

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Институт наук о Земле

**Чеботарева Татьяна Николаевна**

**Оценка инженерно-геологических особенностей лессовых грунтов,  
как оснований для сооружений, на примерах строительных площадок Ростовской области**

Магистерская диссертация  
По направлению 05.04.01 «Геология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:  
к.г.-м.н., доц. Н. Г. Корвет



«13» мая 2016

Санкт-Петербург  
2016

## Оглавление

Введение.....	2
Глава 1. Анализ изучения инженерно-геологических особенностей лессовых грунтов, как оснований для сооружений.....	3
Глава 2. Лёссовые грунты как основания и среда для сооружений.....	7
2.1. Основные сведения о лёссовых грунтах.....	7
2.2. Генезис лёссовых пород.....	11
2.3. Инженерно-геологические особенности лессовых грунтов.....	14
Глава 3. Методы исследования просадочных грунтов.....	26
3.1. Косвенные методы исследования просадочности.....	27
3.2. Прямые методы исследования просадочности.....	32
Глава 4. Инженерно-геологические особенности исследуемых участков.....	43
4.1. Общие сведения об инженерно-геологических условиях территории Ростовского регион.....	43
4.2. Инженерно-геологические условия исследуемых участков.....	50
Глава 5. Инженерно-геологический прогноз реализации просадочных явлений в лёссовых грунтах строительных площадок Ростовского региона.....	59
5.1. Прогнозирование просадочных явлений в лёссовых грунтах.....	59
5.2. Прогнозирование склонности грунтов исследуемых участков к просадочным явлениям по косвенным признакам.....	60
5.3. Результаты оценки просадочности грунтов, слагающих исследуемые площадки, прямыми методами.....	73
5.4. Сравнительный анализ результатов оценки просадочности грунтов, полученных косвенными и прямыми методами.....	86
5.5. Мероприятия для устранения развития недопустимых просадок лёссовых грунтов исследуемых участков.....	92
Заключение.....	97
Список литературы.....	98
Приложения.....	101

## Введение

Увеличивающиеся темпы застройки приводят к необходимости освоения всё больших территорий на слабых грунтах. К таким грунтам относятся рассматриваемые в данной работе лёссовые грунты Ростовского региона.

Ростов-на-Дону и Ростовская область – один из регионов РФ, где лёссовые грунты являются основанием и средой для различного типа сооружений и характеризуются значительной изученностью. С точки зрения строительства необходимо учитывать их характерную особенность, которая проявляется в потере их прочности, что приводит к дополнительным деформациям (просадкам) от внешней нагрузки и (или) собственного веса грунта. Важно учитывать, что реализации просадочных свойств этих грунтов может способствовать их замачивание (естественное или техногенное). Это предполагает особый подход при их изучении, который включает оценку и прогнозирование просадочных явлений. При этом задачи, решаемые на каждом этапе их изучения, различаются, что предполагает использование и различных методов их решения.

Представленная работа основана на материалах результатов исследований, которые проводили различные организации на строительных площадках Ростовского региона и были предоставлены автору при прохождении производственных практик 2014-2015гг. В отдельных видах работ автор принимала непосредственное участие.

### Цель данной работы:

- исследование инженерно-геологических особенностей лёссовых грунтов, строительных площадок Ростовского региона различными методами.

### Для её достижения были поставлены следующие задачи:

- изучить особенности лёссовых грунтов, определяющие их инженерно-геологические свойства,

- проанализировать изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной, и выявить факторы, влияющие на их изменение,

- оценить просадочные свойства лёссовых грунтов косвенными и прямыми методами на участках и провести сравнительный анализ полученных результатов,

- определить тип грунтовых условий по просадочности,

- рассмотреть мероприятия для устранения просадочности грунтов, возможные для применения на исследуемых участках.

## **Глава 1. Анализ изучения инженерно-геологических особенностей лессовых грунтов, как оснований для сооружений**

Увеличивающиеся темпы застройки приводят к необходимости освоения всё больших территорий на слабых грунтах, как в России, так и во всём мире. К таким грунтам, в частности, относятся, рассматриваемые в данной работе, лёссовые грунты. Основной инженерно-геологической особенностью данных пород является их способность к проявлению просадки при замачивании, как от собственного веса грунта, так и от веса зданий и сооружений, которая вызывает значительные осложнения при их строительстве и эксплуатации.

Наиболее широко в нашей стране лёссовые грунты представлены в южных и юго-западных областях, на границе с Украиной. К таковым областям относится и Ростовская область с административным центром в городе Ростове-на-Дону. Потребность к застройке всё больших территорий и в черте города, и в области, приводят к необходимости более детального их исследования с позиции просадочности, детализации карт и схем распространения просадочных грунтов, исследования процессов и явлений, которые могут повлиять на просадочность, а также методов предварительной оценки просадочности лёссовых пород.

Термином лёсс (от немецкого löss) жители Рейнской долины называли рыхлую почву. Впервые в научную литературу он был введён К. Леонардом в 1823 году. Так было положено начало длительным дискуссиям по поводу их происхождения и природы, того, какие грунты считать лёссовыми, какие признаки влияют на просадочность и многого другого. Некоторые из этих вопросов и по сей день являются открытыми.

В России исследование лёссовых грунтов началось с 1867 года, в районе реки Дон и были описаны в исследовании Н. Д. Борисяка, а в 1903 году А.П. Павловым была впервые предложена генетическая классификация лёссовых пород. В этом же году были впервые зарегистрированы просадки дамбы железнодорожного пути Оренбург – Ташкент, которые произошли в результате обводнения паводковыми водами реки Сырдарья. По данным А.К. Штукенберга, просадочные деформации достигали 1 м и наблюдались просадочные блюдца диаметром в плане до 40 м.

В начале 20 века были произведены масштабные исследования лёссовых грунтов Сибири, связанные с развернувшимся строительством железных дорог. В 1920х годах активно изучались просадочные грунты на территории всей страны. Среди

учёных, изучавших просадочные явления в грунтах можно выделить В.А. Пышкина, П.Е. Хеладзе. Первые описания деформаций жилых сооружений на просадочных грунтах были проведены Б.П. Михеевым в 1930 году в городе Грозном. Так, Б.П. Михеев считал, что деформация произошла в результате повышения сжимаемости лессового грунта при его водонасыщении.

В 1930 году Ю.М. Абелев впервые провел испытания покровных макропористых суглинков опытными штампами. При этом замачивание грунтов в основании штампов осуществлялось после полной стабилизации осадки при заданном давлении, то есть методом «одной кривой». Эти опыты впервые установили явление просадки, которая выразилась в дополнительной осадке штампов при замачивании основания. Ранее это явление строителям известно не было. На основе проведенных опытов в 1931 году профессором Абелевым был разработан и опубликован «Проект временной инструкции по проектированию и возведению промышленных и гражданских сооружений на лессовидных грунтах».

Одновременно с изучением проблем строительства на просадочных грунтах проводились описания районов распространения лессовых грунтов и изучена геологическая картина формирования пород. Так, в ряде работ 1930-1932 годов приводятся результаты наблюдений за образованием степных блюдеч.

В 1930х годах Е.М. Замариным и М.М. Решеткиным производилось более детальное изучение геоморфологии и химического состава лёссов Средней Азии, там же была отмечена большая роль суффозионных и карстовых явлений в процессе изменения свойств лессов. В этот же период под руководством Ю.М. Абелева были проведены исследования строительных свойств лессовых грунтов Кузбасса, Украины и других регионов, разрабатывались методы строительства жилых зданий и промышленных сооружений на просадочных грунтах.

В 1933 – 1934 В.И. Батыгиным и Н.Я. Денисовым было впервые предложено выделять просадочные грунты по косвенным признакам, таким как влажность и предел текучести. В 1935 г Р.А. Токарь предложил классифицировать лессовидные грунты не по их происхождению, являющемуся спорным, а по характерной для них макроструктуре.

В результате многочисленных исследований в различных регионах бывшего СССР были разработаны методы строительства гражданских зданий и промышленных сооружений на просадочных грунтах, включенные в 1934 г. в «Технические условия проектирования и строительства на макропористых (лессовых) грунтах». В 1947 – 1948 годах профессором Ю.М. Абелевым были разработаны «Нормы проектирования и

технические условия на производство и приемку общестроительных и специальных работ». Выход таких норм был очень важным событием в практике проектных и строительных организаций, так как позволял единообразно проектировать основания и фундаменты для самых различных сооружений на просадочных лессовых грунтах. Стоит отметить, что на настоящий момент указания по проектированию оснований зданий и сооружений на лёссах и лёссовых грунтах изложены в СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

Большой вклад в развитие представлений о просадочности грунтов внесли такие учёные как Н.Я. Денисов, А.Л. Рубинштейн, В.С. Гвоздев, Ф.И. Воронов, Е.А. Замарин, Л.Г. Бадаев, Л.Н. Ломизе, А.А. Глазь и другие. Одними из первых, кто исследовал влияние на величину просадки химического состава растворов воды, были Е.М. Талдыкина, В.С. Шаров, И.В. Попов, А.Н. Л.А. Стрюковский, Озерецкий и Л.К. Танкаева.

В 1950х годах М.Н. Гольдштейном и Г.М. Ломизе явления просадки были впервые изучены в приборах трёхосного сжатия при сложном напряженном состоянии. М.Н. Гольдштейн и Я.Л. Коган впервые провели лабораторные исследования изменения сопротивления сдвигу микропористых грунтов в процессе просадки.

Первые сведения по инженерной геологии и гидрогеологии Нижнего Дона и Северного Кавказа принадлежат К.И. Лисицыну, который с 1931 года возглавил институт кафедры гидрогеологии и инженерной геологии в Донском политехническом институте. Опираясь на длительные исследования лёссовых грунтов Нижнего Дона и Приазовья по их возрасту и расчленению, К.И. Лисицын впервые отнёс гумусовые горизонты в лёссовых породах к погребённым почвам, имеющим стратиграфическое значение.

Начиная с 1938 года, к комплексному геологическому изучению территории приступает Азово-Черноморское, а впоследствии Волго-Донское территориальное геологическое строительное геологическое управление. Среди учёных, внёсших наибольший вклад в исследования, можно выделить В.М. Зеленского (1938), П.Д. Гончарова (1939), Г.Н. Родзянко и Е.И. Водяницкую (1946), П.М. Петрова (1940), Г.И. Попова (1947), В.Б. Иваницкую и Н.И. Погребёнова (1962). В 1940 г. П.М. Петровым по данным съёмки масштаба 1:50000 было составлено геологическое описание площади Ростова-на-Дону.

В 1938 году В.М. Заленским и В.В. Вележевым было выполнено первое детальное исследование лёссовых пород в пределах старой городской территории. Толща лёссовидных суглинков была расчленена на три яруса, которым придавалось

стратиграфическое значение: нижний – миндельский, средний – рисский, верхний – вюрмский. С поступлением новых данных стратиграфическая схема четвертичных отложений Нижнего Дона менялась. Большой вклад в её преобразования и уточнения внёс Г.И. Попов («Четвертичные и континентальные плиоценовые отложения Нижнего Дона и Северо-Восточного Приазовья» 1947 г). В 1964 году Г.И. Поповым с группой специалистов на основе собственного опыта и опыта предыдущих исследований была составлена корреляционная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений бассейнов рек Дона и Нижней Волги. Несмотря на то, что для четвертичных отложений Нижнего Дона уже существовала новая стратиграфическая схема, для лёссовых пород г. Ростова-на-Дону по-прежнему оставалось трёхъярусное деление по принятой ранее схеме.

В Ростове-на-Дону и Ростовской области изучением лёссовых грунтов в начале 1950х годов занимались В.М. Зеленский, В.В. Вележев. В 1953 году вышла в свет работа В.Е. Воляника «Исследования лёссовидных суглинков Ростова-на-Дону как оснований для фундаментов зданий».

Вопросы генезиса и свойств лёссовидных суглинков в связи с их структурными особенностями и химико-минералогическим составом, строительные свойства лёссовых пород и их техническая мелиорация рассматриваются в работах А.К. Ларионова (1961), И.Д. Седлецкого (1958), И.А. Шамрая (1965), В.П. Ананьева (1968), Н.В. Воляника (1969), Л.К. Петренко (1973), В.Н. Баранова (1973) и других.

В 1971 – 1972 годах трестом «РостовДонТисиз» при проведении крупномасштабной инженерно-геологической съёмки впервые было произведено стратиграфическое расчленение лёссовой толщи г. Ростова-на-Дону. Последующее время было годами накопления знаний об инженерно-геологических условиях города при изысканиях под застройки разного рода, что обобщено в работе К.А. Меркуловой [15].

Большое количество работ, связанных с изучением свойств лёссовых просадочных грунтов, как оснований и фундаментов, на протяжении длительного времени проводили многие исследователи, прежде всего, это: М.Ю. Абелев, В.И. Крутов, Е.А. Сорочан, А.А. Григорян, Ю.А. Багдасаров, З.Г. Тер-Мартirosян, Р.С. Зиангиров, П.А. Коновалов, Ю.К. Зарецкий, А.Л. Крыжановский, А.П. Левченко, Т.Г. Рященко и многие другие. Большая роль в изучении лёссовых грунтов, особенностей формирования их инженерно-геологических особенностей принадлежит В.Т. Трофимову. Характеристика их строительных особенностей рассмотрена во многих литературных источниках, наиболее полно она представлена в одной из

последних обобщающих работ «Инженерная геология. Грунты России», в которой приводятся ссылки на многих авторов, изучавших лёссовые грунты [10].

## **Глава 2. Лёссовые грунты как основания и среда для сооружений**

### **2.1. Основные сведения о лёссовых грунтах**

Первоначально под лёссами понимали все породы, в которых так или иначе выражены «лёссовые» признаки (светло-палевый цвет, пылеватый состав, наличие макропор), однако этот термин объединял породы с весьма различным составом и свойствами. Такие ученые как В.А. Обручев (1948) и И.И. Трофимов отмечали необходимость разделения непосредственно лёссов и многочисленных лёссовидных пород (например слоистый, выщелоченный, озёрный, гумусовый, пойменный, аллювиальный, оглеенный, вторичный, каменный и другие лёссы). Они, как и М.И. Ломоноич и Н.Н. Карлов, придерживались генетического толкования данного термина, и относили к лёссам только те породы, которые имели эоловое происхождение, то есть были накоплены в результате переноса мелких минеральных частиц ветром. Породы похожие на лёссы, но с иным происхождением, они относили к лёссовидным породам [1].

Большинство исследователей, в числе которых А.П. Павлов, С.С. Морозов, Н.Я. Денисов, Г.А. Мавлянов, под лёссами понимали породы, обладающие комплексом определенных литологических признаков (светло-палевый цвет, пылеватый состав, макропористость, отсутствие слоистости, наличие большого количества карбонатов), независимо от их происхождения. Особого внимания заслуживает уточнение С.С. Морозова, относящего к типичным лёссам лишь те породы, которые, обладая обычными для лёссов признаками, состоят преимущественно из элементарных (первичных)пылеватых частиц, причём в пылеватой фракции крупнопылеватые частицы (0,05 – 0,01 мм) преобладают над мелкопылеватыми (0,01 – 0,002 мм).

Некоторые авторы полагали, что непременным свойством лёсса должна быть именно просадочность, что идёт в разрез с предыдущими представлениями, так как макропоры, под которыми понимают полые ветвящиеся каналы, нередко слабо заметны и не всегда присущи просадочным лёссам. С другой стороны, лёссовые породы, характеризующиеся макропористой структурой, иногда не являются просадочными, а напротив, служат устойчивым элементом строения лёссовых пород. Таким образом, термины «макропористые грунты» и «лёссовые грунты» неравнозначны, и просадочность не является обязательным признаком лёсса [14].

В настоящее время принято объединять термином «лёссовые породы» собственно лёсс и многочисленные лёссовые грунты. Иногда между ними не делают различия по причине постепенного перехода лёсса в лёссовую породу, следовательно, их сложно разделять между собой.

Однако, по мнению М.П. Лысенко, проводить различие между лёссом и лёссовидными породами всё же следует. Так, к лёссу необходимо относить рыхлые породы с палевым окрасом, с пористостью 40 – 50% и более, неслоистые, сильно пылеватые, характеризующиеся преобладанием крупнопылеватых частиц (0,05 – 0,01 мм), однородные по гранулометрическому составу, образующие в откосах вертикальные отделимости. Остальные же породы, сходные с лёссом, но не обладающие в полном объёме его признаками, следует относить к лёссовидным [14]. Стоит отметить дополнение Н.И. Кригера о том, что следует также учитывать мощность и условия залегания грунта, и к лёссам относить лишь грунты, мощностью не менее нескольких метров, залегающие плащеобразно без включений песка или галечника.

А.К. Ларионов подробно разобрал недостатки различных критериев выделения лёссовых и лёссовидных пород, и выдвинул собственную схему деления, представленную ниже [1].

Лёссовая порода (грунт) – тип континентальных пород разного генезиса. Их классификационные критерии: 1) высокая пылеватость, определяемая содержанием фракции 0,05 – 0,005 мм более 45% (при микроагрегатной подготовке); 2) своеобразная лёссовая структура, характеризующаяся прежде всего развитием трубчатых макропор.

В этом типе пород выделяются два подтипа:

Лёсс – лёссовая порода, характеризующаяся следующими дополнительными критериями: 1) отсутствием слоистости; 2) своеобразной структурой, относящейся к классу зернисто-плёнчатому или пылевато-плёнчатому; 3) необязательным критерием является минеральный состав тонкой фракции, в котором главное место занимают гидрослюды, смешано-слоиные, дисперсный кварц, карбонаты и каолинит. Остальные минералы встречаются в виде незначительной примеси.

Лёссовидная порода (грунт) – лёссовая порода, имеющая следующие классификационные критерии: 1) структурный – они относятся к классу зернисто-агрегативной структуры. Могут встречаться разновидности с агрегативной структурой; 2) текстурный – наличие или отсутствие слоистости; 3) необязательный критерий – минералогический состав тонкой фракции (основными минералами являются: гидрослюда, монтмориллонит, карбонаты и смешано-слоиные).

А.К. Ларионова считал целесообразным проводить выделение более дробных

подразделений (виды, разновидности) по числу пластичности, пористости, просадочности и консистенции.

Следует отметить, что в принятом ГОСТе 25100-2011, как и в предыдущем ГОСТе 25100-95, понятие «лёссовый грунт» заменил термин «просадочный глинистый» грунт, что, как считает Т.Г.Рященко «является недопустимой ошибкой и шагом назад в разработке проблем грунтоведения» [19].

Стоит отметить, что на данный момент так и не существует единого мнения по вопросу классификации лёссовых пород, однако, согласно большинству рассмотренных автором источников, лёссовыми на данный момент принято считать континентальные глинистые отложения четвертичного возраста (супеси, суглинки, глины) различного генезиса, обладающие комплексом специфических свойств.

Лёссовые породы можно встретить практически на всех континентах, но наиболее широко они распространены в Америке, Европе и Азии. Так, при средней мощности лёсса 10 м общая площадь, занятая лёссовыми породами на земном шаре, составляет 19 млн. км<sup>2</sup> (согласно подсчетам К. Кейльгака). Лёссовые породы в Европе начинаются в Англии, далее они полосой протягиваются через Францию, Бельгию и среднюю часть центральной Европы. Также есть другая, более южная полоса, приуроченная подножию Альп и верхнему течению Дуная.

На территории стран СНГ площадь, покрытая лёссовыми грунтами, составляет приблизительно 34%. Лёссы лежат сплошным покровом на юге европейской части России и большей части Украины (до 80%). Большие площади покрыты лёссовыми породами в Восточной, Южной и Западной Сибири, Казахстане и Средней Азии. Довольно часто они также встречаются в Якутии, Поволжье, Белоруссии и других районах. На рисунке 1 представлена карта распространения лёссовых пород на территории СНГ.

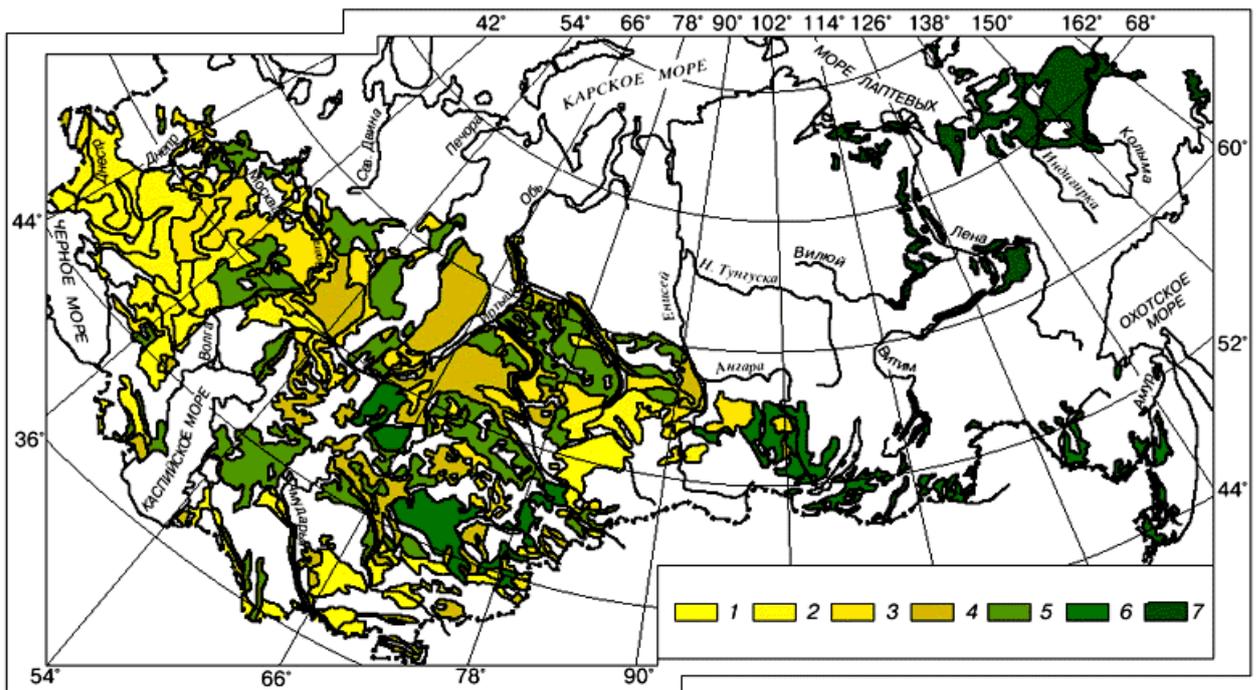


Рис. 1. Карта распространения лёссовых пород на территории России и стран СНГ (составили В.С. Быкова и С.А. Пастушкова, 1985): 1 - лёссы и лёссовые породы большой мощности (более 10 м), проявляющие просадку под собственным весом; 2 - лёссовые породы и лёссы мощные (более 5 м), проявляющие значительные просадочные деформации при дополнительных нагрузках; 3 - лёссовые породы средней мощности (5 - 10 м), проявляющие незначительные просадочные деформации при дополнительных нагрузках; 4 - лёссовые породы прерывистого распространения (3 - 5 м), непросадочные; 5 - лёссовые породы прерывистого и островного распространения изменчивой мощности, неоднородные по просадочности; 6 - лёссовидные и покровные глинистые породы островного и прерывистого распространения, маломощные, непросадочные; 7 - мерзлые покровные пылеватые глинистые породы, проявляющие термопросадки в результате оттаивания. [13].

Развитие лёссовых пород зависит от климатических условий и орографической обстановки в плейстоцене и от физико-географических условий последующего времени, в течение которого протекало их диа- и гипергенетическое преобразование. На Русской равнине в отдельные этапы ледникового времени физико-географические зоны сдвигались, поэтому отложение и формирование лёссовых пород происходило на обширной территории, отдельные области которой в настоящее время заметно отличаются друг от друга по физико-географическим условиям.

Мощность лёссовых пород изменяется в широких пределах: от долей метра до десятков метров. В пределах Русской равнины с севера на юг намечается тенденция к увеличению мощности этих пород. На севере Украины и в Белоруссии мощность их не превышает 15 м, между тем как в Причерноморской низменности, в Среднем и Нижнем Приднепровье она достигает 50 м. Максимальную мощность лёссовые породы имеют

на низменностях, характеризующихся эпейрогеническим погружением. На возвышенностях Русской равнины (Волыно-Подольская, Донецкая, Приволжская и др.), отличающихся небольшой относительной высотой, мощность лёссовых пород меньше, чем на приводораздельных пологих склонах. В долинах Днепра и Дона она обычно возрастает от первой надпойменной террасы к равнинным водоразделам. Мощность лёссовых пород определяется геологической историей территории и характером слагающих её пород.

## 2.2. Генезис лёссовых пород

Вопрос о происхождении лёсса ещё не получил общепринятого решения. Его образование связывали с различными геологическими процессами (на суше – с деятельностью ветра, дождевых и талых снеговых вод, почвообразованием и выветриванием, вулканизмом, осаждением космической пыли, осадкообразованием в озёрах и морях) и стадиями пороодообразования.

В 1877 году немецкий учёный Ф. Рихтгофен предложил гипотезу субаэрального (при ограниченной роли воды) происхождения китайского лёсса.

Генетическую классификацию лёссовых пород впервые предложил А.П. Павлов в 1903 г, и на протяжении более 100 лет высказываются и оспариваются различные гипотезы о происхождении лёссов и формировании их особых свойств. Практически каждая из выдвигаемых в прошлом гипотез стремилась объяснить происхождение всех лёссов каким-либо одним единственным путем. Все разнообразие гипотез о происхождении лёссов на настоящий момент можно свести к трем основным группам:

К первой группе относятся гипотезы, объясняющие происхождение лёсса эоловым путем. Основателем данной гипотезы является Ф. Рихтгоффен (1877). Относя лёссы к эоловым отложениям, он не считал ветер единственным фактором образования лёссовых пород. После детального изучения лёссов Китая Ф. Рихтгоффен пришел к выводу, что лёссовый (пылеватый) материал переносился и откладывался в бессточных впадинах ветром и дождевой водой и удерживался там степной растительностью. Эоловая гипотеза нашла много последователей среди ученых России и других стран, которые развили и дополнили ее. Так, В.А. Обручев (1904) объяснял формирование сплошного лёссового покрова на высоких элементах рельефа за счет пыли, принесенной из отдаленных районов (экзотическая пыль). По мнению П.А. Тутковского (1899), ветры развеивали ледниковые отложения и уносили пыль далеко от

ледникового покрова, где она и образовывала лёсс. Американские ученые Ф. Леверетт (1899), Т. Чемберлин и др. (1909) основное значение придавали образованию пылеватых толщ за счет развевания речных и водно-ледниковых отложений близлежащих долин. Многие известные отечественные и зарубежные ученые, например, А.И. Москвитин, И.И. Трофимов, Н.И. Кригер являются горячими сторонниками эоловой гипотезы. Это связано с тем, что данная гипотеза хорошо объясняет покровное залегание лёссов на больших площадях и подкрепляется фактами быстрого накопления в засушливых областях довольно мощных слоев пылеватых осадков после прохождения сильных пыльных бурь.

Во второй группе можно объединить гипотезы, которые рассматривают лёсс как породу, отложившуюся в водной среде. К числу ученых, придерживающихся такой точки зрения, следует отнести выдающихся ученых П.А. Кропоткина (1876), В.В. Докучаева (1892), А.П. Павлова (1898), Ю.А. Скворцова (1948), Н.И. Толстихина (1928). По мнению этих исследователей, образование толщи пылеватых осадков происходило в результате смыва и последующего переотложения склоновых пород, переноса и накопления минерального материала в речных долинах и озерах, а также переноса и накопления лёссовых отложений водно-ледниковыми потоками. Существовала также точка зрения, что лёсс – это принесенная пыль, но переотложенная водными потоками.

Эти гипотезы рассматривают лишь процесс накопления пылеватых отложений, но не отвечают на главный вопрос: как пылеватый осадок превращается в лёсс с характерным набором признаков и свойств.

К третьей группе гипотез относятся высказывания, в соответствии с которыми пылеватый материал может накапливаться любым путем, а превращение его в лёсс как породу, обладающую определенной суммой признаков, происходит в результате процессов выветривания и почвообразования. Впервые мысль об образовании лёсса в процессе вторичного выветривания высказал Н.М. Сибирцев. Эти положения, а также высказывания В.В. Докучаева о возможности элювиального образования лёссовых пород были использованы Л.С. Бергом при разработке почвенно-элювиальной гипотезы происхождения лёссов.

Однако каждая из существующих гипотез не может объяснить образования всех лёссовых пород и в то же время может быть вполне принята при рассмотрении отдельных лёссовых толщ. Лёссовидные породы, безусловно, являются полигенетическими образованиями. Что же касается непосредственно лёссов, то их генезис представляется менее ясным.

Как отмечали А.В. Минервин и Е.М. Сергеев, решение вопроса о генезисе лёссов может быть получено, лишь после того, как мы познаем основные закономерности формирования их просадочных свойств не только в общем аспекте, но и конкретно в том или ином разрезе. Из большого многообразия гипотез происхождения лёссов наиболее вероятной окажется та гипотеза, которая объяснит возникновение их просадочности [20].

Условия залегания лессовых толщ различны, в зависимости от возраста, происхождения и фациальной принадлежности выделяют:

1) *эоловые лессовые породы*, пламеобразно перекрывают повышенные элементы рельефа: плато, водоразделы, высокие террасы, разные породы, венчая собой разрез четвертичных отложений. Граница эоловых и подстилающих отложений хорошо выражена. Мощности эоловых толщ различны. Строение их монотонное, выдержанное, чаще неслоистое. Пористость повышенная, макропоры округлые или чечевицеобразные;

2) *делювиальные лессовые породы*, залегают на склонах, образуют шлейфы, иногда перекрывают надпойменные террасы речных долин, небольшие древние конусы выноса (сухие дельты), заполняют овраги. Они венчают четвертичный разрез. Мощности делювиальных толщ различны. Границы этих толщ с подстилающими лессовыми породами не всегда прослеживаются. В делювиальных лессовых породах присутствуют прослой гумусированного материала, песка, иногда гравия, дресвы и щебня. Выражена слоистость. Пористость различна. Макропоры чаще щелевидной формы;

3) *пролювиальные лессовые породы*, слагают предгорные равнины, предсклоновые пояса, шлейфы, конусы выноса, причем наиболее тонкие по гранулометрическому составу разности отлагаются на периферии этих элементов рельефа, а более грубые - ближе к горам. Мощности толщ пролювия могут достигать 100 м и более. Граница пролювия с подстилающими коренными и аллювиальными породами разного состава обычно выражена. Пролувиальные толщи неслоисты или сложены мощными пластами. Но в подошве толщи часто прослеживается тонкая слоистость, имеются включения, прослой и линзы песка, гравия, гальки, щебня. Пористость пролювиальных лессовых пород повышенная. Макропоры чаще округлой формы;

4) *аллювиальные лессовые породы*, слагают надпойменные террасы речных долин. Мощность толщ достигает 20 м и более. Граница лессового аллювия с

подстилающими песками, гравием, галечниками, коренными породами выражена, но в подошве аллювиальной толщи имеются линзы и прослои нелёссовых пород. Толщи аллювиальных лёссовых пород слоисты и иногда содержат прослои песка и гравия. Пористость пониженная. Макропоры щелевидные и округлые;

5) *флювиогляциальные и озерные лёссовые породы*, чаще залегают по периферии зандровых полей в толщах небольшой мощности, обычно слоистых с прослоями песка. Переход между этими и подстилающими породами постепенный. Пористость пониженная. Макропоры щелевидные;

б) *элювиальные лёссовые породы*, развиты на небольших плато, верхних частях пологих склонов на ограниченных площадях, защищенных от денудации и привноса материала. Эти породы слагают толщи небольшой мощности. Породы неслоисты и постепенно переходят в подстилающие материнские отложения, причем в лёссовом покрове появляется все больше включений каменного лесса, алевролита, аргиллита, мергеля, известняка и др. Мощности толщ от долей метра до нескольких метров. Пористость чаще повышенная. Форма макропор различна.

### **2.3. Инженерно-геологические особенности лёссовых грунтов**

Лёссовые породы и слагаемые ими массивы представляют собой сложные системы. Их изменения обусловлены сложным взаимодействием внутренних и внешних факторов. Являясь покровными континентальными образованиями, они распространены на обширных территориях с разнообразными физико-географическими условиями, что предопределяет их полигенетичность и широкий спектр гипергенных изменений. Эти обстоятельства вызывают значительные пространственные изменения, динамичность грунтов и их особые черты: полидисперсность, полиминеральность, своеобразную текстуру массивов лёссовых пород. Ниже автором будут рассмотрены состав, структура и основные свойства лёссовых пород.

#### **Состав лёссовых пород**

Гранулометрический состав лёссовых пород колеблется от глин до лёгких пылеватых супесей и мелкозернистых пылеватых песков. Однако, в большинстве случаев лёссовые породы представлены пылеватыми суглинками, в микроагрегатном составе которых содержится от 50 до 80% пылеватых частиц диаметром 0,05 – 0,002 мм, от 3 до 30% глинистых частиц (менее 0,002 мм), и до 15% мелкопесчаных частиц (0,05 – 0,25 мм). Количество частиц крупнее 0,25 мм не превышает 5%.

Наиболее однородными по гранулометрическому составу являются лёссы. Их состав постоянен вне зависимости от области распространения – во всех районах они характеризуются высоким (до 70 – 80%) содержанием крупнопылеватых частиц диаметром 0,05—0,01 мм, ничтожным количеством частиц крупнее 0,25 мм и небольшим содержанием глинистой фракции (не более 16%). Лёссовидные породы характеризуются более разнообразным гранулометрическим составом. Среди них выделяются лёссовидные пески, лёссовидные супеси, лёссовидные суглинки и даже лёссовидные глины.

Лёссовидные суглинки отличаются от типичных лёссов большим содержанием частиц < 0,01 мм и частиц < 0,001 мм, при этом содержание в них мелко- и тонкопесчаных частиц меньше, чем в лёссах. Общее содержание пылеватых частиц достигает до 50% и несколько более. Среди частиц пылевой фракции отмечается уменьшение крупной и возрастание мелкой пыли.

Лёссовидные глины имеют сходство с предыдущими породами: в них тоже почти отсутствуют частицы больше 0,25 мм (и даже больше 0,1 мм). Лёссовидные глины в основном состоят из частиц пылевой и глинистой фракции; количество частиц каждой из этих фракций обычно приближается или даже превосходит 40%.

Одним из критериев для отличия лёссов от лёссовидных пород служит отношение между крупнопылевыми (0,05 – 0,01 мм) и мелкопылевыми (0,01—0,002 мм) частицами. В лёссах это отношение составляет примерно 1,5—2 и более, а в лёссовидных породах близко к единице [4].

Пределы колебаний компонентов химического состава в лёссовых породах значительны ( $\text{SiO}_2$  — 43,1—78,0%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 4,0-17,54%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,4—9,79%;  $\text{CaO}$  — 2,68—15,9%,  $\text{MgO}$  — 0,69—3,89%;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 0,07—3,15%;  $\text{K}_2\text{O}$  — 0,19—2,8% и т. д.), что объясняется различиями в их гранулометрическом составе, а также в химическом составе пород местных областей сноса.

Химический состав связан с гранулометрическим составом. С увеличением степени дисперсности содержание  $\text{SiO}_2$  теряется, а  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  возрастает. Так, в среднечетвертичных светло-палевых лёссах Криворожья, являющихся по гранулометрическому составу легкими и средними суглинками, отношения  $\text{SiO}_2: (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  и  $\text{SiO}_2: \text{Al}_2\text{O}_3$  составляют 4,35 и 6,77, тогда как в нижнечетвертичных тяжелых суглинках они равны соответственно 3,23 и 4,97. Среднее содержание  $\text{CaO}$  в первом из этих грунтов— 10,11%, а во втором — 7,35%,  $\text{MgO}$ —соответственно 1,92 и 2,19%. По данным С. С. Морозова [1939], в лёссовых породах Калининской области отношение  $\text{SiO}_2: \text{K}_2\text{O}_3$  в лёссовидных суглинках легких равно 5,42, средних – 4,95,

тяжелых – 4,30; отношение  $\text{SiO}_2$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  равно, соответственно, 6,77; 6,25 и 5,03 [4].

Лёссовые породы полиминеральны. В их состав входит большое число минералов. В состав крупных фракций лёссовых пород (частицы крупнее 0,05 мм) входит более 50 различных минералов. Из них лишь 10-15 минералов являются породообразующими, а остальные относятся к акцессорным. 99-99,8% всех этих минералов представлены минералами легкой фракции (*удельный вес* плотность минеральной части менее  $2,75 \text{ г/см}^3$ ). Среди этой сравнительно большой группы минералов главная роль принадлежит кварцу и полевым шпатам; второстепенная – карбонатам, слюдам, гипсу, а другие минералы содержатся в значительно меньшем количестве.

Минеральный состав лёссовых пород зависит главным образом от их гранулометрического состава, характера пород в области сноса, направления процесса выветривания. Самое большое различие в ассоциациях коллоидно-дисперсных минералов наблюдается между лёссовыми породами низменных равнин, с одной стороны, и предгорий и склонов – с другой. Так, в пределах низменных равнин в глинистой фракции лёссовых пород главной составной частью являются гидрослюды, монтмориллонит и каолинит, а в горных и предгорных областях – гидрослюды и кварц (монтмориллонит и каолинит встречаются гораздо реже). Для отдельных районов отмечаются также различия в составе и содержании второстепенных коллоидно-дисперсных минералов. Однако эти различия практического значения для определения свойств лёссовых пород не имеют.

В лёссовых породах зерна диаметром крупнее 0,25 мм представлены кварцем, частицы фракций 0,25—0,01 и 0,01—0,005 мм — кварцем, полевыми шпатами, карбонатами, слюдой, тяжелыми минералами. Во фракции 0,005—0,001 мм находятся обломочные частицы, каолинит и гидрослюды; во фракции 0,001—0,0001 мм — гидрослюда, вторичный кварц, ферригаллуазит, каолинит, монтмориллонит; среди частиц менее 0,0001 мм преобладают монтмориллонит и органические соединения [2].

Лёссовая порода каждой области может быть минералогически обособлена. По данным В. П. Ананьева (1964) и А. С. Рябченкова (1955), в южнорусских лёссовых породах зерна кварца составляют до 80% легкой фракции. Содержание полевых шпатов составляет 15-20% (иногда – до 30%); представлены они хорошо сохранившимся слабо окатанным ортоклазом, в меньшей мере – плагиоклазами и микроклином. Карбонаты кальция присутствуют в количестве 10-30% в виде мелкокристаллических зерен и разнообразных конкреций. Иногда встречается доломит в форме мелких слабоокатанных ромбоэдрических зерен. Из других компонентов легкой фракции

встречаются слюды, обломки пород, глауконит, гипс, халцедон и др.

Судя по составу минералов, источником сноса для лёссовых пород Русской равнины были ледниковые и водно-ледниковые отложения. Лёссовые породы Предкавказья относятся к кавказской минеральной провинции. На склонах гор и в предгорьях лёссовые породы разнообразны по составу тяжелых минералов вследствие примеси местного материала; содержание в них кварца обычно меньше, а полевых шпатов больше, чем в лёссовых породах равнин.

Одной из наиболее характерных черт лёссовых пород является их карбонатность. В лёссовых породах европейской части России количество карбонатов колеблется от 0,1 до 20%. Суммарное содержание углекислой извести ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ) в лёссах Западной Европы изменяется от 0 до 35%, причем около 10% из них составляет  $\text{MgCO}_3$ . В лёссах Средней Азии содержание карбонатов обычно составляет 15-25%.

Содержание карбонатов изменяется в соответствии с географическими условиями местности: наименьшее их количество содержится в лёссовых породах районов повышенного увлажнения и, наоборот, наиболее высокое — в лёссовых породах засушливых районов.

В лёссовых породах наряду с минеральными веществами содержится и гумус, который приурочен к гумусированным прослоям и погребенным почвам, где его содержание не превышает 1,2%. В лёссах, залегающих между погребенными почвами, содержание гумуса всегда меньше 1 %.

#### **Водорастворимые соли**

Водорастворимые соли оказывают важное влияние на свойства лессовидных грунтов. В них преобладают карбонаты, встречаются также бикарбонаты, сульфаты и *хлориды*. Карбонаты кальция и магния и гипс присутствуют в твердом виде, более легкорастворимые соли — в твердом виде и растворе. Присутствие карбоната кальция сказывается на окраске лёссовых пород, способствует микроагрегации, устойчивости макропор, образованию и сохранению вертикальных отдельностей, созданию структурных связей.

Водорастворимые соли на суше образуются главным образом в процессе выветривания горных пород, а также выделяются при вулканических извержениях. Водорастворимые соли движутся в виде растворов от областей, в которых преобладают элювиальные процессы, к поймам и дельтам рек, внутриматериковым бессточным низменностям, морям и океанам. Отложения морей и озёр, расположенных в аридной зоне, содержат повышенное количество легкорастворимых солей. По пути движения к

конечным областям стока соли задерживаются в грунтовых водах, осадочных породах и почвах, вовлекаются в цикл биологического круговорота. Повышение концентрации солей вследствие испарения минерализованных грунтовых вод приводит к засолению поверхностных отложений.

Существует зональность в распространении простых солей в направлении от возвышенных областей к низменностям. Отмечается также зональность в распределении водорастворимых солей, зависящая от физико-географических условий. Так, например, содержание простых солей возрастает по мере повышения аридности климата.

Общее количество водорастворимых солей, характеризуемое плотным остатком водных вытяжек, в лёссовых породах России обычно изменяется от 20 до 2600 мг на 100 г породы (или от 0,02 до 2,6% породы). В ряде районов Средней Азии содержание легкорастворимых солей достигает 5%. В целом, засоленность лёссовых пород уменьшается по мере удаления от засушливых районов и морских побережий.

Содержание карбонатных солей колеблется от 0-10 до 15-20%, реже более. Основная масса карбонатов сосредоточена в пылеватой фракции, в типичных лёссах — от 59 до 84% от общего их количества в породе. В лёссах пустынной зоны значительное количество карбонатов приурочено к фракции тонкого песка (0,25-0,05 мм).

Из среднерастворимых солей в лёссовых породах преобладает гипс, находящийся в форме кристаллических друз, реже в виде точечных вкрапленников. Сульфаты концентрируются преимущественно во фракции более 0,01 мм. На распределение гипса существенное влияние оказывают условия рельефа и микрорельефа.

Легкорастворимые соли перемещаются в лёссовой толще в связи с выпадением атмосферных осадков и при колебаниях уровня грунтовых вод. Поэтому распределение солей изменяется во времени. Расположение горизонтов скопления легкорастворимых солей в лёссовой толще зависит от макро- и микрорельефа участка, коэффициента поверхностного стока и различий в водопроницаемости грунтов.

#### **Физико-химические свойства лёссовых грунтов**

Величина рН в лёссовых породах колеблется в значительных пределах — от 4,5 до 9,2, что связано с отличиями их в степени выщелоченности, присутствием простых солей, составом обменных катионов. В собственно лёссах рН изменяется примерно от 7 до 9. Реакция среды рН лёссовых пород изменяется зонально. В лёссовых породах лесной зоны карбонатные соли встречаются изредка и величина рН для них равна 4,5—7. В

лесостепной и степной зонах рН колеблется обычно от 7 до 8. Величина рН в системе почва —  $\text{CaCO}_3$  обычно не превышает 8,3. В лёссовых породах рН достигает 8,5—9,2. Подобная высокая щелочность объясняется присутствием в обменном комплексе  $\text{Ca}^+$  и появлением в растворе бикарбоната и карбоната натрия.

Между величиной рН лёссовых пород и количеством атмосферных осадков существует связь. Чем выше количество осадков, тем более выщелочены грунты. Наибольшая величина рН грунтов характерна для районов с засушливым климатом.

На возвышенностях лёссовые породы характеризуются более низким рН, чем на низменностях. Отложения подов также выщелочены и имеют более низкую величину рН, чем смежные с ними лёссовые породы.

Емкость поглощения лёссовых пород не превышает 20—30 мг-экв, тогда как для глин она достигает 70—80 мг-экв и более. Присутствие  $\text{CaCO}_3$  создает неограниченную возможность перехода  $\text{Ca}^{2+}$  в обменное состояние. Микроагрегатность и пленки карбонатных солей уменьшают поверхность, доступную для поровых растворов, что понижает емкость поглощения.

Емкость поглощения и состав обменных катионов также изменяются зонально. Наибольшая емкость поглощения наблюдается в полосе черноземов лесостепи и степи, где климатические условия благоприятствуют химическому выветриванию. В зоне полупустыни и пустыни емкость поглощения снижается в связи с сухостью климата и относительно грубодисперсным составом лёссовых пород.

Низкая ёмкость поглощения лёссовых пород в полосе серых почв лесостепи объясняется, по-видимому, влиянием грубозернистых подстилающих пород (аллювиальных и зандровых песков и супесей).

В лёссовых породах лесной зоны нередко присутствуют обменный  $\text{H}^+$ . В направлении на юг содержание обменных  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$  возрастает. Обменный  $\text{Na}$  отсутствует в лёссовых породах тайги и полосы серых лесных почв лесостепи. В полосе чернозёмов лесостепи количество его равно примерно 1 мг-экв, в пустынной зоне — 3-3,5 мг-экв.

### **Структурные связи лёссовых грунтов**

Одним из важнейших факторов, определяющих инженерно-геологические свойства грунтов, являются структурные связи, т. е. связи между структурными элементами грунта (частицами, микроагрегатами, агрегатами, зернами) [6].

