпных и обвальных участках;
- выявление визуальных проявлений оползневых, осыпных и обвальных процессов на поверхности склона;
- выявление проявлений свежей эрозионной или абразионной подсечки склонов;

-установление пространственных закономерностей оползневых деформаций на склоне (границ участков активных оползней, оползней второго порядка и др.);

-установление характера хозяйственного использования территории, техногенных воздействий, преобразований рельефа, почв и растительности;

-обследование имеющихся деформаций зданий и сооружений и оценка состояния и эффективности сооружений инженерной защиты;

-поиски аналогов оползней и обвалов на прилегающей территории с выявлением их причин.

При обследовании оползней следует устанавливать размеры оползня, амплитуду оползневого смещения, виды оползневых трещин на поверхности склона.

Бурение скважин в глинистых грунтах рекомендуется «всухую» укороченными рейсами до 0,5 м, При описании керна особое внимание следует уделять характеристике слоистости и наклону прослоев и линз, выявлению зон дробления и смятия, ослабленных зон, поверхностей (зеркал) скольжения. Для более достоверного выявления указанных характеристик бурение скважин следует дополнять проходкой шурфов.



#### 4.4. Механизм оползневого процесса

Всякая масса грунта, ограниченная естественной наклонной поверхностью земли или откосами выемки, стремится двигаться вниз и наружу под влиянием силы тяжести. Если сопротивление грунта сдвигу уравнивает это стремление, то откос является устойчивым. В противном случае происходит оползень (Терцаги, 1958)

Механизм оползневого процесса определяется видом, способом и характером перемещения одной части пород (оползневого тела) относительно другой (устойчивой) в зоне поверхности скольжения. Зная главные особенности горных пород и условия их залегания, можно определить, типы механизмов их деформирования на склоновом массиве. Это перекачивание в обломочных и трещиновато-блочных породах на склонах с большим углом наклона, сдвиг в твердых породах по унаследованным поверхностям скольжения, скольжение в глинистых литифицированных породах, пластическое течение в песчано-глинистых водонасыщенных отложениях, а так же переходные комбинированные варианты в сложных геологических обстановках.

Знание типа механизма оползня дает большие возможности для прогноза его динамики и последствий, выбора расчетных моделей и показателей сопротивления сдвигу, для обоснования мероприятий инженерной защиты.

Механизм смещения оползневого тела по поверхности скольжения нельзя рассматривать отдельно от процесса формирования самой поверхности. Большинство оползней, возникающих в реальных геологических условиях, относятся к типу инсеквентных (Иванов, 2001), поверхность скольжения которых проходит через слои пород разной прочности, деформируемости и характера разрушения (от хрупкого до текучепластичного).

Началу оползнеобразования предшествует образование трещин растяжения в верхней части откоса. Во время сползания верхняя часть сползающей поверхности, называемая головой или вершиной оползня, опускается, в то время как нижняя часть, называемая языком, выпирается кверху (Терцаги, 1958). Следовательно, если первоначальная поверхность откоса была плоской, то затем профиль поверхности грунта вдоль оси сползания получается форму S-образной кривой.

Следует отметить, что в результате увлажнения глинистых пород, слагающих склон, происходит трансформация более прочных переходных контактов в коагуляционные, сопровождающиеся существенным ослаблением структурных

связей. Уменьшение прочности структурных связей приводит к резкому повышению сдвиговых напряжений и началу сдвиговых деформаций по наиболее ослабленным участкам склона. В ходе нарастания сдвиговых деформаций в глинах, находящихся в пределах зоны сдвига, происходит переориентация глинистых частиц и идет формирование поверхностей скольжения.

#### 4.4. Выводы к четвертой главе

1. Согласно Государственному мониторингу состояния недр на территории Ленинградской области развитие склоновых процессов связано с подмыванием берегов рек, которые разрушаются по обвально-осыпному типу. Реже встречаются оползни-оплывины или оползни срыва, как результат эрозионного размыва берегов рек. Такие оползни встречаются на реках Нева, Мста, Свирь, Ижора, Тосна, Шелонь и др. Длина их 10 - 20 м.

2. В пределах Предглинтовой низменности оползни развитые по берегам рек чаще всего относятся к инсеквентным, а оползни, причиной возникновения которых является техногенное воздействие – к инсеквентно-консеквентным. Оползни консеквентного типа характерны для вогнутых берегов р.Тосна (от впадения р.Саблинка и ниже по течению).

Согласно классификации, предложенной В.Д. Ломтадзе, на склонах рек Саблинка и Тосны распространены структурно- пластические оползни.

3. На территории Ленинградской области в основании склонов, как правило, залегают нижнекембрийские глины, которые как известно имеют зональное строение по глубине, так как в верхней части отложения характеризуются переменной влажностью, плотностью и разрушаются как квазипластичное тело. Следовательно, механизм формирования оползней соответствует схеме И.П.Иванова, т.е. в нижней части склона залегают некомпетентные породы пластичного характера разрушения, представленные кембрийскими глинами.

Наиболее частой причиной развития оползней на склоне р.Тосна и р.Саблинка является наличие в нижней части оползневого разреза пластичных кембрийских глин, в которых происходит накапливание сдвиговых деформаций, провоцировавшие изменение напряженного состояния склона в целом.

## ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИН

### 5.1. Инженерно-геологическая характеристика исследуемого оползневого склона левого берега р. Тосна в районе г. Никольское

Как отмечалось выше, изменения влажности глин, степень выветрелости и разуплотнения, оказывают большое влияние на прочностные свойства, которые являются основным фактором оползнеопасности.

Изучение влияния природных факторов на изменение прочностных свойств кембрийских глин было выполнено на примере оползневого склона левого берега р. Тосны, расположенного юго-западнее г. Никольское в Тосненском районе Ленинградской области. (рис.18) В геоморфологическом отношении участок приурочен к Предглинтовой низменности.

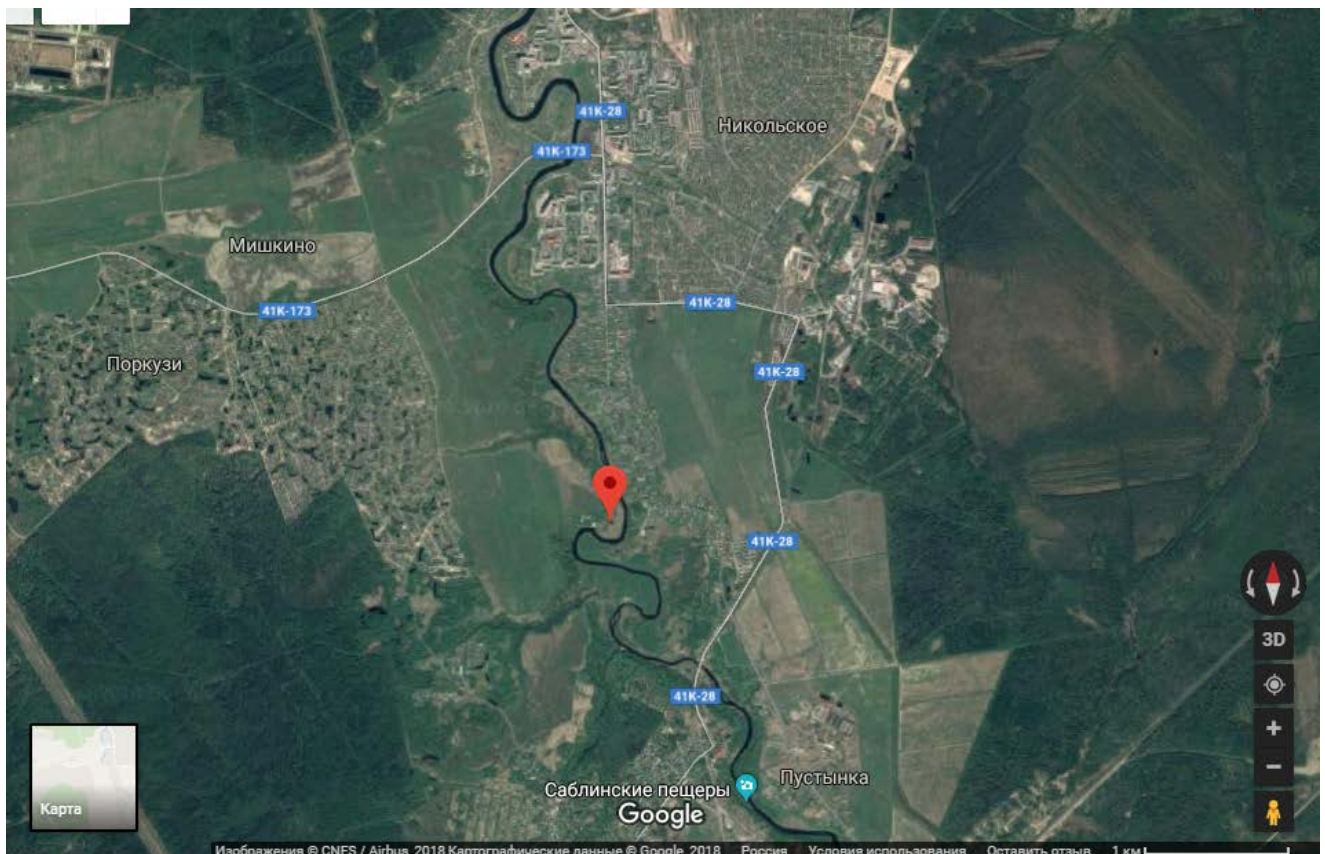


Рисунок 18. Расположение объекта исследования (Google Maps. URL: [https://www.google.ru/maps/place/59°40'40.7"N+30°47'08.4"E](https://www.google.ru/maps/place/59°40'40.7) (дата обращения 11.02.2018))

На оползневом склоне распространены глинистые отложения, представленные нижнекембрийскими глинами ( $\epsilon_1$ ) лонтоваского горизонта, которые перекрыты

верхнечетвертичными озерно-ледниковыми отложениями (IgIII), представленными суглинками.

По данным исследований обнажений, уже сошедшего оползня, мощность четвертичных отложений оползневого участка левого берега р. Тосны составляет около 5 м (Рис.19).

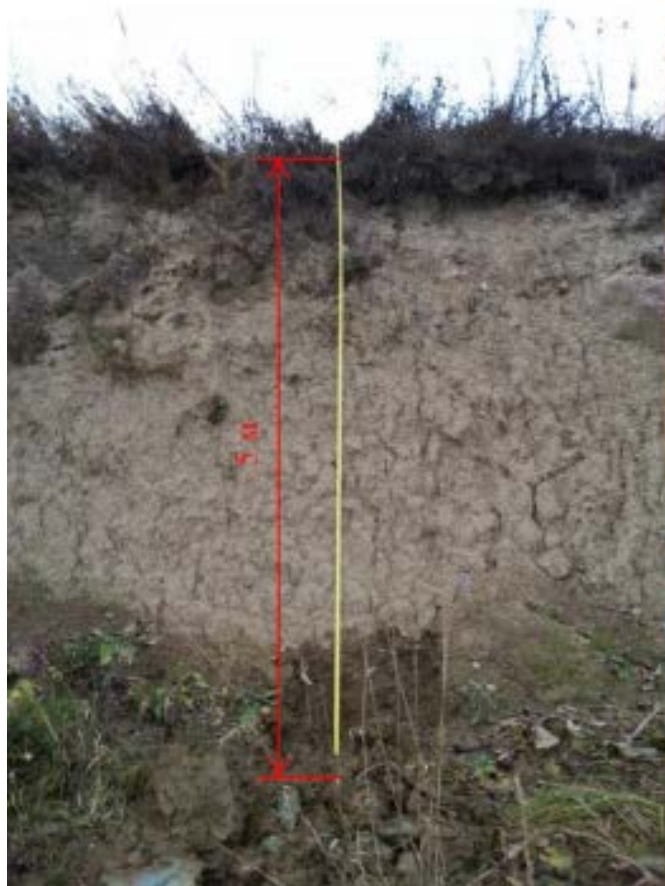


Рисунок 19. Оползневой уступ, сложенный четвертичными породами.

Поверхность скольжения оползня приурочена к ослабленному контакту четвертичных суглинков и лонтоваских синих глин (Рис. 20).

По классификации Ф.П. Саваренского оползень относится преимущественно к консеквентному типу с наклонной поверхностью скольжения, которая обусловлена строением склона, и существующими поверхностями ослабления. Согласно классификации, предложенной В.Д. Ломтадзе, оползень относится к структурно пластическим оползням (Ломтадзе, 1977).



Рисунок 20. Фрагмент поверхности скольжения в шурфе.

Для изучения физических и прочностных характеристик сопротивления сдвигу были отобраны образцы суглинка с естественного обнажения и глин из шурфов. Для лабораторных определений состава и физических свойств грунтов было отобрано 20 образцов ненарушенного сложения. В частности проводились исследования естественной влажности  $W$ , влажности на границе текучести  $W_L$  и раскатывания  $W_p$  гранулометрического состава, плотности  $\rho$  в естественном состоянии. Определения гранулометрического состава, физических и прочностных характеристик грунтов выполнялись в Центре инженерных исследований при Санкт-Петербургском государственном горном институте.

Нормативные характеристики грунтов приняты по лабораторным данным.

Расчетные значения характеристик определены с учетом стандартных коэффициентов безопасности по грунту согласно п. 5.3.18 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» и с учетом расчетных коэффициентов безопасности по грунту в соответствии с ГОСТ 20522-2012.

Четвертичная система – Q

Озерно-ледниковые отложения - IgIII

Залегают под почвенно-растительным слоем и представлены:

ИГЭ-1. Суглинки легкие пылеватые тугопластичные с прослоями песка ожелезненные коричневато-серые.

Естественная влажность грунтов 0,23 д.ед., число пластичности 0,09, показатель текучести 0,41 д.ед. – тугопластичные.

В результате статистической обработки результатов сдвиговых испытаний по схеме неконсолидированно-недренированного среза, были получены нормативный угол внутреннего трения  $\varphi_n = 21^\circ$  при нормативном сцеплении  $C_n = 28$  кПа, расчетные значения:  $\varphi_I = 20^\circ$ ,  $\varphi_{II} = 20^\circ$  и  $C_I = 27$  кПа,  $C_{II} = 27$  кПа.

#### Кембрийская система – Є

Нижнекембрийские отложения залегают под верхнечетвертичными отложениями и представлены:

ИГЭ-2. Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка серо-голубая.

Естественная влажность грунтов 0,34 д.ед., число пластичности 0,22, показатель текучести 0,33 д.ед. – тугопластичные.

В результате статистической обработки результатов сдвиговых испытаний по схеме неконсолидированно-недренированного среза, были получены нормативный угол внутреннего трения  $\varphi_n = 10^\circ$  при нормативном сцеплении  $C_n = 11$  кПа, расчетные значения:  $\varphi_I = 7^\circ$ ,  $\varphi_{II} = 8^\circ$  и  $C_I = 10$  кПа,  $C_{II} = 11$  кПа.

Результаты статистической обработки лабораторных определений физических свойств грунтов, нормативные и расчетные значения характеристик грунтов (приложения А, Б).

Следует отметить, что глины имеют повышенную влажность 33-36%, пониженную плотность 1,79-1,91 т/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о высокой степени разуплотнения. Пониженные показатели сопротивления сдвигу позволяют судить о потере прочности глин и разрушении структурных связей.

Таблица 7. Сравнение полученных характеристик грунта с архивными данными.

	Отобранных образцов	Архивные данные ранее выполненных исследований и ТСН 50-302-2004
Плотность в естественном сложении, г/см <sup>3</sup>	1,79-1,91	1,97-2,08
Естественная влажность, %	33,1-37,4	10-30
Показатель текучести	0,25-0,48	минус 0,90 - 0,30
Сцепление, кПа	10,5-10,7	50-125
Угол внутреннего трения, °	8,0-11,3	11-24



## 5.2. Влияние влажности на прочностные свойства глинистых грунтов при одноплоскостном срезе

Прочность грунтов при сдвиге характеризуется основными прочностными характеристиками – углом внутреннего трения и удельным сцеплением.