Формирование структурных связей в грунтах происходит не по всей межфазной поверхности частиц, а только в местах их максимального сближения — контактах. Характер индивидуальных контактов, а также их количество являются важными

показателями структуры грунта, определяющими его прочностные, деформационные и многие другие инженерно-геологические свойства.

Несмотря на разнообразие минерального состава, размеров и форм структурных элементов, а также характера и степени заполнения порового пространства растворами, в грунтах можно выделить четыре основных типа контактов: коагуляционные; переходные; фазовые; контакты, возникающие в результате механического зацепления минеральных зёрен. Исходя из этого, в грунтах выделяют следующие виды структур: коагуляционные; переходные; кристаллизационно – цементационные; смешанные; раздельнозернистые (несвязные) структуры.

Каждая из этих структур отличается присутствием одного или нескольких типов контактов, определенным прочностным и деформационным поведением, а также характерными морфологическими особенностями (микростроением), т. е. определенным взаимным расположением структурных элементов с присущими им размерами и формой, а также ориентацией в пространстве.

Лёссы и лёссовидные образования относятся к грунтам с переходным типом структуры. В таких структурах преобладают переходные контакты, формирование которых идет в основном за счет ионно-электростатических связей в ходе регрессивного литогенеза и прежде всего – обезвоживания (подсушивания) грунта.

Пылеватые лёссы и лёссовидные грунты, обладают высокопористой переходной структурой. При взаимодействии с водой они практически не набухают, а при приложении внешней нагрузки существенно сокращают свой объем и дают просадку.

Одним из важнейших факторов просадочности лёссов и лёссовидных грунтов является снижение прочности структурных связей при увлажнении вследствие трансформации переходных контактов в коагуляционные. Такой переход не сопровождается увеличением объема системы из-за высокой ее пористости, а приводит к тому, что даже при небольших внешних нагрузках она начинает быстро уплотняться вследствие отсутствия порового давления. Большинство грунтов с переходными структурами представляет собой водонасыщенные трехкомпонентные системы, в которых при приложении внешнего нормального напряжения не возникает порового давления вследствие свободного перераспределения воды внутри порового пространства.

Стоит также отметить влияние на прочность породы карбонатов, особенно высокодисперсных, так как они создают достаточно прочные, слаборастворимые кристаллизационные связи между отдельными частицами в лёссовых породах. Кроме того, они обуславливают значительную насыщенность поглощающего комплекса

лёссов кальция, что приводит к агрегации глинистой и коллоидной фракций.

### **Физико-механические свойства лёссовых пород**

Рассматривая свойства лёссовых пород, необходимо иметь в виду, что лёссовые образования, являющиеся полидисперсными, полиминеральными образованиями с различными типами структур, формируются в результате различных генетических, диагенетических и эпигенетических процессов. Большое разнообразие факторов, действующих в условиях континентальной поверхности, неизбежно приводит к разнотипности лёссовых пород, как по составу и строению, так и по их инженерно-геологическим свойствам. Ниже будут приведены основные физико-механические свойства лёссовых пород, распространённых на территории нашей страны.

*Плотность минеральной части  $\rho_s$*  лёссовых грунтов колеблется от 2,54 до 2,84 г/см<sup>3</sup>, наиболее часто она равен 2,60-2,75 г/см<sup>3</sup>. Среднее значение плотности минеральной части составляет 2,67 г/см<sup>3</sup>. Наиболее низкие значения этого показателя свойственны гумусированным лёссовым породам (2,54-2,60 г/см<sup>3</sup>).

*Плотность грунта  $\rho$*  колеблется от 1,33 до 2,03 г/см<sup>3</sup>. Плотность грунта зависит от его влажности, и изменяется зонально: в засушливых районах она имеет меньшее значение по сравнению с гумидными областями.

*Плотность скелета грунта  $\rho_d$*  лёссовых пород колеблется от 1,12 до 1,79 г/см<sup>3</sup>, наиболее часто она составляет 1,40-1,60 г/см<sup>3</sup>. Эта величина во многих районах увеличивается с глубиной. Эта величина также коррелируется с просадочностью лёссовых пород: имеется общая тенденция к понижению просадочности при плотности скелета лёссовых пород более 1,40 г/см<sup>3</sup>. Однако в целом ряде районов лёссовые грунты с более высокой плотностью скелета также оказались просадочными.

*Пористость  $n$* . В сухом состоянии лёссовые грунты отличаются повышенной пористостью (от 45 до 55%) и характерной способностью к резкому уплотнению при замачивании водой.

*Естественная влажность  $W$*  лёссовых пород изменяется в широких пределах – от 1 до 40%. Наиболее часто она колеблется от 5 до 20-25 %. Величина естественной влажности лёссовых пород зависит от климатических и гидрогеологических условий местности. В засушливых районах с глубоким залеганием грунтовых вод (Средняя Азия, юг Украины, Ставрополье) лёссовые породы имеют, как правило, небольшую естественную влажность (3-20%). В областях с большим количеством атмосферных осадков и неглубоким залеганием грунтовых вод (центр европейской части России, север Украины, Западная Сибирь) влажность лёссовых пород (16-35%) обычно выше

влажности нижнего предела пластичности.

*Число пластичности*  $I_p$  лёссов обычно колеблется в пределах 4-10, лёссовидных суглинков – 7-18; лишь у лёссовидных глин, развитых сравнительно нешироко, число пластичности выше (до 25-30). Невысокая пластичность большей части лёссовых пород хорошо увязывается с особенностями их химико-минералогического состава и дисперсностью.

*Коэффициент водонасыщения*  $S_r$  лёссовых пород, как правило, всегда меньше 0,8, что также является важным признаком для распознавания просадочных лёссовых пород.

Одним из наиболее характерных признаков лёссовых пород является их низкая *водопрочность*. Она выражается в их быстром размокании и значительной размываемости. Именно это свойство благоприятствует развитию оврагов в районах распространения лёссовых толщ. *Коэффициент фильтрации*  $K_f$  лёссовых пород не статичен и может изменяться от 0,001 до 8,5 м/сутки.

*Коэффициент сжимаемости*  $a$  лёссовых пород изменяется в широких пределах: его величина колеблется от 0,005 до 0,067 см<sup>2</sup>/кг в интервале нагрузок 1-2 кг/см<sup>2</sup>. Она теснейшим образом связана с влажностью пород, а также с их структурными особенностями. Лёссы и лёссовидные грунты, имеющие небольшую естественную влажность, обладают незначительной сжимаемостью, осадка их под нагрузкой очень невелика. Увеличение влажности, а тем более насыщение пород водой резко снижает их сопротивление сжатию.

*Величина модуля общей деформации*  $E$  лёссовых пород, характеризующая, как и коэффициент сжимаемости, деформационные свойства, изменяется от 23 до 520 кг/см<sup>2</sup>. Наиболее высокие значения модуля деформации свойственны породам с влажностью ниже 17-18%. Модуль деформации сильно увлажненных лёссовых пород (с влажностью более 20-25%), как правило, ниже 150 кг/см<sup>2</sup>. У пород в водонасыщенном состоянии его величина оказывается в большинстве случаев меньше 45-50 кг/см<sup>2</sup>.

*Сопротивление сдвигу*  $\tau$  лёссовых пород определяется их физическим состоянием: в сухом состоянии его величина значительная, при увлажнении пород она сильно снижается. Величина угла внутреннего трения  $\varphi$  лёссовых пород в зависимости от приложенного нормального давления и влажности изменяется от 5 до 31°, а сцепление  $C$  – от 0 до 0,42 кг/см<sup>2</sup>. Одной из характерных особенностей лёссовых пород является значительное снижение их сопротивления сдвигу в момент замачивания: угол внутреннего трения уменьшается на 4-8°, величина сцепления также значительно

падает.

### **Просадочность лёссовых пород**

Отличительной особенностью лёссовых грунтов является их склонность к просадочности. Просадочность горных пород — это потеря ими связности при увлажнении с последующим быстрым уплотнением под весом вышележащих пород и нагрузкой от зданий и сооружений. Явление просадочности характерно только для лёссов и лёссовидных грунтов, которые характеризуются повышенной макропористостью, и связано с разрушением их структурных связей под воздействием воды.

В связи с большой пространственной изменчивостью лёссовых грунтов, а также обилием источников их естественного и искусственного увлажнения, такие грунты способны к проявлению неравномерных по площади, времени и масштабам просадок, что может привести к деформациям зданий, расположенных на неравномерно проседающих грунтах. Из-за большой скорости протекания процесса просадки такие деформации часто приводят к аварийным ситуациям.

Многие исследователи отмечают, что за последние 20—30 лет к проблеме просадочности присоединилась новая проблема техногенного характера — подтопление (обводнение) лёссовых пород на освоенных территориях. В связи с этим возросло число аварийных ситуаций, в результате которых нарушается нормальная эксплуатация зданий (в том числе жилых домов) и сооружений (особенно гидротехнических).

Таким образом, широкое распространение лёссовых пород и их специфическое свойство (просадочность) определяют значение этих пород в условиях интенсивного техногенеза и большой интерес к ним в инженерной геологии.

Более подробно стоит рассмотреть процессы, способствующие формированию просадочности. Особый интерес к проблеме формирования просадочности появился после выхода в свет классической работы Н. Я. Денисова (1946), в которой впервые была предложена теория просадочности, названная в последующих работах принципом Денисова. Главной причиной просадочности Н. Я. Денисов считал более высокую пористость лёссовых пород по сравнению с нормальной при данном напряженном состоянии. Породы с нормальной пористостью, по его мнению, в природных условиях находятся в равновесии и называются нормально уплотненными породами, а просадочные лёссы являются недоуплотненными [9].

Недоуплотнённое состояние, согласно Н. Я. Денисову может быть вызвано

множеством факторов – составом и способом отложения осадков, структурными связями между минеральными частицами, скоростью нарастания вышележащей толщи, влажностью, а также разуплотнение отложившихся разными способами осадков в результате изменения температурного режима и почвообразовательных процессов и так далее.

По результатам исследований Н. Я. Денисова и Ю. М. Абелева, до 80 % от общей просадки происходит в течение 30 мин с момента замачивания. Механизм разрушения структурных связей Н. Я. Денисов связывает с расклинивающим давлением тонкого слоя воды, возникающем на контактах между частицами. Эта теория нашла дальнейшее развитие в трудах многих отечественных и зарубежных исследователей [7].

Многие исследователи, например Г.А. Мавлянов, придерживаются также теории генетической природы просадочности. Они считают, что разделение лёссовых пород на генетические типы позволит прогнозировать их просадочность. В частности, лёссы эолового и пролювиального происхождения наиболее просадочны, а аллювиальные лёссовидные отложения непросадочны. [9].

В последние годы на кафедре инженерной геологии МГУ под руководством Е.М. Сергеева разрабатывалась новая теория происхождения просадочности лёссовых пород, а точнее их недоуплотнённого состояния в результате разуплотнения или сублимации льда в условиях сезонного промерзания. Итог по состоянию изученности природы просадочности подвёл Н.И. Кригер (1986). Во-первых, в основе теории просадочности лежит принцип Денисова о недоуплотнённом состоянии лёссовых пород. Во-вторых, он нашёл много общего в выдвинутых предложениях и причинах просадочности. Так, например, представления В.А. Приклонского и А.К. Ларионова о многофакторности происхождения просадочности основываются на принципе Денисова. Генетический подход Г.А. Мавлянова присутствует в концепции Н.И. Кригера о роли географической среды в формировании просадочности, а Е.М. Сергеев отвёл эту роль геологической обстановке. В конечном итоге точка зрения Н.И. Кригера сводится к тому, что решение проблемы о формировании просадочности лёссовых пород может быть найдено на основе роли географической среды в этом процессе.

Большая роль в изучении просадочности грунтов принадлежит В.Т. Трофимову, Особенности этого явления отмечены во многих его работах, и основные закономерности проявления просадочности охарактеризованы следующим образом:

Так как лёссовые грунты формируются в основном в зонах с аридным климатом, то недостаток влаги способствует сохранению их недоуплотнённого состояния, а

следовательно и просадочности. С увеличением же влажности грунт постепенно уплотняется, таким образом, грунты обладающие большей естественной влажностью будут менее просадочными, чем такие же грунты с меньшей влажностью. Так, было установлено, что с ростом коэффициента водонасыщения (степени заполнения пор водой) коэффициент относительной просадочности грунтов закономерно и нелинейно снижается.

При поступлении в поры грунта вода играет роль смазки, облегчающей переориентацию частиц в более «плотное» состояние, также она ослабляет прочность структурных связей, переводя часть переходных контактов в коагуляционные, частично растворяя цементационные и так далее. В процессе просадки существенно меняется микростроение грунта: крупные агрегаты распадаются, крупные макропоры смыкаются, частицы формируют более плотную упаковку и т.д.

Именно поэтому, согласно В.Т. Трофимову, просадочностью могут обладать лишь недоуплотнённые, имеющие высокую пористость, маловлажные грунты с неводостойкими структурными связями. [6].

Как отмечено у И.П. Иванова: «Анализируя огромное количество работ, выполненных специалистами разных направлений (геологов, географов, строителей) с точки зрения современных задач по оценке и прогнозу просадочности лёссовых пород при их взаимодействии с техногенной средой на территориях с лёссовым покровом, можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Просадочность определяется как свойство лёссовых макропористых пород особого, недоуплотненного, состояния, проявляющееся при замачивании под давлением в форме быстрого неравномерного уплотнения.

2. Просадочность характерна для лёссовых пород разного генезиса и контролируется их физическим и напряженным состоянием.

3. Процесс просадки осуществляется поэтапно: замачивание, разрушение водонеустойчивых структурных связей (разупрочнение системы), переход в движение легкоподвижных пылеватых частиц, уплотнение всей системы, наступление равновесия, соответствующего степени воздействия по увлажнению и давлению.

4. Формирование физического состояния лёссовых пород (плотность, влажность, связность), обуславливающего их просадочность, является геологическим процессом, происходящим в определенной географической (главным образом климатической) обстановке, начиная с момента осаждения и проходя через все стадии изменения осадка и превращения в породу.

5. Структурные связи в лёссовых породах характеризуются

водонеустойчивостью.

6. Многофакторность процесса формирования просадочности лёссовых пород отражается на ее величине и изменчивости в пространстве и во времени. В условиях интенсивного техногенеза большую роль в этом следует отводить деятельности человека, которая направлена на деградацию просадочности.

7. При освоении территорий, сложенных лёссовыми породами, инженерно-геологические изыскания должны заканчиваться оценкой их физического состояния и прогнозом просадочности по всем прямым и косвенным признакам» [9].

Увлажнение лёссовых пород приводит к растворению их цементационных связей и разрушению макропористой текстуры, что сопровождается резкой потерей прочности грунта, значительными и быстро развивающимися деформациями уплотнения – просадками.

### **Глава 3. Методы исследования просадочных грунтов**

Просадочность – это свойство лёссовой горной породы, проявляющееся в уменьшении объёма породы при замачивании под собственным весом, либо под действием внешних нагрузок. Для выявления просадочных свойств грунта применяют методы, которые принято разделять на косвенные и прямые.

**Косвенные методы** определения просадочности служат для определения склонности тех или иных грунтов к просадке. В связи с этим, они используются на самых ранних стадиях изучения лёссовых грунтов на территории с целью её предварительного районирования и выделением наиболее опасных участков по потенциальной угрожаемости лёссов к просадкам. На основе их оценки производится выбор методики дальнейшего изучения грунтов и обоснования назначений специализированных полевых и лабораторных испытаний, ориентировочной оценки объёмов работ. Но они не позволяют численно оценить величину просадочности лёссовых грунтов в отличие от прямых методов [11].

**Прямые методы** исследования грунтов на просадочность применяют непосредственно для получения численных характеристик просадочности, которые вычисляют посредством обработки данных, полученных в ходе специализированных полевых или лабораторных испытаний грунтов на просадочность.

### 3.1. Косвенные методы исследования просадочности

Косвенные методы исследования просадочности используют так называемые «визуальные показатели» и косвенные показатели (критерии) [9].

**Визуальные показатели** оценивают следующие признаки.

*Климат и рельеф территории.* Для просадочных лёссовых пород характерен, как правило, сухой климат. Наибольших мощности такие породы достигают на водораздельных плато и высоких террасах. При наличии на участке пластов лёссовых грунтов, на поверхности могут быть отчётливо видны характерные формы рельефа, появляющиеся вследствие неравномерного или локального проседания грунтов. К таковым относятся степные блюдца, различные поды, овраги, воронки и котловины и так далее.

*Мощность лёссовых пород.* Малая мощность лёссовых пород на участке (менее 5 метров) может стать причиной классифицирования данных грунтов как непросадочных.

*Глубина залегания грунтовых вод.* Под категорию непросадочных попадают лёссовые грунты с залеганием горизонта грунтовых вод на глубине менее 5 метров.

Лёссовые породы также обладают характерным *минеральным и гранулометрическим составом*. Для них характерно содержание в образце более 50-80% пылеватых частиц, с преобладанием крупной пыли размером 0,01 – 0,05 мм. Глинистые минералы в лёссах представлены в основном каолинитом и гидрослюдой.

*Внешний облик пород.* Лёссы обладают довольно светлым палевым окрасом, а также часто заметной макропористостью. Для них характерно наличие карбонатных, а также гипсовых или соляных включений, в том числе в виде конкреций. Набор данных признаков позволяет выделить лёссовые грунты на обнажении.

**К косвенным показателям (критериям)** относятся расчётные показатели, основными из которых являются: коэффициент пористости  $e$ , плотность скелета грунта  $\rho_d$ , коэффициент водонасыщения  $S_r$ , показатель просадочности  $\Pi$ , а также коэффициент снижения структурной прочности при увлажнении  $K_c$ , показатель макропористости  $K_y$ , индекс просадочности  $I_n$  и коэффициент дефицита влажности  $K$ .

*Коэффициент пористости:*  $e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$  или  $e = \frac{n}{1-n}$ , где  $\rho_s$  – плотность слагающих породу минеральных частиц,  $\text{г/см}^3$ ,  $\rho_d$  – плотность скелета грунта,  $\text{г/см}^3$ , а  $n$  – пористость грунта в долях единицы. Поскольку одним из условий просадочности является высокая пористость и большой объём пор грунта, то по значению данного

коэффициента можно судить о возможности просадки грунта. Таким образом, чем больше этот коэффициент, тем более просадочным может оказаться грунт.

*Плотность скелета грунта:*  $\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$ , где  $\rho$  – естественная плотность грунта в г/см<sup>3</sup>,  $w$  – естественная влажность грунта в %. Чем меньше плотность скелета грунта, тем рыхлее считается грунт и тем более склонен он к явлениям просадки.

На основе коэффициента пористости и плотности скелета грунта предложено разделять лёссовые грунты на 3 группы: средней плотности –  $e < 0,7$ ;  $\rho_d > 1,6$  т/м<sup>3</sup>, рыхлые –  $e$  от 0,7 до 1,0;  $\rho_d$  от 1,35 до 1,6 т/м<sup>3</sup>, очень рыхлые –  $e > 1,0$ ;  $\rho_d < 1,35$  т/м<sup>3</sup>. [12]. Согласно данной классификации, грунты, подходящие под категорию средней плотности, будут непросадочными при любых других физических характеристиках и любых нагрузках. Очень рыхлые грунты, напротив, практически всегда будут обладать просадочными свойствами с наибольшим показателем относительной просадочности. Категория рыхлых грунтов является промежуточной между двумя предыдущими, поэтому просадочность грунтов данной категории будет зависеть, главным образом, от их влажности.

*Коэффициент водонасыщения пород  $S_r$ :*  $S_r = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}$ , где  $w$  – природная влажность грунта,  $\rho_s$  – плотность частиц грунта т/м<sup>3</sup>,  $\rho_w$  – плотность воды, принимаемая равной 1 т/м<sup>3</sup>,  $e$  – коэффициент пористости. Является одним из главных характеристик лёссовых грунтов. Считается, если  $S_r > 0,8$ , грунты – просадочные. По данному показателю предложена более подробная классификация лёссовых грунтов, с делением грунтов на следующие три группы: маловлажные –  $S_r < 0,5$ ; влажные –  $S_r$  от 0,5 до 0,7; очень влажные –  $S_r > 0,7$ . Ярво выраженными просадочными свойствами обладают маловлажные грунты, особенно если при этом они относятся к рыхлым или очень рыхлым. Очень влажные, напротив, являются по большей части непросадочными, так как их структурные связи могут быть уже разрушены, а грунт уплотнён [12]. На основе пористости, плотности скелета грунта и степени влажности составлена обобщённая таблица зависимости просадочности лёссовых пород от их коэффициента пористости, плотности и коэффициента водонасыщения, с делением грунтов на 5 основных категорий от непросадочных до чрезвычайно просадочных (таблица 1).

**Взаимосвязь просадочности лёссовых пород с их плотностью и коэффициентом водонасыщения [12].**

Разновидности грунтов по степени просадочности	Коэффициент пористости (плотность скелета грунта $\rho_d$ , т/м <sup>3</sup> )	Степень влажности $S_r$
Непросадочные «Условно просадочные»	1) $e \leq 0,7$ ( $\rho_d \geq 1,6$ ) 2) $e > 0,7$ ( $\rho_d < 1,6$ ) 3) $e < 0,7$ ( $\rho_d > 1,6$ ) 4) $0,7 < e \leq 0,8$ ( $1,6 > \rho_d \geq 1,5$ )	1) $S_r > 0,5$ 2) $S_r \geq 0,8$ 3) $S_r < 0,5$ 4) $0,5 < S_r \leq 0,7$
Слабопросадочные	1) $0,7 \leq e \leq 0,8$ ( $1,6 > \rho_d \geq 1,5$ ) 2) $e > 0,8$ ( $\rho_d \leq 1,5$ )	1) $S_r < 0,7$ 2) $S_r > 0,7$
Среднепросадочные	1) $0,8 < e < 0,9$ ( $1,5 > \rho_d \geq 1,4$ ) 2) $e > 0,9$ ( $\rho_d < 1,4$ )	1) $S_r < 0,5$ 2) $S_r > 0,5$
Сильнопросадочные	1) $0,9 < e \leq 1,05$ ( $1,4 > \rho_d \geq 1,3$ ) 2) $e > 1,5$ ( $\rho_d < 1,3$ )	1) $S_r < 0,3$ 2) $S_r > 0,3$
Чрезвычайно просадочные	$e > 1,05$ ( $\rho_d < 1,3$ )	$S_r < 0,3$

Классификация, представленная в таблице, даёт наиболее точное представление о просадочности лёссовых пород, поскольку базируется сразу на трёх признаках, характеризующих просадочные грунты.

*Показатель просадочности П (показатель П; показатель уплотнения П)* характеризует естественную недоуплотнённость лёссовых пород:  $P = \frac{e_L - e}{1 + e}$ , где  $e$  – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности,  $e_L$  – коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести ( $W_L$ ).  $e_L = W_L * \frac{\rho_s}{\rho_w}$ , где  $\rho_s$  – плотность твёрдых (минеральных) частиц грунта,  $\rho_w$  – плотность воды, принимаемая равной 1. При помощи показателя просадочности и числа пластичности ( $I_p$ , %) можно выделить породы, обладающие просадочными свойствами. Так к просадочным относятся грунты со следующим сочетанием данных характеристик:  $P < 0,1$  при  $I_p$  от 1 до 10;  $P < 0,17$  при  $I_p$  от 10 до 17;  $P < 0,24$  при  $I_p$  от 14 до 22. [20]

*Показатель макропористости Н.Я. Денисова:*  $K_y = \frac{e_L}{e}$ , где  $e$  – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности,  $e_L$  – коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести. К просадочным относятся грунты с  $K_y < 1$ . При этом разницу между коэффициентами пористости грунта естественной влажности и на границе текучести  $e - e_L$  Денисов называл макропористостью, при наличии которой лёсс склонен к просадке [7].

Показатель уплотнённости В.А. Приклонского:  $K_d = \frac{e_L - e}{e_L - e_p}$ , где  $e_p$  -

коэффициент пористости при влажности на пределе пластичности ( $W_p$ ):

$e_p = W_p * \frac{\rho_s}{\rho_w}$ . По характеристике  $K_d$  породы разделяются: на нормально уплотнённые при  $K_d = 0$ , недоуплотнённые (просадочные) при  $K_d < 0$ , и переуплотнённые при  $K_d > 0$  [9].

Индекс просадочности  $I_n$  (по И.П. Иванову) зависит от влажности и пористости грунта.  $I_n = \frac{w}{0,64 \frac{n-0,28}{1-n}}$  или  $I_n = \frac{1,56 w * (1-n)}{n-0,28}$ , где  $w$  - естественная влажность, а  $n$  - пористость грунта при естественной влажности. Согласно многочисленным исследованиям, для просадочных грунтов характерно значение индекса просадочности  $I_n < 1$ , а для непросадочных  $I_n \geq 1$  [8].

Коэффициент дефицита влажности  $K$ , предложенный А.К. Ларионовым, также основывается на пористости и объёмной влажности:  $K = \frac{W_0}{n - W_0}$ . Непросадочными являются грунты с коэффициентом дефицита влажности  $K > 1,1 - 1,2$  [9].

На основе большого объёма исследований, проводимых по определению просадочности лёссовых грунтов косвенными и прямыми методами, в работах И.П. Иванова указывается: «недостатком всех косвенных методов прогноза склонности к просадке, базирующихся на оценке физического состояния лёссовых пород, является неучёт напряжённого состояния, в котором происходит замачивание и принятие постоянным значение уплотняющей нагрузки  $p = 0.3$  МПа. Это допущение приводит к уменьшению риска пропустить просадочные разновидности, но к увеличению объёма лабораторных исследований, включая в опытные образцы часть непросадочных пород при давлениях  $p < 0.3$  МПа». В тоже время, он подчёркивает, что такой подход для предварительной оценки и прогноза просадочности грунтов, вполне оправдан [9].

В связи с этим, как указывалось выше, необходимо определение относительной просадочности грунтов специальными лабораторными и полевыми методами.

**Сводная таблица характеристик, необходимых для вычисления косвенных показателей**

Косвенный показатель	Необходимые физические и механические характеристики	Принцип классификации	Отличительная особенность показателя
Коэффициент пористости $e$ и плотность скелета грунта $\rho_d$	$e (\rho_s, \rho, w)$ ; $\rho_d (\rho, w)$	средней плотности – $e < 0,7$ ; $\rho_d > 1,6 \text{ т/м}^3$ , рыхлые – $e$ от 0,7 до 1,0; $\rho_d$ от 1,35 до 1,6 $\text{т/м}^3$ , очень рыхлые – $e > 1,0$ ; $\rho_d < 1,35 \text{ т/м}^3$ .	Классификация основана на выделенных ранее характерных для просадочных грунтов физических показателях, и использовании их в совокупности для определения склонности грунта к просадочности. То есть, определения, насколько представленный грунт близок по этим показателям к эталонному просадочному образцу.
Коэффициент водонасыщения пород $S_r$	$S_r (w, \rho_s, \rho, \rho_w)$	маловлажные – $S_r < 0,5$ влажные – $S_r$ от 0,5 до 0,7 очень влажные – $S_r > 0,7$	
Коэффициент пористости $e$ , плотность скелета грунта $\rho_d$ и коэффициент водонасыщения пород $S_r$	$e (\rho_s, \rho, w)$ ; $\rho_d (\rho, w)$ ; $S_r (w, \rho_s, \rho, \rho_w)$	См. таблицу 1	
Показатель просадочности $\Pi$	$e (\rho_s, \rho, w)$ ; $e_L (W_L, \rho_s, \rho, \rho_w)$	Грунты просадочны при: $\Pi < 0,1$ при $I_p$ от 1 до 10, $\Pi < 0,17$ при $I_p$ от 10 до 14 $\Pi < 0,24$ при $I_p$ от 14 до 22	Данный показатель характеризует естественную недоуплотненность лёссовых пород. Для классификации также необходимо значение числа пластичности.
Показатель макропористости $K_y$ Н.Я. Денисова		Грунт просадочен при $K_y < 1$	Основывается на отношении коэффициента пористости при влажности на пределе текучести к коэффициенту пористости при естественной влажности грунта. То есть, грунт считается просадочным при $e > e_L$ .
Показатель уплотнённости $K_d$ В.А. Приклонского	$e (\rho_s, \rho, w)$ ; $e_L (W_L, \rho_s, \rho, \rho_w)$ $e_p (W_p, \rho_s, \rho, \rho_w)$	$K_d < 0$ – недоуплотнённый (просадочный) грунт, $K_d = 0$ – начальной степени уплотнения, $0 < K_d < 1$ – соответствует пластичному состоянию, $K_d = 1$ – переходит в полутвёрдое состояние, $K_d > 1$ – переуплотнённый, полутвёрдый.	Классификация построена на взаимоотношении величин коэффициентов пористостей при природной влажности, влажности на границе текучести и границе раскатывания. Показатель Приклонского по формуле напоминает показатель просадочности $\Pi$ , но отличается использованием коэффициента пористости при влажности на пределе пластичности.
Индекс просадочности $I_{\Pi}$	$w$ ; $n (\rho_s, \rho, w)$	Грунт просадочен при $I_{\Pi} < 1$	Представляет собой зависимость с участием множества коэффициентов, полученных в ходе многочисленных лабораторных испытаний
Коэффициент дефицита влажности $K$	$W_0 (\rho, w)$ ; $n (\rho_s, \rho, w)$	Грунт просадочен при $K < 1,1 - 1,2$	Представляет собой отношение процента содержания влаги в порах к заполняющим их газам. Таким образом, если влаги в порах грунта меньше чем воздуха и других газов, грунт считается просадочным.

## 3.2. Прямые методы исследования просадочности

Прямое определение просадочности осуществляется путем лабораторных или полевых экспериментальных испытаний. По данным прямых определений величины относительной просадочности устанавливается тип грунтовых условий, т. е. степень опасности просадочных явлений для данного грунта и комплекс мероприятий, применяемых для их устранения и недопущения.

К просадочным грунтам относятся лёссовидные грунты, у которых величина относительной просадочности  $\varepsilon_{sl} > 0,01$ .

### Лабораторные испытания грунтов

В лабораторных условиях для оценки просадочности грунтов предусматривается проведение испытаний на специальных компрессионных приборах. Характеристики просадочности определяют по относительной деформации, полученной по результатам испытаний образцов грунта ненарушенного сложения. Испытания проводятся на образцах грунта с замачиванием их водой, при давлении, последовательно увеличиваемом ступенями.

Испытания просадочных грунтов в компрессионных приборах можно проводить по схемам:

- "одной кривой" - для определения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  при одном заданном значении давления,
- "двух кривых" - для определения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  при различных давлениях, а также начального просадочного давления  $p_{sl}$ .

Для испытаний рабочим кольцом компрессионного прибора методом режущего кольца из открытых выработок отбираются образцы грунта ненарушенного сложения (монолиты). Схема конструкции наиболее распространённого прибора для определения просадочности в лабораторных условиях представлена на рисунке 2.

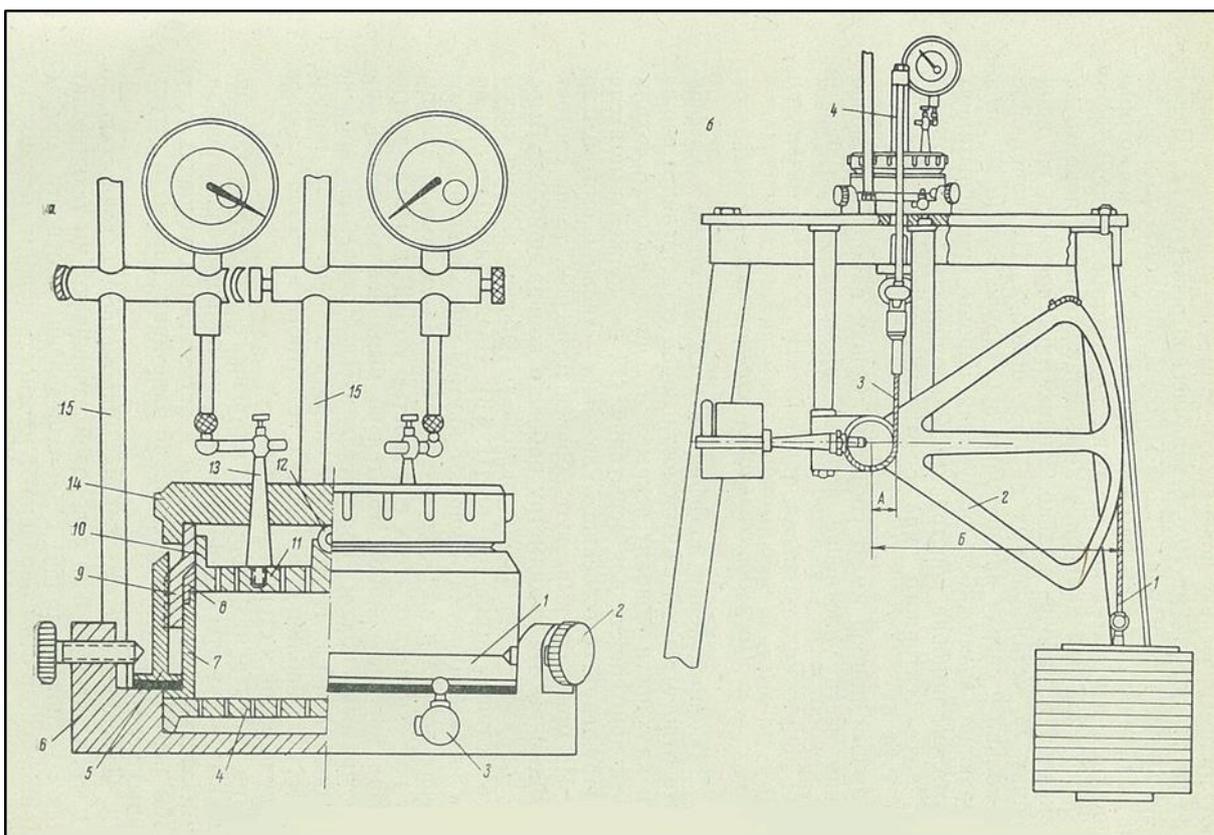


Рис. 2. Схема строения компрессионно-фильтрационного прибора конструкции Гидропроекта. а – общий вид прибора; б – рычажный пресс секторного типа: 1 – подвеска для грузов, 2 – секторный рычаг с противовесом, 3 – тяга, 4 – нагрузочная рамка. (В.Д. Ломтадзе, 1990 г).

Рабочее кольцо с образцом грунта, торцы которого предварительно покрывают бумажными фильтрами, помещают на перфорированное дно поддона компрессионного прибора острым краем вверх, и затем проводят сборку компрессионного прибора: завинчивают соединительную муфту и устанавливают перфорированный штамп. На штамп также устанавливают индикаторы и записывают их начальные показания в журнал испытаний.

Для испытаний просадочных грунтов применяют компрессионные приборы, состоящие из следующих основных узлов и деталей: рабочего кольца с диаметром  $d = 70 - 90$  мм и высотой  $h$  от 20 до 30 мм (при соотношении  $d/h \geq 3$ ); поддона с емкостью для воды и перфорированной крышкой; перфорированного штампа; цилиндрической обоймы; двух индикаторов с ценой деления шкалы 0,01 мм для измерений вертикальных деформаций образца грунта, и механизма вертикальной нагрузки образца грунта. По специальному заданию могут применяться и другие конструкции приборов, которые помогают смоделировать процесс нагружения грунта в определённых условиях.

Конструкция компрессионного прибора должна обеспечивать: центрированную передачу нагрузки на штамп (образец грунта), подачу воды к образцу снизу и отвод её, возможность нагрузки на штамп ступенями давления и постоянство каждой ступени, невозможность бокового расширения образца грунта, неподвижность рабочего кольца при испытаниях, измерение вертикальных деформаций образцов грунта с точностью до 0,01 мм и передачу нагрузки на штамп. [28].

При испытаниях по схеме "одной кривой" нагрузку штампа на образец грунта с природной влажностью прикладывают ступенями до заданного давления  $p_3$ , значение которого следует принимать равным значению суммарного давления  $p_e$  от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии и от проектируемого фундамента, или только от веса грунта на глубине отбора образца, в зависимости от вида просадочных деформаций, для расчета которых и определяются характеристики просадочности. После условной стабилизации осадки образца грунта на последней ступени давления, соответствующей  $p_3$ , образец грунта замачивают водой, продолжая замачивание до условной стабилизации просадки.

По результатам исследований строят одну компрессионную кривую для опыта под водой, и одну прямую, продолжающую отрезок, полученную по данным опыта в условиях естественной влажности (см. рис. 3). Таким образом, по испытаниям на одном образце можно построить график зависимости  $\varepsilon_{sl} = f(p)$  и по нему определить начальное просадочное давление и значения относительной просадочности, необходимые для дальнейших исследований.

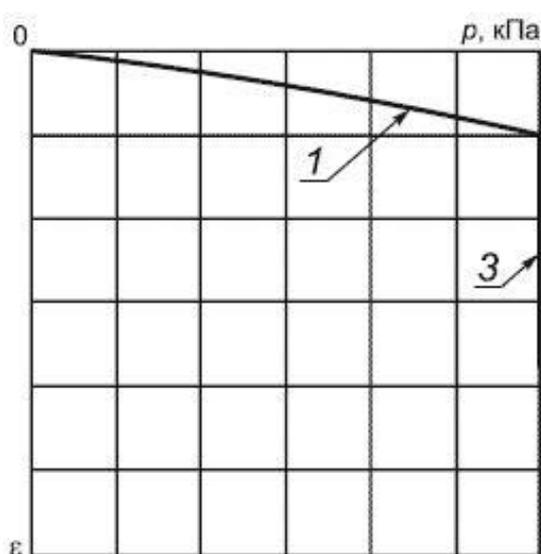


Рис. 3. График зависимости относительного сжатия грунта от давления для испытания просадочного грунта в компрессионном приборе для схемы «одной кривой».

1 – относительное сжатие  $\varepsilon_e$  грунта с природной влажностью в зависимости от давления, 3 – дополнительное относительное сжатие грунта в результате замачивания (относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$ ) при заданном давлении  $p_3$ . [28].

Относительную просадочность грунта  $\epsilon_{sl}$  при заданном давлении  $p_3$  при испытаниях по схеме "одной кривой" определяют как дополнительное относительное сжатие образца грунта в результате замачивания.

Испытания по схеме "двух кривых" проводят на двух образцах грунта, отобранных из одного монолита. Один образец испытывают по схеме «одной кривой», а второй образец до приложения нагрузки замачивают до полного водонасыщения. Затем ступенями производят нагружение образца до заданного давления  $p_3$ , при этом продолжая замачивание. Значение  $p_3$  в испытаниях по схеме "двух кривых" принимают в интервале от 200 до 400 кПа с учетом предполагаемого давления в основании проектируемых фундаментов, но не менее значения давления от собственного веса грунта  $p_e$  с учетом веса возможной планировочной насыпи и не менее  $p_e + 50$  кПа.

Ступени давления в испытаниях по обеим схемам чаще всего принимают равными 50 кПа. Каждая ступень давления выдерживается до условной стабилизации осадки и просадки образца грунта. За критерий условной стабилизации осадки и просадки принимается приращение осадки и просадки образца, не превышающее 0,01 мм за 3 часа. После приложения каждой ступени давления или после замачивания образца грунта производят отсчеты по индикаторам, регистрирующим осадки и просадки образца: через 5, 10 и 30 минут от начала испытаний, затем через каждый час до конца рабочего дня, а в последующие дни - через каждые 3 часа до условной стабилизации осадки и просадки.

По результатам испытаний просадочного грунта в компрессионном приборе получают следующие характеристики:

1. Величины осадки и просадки (абсолютного сжатия) образца грунта  $S$  (или  $\Delta h_i$ ) в мм с точностью 0,01. Эта величина вычисляется как средние арифметические значения показаний индикаторов;
2. Величину высоты образца грунта  $h_0$  с природной влажностью при природном давлении (на глубине отбора образца). Вычисляется как разность между начальной высотой образца  $h_n$  (высота рабочего кольца) и  $\Delta h_e$  — абсолютным сжатием грунта с природной влажностью при природном давлении:  $h_0 = h_n - \Delta h_e$
3. Значение коэффициента пористости при каждой ступени нагрузки по изменению высоты образца в процессе его уплотнения (высотный метод

компрессионного уплотнения) определяется по формуле:  $\Delta e = (\Delta h_i/h_H) * (1+e_1)$ , где  $e_1$  – коэффициент пористости при бытовой нагрузке;  $e_1 = e_0 - ((\Delta h_1/h_0) * (1+e_0))$ ;  $\Delta h_i$  – изменение высоты образца породы при изменении её пористости от  $e_1$  до  $e_2$  при увеличении нагрузки от  $\delta_{zg}$  до  $\delta_{zg1}$ .

4. Величины относительного сжатия образцов грунта  $\epsilon_i$  с точностью 0,001 при соответствующих значениях давления  $p_i$  и условно стабилизированных деформациях по формуле:  $\epsilon_i = (\Delta h_i - r)/h_0$ , где  $r$  – поправка на упругую деформацию по данным тарировки.
5. По величинам относительного сжатия образцов  $\epsilon_i$  следует строить график зависимости  $\epsilon = f(p)$  с отображением просадочных деформаций (рис. 4).
6. Относительную просадочность грунта  $\epsilon_{sl}$  при заданном давлении  $P_3$  при испытаниях по схеме «одной кривой» следует определять как дополнительное относительное сжатие образца грунта в результате замачивания по формуле:

$$\epsilon_{sl} = \Delta h_{sl}/h_0 = (h' - h_{sat,p})/h_0,$$

где  $\Delta h_{sl}$  – дополнительное сжатие (просадка) грунта в результате замачивания;  $h'$  – высота образца грунта с природной влажностью при заданном давлении;  $h_{sat,p}$  – высота образца грунта после дополнительного сжатия (просадки) в результате замачивания.

Величины относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  для различных давлений при испытаниях по схеме «двух кривых» определяют как разность значений относительного сжатия образцов в водонасыщенном состоянии  $\epsilon_w$  и природной влажности  $\epsilon_e$  (разности ординат соответствующих кривых графика  $\epsilon = f(p)$ ). По значениям  $\epsilon_{sl}$  возможно построить график зависимости относительной просадочности от давления  $\epsilon_{sl} = f(p)$ .

7. Начальное просадочное давление  $p_{sl}$  определяют по графику зависимости относительной просадочности от давления  $\epsilon_{sl} = f(p)$ , принимая за величину  $p_{sl}$  то давление, при котором относительная просадочность составляет 0,01 МПа.

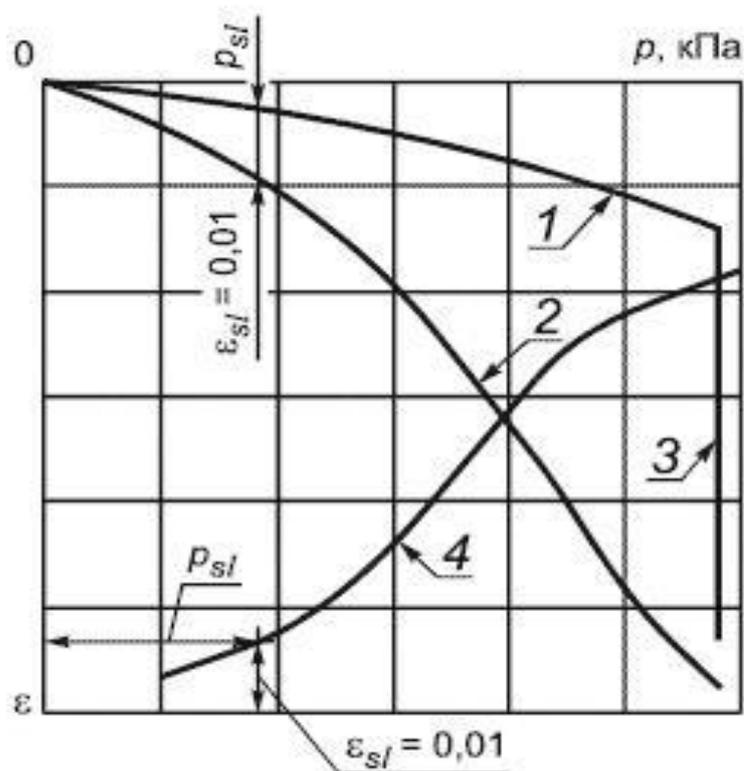


Рис. 4. График зависимости относительного сжатия грунта от давления для испытания просадочного грунта в компрессионном приборе для схемы «двух кривых». 1, 2 – относительное сжатие  $\epsilon_e$  грунта с природной влажностью и в водонасыщенном состоянии  $\epsilon_w$ , в зависимости от давления, 3 – дополнительное относительное сжатие грунта в результате замачивания (относительная просадочность  $\epsilon_{sl}$ ) при заданном давлении  $p_3$ , 4 - зависимость относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  от давления;  $p_{sl}$  - начальное просадочное давление. [28].

8. Результаты определения относительной просадочности выражают с точностью 0,001, начального просадочного давления — с точностью 0,1 кгс/см<sup>2</sup> и регистрируют в журнале испытаний с указанием наименования вида грунта и значений его физических характеристик.

9. Величину бытового давления грунта  $\delta_{zg} = 0,01\rho_s * H$ , где  $H$  – глубина, м;  $\rho_v$  – объёмный вес водонасыщенного грунта.  $\rho_v = n + \rho_d$ , где  $n$  – пористость в долях единицы,  $\rho_d$  – плотность скелета грунта.

10. Коэффициент относительной сжимаемости  $a_0$  – величина сжатия в миллиметрах слоя грунта мощностью в 1 метр под данной нагрузкой, мм / м, вычисляется по формуле:  $a_0 = (\Delta h_e / h_n) * 100$ .

11. Модуль общей деформации пород  $E_0$ , МПа, вычисляется по формуле:

$$E_0 = [\beta * (1 + e_1)] / a,$$

где  $e_1$  – коэффициент пористости при бытовой нагрузке;  $a$  – коэффициент сжимаемости ( $\text{см}^2/\text{кгс}$ ), определяемый по формуле  $a = (e_1 - e_2)/(\delta_{zg2} - \delta_{zg})$ ,  $e_2$  – коэффициент пористости при давлении, превышающем бытовое  $\delta_{zg2}$ ;  $\beta$  – множитель для перехода от сжатия без возможности бокового расширения при компрессионных испытаниях, к сжатию, имеющему место в природных условиях. В соответствии с нормативными документами, он составляет: для супесей – 0,74, для суглинков – 0,62, для глин – 0,40.

### **Полевые испытания грунтов**

Наиболее распространённым является метод определения просадочности опытными штампами на глубине закладки фундаментов. На рис. 5 и 6 представлена схема испытания грунтов штампом.

Опыты могут проводиться по двум схемам: "двух кривых" или "одной кривой". Схему испытаний выбирают в зависимости от комплекса характеристик, необходимых для проектирования.

Схема "одной кривой", как и в лабораторных испытаниях, применяется в случаях, когда достаточно определить модуль деформации грунта при природной влажности  $E$  и относительную просадочность  $\epsilon_{s1}$  при одном заданном давлении  $p_3$ .

По этой схеме на опытный штамп постепенно создаётся нагрузка, равная давлению от сооружения. После стабилизации деформации производят замачивание, вызывающее просадку грунта при достигнутой нагрузке. Нагрузку на штамп увеличивают ступенями до заданного давления  $p_3$ , которое должно быть установлено с учетом предполагаемого фактического давления на грунт в основании фундамента, равного сумме давлений от нагрузки фундамента и собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии. После достижения условной стабилизации осадки, на последней ступени, соответствующей давлению  $p_3$ , грунт в основании штампа замачивают, при этом продолжая замачивание с измерениями просадки грунта до ее условной стабилизации. За критерий условной стабилизации просадки грунта принимают скорость осадки штампа, не превышающую 0,1 мм за два часа. [25].

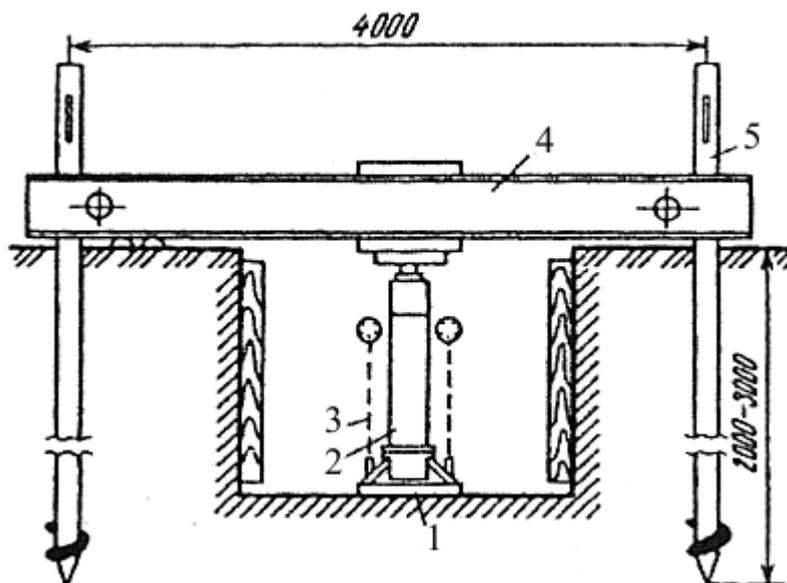


Рис. 5. Схема испытаний грунта статическими нагрузками на штамп.  
 1 — штамп; 2 — гидравлический домкрат; 3 - индикаторная установка; 4 - продольная упорная балка; 5 — винтовые анкерные сваи.



Рис. 6. Вид установки штампа для испытаний грунтов.

По результатам можно построить кривую  $S = f(p)$ , характеризующую осадку грунта от давления до и после замачивания (см. рис. 7).

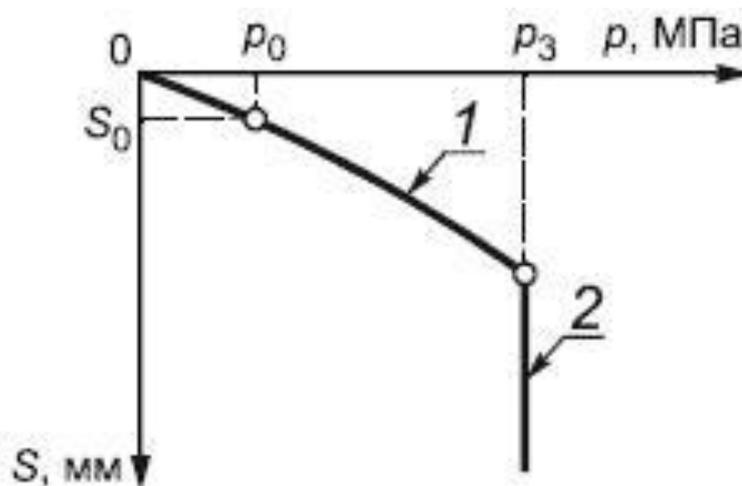


Рис. 7. График зависимости просадки грунта от давления для испытания штампом просадочного грунта с замачиванием для схемы «одной кривой». 1 – осадка, 2 – просадка при заданном давлении. [25].

По результатам испытаний просадочных грунтов по схеме "одной кривой" определяют модуль деформации грунта природной влажности  $E$  и относительную просадочность  $\epsilon_{s1}$  при заданном давлении  $p_3$ . Просадку грунта в основании штампа  $S_{spl}$  для вычислений  $\epsilon_{s1}$  при испытаниях по схеме "одной кривой" определяют как приращение осадки штампа в результате замачивания грунта при заданном давлении  $p_3$ .

Вторая схема требует проведения двух опытов в двух шурфах, расположенных рядом в одном и том же слое лёссов. Один опыт проводится с сохранением естественной влажности, а второй – с замачиванием после первой ступени нагрузки.

Испытания по схеме "двух кривых" проводятся на одной глубине в двух шурфах, расположенных на расстоянии 5-6 м друг от друга, с использованием той же схемы штампа, что и для схемы «одной кривой». В одном шурфе испытания проводят так же, как и в схеме «одной кривой», а в другом - замачивают грунт после монтажа установки до приложения нагрузки, затем нагружая штамп ступенями до давления  $p_3$ , продолжая замачивание грунта. Отсчеты по прогибометрам после замачивания просадочного грунта проводят через каждые 15 минут в течение первого часа, 30 минут в течение второго часа, далее через каждый час до условной стабилизации деформации грунта [25].

Испытания по схеме "двух кривых", как и при лабораторных испытаниях, выполняют для определения полного комплекса характеристик просадочности (модуля деформации грунта природной влажности  $E$  и в водонасыщенном состоянии

$E_{sat}$ , начального просадочного давления  $p_{sl}$  и относительной просадочности грунта  $\epsilon_{sl}$  при различных давлениях). Просадку грунта в основании штампа  $S_{spl}$  для вычислений  $\epsilon_{sl}$  при испытаниях по данной схеме определяют как разность осадок штампа на грунте в водонасыщенном состоянии и грунте природной влажности на каждой ступени давления. Также строятся две кривые  $S = f(p)$ , по которым можно выбрать оптимальные условия строительства (см. рис. 8). В результате проведения инженерных изысканий должны быть получены надёжные данные для построения кривых  $\epsilon_{sl} = f(p)$  для каждого слоя лёссовых пород (рис. 9).

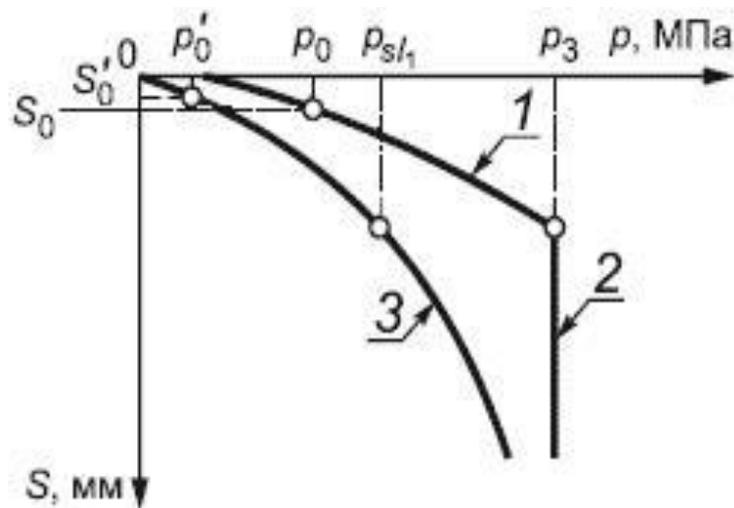


Рис. 8. График зависимости просадки грунта от давления для испытания штампом просадочного грунта с замачиванием для схемы «двух кривых». 1 – осадка, 2 – просадка при заданном давлении, 3 – осадка после замачивания. [25].

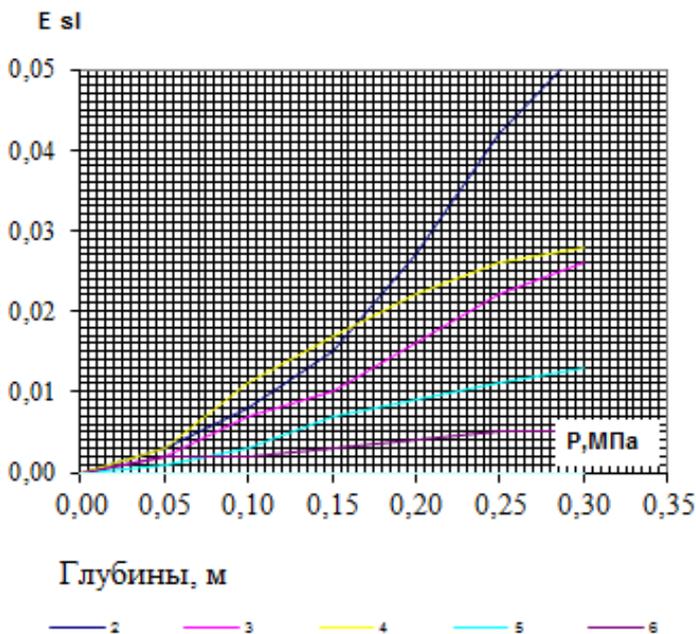


Рис. 9. Графики зависимости относительной просадочности грунта от давления для различных глубин, обозначенных цветными линиями (2, 3, 4, 5, 6 м)

По результатам полевых и лабораторных испытаний грунтов на просадочность, рассчитывается величина просадки лёссовой толщи, находящейся под давлением собственного веса в предположении её подтопления или затопления. Расчёт просадки проводится по формуле:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl_i} * h_i * k_{sl_i} ,$$

где  $\varepsilon_{sl_i}$  – относительная просадочность  $i$ -го слоя при соответствующих значениях давления в  $i$ -м слое, определяется по графику  $\varepsilon_{sl} = f(p)$  для давлений от собственного веса, действующего в середине расчётного слоя мощностью  $h_i$ ;  $h_i$  – мощность  $i$ -го слоя;  $k_{sl_i}$  – нормативный коэффициент = 1;  $n$  – число слоёв в просадочной толще. Расчётные слои выделяются в той части лёссовой толщи, где  $p_i > p_{sl}$ .

В соответствии с нормативными документами [27], лёссовые толщи делятся по величине просадки от собственного веса на два типа:

- ✓ тип I — просадка происходит в основном в пределах деформируемой зоны основания от нагрузки фундаментов или другой внешней нагрузки, а просадка от собственного веса грунта практически отсутствует или не превышает 5 см;
- ✓ тип II — возможна просадка грунта от собственного веса, происходящая преимущественно в нижней части просадочной толщи и превышающая 5 см.

## **Глава 4. Инженерно-геологические особенности исследуемых участков**

### **4.1. Общие сведения об инженерно-геологических условиях территории Ростовского региона**

#### Рельеф

Город Ростов-на-Дону расположен на правом берегу долины р. Дон на понтическом плато Дон-Тузловского водораздела с абсолютными отметками 90-100 м. Плато расчленено долиной реки Дон, в строении которой выделяются пойменная терраса (с абсолютными отметками 1 – 4 м и шириной 10 – 300 м) и три надпойменных. I и II надпойменные террасы прослеживаются в виде останцев шириной 10-50 м. Основная III надпойменная терраса (на которой располагаются центр города, а также Западный жилой массив и район Александровка) является плиоценовой. Она расчленена долиной реки Темерник и овражно-балочной сетью. Балки Кизитеринка, Кульбакина, Рябинина имеют хорошо сформированные долины с асимметричными склонами, протяженностью 3-5 км и глубиной 40-50 м. Долина реки Темерник также имеет свои левобережные (Генеральная, Черепахина и др.) и правобережные (Змеевская) балки.

Сильно расчлененный рельеф территории осложняет строительство, создает особые условия поверхностного и подземного стока, способствует развитию опасных геологических процессов.

Левобережье Дона – низкое, плоское, шириной до 10 км, сложено песчано-глинистыми аллювиальными отложениями. В период паводков левобережная часть частично затопляется водой, имеет заболоченные участки 1 [17].

#### Геологическое строение

В соответствии со схематической картой инженерно-геологического районирования территории Нижнего Дона и Северо-Восточного Приазовья (рис. 10) рассматриваемые территории входят в Предкавказский инженерно-геологический регион, область речной долины, и относятся к району распространения песчано-глинистых и суглинистых отложений речных и балочных долин.

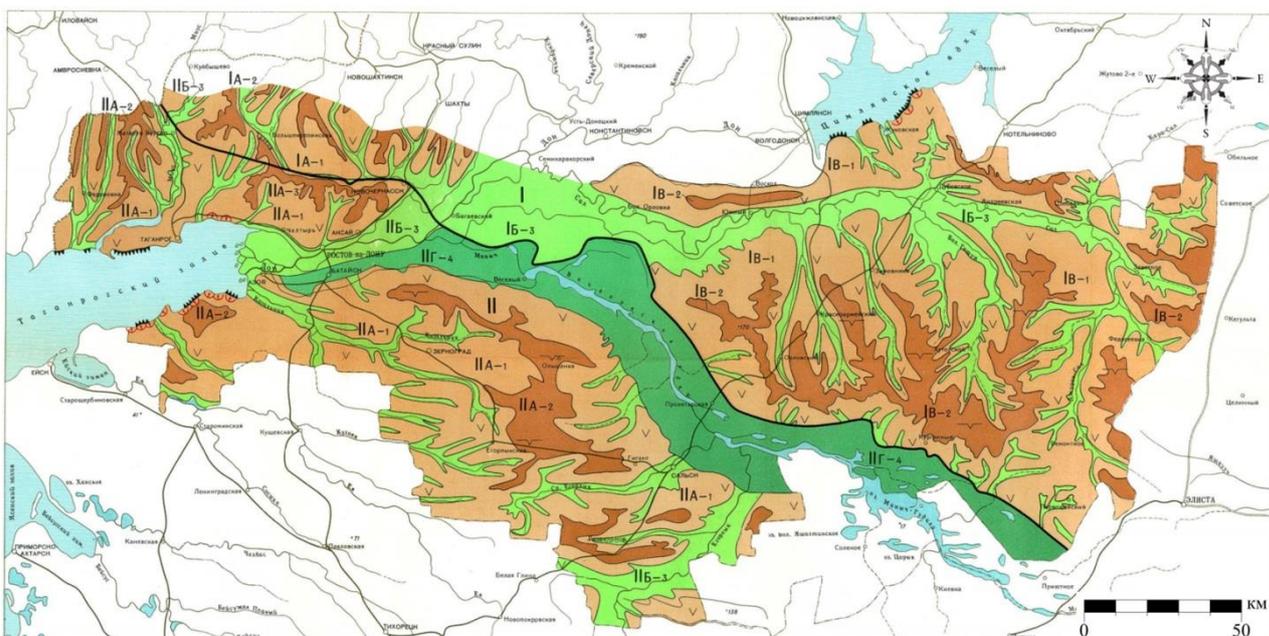


Рис 10. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Нижнего Дона и Северо-Восточного Приазовья (П.Г. Германов, В.Н. Васильева, 1967 г)

**Условные обозначения:**

Регионы:

**I** Донецко-Каспийский

 Граница регионов

**II** Предкавказский

 Граница районов

Области:

А – Междолинные равнины; Б – речные долины; В – Ергенинская возвышенность;  
Г – Западный Маныч.

Районы:

**1** Покровные лёссовидные суглинки склонов водоразделов

**2** Покровные лёссовидные суглинки водоразделов

**3** Песчано-глинистые и суглинистые отложения речных и балочных долин

**4** Суглинисто-глинистые и песчано-глинистые отложения аккумулятивных террас Западного Маныча.

Как видно из рисунка 11, участок 1 располагается на понтическом плато, а участки 2, 3 и 4 - на плиоценовой террасе.

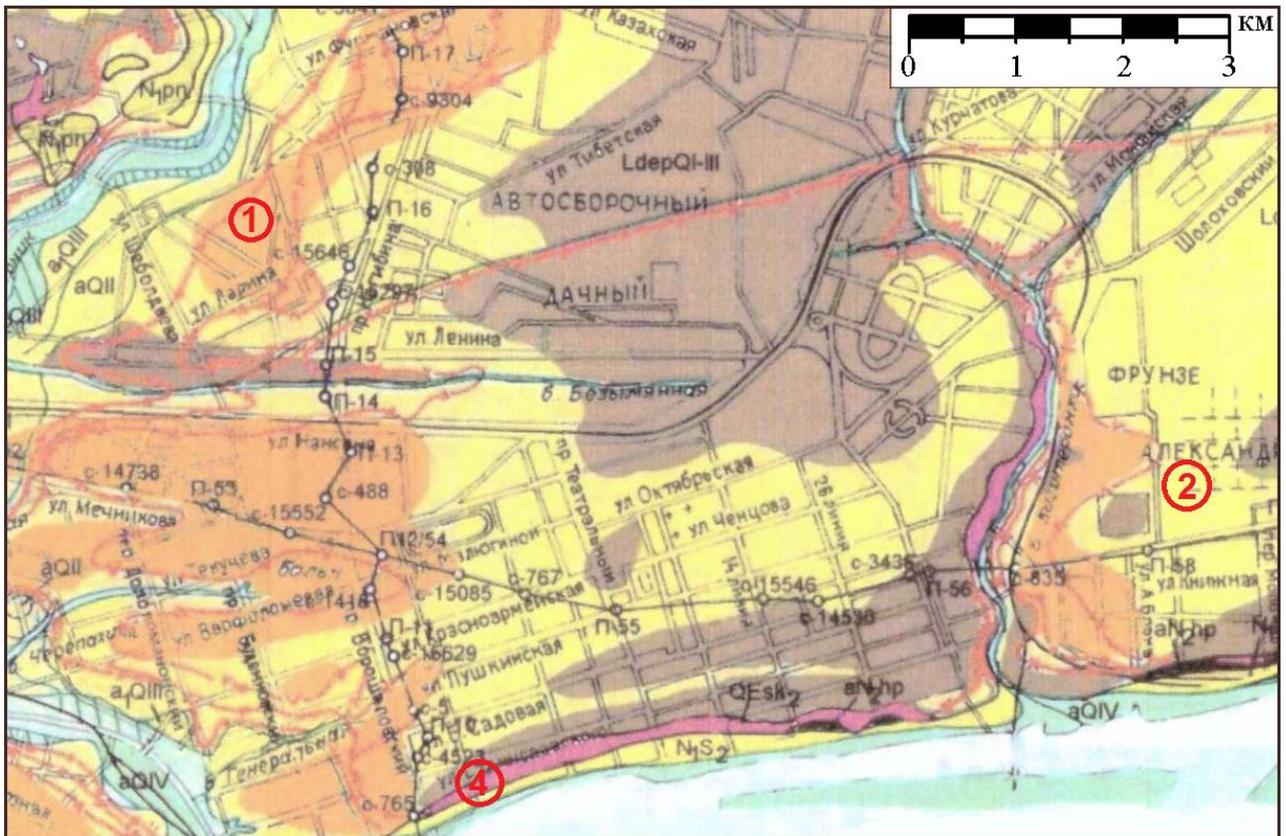


Рис. 11. Схематическая геологическая карта г. Ростова-на-Дону (составила К.А. Меркулова, 2000 г), с указанием расположения исследуемых участков.

**Условные обозначения:**

Четвертичные отложения:

- |   |  |
|---|--|
| <span style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">aQIV</span> – Пойменные отложения рек и балок;      | <span style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">mQIIIsg</span> – Сурожская терраса Дона, I надпойменная терраса Темерника;   |
| <span style="border: 1px solid black; background-color: #fff2cc; padding: 2px;">aQIII</span> – II надпойменная терраса р. Темерник; | <span style="border: 1px solid black; background-color: #fff2cc; padding: 2px;">LdepQI-III</span> – Лёссовидные суглинки, супеси и глины. А – на понтическом плато, Б – на плиоценовой террасе р. Дон; |
| <span style="border: 1px solid black; background-color: #fff2cc; padding: 2px;">aQII</span> – III надпойменная терраса р. Темерник; |  |
| <span style="border: 1px solid black; background-color: #e74c3c; padding: 2px;">QEsK<sub>2</sub></span> – Скифские глины;           |  |

Просадочные свойства лёссовых пород:

- |  |   |
|--|---|
| <span style="border: 1px solid black; background-color: #8e644d; padding: 2px;"></span> – Непросадочные и просадочные грунты при Hsl до 2,0 м                        |   |
| <span style="border: 1px solid black; background-color: #fff2cc; padding: 2px;"></span> – Просадочные при Hsl 2,0 – 10,0 м, I тип грунтовых условий по просадочности | <span style="border: 1px solid black; background-color: #f1c40f; padding: 2px;"></span> – Просадочные при Hsl 10,0 – 18,0 м. Преимущественно II тип грунтовых условий по просадочности. |

Волго-Донской геологический район, охватывающий Ростовскую, Волгоградскую и Астраханскую области, занимает значительные участки Восточно-Европейской (Русской) и эпигерцинской разновозрастных платформ и их сочленения. В тектоническом отношении он довольно сложен. Граница между платформами проходит по полосе разломов, протягивающейся через всю территорию в близширотном направлении. Вторая, близмеридиональная, система разломов, также

проходящая через всю территорию, является границей между Воронежской антеклизой и Прикаспийской синеклизой. Она продолжается на юг. Пересечение этих систем крупных тектонических разломов образует почти в центре Волго-Донского геологического района сложный тектонический узел.

Восточно-Европейская древняя (эпикарельская) платформа в пределах описываемой территории представлена двумя разобщенными фрагментами Русской плиты. Наибольший из них (северный), представленный юго-восточной частью Воронежской антеклизы и юго-западной частью Прикаспийской синеклизы, расположен севернее протяженного Донецко-Астраханского тектонического шва. Значительно меньший по размерам участок Русской плиты находится на юго-востоке Ростовской области и соответствует восточному погружению допалеозойских пород Украинского щита (Ростовский выступ). Эти участки имеют типичное для древних плит строение, определяемое наличием двух главных структурных этажей — кристаллического допалеозойского фундамента и более молодого платформенного чехла.

Эпигерцинская платформа расположена к югу от Астраханского тектонического шва и представлена почти повсеместно Предкавказской или Скифской плитой, сложенной складчатым палеозойским (местами досреднеюрским) основанием и платформенным чехлом мезозойских и кайнозойских пород. Северная, валообразно построенная часть Скифской плиты, простирающаяся от Донбасса к Каспийскому морю и ограниченная с юга Манычскими надразломными прогибами, большинством исследователей называется «валом Карпинского». Система Манычских прогибов и территория, расположенная южнее, составляют предкавказскую часть Скифской плиты. Относительно небольшую часть эпигерцинской платформы составляет площадь открытого Донбасса, где размытые палеозойские (каменноугольные) линейные складки основания молодой платформы непосредственно выступают на дневную поверхность и образуют Донецкий выступ. Открытый Донбасс и вал Карпинского нередко именуется Донецко-Каспийской тектонической областью.

Региональное тектоническое районирование и морфология крупных тектонических элементов отображены на схематической карте современного рельефа поверхности допалеозойского фундамента. Высота этой поверхности колеблется от 0 до 17 км и рассматривается как суммарный эффект тектонических движений, по крайней мере с девонского периода (рис. 12) [5].

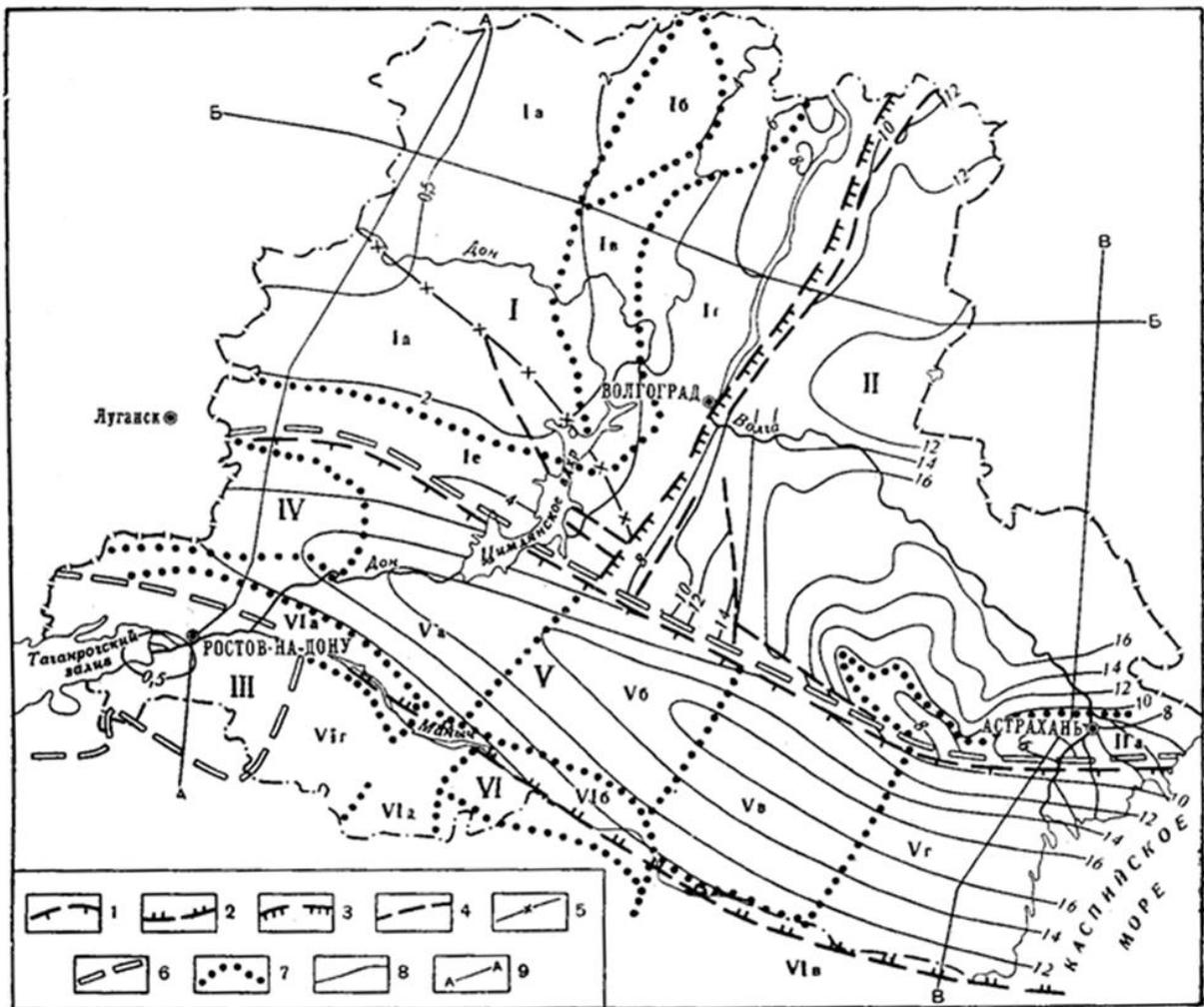


Рис 12. Схема тектонического районирования территории. Составили Н.И. Погребнов и И.И.Потапов *Условные обозначения:*

Глубинные разломы: 1 – Донецко-Астраханский, 2 – Манычский, 3 – Волгоградский (гравитационная ступень); 4 – тектонические разрывы; 5 – ось юго-восточного погружения Воронежской антеклизы; границы: 6 – разновозрастных платформ; 7 – тектонических структур второго порядка; 8 – изогипсы поверхности допалеозойского фундамента, в км; 9 – линии геологических профилей.

Основные тектонические элементы: I – Воронежская антеклиза (восточный и южный склон): Ia – Хоперская моноклираль, Ib – Терсинская впадина, Ic – Приволжская моноклираль, Id – Первомайско-Чирская моноклираль, Ie – Тормосинский прогиб; II – Прикаспийская синеклиза (юго-западная часть): IIa – Астраханские поднятия; III – Ростовский выступ по фундаменту (Ростовский свод по чехлу); IV – Донецкий выступ основания эпигерцинской платформы; V – вал Карпинского: Va – погруженный Донбасс, Vб – Ремонтненско-Элистинский блок, Vв – Бузгинский блок, Vг – Промысловский блок; VI – предкавказская часть Скифской плиты: VIa – Тузлов-Манычский прогиб, VIб – Манычско-Гудиловский прогиб, VIв – Кумско-Манычский прогиб, VIг – Целинская седловина, VIд – Сальское поперечное поднятие [5].

В пределах рассматриваемых территорий фундамент Русской плиты сложен архейско-протерозойскими метаморфическими сериями и древними интрузиями, а платформенный чехол — осадочными среднедевонскими и более молодыми породами.

Обычный для чехла более северных территорий нижнепалеозойский комплекс (кембрий – нижний девон) здесь отсутствует.

Территория города сложена толщей осадочных пород мощностью порядка 500 – 550 м, залегающих на скальном основании докембрийского возраста. В состав осадочной толщи входят породы мелового, неогенового и четвертичного возрастов. На дневной поверхности залегают четвертичные отложения, а в отдельных местах – неогеновые породы (рис. 13).

Система	Индекс	Литология	Мощность слоев, м	Описание горных пород
Неогеновая	Q <sub>IV</sub>		до 20	Суплинки и супеси лессовые с горизонтами погребенных почв
	N <sub>2sk</sub>		2-20	Глины скифские красно-бурые, зеленовато-серые, плотные
	N <sub>2hp</sub>		до 6	Пески хапровские разнозернистые
	N <sub>2p</sub>		до 12	Известняк-ракушечник понтический, серый, ржаво-бурый, кавернозный
	N <sub>1m</sub>		6-18	Переслаивающиеся мезотические пески, известняки и глины
N <sub>1s</sub>		до 30	Глины сарматские темно-серые, черные с прослоями песка. В верхней части чередование глин, песков и известняков	

Рис. 13. Геолого-стратиграфическая колонка осадочной толщи г. Ростова-на-Дону [3].

Неогеновые породы имеют морское происхождение. В районе г. Ростова выделяют следующие отложения (снизу вверх):

Сарматский горизонт (N<sub>1s</sub>) – представлен черными и темно-серыми глинами с прослоями и линзами песка. В верхней части отложений часто прослеживаются чередования известняков, мергелей, глин и песков.

Мэотический горизонт (N<sub>2m</sub>) – представлен чередованием рыхлого, сильно ожелезнённого известняка, зеленоватой глины и песка.

Понтический горизонт ( $N_{2p}$ ) – представлен тремя слоями известняков-ракушечников. Состав известняков неоднороден: от очень плотного до рыхлого, едва сцементированного щебня.

Хапровская свита ( $N_{2hp}$ ) – представлена аллювиальными песчаными русловыми отложениями, в основании которых залегает гравийный горизонт. Эти отложения прослеживаются на плиоценовой террасе западнее устья р. Темерник.

Скифский горизонт ( $N_{2s}$ ) – представлен красно-бурыми, реже зеленовато-серыми глинами, залегающими на сарматских известняках. В пределах плиоценовой террасы эти отложения иногда перекрывают хапровские пески.

Четвертичная система ( $Q$ ) – представлена лессовидными суглинками, реже супесями и глинами с включениями маломощных прослоев погребенных почв. В эрозионных врезках они замещены погребенными прослоями пылеватых и мелких песков. Эти отложения покрывают всю территорию города. Лессовые отложения принадлежат трем возрастным отделам:

- нижний, древнечетвертичный ( $Q_I$ );
- средний, среднечетвертичный ( $Q_{II}$ );
- верхний, верхнечетвертичный ( $Q_{III}$ ).

Кроме того, выделяют современные отложения –  $Q_{IV}$ . Они залегают в поймах рек в виде песчано-глинистых аллювиальных отложений, и в виде делювия на склонах оврагов, балок и рек.

Большое развитие на территории города имеют техногенные грунты ( $tQ_{IV}$ ) различного происхождения, мощностью от 1-2 до 10-25 м.

#### Гидрогеологические условия

На территории города распространены подземные воды следующих типов:

- 1) Грунтовые воды, распространённые в лессовых толщах и аллювиальных отложениях;
- 2) Межпластовые воды в неогеновых отложениях.

*Грунтовые воды* в лессовой толще залегают на глубине 2-15 м от поверхности земли, водоупором для них являются скифские глины. Стоит отметить, что на территории города развито явление подтопления, связанное с инфильтрацией техногенных вод в толще лессовых пород. В центральной части города уровень грунтовых вод приблизился к фундаментам зданий, что часто приводит к деформациям построек и ухудшению экологической обстановки.

Грунтовые воды на территории города имеют многочисленные выходы на поверхность в виде источников на склонах долин рек Дона и Темерника.

Грунтовые воды речных (аллювиальных) образований распространены в пойменных отложениях рек Дона, Темерника, а также в первой надпойменной террасе долины Дона. Глубина их залегания колеблется от 0,5 до 1,5 м. Эти воды питаются за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также перетекания грунтовых вод из лессовых толщ и межпластовых вод неогеновых пород. На левобережной пойме реки Дон грунтовые воды формируются за счет самой реки и залегают на глубинах от 0,5 до 2,5 м.

*Межпластовые воды* неогеновых отложений приурочены в основном к сарматским и мэотическим отложениям, представленным песками и известняками. Выход этих вод на поверхность прослеживается в нижней части склонов долины рек Дон, Темерник и глубоких балок в виде различных родников (Богатыновский, Сурб-Хач, Серафима Саровского и др.) [3].

## **4.2. Инженерно-геологические условия исследуемых участков**

### ***Инженерно-геологические условия участка 1***

В геоморфологическом отношении он расположен в пределах понтического плато. Рельеф проектируемой застройки выровненный, имеет слабый уклон в юго-западном направлении, абсолютные отметки поверхности земли (по устьям скважин) составляют 69,20 - 72,82м.

В геологическом строении участка принимают участие четвертичные отложения, представленные глинистыми породами, с поверхности перекрыты насыпным грунтом и почвенно-растительным слоем. Границы распространения выделенных инженерно-геологических элементов приведены на инженерно-геологических разрезах (Приложение 1, листы 1, 2, 3).

В результате анализа пространственной изменчивости частных значений показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами, с учетом данных о геологическом строении и литологических особенностях грунтов в пределах разведанной толщи грунтов выделено 6 инженерно-геологических элемента (ИГЭ) и один Слой, краткое описание которых приводится ниже [26].

ИГЭ-1 – Суглинок тяжелый пылеватый твёрдой консистенции, просадочный, незасоленный. Глубины залегания слоя составляют от 0,7-1,7 до 3,2-4,7 м. Мощность слоя изменяется в пределах 2,1 – 3,9 м.

ИГЭ-1а – Суглинок тяжелый пылеватый твёрдой консистенции, просадочный, незасоленный. Глубины залегания слоя составляют от 3,2-4,7 до 8,5-12,9 м. Мощность слоя изменяется в пределах 4,6 – 8,34 м.

ИГЭ-2 – Глина легкая пылеватая твердой консистенции непросадочная незасоленная ненабухающая. Глубины залегания слоя составляют от 8,5-12,9 до 22,5-28,9 м. Мощность слоя изменяется в пределах 13,3 – 17,5 м.

ИГЭ-2а – Глина легкая пылеватая полутвердой консистенции непросадочная незасоленная ненабухающая. Глубины залегания слоя составляют от 22,5-34,4 до 28,7-40 м (до забоя скважины). Вскрытая мощность слоя изменяется в пределах 1,1 – 11,7 м.

ИГЭ-3 – Глина легкая пылеватая твердой консистенции незасоленная слабонабухающая. Глубины залегания слоя составляют от 28,7-39,2 до 32,2-40 м (до забоя скважины). Вскрытая мощность слоя изменяется в пределах 0,8 – 8,2 м.

ИГЭ-4 – Суглинок легкий песчанистый полутвердой консистенции непросадочный ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 30,8-39,1 до 32,8-40 м (до забоя скважины). Вскрытая мощность слоя изменяется в пределах 0,9 – 4,8 м.

Слой-4а – Супесь песчанистая пластичной консистенции. Глубины залегания слоя составляют от 36,7-38,6 до 40 м (до забоя скважины). Вскрытая мощность слоя изменяется в пределах 1,4 – 3,3 м.

К специфическим грунтам, на площадке изысканий, относятся: [24]:

1. Насыпные грунты. Вскрыты всеми скважинами, и представлены: с поверхности асфальтовым или бетонным покрытием (до 0,1 - 0,2 м), ниже щебнем с суглинистым или песчанистым заполнителем с включением строительного мусора. Местами суглинком бурого и темно-бурого цвета от твердой до тугопластичной консистенции с включением строительного мусора. Общая мощность насыпных отложений составляет 0,4-1,3 м. Насыпные грунты детально не изучались и не выделены в отдельный инженерно-геологический элемент, так как они не являются основанием проектируемого сооружения.

2. Просадочные грунты выделены в ИГЭ-1 и ИГЭ-1а и представлены лессовидными суглинками желто-бурого и бурого цвета, тяжелыми, пылеватым, твердой консистенции. Детально просадочные грунты рассмотрены в главе 5.

3. Набухающие грунты ИГЭ-3 представлены глинами легкими пылеватыми красно-бурого цвета твердой консистенции – слабо набухающими. На участке проектируемого строительства встречены повсеместно, глубина залегания от 22,5 - 34,4 до 28,7 - 40,0 (забой скважины). Мощность отложений изменятся от 1,1 м (вскрытая) до 11,7 м. Величина свободного набухания изменяется от 0,041 до 0,079, величина давления набухания изменяется от 0,026 МПа до 0,084 Мпа, влажность набухания - от 19,9% до 24,6%.

В гидрогеологическом отношении участок изысканий расположен на межбалочном скифском водоразделе, между балкой Безымянной и балочной долиной р. Темерник.

Грунтовые воды при бурении вскрыты всеми скважинами и на различных глубинах: от 20,1м (абс. отм. 46,80м) до 38,6м (абс. отм. 39,68 м), что показано на геологических разрезах (Приложение 1, листы 1, 2, 3). Такая разница уровней грунтовых вод объясняется положением участка в районе погребённой балочной долины, которая перехватывает поток грунтовых вод, направленный к основной долине (б. Безымянная).

Питание подземных вод происходит за счёт инфильтрации атмосферных осадков, а также за счёт перетекания грунтовых вод в лёссовидных породах в воды, распространённые в размытых делювиально-скифских красно-бурых суглинках. Зона разгрузки приурочена к находящейся в 700 м к юго-западу балке Безымянной.

Амплитуда сезонных колебаний уровня грунтовых вод в районе работ составляет 1,0 – 1,5 м. Следует учесть, что Межбалочный скифский водораздел является опасной зоной, в которой при увеличении инфильтрации могут появиться грунтовые воды и слиться с основным потоком, что приведет к общему повышению уровня грунтовых вод.

Коэффициенты фильтрации для грунтов площадки составили от 1,69 м/сут для ИГЭ-4а, до 0,012 м/сут для ИГЭ-3. Грунтовые воды имеют общую минерализацию от 3888 мг/л до 7824 мг/л. Содержание сульфатов в пересчете на  $SO_4^{2-}$  составляет от 2013 мг/л до 4571 мг/л, хлоридов в пересчете на  $Cl^-$  - от 50 мг/л до 192 мг/л, при содержании  $HCO_3^-$  - от 6,8 до 11,27 мг-экв/л. По химическому составу воды сульфатные натриевые. Грунтовые воды, вскрытые в северной части площадки, центральной и южной частях площадки имеют идентичный химический состав.

Техногенная вода по составу гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-натриевая с общей минерализацией 1312 мг/л, содержание сульфатов в пересчете на  $SO_4^{2-}$  составляет 406 мг/л, хлоридов в пересчете на  $Cl^-$  - 149 мг/л, при содержании  $HCO_3^-$  -

7,28 мг-экв/л. Техногенные воды не обладают сульфатной агрессивностью к бетону марок W4, W6 и W8 по водонепроницаемости на портландцементе. К арматуре железобетонных конструкций обладают слабой степенью агрессивности при периодическом смачивании и неагрессивны - при постоянном погружении [30].

Степень агрессивного воздействия подземных вод на различные виды цементов бетонных и железобетонных конструкций дана по максимальным показателям химических компонентов и приведена в таблицах 3.1 и 3.2 (Приложение 3, лист 1).

При застройке территории при нарушении правил эксплуатации водонесущих коммуникаций, длительных утечках из них, а также при выпадении обильных атмосферных осадков и нарушении естественного природного стока может произойти образование техногенного уровня грунтовых вод. Это может вызвать подтопление подземных частей зданий и сооружений, а также и замачивание просадочных грунтов, что приведет к реализации их просадочных свойств. Так, при бурении скважины №35 на глубине 16,1 м вскрыта водосодержащая линза, временного характера, образующаяся за счёт питания техногенного характера за счёт утечки из магистрального водопровода. Таблица нормативных и расчётных характеристик грунтов представлена в Приложении 4 (лист 1).

### ***Инженерно-геологические условия участка 2***

В геоморфологическом отношении участок приурочен к плиоценовой террасе. В современном рельефе - это равнинная часть. Абсолютные отметки участка работ изменяются от 68,50 до 70,35 м. Площадка находится в пределах застроенной территории, рельеф спланирован.

В геологическом строении участка работ принимают участие отложения четвертичного возраста, представленные делювиальными суглинками, глиной и песком, перекрытыми сверху почвенно-растительным слоем и насыпным грунтом. Границы распространения выделенных инженерно-геологических элементов приведены на инженерно-геологических разрезах (Приложение 1, листы 4, 5, 6).

В результате анализа пространственной изменчивости частных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами с учетом данных о геологическом строении и литологических особенностях грунтов выделено пять инженерно-геологических элементов [26], [29].

ИГЭ-1 – Суглинок легкий пылеватый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий, без примеси органических веществ. Глубины залегания слоя составляют от 2,0-5,0 до 5,5-10,6 м. Мощность слоя изменяется в пределах 3,8 – 8,5 м.

ИГЭ-2 – Суглинок легкий пылеватый, полутвердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 5,5-10,6 до 13,5-16,7 м. Мощность слоя изменяется в пределах 2,9 – 10,8 м.

ИГЭ-3 – Суглинок тяжелый пылеватый, полутвердый, непросадочный, ненабухающий, без примеси органических веществ. Глубины залегания слоя составляют от 13,5-16,7 до 20,0-20,7 м. Мощность слоя изменяется в пределах 4,1 – 10,9 м.

ИГЭ-4 – Глина легкая пылеватая, полутвердая, непросадочная, ненабухающая. Глубины залегания слоя составляют от 20,0-20,5 до 25 м. Мощность слоя изменяется в пределах 4,5 – 5,0 м.

ИГЭ-5 – Песок пылеватый средней плотности, неоднородный, насыщенный водой. Глубины залегания слоя составляют от 2,3-2,7 до 23,5-23,7 м. Мощность слоя изменяется в пределах 2,8 – 3,4 м.

Не выделен в отдельный инженерно-геологический элемент насыпной грунт, так как он будет полностью прорезаться фундаментами проектируемых сооружений.

Границы распространения выделенных инженерно-геологических элементов приведены на инженерно-геологических разрезах в Приложении 1 (листы 4, 5, 6).

К специфическим грунтам, на площадке изысканий, относятся [24]:

1. Насыпной грунт, представленный суглинком светло-коричневого цвета, содержащим от 5-7 % до 30% строительного мусора (обломки кирпича, бетона, щебень), песок. Мощность насыпного грунта колеблется от 1,30 до 5,00 м. Плотность данного грунта составила 1,95 г/см<sup>3</sup>.

2. Просадочные грунты ИГЭ-1, ИГЭ-2, на участке изысканий встречаются повсеместно. Более подробно данные грунты рассмотрены в главе 5.

Грунтовые воды были вскрыты на глубинах 15,80-19,00 м (абс. отм. 50,10-54,55 м) и установились - 14,10-17,20м (абс. отм. 52,00-56,25 м). Сезонные колебания уровня подземных вод составляют, по данным «РостовДонТИСИЗа», 1,0-1,5 м. Систематические наблюдения за уровнем воды не ведутся. При нарушении режимов подземного и поверхностного стоков, связанного с освоением территории и утечках из водонесущих коммуникаций возможно образование техногенного водоносного горизонта с дальнейшим локальным замачиванием грунтов.