По К.Терцаги сопротивляемость глинистых грунтов сдвигу описывается выражением, предложенным Кулоном в XVIII в для песчаных грунтов:

$$\tau_p = p \cdot \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где  $\tau_p$  – сопротивляемость грунта сдвигу при нагрузке  $p$ ;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $c$  – удельное сцепление.

В данном выражении каждая точка, отвечающая нагрузкам ( $p$ ), будет характеризоваться в общем случае различными плотностями ( $p_i$ ) и влажностью ( $W_i$ ).

Н.Н. Масловым была разработана теория «плотности-влажности» для определения сопротивляемости сдвигу глинистых грунтов (40). Согласно данной теории, величины угла внутреннего трения  $\varphi$  и начального сцепления  $c$  не остаются для большой группы грунтов некоторыми постоянными величинами, как это предусматривается теорией Терцаги-Кулона в ее чистом виде. Более того, в теории «плотности-влажности» эти параметры поставлены в прямую зависимость от начального состояния, в первую очередь от влажности ( $W$ ) грунта, а так же от приложенной к нему нагрузки ( $p$ ):

$$\tau_{pw} = p \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + c_w,$$

где  $\tau_{pw}$  – сопротивляемость грунта сдвигу при некоторой его плотности-влажности и воздействующей на него нагрузке  $p$ ;  $\varphi_w$  – истинный угол трения, не зависящий от возрастающей с нагрузкой связности грунта;  $c_w$  – общее сцепление, зависящее от плотности-влажности.

Для установления влияния изменения влажности на прочностные свойства нижнекембрийских глин было выполнено определение величин удельного сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  на образцах с разной влажностью.

Исследования прочностных свойств кембрийских глин производились на сдвиговом приборе Digital Direct/Residual Shear Apparatus 26-2114 на образцах ненарушенного сложения.

Для оценки сопротивляемости сдвигу глин были подготовлены образцы-близнецы одинаковой плотности  $1,88 \text{ г/см}^3$ , при различных значениях влажности (30%, 32%, 34%, 38%, 40%, 42%, 44%). Испытания проводились по схеме неконсолидировано-недренированного среза при нормальных давлениях 9,6; 25,1,

40,6 кПа. Данные величины давлений были рассчитаны с учетом бытового давления и не превышают его, для исключения переуплотнения грунта, и искажения результатов. Сразу после проведения опыта отбирались пробы грунта из области среза для определения влажности. Это позволяет построить график зависимости величин удельного сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  от влажности (Рис. 21).

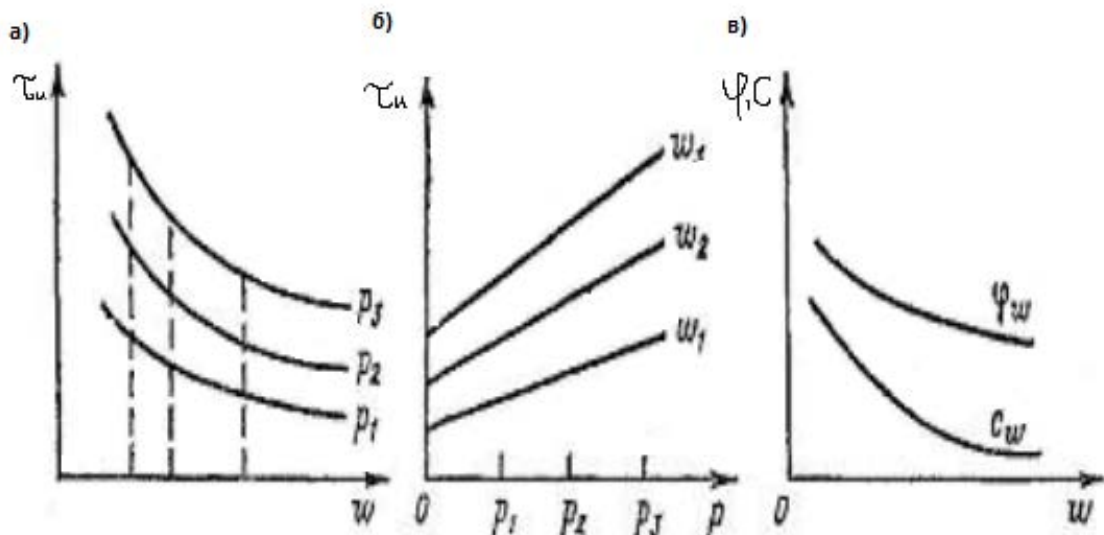


Рисунок 21. Обобщенные зависимости предельного сопротивления сдвигу от влажности (а) и от давления (б); зависимость удельного сцепления  $c_w$  и угла внутреннего трения  $\varphi_w$  от влажности (в) (Омуралиев, 2016)

Всего было выполнено по три серии испытаний для каждого значения влажности, в дальнейших расчетах использованы средние значения. Результаты лабораторных определений прочностных свойств глин приведены в приложении Г протоколы - в приложении И.

На рисунке 22 приведена экспериментальная зависимость изменения сопротивления сдвигу от вертикальной нагрузки для нижнекембрийской глины  $\tau=f(P,W\%)$ , при различных значениях влажности. На каждой из приведенных прямых плотность и влажность грунта для разных ступеней нагрузок остается постоянной, то есть каждая прямая отвечает грунту в состоянии определенной влажности. Согласно теории Н.Н. Маслова сцепление и угол внутреннего трения, которые определяются природными свойствами грунтов и начальным его состоянием (влажностью  $W$ ), остаются неизменным для данного состояния. Следовательно, угол внутреннего трения и сцепление грунта функционально связаны с его влажностью.



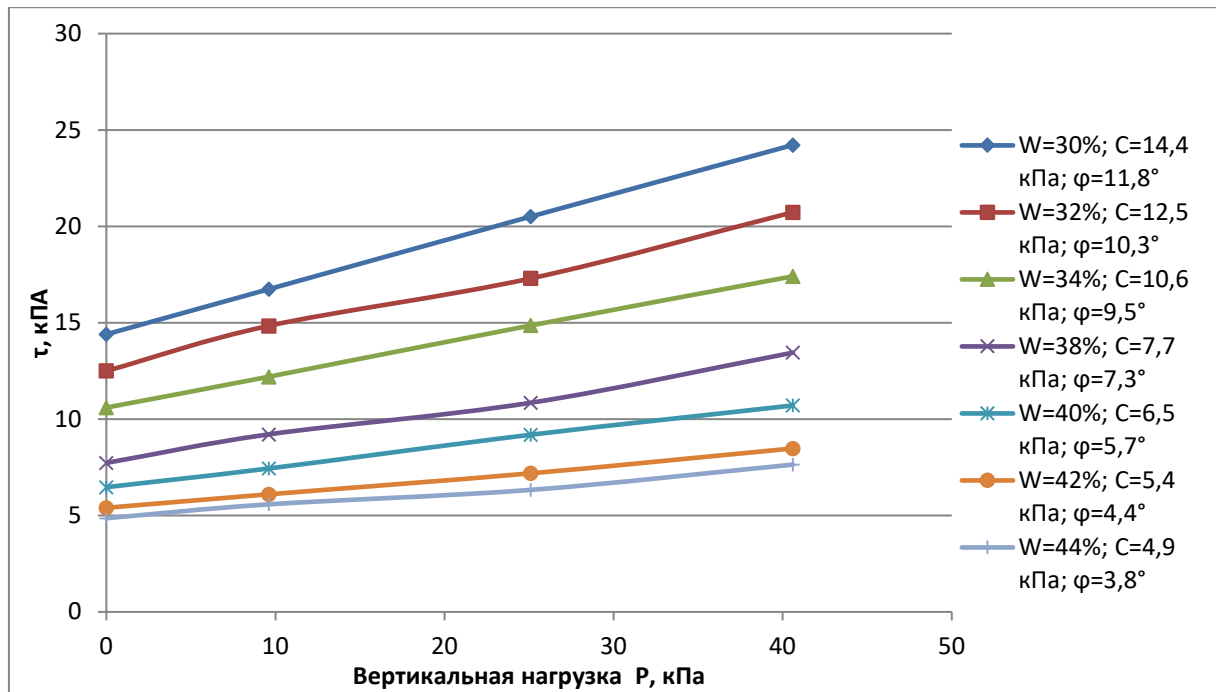


Рисунок 22. Зависимость сопротивления сдвигу для нижнекембрийских глин от вертикальной нагрузки (индекс кривых - влажность)  $\tau=f(P,W\%)$ .

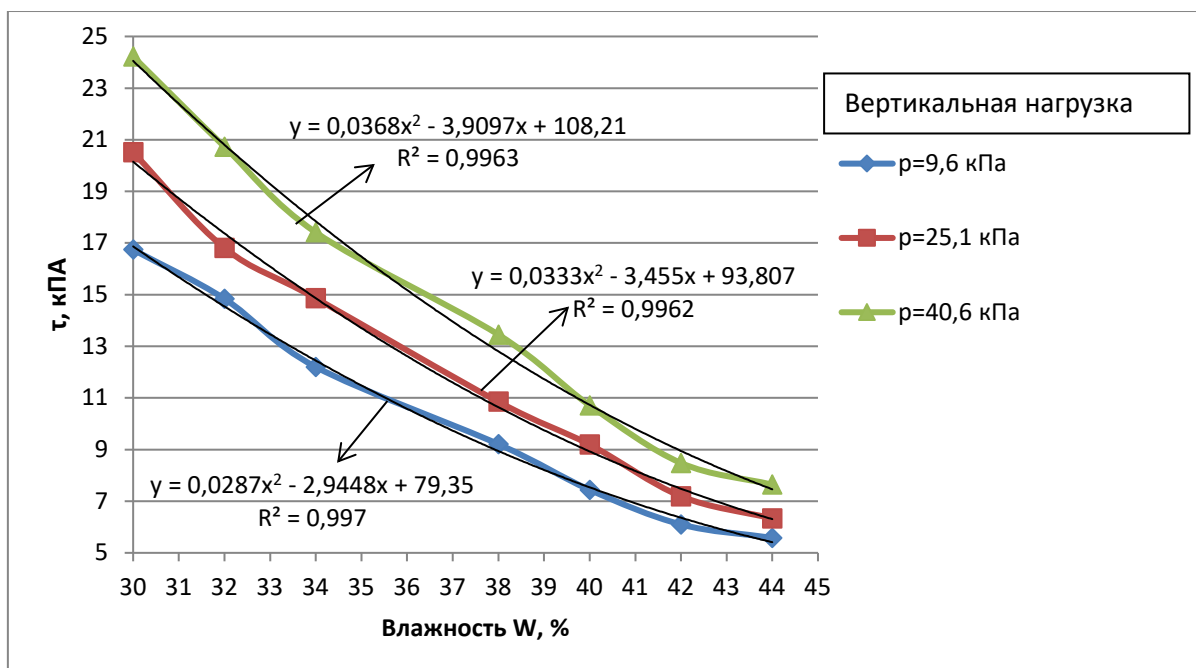


Рисунок 23. Зависимость вида  $\tau=f(W\%,P)$  сопротивления сдвигу от влажности для нижнекембрийских глин (индекс кривых – вертикальная нагрузка).

На рисунке 24 и 25 приведены изменения сцепления угла внутреннего трения от влажности грунта  $C=f(W)$ ,  $\varphi=f(W)$  соответственно.

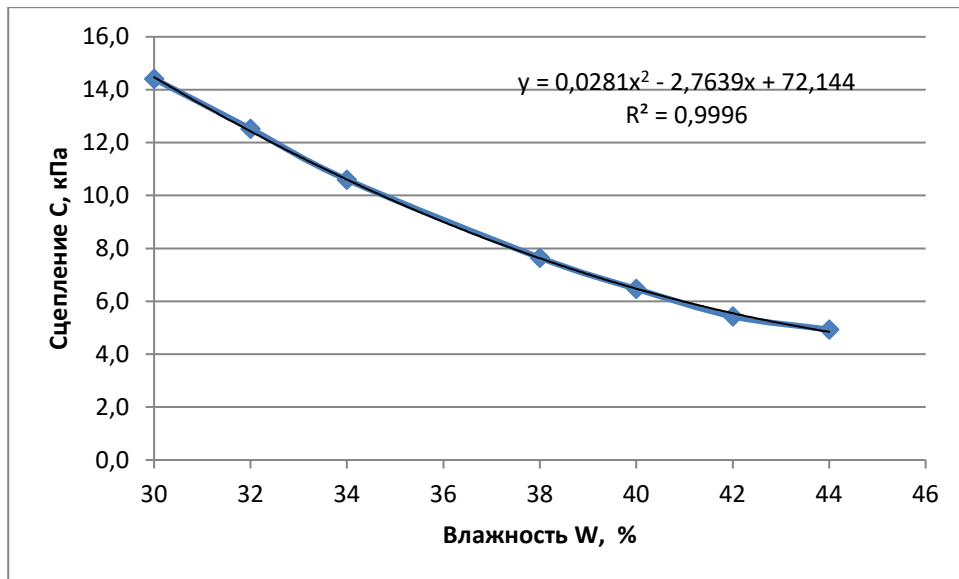


Рисунок 24. Зависимость величины сцепления от влажности глин.

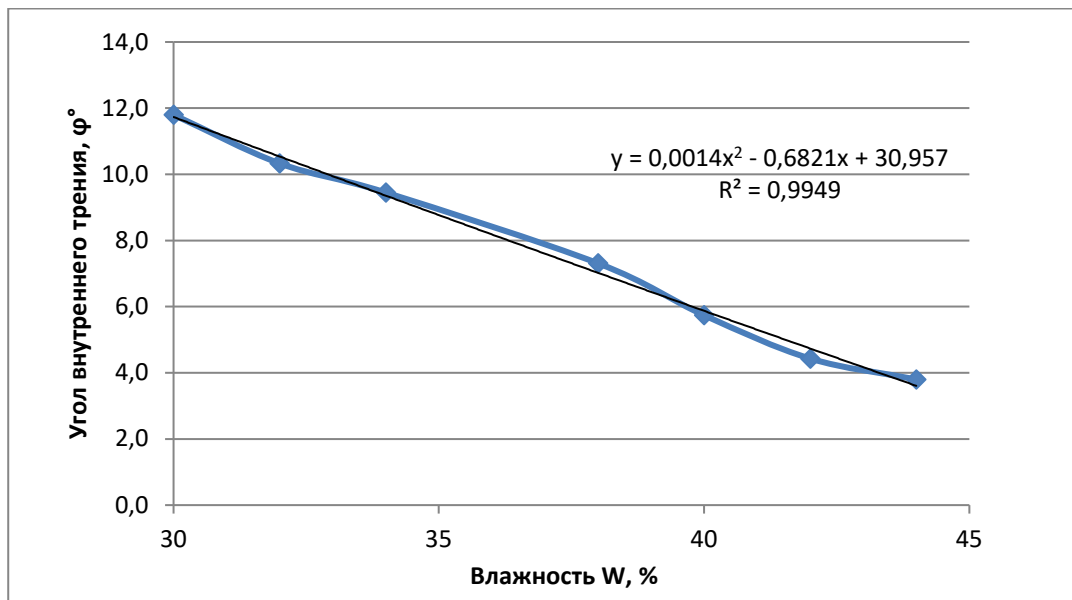


Рисунок 25. Зависимость угла внутреннего трения от влажности глин.

Из приведенных выше графиков видно, что увеличение влажности исследуемых глин приводит к уменьшению сцепления  $S$  и угла внутреннего трения  $\phi$  вследствие перехода грунтов от тугопластичного к текучепластичному состоянию. При изменении влажности от 30 до 44%, сцепление грунта снижается от 14,4 до 4,9 кПа, угол внутреннего трения уменьшается от 11,8° до 3,8°.

С увеличением влажности от 30 до 44% общее сопротивление сдвигу уменьшается в более чем в 3 раза.

### 5.3. Оценка изменения коэффициента устойчивости типичного оползневого склона под влиянием природных факторов

Существует множество методов расчета устойчивости склона, но все они сводятся к основному условию равновесия, определяющегося из схемы сил, действующих на склон. (Ломтадзе,1977)

$$\sum T = f \sum N + CL,$$

где  $\sum T$  – суммарная составляющая силы тяжести  $P$ , стремящаяся сместить массы горных пород вниз по склону;  $\sum N$  – суммарная составляющая силы тяжести  $P$ , ориентированная перпендикулярно к существующей или предполагаемой поверхности скольжения, стремящаяся удержать массы пород в равновесии;  $f$  – коэффициент внутреннего трения пород поверхности или в зоне ослабления,  $C$  – силы сцепления пород по поверхности или в зоне ослабления,  $L$  – длина существующей или предполагаемой поверхности скольжения.

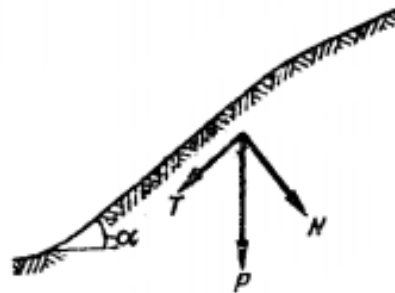


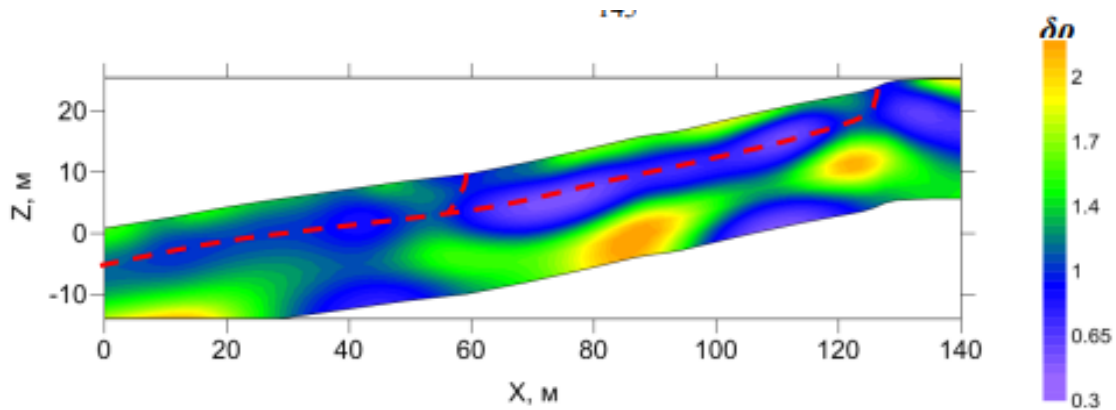
Рисунок 24. Схема сил, действующих в пределах склона.

Когда равновесие будет нарушено, неизбежно смещение масс горных пород вниз по склону. В этом случае коэффициент их устойчивости будет меньше единицы:

$$1 > \eta = \frac{f \sum N + CL}{\sum T}$$

где  $\eta$  – коэффициент устойчивости.

В 2013-2014 году на оползневом склоне левого берега р. Тосна в районе г. Никольское Бурлуцким С.Б. были проведены электротомографические исследования, по результатам которых была выделена ослабленная зона.



! - зона формирования трещин отрыва и поверхности скольжения

Рисунок 25. Электротомографический разрез отношения  $\delta\rho_2=\rho_2/\rho_1$  (Бурлуцкий, 2015)

По данным электротомографического разреза поверхность скольжения берет свое начало от оползневого уступа и прослеживается на глубине около 5 м. Таким образом, ослабленная зона приурочена к границе между четвертичными отложениями и нижнекембрийскими глинами.

В данной работе для получения коэффициента устойчивости использовалась поверхность скольжения предложенная вышеупомянутым автором.

Для расчета коэффициента устойчивости склона был использован метод расчета устойчивости оползней, имеющих наклонную поверхность скольжения (метод Г.М. Шахунянца). Данная модель расчетов является наиболее подходящей, так как поверхность скольжения фиксирована и четко определена на всем протяжении. При этом поверхность скольжения разбивается на ряд плоских участков в виде ломаной линии. А весь оползающий массив разбивается на блоки таким образом, чтобы в пределах каждого блока поверхность скольжения была плоской (Гинзбург, 1986).

Коэффициент устойчивости откоса рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{\sum N_i \cdot tg\varphi_i + C_i L_i}{\sum T_i}$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения пород по поверхности или в зоне ослабления, град.

$$N_i = P_i \cos \alpha_i,$$

$$T_i = P_i \sin \alpha_i,$$

где  $P$ - вес пород в блоке, т;  $\alpha_i$  - угол наклона поверхности скольжения в блоке, град.

Расчет ведется для массива пород, шириной 1 м, следовательно вес блока :

$$P=V_i \cdot \rho,$$

где  $V$  - вес пород блока,  $m^3$ ,  $t$ ;  $\rho$  - плотность горных пород, слагающих оползень,  $tс/m^3$ .

Расчет коэффициента устойчивости был выполнен с учетом изменения влажности глин, слагающих зону ослабления, как было показано в главе 3, при увеличении влажности прочностные характеристики уменьшаются.

Схема расчета устойчивости оползневого склона приведена в приложении Л. Оползающий массив разбит на 7 блоков, два из которых, а именно 6 и 7, обводнены.

Если блок обводнен:

$$\eta = \frac{\sum(N_i - F_i) \cdot tg\varphi_i + C_i L_i}{\sum T_i}$$

где  $F_i$  – величина гидродинамических сил, равная:

$$F_i = \gamma_b h_i \omega_i,$$

где  $\gamma_b$  – плотность воды,  $h_i$  - действующий напор в пределах расчетного блока,  $\omega_i$  - площадь основания расчетного блока, равная  $b_i/\cos \alpha_i$ .

Если блок затоплен:

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\cos \alpha} - F_i) * \tan \varphi + \sum c L_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\cos \alpha})}$$

Где  $\theta$  - угол наклона поверхности склона к горизонту;  $P_i^B$  вес отсека с учетом взвешивания водой.

$$P_i^B = \gamma_b b_i h_b,$$

где  $\gamma_b$  – плотность воды,  $b_i$  - ширина оползневого блока в плоскости, перпендикулярной чертежу,  $h_b$  - гидравлический напор в блоке.

Для расчетов введем коэффициенты:

$$A = \sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\cos \alpha} - F_i)$$

$$B = \sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\cos \alpha})$$

Тогда формула расчета коэффициента устойчивости для затопленного блока будет иметь вид:

$$\eta = \frac{A * \tan \varphi + \sum c L_i}{B}$$

Таблица 8. Параметры, участвующие в расчетах коэффициента устойчивости склона

№ блок а	Объем блока, м <sup>3</sup>	Вес блока, Р, т	α, °	N=P·cosα	T= P·sinα	L, м	b, м	h <sub>i</sub> , м	ω <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	h <sub>в</sub> , м	P <sub>i</sub> <sup>в</sup>	A	B
1	9,52	18,94	38	14,92	11,66	2,92	2,31	0,00	1,82	0,00	0,00	0,00	14,92	11,66
2	24,08	47,91	24	43,77	19,49	4,71	4,32	0,00	3,95	0,00	0,00	0,00	43,77	19,49
3	132,48	263,64	14	255,81	63,78	19,89	19,38	0,00	18,80	0,00	0,00	0,00	255,81	63,78
4	339,57	675,75	12	660,98	140,50	45,46	44,44	0,00	43,47	0,00	0,00	0,00	660,98	140,50
5	208,81	415,52	6	413,25	43,43	26,09	25,93	0,00	25,79	0,00	0,00	0,00	413,25	43,43
6	83,88	166,91	6	166,00	17,45	11,40	11,33	0,64	11,27	7,21	0,00	0,00	158,79	17,45
7	110,98	220,85	4	220,31	15,41	19,91	19,57	3,31	19,52	64,62	0,00	0,00	155,70	15,41
8	17,11	34,04	2	34,02	1,19	5,40	5,54	2,32	5,54	12,84	0,10	0,55	21,74	0,63
9	15,67	31,17	4	31,10	2,17	4,11	4,10	1,90	4,09	7,77	0,29	1,19	24,53	2,07
10	8,44	16,79	9	16,58	2,63	7,42	7,30	1,06	7,21	7,64	0,54	3,94	12,93	2,63
Сумма				1856,75	318	147,31	144,22			100,09		5,69	1762,41	329,30

**При влажности глины 30%:**

θ, °	c, тс/м <sup>2</sup>	φ, °	ρ, т/м <sup>3</sup>
9	1,44	11,8	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 11,8^\circ + 1.44 \cdot 147.31}{329.30} = 1.762$$

η>1 - склон устойчив.

**При влажности глины 32%:**

θ, °	c, тс/м <sup>2</sup>	φ, °	ρ, т/м <sup>3</sup>
9	1,25	10,3	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 10,3^\circ + 1.25 \cdot 147.31}{329.30} = 1.532$$

η>1 - склон устойчив.

**При влажности глин 34 %:**

$\theta, ^\circ$	$c, \text{тс/м}^2$	$\varphi, ^\circ$	$\rho, \text{т/м}^3$
9	1,06	9,5	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 9,5^\circ + 1.06 \cdot 147.31}{329.30} = 1.370$$

$\eta > 1$  - склон устойчив.

**При влажности глин 38 %:**

$\theta, ^\circ$	$c, \text{тс/м}^2$	$\varphi, ^\circ$	$\rho, \text{т/м}^3$
9	0,77	7,3	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 7,3^\circ + 0,77 \cdot 147.31}{329.30} = 1.030$$

$\eta = 1$  - предельное равновесие.

**При влажности глин 40 %:**

$\theta, ^\circ$	$c, \text{тс/м}^2$	$\varphi, ^\circ$	$\rho, \text{т/м}^3$
9	0,65	5,7	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 5,7^\circ + 0,65 \cdot 147.31}{329.30} = 0.825$$

$\eta < 1$  - склон неустойчив.

**При влажности глин 42 %:**

$\theta, ^\circ$	$c, \text{тс/м}^2$	$\varphi, ^\circ$	$\rho, \text{т/м}^3$
9	0,54	4,4	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 4,4^\circ + 0,54 \cdot 147.31}{329.30} = 0.653$$

$\eta < 1$  - склон неустойчив.

**При влажности глин 44 %:**

$\theta, ^\circ$	$c, \text{тс/м}^2$	$\varphi, ^\circ$	$\rho, \text{т/м}^3$
9	0,49	3,8	1,99

$$\eta = \frac{\sum(N_i + P_i^B \frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos\alpha} - F_i) \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{\sum(T_i - P_i^B \frac{\sin(\theta-\alpha)}{\cos\alpha})} = \frac{A \cdot \tan \varphi + \sum cL_i}{B}$$

$$= \frac{1762.41 \cdot \tan 3,8^\circ + 0,49 \cdot 147.31}{329.30} = 0.575$$

$\eta < 1$  - склон неустойчив.

Сводные результаты приведены на рисунке 28:

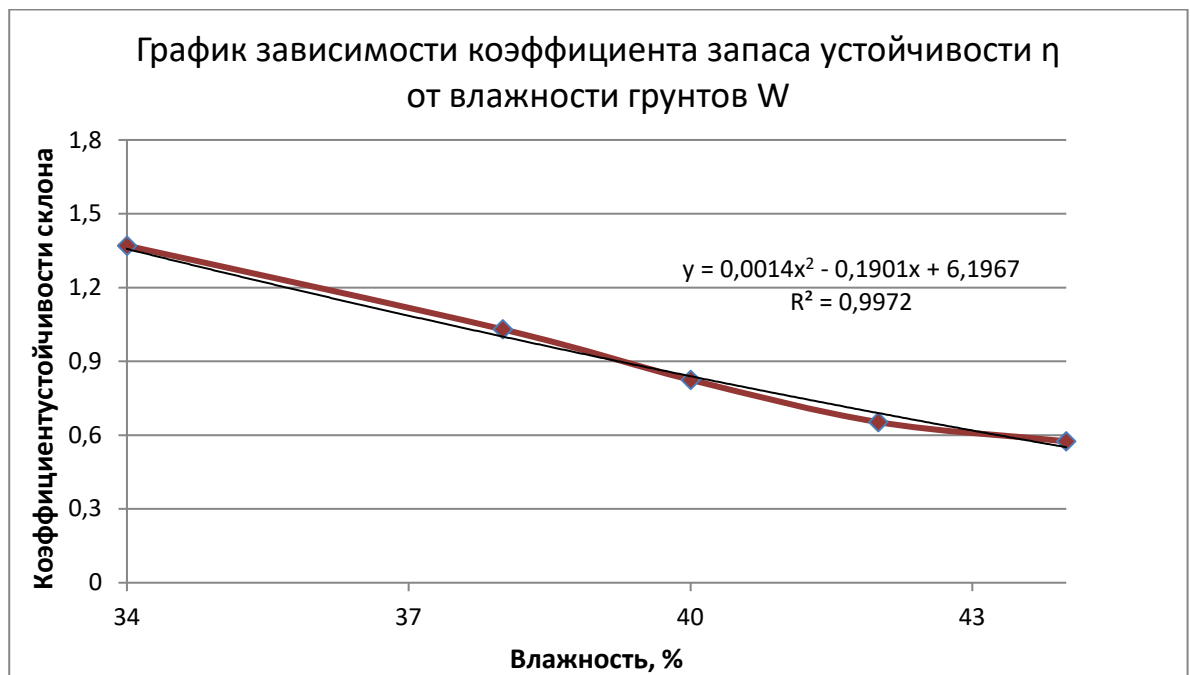


Рисунок 28 . График зависимости коэффициента устойчивости склона от влажности грунтов.



#### 5.4. Выводы к пятой главе

1. Изучаемый оползневой склон на левом берегу р Тосна сложен нижнекембрийскими глинами (Є<sub>1</sub>), перекрытыми верхнечетвертичными озерно-ледниковыми суглинками (IгIII).

2. Изучаемые глины характеризуются повышенной влажностью 33-36%, пониженной плотностью 1,79-1,91 т/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о высокой степени разуплотнения. Пониженные показатели сопротивления сдвигу позволяют судить о потере прочности и разрушении структурных связей глин в приповерхностной части поверхности скольжения сошедшего оползня.

3. Для установления влияния изменения влажности на прочностные свойства нижнекембрийских глин было выполнено определение величин удельного сцепления *C* и угла внутреннего трения  $\phi$  на образцы-близнецы одинаковой плотности 1,88 г/см<sup>3</sup>, при различных значениях влажности (30%, 32%, 34%, 38%, 40%, 42%, 44%). Испытания проводились при нормальных давлениях 9,6; 25,1, 40,6 кПа.

4. Увеличение влажности исследуемых глин приводит к уменьшению сцепления *C* и угла внутреннего трения  $\phi$  вследствие перехода грунта от тугопластичного к текучепластичному состоянию. При изменении влажности от 30 до 44%, сцепление грунта снижается от 14,4 до 4,9 кПа, угол внутреннего трения уменьшается от 11,8° до 3,8°.

5. Анализ материалов исследования типичного, для территории исследования, оползневого склона показал, что поверхность скольжения приурочена к границе между четвертичными отложениями и нижнекембрийскими глинами.

6. Исходя из выбранной поверхности был использован метод расчета устойчивости оползней, имеющих наклонную поверхность скольжения (метод Г.М. Шахунянца).

7. Расчет коэффициента устойчивости был выполнен с учетом изменения влажности глин, слагающих зону ослабления, от 30 до 44%. Результат вычислений показал, что при достижении влажности глин в районе поверхности скольжения 38% оползневой склон достигает состояния предельного равновесия ( $\eta=1$ ).