Грунтовые воды имеют общую минерализацию от 2476,0 до 2790,0 мг/л. Содержание сульфатов в пересчете на SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> составляет от 1109,0 до 1361,0 мг/л, хлоридов в пересчете на Cl<sup>-</sup> 125,0-166,0 мг/л, при содержании HCO<sub>3</sub><sup>3-</sup> 7,52-8,44 мг-экв/л.

Степень агрессивности грунтовых вод по содержанию сульфатов и хлоридов дана по максимальному содержанию и показана в таблицах 3.3 и 3.4 (Приложение 3, лист 2). Таблица нормативных и расчётных характеристик грунтов представлена в Приложении 4 (лист 2).

### ***Инженерно-геологические условия участка 3***

В геоморфологическом отношении участок изысканий расположен на понтическом плато. Рельеф местности спокойный, ровный. Абсолютные отметки колеблются от 87,15 до 90,58 м.

В геологическом строении участка работ, принимают участие отложения четвертичного возраста, представленные делювиальными суглинками, сверху перекрытые почвенно-растительным слоем и насыпным слоем. Границы распространения выделенных инженерно-геологических элементов приведены на инженерно-геологических разрезах (Приложение 1, листы 7, 8).

В результате анализа пространственной изменчивости частных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами с учетом данных о геологическом строении и литологических особенностях грунтов выделено два инженерно-геологических элемента: [26], [29].

ИГЭ-1 – суглинок тяжелый, пылеватый, полутвердый, просадочный незасоленный, ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 0,2-0,3 до 5,1-5,8 м. Мощность слоя изменяется в пределах 4,8 – 5,5 м.

ИГЭ-2 – суглинок тяжелый, пылеватый, полутвердый, непросадочный, ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 5,1-5,8 до забоя скважины 20 м. Видимая мощность слоя изменяется в пределах 14,2 – 14,9 м.

Не выделен в отдельный инженерно-геологический элемент почвенно-растительный слой, так как его рекомендуется снимать при строительстве и использовать при дальнейшей рекультивации. Также не выделен в отдельный инженерно-геологический элемент насыпной слой (вскрыт скв. 1), так как он будет полностью прорезаться фундаментом проектируемых сооружений.

Границы распространения выделенных инженерно-геологических элементов приведены на инженерно-геологических разрезах в Приложении 1 (листы 7, 8).

К специфическим грунтам на площадке изысканий, относятся: [24]:

1. Насыпные грунты. Представлены суглинками темно-бурыми со строительным мусором до 30 % (песок, щебень, битый кирпич). Мощность насыпных грунтов составляет порядка 0,2м. Физико-механические свойства насыпных грунтов не

изучались, так как они при строительстве полностью прорезаются фундаментом проектируемого сооружения.

2. Просадочными свойствами на участке исследований обладают грунты ИГЭ-1 до глубины 5,10-5,80м (абс. отм. 81,95-85,28). Более подробно данные грунты рассмотрены в главе 5.

При бурении скважин в августе 2008 г. грунтовые воды были вскрыты на глубине от 6,30 до 6,80 м, при абсолютных отметках от 84,28 до 82,17 м. Амплитуда сезонного колебания уровня грунтовых вод составила 1,0-1,5 м.

Грунтовые воды имеют общую минерализацию от 2640,0 до 2660,0 мг/л. Содержание сульфатов в пересчете на  $SO_4$  составляет от 1201,6 до 1226,3 мг/л, хлоридов в пересчете на  $Cl^-$  от 170,4 до 204,5 мг/л, при содержании  $HCO_3^-$  7,8-8,4 мг-экв/л.

Степень агрессивности грунтовых вод по содержанию сульфатов и хлоридов дана по максимальному содержанию и показана в таблицах 3.5 и 3.6 (Приложение 3, лист 3).

При возрастающей роли техногенных факторов, к которым можно отнести нарушение режимов подземного и поверхностного стоков, связанные с застраиванием территории, и длительные интенсивные утечки из водонесущих коммуникаций, может образоваться горизонт техногенных вод на площадке и подъем УГВ, что необходимо учесть при проектировании. Скорость и высота подъема будет напрямую зависеть от этих факторов и от мероприятий по их предотвращению. Таблица нормативных и расчётных характеристик грунтов представлена в Приложении 4 (лист 3).

#### ***Инженерно-геологические условия участка 4***

В геоморфологическом отношении исследуемая площадка работ расположена преимущественно в пределах плиоценовой террасы р. Дон.

Рельеф участка характеризуется неоднородностью: абсолютные отметки поверхности в его пределах изменяются от 3,95 до 24,13м.

В его геологическом строении участка принимают участие отложения четвертичного возраста, представленные аллювиальными глинистыми грунтами и песками, делювиальными суглинками и отложения неогенового возраста, представленные сарматскими глинами и известняками. Отложения перекрыты сверху техногенными грунтами.

В результате анализа пространственной изменчивости частных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами с

учетом данных о геологическом строении и литологических особенностях грунтов выделено пять инженерно-геологических элементов и два инженерно-геологических слоя [26], [29]:

ИГЭ-Н – Суглинок тяжелый щебенистый тугопластичной консистенции незасоленный. Глубины залегания слоя составляют от 0 до 0,5-5,0 м. Мощность слоя изменяется в пределах 0,5 – 5,0 м.

ИГЭ-1 – Суглинок тяжелый песчанистый мягкопластичной консистенции непросадочный ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 1,5-3,9 до 2,9-6,0 м. Мощность слоя изменяется в пределах 1,0 – 3,4 м.

Слой-2– Песок средней плотности пылеватый неоднородный насыщенный водой. Глубины залегания слоя составляют от 2,9-4,3 до 5,0 м. Мощность слоя изменяется в пределах 0,7 – 3,1 м.

ИГЭ-3 – Суглинок легкий пылеватый твердой консистенции просадочный незасоленный ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 0,8-0,9 до 2,1-6,9 м. Мощность слоя изменяется в пределах 1,3 – 6,0 м.

Слой-4 – Суглинок тяжелый пылеватый полутвердой консистенции непросадочный ненабухающий. Глубины залегания слоя составляют от 6,9 до 10,0 м. Мощность слоя составляет 3,1 м.

ИГЭ-5 – Глина тяжелая тугопластичной консистенции, слабонабухающая. Глубины залегания слоя составляют от 1,4-3,0 до 3,0-7,0 м. Мощность слоя изменяется в пределах 1,6 – 4,0 м.

ИГЭ-6 - Известняк плотный средней прочности выветрелый размягчаемый. Глубины залегания слоя составляют от 1,3-1,6 до 2,5-6,0 м. Мощность слоя изменяется в пределах 1,2 – 3,9 м.

Границы распространения выделенных инженерно-геологических элементов приведены на инженерно-геологических разрезах в графическом Приложении 1 (лист 9).

К специфическим отнесены насыпные грунты ИГЭ-Н, просадочные грунты ИГЭ-3 и набухающие грунты ИГЭ-5 [24].

1. Насыпные грунты. На участке изысканий насыпные грунты вскрыты повсеместно, представлен суглинком темно-бурым, тяжелым щебенистым тугопластичной консистенции незасоленным с примесью строительного мусора. Мощность слоя 0,5-5,0 м.

2. Просадочные грунты. Просадочными свойствами обладают делювиальные отложения ИГЭ-3 суглинки легкие пылеватые твердой консистенции просадочные

незасоленные ненабухающие. Вскрыт локально в скв 14 и скв. 18. Более подробно данные грунты рассмотрены в главе 5.

3. Набухающие грунты. На территории изысканий к набухающим грунтам относятся грунты ИГЭ-5, представленные глиной тяжелой тугопластичной консистенции слабонабухающей. Они распространены локально и вскрыты в скв.16 и 17. Максимальная вскрытая мощность 4,0м.

Грунтовые воды вскрыты на глубинах от 0,9 до 8,2 м (абс. отм. 4,3 – 14,0м) и установились на глубинах 0,8-7,7, (абс. отм. 3,15-14,0м). Они приурочены к насыпным, делювиальным грунтам и неогеновым отложениям.

Амплитуда сезонного колебания уровня грунтовых вод 1,5 м. Питание водоносного горизонта осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков. Близость реки свидетельствует о наличии тесной гидравлической связи подземных вод с уровневим режимом р. Дон и о возможности подъема УГВ в паводковый период.

Грунтовая вода кальциево-сульфатная, сухой остаток 2302...3094 мг/л. Содержание сульфатов в пересчете на SO<sub>4</sub> составляет 846-1312 мг/л, хлоридов в пересчете на Cl<sup>-</sup> 390-421 мг/л, при содержании HCO<sub>3</sub> – 8,41-11,85мг-экв/л.

Степень агрессивности грунтовых вод рассчитана по максимальному содержанию сульфатов и хлоридов и приведена в таблицах 3.7 и 3.8 (Приложение 3, лист 4). Таблица нормативных и расчётных характеристик грунтов представлена в Приложении 4 (лист 4).

## **Глава 5. Инженерно-геологический прогноз реализации просадочных явлений в лёссовых грунтах строительных площадок Ростовского региона**

### **5.1. Прогнозирование просадочных явлений в лёссовых грунтах**

При инженерно-геологической оценке территорий, в разрезе которых присутствуют лёссовые грунты, важнейшей задачей является прогноз возможности реализации просадочности с целью снижения риска для устойчивости и нормальной эксплуатации зданий и сооружений на этих территориях. При её решении используют различные критерии формирования лёссовой толщи и её просадочности.

Прогнозирование просадочных явлений проводится в несколько этапов [9]:

1. Первый этап включает получение сведений, как о лёссовых грунтах, так и о сооружениях, которые проектируется строить на этих грунтах. Важное значение имеют данные о режиме поверхностных и подземных вод, а также различных потенциальных источников затопления и подтопления лёссовой толщи.
2. На втором этапе прогнозируется склонность пород к просадочным явлениям с использованием косвенных признаков. Результаты прогноза используются для предварительного районирования территории с выделением участков по признаку просадочности и непросадочности лёссовых грунтов.
3. На третьем этапе предусматривается определение лабораторными и полевыми методами относительной просадочности выделенных слоев в зависимости от напряженного состояния лёссовой толщи в период строительства и эксплуатации сооружений в предположении возможности дополнительного увлажнения.
4. На четвёртом этапе прогнозирования определяется тип лёссовых грунтов по просадочности, при этом используются расчёты по формулам, рекомендованным нормативными документами [28], [25].
5. Пятый этап направлен на решение основной задачи исследований: взаимодействие лёссовых грунтов с проектируемыми инженерными сооружениями.

Исходя из перечисленных задач, которые необходимо решить на каждом перечисленном этапе, осуществлён прогноз реализации просадочных явлений в лёссовых грунтах исследуемых участков, общая инженерно-геологическая характеристика которых изложена в Главе 4.

## 5.2. Прогнозирование склонности грунтов исследуемых участков к просадочным явлениям по косвенным признакам

Как указывалось в разделе 3.1, на самых ранних стадиях изучения лёссовых грунтов, для оценки возможности их просадки, используют так называемые «визуальные» показатели», которые входят в группу косвенных признаков. К ним относятся: климат и рельеф территории, мощность лёссовых пород, глубина залегания грунтовых вод, минеральный и гранулометрический состав, внешний облик пород. Основные из них были рассмотрены в главе 3. Ниже приводятся дополнительные визуальные признаки для лёссовых грунтов по каждому исследованному участку, а также результаты расчётов косвенных показателей, базирующихся на характеристиках физического состояния грунтов.

На рисунке 14 показано расположение исследуемых участков относительно рек Дона и Темерника, а также центра города.

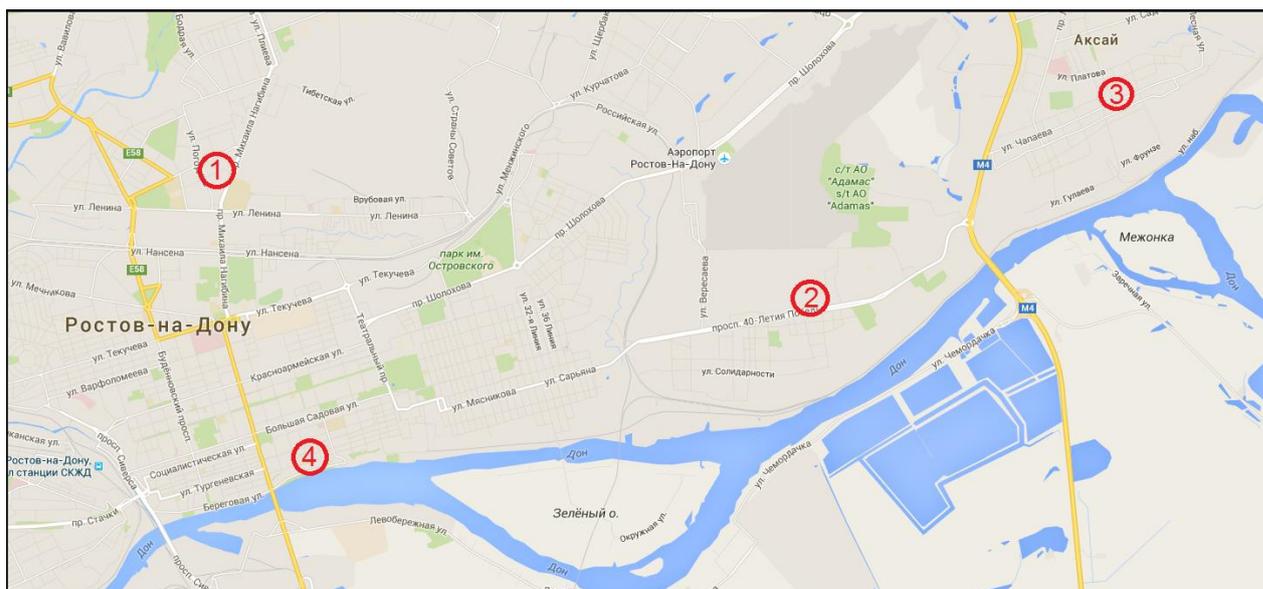


Рис. 14. Схема расположения исследуемых участков.

Основные сведения положения лёссовых грунтов в разрезе по каждой скважине приведены в таблице 3, а также в Приложениях 1 и 2.

## Положение лёссовых грунтов в разрезах участков

№ Участка	Геоморфологический элемент	№ Скв.	Наименование грунта	Абс. отметка поверхности	Глубина залегания слоя	Мощность слоя	УГВ
1	Доно- Тузовский водораздел	18	Суглинок тяжёлый пылеватый, твёрд.	72,3	0,9 – 12,8	11,9	20,8
		25		69,5	0,9 – 10,4	9,5	31,7
		35		69,4	1,3 – 8,7	7,4	13,0
2	высокая часть террасы	1	Суглинок лёгкий пылеватый, твёрд.	68,5	2,5 – 15,6	13,1	16,5
		8		70,0	2,0 – 13,6	11,6	14,2
		11		69,9	1,3 – 16,3	15,0	16,6
3	высокая часть террасы	1	Суглинок тяжёлый пылеватый, полутв.	90,3	0,2 – 5,4	5,2	6,3
		7		88,9	0,3 – 5,1	4,8	6,8
		11		90,1	0,2 – 5,3	5,1	6,4
4	низкая часть террасы	14	Суглинок лёгкий пылеватый, твёрд.	19,0	0,9 – 6,9	6,0	7,7

**Участок 1**

Лёссовые грунты данного участка были классифицированы по гранулометрическому составу, как суглинки пылеватые. Они встречаются повсеместно до глубин 8,5-12,9 м (абс. отм. 57,90-62,02 м) и прослеживаются в двух инженерно-геологических элементах ИГЭ-1 и ИГЭ-1а. (Приложение 1, листы 1, 2, 3; Приложение 2, листы 1, 2, 3).

ИГЭ-1 распространён на глубинах 0,7 – 1,7 м и 3,2 – 4,7 м, залегая под почвенно-растительным или насыпным слоем. Представлен суглинком жёлто-бурого цвета, тяжёлым пылеватым, твёрдой консистенции, сильно макропористым с включениями гнёзд и стяжений карбонатов от 3 до 10%. Вскрыт всеми скважинами. Мощность составляет 2,1 – 3,9 м. (скв. 18 – 3,8 м, скв. 25 – 3,3, скв. 35 – 2,1 м).

ИГЭ-1а залегает почти горизонтально непосредственно под сильно макропористым суглинком на глубинах 3,2 - 4,7 – 8,5 - 12,9 м. Представлен суглинком от жёлто-бурого до бурого цвета, тяжёлым пылеватым, твёрдой консистенции, макропористым, с включениями карбонатов до 7 – 10%. Вскрыт всеми скважинами. Мощность слоя колеблется от 4,6 до 8,4 м (скв. 18 – 8,1 м, скв. 25 – 6,2, скв. 35 – 5,3). В толще слоя (в интервале глубин от 5,9 - 9,3 до 6,9 - 10,8 м) прослеживается погребённый почвенный горизонт, представленный суглинком или глиной от тёмно-

бурого до тёмно-серого цвета твёрдой консистенции.

Как отмечалось в главе 3, косвенные показатели (критерии) для оценки потенциальной просадочности лёссовых грунтов учитывают их физическое состояние.

В таблице 4 приведены характеристики физических свойств лёссовых грунтов исследуемых участков (по некоторым скважинам), которые использовались для расчёта косвенных критериев. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов участка 1 с глубиной показано на графиках (Приложение 5, листы 1, 2, 3). На рисунке 15 в качестве примера приведены такие графики для скважины 18 участка.

Таблица 4

**Значения физических характеристик лёссовых грунтов исследуемых участков**

№ Участка	№ Сква.	Наименование грунта	w	$\rho$	$\rho_d$	$\rho_s$	n	e	Sr	WL	Wp	Ip
1	18	Суглинок тяжёлый пылеватый, твёрд.	15,1	1,77	1,54	2,70	43,06	0,757	0,545	36,1	20,7	15,5
	25		16,1	1,77	1,53	2,71	43,62	0,776	0,568	37,5	21,5	16,0
	35		20,8	1,82	1,50	2,71	44,44	0,803	0,706	37,9	21,6	16,3
2	1	Суглинок лёгкий пылеватый, твёрд.	15,7	1,84	1,59	2,69	40,95	0,695	0,611	25,1	15,0	10,0
	8		15,2	1,81	1,57	2,69	41,60	0,714	0,572	25,8	14,6	11,2
	11		13,0	1,77	1,57	2,68	41,62	0,719	0,493	26,0	16,1	10,0
3	1	Суглинок тяжёлый пылеватый, полутв.	20,2	1,90	1,58	2,69	41,44	0,705	0,769	36,7	21,8	12,2
	7		21,5	1,80	1,48	2,69	44,98	0,821	0,770	33,5	20,3	13,2
	11		23,4	1,77	1,43	2,69	46,72	0,879	0,719	34,3	20,8	13,5
4	14	Суглинок лёгкий пылеватый, твёрд.	17,3	1,71	1,46	2,68	45,75	0,844	0,550	27,4	18,0	9,4

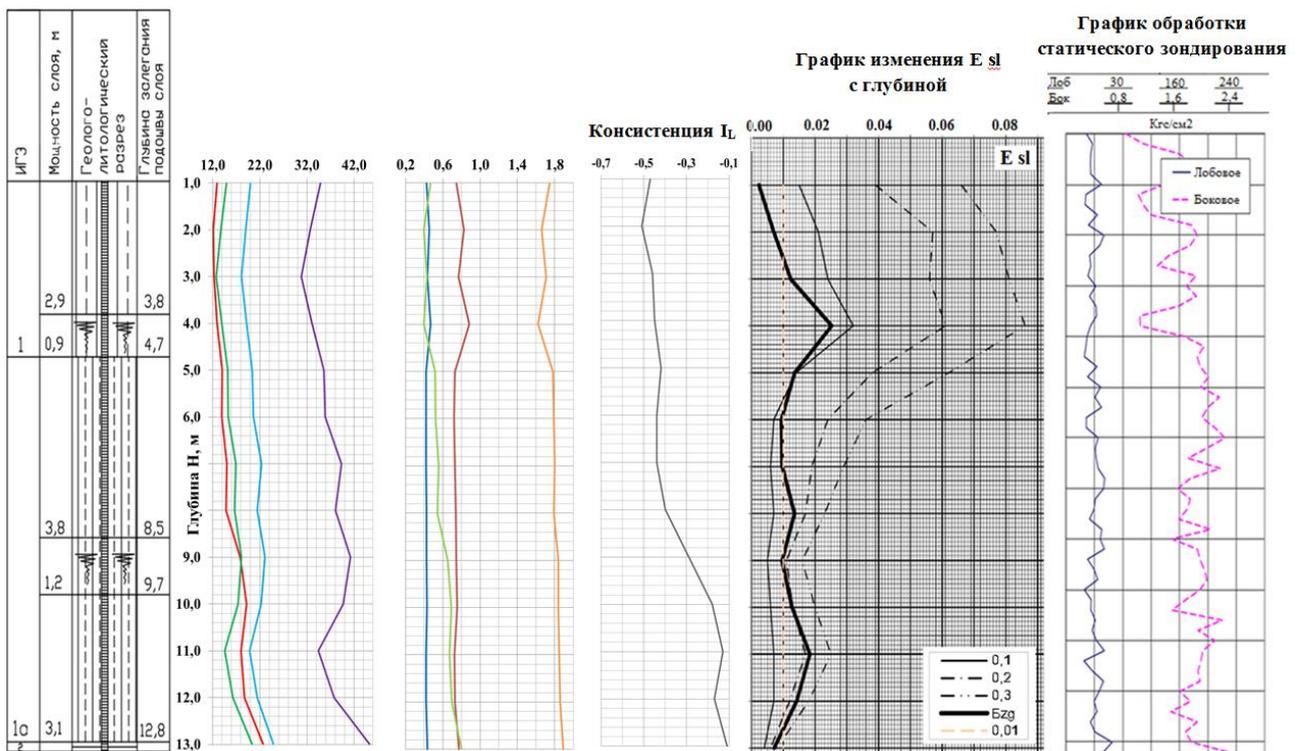


Рис. 15. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной на Участке 1; скв.18 (— влажность; — нижний предел пластичности; — верхний предел пластичности; — число пластичности; — плотность; — пористость; — коэффициент пористости; — коэффициент водонасыщения).

Как можно судить по графикам (Приложение 5, листы 1, 2, 3), выявлены следующие закономерности изменения физических свойств грунтов с глубиной для скважин 18; 25; 35:

В целом, характерно возрастание показателей влажности  $W$ , плотности  $\rho$ , коэффициента водонасыщения  $S_r$ , пределов пластичности  $W_p$  и  $W_L$ , числа пластичности  $I_p$  и консистенции  $I_L$  с глубиной. Уменьшаются значения пористости  $n$  и, как следствие, коэффициента пористости  $e$ . Изменения общей тенденции в поведении отдельных показателей на графиках объясняются неоднородностью слоёв – наличием в них включений гнёзд и стяжений карбонатов (от 3 до 10%), описанных для данных грунтов, а также наличием погребённых почвенных горизонтов.

## **Участок 2**

Лёссовые грунты, классифицированные по гранулометрическому составу, как суглинки лёгкие пылеватые, прослеживаются на данной площадке до глубин 13,60 - 16,70 м (абс. отм. 52,90 - 56,85 м), где их мощность составляет 8,70 - 15,00 м и представлены в ИГЭ-1 и ИГЭ-2 (Приложение 1, листы 4, 5, 6; Приложение 2, листы 4, 5, 6).

ИГЭ-1 распространён на глубинах 2,00 - 5,00 м – 5,50 - 10,60 м. Представлен суглинком легким пылеватым, незасоленным, ненабухающим, без примеси органических веществ. Суглинок светло-коричневого цвета, твердой консистенции, макропористый, просадочный, с редкими конкрециями карбонатов и примазками марганца. С погребённо-почвенного горизонта - суглинок темно-коричневого цвета, легкий, твердый. Данный слой вскрыт всеми скважинами, его мощность составляет от 3,8 до 8,5 м (скв. 1- 8 м, скв. 8 – 8,5, скв. 11 – 4,2 м).

ИГЭ-2 мощностью от 2,9 до 10,8 м (скв. 1 – 5,1 м, скв. 8 – 3,1, скв. 11 – 10,8 м) распространён на глубинах 5,50 - 10,60 м – 13,50 - 16,70 м. Слой представлен суглинком легким пылеватым, незасоленным, ненабухающим, полутвердой консистенции, с редкими конкрециями карбонатов и примазками марганца.

В таблице 4 приведены характеристики физических свойств лёссовых грунтов участка, которые использовались для расчёта косвенных критериев. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной показано на графиках в Приложении 5 (листы 4, 5, 6). На рисунке 16 в качестве примера приведены такие графики для скважины 1.

Для всех графиков данного участка характерна сильно выраженная неоднородность с общим повышением влажности  $W$ , плотности  $\rho$ , коэффициента водонасыщения  $S_r$  и консистенции  $I_L$  с глубиной, и понижение пористости  $n$ , коэффициента пористости  $e$ , пределов пластичности  $W_p$  и  $W_L$  и числа пластичности  $I_p$ . Также характерна аномалия 12 – 14 метров с планомерным понижением некоторых показателей, позволяющая говорить о наличии на данной глубине грунтов несколько иных свойств.

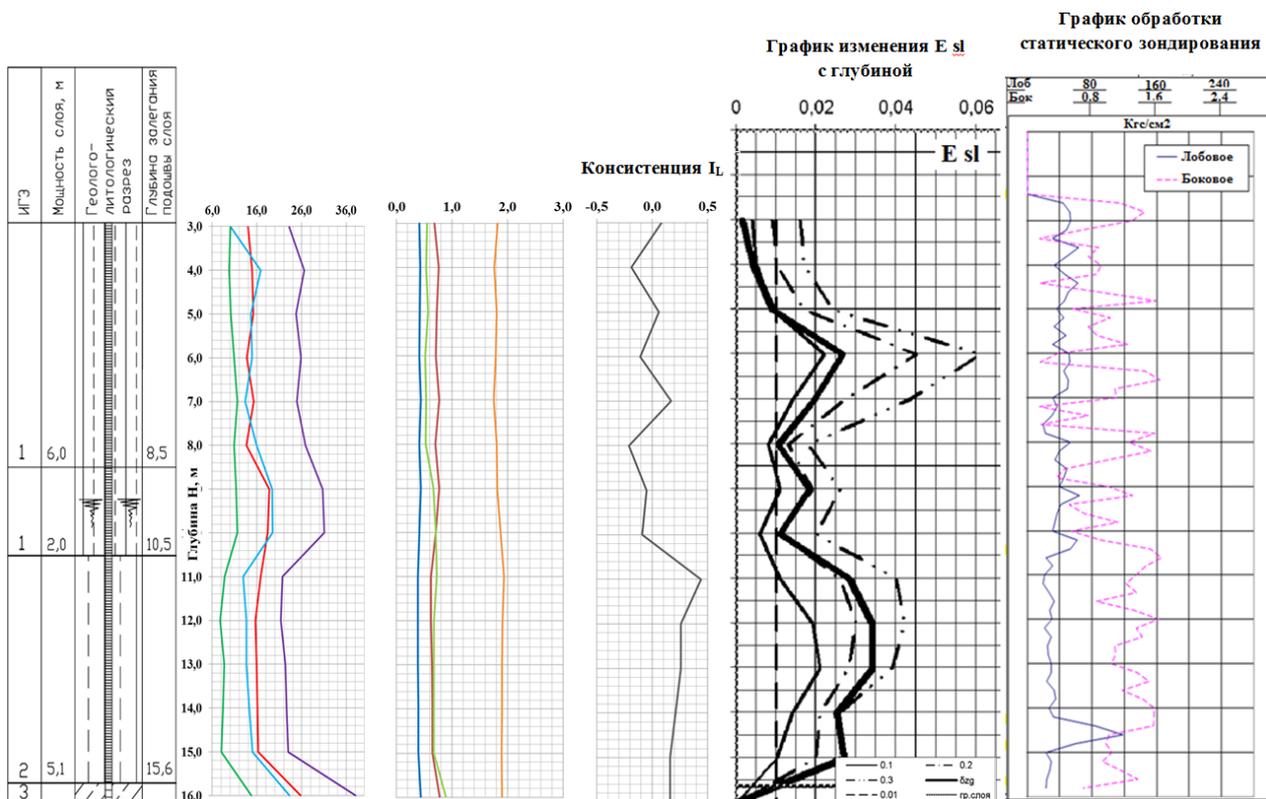


Рис. 16. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной на Участке 2; скв.1 ( — влажность; — нижний предел пластичности; — верхний предел пластичности; — число пластичности; — плотность; — пористость; — коэффициент пористости; — коэффициент водонасыщения.

### Участок 3

Просадочными свойствами на участке исследований обладают грунты ИГЭ-1, распространённые до глубин 5,10 – 5,80 м (абс. отм. 81,95 – 85,28). Мощность просадочной толщи составляет 4,90 – 5,60 м (скв.1 – 5,2 м, скв. 7 – 4,8, скв. 11 – 5,1 м).

ИГЭ-1, мощностью 4,8 – 5,5 м. распространённый на глубинах 0,20-0,30м – 5,10-5,80 м, представлен суглинком тяжёлым, желто-бурого цвета, пылеватым, полутвердой консистенции, макропористым, с включением карбонатов; характеризуется как незасоленный, ненабухающий.

В таблице 4 приведены характеристики физических свойств лёссовых грунтов участка, которые использовались для расчёта косвенных критериев. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной показано на графиках в Приложении 5 (листы 7, 8, 9). На рисунке 17 в качестве примера приводятся графики для скважины 1.

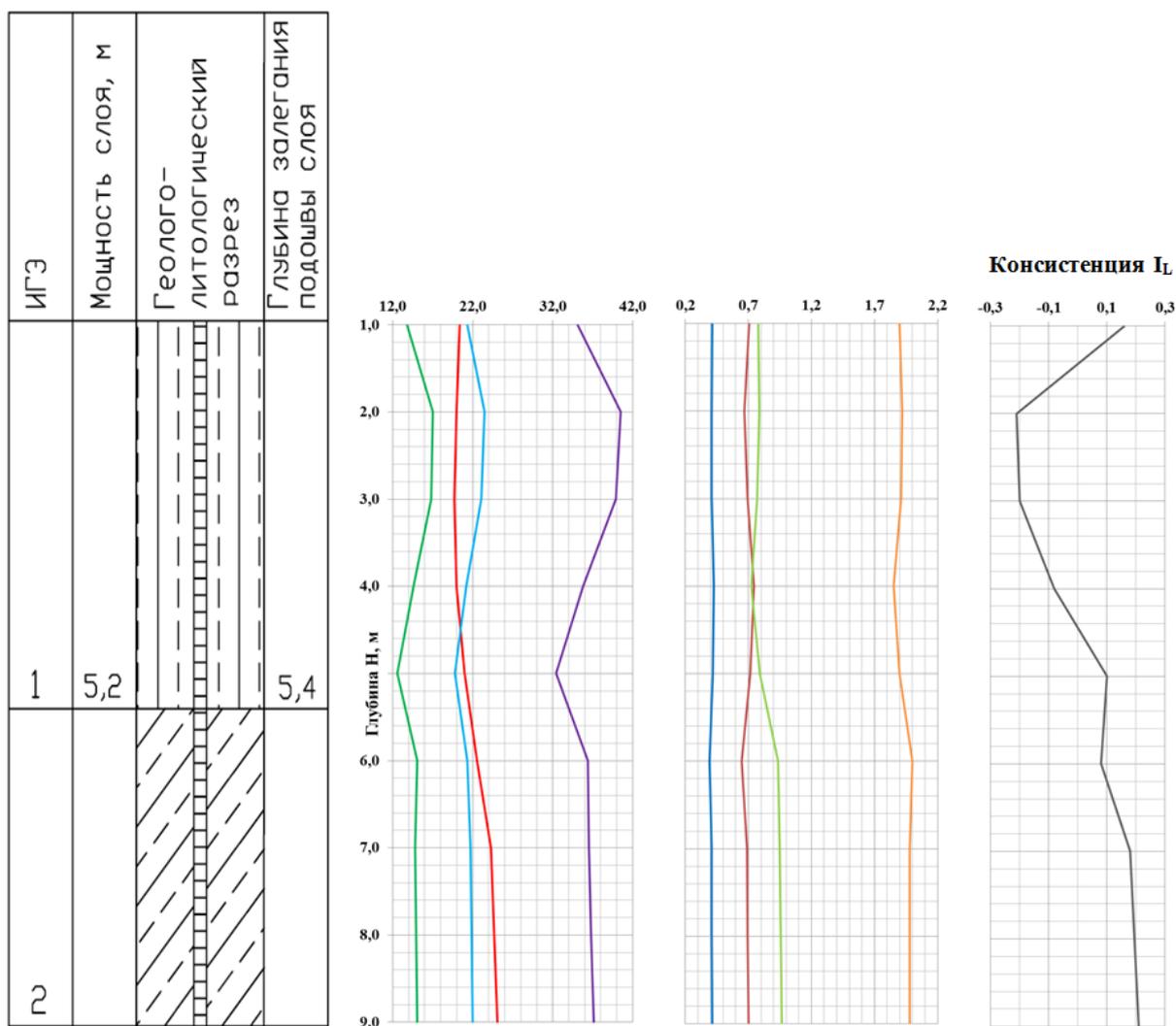


Рис. 17. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной на Участке 3; скв.1 ( — влажность; — нижний предел пластичности; — верхний предел пластичности; — число пластичности; — плотность; — пористость; — коэффициент пористости; — коэффициент водонасыщения.

Графики всех скважин в целом имеют тенденцию к общему увеличению с глубиной влажности  $W$ , плотности  $\rho$ , коэффициента водонасыщения  $S_r$ , пределов пластичности  $W_p$  и  $W_L$ , числа пластичности  $I_p$  и консистенции  $I_L$ ; уменьшению пористости  $n$  и коэффициента пористости  $e$ . Во всех скважинах отчётливо виден изгиб «незамоченного» грунта приблизительно в середине слоя, для графиков всех скважин характерно наличие редких, но крупных «аномалий», связанных, по видимому, с неоднородностью грунта.

#### Участок 4

На данном участке лёссовые грунты, представленные лёгким пылеватым суглинком жёлто-бурого цвета, твёрдой консистенции, были выделены в ИГЭ-3. Суглинок незасоленный, ненабухающий. Этот слой распространён на глубинах 0,8-0,9 – 2,1-6,9 м, и вскрыт локально в скв. 14 и скв. 18, мощности данного слоя составляют 6 и 1,3 м.

В таблице 4 приведены характеристики физических свойств лёссовых грунтов участка, которые использовались для расчёта косвенных критериев. Изменение физических свойств лёссовых грунтов с глубиной показано на графиках в Приложении 5 (лист 10). На рисунке 18 в качестве примера приведены такие графики для скважины 14 участка.

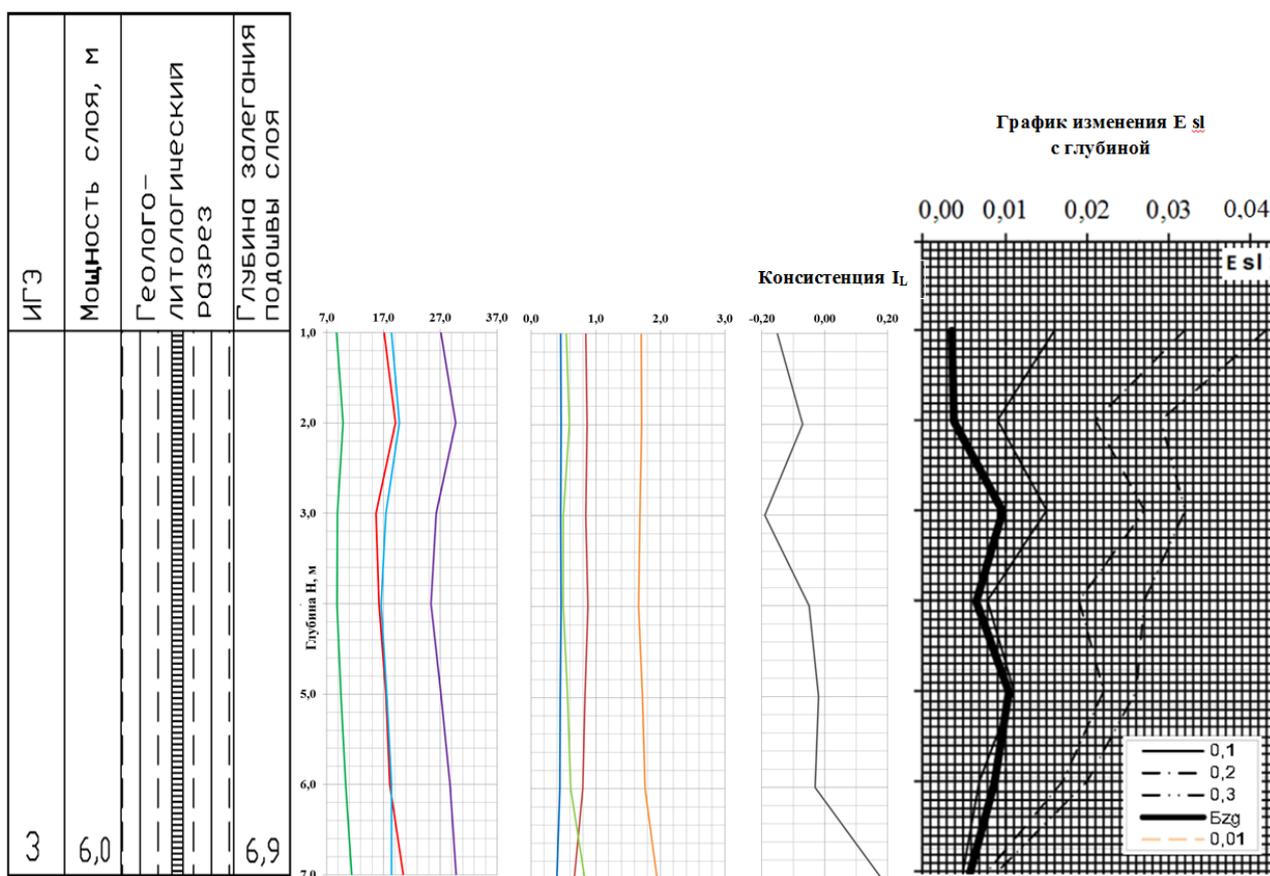


Рис. 18. Изменение физико-механических свойств лёссовых грунтов с глубиной на Участке 4; скв.14 (— — влажность; — — нижний предел пластичности; — — верхний предел пластичности; — — число пластичности; — — плотность; — — пористость; — — коэффициент пористости; — — коэффициент водонасыщения).

В целом, с глубиной увеличиваются показатели: влажности  $W$ , плотности  $\rho$ , коэффициента водонасыщения  $S_r$ , пределов и числа пластичности ( $W_p$ ,  $W_L$  и  $I_p$ ), и

консистенции  $I_L$ ; уменьшаются: пористость  $n$  и коэффициент пористости  $e$ . Резкий скачок некоторых показателей наблюдается на глубине 2 м, где увеличиваются влажность  $W$  и коэффициент водонасыщения  $S_r$ , а также пределы и число пластичности, и консистенция  $I_L$ . Возможно, наличие данной прослойки обусловлено инфильтрированной влагой, не испарившейся, как в более верхнем слое, и перешедшей в капиллярное состояние, либо замкнутой в порах, и не имеющей возможность стекать в нижние слои под действием силы тяжести. Также на представленных графиках, как и на многих графиках, составленных для других площадок, можно отчётливо увидеть изгиб «сухого участка», с заниженными показателями влажности, плотности, и пределов пластичности, и с высокой пористостью.

По результатам обработки графиков изменения различных физических показателей просадочных грунтов с глубиной, была составлена таблица 5, где были отмечены основные тенденции к возрастанию (В) или убыванию (У) с глубиной этих характеристик.

Таблица 5

**Возрастание (В) или убывание (У) графика зависимости физической характеристики грунта от глубины**

№ Участка	w	$\rho$	n	e	$S_r$	WL	Wp	$I_p$	$I_L$
1	В	В	У	У	В	В	В	В	В
2	В	В	У	У	В	У	У	У	В
3	В	В	У	У	В	В	В	В	В
4	В	В	У	У	В	В	В	В	В

Как видно из графиков (Приложение 5), и, следовательно, из таблицы 5, для всех участков в целом характерно возрастание влажности  $W$ , плотности  $\rho$ , коэффициента водонасыщения  $S_r$  и консистенции  $I_L$  с глубиной, а также уменьшение пористости  $n$  и коэффициента пористости  $e$ . Данная закономерность вполне ожидаема, так как с глубиной возрастает давление от собственного веса грунта, сопровождающееся увеличением плотности и уменьшением пористости. Влажность образуется за счёт стекания атмосферных вод, а также влияния горизонта подземных вод, коэффициент водонасыщения напрямую зависит от влажности и пористости, и консистенция грунта также сильно зависит от влажности.

Несколько иначе дело обстоит с границами пластичности  $W_L$  и  $W_p$ , а также с числом пластичности  $I_p$ . На участках 1, 3 и 4 все три показателя в целом возрастают с глубиной, а на участке 2 – уменьшаются. По мнению автора, эти показатели изменяются главным образом из-за увеличения плотности грунта и количества глинистых частиц с глубиной. Число пластичности  $I_p$  также меняется под воздействием этих факторов. Уменьшение данных физических характеристик на участке 2 можно объяснить описанной ранее аномалией на глубинах 11 – 15, 11 – 13 м, выделенной во всех трёх скважинах второго участка. Судя по скачку ряда показателей, на этой глубине возможно выделить слой грунтов с заниженными влажностью и пористостью, и завышенной плотностью скелета грунта мощностью порядка 3 – 4 м. Стоит отметить, что данный слой всегда оканчивается до подошвы ИГЭ-2. С началом непросадочных грунтов ИГЭ-3 все перечисленные выше характеристики увеличиваются резким скачком.

Если посмотреть на различие в средних значениях физических характеристик для грунтов разных участков (таблица 4) и других характеристик участков (таблица 3), можно увидеть, что грунты участка 3 обладают наибольшими абсолютными отметками поверхности, однако мощность просадочных грунтов там минимальна и значения просадки от собственного веса грунта также крайне невелики. Такая картина не соответствует представлению о том, что для более высоких частей террасы характерны большие мощности просадочных грунтов. Стоит также отметить высокий уровень грунтовых вод в скважинах, связанный, возможно, с техногенными факторами. Грунты данной территории имеют наиболее высокие средние значения влажности и плотности, а также коэффициента водонасыщения, пределов пластичности и текучести.

Наиболее схожими по многим показателям являются грунты 1 и 2 участков. Стоит отметить, что просадочные грунты участка 2 залегают несколько глубже и имеют большие мощности, нежели грунты первого участка, также уровень грунтовых вод здесь простирается ближе к поверхности. Среди физических характеристик данного участка стоит выделить более низкие значения плотности минеральной части  $\rho_s$ , пористости  $n$ , пределов и числа пластичности  $W_p$ ,  $W_L$  и  $I_p$ , и повышенную плотность  $\rho$  грунтов. Просадочные грунты участка 1 были классифицированы как суглинки тяжёлые пылеватые, а участка 2 – как лёгкие пылеватые суглинки. Участок 2 находится ближе к р. Дон, нежели участок 1, это стоит учесть при более подробном рассмотрении факторов, влияющих на формирование просадочных свойств грунтов.

Выделенные закономерности для просадочных грунтов четвёртого участка,

более подробно рассмотрены в пункте 5.4.

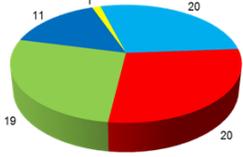
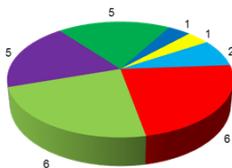
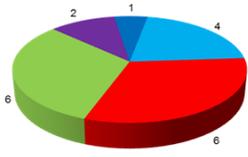
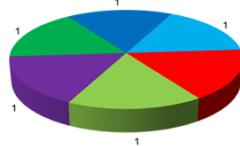
По приведённым в таблице 4 характеристикам физических свойств грунтов для каждого участка были произведены расчёты косвенных показателей. Результаты расчётов приведены в Приложении 6 (листы 1 – 4). Диаграммы, показывающие количество определений, охарактеризовавших грунты как просадочные для различных косвенных показателей, по каждому из участков приведены на рисунке 19.



Рис. 19. Оценка склонности грунтов к просадочным явлениям по косвенным показателям на исследуемых участках.

Также, чтобы оценить значимость «визуальных» характеристик грунта для оценки его просадочности, была составлена таблица 5 с добавлением основных «визуальных» косвенных признаков для каждого участка, с указанием результатов, предсказанных по каждому из признаков (просадочные / непросадочные).

### Определение просадочности грунтов по различным косвенным признакам

Участок	Рельеф, Приуроченность к геоморфологическому элементу Абсолютные отметки	Мощность лёссовых пород	Глубина залегания грунтовых вод	Гранулометрический Состав (процентное содержание глинистых и крупных пылеватых частиц)	Влажность, %	Пористость %	Диаграммы количества определений (из общего числа определений конкретного показателя просадочности), охарактеризовавших грунты как просадочные
1	Ровный, с небольшим уклоном, Доно-Тузовский водораздел, 69,20 – 72,82 <b>Просадочные</b>	7,4 – 11,9 <b>Просад.</b>	31,6 – 38,6 (13 в скв. 35) <b>Просад.</b>	Глин. 38% Пыл. 37% <b>Непросадочные</b>	17,4 <b>Просад.</b>	44,1 <b>Непросад.</b>	
2	Равнинный, Высокие части террасы р. Дон, 68,5 – 70,35 <b>Просадочные</b>	8,7 – 15,0 <b>Просад.</b>	14,1 – 17,2 <b>Просад.</b>	Глин. 25,5% Пыл. 41,2% <b>Непросадочные</b>	15,2 <b>Просад.</b>	40,5 <b>Непросад.</b>	
3	Ровный, спокойный, Высокие части террасы р. Дон, 87,15 – 90,58 <b>Просадочные</b>	4,9 – 5,6 <b>Непросад.</b>	6,3 – 6,8 <b>Непросад.</b>	Глин. 29% Пыл. 44,5% <b>Непросадочные</b>	23,4 <b>Непросад.</b>	42,5 <b>Непросад.</b>	
4	Наклонный, Низкие части террасы р. Дон, 5,05 – 19,0 <b>Непросадочные</b>	6,0 <b>Непросад.</b>	1,1 – 7,7 <b>Непросад.</b>	Глин. 23,1% Пыл. 42,1% <b>Непросадочные</b>	17,2 <b>Просад.</b>	45,72 <b>Просад.</b>	

Как можно судить из приведённых диаграмм и таблицы 6, набор показателей, определивших грунты, как просадочные, различен для каждого участка.

**Коэффициент водонасыщения пород  $S_r$ .** Согласно классификации [29], все образцы лёссовых грунтов на четырёх участках по этому показателю были отнесены к средней степени водонасыщения (влажные), то есть они обладают склонностью к проявлению просадочности.

**Показатель просадочности  $\Pi$**  охарактеризовал 32 образца из 33 как просадочные и лишь один образец с участка 1 был определён как непросадочный.

**Показатель макропористости  $K_p$  Н.Я. Денисова** охарактеризовал все грунты участка 1, как непросадочные. Классифицировал как просадочные, грунты участка 2 (5 определений из 6), также грунты участка 4, и 2 из 6 образцов участка 3.

**Показатель уплотнённости  $K_d$  В.А. Приклонского** классифицировал как просадочные, только грунты участков 2 (пять из шести образцов) и 4 (1 образец).

**Индекс просадочности  $I_n$ .** По нему были определены как просадочные грунты участков 1 и 4 (11 из 20 и 1 из 1 образцов); грунты же участков 2 и 3 классифицировал как просадочные лишь в одном случае из шести.

**Коэффициент дефицита влажности  $K$**  из всех 33 образцов определил как просадочные лишь 2, на площадках 1 и 2.

**Коэффициент пористости  $e$ , плотность скелета грунта  $\rho_d$  и коэффициент водонасыщения пород  $S_r$  (по Крутову В.И.)** Для разных участков данная классификация В. И. Крутова давала различные результаты. Так, практически все грунты участка 1 были отнесены к слабопросадочным, грунты второго участка в 4 случаях из 6 были классифицированы как непросадочные, в двух – как просадочные. Грунты участка 3 были классифицированы в 4 случаях как слабопросадочные, а в двух – как «условно просадочные».

Общая оценка склонности грунтов всех площадок к просадочным явлениям по косвенным показателям приведена на рисунке 20.



Рис. 20. Общая оценка склонности грунтов к просадочным явлениям по косвенным показателям на исследуемых участках.

На основании выше сказанного были выделены косвенные критерии, которые на данных участках в наибольшем количестве охарактеризовали исследуемые грунты как просадочные: коэффициент водонасыщения  $S_r$ , показатель просадочности  $\Pi$  и классификация по коэффициенту пористости  $e$ , плотности скелета грунта  $\rho_d$  и коэффициенту водонасыщения пород  $S_r$ , разработанная В.И. Крутовым. Другие показатели были верны лишь для отдельных площадок.

### **5.3. Результаты оценки просадочности грунтов, слагающих исследуемые площадки, прямыми методами**

Как следует из главы 3, судить точно о просадочности грунта позволяют данные, полученные прямыми методами (полевыми или лабораторными).

Для исследуемых участков были проведены компрессионные испытания в лабораторных условиях по схеме «двух кривых», в результате которых были получены: величины абсолютного сжатия образца грунта  $\Delta h_i$ , величины высоты образцов грунта  $h_0$  с природной влажностью и природным давлением, величины относительного сжатия образцов грунта  $\varepsilon_i$ , и в итоге величины относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  для различных давлений. На основании полученных данных для просадочных грунтов каждой скважины были составлены карточки обработки показателей просадочности и построены графики изменения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  ( $E_{sl}$ ) с глубиной и графики зависимости  $E_{sl}$  от давления. При обработке данных были получены величины начального просадочного давления и рассчитаны суммарные просадки грунта от собственного веса при замачивании  $S_{sl}$ . По данной характеристике грунты были отнесены к I или II типам по просадочности. Ниже представлены результаты исследований грунтов на просадочность для каждого участка.

#### ***Участок 1***

Для каждой скважины участка для выделенных по литологическим признакам слоёв лёссовидных грунтов были произведены испытания по методу «двух кривых», по результатам которых составлены карточки обработки показателей просадочности. В таблице 7 представлен пример такой карточки, составленной для грунтов скважины № 25 участка.

Карточка обработки показателей просадочности для скв. 25 участка 1

Глубина отбора монолита, м	Результаты компрессионных испытаний грунтов							Расчёт величины просадки грунта под действием собственного веса						Начальное просадочное давление, МПа
	Величина относительной просадочности $\epsilon_{sl}$ при нагрузках, МПа							Объёмный вес водонасыщенного грунта, г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление водонасыщенного грунта $\delta_{zg}$	$\epsilon_{sl}$ при $\delta_{zg}$	Высота слоя, см	$\epsilon_{sl}$ для слоя	Величина просадки, см	
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35							
1,0	0,007	0,020	0,031	0,040	0,047	0,053		1,93	0,019	0,003	0	0,0000	0,000	0,062
2,0	0,014	0,029	0,045	0,060	0,071	0,080		1,88	0,038	0,011	8	0,0103	0,087	0,036
3,0	0,009	0,021	0,029	0,033	0,041	0,045		1,95	0,058	0,011	100	0,0107	1,075	0,054
4,0	0,005	0,013	0,023	0,032	0,039	0,043		1,96	0,077	0,009	56	0,0104	0,583	0,081
5,0	0,007	0,013	0,017	0,021	0,025	0,027		1,99	0,097	0,013	80	0,0113	0,910	0,075
6,0	0,006	0,011	0,015	0,019	0,022	0,024		1,98	0,117	0,012	100	0,0123	1,233	0,090
7,0	0,003	0,008	0,013	0,017	0,020	0,022		1,98	0,137	0,012	100	0,0118	1,184	0,120
8,0	0,006	0,011	0,015	0,019	0,022	0,024		1,98	0,157	0,016	100	0,0136	1,360	0,090
9,0	0,003	0,008	0,011	0,015	0,018	0,019		1,99	0,176	0,013	100	0,0143	1,432	0,133
10,0	0,001	0,004	0,007	0,009	0,011	0,012		1,99	0,196	0,009	73	0,0116	0,844	0,225
11,0	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,007	0,008	2,02	0,217	0,004	0	0,0000	0,000	0,000
Просадка грунта отсобственного веса при змачивании:													8,71 см	
Примечание:	Нижняя граница просадочного слоя: 10,40 м							Согласно СНиП 2.02.01-83 принят коэф. $K_{sl} = 1,00$						

Как видно из карточки, нижняя граница просадочного слоя составила 10,4 метров. Отчётливо это можно увидеть на графике изменения относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  с глубиной (рис. 21).

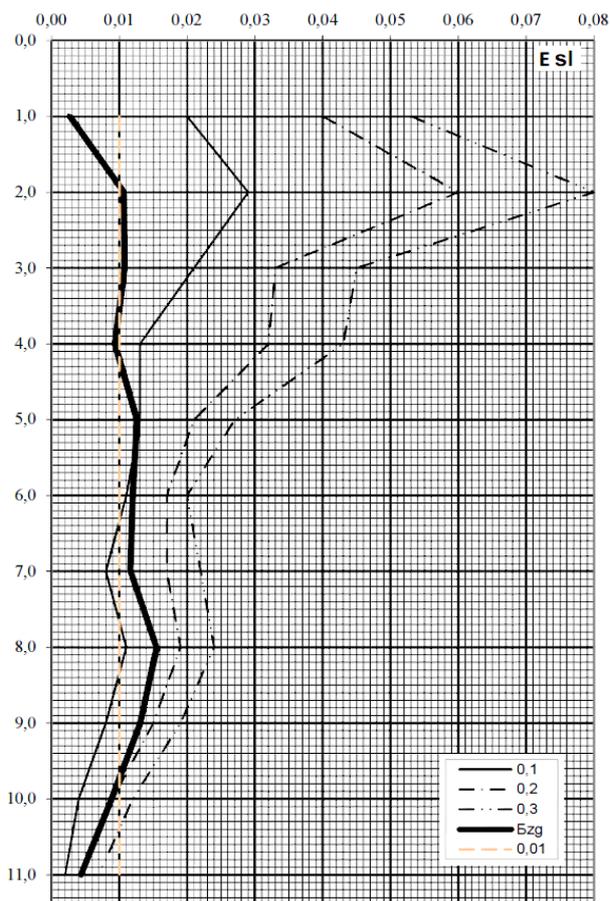


Рис. 21. График изменения относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  МПа с глубиной, м.

На рисунке 21 видно, что значения относительной просадочности при нагрузке 0,3 МПа принимает значение менее 0,01 ещё на глубине 10,4м.

Кроме графика изменения относительной просадочности с глубиной, по полученным данным также были построены графики зависимости относительной просадочности  $E_{sl}$  от давления  $P$ , МПа, где различными цветами обозначены образцы грунтов, отобранные с разных глубин (рис. 22).

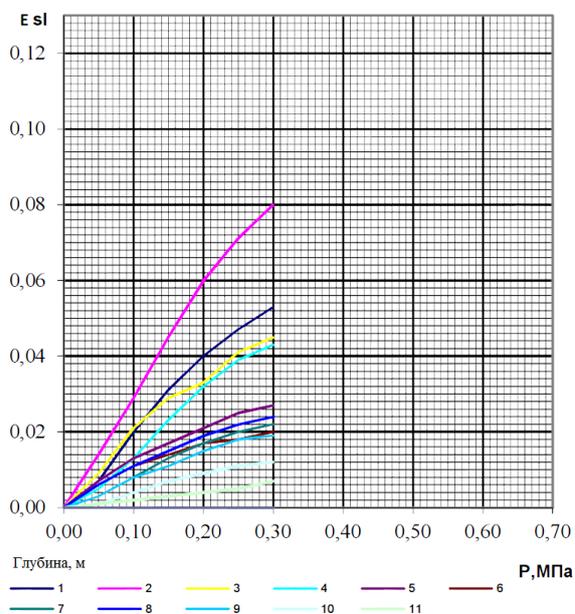


Рис. 22. График зависимости относительной просадочности  $E_{sl}$  от давления  $P$ , МПа

Таким образом, были выделены слои просадочных пород для каждой скважины участка и определены суммарные просадки грунта от собственного веса при замачивании  $S_{sl}$ .

Было установлено, что просадочные грунты на данном участке встречены повсеместно до глубин 8,5-12,9 м (абс. отм. 57,90-62,02 м). Суммарная мощность просадочной толщи составляет 7,4 - 11,9 м. Величины просадки от собственного веса по выработкам приведены в таблице 8.

Просадочные грунты данного участка представлены лессовидными суглинками желто-бурого и бурого цвета, тяжелыми, пылеватым, твердой консистенции. Они были выделены в ИГЭ-1 и ИГЭ-1а.

**Величины просадки от собственного грунта веса по выработкам**

№ скважины	Глубина подошвы просадочной толщи, м.	Мощность просадочной толщи, м.	Просадка от собственного веса, см.
Скв. 1	10,9	10,1	8,90
Скв. 5	9,9	9,0	9,62
Скв. 8	8,9	8,0	5,25
Скв. 12	12,8	11,6	14,73
Скв. 15	12,2	11,3	10,82
Скв. 18	12,8	11,9	12,38
Скв. 24	11,4	10,3	6,55
Скв. 25	10,4	9,5	8,71
Скв. 27	10,7	9,9	7,92
Скв. 32	9,3	8,2	5,28
Скв. 35	8,7	7,4	4,40
Скв. 39	10,5	8,8	9,69
Скв.41	12,6	11,7	9,26
Скв.42	11,6	11,1	10,91

По величине просадки от собственного веса при замачивании Ssl, грунты были отнесены к I либо II типу условий по просадочности. Как уже было сказано в главе 3, к первому типу были отнесены грунты с просадкой от собственного веса при замачивании менее 5 см, а ко второму – более 5 см.

Таким образом было установлено, что на изучаемой площадке распространены грунты I и II (преимущественно) типа грунтовых условий по просадочности. Просадка грунтов под действием собственного веса для грунтов I типа составляет – 4,40 см (скв. № 35), для грунтов II типа – от 5,28 см до 14,73 см.

Для всех грунтов участков проводились исследования механических свойств для получения прочностных и деформационных характеристик.

Прочностные характеристики для лёссовых грунтов получены по результатам лабораторных испытаний грунтов на сдвиговых приборах по методу быстрого неконсолидированного сдвига при полном водонасыщении в интервале нагрузок 0,05-0,10-0,15 МПа.

Деформационные характеристики для лёссовых грунтов определялись в лабораторных условиях методом компрессионного сжатия на приборах ПКП-10.

Результаты определений нормативных и расчётных характеристик для лёссовых грунтов данного участка приведены в таблице 9.

### Нормативные и расчётные значения характеристик грунтов участка 1

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Характеристика	Нормативные и расчётные значения характеристик грунтов								
			$\rho$	$\rho_d$	$e$	$S_r$	$J_p$	$\varphi$	$C$	Показатель текучести	Общий модуль деформации $E_s$ примененем $\sigma_{1k}$ по результатам компрессионных испытаний
			г/см <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	д.ед.	д.ед.	%	град.	кПа		
								при $S_r > 0.8$		природная влажность при $S_r = 0.9$	природная влажность при $S_r = 0.9$
1	Суглинок тяжелый пылеватый твердой консистенции просадочный незасоленный	$X_H$	1,71	1,48	0,830	0,531	14,9	21	15	$\frac{-0,27}{0,50}$	$\frac{20,5}{7,7}$
		$X_{0,85}$	1,71					21	14		$\frac{19,7}{7,5}$
		$X_{0,95}$	1,70					21	14		$\frac{19,2}{7,2}$
1a	Суглинок тяжелый пылеватый твердой консистенции просадочный незасоленный	$X_H$	1,83	1,55	0,749	0,667	16,1	22	19	$\frac{-0,19}{0,22}$	$\frac{16,1}{10,1}$
		$X_{0,85}$	1,83					21	19		$\frac{15,7}{10,0}$
		$X_{0,95}$	1,83					21	19		$\frac{15,5}{9,9}$

Также на исследуемых участках выполнялось статическое зондирование для уточнения границ между слоями, определения показателей механических свойств грунтов. Результаты статического зондирования в виде совмещённых графиков изменения различных показателей по глубине приведены в Приложении 5 (листы 1, 2, 3). В таблице 10 сравниваются показатели свойств грунтов, определённых по лабораторным испытаниям и по данным статического зондирования.

**Сравнительная таблица показателей свойств грунтов, определённых по лабораторным испытаниям и по данным статического зондирования**

Номер ИГЭ	Характеристики по результатам													Рекомендуемые нормативные значения				
	Лабораторных определений								Статическому зондированию									
	Прочностные характеристики				Общий модуль деформации E, МПа					I <sub>L</sub> д.е.	С КПа	φ град	E <sub>s</sub> МПа	I <sub>L</sub> д.е.	С КПа	φ град	E <sub>s</sub> МПа прир.влаж Sr>0,9	I <sub>L</sub> д.е.
	Метод одноплоскостного среза		Метод трехосного сжатия		Метод компрессионного сжатия		Метод трехосного сжатия											
	С КПа	φ град	С КПа	φ град	прир. влаж Sr>0,9	0,05-0,15 МПа	0,1-0,2 МПа	0,3-0,4 МПа	0,5-0,6 МПа									
ИГЭ-1	15	21			<u>20,5</u> 7,7					<u>-0,27</u> 0,50	не нормируется			15	21	<u>20,5</u> 7,7	<u>-0,27</u> 0,50	
ИГЭ-1а	19	22			<u>16,1</u> 10,1					<u>-0,19</u> 0,22	не нормируется			19	22	<u>16,1</u> 10,1	<u>-0,19</u> 0,22	
ИГЭ-2	36	19	105	16		15,2	12,8	22,8	30,5	<u>-0,15</u> -0,07	49	24	33,4	-0,05	36	19	<u>==</u> 12,8	<u>-0,15</u> -0,07
ИГЭ-2а	31	19	98	16		11,4	11,3	19,8	27,5	<u>0,07</u> 0,09	51	24	36,7	-0,05	31	19	<u>==</u> 11,3	<u>0,07</u> 0,09
ИГЭ-3	40	18	113	12		14,5	9,6	18,2	25,6	<u>-0,20</u> -0,15	52	24	38,1	-0,06	40	18	<u>==</u> 18,2	<u>-0,20</u> -0,15
ИГЭ-4	35	22	70	18		29,8	13,9	20,3	30,9	<u>0,16</u> 0,26	43	26	37,2	-0,05	39	22	<u>==</u> 20,3	<u>0,16</u> 0,26

### Участок 2

Для каждой скважины участка для выделенных по литологическим признакам слоёв лёссовидных грунтов были произведены испытания по методу «двух кривых», по результатам которых составлены карточки обработки показателей просадочности. В таблице 11 представлена карточка, составленная для грунтов скважины № 11 участка.

## Карточка обработки показателей просадочности для скв. 11 участка 2

Глубина отбора монолита, м	Результаты компрессионных испытаний грунтов							Расчёт величины просадки грунта под действием собственного веса						Начальное просадочное давление, МПа
	Величина относительной просадочности $\varepsilon_{sl}$ при нагрузках, МПа							Объёмный вес водонасыщенного грунта, г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление водонасыщенного грунта $\delta_{zg}$	$\varepsilon_{sl}$ при $\delta_{zg}$	Высота слоя, см	$\varepsilon_{sl}$ для слоя	Величина просадки, см	
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35							
2,0	0,007	0,038	0,064	0,083	0,094	0,105		1,89	0,038	0,005	0	0,0000	0,000	0,055
3,0	0,006	0,025	0,041	0,062	0,078	0,095		1,91	0,057	0,009	0	0,0000	0,000	0,061
4,0	0,004	0,014	0,026	0,038	0,051	0,063		1,92	0,076	0,009	0	0,0000	0,000	0,080
5,0	0,005	0,013	0,026	0,047	0,066	0,085		1,90	0,095	0,012	74	0,0111	0,826	0,081
6,0	0,001	0,006	0,010	0,014	0,018	0,024		2,00	0,115	0,007	44	0,0111	0,492	0,150
7,0	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012		1,97	0,135	0,009	0	0,0000	0,000	0,200
8,0	0,006	0,012	0,018	0,025	0,035	0,045		1,96	0,154	0,019	87	0,0143	1,244	0,083
9,0	0,002	0,004	0,006	0,009	0,012	0,014		1,98	0,174	0,007	77	0,0143	1,106	0,217
10,0	0,001	0,003	0,005	0,008	0,010	0,012		2,05	0,195	0,008	0	0,0000	0,000	0,250
11,0	0,005	0,012	0,021	0,030	0,038	0,045		2,02	0,215	0,032	91	0,0212	1,922	0,086
12,0	0,007	0,011	0,014	0,017	0,023	0,028		2,06	0,236	0,021	100	0,0268	2,683	0,088
13,0	0,008	0,012	0,015	0,017	0,019	0,020		2,06	0,256	0,019	100	0,0202	2,020	0,075
15,0	0,002	0,005	0,007	0,009	0,012	0,013		1,98	0,296	0,013	200	0,0160	3,204	0,217
16,0	0,001	0,004	0,007	0,011	0,015	0,018		1,91	0,315	0,018	100	0,0156	1,561	0,188
16,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		1,91	0,326	0,000	27	0,0141	0,385	0,000
Просадка грунта отсобственного веса при значивании:												8,71 см		
Примечание:	Нижняя граница просадочного слоя: 10,40 м							Согласно СНиП 2.02.01-83 принят коэф. $K_{sl} = 1,00$						

По полученным данным были построены графики изменения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  с глубиной, и зависимости относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  от давления, представленные в Приложении 5. На рисунке 23 представлен график изменения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  с глубиной, построенный для скважины 11 исследуемого участка.

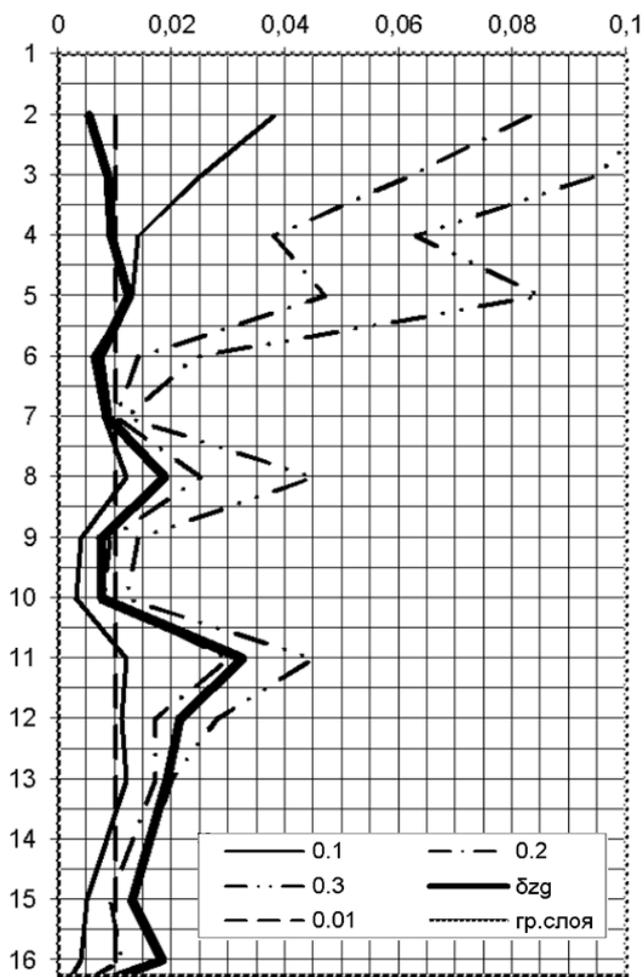


Рис. 23. График изменения относительной просадочности  $E_{sl}$  МПа с глубиной, м.

При помощи карточки обработки просадочности и графика изменения относительной просадочности с глубиной были выделены слои просадочных пород для каждой скважины участка и определены суммарные просадки грунта от собственного веса при замачивании  $S_{sl}$ , см.

Просадочные грунты были выделены в ИГЭ-1, ИГЭ-2 на участке изысканий они встречены повсеместно до глубины 13,60-16,70 м (абс. отм. 52,90-56,85 м). Мощность просадочной толщи составляет 8,70-15,00 м.

Было определено, что просадка грунтов под действием собственного веса составляет 12,40-24,37 см. Таким образом, просадочные грунты данного участка были отнесены к II типу грунтовых условий по просадочности.

Прочностные характеристики для лёссовых грунтов были получены по результатам испытаний на сдвиговых приборах по методу быстрого неконсолидированного сдвига при полном водонасыщении в интервале нагрузок 0,05-0,15 МПа.

Деформационные характеристики для лёссовых грунтов определялись в лабораторных условиях методом компрессионного сжатия на приборах ПКП-10.

Общий модуль деформации рассчитан в интервале нагрузок 0,05 – 0,15 МПа по результатам компрессионных испытаний с применением поправочного коэффициента  $m_k$ , полученного по результатам корреляционной связи компрессионного модуля деформации и показателя текучести (Материалы треста «РостовДонТИСИЗ»).

В таблице 12 представлены значения нормативных и расчётных характеристик для просадочных грунтов данного участка.

Таблица 12

### Нормативные и расчётные значения характеристик грунтов участка 2

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов								Показатель текучести	Удельное сопротивление грунта конусу зонда
		$\rho^*$	$\rho^*$	$E^*$	$E^*$	$\varphi^*$	$\varphi^*$	$C^*$	$C^*$		
		г/куб.см.		МПа		Град.		КПа			
				Sr<0.8		при Sr>0.8					
1	Суглинок легкий пылеватый твердый просадочный незасоленный ненабухающий, без примеси органических веществ	1,80	1,79	$\frac{16,8}{3,6}$	$\frac{16,1}{3,4}$	13	11,6	13	12,2	$\frac{-0,07}{0,76}$	
2	Суглинок легкий пылеватый полутвердый просадочный незасоленный ненабухающий	1,88	1,87	$\frac{10,6}{3,8}$	$\frac{9,8}{3,5}$	16	14,7	18	16,2	$\frac{0,08}{0,82}$	

Также на исследуемых участках выполнялось статическое зондирование для уточнения границ между слоями, определения показателей механических свойств грунтов. Статическое зондирование выполнялось по ГОСТ 19912-2001 до глубины достижения предельного значения сопротивлению конуса зонда, комплектом аппаратуры «ПИКА-17» с использованием зонда, тип - II. Показатели статического зондирования грунта в процессе вдавливания зонда регистрировались с интервалом по глубине 0,1м и обработаны с интервалом 0,2 м. Скорость погружения зонда в грунт составляла  $1,0 \pm 0,3$  м/мин.

Результаты статического зондирования в виде совмещённых графиков изменения различных показателей по глубине приведены в Приложении 5 (лист 4).

#### Участок 3

Для каждой скважины участка для выделенных по литологическим признакам слоёв лёссовидных грунтов были произведены испытания по методу «двух кривых», по результатам которых составлены карточки обработки показателей просадочности.

Как и в предыдущих случаях, путём обработки полученных при компрессионных испытаниях данных, были получены значения просадки грунтов под

действием собственного веса  $S_{sl}$ . Было установлено, что просадка отсутствует или составляет 2,17 см.

Просадочные грунты, представленные суглинками тяжелыми пылеватыми, полутвердой консистенции были выделены в ИГЭ-1. На исследуемом участке они распространены до глубин 5,10-5,80м (абс. отм. 81,95-85,28). Мощность просадочной толщи составляет 4,90-5,60м. Тип грунтовых условий по просадочности – I (первый).

Прочностные характеристики для лёссовых грунтов площадки были получены по результатам испытаний грунтов на сдвиговых приборах по методу быстрого неконсолидированного сдвига при полном водонасыщении.

Деформационные характеристики определялись в лабораторных условиях методом компрессионного сжатия на приборах ПКП-10. Общий модуль деформации рассчитан в интервале нагрузок 0,05 – 0,15 МПа по результатам компрессионных испытаний с применением поправочного коэффициента  $m_k$ , полученного по результатам корреляционной связи компрессионного модуля деформации и показателя текучести (Материалы треста «РостовДонТИСИЗ»).

В таблице 13 представлены значения нормативных и расчётных характеристик для просадочных грунтов данного участка.

Таблица 13

### Нормативные и расчётные значения характеристик грунтов участка 3

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов								Показатель текучести
		$\rho^*$	$\rho^*$	$E^*$	$E^*$	$\varphi^*$	$\varphi^*$	$C^*$	$C^*$	
		г/куб.см.		МПа		Град.		КПа		
				Sr<0.8		при Sr>0.8				
		Sr>0.8								
1	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый просадочный незасоленный ненабухающий	1,81	1,79	$\frac{8,7}{6,2}$	$\frac{8,2}{5,9}$	12	11,5	13	12,1	$\frac{0,03}{0,46}$
2	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый непросадочный ненабухающий	1,97	1,97	$\frac{17,3}{---}$	$\frac{16,6}{---}$	20	19,7	29	27,2	$\frac{0,19}{---}$

#### Участок 4

На данном участке просадочные грунты были встречены только в скважинах 14 и 18. Для каждой скважины участка для выделенных по литологическим признакам слоёв лёссовидных грунтов были произведены испытания по методу «двух кривых», по результатам которых составлены карточки обработки показателей просадочности. В таблице 14 представлен пример такой карточки, составленной для скважины № 14.

Таблица 14

#### Карточка обработки показателей просадочности для скв. 14 участка 4

Глубина отбора монолита, м	Результаты компрессионных испытаний грунтов						Расчет величины просадки грунта под действием собственного веса						Начальное просадочное давление, МПа
	Величина относительной просадочности $\epsilon_{sl}$ при нагрузках, МПа						Объемный вес водонасыщенного грунта, г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление грунта $\delta_{zg}$ , МПа	$\epsilon_{sl}$ при $\delta_{zg}$	Высота слоя, см	$\epsilon_{sl}$ для слоя	Величина просадки, см	
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30							
1,0	0,009	0,016	0,025	0,032	0,039	0,042	1,91	0,019	0,003	0	0,0000	0,000	0,057
2,0	0,005	0,009	0,015	0,021	0,027	0,029	1,90	0,038	0,004	0	0,0000	0,000	0,108
3,0	0,009	0,015	0,023	0,027	0,029	0,032	1,91	0,057	0,010	0	0,0000	0,000	0,058
4,0	0,005	0,008	0,014	0,019	0,024	0,027	1,90	0,076	0,007	0	0,0000	0,000	0,117
5,0	0,006	0,011	0,018	0,022	0,025	0,026	1,92	0,095	0,011	13	0,0103	0,138	0,090
6,0	0,003	0,007	0,013	0,017	0,019	0,020	1,93	0,115	0,009	30	0,0103	0,310	0,125
7,0	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,009	2,02	0,135	0,006	0	0,0000	0,000	0,000
Просадка грунта от собственного веса при замачивании:												0,45 ,см	
Примечание:	Нижняя граница просадочного слоя:						6,91						

По полученным данным были построены графики изменения относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  с глубиной, и зависимости относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  от давления, представленные в Приложении 5 (лист 10). На рисунке 24 представлен график изменения относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  с глубиной, построенный для скважины 14 исследуемого участка.

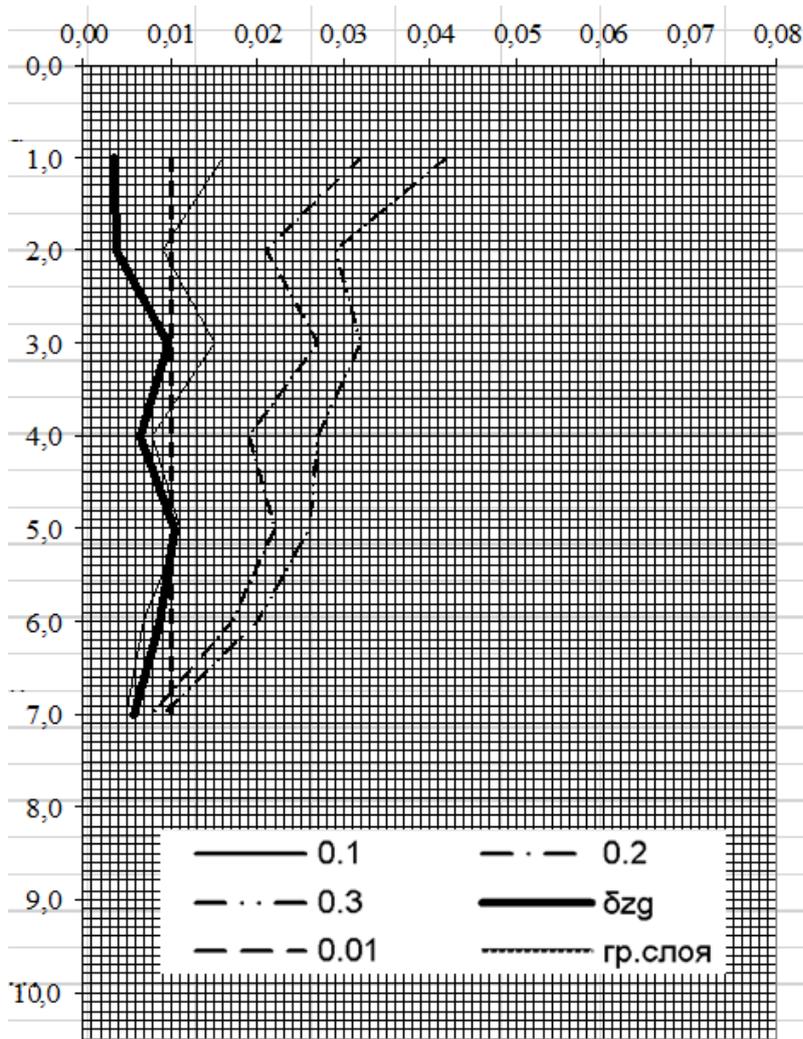


Рис. 24. График изменения относительной просадочности Esl МПа с глубиной, м.

При помощи карточки обработки просадочности и графика изменения относительной просадочности с глубиной были выделены слои просадочных пород для каждой скважины участка и определены суммарные просадки грунта от собственного веса при замачивании Ssl, см.

Так, просадочными свойствами на данном участке обладают делювиальные отложения – суглинки легкие пылеватые твердой консистенции просадочные незасоленные ненабухающие. Данный слой вскрыт локально в скважинах 14 и 18.

В таблице 15 приведены величины просадки от собственного веса по выработкам.

### Величины просадки от собственного грунта веса по выработкам

№ скважины	Глубина подошвы просадочной толщи, м.	Мощность просадочной толщи, м.	Просадка от собственного веса, см.
Скв 14	6,9	6,0	0,45
Скв.18	2,1	1,3	0,00

На основании значений суммарной просадки под собственным весом  $S_{sl}$  ( $< 5$  см), грунты данного участка были отнесены к первому типу условий по просадочности.

Прочностные характеристики для лёссовых грунтов получены по результатам испытаний грунтов на сдвиговых приборах по методу быстрого неконсолидированного сдвига в интервале нагрузок 0,5-0,15 МПа при полном водонасыщении.

Деформационные характеристики определялись в лабораторных условиях методом компрессионного сжатия на приборах ПКП-10. Общий модуль деформации рассчитан в интервале нагрузок 0,05 – 0,15 МПа по результатам компрессионных испытаний с применением поправочного коэффициента  $m_k$ , полученного по результатам корреляционной связи компрессионного модуля деформации и показателя текучести (Материалы треста «РостовДонТИСИЗ»).

В таблице 16 представлены значения нормативных и расчётных характеристик для просадочных грунтов данного участка.

Таблица 16

### Нормативные и расчётные значения характеристик грунтов участка 4

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов													Показатель текучести
		$\rho_n$	$\rho_{II}$	$\rho_I$	$E_n$	$E_{II}$	$E_I$	$\varphi_n$	$\varphi_{II}$	$\varphi_I$	$C_n$	$C_{II}$	$C_I$	природная влажность при $S_r=0.9$	
		г/см <sup>3</sup>			МПа			град.			кПа				
					Sr<0.8			при Sr>0.8							
			Sr>0.8												
3	Суглинок легкий пылеватый твердой консистенции просадочный незасоленный ненабухающий	1,71	1,70	1,69	15,4 3,6	14,2 3,3	13,0 3,0	18	18	17	16	16	15	-0,08 1,08	

Таким образом, все исследуемые лёссовые грунты участков 1, 2, 3 и 4 являются просадочными (табл. 17). По величине просадки от собственного веса при

замачивании Ssl, грунты отнесены к I либо II типу условий по просадочности. Просадка от собственного веса составляет от 0 до 18,6 мм на метр грунта.

Таблица 17

**Характеристика просадочности лёссовых грунтов исследуемых участков, полученная на основе прямых методов исследований**

№ Участка	Геоморфологический элемент	№ Скв.	Наименование грунта	Абс. отметка поверхности	Глубина залегания слоя	Мощность слоя	УГВ	Просадка от собственного веса грунта (в мм на метр грунта)	Тип грунтовых условий по просадочности
1	Доно-Тузловский водораздел	18	Суглинок тяжёлый пылеватый, твёрд.	72,3	0,9 – 12,8	11,9	20,8	8,80	II
		25		69,5	0,9 – 10,4	9,5	31,7	9,17	II
		35		69,4	1,3 – 8,7	7,4	13,0	5,95	I
2	высокая часть террасы	1	Суглинок лёгкий пылеватый, твёрд.	68,5	2,5 – 15,6	13,1	16,5	18,60	II
		8		70,0	2,0 – 13,6	11,6	14,2	10,70	
		11		69,9	1,3 – 16,3	15,0	16,6	10,94	
3	высокая часть террасы	1	Суглинок тяжёлый пылеватый, полутв.	90,3	0,2 – 5,4	5,2	6,3	0,0 – 4,34	I
		7		88,9	0,3 – 5,1	4,8	6,8		
		11		90,1	0,2 – 5,3	5,1	6,4		
4	низкая часть террасы	14	Суглинок лёгкий пылеватый, твёрд.	19,0	0,9 – 6,9	6,0	7,7	0,0 – 0,75	I

**5.4. Сравнительный анализ результатов оценки просадочности грунтов, полученных косвенными и прямыми методами**

Результаты изучения просадочности лёссовых грунтов участков прямыми методами, показали, что все исследуемые грунты являются просадочными. В тоже время, оценка склонности этих грунтов к просадочным явлениям по косвенным показателям, показала, что грунты могут быть как просадочные, по одним критериям, так и непросадочные по другим (рисунки 17, 18). Учитывая, что именно результаты применения прямых методов определения просадочности являются наиболее достоверными, то есть исследуемые грунты являются просадочными, проанализируем значение каждого косвенного показателя для выявления этого процесса в исследуемых грунтах на каждом из участков с целью его применения для оценки просадочности данных грунтов.

*Коэффициент пористости  $e$  и плотность скелета грунта  $\rho_a$ .* В соответствии с разделением лёссовых грунтов на группы: средней плотности, рыхлые, очень рыхлые (см. главу 3), 32 образца грунтов из 33, были отнесены к рыхлым, а один – к средней плотности.

Категория рыхлых грунтов является промежуточной между непросадочными грунтами средней плотности и просадочными очень рыхлыми грунтами, поэтому просадочность грунтов данной категории будет зависеть, главным образом, от их влажности [12]. Практически все представленные просадочные грунты, согласно классификации В.И. Крутова были отнесены к влажным или очень влажным, что, в совокупности с показателями их плотности говорит скорее в пользу непросадочности.

**Коэффициент пористости  $e$ , плотность скелета грунта  $\rho_d$  и коэффициент водонасыщения пород  $S_r$  (по Крутову).** Подразделение исследуемых грунтов на разновидности по степени просадочности (см. табл. 1, п. 3.1) показало полное несоответствие с результатами, полученными прямыми методами.

Так, практически все грунты участка 1 были отнесены к слабопросадочным, несмотря на довольно высокие показатели просадки от собственного веса (5,95 – 12,7 мм на 1 м грунта). Грунты участка 2, с ещё более высокими показателями просадочности (10,7 – 18,6 мм на 1м) в 4 случаях из 6 были классифицированы как непросадочные. Грунты участка 3, где просадка от собственного веса составила порядка 4,34 мм на 1м, или не была обнаружена вообще, были классифицированы в 4 случаях как слабопросадочные, а в двух – как «условно просадочные». Наименее просадочные из всех грунты участка 4 (0,45 мм на 1 м грунта), были классифицированы по данным показателям как среднепросадочные. Данные результаты говорят о том, что эти показатели не могут иметь значение для выявления просадочного грунта. Ниже представлена таблица 18 усреднённых значений этих показателей для участков 2 и 4, а также некоторые их характеристики для сравнения.

Таблица 18

**Характеристика усреднённых значений коэффициента пористости  $e$ , плотность скелета грунта  $\rho_d$  и коэффициент водонасыщения пород  $S_r$  для участков 2 и 4**

№ Участка	$e$	$\rho_d$	$S_r$	абс. отм.	глубина залегания слоя	мощность слоя	УГВ	геоморфологический элемент
2	0,68	1,59	0,63	70,0	2,8 – 14,4	11,6	16,1	высокая часть террасы
4	0,84	1,46	0,55	19,0	0,9 – 6,9	6,0	7,7	низкая часть террасы

Как видно из таблицы, участок 4 обладает наиболее благоприятными для просадки характеристиками пористости, плотности скелета, а также коэффициента водонасыщения. Однако следует учесть, что он находится в пределах наиболее низкой части террасы р. Дон, и, следовательно, имеет меньшие мощности, чем участок 2, и более высокий уровень грунтовых вод, который, кроме того, может подниматься в периоды половодья. Возникает вопрос, почему часто подтопляемый грунт, подверженный воздействию как атмосферных осадков, так и грунтовых вод, который должен был уплотниться в следствие размывания связывающих частицы солей обладает столь характерными для просадочных грунтов физическими характеристиками. Данный вопрос требует более детального рассмотрения.

Также существует другой вопрос – почему физические характеристики участка 2 не соответствуют представлению В.И. Крутова о просадочных породах, так как в соответствии с его классификацией, основывающейся на коэффициенте пористости  $e$ , плотности скелета грунта  $\rho_d$ , и коэффициента водонасыщения  $S_r$  (таблица 1, п. 3.1), грунты данного участка были отнесены к непросадочным или слабопросадочным (Приложение 6, лист 5). Стоит отметить также, что грунты данного участка имеют характерные для высоких частей террасы р. Дон высокие показатели просадочности и большие мощности просадочных грунтов. Поэтому, причина неточности классификации В.И. Крутова, по мнению автора, состоит в его расчёте, что данные физические характеристики (коэффициенте пористости  $e$ , плотности скелета грунта  $\rho_d$ , и коэффициента водонасыщения  $S_r$ ) имеют решающее значение для просадочности или непросадочности грунта.

Таким образом, на основании выше сказанного, можно сделать вывод, что на данном этапе исследований, нельзя использовать данный косвенный критерий для оценки просадочности грунтов.

**Показатель просадочности П.** Во всех 33 случаях верно классифицировал просадочные грунты. Подобные результаты говорят о надёжности данного показателя для оценки просадочности грунтов, однако стоит отметить необходимость проведения большего количества расчётов для непросадочных грунтов.

**Показатель макропористости  $K$ , Н.Я. Денисова.** Отнёс все просадочные грунты участка 1 к непросадочным. Однако довольно точно классифицировал просадочные грунты участка 2 (5 верных определений из 6), также грунты участка 4, и 2 из 6 образцов участка 3.

Данный косвенный показатель основывается на отношении коэффициента

пористости при влажности на пределе текучести к коэффициенту пористости при естественной влажности грунта. То есть, грунт считается просадочным при  $e > e_L$ . Рассмотрим участки 1 и 2. В обоих из них наблюдается II тип и довольно высокие показатели по просадочности, но лишь для 2 участка грунты по показателю  $K_y$  были классифицированы как просадочные. Ниже приведена таблица 19, в которой приведены усреднённые значений коэффициента пористости  $e$ , а также влажности на пределе текучести  $W_L$  и плотности минеральных частиц  $\rho_s$ , необходимые для расчёта показателя  $e_L$ ; кроме того, некоторые характеристики двух площадок для сравнения.

Таблица 19

**Усреднённые значения коэффициента пористости  $e$ ; влажности на пределе текучести  $W_L$  и плотности минеральных частиц  $\rho_s$  грунтов участков 1 и 2**

№ Участка	$e$	$W_L$	$\rho_s$	$e_L$	абс. отм.	глубина залегания слоя	мощность слоя	УГВ	геоморфологический элемент
1	0,78	36,64	2,71	0,99	71,5	1,2 – 11,5	10,3	26,8	Донотузовский водораздел
2	0,69	25,18	2,69	0,67	69,6	2,6 – 15,2	12,6	15,8	высокая часть террасы

Из таблицы видно, что грунты участка 1 имеют большую плотность минеральной части и большее значение предела текучести, поэтому, несмотря на высокие значения пористости,  $e_L$  данного участка всё равно будет превосходить её, и как следствие, грунт будет относиться к непросадочным. На участке 2 пористость ниже примерно на 0,1, но также ниже значения предела текучести и плотности минеральной части, поэтому грунт здесь был отнесён к просадочным. Стоит отметить, что на участке 2 пористость хоть и больше  $e_L$ , но не на много (0,02), то есть даже этот грунт очень близок к границе «непросадочности».

Возможно, такое соотношение, при котором  $e > e_L$ , характерно лишь для классических лёссов, но его нельзя использовать для распознавания грунтов, обладающих просадочностью. Как и в предыдущих случаях, необходимо проведение большего количества расчётов для различных площадок Ростовского региона чтобы делать подобные предположения.

**Показатель уплотнённости  $K_d$  В.А.Приклонского.** Классифицировал грунты участка 1 как пластичные, а грунты участка 2 – как недоуплотнённые в 5 случаях из 6.

Также, к пластичным он отнёс грунты участка 3, а к недоуплотнённым – участка 4 (с наименьшими показателями просадочности). Показатель уплотнённости  $K_d$  выражает отношение разности коэффициента пористости на пределе текучести и при естественной влажности к разности коэффициента пористости на пределе текучести и коэффициента пористости на пределе пластичности. Ниже приведена таблица 20 усреднённых значений коэффициента пористости  $e$ ,  $e_p$  и  $e_L$ , необходимых для расчёта  $K_d$ , а также некоторые характеристики площадок для сравнения.