8. По результатам расчетов установлено, что коэффициент устойчивости оползневого склона, зону ослабления которого слагают нижнекембрийские глины, выражается зависимостью вида:

$$\eta=0,0014W_0^2-0,1901W_0+6,1967 ,$$

где  $W_0$  – влажность грунтов склона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в рамках написания выпускной квалификационной работы, которые включали в себя сбор, систематизацию и анализ фондовых и литературных данных, полевые работы, полный комплекс лабораторных исследований, обработку результатов, расчет коэффициента устойчивости, было установлено следующее:

- Сопротивление грунта сдвигу является одним из важнейших его прочностных параметров, коренным образом определяющим устойчивость грунтовых масс на склонах, поэтому возникает необходимость изучения влияния влажности нижнекембрийских глин на изменение их прочностных свойств. В пределах Предглинтовой низменности нижнекембрийские синие глины выходят на дневную поверхность, либо перекрыты маломощным чехлом четвертичных отложений. Следовательно, на этой территории они подлежат более детальному изучению влияния природных факторов на изменение их механических свойств.
- К основным природным факторам, влияющим на изменение прочностных свойств глин, относятся степень выветрелости и сезонная влажность пород.
- Выполненные исследования показали, что верхняя часть разреза нижнекембрийских глин характеризуется повышенной влажностью 33-37%, пониженной плотностью 1,79-1,91 т/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о дезинтегрированности и высокой степени разуплотнения. Пониженные показатели сопротивления сдвигу позволяют судить о потере прочности глин и разрушении структурных связей.
- Также было выявлено, что увеличение влажности исследуемых глин приводит к уменьшению сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  вследствие перехода грунта от тугопластичного к текучепластичному состоянию. При изменении влажности от 30 до 44%, сцепление грунта снижается от 14,4 до 4,9 кПа, угол внутреннего трения уменьшается от 11,8° до 3,8°, иначе говоря при увеличении влажности от 30 до 44% общее сопротивление сдвигу уменьшается более чем в 3 раза.
- Согласно классификации, предложенной В.Д. Ломтадзе, на склонах рек Саблинки и Тосны распространены структурно- пластические оползни.

Наиболее частой причиной развития оползней на склоне р.Тосна и р.Саблинка является наличие в нижней части оползневого разреза пластичных кембрийских глин, в которых происходит накопление сдвиговых деформаций, провоцировавшие изменение напряженного состояния склона в целом.

- Анализ материалов исследования типичного, для территории исследования, оползневого склона показал, что поверхность скольжения приурочена к границе между четвертичными отложениями и нижнекембрийскими глинами. Расчет коэффициента устойчивости был выполнен с учетом изменения влажности глин, слагающих зону ослабления, от 30 до 44%. Результат вычислений показал, что при достижении влажности глин в районе поверхности скольжения 38% оползневой склон достигает состояния предельного равновесия ( $\eta=1$ ).
- По результатам расчетов коэффициента устойчивости оползневого склона на левом берегу р. Тосна в районе г. Никольское была установлена эмпирическая зависимость данного параметра от влажности глин, слагающих зону ослабления:

$$\eta=0,0014W_0^2-0,1901W_0+6,1967 ,$$

где  $W_0$  – влажность грунтов склона.

## Список литературы

1. ГОСТ 12071-2000 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 21 с.
2. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 24 с.
3. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартиформ, 2011. – 77 с.
4. ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 24 с.
5. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2013. – 63 с.
6. ГОСТ 20522-2012 ГРУНТЫ Методы статистической обработки результатов испытаний. – М.: Стандартиформ, 2013. – 19 с.
7. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. – М.: Минстрой, 2016. – 228 с.
8. СП 131.133330.2012 Строительная климатология. – М.: Минрегион, 2016. – 113 с.
9. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства: в 6 ч. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000. – 93 с. – ч.2.
10. ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. Введ. 05.08.2004
11. Ананьев В.П. Инженерная геология: Учеб. для строит. спец. вузов/ В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – 3-е изд.- М.: Высш. шк., 2005. – 575 с
12. Архангельский, Б.Н. Гидрогеология СССР. Том III. Ленинградская, Псковская и Новгородская области./ Б.Н. Архангельский, И.К. Зайцев// М.: Недра, 1967.- 325 с.
13. Астахов В. И. Начала четвертичной геологии.- СПб: СПбГУ, 2008. - 224 с.
14. Ауслендер, В.Г. Последний ледниковый покров на северо-западе Европейской части СССР. М.: Наука. 1969. 220 с.
15. Бискэ, Г. С. Лекции по геологии России, с основами геотектоники. Стабильные области раннедокембрийских континентов (древние платформы) Учебное пособие. - СПб, 2014.
16. Бурлуцкий, С. Б. Физико-геологические модели оползневых склонов по данным электро- и сейсмотомографии: дисс. ...канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.10/ Бурлуцкий Станислав Борисович. - СПб., 2015. – 201 с.

17. Вербицкий, В. Р. Объяснительная записка. Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36/ В. Р. Вербицкий, И. В. Вербицкий, О. В. Васильева, В. В. Саванин // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000.– Санкт-Петербург. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.- 510 с.
18. Волин, А.В. Диапировые структуры окрестностей Ленинграда. Природная обстановка и фауны прошлого. № 8. Киев. «Наукова думка», 1974, с. 142-150.
19. Гарбар, Д.И. Геодинамика зоны сочленения Балтийского щита и Русской платформы/ Д.И. Гарбар, С.А.Головизнин, О.В.Трофимов // Советская геология. 1992. № 7. С.42-50.
20. Гинзбург, Л.К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – Москва 1986. – 83 с.
21. Горький, А.В. Проблемы природных радионуклидов в Санкт-Петербурге/ А.В. Горький // Геология крупных городов. – 2009. - С. 56-58.
22. Грейсер, Е.Л. Пресные подземные воды: состояние и перспективы водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов/ Е.Л.Грейсер, Н.Г.Иванова //Разведка и охрана недр.- 2005 г., вып. №5. – С.36-48.
23. Дашко, Р.Э. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, П.В. Котюков, А.В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. - №13. - С. 25-71.
24. Дронов А.В. Балтийско-Ладожский глинт. // Санкт-петербургский университет. 2002. № 2-3. С. 16-17.
25. Золотарев, Г.С. Инженерная геодинамика / М.: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
26. Иванов, И.П. Инженерная геодинамика/ И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский// СПб.: Наука, 2001. — 416 с.
27. Кабаков, Л.Г. Оценка геодинамического состояния территории Ленинградской области/ Л.Г. Кабаков, Н.Ф. Скопенко // Разведка и охрана недр. 1998. № 7-8. С. 32-35.
28. Коробко, А. А. . Инженерно-геологический анализ и оценка условий строительства и эксплуатации сооружений различного назначения в пределах Предглинтовой низменности (санкт-петербургский регион): дисс. ...канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08/ Коробко Анастасия Андреевна. - СПб., 2015. – 224 с.
29. Кофман, В. С. Геология СССР. Том 1. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание/ В. С. Кофман, В. А. Селиванова //М.: Недра, 1971.- 504 с.

30. Краснов, И.И. Карта четвертичных отложений Европейской части СССР и прилегающих акваторий., масштаб: 1:1500000 -Министерство геологии СССР, 1971 г.

31. Лобанов И.Н. О природе дислокаций Дудергофских высот и района г. Павловска. - Изв. ВГО, т. 111, вып. 4, 1979, с. 334-342.

32. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. / В.Д. Ломтадзе. - Л., «Недра», 1977. - 479 с

33. Ломтадзе, В. Д. Л 74 Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— Л.: Недра, 1990.— 328 с.

34. Масленников, И.А. Геологические факторы, определяющие безопасность ПЗРО в коренных отложениях глин Ленинградской области/ И.А. Масленников, Е.Б. Андерсон, В.Г. Савоненков и др. // V Международный ядерный форум. СПб.: НОУ ИДПО «Атомпроф». 2010. С. 193–199.

35. Маслов, Н.Н. Механика грунтов в практике строительства ( оползни и борьба с ними) / М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.

36. Мачабели Г.А., Мерабишвили М.С., Квирикадзе Г.А. Генезис, геолого-экономическая и технологическая оценка месторождений бентонитов СССР. Тбилиси: Изд-во Мецниереба. 1981. 305 с.

37. Натальин, Н.А. Саблино - природная жемчужина окрестностей Санкт-Петербурга // Экскурсии в геологии. СПб, 2001. 122 с.

38. Нежиховский, Р. А. Река Нева и Невская губа. – Л: Гидрометеоздат, 1981.- 112 с.

39. Омуралиев, С.Б. Влияние влажности на прочностные свойства суглинистых грунтов при плоском сдвиге/ С.Б. Омуралиев // Инженерные изыскания. -2016. № 12. С. 12-15.

40. Осипов, В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород. М.: Недра, 1989. - 211 с.

41. Официальный сайт «Института геоэкологии РАН и НИЦ Гидрогеологии Института Наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета» [Электронный ресурс] Режим доступа:

[http://hge.spbu.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=535&Itemid=130](http://hge.spbu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=535&Itemid=130)

42. Официальный сайт "Институт Озероведения Российской академии наук" [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.limno.org.ru/win/lakerus/lo\\_01.htm](http://www.limno.org.ru/win/lakerus/lo_01.htm)

43. Официальный сайт «Научно-популярная энциклопедия «Вода России» [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://water.rf.ru/Регионы\\_России/2530/Ленинградская\\_Область.html](http://water.rf.ru/Регионы_России/2530/Ленинградская_Область.html)
44. Официальный сайт "Энциклопедия научной библиотеки" [Электронный ресурс] Режим доступа <http://enc.sci-lib.com/article0012894.html>
45. Панкратова, К. В. Инженерно-геологическая оценка техногенеза компонентов подземного пространства при его освоении и использовании на примере Санкт-Петербурга: автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08 / Панкратова Ксения Викторовна. – СПб, 2012. – 24 с.
46. Попов, И.В. Инженерная геология/ М.: Изд-во МГУ, 1959. – 510 с.
47. Сергеев, Е.М. Инженерная геология СССР. Т. I. – М.: МГУ, 1982.- 527 с.
48. Сергеева С.П. Основные черты геологического строения Ленинградской области. - Санкт-Петербург : 2013 г. – стр. 12.
49. Соколов, В.Н. Глинистые породы и их свойства// Соросовский Образовательный Журнал. 2000. № 10. С. 23-25.
50. Терцаги, К. Механика грунтов в инженерной практике/ К. Терцаги, Р. Пек// М.: Строиздат, 1958. — 608 с.
51. Филиппов, М.М. Проблема происхождения первично-глиняных инъекций, экструзий и диапиров // Труды Карельского научного центра РАН. – 2016. С 81-99.
52. Чочиа Н. Г. Палеогеография позднего кайнозоя Восточной Европы и Западной Сибири (ледниковая и ледово-морская концепции): монография / Н. Г. Чочиа, С.П. Евдокимов; под общ. ред. Н.Г. Чочиа. — Саранск: Мордов. университет, 1993. — 248 с.

### Перечень приложений

Номер приложения	Наименование приложения	Кол-во листов	Примечание
Приложение А	Результаты лабораторных определений физических свойств и гранулометрического состава грунтов	1	
Приложение Б	Таблица нормативных и расчетных значений физико-механических характеристик грунтов.	1	
Приложение В	Результаты лабораторных определений прочностных свойств грунтов естественного сложения	2	
Приложение Г	Результаты лабораторных определений прочностных свойств грунтов с заданной влажностью	6	
Приложение Ж	Протоколы лабораторных определений прочностных свойств грунтов	12	
Приложение И	Протоколы лабораторных определений прочностных свойств грунтов с заданной влажностью	9	
Приложение К	Инженерно-геологический разрез	1	
Приложение Л	Схема расчета устойчивости оползневого склона	1	



## Приложение А

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВ

№№ п/п	№№ геолог. выаб.	Глуб. отбора проб, м	% содержания частиц по фракциям (мм)											Влажность, дожд			Число шас-тич.	Плотность, т/м <sup>3</sup>			Кэф. порист. прир.	Кэф. водр-насыщ.	Показатели консистенц., доз.ед.		Потеря при прокаив.		
			>10.0	10.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005	прир.	на границе		грунта		скелет.	частиц	e			S <sub>r</sub>	I <sub>c</sub>		C <sub>v</sub>	ppp
														текуч.	раскат.												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
<b>1 lg III</b>																											
<i>Суглинки легкие пылеватые тугопластичные с прослоями песка ожелезненные коричнево-серые</i>																											
1	1	2,8			3,2	0,3	0,3	2,2	14,3	53,5	9,6	16,6	0,240	0,283	0,210	0,073	2,00	1,61	2,68	0,662	0,97	0,41					
2	1	4,1				0,2	0,5	2,1	3,9	25,4	28,8	39,1	0,228	0,280	0,192	0,088	1,99	1,62	2,69	0,660	0,93	0,41					
3	2	3,0					0,4	2,7	5,1	27,0	27,4	37,4	0,239	0,290	0,205	0,085	1,99	1,61	2,69	0,675	0,95	0,40					
4	2	4,0			2,2	0,4	0,6	2,3	6,4	33,8	10,4	43,9	0,240	0,283	0,208	0,075	1,98	1,60	2,68	0,678	0,95	0,43					
5	3	3,3			3,6	0,5	0,5	3,1	10,1	25,7	20,1	36,4	0,223	0,270	0,195	0,075	2,01	1,64	2,68	0,631	0,95	0,37					
6	3	4,6			0,8	0,6	0,8	2,9	9,4	29,9	21,1	34,5	0,233	0,278	0,198	0,080	1,99	1,61	2,68	0,661	0,95	0,44					
7	4	3,2				0,1	0,2	2,0	3,1	20,1	28,9	45,6	0,240	0,300	0,200	0,100	1,96	1,58	2,72	0,721	0,91	0,40					
8	4	4,8					0,2	0,2	0,5	19,6	37,5	16,4	25,6	0,228	0,277	0,195	0,082	1,99	1,62	2,69	0,660	0,93	0,40				
9	5	3,1			3,0	0,2	0,6	2,7	15,9	47,1	10,6	19,9	0,234	0,285	0,190	0,095	1,99	1,61	2,69	0,668	0,94	0,46					
10	5	4,7			2,5	0,6	0,6	4,2	17,1	31,4	19,5	24,1	0,233	0,290	0,198	0,092	1,99	1,61	2,68	0,661	0,95	0,38					
Кол-во			Среднее по 10 образцам:											10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Мин значение													0,223	0,270	0,190	0,073	1,96	1,58	2,68	0,631	0,91	0,37					
Мак значение													0,240	0,300	0,210	0,100	2,01	1,64	2,72	0,721	0,97	0,46					
Норм. значение:					1,5	0,3	0,5	2,5	10,5	33,1	19,3	32,3	0,234	0,284	0,199	0,085	1,99	1,61	2,69	0,668	0,94	0,41					
Среднеквадратич.о													0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			0,02							
Кэф. вариации													0,03	0,03	0,03	0,11	0,01			0,03							
Расчетное α-0,95													0,230	0,279	0,195		1,98										
Расчетное α-0,85													0,232	0,281	0,197		1,98										

<b>2 Є<sub>1</sub></b>																										
<i>Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голубовато-серая</i>																										
11	1	0,2*			0,1	0,1	0,2	0,1	8,8	18,4	42,2	30,1	0,334	0,479	0,287	0,192	1,91	1,43	2,71	0,893	0,71	0,25				
12	1	0,6*						0,1	7,2	27,5	30,9	34,3	0,336	0,508	0,261	0,248	1,90	1,42	2,69	0,891	0,71	0,30				
13	2	0,3*					0,1	0,1	6,7	29,1	31,7	32,3	0,374	0,475	0,279	0,196	1,89	1,38	2,71	0,970	0,76	0,48				
14	2	0,5*			0,2	0,1	0,1	0,1	8,5	28,2	33,1	29,7	0,336	0,494	0,281	0,213	1,90	1,42	2,69	0,891	0,71	0,26				
15	3	0,1*			0,1	0,1	0,1	0,1	6,8	26,5	31,2	35,1	0,361	0,503	0,276	0,227	1,79	1,32	2,71	1,061	0,70	0,38				
16	3	0,4*				0,1	0,1	0,1	10,0	23,4	44,6	21,7	0,331	0,478	0,233	0,245	1,88	1,41	2,70	0,912	0,69	0,40				
17	4	0,2*			0,1	0,1	0,2	0,1	9,1	22,3	35,6	32,5	0,338	0,512	0,264	0,248	1,89	1,41	2,71	0,919	0,71	0,30				
18	4	0,5*			0,2	0,1	0,2	0,2	7,4	21,1	34,3	36,5	0,352	0,472	0,280	0,192	1,88	1,39	2,70	0,942	0,73	0,38				
19	5	0,3*				0,1	0,2	0,1	8,8	24,7	33,7	32,4	0,335	0,480	0,285	0,195	1,91	1,43	2,68	0,873	0,72	0,26				
20	5	0,5*				0,1	0,2	0,1	8,4	19,6	38,1	33,6	0,339	0,485	0,281	0,204	1,89	1,41	2,71	0,920	0,71	0,28				
Кол-во			Среднее по 10 образцам:											10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Мин значение													0,331	0,472	0,233	0,192	1,79	1,32	2,68	0,873	0,69	0,25				
Мак значение													0,374	0,512	0,287	0,248	1,91	1,43	2,71	1,061	0,7595	0,48				
Норм. значение:					0,1	0,1	0,1	0,1	8,2	24,1	35,5	31,8	0,344	0,489	0,273	0,216	1,88	1,40	2,70	0,927	0,71	0,33				
Среднеквадратич.о													0,01	0,01	0,02	0,02	0,03			0,05						
Кэф. вариации													0,04	0,03	0,06	0,11	0,02			0,06						
Расчетное α-0,95													0,335	0,480	0,263		1,86									
Расчетное α-0,85													0,339	0,484	0,267		1,87									

\* глубина отбора от поверхности скольжения

Выполнила: Савина И.В.



## Приложение Б

## НОРМАТИВНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

Геологический индекс	Номенклатурное наименование грунтов	№ № ИГЭ	Хар-ка	Число пластичности I <sub>p</sub>	Прев. влажность W	Плотн. грунта, ρ, т/м <sup>3</sup>	Кэфф. пористости с	Показатель консистенции I <sub>L</sub>	Показатели прочности	
									φ, град.	с, кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I <sub>II</sub>	Суглинки пылеватые тугопластичные с прослоями песка ожелезненные коричнево-серые	1	X <sub>н</sub>	0,09	0,23	1,99	0,668	0,41	21	28
			X <sub>I</sub>			1,98			20	27
			X <sub>н</sub>			1,98			20	27
С <sub>I</sub>	Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка серо-голубая	2	X <sub>н</sub>	0,22	0,34	1,88	0,927	0,33	10	11
			X <sub>I</sub>			1,86			7	10
			X <sub>н</sub>			1,87			8	11

Выполнила: Савина И.В.



## Приложение В

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

ИГЭ 1 Суглинки легкие пылеватые тугопластичные с  
прослойками песка ожелезненные коричневатого-серые

Схема испытаний: *неконсолированный недретированный сдвиг*

№№ скважин	Глубина отбора образцов	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях Р, кПа					Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа
		9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	2,8	30,37		35,09		42,28	21,0	26,27
2	4,0	32,03		34,12		43,17	19,8	27,42
3	3,3	33,04		37,42		44,78	20,7	28,91
4	3,2	31,15		36,84		42,74	20,5	27,53
4	4,8	30,84		37,71		41,99	19,8	27,15
5	4,7	34,51		39,62		47,42	22,6	30,06
Кол-во		6		6		6	6	6
Мин значение		30,37		34,12		41,99	19,8	26,27
Мак значение		34,51		39,62		47,42	22,6	30,06
Норм. значение:		31,99		36,80		43,73	20,7	27,89
Среднекотк. S		1,56		1,96		2,06	1,0	1,4
Кэф. вариации		0,05		0,05		0,05	0,05	0,05
Погрешность 0.95							0,04	0,04
Погрешность 0.85							0,02	0,02
τ надежности по грунту							1,04	1,04
τ надежности по грунту							1,02	1,02
Расчетное α=0,95							19,9	26,77
Расчетное α=0,85							20,2	27,25

$$\varphi_{н} = 21^{\circ}$$

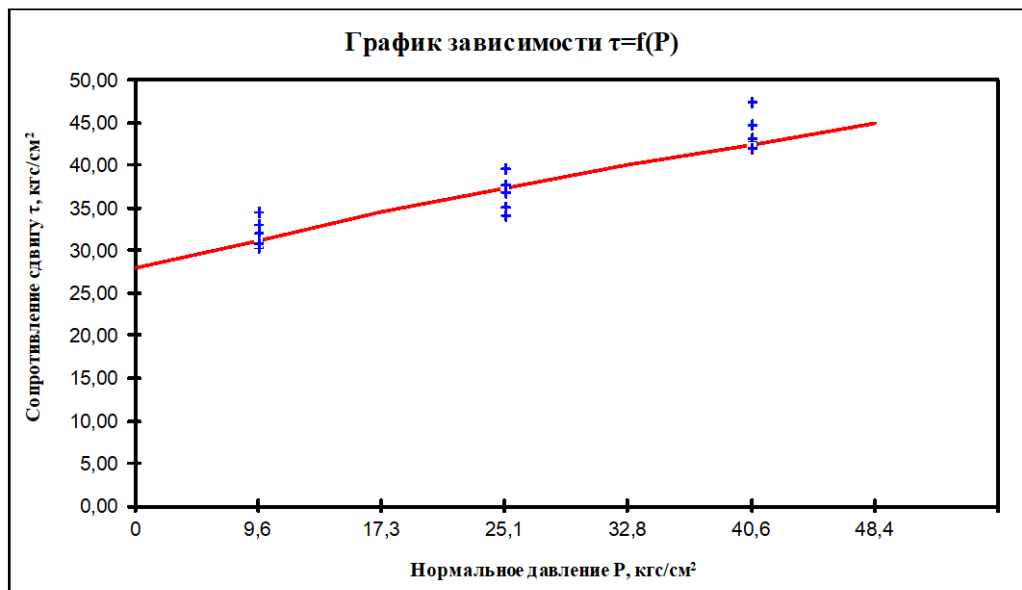
$$C_{н} = 28 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{I} = 20^{\circ}$$

$$C_{I} = 27 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{II} = 20^{\circ}$$

$$C_{II} = 27 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

ИГЭ 2 Глина легкая пылеватая тугопластичная с  
прослоями песка голубовато-серая

Схема испытаний: *неконсолидированный недренированный сдвиг*

№№ скважин	Глубина отбора образцов	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					внутреннего трения, кПа	Сцепление, С, кПа
		9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	0,2*	12,42		16,2		18,6	11,3	10,74
1	0,6*	12,23		14,52		17,31	9,3	10,57
2	0,3*	11,96		13,87		16,32	8,0	10,52
3	0,1*	12,31		14,98		17,71	9,9	10,63
4	0,5*	12,88		15,11		18,23	9,8	11,07
5	0,5*						8,9	10,1
<b>Кол-во</b>		<b>6</b>		<b>6</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Min значение</b>		11,96		13,87		16,32	8,0	10,1
<b>Max значение</b>		12,88		16,20		18,60	11,3	11,07
<b>Норм. значение:</b>		12,36		14,94		17,63	<b>9,5</b>	<b>10,61</b>
<b>Среднек.отк., S</b>		0,34		0,86		0,88	1,1	0,3
<b>Коеф. вариации</b>		<b>0,03</b>		<b>0,06</b>		<b>0,05</b>	<b>0,12</b>	<b>0,03</b>
<b>Погрешность 0,95</b>							<b>0,10</b>	<b>0,02</b>
<b>Погрешность 0,85</b>							<b>0,06</b>	<b>0,01</b>
<b>т надежности по грун</b>							<b>1,11</b>	<b>1,03</b>
<b>т надежности по грун</b>							<b>1,06</b>	<b>1,01</b>
<b>Расчетное a=0,95</b>							<b>8,6</b>	<b>10,35</b>
<b>Расчетное a=0,85</b>							<b>9,0</b>	<b>10,46</b>

$$\varphi_{II} = 21^\circ$$

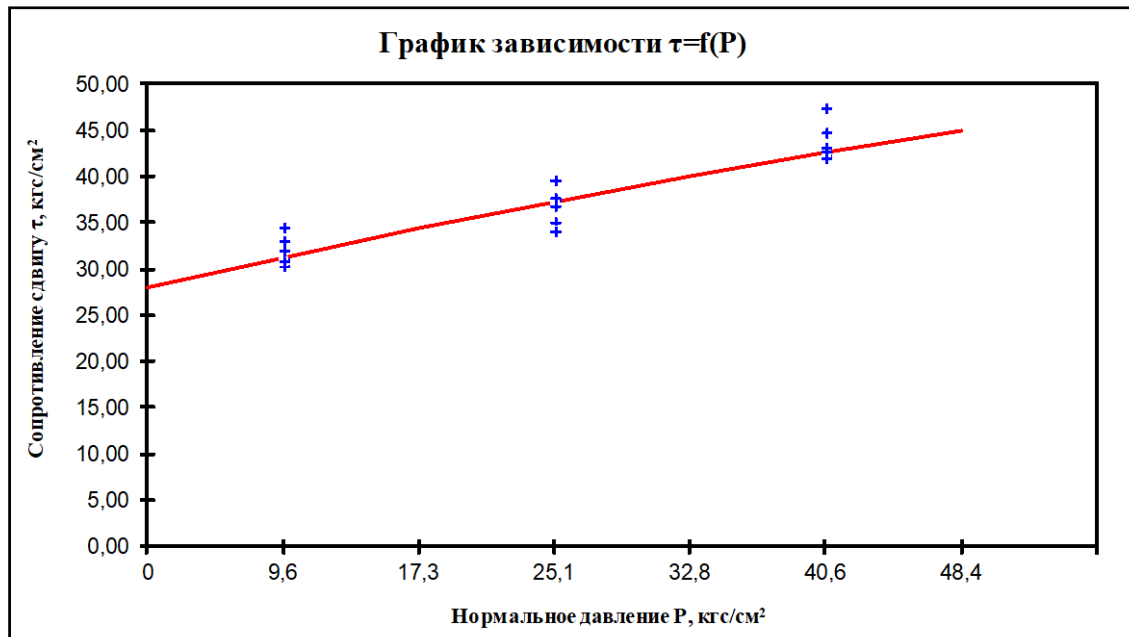
$$C_{II} = 28 \text{ кПа}$$

$$\varphi_I = 20^\circ$$

$$C_I = 27 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{II} = 20^\circ$$

$$C_{II} = 27 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.

## Приложение Г

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

1

Глина

30%

Схема испытаний: консолидированный недретированный сдвиг

№№ испытания	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа
	9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	16,93		19,31		23,54	12,0	14,57
2	17,06		20,03		23,71	12,1	14,88
3	16,22		22,19		25,41	11,3	13,83
<b>Кол-во</b>	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Min значение</b>	16,22		19,31		23,54	11,3	13,83
<b>Max значение</b>	17,06		22,19		25,41	12,1	14,88
<b>Порм. значение:</b>	16,74		20,51		24,22	<b>11,8</b>	<b>14,43</b>
<b>Среднекотк., S</b>	0,45		1,50		1,03	0,4	0,5
<b>Кэф. вариации</b>	<b>0,03</b>		<b>0,07</b>		<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>
<b>Расчетное α=0,95</b>						<b>11,2</b>	<b>13,69</b>
<b>Расчетное α=0,85</b>						<b>11,5</b>	<b>14,04</b>

$$\varphi_{н} = 11,8^{\circ}$$

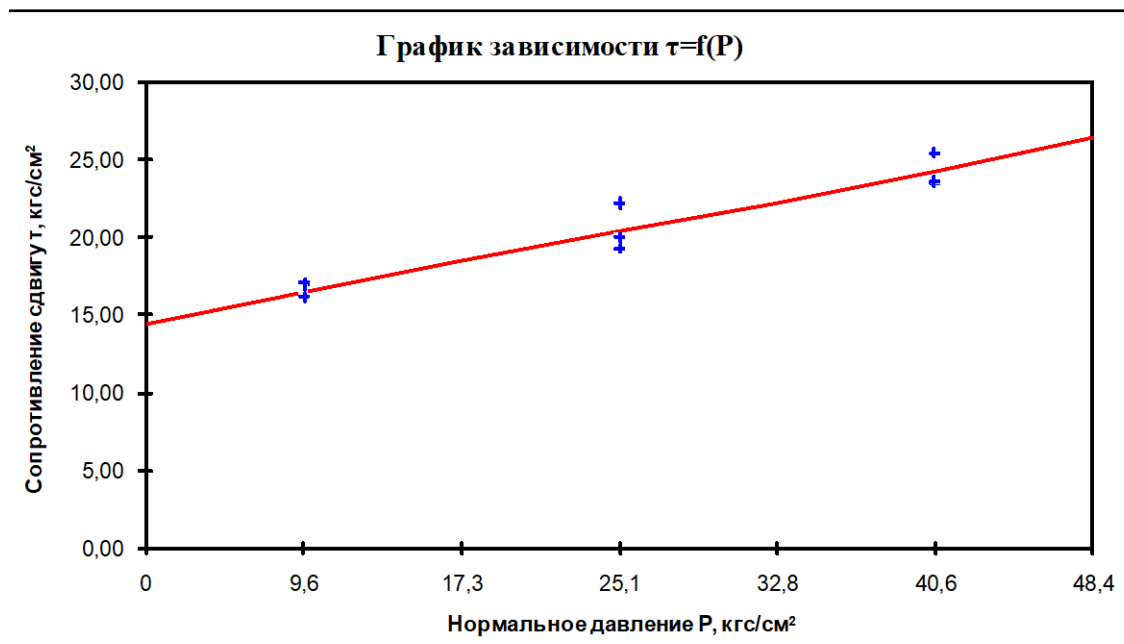
$$\varphi_{I} = 11,2^{\circ}$$

$$\varphi_{II} = 11,5^{\circ}$$

$$C_{н} = 14,43 \text{ кПа}$$

$$C_{I} = 13,69 \text{ кПа}$$

$$C_{II} = 14,04 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

## ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

2

Глина

32%

Схема испытаний: *неконсолидированный недренированный сдвиг*

№№ испытаний	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					Угол внутреннего трения,	Сцепление, С, кПа
	9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	15,00		17,48		20,74	10,5	13,09
2	14,51		17,62		21,91	12,2	12,02
3	15,00		15,32		19,54	8,3	12,51
<b>Кол-во</b>	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Min значение</b>	14,51		15,32		19,54	8,3	12,02
<b>Max значение</b>	15,00		17,62		21,91	12,2	13,09
<b>Норм. значение:</b>	14,84		16,81		20,73	<b>10,3</b>	<b>12,54</b>
<b>Среднекотк., S</b>	0,28		1,29		1,19	2,0	0,5
<b>Кэф. вариации</b>	<b>0,02</b>		<b>0,08</b>		<b>0,06</b>	<b>0,19</b>	<b>0,04</b>
<b>Расчетное <math>a=0,95</math></b>						<b>7,7</b>	<b>11,81</b>
<b>Расчетное <math>a=0,85</math></b>						<b>8,9</b>	<b>12,15</b>