Таблица 20

**Усреднённые значения коэффициента пористости  $e$ , а также  $e_p$  и  $e_L$  для участков 1,2,4**

№ Участка	$e$	$e_L$	$e_p$	абс. отм.	глубина залегания слоя	мощность слоя	УГВ	геоморфологический элемент
1	0,78	0,99	0,57	71,5	1,2 – 11,5	10,3	26,8	Доно-Тузовский водораздел
2	0,69	0,67	0,41	69,6	2,6 – 15,2	12,6	15,8	высокая часть террасы
4	0,84	0,73	0,48	19,0	0,9 – 6,9	6,0	7,7	низкая часть террасы

Согласно классификации, к определённому просадочным грунтам относятся те, у которых значения  $e > e_L$ , либо  $e < e_L < e_p$ , так как лишь в этих случаях  $K_d$  будет меньше 0. Как видно из таблицы, это правило выполняется для участков 2 и 3, и совершенно не выполняется для участка 1. При этом, если на участке 2 значение просадки больше, чем для первого, то на участке 4 просадка от собственного веса очень мала, либо отсутствует. Если рассматривать участок 4 как некую специфическую «аномалию», где присутствуют характерные признаки просадочного лёссового грунта, то всё же остаётся непонятным, почему для двух площадок, похожих по многим характеристикам, значения по показателю  $K_d$  в корне различны. По мнению автора, в данной классификации также не учтены многие особенности, влияющие на просадочность грунта. Различия в множестве физических характеристик грунтов участков 1 и 2 автор видит в особенностях их формирования и «эволюции», то есть изменений, которые они претерпевали со временем. В пользу этого говорят и различные плотности минеральных частиц грунтов этих участков.

К определённно просадочным грунтам В.А. Приклонский относил лишь недоуплотнённые грунты с  $K_d < 0$ . Если исходить из того, что остальные грунты при этом по классификации просадочностью не обладают, то все просадочные грунты площадки 1 можно было бы по ошибке отнести к непросадочным. Следовательно, данный показатель довольно не точен и скорее всего, как и показатель макропористости  $K_y$  Н.Я. Денисова, рассчитан на отделение классических лёссов от прочих лёссовидных грунтов, также обладающих просадочностью.

**Индекс просадочности  $I_n$ .** Наиболее точные значения показал для грунтов участков 1 и 4 (11 из 20 и 1 из 1), грунты же участков 2 и 3 классифицировал как просадочные лишь в 1 случае из 6. Непросадочные грунты участка 1 данный показатель также отнёс к непросадочным. Индекс просадочности  $I_n$  был получен И.П. Ивановым путём обработки большого объёма экспериментальных данных, исходя из проведённых им экспериментов были подобраны присутствующие в формуле коэффициенты, не вполне подходящие, по видимому, для грунтов Ростовского региона, либо данных площадок. Следовательно, использование этого показателя возможно лишь при пересмотре коэффициентов на основании обработки многочисленных данных различных площадок Ростова и Ростовской области.

**Коэффициент дефицита влажности  $K$ .** Из всех 33 образцов определил как просадочные лишь 2 образца – на площадках 1 и 2 с наибольшими просадками. Этот показатель представляет собой отношение процента содержания влаги в порах к заполняющим их газам. Таким образом, если влаги в порах грунта меньше чем воздуха и других газов, грунт считается просадочным. По принципу классифицирования данный показатель аналогичен показателю макропористости Денисова. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что для исследуемых грунтов Ростовского региона этот показатель не может применяться для оценки их просадочности.

Анализ изменения просадки от собственного веса с глубиной и характеристик полученных методом статического зондирования (величин удельного сопротивления грунта конусу зонда при его погружении  $q$  трения боковой поверхности муфты  $f$ ) показал следующее:

Практически все графики статического зондирования не выявили серьёзных различий между слоями, или изменения этих характеристик с глубиной. Графики изменения просадочности также незначительно отличались для различных участков и показали в целом увеличение просадки к серединам просадочных слоёв, и уменьшение

её к поверхности и подошве этих слоёв (рисунки 14, 15, 16; Приложение 5)

На основе проведённого анализа установлено, что определение просадочности по косвенным критериям для данных грунтов наиболее надёжно только по коэффициенту водонасыщения  $S_r$ , показателю просадочности  $\Pi$ . Возможность применения остальных косвенных критериев для рассматриваемых грунтов при данных исследованиях ограничена или невозможна, из-за небольшого совпадения результатов, полученных прямыми методами. Так как исследовалось небольшое количество образцов, на просадочность косвенными критериями, выводы о причине полученных результатов делать преждевременно и следует провести более детальные исследования.

Таким образом для предварительной оценки и прогноза просадочности грунтов на рассматриваемых участках возможно применение коэффициента водонасыщения  $S_r$  и показателя просадочности  $\Pi$ , чтобы не пропустить просадочные разновидности.

При решении задачи, связанных с взаимодействием лёссовых грунтов с проектируемыми инженерными сооружениями необходимо использовать только прямые методы определения просадочных свойств лёссовых грунтов.

## **5.5. Мероприятия для устранения развития недопустимых просадок лёссовых грунтов исследуемых участков**

Строительство предполагаемых зданий и сооружений на лёссовых породах сопряжено с риском для их устойчивости и нормальной эксплуатации, что связано с возможностью реализации просадочности, сформировавшейся в природных условиях. Наиболее важной частью проектирования оснований сооружений на просадочных грунтах является расчет по деформациям. Это обусловлено тем, что абсолютные значения просадок могут намного превышать допустимые. При местном замачивании основания относительные деформации также достигают больших и недопустимых значений. С учетом определения осадок и просадок фундаментов принимаются решение о возможности использования естественного основания или необходимости искусственного улучшения свойств грунтов или прорезки просадочной толщи глубокими фундаментами.

Как было отмечено в работе, по типу грунтовых условий просадочные грунты разделяются на:

- ✓ **грунты I типа просадочности**, когда просадка происходит в основном в пределах деформируемой зоны основания от давления фундамента или другого

вида внешней нагрузки, а просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см.

- ✓ **грунты II типа просадочности**, когда просадка возникает от собственного веса грунта просадочной толщи (в основном в нижней ее части) и ее величина превышает 5 см.

В зависимости от типа просадочности, предусматривается устройство и различных типов фундаментов и мероприятий по предотвращению просадок на участках предполагаемого строительства.

Основания зданий и сооружений проектируются как на обычных непросадочных грунтах (без применения специальных мероприятий), в тех случаях, когда возможные суммарные осадки и просадки, а также их неравномерности не превышают допустимых для проектируемых сооружений величин.

На участках с типом I допускается использовать лёссовые породы, в качестве естественного основания с давлением от сооружения, не превышающем начальное просадочное давление. При сохранении природного строения и состояния лёссы представляют собой достаточно надежное естественное основание для большинства сооружений

Для участков, сложенных грунтами II типа, при возможности замачивания грунтов и развития недопустимых просадок, часто проводят защитные и предупредительные мероприятия, подразделяющиеся на три основные группы:

1. *Водозащитные мероприятия*, предусматривающие планировку строительных площадок для отвода поверхностных вод, предохранение зданий от утечек воды из водопроводов, гидроизоляцию поверхности земли, устройство водонепроницаемых полов, отмосток и т. п.
2. *Конструктивные мероприятия*, рассчитанные на приспособление конструкций к возможным неравномерным осадкам, как например повышение жесткости стен и прочности стыков, армирование зданий поясами, применение свайных, а также более широких фундаментов с целью уменьшения давления на грунт и т. д.
3. *Мероприятия, устраняющие просадочность лёссов*, предусматривают улучшение свойств грунтов: а) с применением механических методов (утрамбовка грунта, предварительное замачивание и т.п.); б) с использованием физических, физико-химических и химических способов улучшения и закрепления.

Механические методы включают в себя поверхностное и глубинное уплотнение. Поверхностное уплотнение производят замачиванием котлованов под действием собственного веса грунта или веса сооружения, либо трамбовкой. Глубинное

уплотнение толщ производят при помощи грунтовых свай (известняковых и песчаных), взрывов в скважинах, замачиванием через скважины с последующим взрывом под водой и т.д. При улучшении и укреплении грунтов используют силикатизацию, электрообжиг, пропитку лёссов глинистыми и цементными растворами, обработку полимерами, а также укрепление грунта органическими веществами (битум, смолы и др.)

Выбор защитных мероприятий при строительстве на просадочных лёссовых грунтах должен производиться с учетом:

- ✓ вида возможного замачивания,
- ✓ типа грунтовых условий по просадочности,
- ✓ определения мощности просадочной толщи и расчетной величины просадки,
- ✓ конструктивных особенностей проектируемых зданий и сооружений,
- ✓ взаимосвязи проектируемых сооружений с соседними объектами и коммуникациями.

Так, при грунтовых условиях первого типа, мероприятия по устранению просадочности возможно проводить только в пределах верхней части просадочного слоя (не менее  $2/3$  его высоты), при условии, что возводимая конструкция рассчитана на возможные деформации.

Устранить влияние просадочности в таких условиях возможно правильным распределением на него нагрузки, при котором давление по подошве фундамента не будет превышать начального просадочного давления грунта на всех глубинах.

Из всего ряда мероприятий наиболее часто применяются следующие:

- 1) Уплотнение грунта тяжёлыми трамбовками, в результате которого в массиве грунта образуется уплотнённая зона толщиной от 1,5 до 6 м (см. рис. 25, а);
- 2) Устройство грунтовых подушек или сочетание уплотнения нижней части просадочной толщи с уплотненной грунтовой подушкой в верхней части (рис. 25, б);
- 3) Устройство набивных или забивных фундаментов в вытрамбованных котлованах, а также изготовление коротких набивных свай или забивка пирамидальных свай (рис. 25, в);
- 4) Прорезка просадочной толщи сваями и передача нагрузки на подстилающие грунты (рис. 25, г).

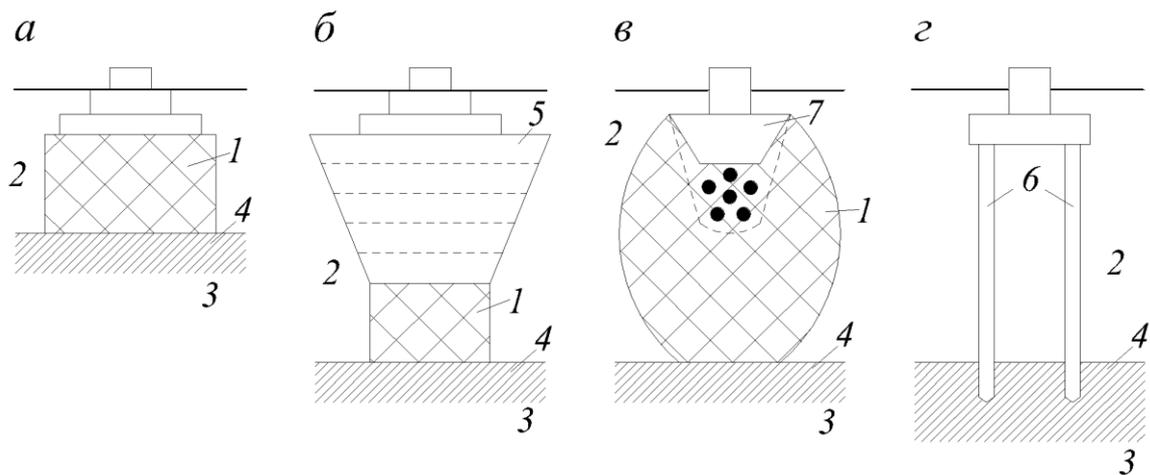


Рис. 25. Различные варианты устройства оснований и фундаментов в грунтовых условиях I типа просадочности: 1 - уплотненный грунт; 2 - просадочный грунт; 3 - непросадочный грунт; 4 - нижняя граница просадочного грунта; 5 - грунтовая подушка, уплотненная послойно; 6 - сваи; 7 - набивной или забивной фундамент, пирамидальная короткая свая. [18].

В грунтовых условиях со вторым типом просадочности наиболее часто применяются следующие мероприятия:

- 1) Прорезка просадочной толщи сваями различного типа или глубокими фундаментами (рис. 26, а);
- 2) Закрепление грунтов химическими или термическими способами (рис. 26, б);
- 3) Уплотнение грунтов предварительным замачиванием в сочетании с глубинными взрывами и уплотнение тяжелыми трамбовками (рис. 26, в);
- 4) Уплотнение грунтов грунтовыми сваями (рис. 26, г).

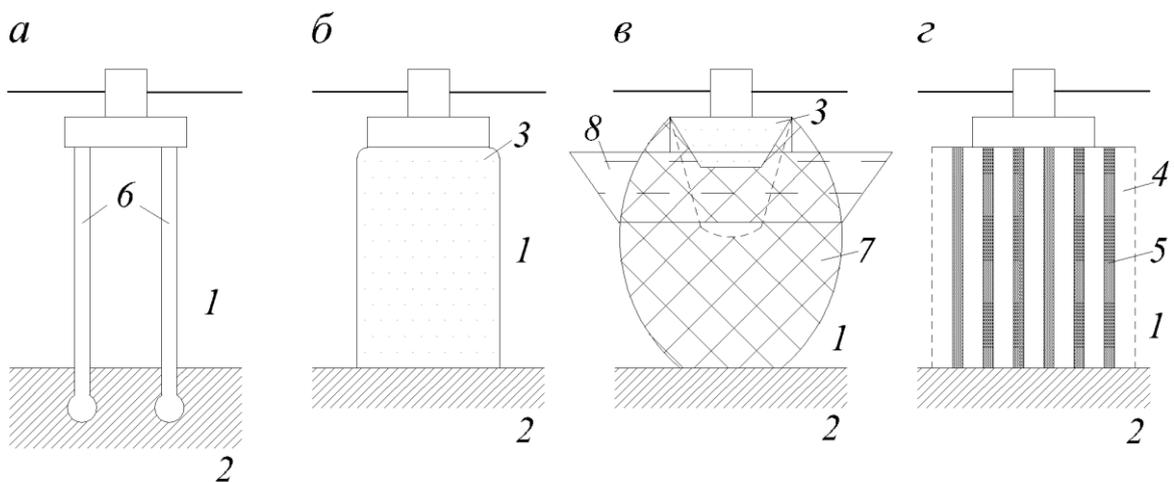


Рис. 26. Различные варианты устройства оснований и фундаментов в грунтовых условиях II типа просадочности: 1 - просадочный грунт; 2 - непросадочный грунт; 3 - закреплённый грунт; 4 - зона уплотнения грунта грунтовыми сваями; 5 - грунтовые сваи; 6 - сваи; 7 - уплотнённый грунт; 8 - грунт, уплотнённый тяжёлыми трамбовками [18].

Также могут применяться и другие методы устранения просадочных свойств грунтов и прорезки просадочной толщи. В грунтовых условиях второго типа, наряду с устранением просадочности и прорезкой толщи просадочных грунтов, часто предусматриваются водозащитные мероприятия. Обустройство эффективной системы водостоков и других водозащитных сооружений с сохранением природного рельефа местности и почвенно-растительного покрова является наилучшим решением.

После уплотнения или закрепления просадочной толщи грунтов определяют показатели их физико-механических свойств, необходимые для расчета фундаментов.

Исходя из того, что на рассматриваемых участках лёссовые грунты относятся к I и II типу просадочности, мероприятия будут различаться, но окончательно решение по их выбору будет определяться при более детальном исследовании, связанных с особенностями просадочных слоёв участков, а также, типом сооружений, возводимых на них - этажностью здания, конструктивными особенностями, режимом работы.

## **Заключение**

В результате проведённых исследований были охарактеризованы инженерно-геологические условия участков проектируемых сооружений, сложенных лёссовыми грунтами. На каждом участке проанализировано изменение инженерно-геологических особенностей лёссовых грунтов с глубиной, и выявлены факторы, влияющие на их изменение.

Дана сравнительная оценка просадочности грунтов на исследуемых участках на основе применения косвенных критериев (с целью определения возможности их использования при предварительной оценке), а также прямых методов.

В работе рассмотрены мероприятия для устранения просадочности грунтов в зависимости от типа грунтовых условий по просадочности, возможные для применения на исследуемых участках.

## Список литературы

1. Абелев Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных грунтах. М.: Стройиздат, 1979, 271 с.
2. Ананьев В.П. Минералогический состав и свойства лёссовых пород. Ростов-на-Дону, РГУ, 1964. 144 с.
3. Ананьев В.П. Учебная геологическая практика, проводимая кафедрой ИГОФ. Методические указания для всех строительных специальностей. Ростов-на-Дону: ИГОФ, 2008, 17 с.
4. Галай Б.Ф. О гранулометрической классификации лёссовых пород // Классификационные критерии разделения лёссовых пород. М.: Наука, 1984. С. 23 – 25.
5. Геология СССР. Том XLVI. Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание. Коллектив авторов, редактор Ф. А. Белов. М.: Недра, 1969.
6. Грунтоведение. Под ред. В.Т. Трофимова. 6е изд., перераб. и дополн. (серия «Классический университетский учебник»). М.: Изд-во МГУ, 2005, 1024 с.
7. Денисов Н.Я. О природе просадочных явлений в лёссовидных суглинках. М.: Сов. наука, 1946, 176 с.
8. Иванов И.П. О предварительной оценке просадочности лёссовых пород // Зап. ЛГИ. 1958. Т. 34. №2. С. 214 – 220.
9. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. СПб: Наука, 2001, 416 с.
10. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России: Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королёва. М.: КДУ, 2011, 672 с.
11. Костарев В.П. О соответствии показателей просадочных суглинков Усть-Кишерти косвенным критериям просадочности пылевато-глинистых грунтов Пермского Приуралья // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в РФ. М.: ОАО ПНИИС, 2007, С. 83 – 86.
12. Крутов В.И. Классификация просадочных лёссовых грунтов. Геоэкология, 1998, С. 55 – 64.
13. Лёссовые породы СССР. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования, Том 1. Под ред. Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.Н. Комиссаровой. М.: Недра, 1986, 230 с.
14. Лысенко М. П. Лёссовые породы. (Состав и инженерно-геологические особенности). Л.: Недра, 1978, 208 с.

15. Маккавеев А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Гостоптехиздат, 1961, 73 с.
16. Меркулова К.М. Инженерно-геологические условия г. Ростова-на-Дону. Ростов – на – Дону: РГПУ, 2006, 132 с.
17. Молодкин Л.Ф., Вронский В.Р. Строение поверхности // Физическая география Нижнего Дона. Ростов-на-Дону: РГУ, 1971. С. 6-24.
18. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений: учеб. пособие. 3-е издание. Б. И. Далматов, В. Н. Бронин, А. В. Голли, В. Д. Карлов, Р. А. Мангушев, Н. Н. Морарескул, И. И. Сахаров, С. Н. Сотников, В. М. Улицкий, А. Б. Фадеев. СПб.: СПбГАСУ, 2006, 428 с.
19. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Ин-т земной коры СО РАН. Иркутск.: ИЗК СО РАН, 2010, 287 с.
20. Трофимов В.Т. Генезис просадочности лёссовых пород. М.: МГУ, 1999, 271 с.
21. Трофимов В.Т. Теория формирования просадочности лёссовых пород. М.: ГЕОС, 2003, 275 с.
22. Чеботарёва Т.Н. Применение косвенных критериев просадочности лёссовых грунтов на строительных площадках // Тез. докл. Всероссийская научно-практическая молодежная конференция «Современные исследования в геологии». СПб: изд-во СПбГУ, 2016. С. 134-135.
23. Чеботарёва Т.Н. Оценка склонности лёссовых грунтов к просадочным явлениям на основе применения косвенных показателей // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр.: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016.

*Нормативные документы:*

24. СП 11-105-97. Часть 3. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов.
25. ГОСТ 20276-2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. (Взамен ГОСТ 20276-99).
26. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. (Взамен ГОСТ 20522-96).
27. СП 22.13330.2011. Свод правил. Основания зданий и сооружений. (Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*).
28. ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. (Взамен ГОСТ 23161-78).
29. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. (Взамен ГОСТ 25100-95).

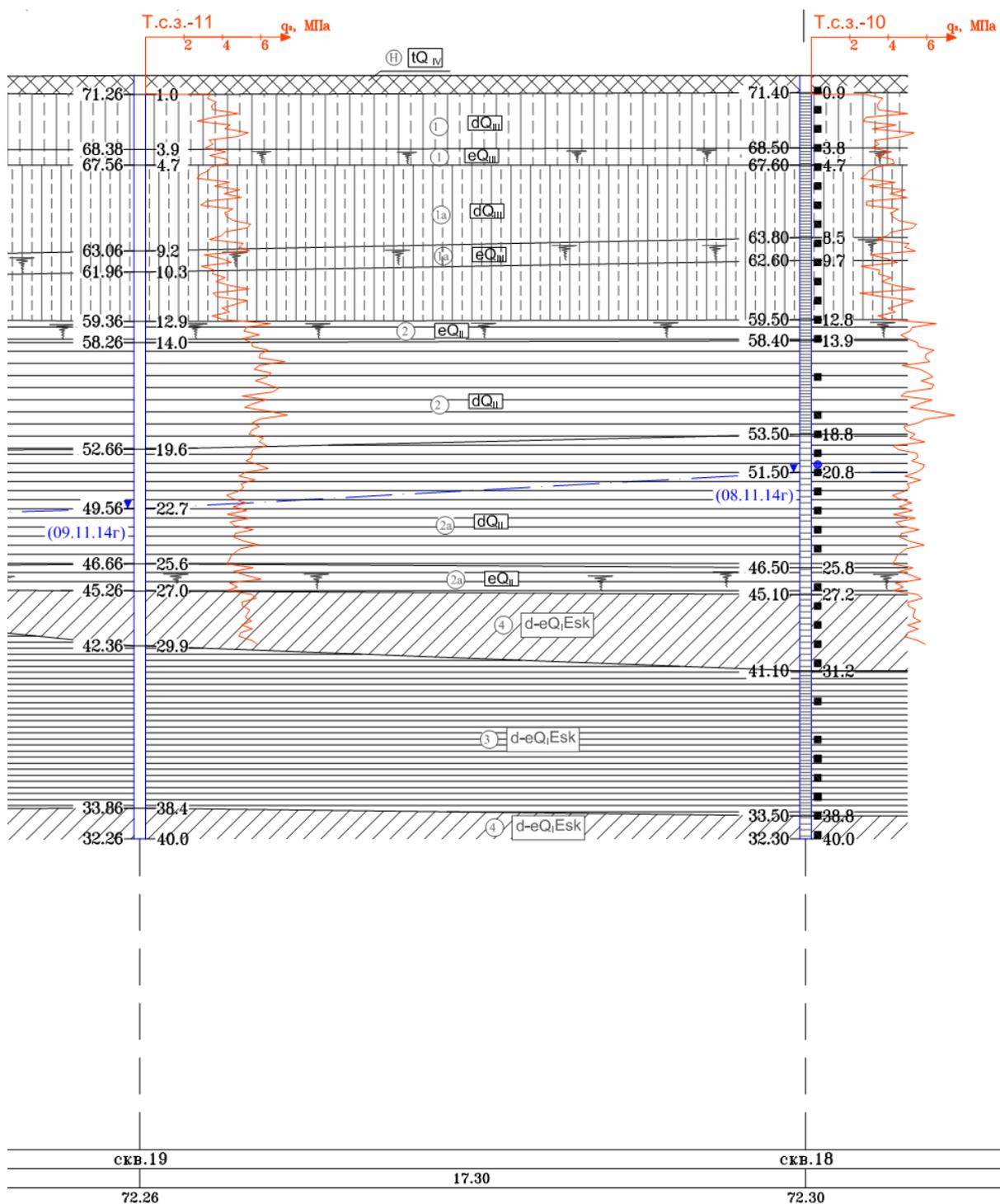
30. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии. (Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).

*Фондовые материалы:*

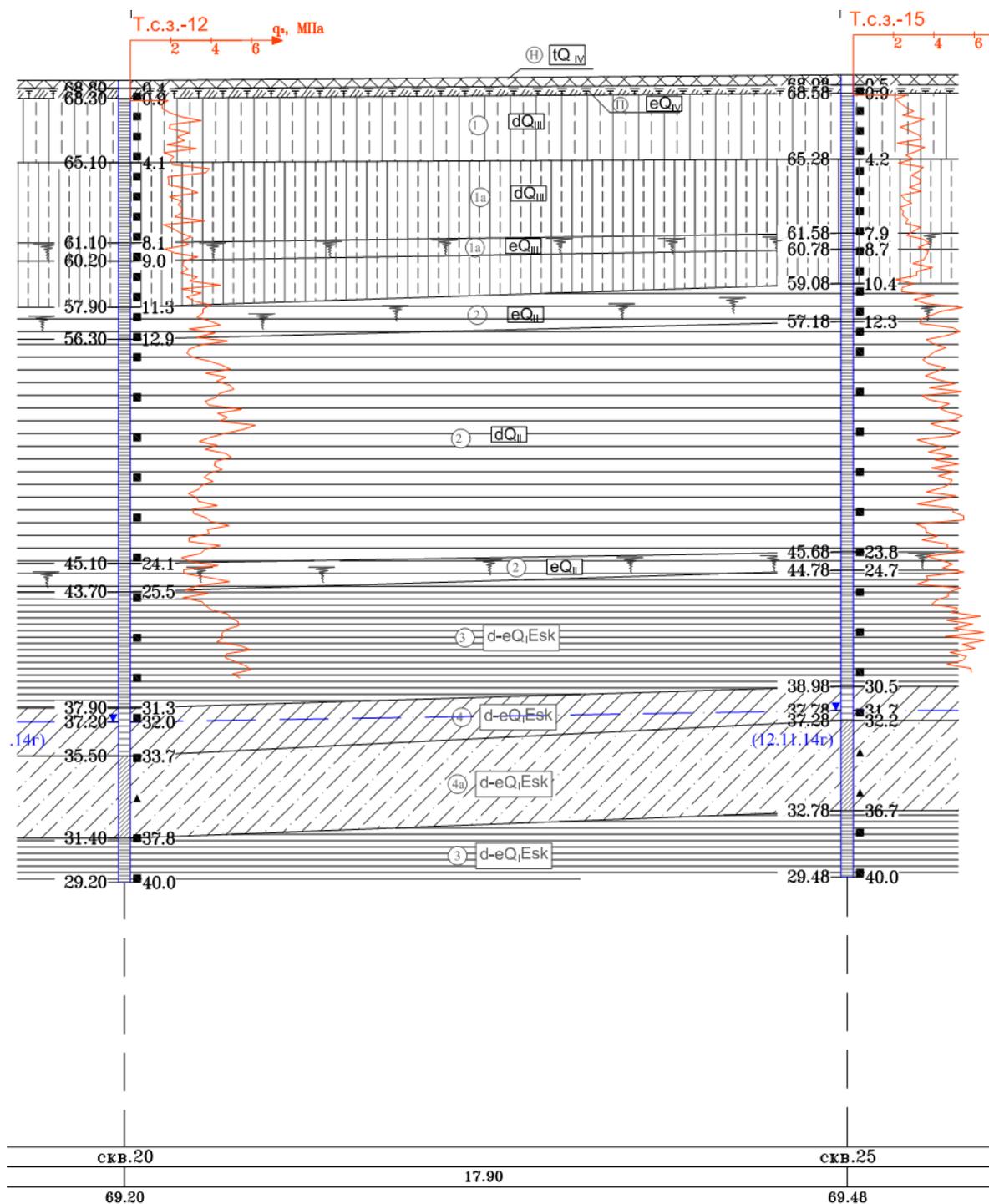
31. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях. Многоэтажная застройка в границах: пр. Нагибина – ул. Герасименко – ул. Ларина в г. Ростове-на-Дону. 2014 г. Архив ООО «Геобазис».
32. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях. Строительство узла производства гипохлорита натрия на Александровских ОСВ г. Ростова-на-Дону. 2010 г. Архив ООО «Росгеостройпроект».
33. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях. Дошкольное образовательное учреждение в г. Аксай Ростовской области. 2008 г. Архив ООО «Росгеостройпроект».
34. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях. Распределительный газопровод среднего давления по ул. Береговой от ул. Сиверса до пер. Державинский г. Ростова-на-Дону. 2014 г. Архив ООО «Южгеоспецпроект».

# ПРИЛОЖЕНИЯ

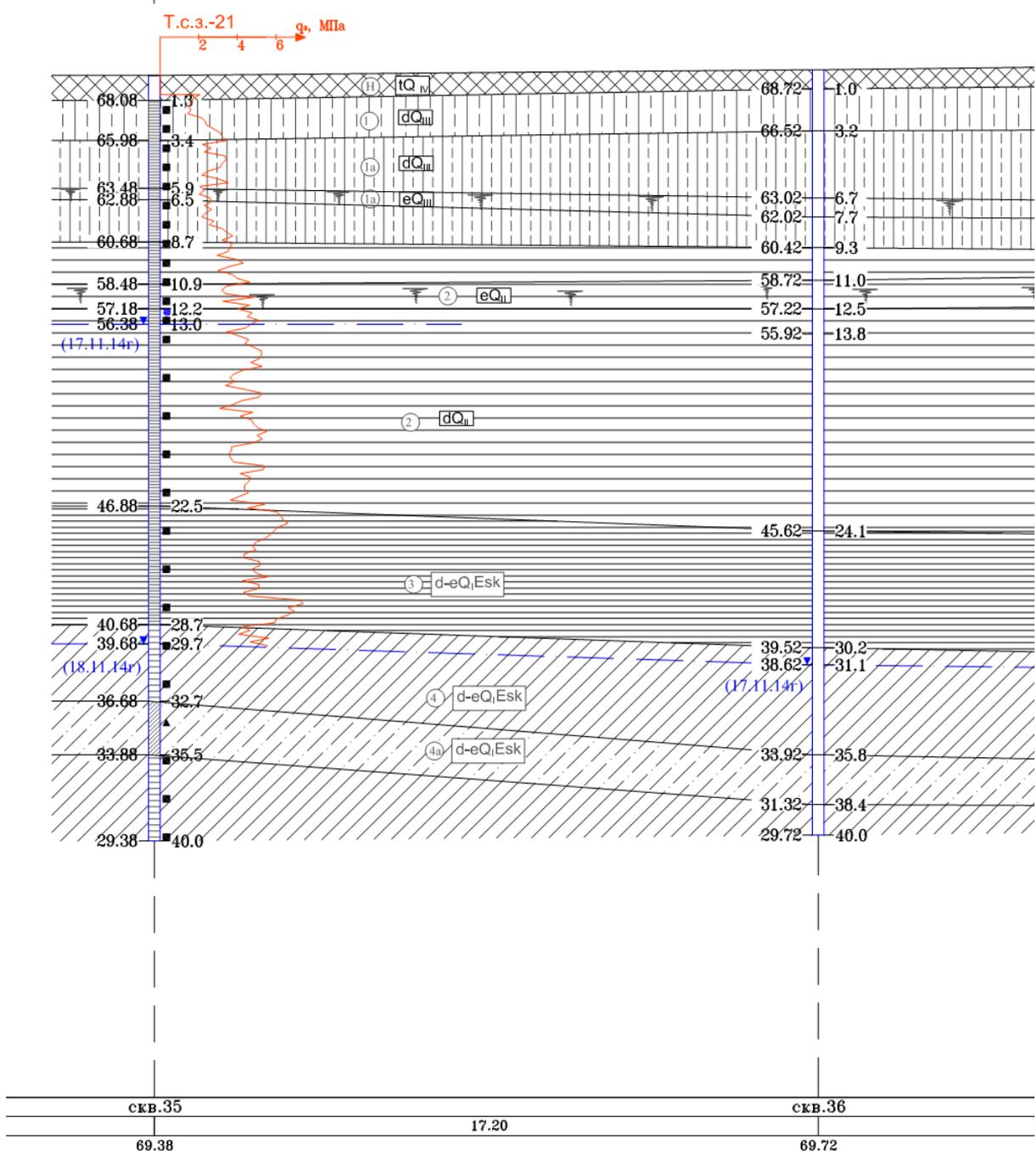
**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 1 ПО ЛИНИИ СКВ 19 - СКВ 18**



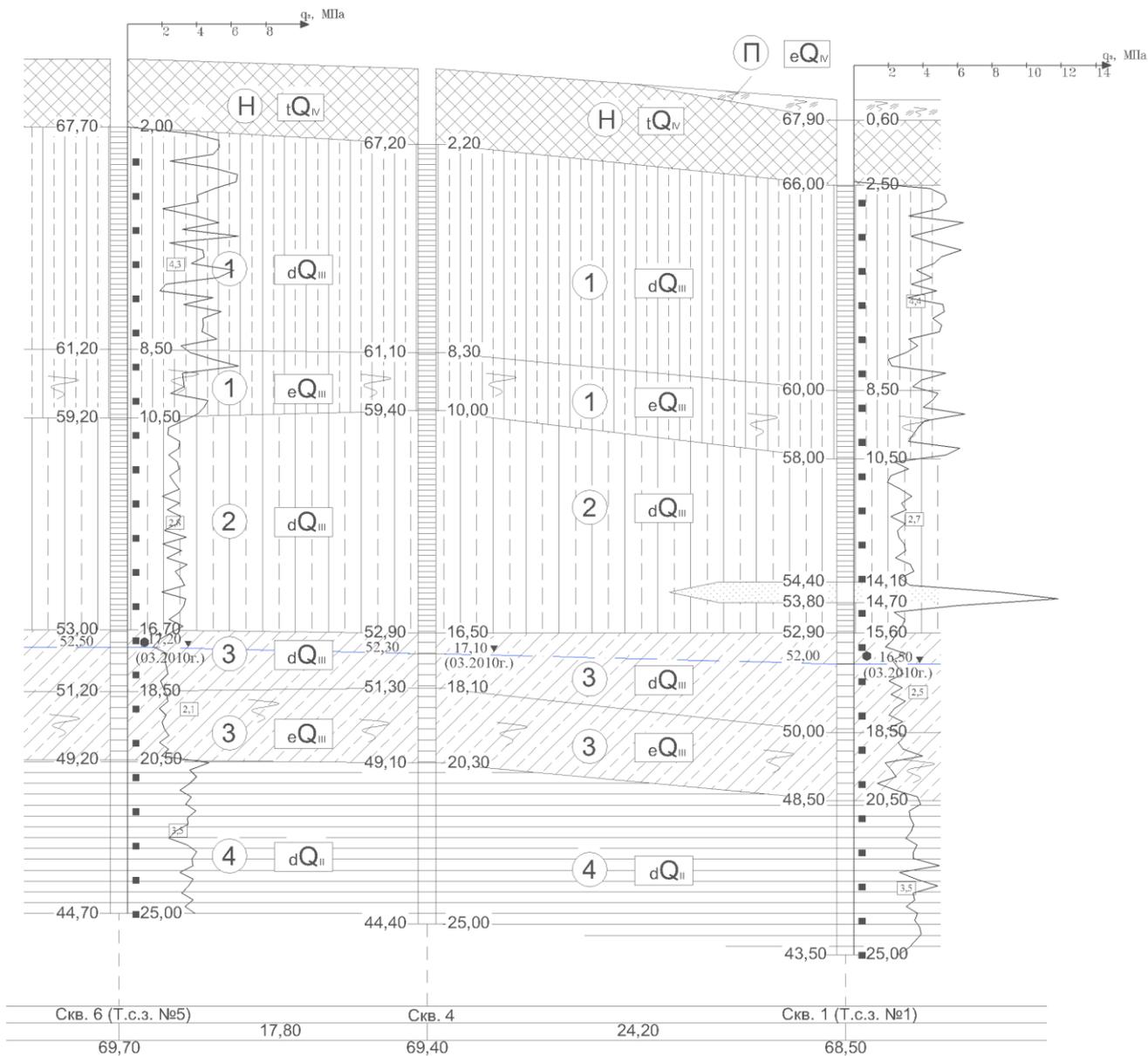
**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 1 ПО ЛИНИИ СКВ 20 - СКВ 25**



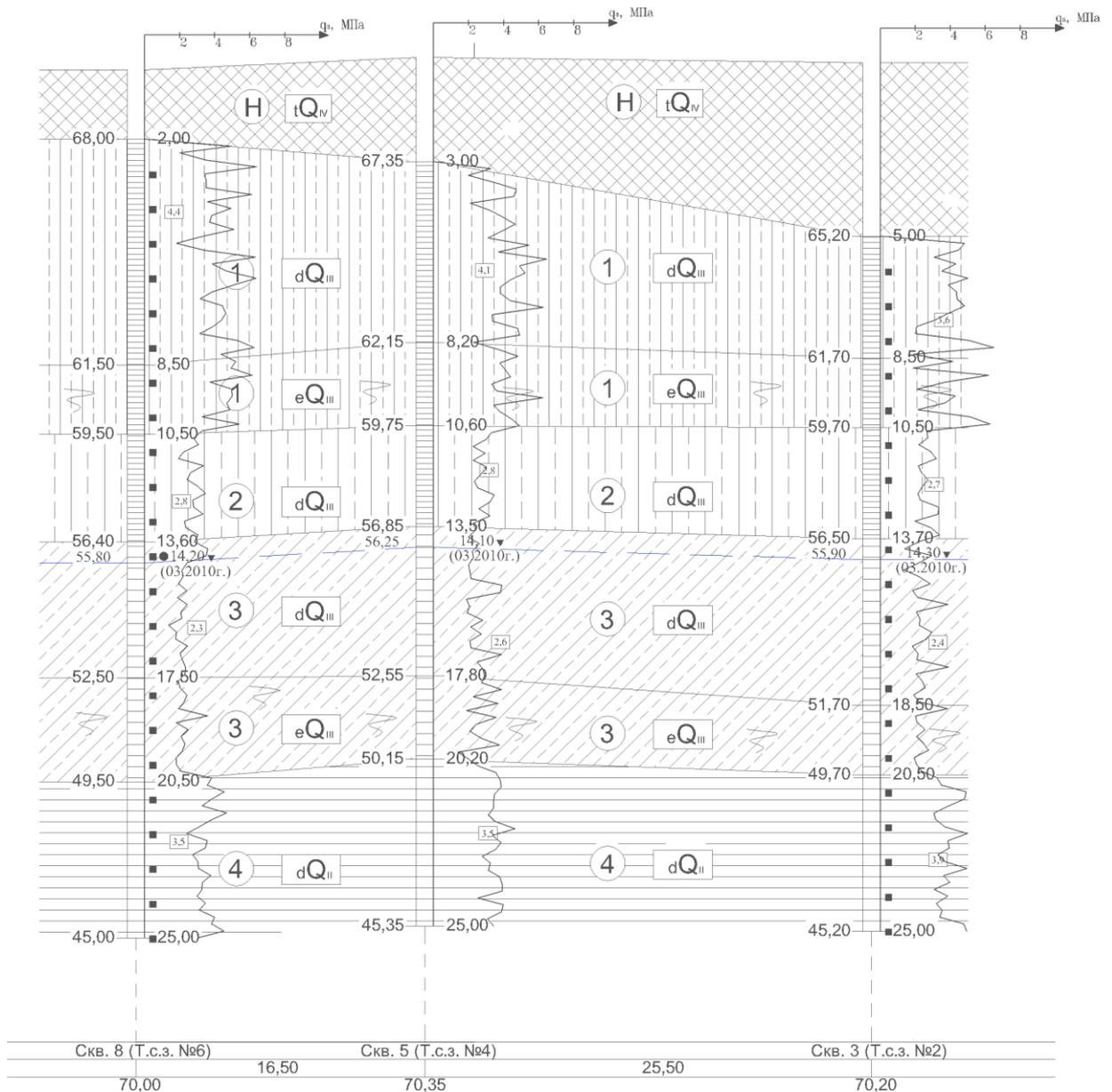
## СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ УЧАСТКА 1 ПО ЛИНИИ СКВ 35 - СКВ 36



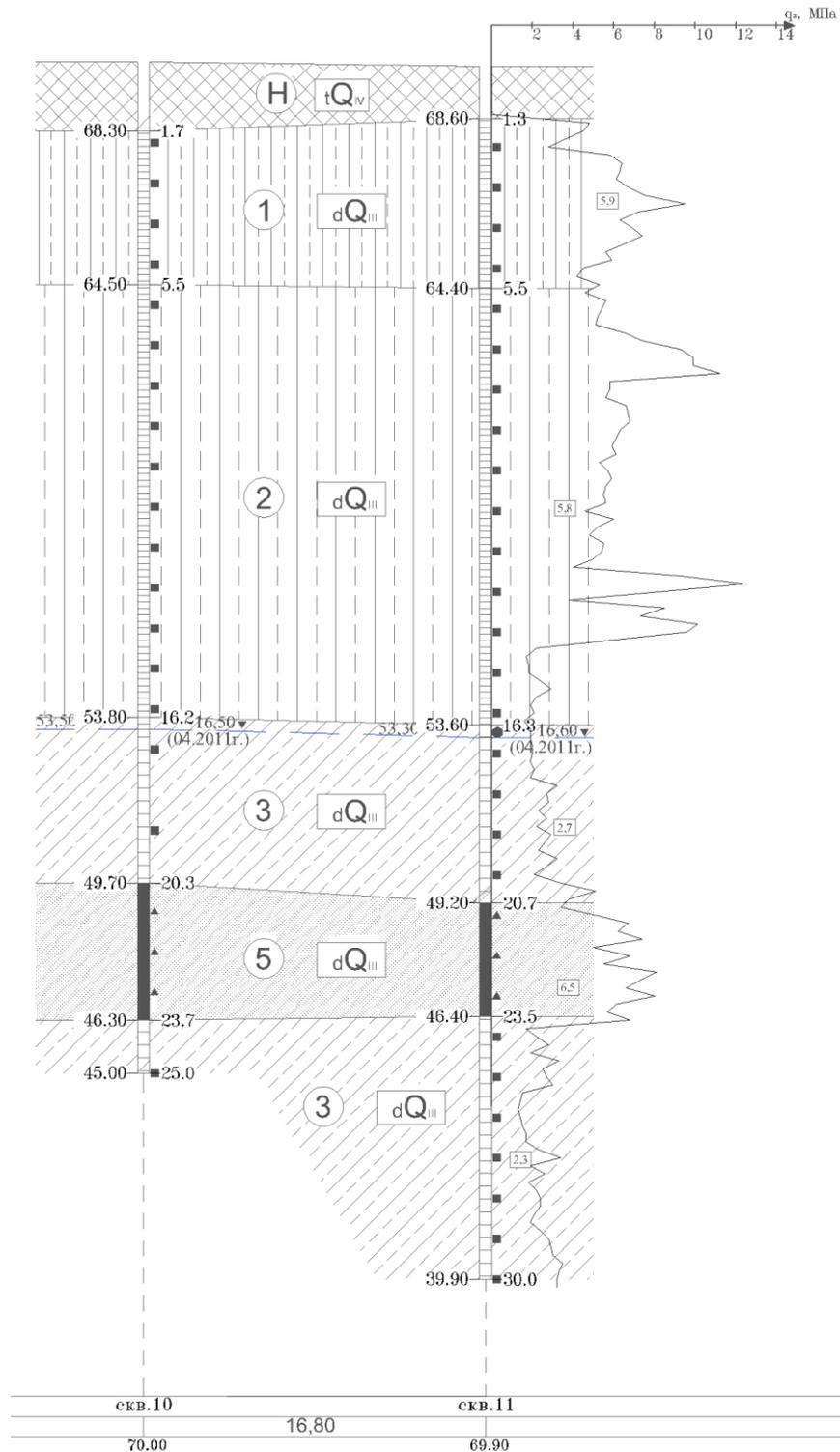
**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 2 ПО ЛИНИИ СКВ 6 - СКВ 1**



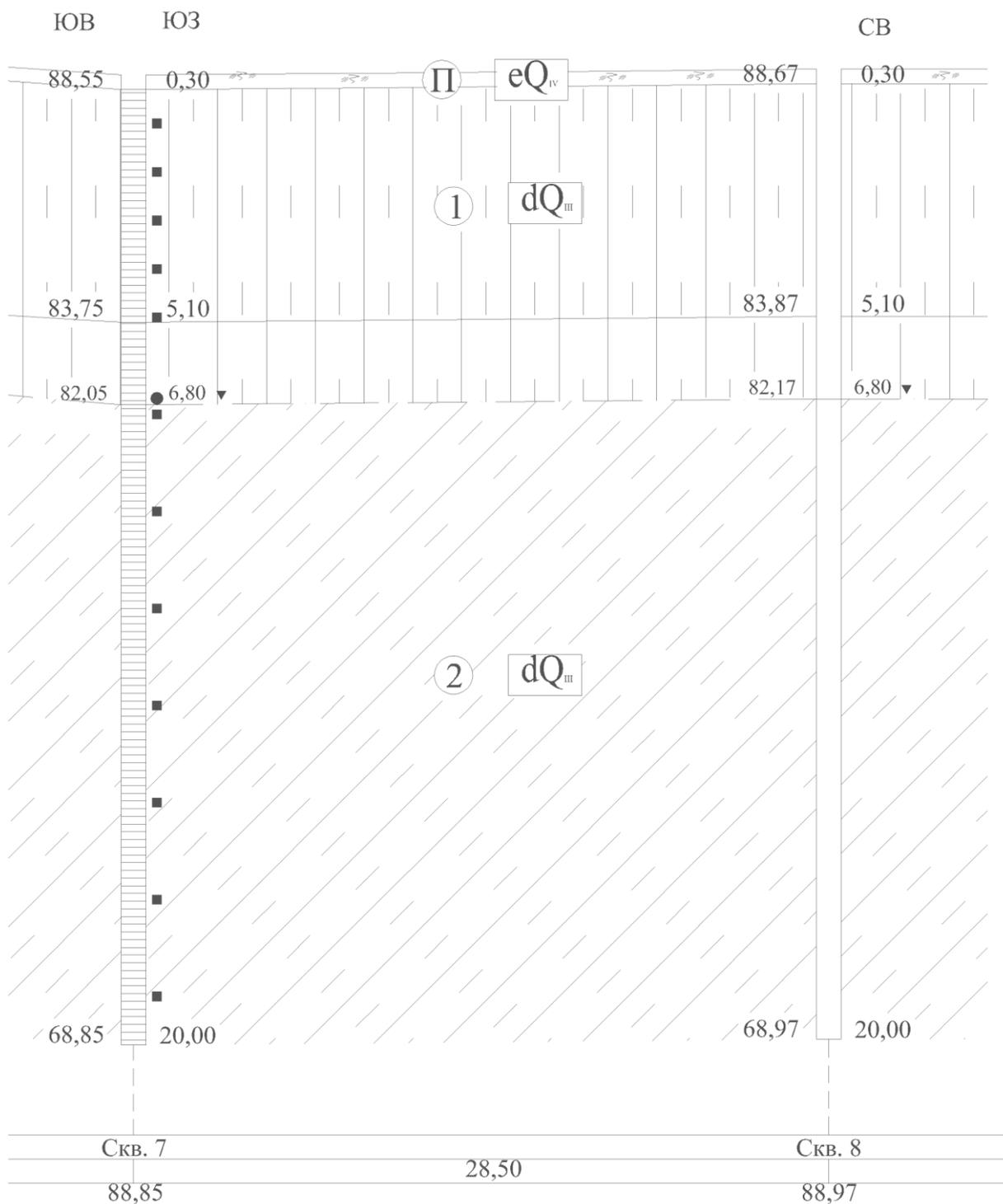
**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 2 ПО ЛИНИИ СКВ 8 - СКВ 3**