$$\varphi_{II} = 10,3^\circ$$

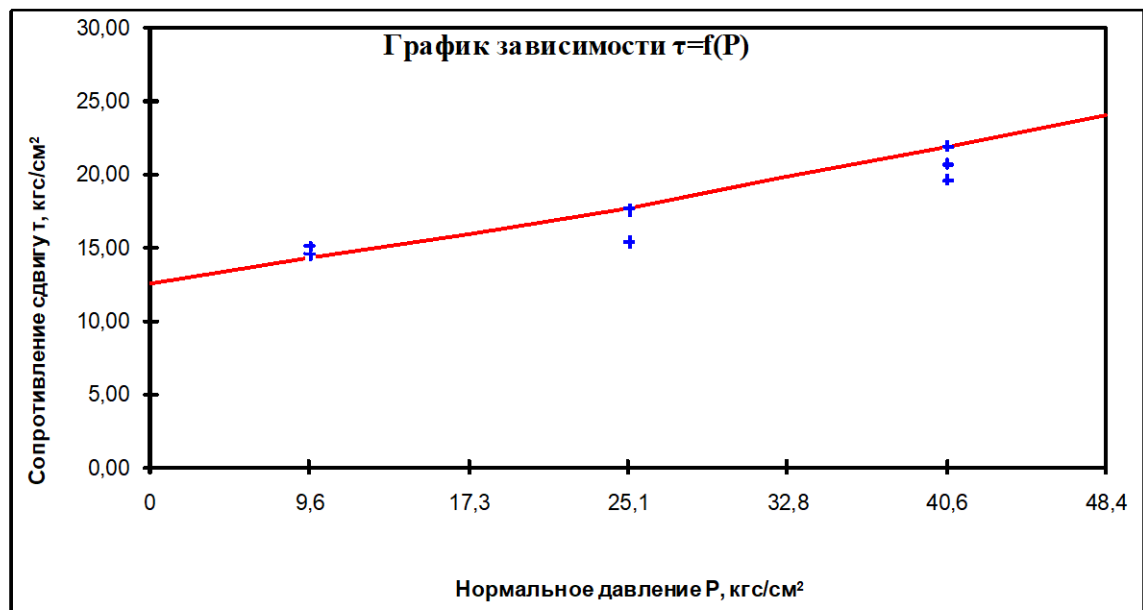
$$\varphi_I = 7,7^\circ$$

$$\varphi_{II} = 8,9^\circ$$

$$C_{II} = 12,54 \text{ кПа}$$

$$C_I = 11,81 \text{ кПа}$$

$$C_{II} = 12,15 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА**

4

Глина

38%

Схема испытаний: *неконсолидированный недренированный сдвиг*

№№ испытаний	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					Угол внутреннего трения, °	Сцепление, С, кПа
	9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	9,23		11,65		14,29	9,3	7,63
2	9,03		10,58		12,98	7,3	7,67
3	9,36		10,32		13,09	5,4	7,9
<b>Кол-во</b>	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Min значение</b>	9,03		10,32		12,98	5,4	7,63
<b>Max значение</b>	9,36		11,65		14,29	9,3	7,9
<b>Норм. значение:</b>	9,21		10,85		13,45	7,3	7,73
<b>Среднек.отк., S</b>	0,17		0,70		0,73	2,0	0,1
<b>Кэф. вариации</b>	0,02		0,06		0,05	0,27	0,02
<b>Расчетное <math>\alpha=0,95</math></b>						4,7	7,54
<b>Расчетное <math>\alpha=0,85</math></b>						5,9	7,63

$$\varphi_{II} = 7,3^\circ$$

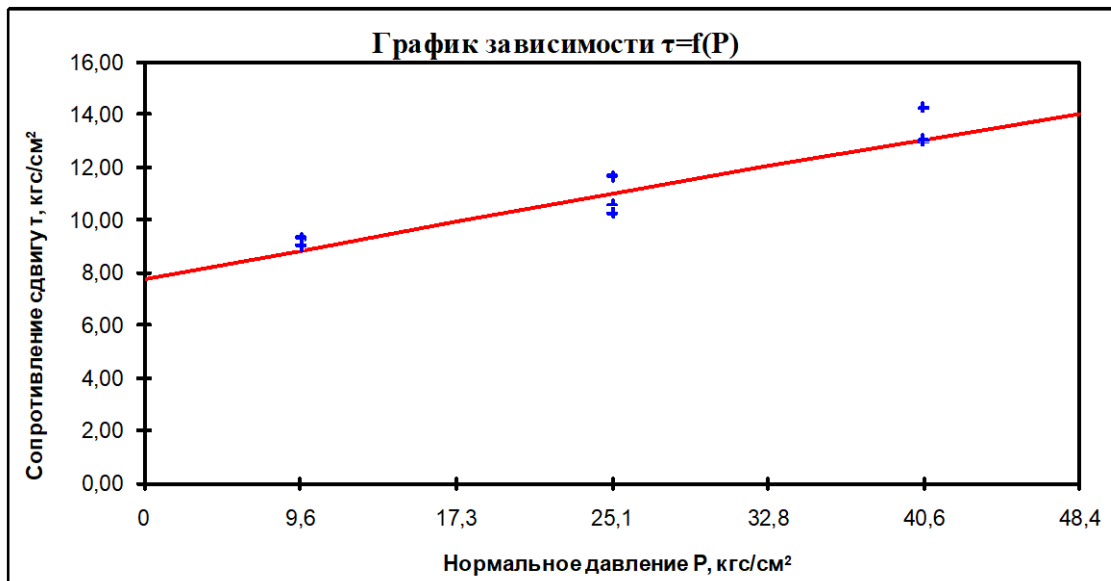
$$\varphi_I = 4,7^\circ$$

$$\varphi_{II} = 5,9^\circ$$

$$C_{II} = 7,73 \text{ кПа}$$

$$C_I = 7,54 \text{ кПа}$$

$$C_{II} = 7,63 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

5

Глина

40%

Схема испытаний: *неконсолидированный недренированный сдвиг*

№№ испытания	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа
	9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	7,66		10,1		11,5	6,3	6,64
2	7,23		8,95		10,23	5,5	6,37
3	7,44		8,52		10,39	5,4	6,39
<b>Кол-во</b>	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Min значение</b>	7,23		8,52		10,23	5,4	6,37
<b>Max значение</b>	7,66		10,10		11,50	6,3	6,64
<b>Норм. значение:</b>	7,44		9,19		10,71	<b>5,7</b>	<b>6,47</b>
<b>Среднеотк., S</b>	0,22		0,82		0,69	0,5	0,2
<b>Кэф. вариации</b>	<b>0,03</b>		<b>0,09</b>		<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>
<b>Расчетное a=0,95</b>						<b>5,1</b>	<b>6,26</b>
<b>Расчетное a=0,85</b>						<b>5,4</b>	<b>6,36</b>

$$\varphi_{II} = 5,7^\circ$$

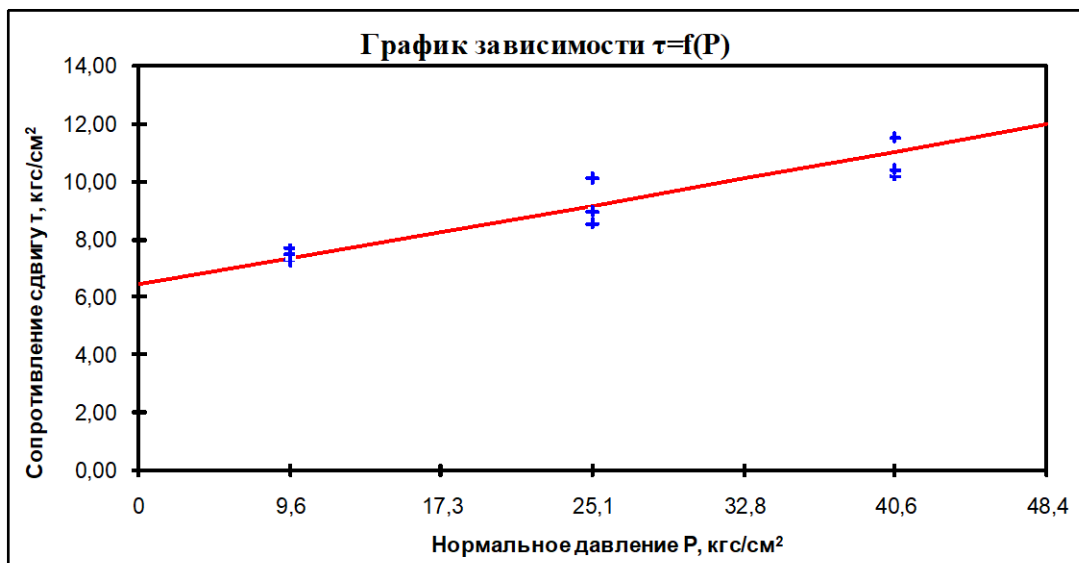
$$C_{II} = 6,47 \text{ кПа}$$

$$\varphi_I = 5,1^\circ$$

$$C_I = 6,26 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{II} = 5,4^\circ$$

$$C_{II} = 6,36 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.



**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА**

6

Глина

42%

Схема испытаний: *неконсолидированный недренированный сдвиг*

№№ испытаний	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа
	9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	6,33		7,45		8,85	4,6	5,5
2	6,02		7,38		8,24	4,1	5,42
3	5,96		6,74		8,35	4,4	5,28
<b>Кол-во</b>	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Min значение</b>	5,96		6,74		8,24	4,1	5,28
<b>Max значение</b>	6,33		7,45		8,85	4,6	5,5
<b>Норм. значение:</b>	6,10		7,19		8,48	<b>4,4</b>	<b>5,40</b>
<b>Среднек.отк., S</b>	0,20		0,39		0,33	0,3	0,1
<b>Кэф. вариации</b>	<b>0,03</b>		<b>0,05</b>		<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>
<b>Расчетное a=0,95</b>						<b>4,0</b>	<b>5,25</b>
<b>Расчетное a=0,85</b>						<b>4,2</b>	<b>5,32</b>

$$\varphi_{II} = 4,4^\circ$$

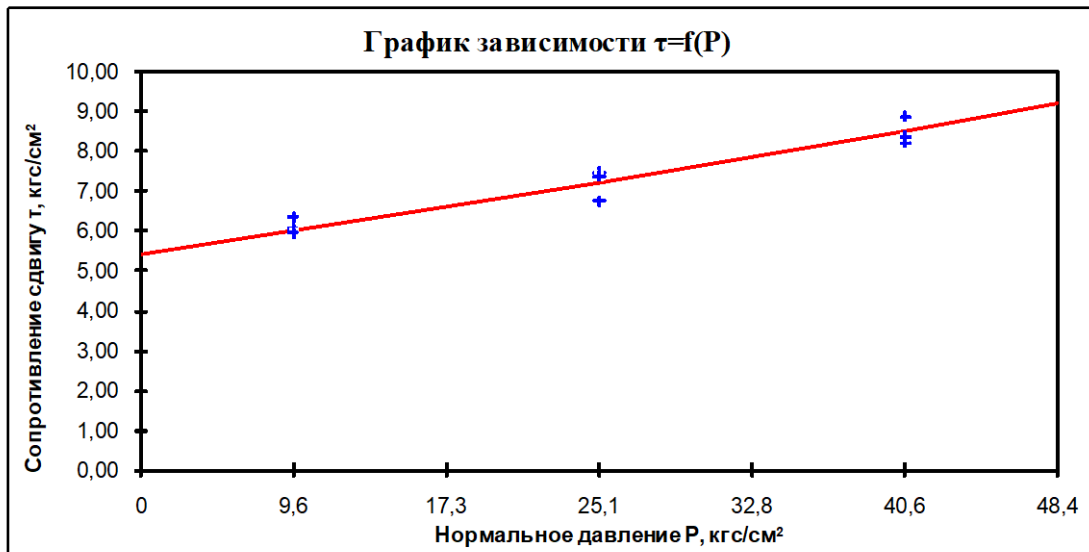
$$C_{II} = 5,40 \text{ кПа}$$

$$\varphi_I = 4,0^\circ$$

$$C_I = 5,25 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{III} = 4,2^\circ$$

$$C_{III} = 5,32 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савяна И.В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

7

Глина

44%

Схема испытаний: *неконсолидированный недренированный сдвиг*

№№ испытаний	Значения сопротивления грунта сдвигу при нормальных давлениях P, кПа					Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа
	9,6	17,3	25,1	32,8	40,6		
1	5,74		6,36		7,8	3,8	4,97
2	5,05		6,13		7	3,6	4,48
3	5,96		6,5		8,11	4,0	5,12
<b>Кол-во</b>	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Min значение</b>	5,05		6,13		7,00	3,6	4,48
<b>Max значение</b>	5,96		6,50		8,11	4,0	5,12
<b>Норм. значение:</b>	5,58		6,33		7,64	<b>3,8</b>	<b>4,86</b>
<b>Среднекотк., S</b>	0,47		0,19		0,57	0,2	0,3
<b>Кэф. вариации</b>	<b>0,09</b>		<b>0,03</b>		<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>
<b>Расчетное α=0,95</b>						<b>3,5</b>	<b>4,40</b>
<b>Расчетное α=0,85</b>						<b>3,7</b>	<b>4,62</b>

$$\varphi_H = 3,8^\circ$$

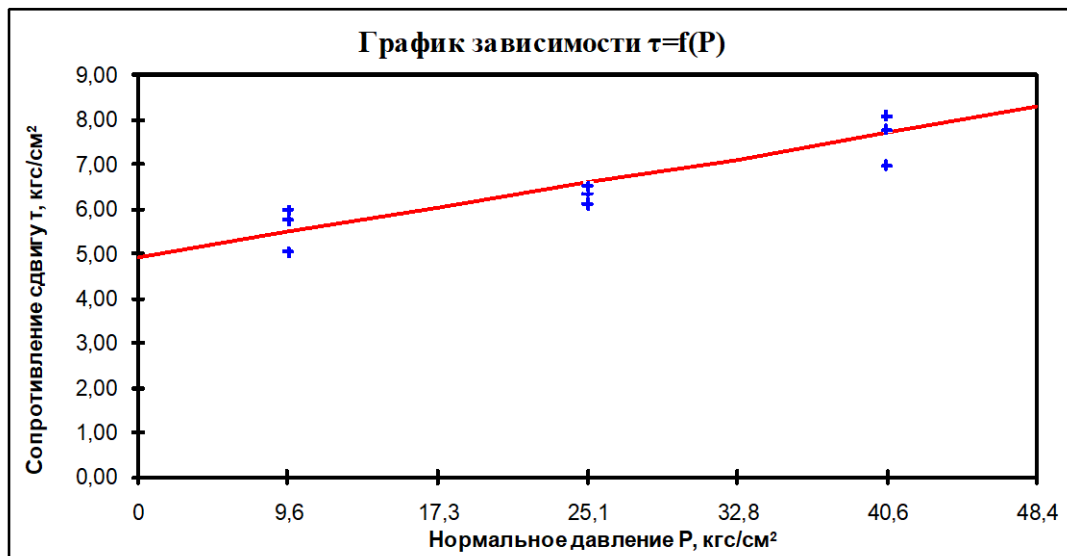
$$C_H = 4,86 \text{ кПа}$$

$$\varphi_I = 3,5^\circ$$

$$C_I = 4,40 \text{ кПа}$$

$$\varphi_{II} = 3,7^\circ$$

$$C_{II} = 4,62 \text{ кПа}$$



Выполнила: Савина И.В.

## Приложение Ж

**Протокол испытаний грунтов №1**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°C; влажность 54%**

**Скважина:** **1** *Наименование грунта* *Суглинки легкие пылеватые туготластичные с прослойки песка ожелезненные коричнево-серые*

**Глубина отбора образца, м:** **2,8** *Структура:* *не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>3,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>2,2</b>	<b>14,3</b>	<b>53,5</b>	<b>9,6</b>	<b>16,6</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влажность, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>d</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
<b>0,240</b>	<b>2,00</b>	<b>1,61</b>	<b>2,68</b>	<b>0,398</b>	<b>0,662</b>	<b>0,247</b>	<b>0,972</b>	<b>0,283</b>	<b>0,210</b>	<b>0,073</b>	<b>0,41</b>	

**Результаты испытания на сдвиг**

Вертикальная нагрузка, кПа	Сдвигающее усилие, кПа
10,00	30,00
25,00	35,00
40,00	42,00

Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, σ, кПа	Сдвигающее усилие, τ, кПа		
<b>9,600</b>	<b>30,3700</b>		
<b>25,100</b>	<b>35,0900</b>		
<b>40,600</b>	<b>42,2800</b>		

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа
<b>0,384</b>	<b>21,0</b>	<b>26,27</b>

**Выполнила:** Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №2**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

**2**

Наименование грунта

*Суглинки легкие пылеватые  
тугопластичные с прослоями песка  
ожезленные коричнево-серые*

Глубина отбора образца, м:

**4,0**

Структура:

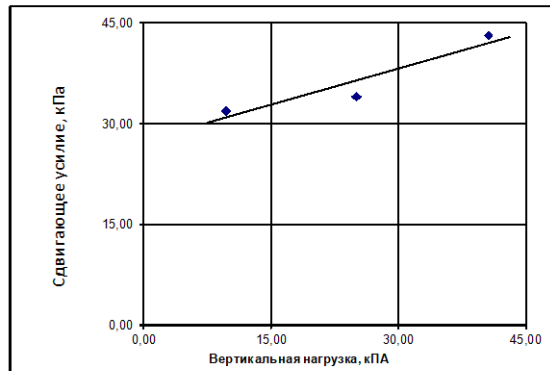
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>2,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>2,3</b>	<b>6,4</b>	<b>33,8</b>	<b>10,4</b>	<b>43,9</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>п</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потери при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>d</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,240	1,98	1,60	2,68	0,404	0,678	0,253	0,948	0,283	0,208	0,075	0,43	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>
Вертикальная нагрузка при сдвиге, k, кПа	Сдвигающее усилие, τ, кПа	
9,600	32,0300	
25,100	34,1200	
40,600	43,1700	
Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ градус	Сцепление, C, кПа
0,359	19,8	27,42

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №3**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**3**

Наименование грунта

*Суглинки легкие пылеватые  
тугопластичные с прослоями песка  
ожелезненные коричнево-серые  
не нарушена*

Глубина отбора образца, м:

**3,3**

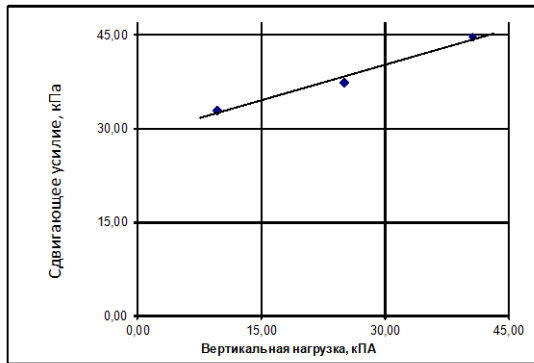
Структура:

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>3,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>3,1</b>	<b>10,1</b>	<b>25,7</b>	<b>20,1</b>	<b>36,4</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на Границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на Границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,223	2,01	1,64	2,68	0,387	0,631	0,235	0,948	0,270	0,195	0,075	0,37	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа		
9,600	33,0400		
25,100	37,4200		
40,600	44,7800		
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,379	20,7	28,91	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №4**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**4**

Наименование грунта

*Суглинки легкие пылеватые  
тугопластичные с прослойками песка  
ожелезненные коричнево-серые*

Глубина отбора образца, м:

**3,2**

Структура:

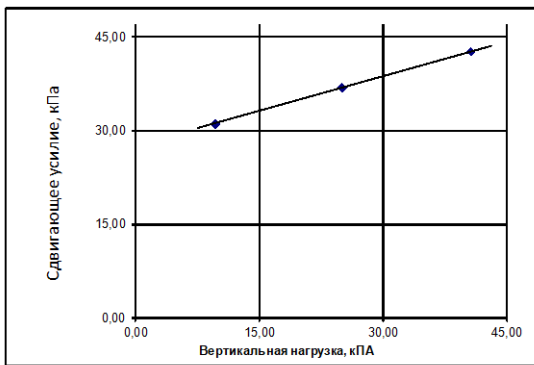
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
					0,1	0,2	2,0	3,1	20,1	28,9	45,6

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,240	1,96	1,58	2,72	0,419	0,721	0,265	0,906	0,300	0,200	0,100	0,40	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа		
9,600	31,1500		
25,100	36,8400		
40,600	42,7400		
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, c, кПа	
0,374	20,5	27,53	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №5**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**4**

Наименование грунта

*Суглинки легкие пылеватые  
тугопластичные с прослойками песка  
ожелезненные коричнево-серые*

Глубина отбора образца, м:

**4,8**

Структура:

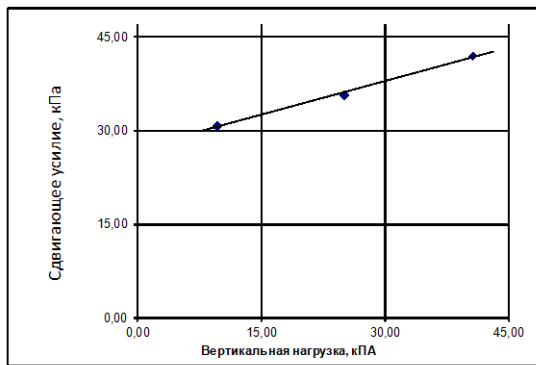
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
					0,2	0,2	0,5	19,6	37,5	16,4	25,6

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,228	1,99	1,62	2,69	0,398	0,660	0,245	0,929	0,277	0,195	0,082	0,40	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа		
9,600	30,8400		
25,100	35,7100		
40,600	41,9900		
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, c, кПа	
0,360	19,8	27,15	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №6**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**5**

Наименование грунта

*Суглинки легкие пылеватые  
тугопластичные с прослойками песка  
ожелезненные коричнево-серые*

Глубина отбора образца, м:

**4,7**

Структура:

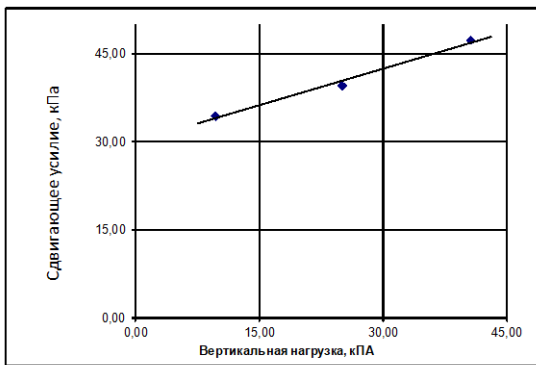
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>2,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>4,2</b>	<b>17,1</b>	<b>31,4</b>	<b>19,5</b>	<b>24,1</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,233	1,99	1,61	2,68	0,398	0,661	0,246	0,945	0,290	0,198	0,092	0,38	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа		
9,600	34,5100		
25,100	39,6200		
40,600	47,4200		
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, c, кПа	
0,416	22,6	30,06	

Выполнила: Савина И.В.



**Протокол испытаний грунтов №1**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**1**

Наименование грунта

*Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голуовато-серая*

Глубина отбора образца, м:

**0,2**

Структура:

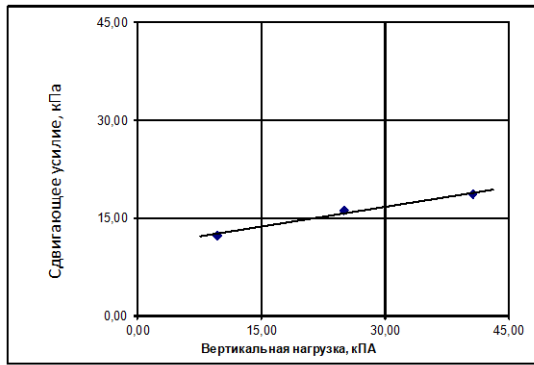
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>8,8</b>	<b>18,4</b>	<b>42,2</b>	<b>30,1</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,334	1,91	1,43	2,71	0,472	0,893	0,329	0,708	0,479	0,287	0,192	0,25	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,600	12,4200	1,88	0,340
25,100	16,2000	1,87	0,340
40,600	18,6000	1,88	0,342
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,199	11,3	10,74	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №2**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**1**

Наименование грунта

*Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голуовато-серая*

Глубина отбора образца, м:

**0,6**

Структура:

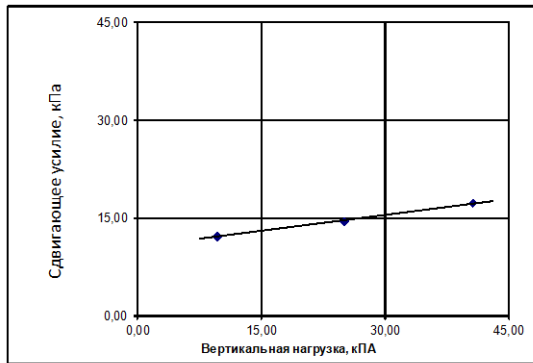
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
							<b>0,1</b>	<b>7,2</b>	<b>27,5</b>	<b>30,9</b>	<b>34,3</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, I <sub>p</sub>	Консистенция, Л	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,336	1,90	1,42	2,69	0,471	0,891	0,331	0,713	0,508	0,261	0,247	0,30	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,600	12,2300	1,88	0,341
25,100	14,5200	1,89	0,340
40,600	17,3100	1,87	0,342
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,164	9,3	10,57	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №3**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**2**

Наименование грунта

*Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голуовато-серая*

Глубина отбора образца, м:

**0,3**

Структура:

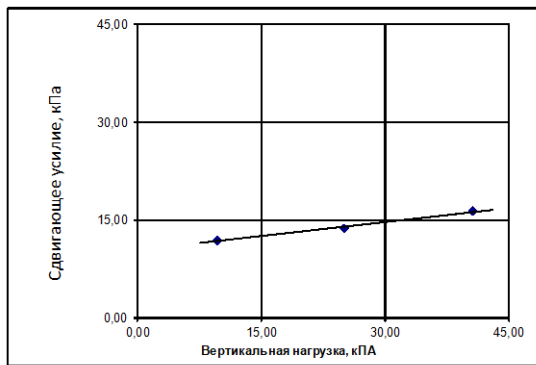
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
						<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>6,7</b>	<b>29,1</b>	<b>31,7</b>	<b>32,3</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, I <sub>p</sub>	Консистенция, I <sub>c</sub>	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,374	1,89	1,38	2,71	0,492	0,970	0,358	0,760	0,475	0,279	0,196	0,48	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,600	11,9600	1,88	0,340
25,100	13,8700	1,88	0,341
40,600	16,3200	1,87	0,340
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,141	8,0	10,52	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №4**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**3**

Наименование грунта

*Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голуовато-серая*

Глубина отбора образца, м:

**0,1**

Структура:

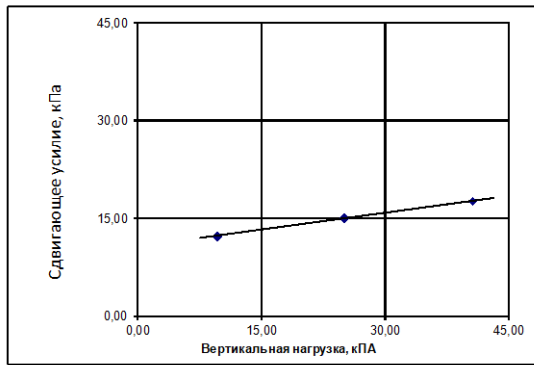
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>6,8</b>	<b>26,5</b>	<b>31,2</b>	<b>35,1</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, Ic	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>d</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,361	1,79	1,32	2,71	0,515	1,061	0,391	0,701	0,503	0,276	0,227	0,38	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,600	12,3100	1,88	0,341
25,100	14,9800	1,89	0,340
40,600	17,7100	1,87	0,342
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,174	9,9	10,63	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №5**

Цель испытаний:

**Определение прочностных свойств**

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

**4**

Наименование грунта

*Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голуовато-серая*

Глубина отбора образца, м:

**0,5**

Структура:

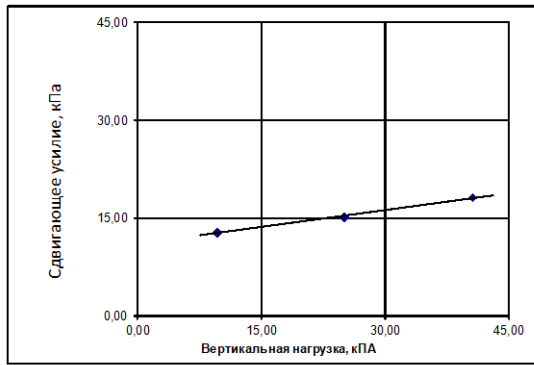
*не нарушена*

**Гранулометрический состав в %**

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
				<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>7,4</b>	<b>21,1</b>	<b>34,3</b>	<b>36,5</b>

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, I <sub>p</sub>	Консистенция, I <sub>c</sub>	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,352	1,88	1,39	2,70	0,485	0,942	0,349	0,726	0,472	0,280	0,192	0,38	

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,600	12,8800	1,88	0,340
25,100	15,1100	1,87	0,341
40,600	18,2300	1,87	0,340
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,173	9,8	11,07	

Выполнила: Савина И.В.

### Протокол испытаний грунтов №6

Цель испытаний:

#### Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

#### температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина:

#### 5

Наименование грунта

*Глина легкая пылеватая тугопластичная с прослоями песка голуовато-серая*

Глубина отбора образца, м:

#### 0,5

Структура:

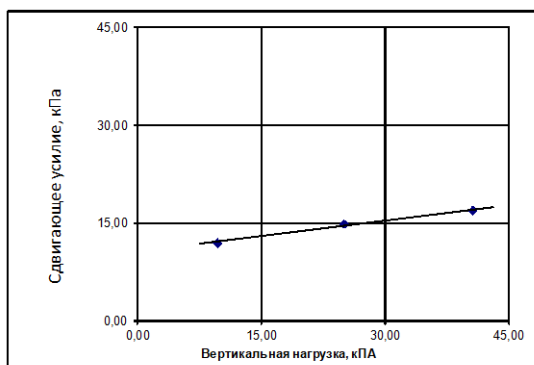
*не нарушена*

#### Гранулометрический состав в %

>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
						0,1	0,2	8,4	19,6	38,1	33,6

Природная влажность в д.ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Пористость	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость, W <sub>p</sub> , д.ед.	Коэффициент водонасыщения, S <sub>r</sub>	Влажность		Число пластичности, Ip	Консистенция, L <sub>c</sub>	Потеря при прокаливании, д.ед.
	Естественного сложения, ρ	Скелета, ρ <sub>s</sub>	Частиц грунта, ρ <sub>s</sub>					на границе текучести, W <sub>L</sub> , д.ед.	на границе раскатыв. W <sub>p</sub> , д.ед.			
0,339	1,89	1,41	2,71	0,479	0,920	0,339	0,710	0,485	0,281	0,204	0,28	

#### Результаты испытания на сдвиг



Условия испытания		<i>сдвиг неконсолидированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,600	12,0300	0,87	0,342
25,100	14,8800	1,88	0,340
40,600	16,8600	1,88	0,340
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, C, кПа	
0,156	8,9	10,10	

Выполнила: Савина И.В.

Приложение И

**Протокол испытаний грунтов №1**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°C; влажность 54%**

Скважина: Наименование грунта: **Глина**

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: **30%**

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		сдвиг консолидированный недренированный	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, s, кПа	Сдвигающее усилие, t, кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,6	16,93	1,88	0,301
25,1	19,31	1,88	0,300
40,6	23,54	1,87	0,303

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, C, кПа
0,213	12,0	14,57

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №2**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°C; влажность 54%**

Скважина: Наименование грунта: **Глина**

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: **30%**

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия и испытания		сдвиг консолидированный недренированный	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, s, кПа	Сдвигающее усилие, t, кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,6	17,06	1,87	0,301
25,1	20,03	1,88	0,301
40,6	23,71	1,88	0,303

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, C, кПа
0,215	12,1	14,88

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №3**

Цель испытаний:

Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

19

Наименование грунта

Глина

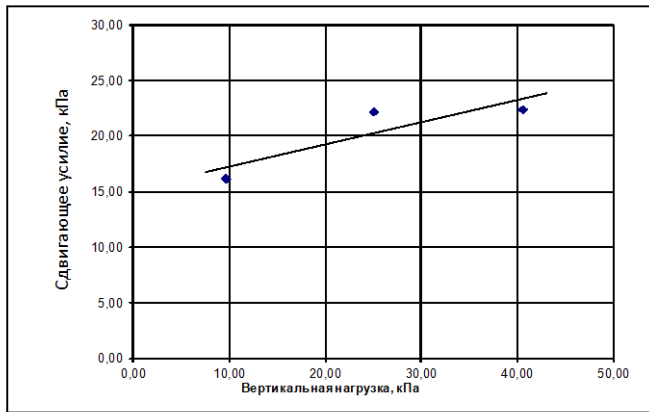
Глубина отбора образца, м:

4,4-4,6

Начальная влажность:

30%

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания	сдвиг: консолидированный недренированный
-------------------	---

Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, % д.ед.
9,6	16,22	1,86	0,302
25,1	22,19	1,88	0,301
40,6	22,40	1,88	0,300

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа
0,199	11,3	13,83

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №1**

Цель испытаний:

Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

Наименование грунта

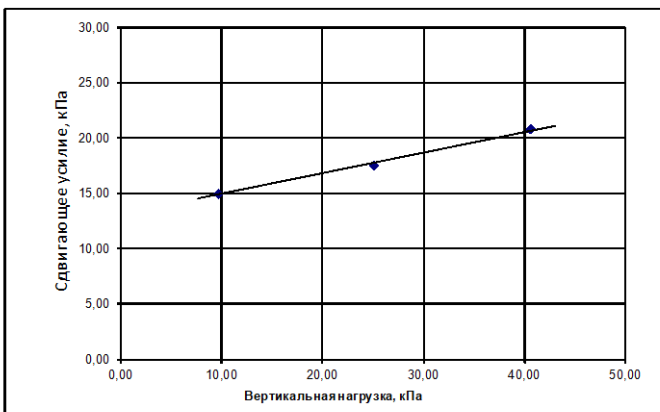
Глина

Глубина отбора образца, м:

Начальная влажность:

32%

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания	сдвиг: консолидированный недренированный
-------------------	---

Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, % д.ед.
9,6	15,00	1,87	0,320
25,1	17,48	1,88	0,322
40,6	20,74	1,87	0,320

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа
0,185	10,5	13,09

Выполнила: Савина И.В.



**Протокол испытаний грунтов №2**

**Цель испытаний:** Определение прочностных свойств

**Условия проведения испытаний:** температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина: Наименование грунта Глина

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: 32%

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		сдвиг: консолидированный недренированный	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, $s$ , кПа	Сдвигающее усилие, $\tau$ , кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге $W$ , д.ед.
9,6	14,51	1,88	0,320
25,1	17,62	1,87	0,320
40,6	21,91	1,88	0,321

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ градус	Сцепление, $C$ , кПа
0,239	12,2	12,02

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №3**

**Цель испытаний:** Определение прочностных свойств

**Условия проведения испытаний:** температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина: Наименование грунта Глина

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: 32%

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		сдвиг: консолидированный недренированный	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, $s$ , кПа	Сдвигающее усилие, $\tau$ , кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге $W$ , д.ед.
9,6	15,00	1,88	0,320
25,1	15,32	1,88	0,320
40,6	19,54	1,87	0,321

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ градус	Сцепление, $C$ , кПа
0,146	8,3	12,51

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №1**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°C; влажность 54%**

Скважина: Наименование грунта: **Глина**

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: **38%**

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, %
9,6	9,23	1,89	0,382
25,1	11,65	1,88	0,380
40,6	14,29	1,87	0,381

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ градус	Сцепление, С, кПа
0,163	9,3	7,63

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №2**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°C; влажность 54%**

Скважина: Наименование грунта: **Глина**

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: **38%**

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, %
9,6	9,03	1,88	0,383
25,1	10,58	1,87	0,380
40,6	12,98	1,89	0,381

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ градус	Сцепление, С, кПа
0,127	7,3	7,67

Выполнила: Савина И.В.

Протокол испытаний грунтов №3

Цель испытаний:

Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

Наименование грунта

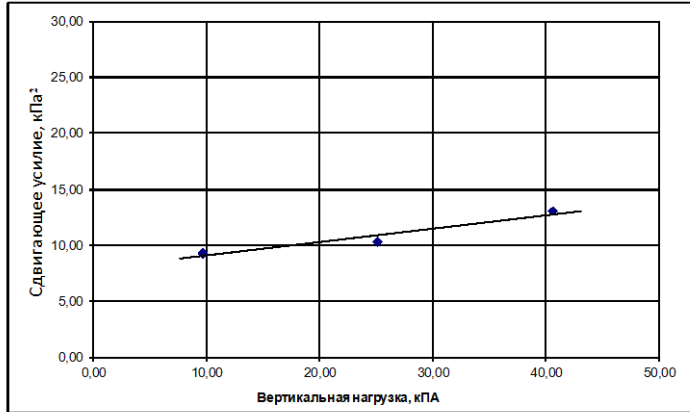
Глина

Глубина отбора образца, м:

Начальная влажность:

38%

Результаты испытания на сдвиг



Условия испытания	сдвиг консолидированный недренированный
-------------------	--

Вертикальная нагрузка при сдвиге, s, кПа	Сдвигающее усилие, t, кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге W, д.ед.
9,6	9,36	1,88	0,380
25,1	10,32	1,89	0,379
40,6	13,09	1,88	0,382

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, C, кПа
0,120	5,4	7,90

Выполнила: Савина И.В.

Протокол испытаний грунтов №1

Цель испытаний:

Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

Наименование грунта

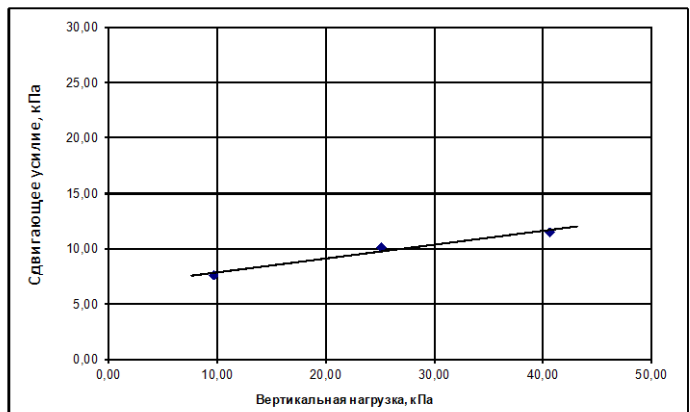
Глина

Глубина отбора образца, м:

Начальная влажность:

40%

Результаты испытания на сдвиг



Условия испытания	сдвиг консолидированный недренированный
-------------------	--

Вертикальная нагрузка при сдвиге, s, кПа	Сдвигающее усилие, t, кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге W, д.ед.
9,6	7,66	1,88	0,400
25,1	10,10	1,86	0,402
40,6	11,50	1,87	0,400

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, C, кПа
0,124	6,3	6,64

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №2**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°С; влажность 54%**

Скважина: Наименование грунта: **Глина**

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: **40%**

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, s, кПа	Сдвигающее усилие, $\tau$ , кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,6	7,23	1,88	0,403
25,1	8,95	1,88	0,402
40,6	10,23	1,87	0,400

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, C, кПа
0,097	5,5	6,37

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №3**

**Цель испытаний:** **Определение прочностных свойств**

**Условия проведения испытаний:** **температура +20,4°С; влажность 54%**

Скважина: Наименование грунта: **Глина**

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: **40%**

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, s, кПа	Сдвигающее усилие, $\tau$ , кПа	Плотность при сдвиге, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,6	7,44	1,88	0,400
25,1	8,52	1,86	0,402
40,6	10,39	1,87	0,400

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, C, кПа
0,095	5,4	6,39

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №1**

Цель испытаний:

Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

Наименование грунта

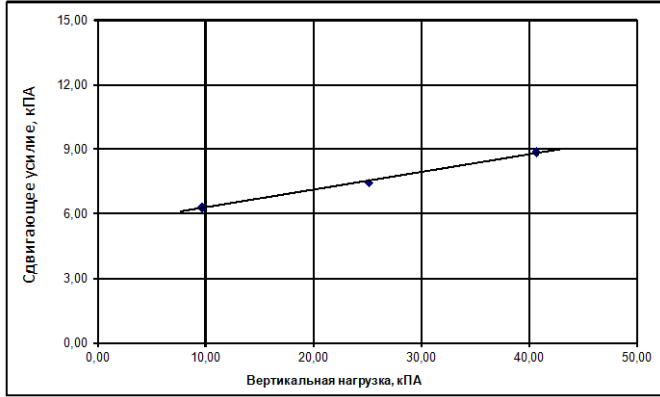
Глина

Глубина отбора образца, м:

Начальная влажность:

42%

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		сдвиг консолидированный недренированный	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, т/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,6	6,33	1,88	0,420
25,1	7,45	1,86	0,419
40,6	8,85	1,88	0,420
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа	
0,081	4,6	5,50	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №2**

Цель испытаний:

Определение прочностных свойств

Условия проведения испытаний:

температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина:

Наименование грунта

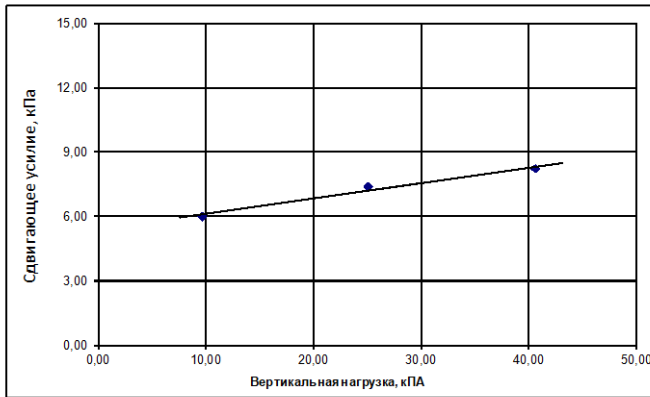
Глина

Глубина отбора образца, м:

Начальная влажность:

42%

**Результаты испытания на сдвиг**



Условия испытания		сдвиг консолидированный недренированный	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге, т/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге, W, д.ед.
9,6	6,02	1,88	0,422
25,1	7,38	1,86	0,422
40,6	8,24	1,87	0,420
Показатели сдвига			
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа	
0,072	4,1	5,42	

Выполнила: Савина И.В.

**Протокол испытаний грунтов №3**

**Цель испытаний:** Определение прочностных свойств

**Условия проведения испытаний:** температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина: Наименование грунта: *Глина*

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: *42%*

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, $s$ , кПа	Сдвигающее усилие, $t$ , кПа	Плотность при сдвиге $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге $W$ , д.ед.
9,6	5,96	1,88	0,420
25,1	6,74	1,88	0,420
40,6	8,35	1,87	0,421

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, $C$ , кПа
0,077	4,4	5,28

Выполнила: Савина И.В. *[Подпись]*

**Протокол испытаний грунтов №1**

**Цель испытаний:** Определение прочностных свойств

**Условия проведения испытаний:** температура +20,4°С; влажность 54%

Скважина: Наименование грунта: *Глина*

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: *44%*

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, $s$ , кПа	Сдвигающее усилие, $t$ , кПа	Плотность при сдвиге $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге $W$ , д.ед.
9,6	5,74	1,87	0,442
25,1	6,36	1,88	0,442
40,6	7,80	1,88	0,440

Показатели сдвига		
tg $\phi$	Угол внутреннего трения, $\phi$ , градус	Сцепление, $C$ , кПа
0,066	3,8	4,97

Выполнила: Савина И.В. *[Подпись]*

**Протокол испытаний грунтов №2**

**Цель испытаний:** Определение прочностных свойств

**Условия проведения испытаний:** температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина: Наименование грунта: *Глина*

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: *44%*

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге W, д.ед.
9,6	5,05	1,87	0,440
25,1	6,13	1,88	0,440
40,6	7,00	1,88	0,441

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа
0,063	3,6	4,48

Выполнила: Савина И.В. *[Signature]*

**Протокол испытаний грунтов №3**

**Цель испытаний:** Определение прочностных свойств

**Условия проведения испытаний:** температура +20,4°C; влажность 54%

Скважина: Наименование грунта: *Глина*

Глубина отбора образца, м: Начальная влажность: *44%*

**Результаты испытания на сдвиг**

Условия и испытания		<i>сдвиг консолидированный недренированный</i>	
Вертикальная нагрузка при сдвиге, кПа	Сдвигающее усилие, кПа	Плотность при сдвиге г/см <sup>3</sup>	Влажность при сдвиге W, д.ед.
9,6	5,96	1,86	0,442
25,1	6,50	1,88	0,440
40,6	8,11	1,88	0,440

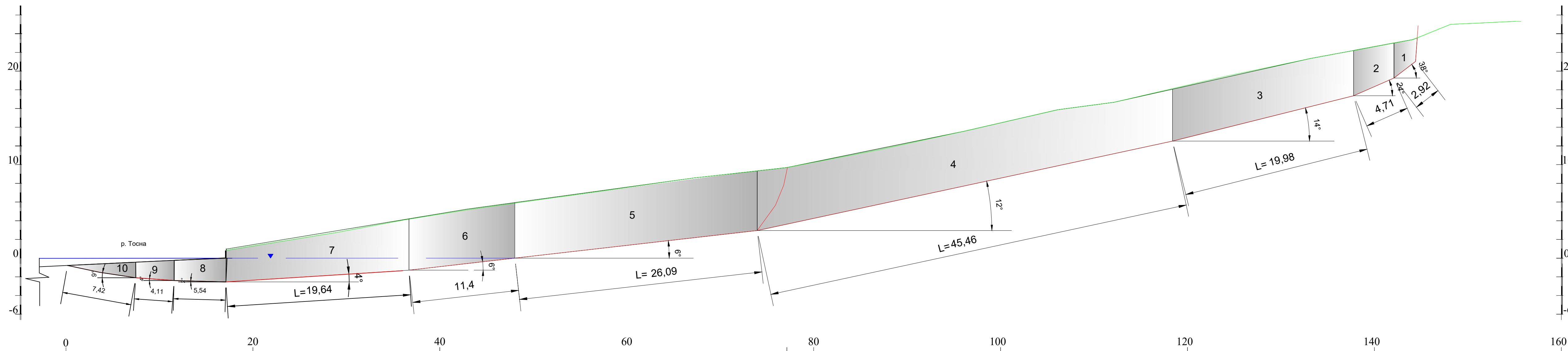
  

Показатели сдвига		
tg φ	Угол внутреннего трения, φ, градус	Сцепление, С, кПа
0,069	4,0	5,12

Выполнила: Савина И.В. *[Signature]*







- Условные обозначения:
- Поверхность скольжения
  - 1      Номер блока
  - L= 19,98    Длина подошвы блока, м
  - 38°      Угол наклона подошвы блока, град
  - ▼    Уровень грунтовых вод

Имя пользователя

ГП.2					
«Схема расчета устойчивости оползневого склона»					
Имя	Подпись	Лист	№ бл.	Подпись	Дата
Выполнил	Сметчик				03.18
Инженерно-геологические схемы				Стр.	Лист
				1.1	1