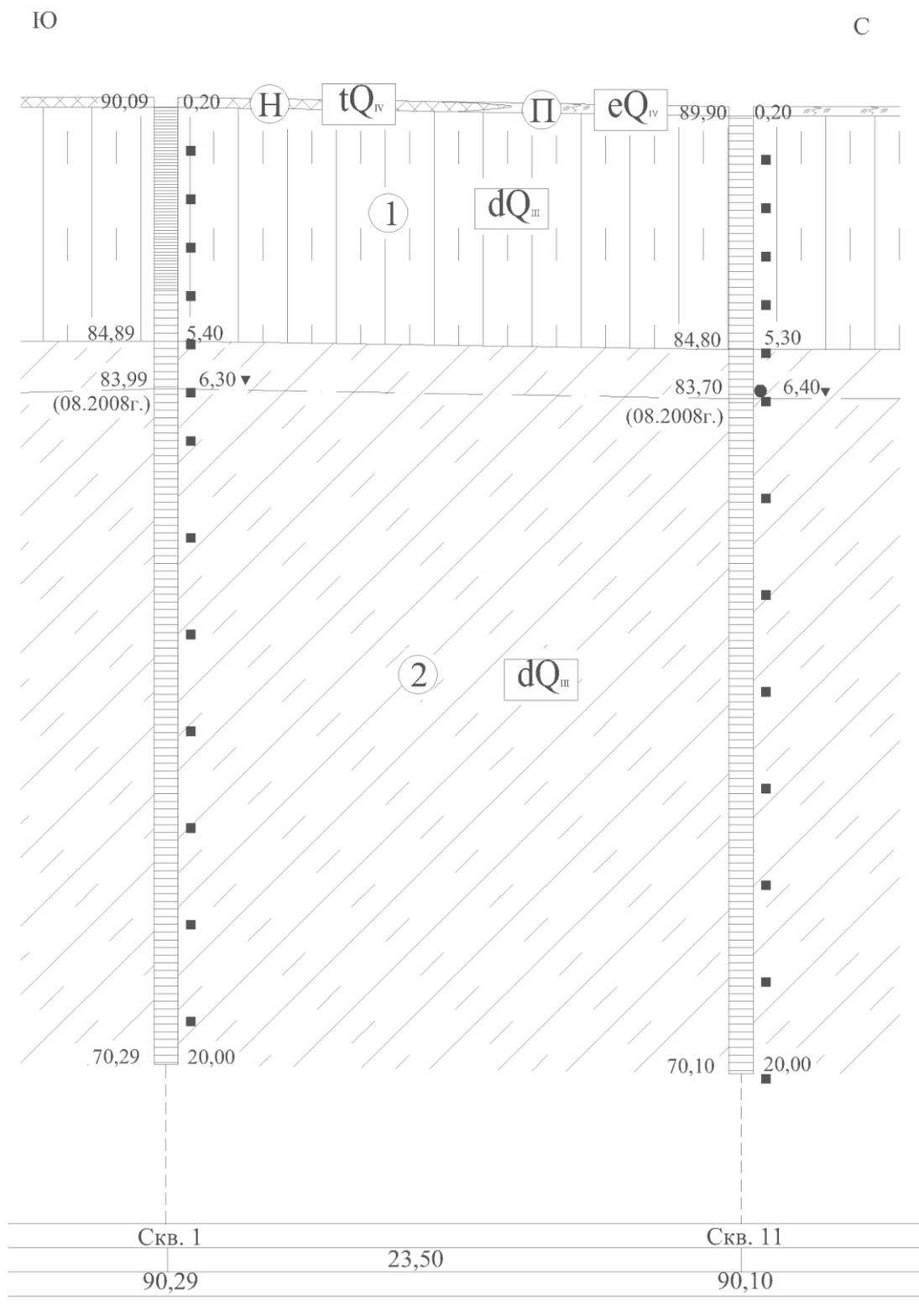
**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 2 ПО ЛИНИИ СКВ 10 - СКВ 11**



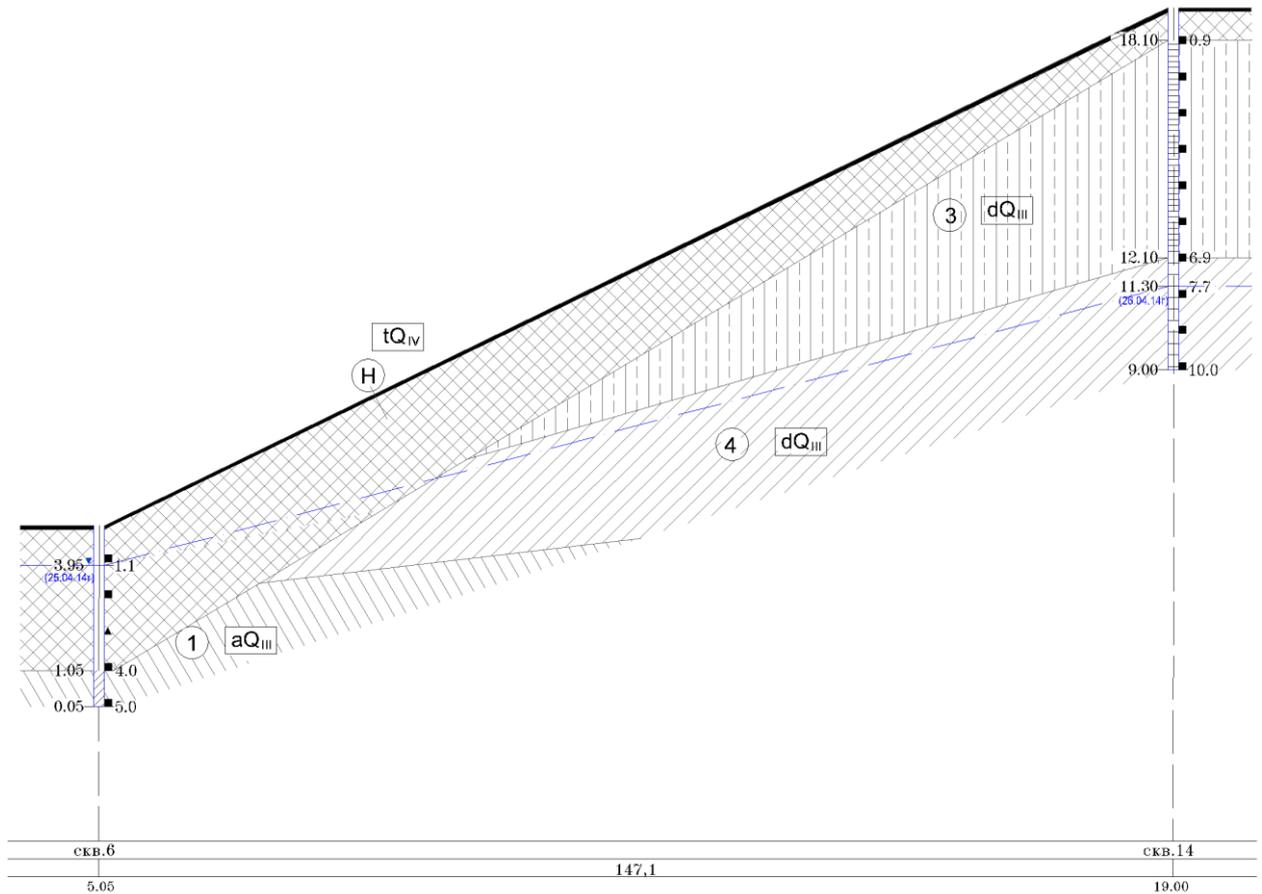
**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 3 ПО ЛИНИИ СКВ 7 - СКВ 8**



**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 3 ПО ЛИНИИ СКВ 1 - СКВ 11**



**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ  
УЧАСТКА 4 ПО ЛИНИИ СКВ 6 - СКВ 14**



**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА  
ДЛЯ СКВ. 18 УЧАСТКА 1**

Начата: 07.11.2014  
Окончена: 07.11.2014

Условная абс.отметка устья : 72.30м  
Общая глубина : 40.00 м

№ ИГЭ	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Условная абс. отм. подошвы слоя, м	Литологический разрез	Глубина отбора образцов	Наименование грунта	Сведения о воде	
		от	до						появление воды	установ. уровень
Н	tQ IV	0.0	0.9	0.9	71.40		■	Насыпной слой: щебенистый грунт с суглинистым заполнителем до 20-25% коричневого цвета твердой консистенции		
1	dQ III	0.9	3.8	2.9	68.50		■	Суглинок бурого цвета, твердой консистенции сильно макропористый с включениями карбонатов до 5%		
	eQ III	3.8	4.7	0.9	67.60		■	Погребенный почвенный горизонт: суглинок бурого цвета, твердой консистенции		
1a							■	Суглинок желто-бурого цвета твердой консистенции макропористый, с включениями карбонатов до 3%		
	dQ III	4.7	8.5	3.8	63.80		■	Погребенный почвенный горизонт: суглинок темно-серого цвета твердой консистенции		
	eQ III	8.5	9.7	1.2	62.60		■	Суглинок бурого цвета твердой консистенции макропористый		
	dQ III	9.7	12.8	3.1	59.50		■	Погребенный почвенный горизонт: глина темно-коричневого цвета твердой консистенции		
2	eQ II	12.8	13.9	1.1	58.40		■	Глина легкая пылеватая коричневого цвета твердой консистенции с включениями карбонатов до 5-7%		
	dQ II	13.9	18.8	4.9	53.50		■	Глина легкая пылеватая темно-коричневого цвета полутвердой консистенции с включениями карбонатов до 5-7%		20.8 08.11.14
2a							■	Погребенный почвенный горизонт: глина темно-коричневого цвета твердой консистенции		
	dQ II	18.8	25.8	7.0	46.50		■	Суглинок легкий опесчаненный коричневого цвета полутвердой консистенции с линзами и прослоями супеси и песка, включением карбонатных стяжений до 10%		
4	eQ II	25.8	27.2	1.4	45.10		■	Глина легкая пылеватая красно-бурого цвета твердой консистенции с включениями кристаллов гипса до 0,5 см		25.5 07.11.14
	d-eQ <sub>1</sub> Esk	27.2	31.2	4.0	41.10		■	Суглинок легкий опесчаненный коричневого цвета полутвердый		
3	d-eQ <sub>1</sub> Esk	31.2	38.8	7.6	33.50		■			
4	d-eQ <sub>1</sub> Esk	38.8	40.0	1.2	32.30		■			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 25  
УЧАСТКА 1**

Начата: 11.11.2014  
Окончена: 11.11.2014

Условная абс.отметка устья :69.48м  
Общая глубина :40.00 м

N ИГЭ	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Условная абс. отм. подошвы слоя, м	Литологический разрез	Глубина отбора образцов	Наименование грунта	Сведения о воде	
		от	до						поверхности воды	установ. уровень
н	tQ IV	0,0	0,5	0,5	68,98		<p>Насыпной грунт: щебенистый грунт с суглинистым заполнителем серого цвета твердой консистенции до 20%</p> <p>Почвенно-растительный слой суглинок темно-серого цвета твердой консистенции гумусированный</p> <p>Суглинок желто-бурого цвета, твердой консистенции гтяжельй сильно макропористый с включениями карбонатных стяжений до 7%</p> <p>Суглинок желто-бурого цвета твердой консистенции макропористый с включениями карбонатов до 5%</p> <p>Погребенный почвенный горизонт: суглинком темно-серого цвета твердой консистенции</p> <p>Суглинок желто-бурого цвета твердой консистенции макропористый</p> <p>Погребенный почвенный горизонт: глина темно-коричневого цвета твердой консистенции</p> <p>Глина коричневого цвета легкая пылеватая твердой консистенции с включениями марганца, карбонатов до 10-15%</p> <p>Погребенный почвенный горизонт: глина темно-коричневого цвета твердой консистенции</p> <p>Глина красно-бурого цвета тяжелая пылеватая твердой консистенции с включением карбонатов и гипса до 10-15%</p> <p>Суглинок светло-коричневого цвета полутвердой консистенции легкий опесчаненный с обломками выветрелого известняка до 20% размером до 2,5 см, с прослоями супесью от 10 до 20см</p> <p>Супесь желто-коричневого цвета пластичная опесчанная с обломками выветрелого известняка</p> <p>Глина коричневого цвета твердой консистенции легкая пылеватая с включениями кристаллов гипса</p>	<p>31,7</p> <p>12,11,14</p> <p>33,8</p> <p>11,11,14</p>		
п	eQ IV	0,5	0,9	0,4	68,58					
1	dQ III	0,9	4,2	3,3	65,28					
	dQ III	4,2	7,9	3,7	61,58					
	eQ III	7,9	8,7	0,8	60,78					
1a	dQ III	8,7	10,4	1,7	59,08					
	eQ II	10,4	12,3	1,9	57,18					
2	dQ II	12,3	23,8	11,5	45,68					
	eQ II	23,8	24,7	0,9	44,78					
3	d-eQ <sub>1</sub> Esk	24,7	30,5	5,8	38,98					
	d-eQ <sub>1</sub> Esk	30,5	32,2	1,7	37,28					
4a	d-eQ <sub>1</sub> Esk	32,2	36,7	4,5	32,78					
	d-eQ <sub>1</sub> Esk	36,7	40,0	3,3	29,48					

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 35  
УЧАСТКА 1**

Начата: 16.11.2014  
Окончена: 16.11.2014

Условная абс.отметка устья :69.38м  
Общая глубина :40.00 м

НИГЭ	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Условная абс. отм. подошвы слоя, м	Литологический разрез	Глубина отбора образцов	Наименование грунта	Сведения о воде	
		от	до						появление воды	установ. уровень
Н	tQ IV	0.0	1.3	1.3	68.08		■	Насыпной грунт: асфальт до 0,1 м, ниже щебень и суглинок коричневого цвета полутвердой консистенции с включением строительного мусора		
1	dQ III	1.3	3.4	2.1	65.98		■	Суглинок желто-бурого цвета, твердой консистенции сильно макропористый с включениями карбонатов до 5%		
1a	dQ III	3.4	5.9	2.5	63.48		■	Суглинок бурого цвета твердой консистенции макропористый с включениями карбонатных стяжений до 5%		
	eQ III	5.9	6.5	0.6	62.88		■	Погребенный почвенный горизонт: суглинок темно-серого цвета твердой консистенции		
	dQ III	6.5	8.7	2.2	60.68		■	Суглинок бурого цвета твердой консистенции макропористый с включениями карбонатных стяжений до 5%		
	dQ II	8.7	10.9	2.2	58.48		■	Глина коричневого цвета легкая пылеватая твердой консистенции с включениями марганца и карбонатов до 5%		
	eQ II	10.9	12.2	1.3	57.18		■	Погребенный почвенный горизонт: глина темно-коричневого цвета твердой консистенции		
	dQ II	12.2	22.5	10.3	46.88		■	Глина коричневого цвета легкая пылеватая твердой консистенции с включениями марганца карбонатных стяжений до 5%. Грунт замочен техногенными горячими водами на глубине 16 -13,0м	13,0	17.11.14
									16,1	18.11.14
	dQ II	22.5	28.7	6,2	40.68		■	Глина красно-коричневого цвета твердой консистенции с включениями стяжений карбонатов до 5%, кристаллов гипса	29,7	18.11.14
3	d-eQ <sub>f</sub> Esk	22.5	28.7	6,2	40.68		■	Глина красно-коричневого цвета твердой консистенции с включениями стяжений карбонатов до 5%, кристаллов гипса		
4	d-eQ <sub>f</sub> Esk	28.7	32.7	4.0	36.68		■	Суглинок легкий пылеватый красно-бурого цвета полутвердой консистенции, прослой супеси от 5 до 20см, с включениями карбонатных стяжений		
4a	d-eQ <sub>f</sub> Esk	32.7	35,5	2.8	33.88		▲	Супесь светло-коричневого цвета пластичная		
4	d-eQ <sub>f</sub> Esk	35.5	40.0	4,5	29.38		■	Суглинок легкий красно-бурого цвета полутвердой консистенции, опесчаненный с включениями карбонатных стяжений до 1,5 см до 5% в интервале 38,5-40,0 м обломки известняка до 30%		

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 1  
УЧАСТКА 2**

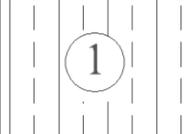
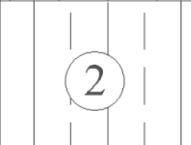
d=168 мм

Абс. отм. 68,50

Начата 14.03.10  
Окончена 14.03.10

Геологический индекс	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание грунтов	Разрез	УГВ	
					Появление воды	глубина, м дата замера установившийся уровень
eQ <sub>IV</sub>	0,60	0,60	Почвенно-растительный слой: суглинок светло-коричневого цвета, с корнями растений.			
tQ <sub>IV</sub>	2,50	1,90	Насыпной слой: суглинок светло-коричневого цвета, содержит до 5-7 % строительного мусора (обломки кирпича, бетона, щебень), песок.			
dQ <sub>III</sub>	8,50	6,00	Суглинок светло-коричневого цвета, легкий пылеватый, твердой консистенции, макропористый, с редкими конкрециями карбонатов и примазками марганца.			
eQ <sub>III</sub>	10,50	2,00	ППГ - суглинок темно-коричневого цвета, легкий, твердый.			
dQ <sub>III</sub>	15,60	5,10	Суглинок светло-коричневого цвета, легкий пылеватый, твердой консистенции, макропористый, с редкими конкрециями карбонатов и примазками марганца. В интервале глубин 14,10-14,70 м встречен песок светло-коричневого цвета, мелкий.			
dQ <sub>III</sub>	18,50	2,90	Суглинок темно-коричневого цвета, тяжелый пылеватый, полутвердой консистенции.		▼ 18,40 (14.03.10)	▼ 16,50 (15.03.10)
eQ <sub>III</sub>	20,50	2,00	ППГ - суглинок темно-коричневого цвета, тяжелый, полутвердый.			
dQ <sub>II</sub>	25,00	4,50	Глина темно-коричневого цвета, легкая пылеватая, полутвердой консистенции.			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 8  
УЧАСТКА 2**

Геологический индекс	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание грунтов	Разрез	УГВ	
					глубина, м	дата замера
					появление воды	установившийся уровень
tQ <sub>IV</sub>	2,00	2,00	Насыпной слой: суглинок светло-коричневого цвета, содержит до 5-7 % строительного мусора (обломки кирпича, бетона, щебень), песок.			
dQ <sub>III</sub>	8,50	6,50	Суглинок светло-коричневого цвета, легкий пылеватый, твердой консистенции, макропористый, с редкими конкрециями карбонатов и примазками марганца.			
eQ <sub>III</sub>	10,50	2,00	ППГ - суглинок темно-коричневого цвета, легкий, твердый.			
dQ <sub>III</sub>	13,60	3,10	Суглинок светло-коричневого цвета, легкий пылеватый, твердой консистенции, макропористый, с редкими конкрециями карбонатов и примазками марганца.			
dQ <sub>III</sub>	17,50	3,90	Суглинок темно-коричневого цвета, тяжелый пылеватый, полутвердой консистенции.		▼ 15,80 (17.03.10)	▼ 14,20 (18.03.10)
eQ <sub>III</sub>	20,50	3,00	ППГ - суглинок темно-коричневого цвета, тяжелый, полутвердый.			
dQ <sub>II</sub>	25,00	4,50	Глина темно-коричневого цвета, легкая пылеватая, полутвердой консистенции.			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 11  
УЧАСТКА 2**

d=168 мм

Абс. отм. 69,90

Начата 12.04.11  
Окончена 12.04.11

Геологический индекс	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание грунтов	Разрез	УГВ	
					глубина, м дата замера	
					ПОЯВЛЕНИЕ ВОДЫ	установившийся уровень
tQ <sub>IV</sub>	1,30	1,30	Насыпной слой: суглинок темно-коричневого цвета, содержит до 30 % строительного мусора (обломки кирпича, бетона, щебень).			
dQ <sub>III</sub>	5,50	4,20	Суглинок светло-коричневого цвета, легкий пылеватый, твердой консистенции, макропористый, с многочисленными нитями и прожилками карбонатов.			
dQ <sub>III</sub>	16,30	10,80	Суглинок светло-коричневого цвета, легкий пылеватый, твердой консистенции, макропористый, с гнездами карбонатов.			
dQ <sub>III</sub>	20,70	4,40	Суглинок темно-коричневого цвета, тяжелый пылеватый, полутвердой консистенции, с редкими карбонатами и точками марганца		▼ 17,00 (12.04.11)	▼ 16,60 (13.04.11)
dQ <sub>III</sub>	23,50	2,80	Песок светло-коричневого цвета, пылеватый, средней плотности, насыщенный водой, с частыми прослоями суглинка.			
dQ <sub>III</sub>	30,00	6,50	Суглинок светло-коричневого цвета, тяжелый пылеватый, полутвердой консистенции, с единичными карбонатами и точками марганца			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 1  
УЧАСТКА 3**

d=168 мм

Начата 20.08.08  
Окончана 20.08.08

Геологический индекс	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание грунтов	Разрез	УГВ	
					глубина, м	дата замера
					ПОЯВЛЕНИЕ ВОДЫ	установившийся уровень
$tQ_{IV}$	0,20	0,20	Насыщенный слой : суглинок темно-бурый со строительным мусором (песок, щебень, битый кирпич) до 30 %.			
$dQ_{III}$	5,40	5,20	Суглинок желто-бурый пылеватый, полутвердый, макропористый, с включением карбонатов.		▼ 6,80 (20.08.08г.)	▼ 6,30 (20.08.08г.)
$dQ_{III}$	20,00	14,60	Суглинок желто-бурый пылеватый, полутвердый, с включением карбонатов.			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 7  
УЧАСТКА 3**

d=168 мм

Начата 23.08.08  
Окончена 23.08.08

Геологический индекс	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание грунтов	Разрез	УГВ	
					глубина, м дата замера	
					ПОЯВЛЕНИЕ ВОДЫ	установившийся уровень
$eQ_{IV}$	0,30	0,30	Почвенно-растительный слой : суглинок черный, гумусированный, с корнями растений.			
$dQ_{III}$	5,10	4,80	Суглинок желто-бурый пылеватый, полутвердый, макропористый, с включением карбонатов.		▼ 7,10 (23.08.08г.)	▼ 6,80 (23.08.08г.)
$dQ_{III}$	20,00	14,90	Суглинок желто-бурый пылеватый, полутвердый, с включением карбонатов.			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 11  
УЧАСТКА 3**

d=168 мм

Начата 26.08.08  
Окончена 26.08.08

Геологический индекс	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание грунтов	Разрез	УГВ	
					Появление воды	глубина, м дата замера установившийся уровень
$eQ_{IV}$	0,20	0,20	Почвенно-растительный слой : суглинок черный, гумусированный, с корнями растений.			
$dQ_{III}$	5,30	5,10	Суглинок желто-бурый пылеватый, полутвердый, макропористый, с включением карбонатов.		▼ 6,90 (26.08.08г.)	▼ 6,40 (26.08.08г.)
$dQ_{III}$	20,00	14,70	Суглинок желто-бурый пылеватый, полутвердый, с включением карбонатов.			

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА ДЛЯ СКВ. 14  
УЧАСТКА 4**

Начата : 25.04.2014  
Окончена : 25.04.2014

Абс.отметка устья : 19.00м  
Общая глубина : 10.0 м

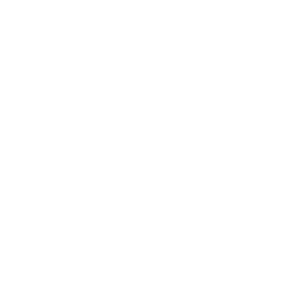
N слоя (ИГЭ)	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Литологический разрез	Глубина отбора образцов	Наименование грунта	Сведения о воде	
		от	до						появление воды	установ. уровень
Н	tQ IV	0.0	0.9	0.9	18.10		■	Насыпной грунт: суглинок темно-бурый с щебнем и дресвой		
3	dQ III	0.9	6.9	6.0	12.10		■	Суглинок желто-бурого цвета твердой консистенции макропористый с редкими нитевидными прожилками карбонатов и включениями марганца		
4	dQ III	6.9	10.0	3.1	9.00		■	Суглинок коричневого цвета полутвердой консистенции с редкими включениями марганца	8.2 25.04.14	7.7 26.04.14

Таблица 3.1

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА БЕТОНЫ МАРОК W4, W6, W8, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЦЕМЕНТОВ**

Цемент	Степень сульфатной агрессивности воды на бетоны марки по водонепроницаемости		
	W <sub>4</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>8</sub>
Портландцемент по ГОСТ 10178-85*	сильноагрессивная		
Портландцемент по ГОСТ 10178-85* с добавками и шлакопортландцемент	слабоагрессивная	неагрессивная	
Сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-94	неагрессивная		

Таблица 3.2

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА АРМАТУРУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Содержание хлоридов и сульфатов в пересчете на Cl <sup>-</sup> мг/л	Степень агрессивного воздействия на арматуру при:	
	постоянном погружении	периодическом смачивании
192+4571x0,25=1334,75	неагрессивная	среднеагрессивная

Таблица 3.3

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА БЕТОНЫ МАРОК W4, W6, W8, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЦЕМЕНТОВ**

Цемент	Степень сульфатной агрессивности воды на бетоны марки по водонепроницаемости		
	W <sub>4</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>8</sub>
Портландцемент по ГОСТ 10178-85*	средне-агрессивная	слабо-агрессивная	неагрессивная
Портландцемент по ГОСТ 10178-85* с добавками и шлакопортландцемент	неагрессивная		
Сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-94	неагрессивная		

Таблица 3.4

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА АРМАТУРУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Содержание хлоридов и сульфатов в пересчете на Cl <sup>-</sup> мг/л	Степень агрессивного воздействия на арматуру при:	
	постоянном погружении	периодическом смачивании
166,0+1361,0x0,25= =506,25 мг/л	неагрессивная	среднеагрессивная

Таблица 3.5

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА БЕТОНЫ МАРОК W4, W6, W8, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЦЕМЕНТОВ**

Цемент	Степень сульфатной агрессивности воды на бетоны марки по водонепроницаемости		
	W <sub>4</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>8</sub>
Портландцемент по ГОСТ 10178-76	средне-агрессивная	сильноагрессивная	
Портландцемент по ГОСТ 10178-85* с добавками и шлакопортландцемент	неагрессивная		
Сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-76	неагрессивная		

Таблица 3.6

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА АРМАТУРУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Содержание хлоридов и сульфатов в пересчете на Cl <sup>-</sup> мг/л	Степень агрессивного воздействия на арматуру при:	
	постоянном погружении	периодическом смачивании
204,5 мг/л	неагрессивная	слабоагрессивная

Таблица 3.7

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА БЕТОНЫ МАРОК W4, W6, W8, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЦЕМЕНТОВ**

Цемент	Степень сульфатной агрессивности воды на бетоны марки по водонепроницаемости		
	W4	W6	W8
Портландцемент по ГОСТ 10178-85	среднеагрессивная	слабоагрессивная	неагрессивная
Портландцемент по ГОСТ 10178-85* с добавками и шлакопортландцемент	неагрессивная		
Сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-94	неагрессивная		

Таблица 3.8

**СТЕПЕНЬ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА АРМАТУРУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Содержание хлоридов и сульфатов в пересчете на Cl <sup>-</sup> мг/л (Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> x 0,25) мг/л	Степень агрессивного воздействия на арматуру железобетонных конструкций при:	
	постоянном погружении	периодическом смачивании
749	неагрессивная	среднеагрессивная

ТАБЛИЦА НОРМАТИВНЫХ И РАССЧЁТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ  
ДЛЯ ГРУНТОВ УЧАСТКА 1

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Характеристика	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов								
			$\rho$	$\rho_a$	$e$	$S_r$	$J_p$	$\varphi$	$C$	Показатель текучести	Общий модуль деформации $E_s$ примененем $\sigma_{pk}$ по результатам компрессионных испытаний
			г/см <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	д.ед.	д.ед.	%	град.	кПа		
										природная влажность	природная влажность
1	Суглинок тяжелый пылеватый твёрдой консистенции просадочный незасоленный	$X_{\pi}$	1,71	1,48	0,830	0,531	14,9	21	15	$\frac{-0,27}{0,50}$	$\frac{20,5}{7,7}$
		$X_{0.85}$	1,71					21	14		$\frac{19,7}{7,5}$
		$X_{0.95}$	1,70					21	14		$\frac{19,2}{7,2}$
1a	Суглинок тяжелый пылеватый твёрдой консистенции просадочный незасоленный	$X_{\pi}$	1,83	1,55	0,749	0,667	16,1	22	19	$\frac{-0,19}{0,22}$	$\frac{16,1}{10,1}$
		$X_{0.85}$	1,83					21	19		$\frac{15,7}{10,0}$
		$X_{0.95}$	1,83					21	19		$\frac{15,5}{9,9}$
2	Глина легкая пылеватая твёрдой консистенции непросадочная незасоленный ненабухающая	$X_{\pi}$	1,96	1,61	0,688	0,844	19,4	19	36	$\frac{-0,15}{-0,07}$	$\frac{-}{12,8}$
		$X_{0.85}$	1,96					19	35		$\frac{-}{11,7}$
		$X_{0.95}$	1,95					19	34		$\frac{-}{10,9}$
2a	Глина легкая пылеватая полутвёрдой консистенции непросадочная незасоленный ненабухающая	$X_{\pi}$	1,95	1,58	0,718	0,892	17,3	19	31	$\frac{0,07}{0,09}$	$\frac{-}{11,3}$
		$X_{0.85}$	1,94					18	29		$\frac{-}{11,0}$
		$X_{0.95}$	1,94					18	27		
3	Глина легкая пылеватая твёрдой консистенции непросадочная слабонабухающая	$X_{\pi}$	1,98	1,63	0,678	0,869	21,4	18	40	$\frac{-0,20}{-0,15}$	$\frac{-}{18,2}$
		$X_{0.85}$	1,98					18	39		$\frac{-}{16,1}$
		$X_{0.95}$	1,97					18	38		$\frac{-}{14,5}$
4	Суглинок легкий песчанистый полутвёрдой консистенции непросадочный ненабухающий	$X_{\pi}$	2,07	1,76	0,586	0,911	10,3	22	35	$\frac{0,16}{0,26}$	$\frac{-}{20,3}$
		$X_{0.85}$	2,06					22	34		$\frac{-}{18,7}$
		$X_{0.95}$	2,06					21	34		
4a	Супесь песчанистая пластичной консистенции	$X_{\pi}$	2,12	1,82	0,464	0,923	6,5	28	19	$\frac{0,56}{-}$	$\frac{-}{31,2}$
		$X_{0.85}$	2,12								
		$X_{0.95}$	2,12								

Примечания:

1) Прочностные характеристики для грунтов ИГЭ-1, 1a, 2, 2a, 3, 4 приведены по результатам испытания грунтов методом одноплоскостного среза; для грунтов ИГЭ-4a приняты по СНиП 2.02.01-83\*, Прил. 1, Табл. 2.

2) Общий модуль деформации для ИГЭ-1 и ИГЭ-1a получен по результатам компрессионных испытаний грунтов в интервале нагрузок 0,05 – 0,15 МПа с применением поправочного коэффициента  $M_k$ ; для ИГЭ-2 и ИГЭ-2a принят по результатам испытаний грунтов методом трёхостного сжатия в интервале нагрузок 0,1 – 0,2 МПа; для грунтов ИГЭ-3 и ИГЭ-4 принят по результатам испытаний грунтов методом трёхостного сжатия в интервале нагрузок 0,3 – 0,4 МПа; для грунтов ИГЭ-4a принят по СНиП 2.02.01-83\*, Прил. 1, Табл. 2.

**ТАБЛИЦА НОРМАТИВНЫХ И РАССЧЁТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ  
ДЛЯ ГРУНТОВ УЧАСТКА 2**

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов								Показатель текучести	Удельное сопротивление грунта конусу зонда
		$\rho^H$	$\rho^*$	$E^H$	$E^*$	$\varphi^H$	$\varphi^*$	$C^H$	$C^*$		
		г/куб.см.		МПа		Град.		КПа			
				Sr<0.8		при Sr>0.8					
Sr>0.8											
1	Суглинок легкий пылеватый твердый просадочный незасоленный ненабухающий, без примеси органических веществ	1,80	1,79	$\frac{16,8}{3,6}$	$\frac{16,1}{3,4}$	13	11,6	13	12,2	$\frac{-0,07}{0,76}$	
2	Суглинок легкий пылеватый полутвердый просадочный незасоленный ненабухающий	1,88	1,87	$\frac{10,6}{3,8}$	$\frac{9,8}{3,5}$	16	14,7	18	16,2	$\frac{0,08}{0,82}$	
3	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый непросадочный ненабухающий, без примеси органических веществ	1,94	1,93	$\frac{---}{12,6}$	$\frac{---}{12,1}$	20	19,7	27	25,4	$\frac{0,11}{0,17}$	2,1
4	Глина легкая пылеватая, полутвердая, непросадочная, ненабухающая	2,00	2,00	$\frac{----}{23,5}$	$\frac{----}{22,0}$	22	21,7	30	29,3	$\frac{0,01}{----}$	3,5
5	Песок пылеватый средней плотности, неоднородный, насыщенный водой	1,95		$\frac{----}{21,0^{**}}$		31 <sup>**</sup>		5 <sup>**</sup>			6,5

Примечания: \* - значения, принятые согласно таблице 1 Приложения И СП 11-105-97, Часть 1 по данным статического зондирования.

\*\* - значения, принятые согласно таблице 1 Приложения 1 СНиП 2.02.01-83 по данным статического зондирования.

ТАБЛИЦА НОРМАТИВНЫХ И РАССЧЁТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ  
ДЛЯ ГРУНТОВ УЧАСТКА 3

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов								Показатель текучести
		$\rho^*$	$\rho^*$	$E^*$	$E^*$	$\varphi^*$	$\varphi^*$	$C^*$	$C^*$	
		г/куб.см.		МПа		Град.		КПа		
				Sr<0.8		при Sr>0.8				
		Sr>0.8								
①	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый просадочный незасоленный ненабухающий	1,81	1,79	$\frac{8,7}{6,2}$	$\frac{8,2}{5,9}$	12	11,5	13	12,1	$\frac{0,03}{0,46}$
②	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый непросадочный ненабухающий	1,97	1,97	$\frac{17,3}{---}$	$\frac{16,6}{---}$	20	19,7	29	27,2	$\frac{0,19}{---}$

**ТАБЛИЦА НОРМАТИВНЫХ И РАССЧЁТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ  
ДЛЯ ГРУНТОВ УЧАСТКА 4**

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов											
		$\rho_n$	$\rho_{II}$	$\rho_I$	$E_n$	$E_{II}$	$E_I$	$\varphi_{II}$	$\varphi_{II}$	$\varphi_I$	$C_n$	$C_{II}$	$C_I$
		г/см <sup>3</sup>			МПа			град.			кПа		
					Sr<0.8			при Sr>0.8					
			Sr>0.8										
<b>Н</b>	Суглинок тяжелый щебенистый тугопластичной консистенции незасоленный	1.87	1.85	1.83	$\frac{---}{15,8^*}$	$\frac{---}{15,8^*}$		16*	16*	14*	21*	21*	14*
<b>1</b>	Суглинок тяжелый песчанистый мягкопластичной консистенции непрсадоочный ненабухающий	1.94	1.93	1.92	$\frac{---}{7,3}$	$\frac{---}{6,6}$	$\frac{---}{6,2}$	22	21	21	9	8	7
<b>2</b>	Песок средней плотности пылеватый неоднородный насыщенный водой	2.10	2.08		$\frac{---}{23,0^{**}}$			32**	32**	29**	5**	5**	3**
<b>3</b>	Суглинок легкий пылеватый твердой консистенции просадочный незасоленный ненабухающий	1.71	1.70	1.69	$\frac{15,4}{3,6}$	$\frac{14,2}{3,3}$	$\frac{13,0}{3,0}$	18	18	17	16	16	15
<b>4</b>	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердой консистенции непрсадоочный ненабухающий	1.95	1.94		$\frac{---}{11,5}$	$\frac{---}{10,7}$		24	23	21**	19	18	13**
<b>5</b>	Глина тяжелая тугопластичной консистенции слабонабухающая	1.72	1.71	1.71	$\frac{---}{13,6}$	$\frac{---}{13,1}$	$\frac{---}{12,3}$	14	13	13	46	44	42
<b>6</b>	Известняк плотный средней прочности выветрелый размягчаемый	2,41	2,37	2,33				39***			200***		

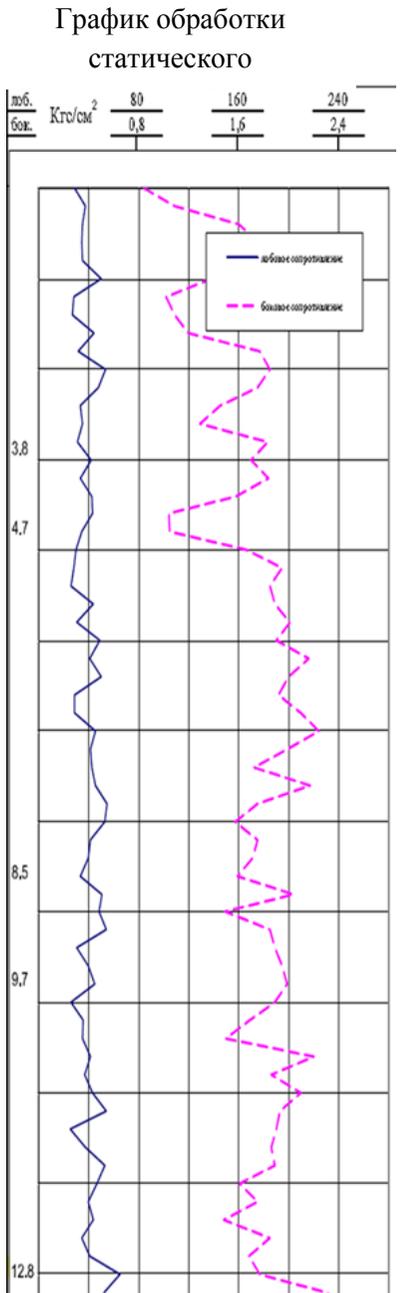
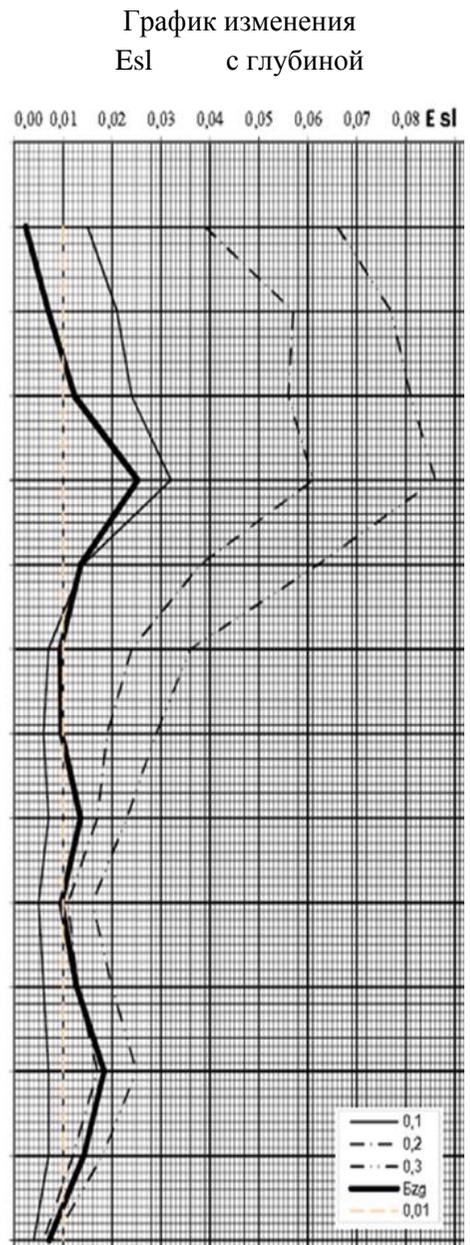
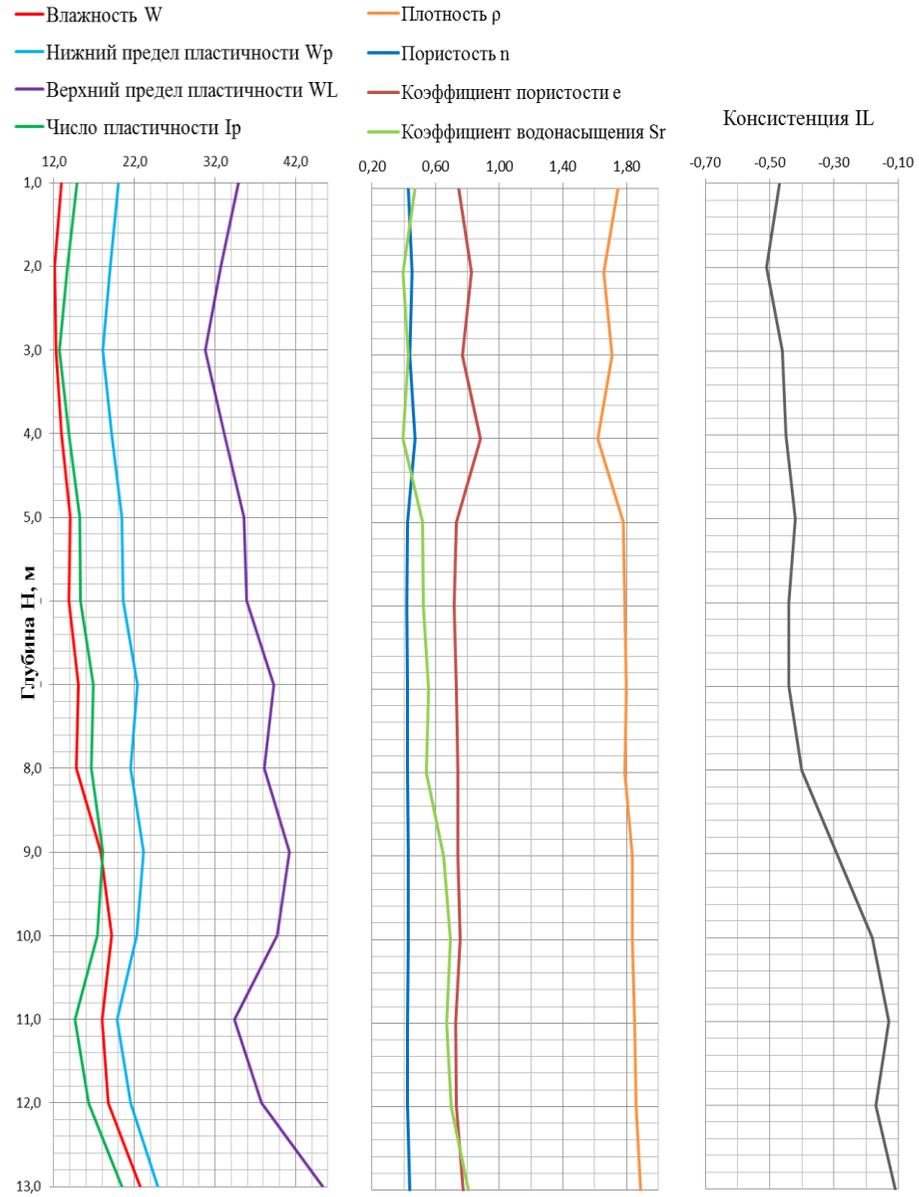
Примечание: \* - значения принятые по «Методике расчёта прочностных и деформационных свойств» ДальНИИС (φ и С приведены по схеме неконсолидированного среза)

\*\* - нормативные значения приняты согласно таблице Б.1, Приложения Б, СП 22.13330.2011; расчётные значения приведены по СП 22.13330.2011, п. 5.3.18.

\*\*\* - значения приняты согласно таблице 5 СП 23.13330.2011.

# Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 и ИГЭ-1а скв. 18, участок 1

ИГЭ	Мощность слоя, м	Геологический разрез	Глубина залегающей подошвы слоя
1	2,9		3,8
	0,9		4,7
1а	3,8		8,5
	1,2		9,7
2	3,1		12,8



# Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 и ИГЭ-1а скв. 25, участок 1

ИГЭ	Мощность слоя, м	Геологический литологический разрез	Глубина залегания подошвы слоя
1	3,3		4,2
1а	3,7		7,9
	0,8		8,7
	1,7		10,4
2	1,9		12,3

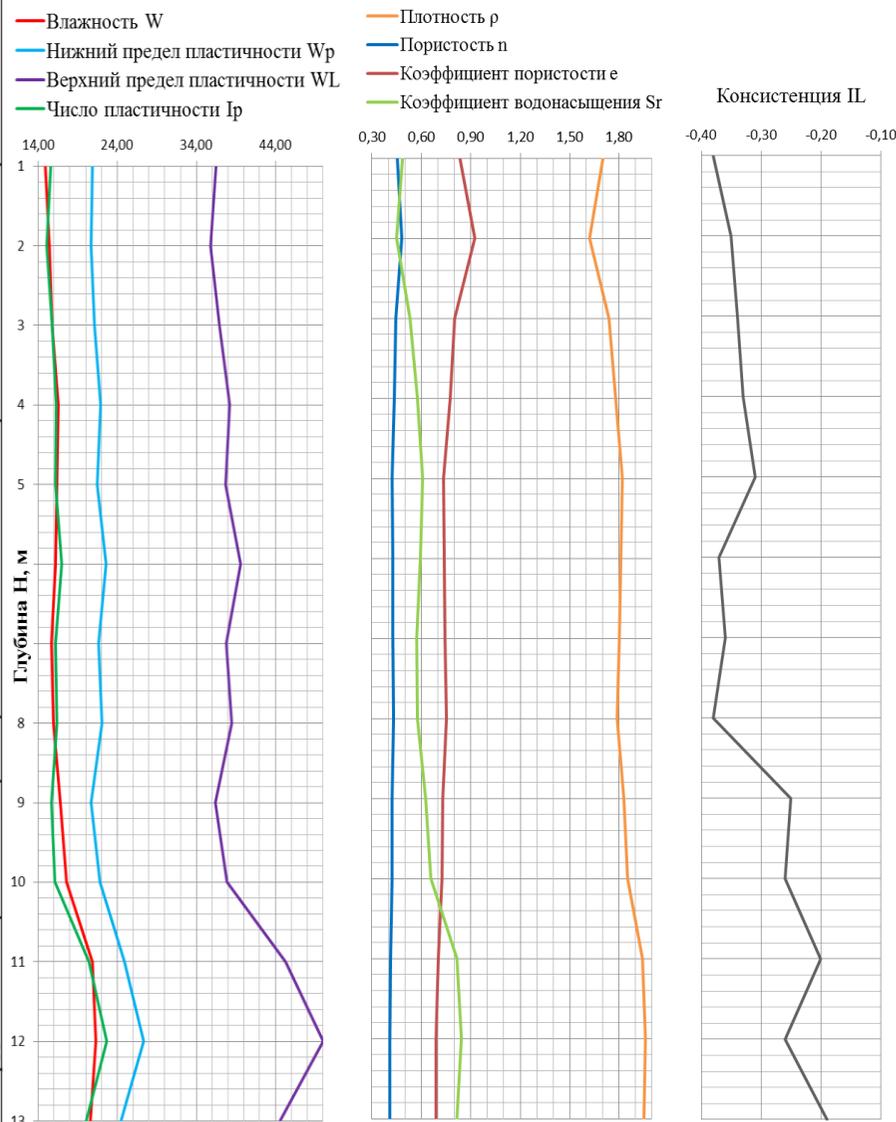


График изменения Esl с глубиной

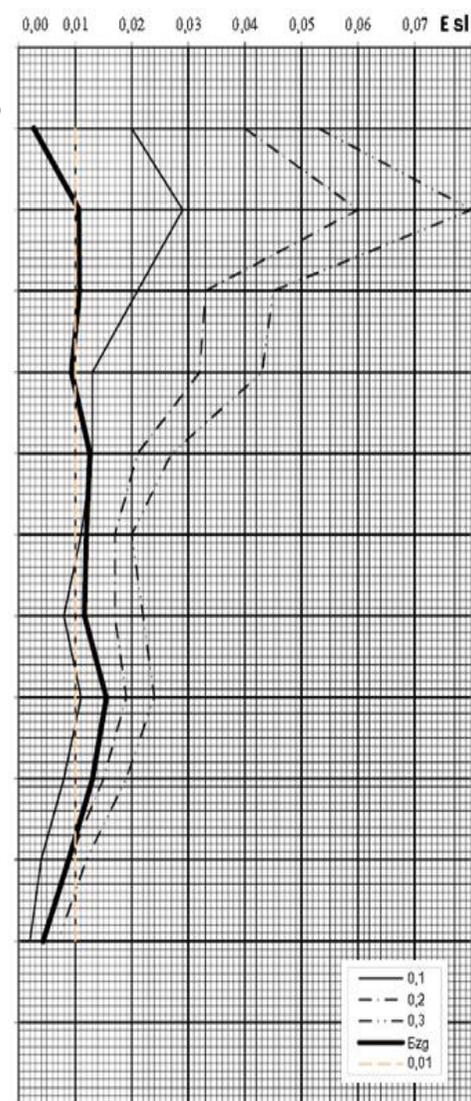
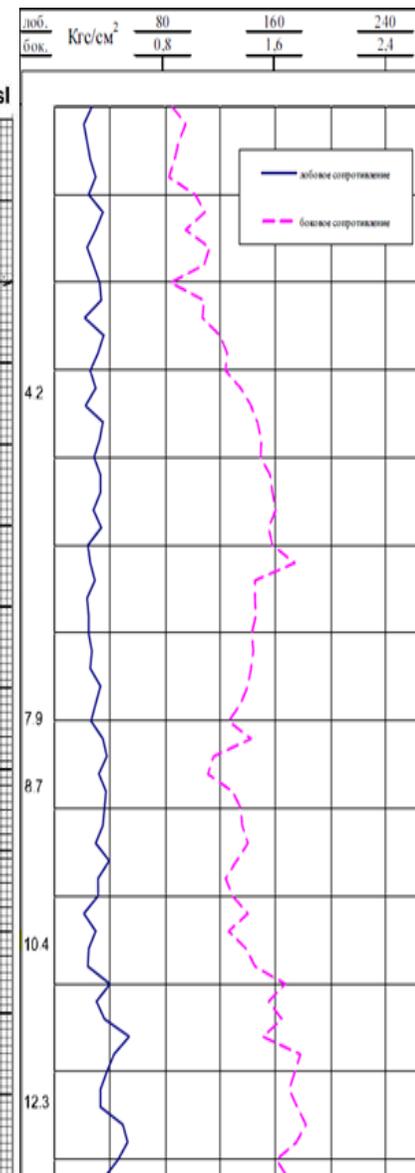
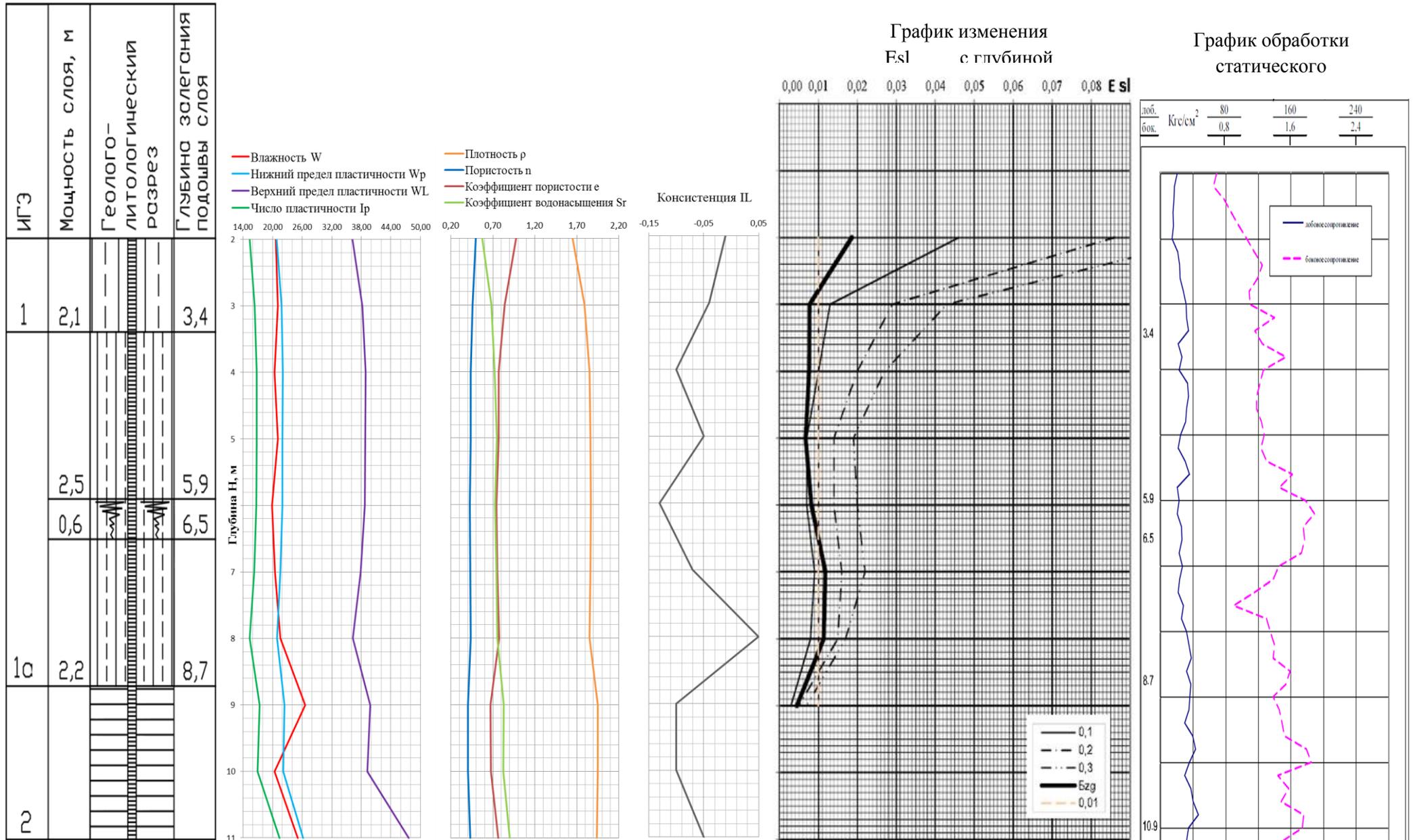


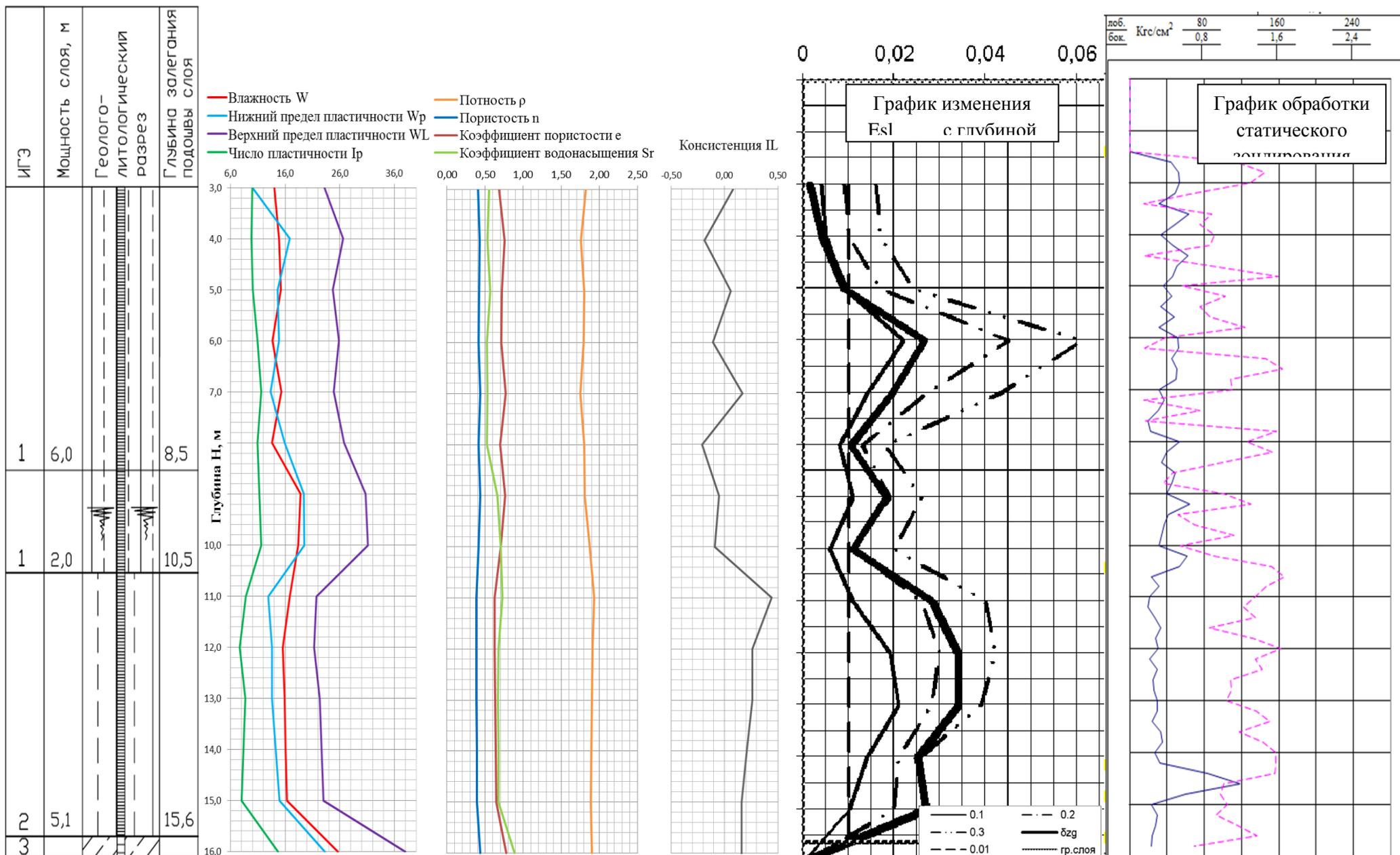
График обработки статического



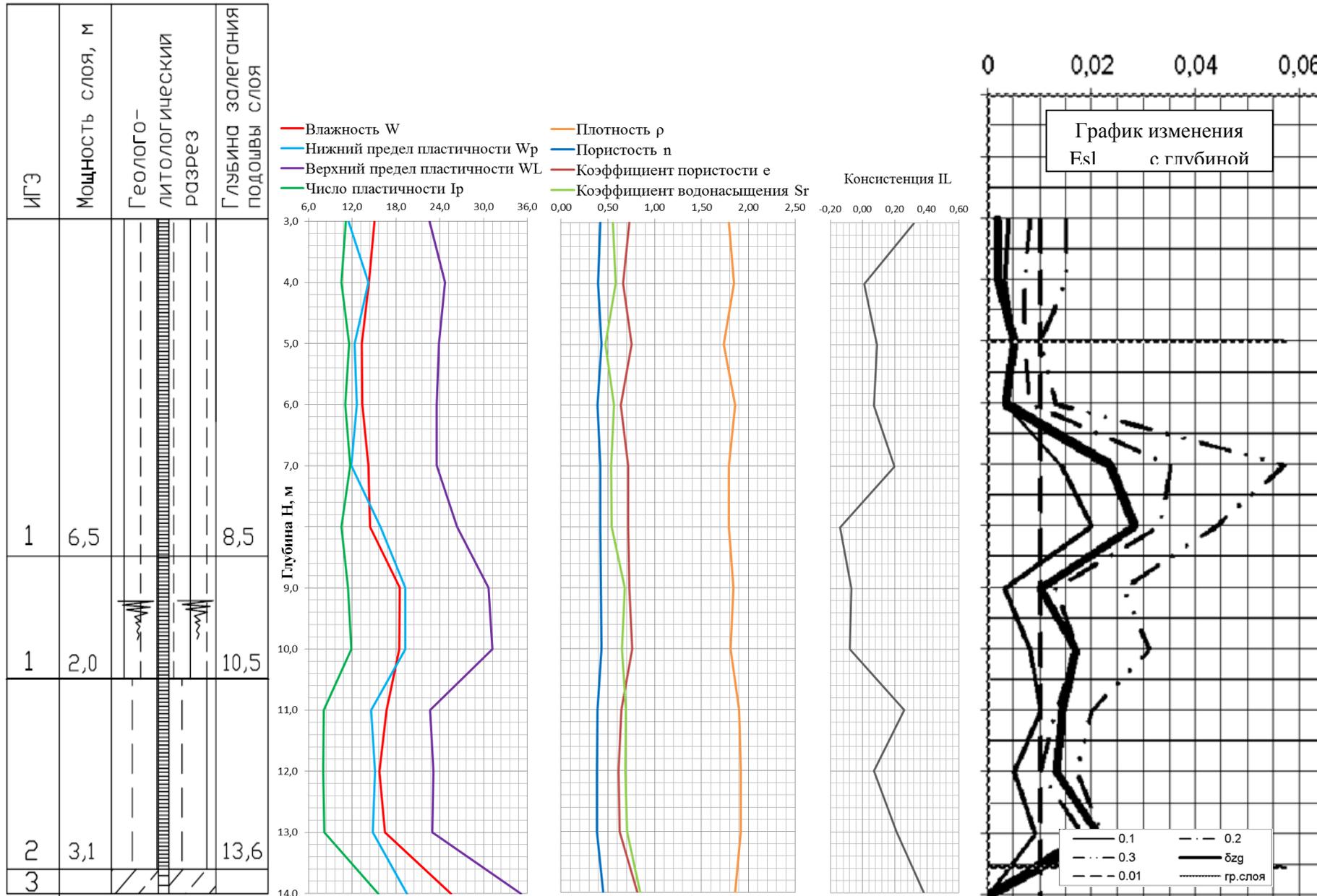
# Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 и ИГЭ-1а скв. 35, участок 1



# Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 скв. 1, участок 2

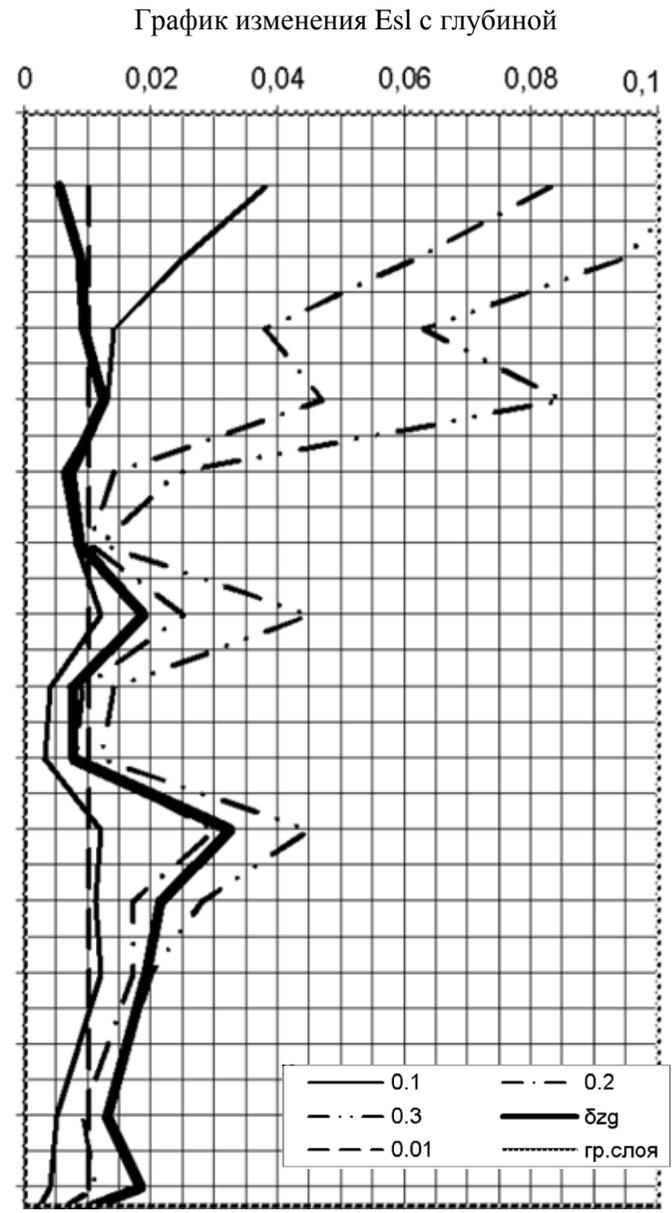
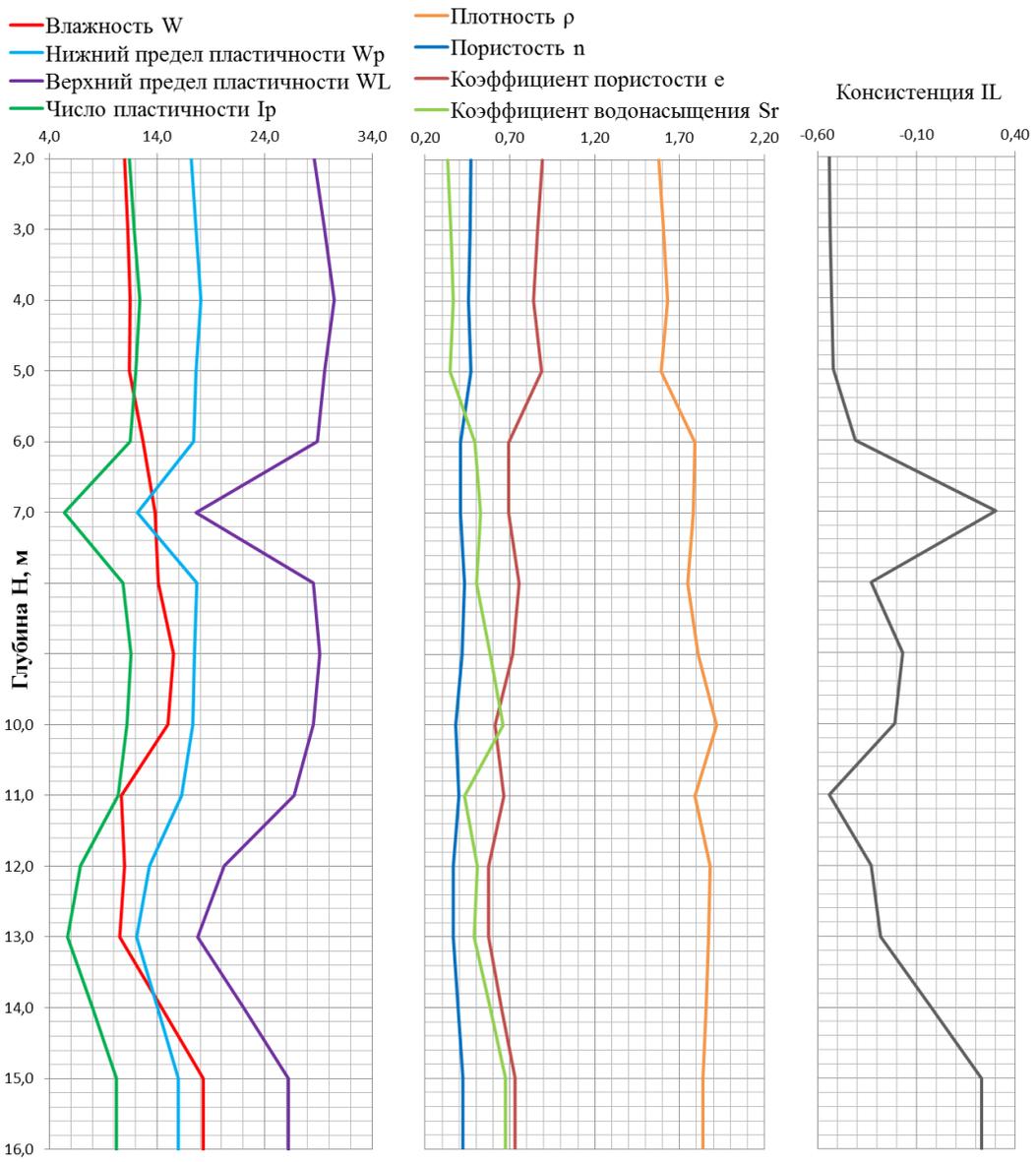


# Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 скв. 8, участок 2



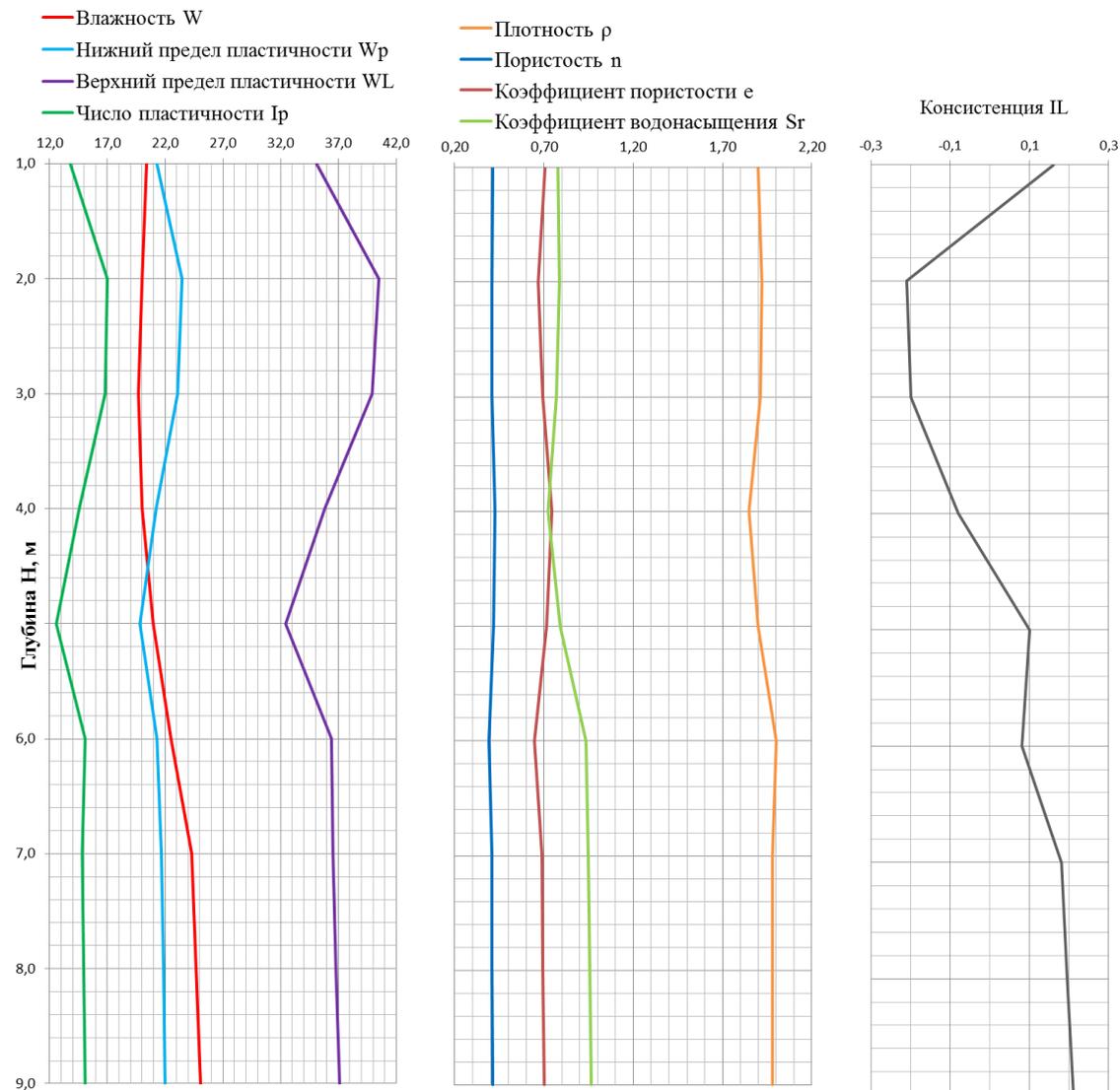
# Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 скв. 11, участок 2

ИГЭ	Мощность слоя, м	Геолого-литологический разрез	Глубина залегания подошвы слоя
1	4,2		5,5
2	10,8		16,3



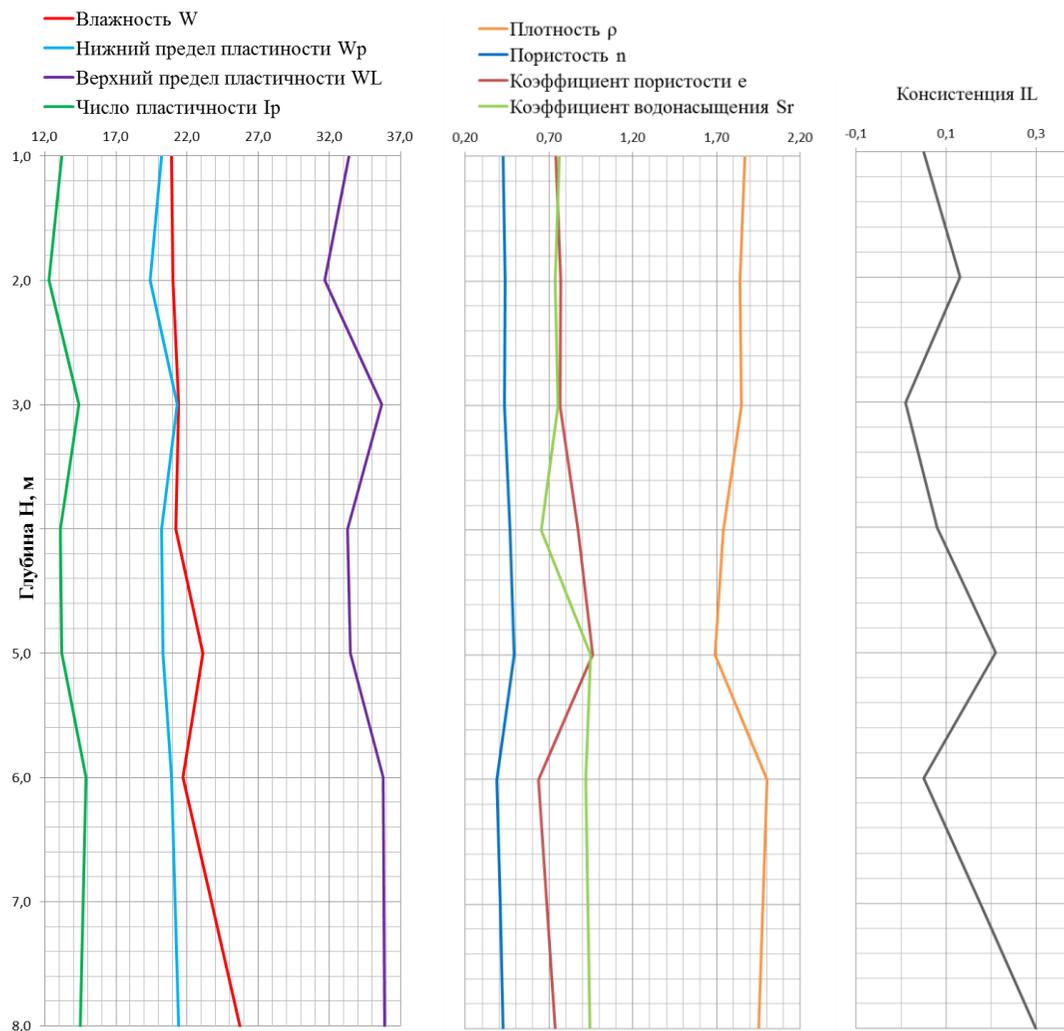
ИГЭ	Мощность слоя, м	Геологический литологический разрез	Глубина залегания подошвы слоя
1	5,2		5,4
2			

Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 скв. 1, участок 3



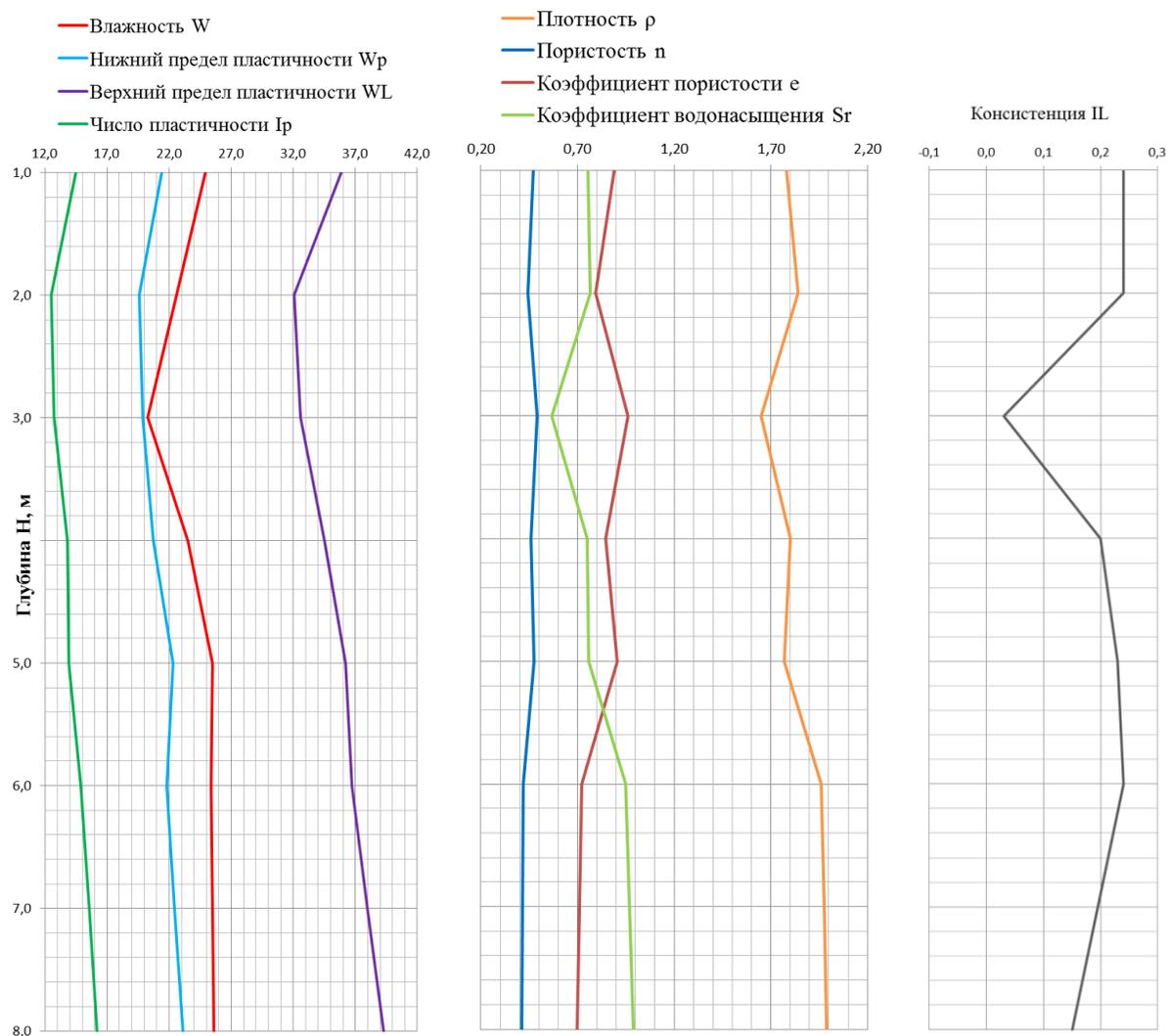
ИГЭ	Мощность слоя, м	Геолого- литологический разрез	Глубина залегания подошвы слоя
1	4,8		5,1
2			

Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 скв. 7, участок 3



ИГЭ	Мощность слоя, м	Геологический литологический разрез	Глубина залегания подошвы слоя
1	5,1		5,3
2			

Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-1 скв. 11, участок 3



Графики изменения различных физико-механических характеристик грунтов с глубиной для ИГЭ-3 скв. 14, участок 4

ИГЭ	Мощность слоя, м	Геологический разрез	Глубина залегания подошвы слоя
3	6,0		6,9

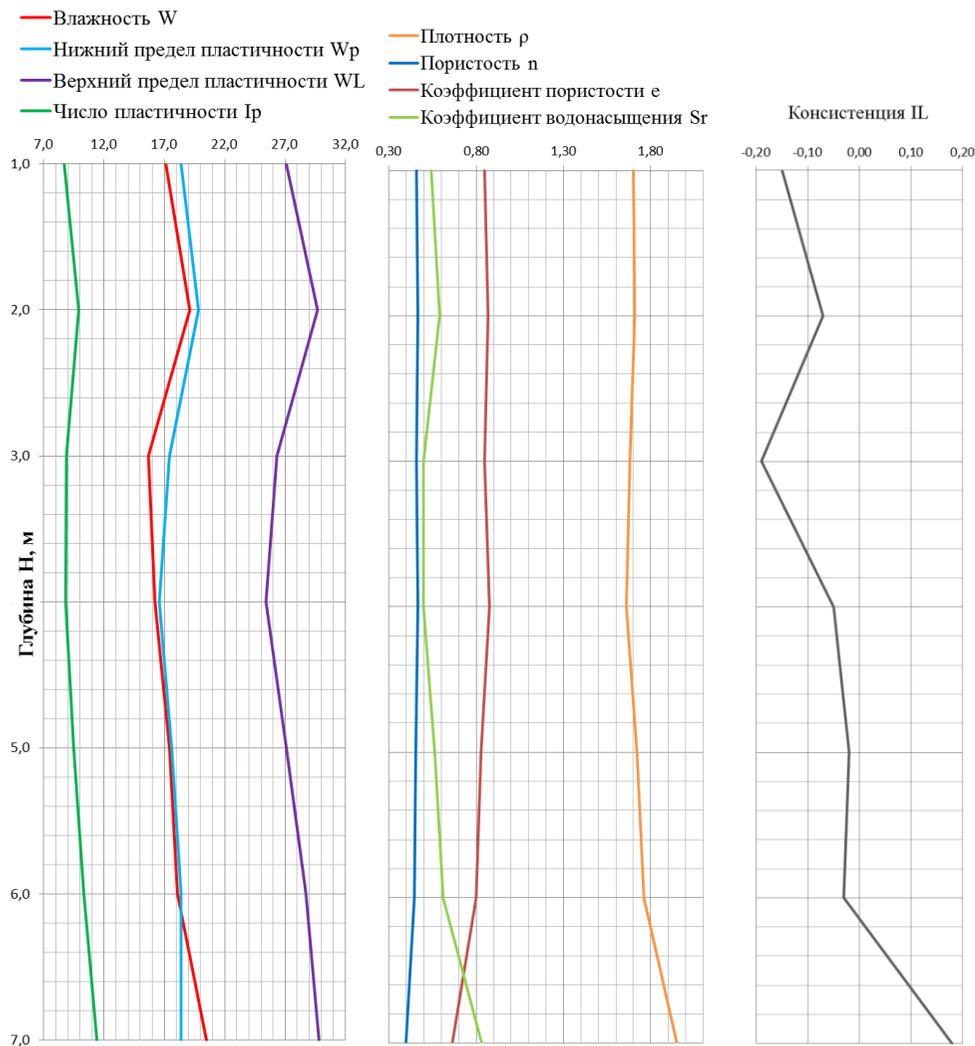
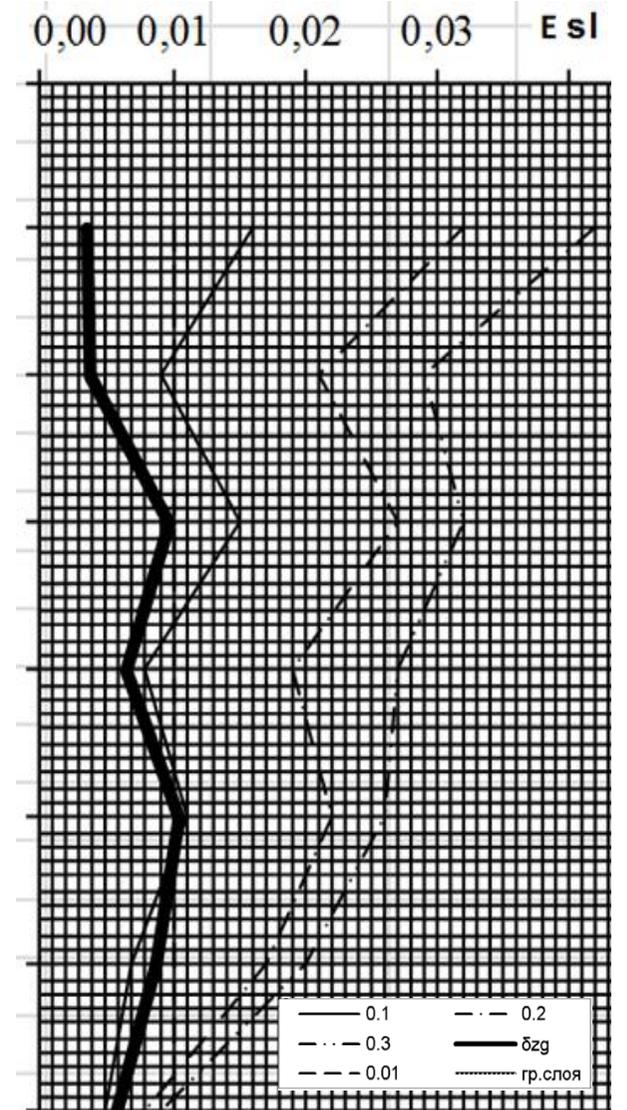


График изменения Esl с глубиной



**Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-1 и ИГЭ-1а по косвенным показателям просадочности для участка 1**

№ скв. Абс. отметка УГВ Просадка на 1м, мм <sup>1</sup>	Коэффициент пористости e и плотность скелета грунта ρ <sub>d</sub>	Коэффициент водонасыщения пород S <sub>r</sub>		Коэффициент пористости e, плотность скелета грунта ρ <sub>d</sub> и коэффициент водонасыщения пород S <sub>r</sub>	Показатель просадочности П	Показатель макропористости K <sub>y</sub> Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости K <sub>d</sub> В.А.Приклонского	Индекс просадочности I <sub>п</sub>	Коэффициент дефицита влажности К
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Крутову						
<b>1</b> 69,42 31,6 <b>8,8</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,59 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,59 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,16, I <sub>p</sub> = 16,69 <b>Пр*</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,39 <b>НПр**</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,65 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 0,98 <b>П</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,42 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>3</b> 70,52 34,5 <b>11,58</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,62 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,62 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,1, I <sub>p</sub> = 15,49 <b>Пр*</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,23 <b>НПр**</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,43 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 0,96 <b>П</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,63 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>5</b> 71,04 36,2 <b>10,68</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,65 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,65 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,12, I <sub>p</sub> = 15,94 <b>Пр*</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,27 <b>НПр**</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,49 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1,02 <b>НП</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,81 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>8</b> 70,62 34,7 <b>6,56</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,67 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,67 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,09, I <sub>p</sub> = 15,4 <b>Пр*</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,2 <b>НПр**</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,38 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1 <b>НП</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,98 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>12</b> 71,12 23,5 <b>12,7</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,57 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,57 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,11, I <sub>p</sub> = 15,1 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,26 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,49 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 0,91 <b>П</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,25 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>13</b> 71,79 23,6 <b>10,58</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,58 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,58 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,1, I <sub>p</sub> = 15,36 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,25 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,49 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 0,94 <b>П</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,37 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)

**Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-1 и ИГЭ-1а по косвенным показателям просадочности для участка 1 (продолжение)**

№ скв. Абс. отметка УГВ Просадка на 1м, мм <sup>1</sup>	Коэффициент пористости $e$ и плотность скелета грунта $\rho_d$	Коэффициент водонасыщения пород $S_r$		Коэффициент пористости $e$ , плотность скелета грунта $\rho_d$ и коэффициент водонасыщения пород $S_r$	Показатель просадочности $\Pi$	Показатель макропористости $K_y$ Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости $K_d$ В.А.Приклонского	Индекс просадочности $I_{\Pi}$	Коэффициент дефицита влажности $K$
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Крутову						
<b>15</b> 71,94 23,5 <b>9,58</b>	рыхлый	$S_r = 0,66$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,66$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,12$ , $I_p = 15,68$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,27$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,48$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,04$ <b>НП</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,9$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>18</b> 72,3 20,8 <b>10,4</b>	рыхлый	$S_r = 0,55$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,55$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,12$ , $I_p = 15,5$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,28$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,51$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 0,89$ <b>П</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,18$ <b>П</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>20</b> 69,2 32,0 <b>8,46</b>	рыхлый	$S_r = 0,59$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,59$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,12$ , $I_p = 15,65$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,27$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,5$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 0,94$ <b>П</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,4$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>22</b> 70,36 33,7 <b>7,41</b>	рыхлый	$S_r = 0,61$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,61$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,13$ , $I_p = 15,77$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,3$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,54$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 0,98$ <b>П</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,53$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>24</b> 71,12 36,0 <b>6,34</b>	рыхлый	$S_r = 0,7$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,7$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,13$ , $I_p = 15,7$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,3$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,54$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,13$ <b>НП</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 2,29$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>25</b> 69,48 31,7 <b>9,17</b>	рыхлый	$S_r = 0,57$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,57$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,13$ , $I_p = 16,04$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,3$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,53$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 0,88$ <b>П</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,3$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )

Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-1 и ИГЭ-1а по косвенным показателям просадочности для участка 1 (продолжение)

№ скв. Абс. отметка УГВ Просадка на 1м, мм <sup>1</sup>	Коэффициент пористости е и плотность скелета грунта ρd	Коэффициент водонасыщения пород S <sub>r</sub>		Коэффициент пористости е, плотность скелета грунта ρ <sub>d</sub> и коэффициент водонасыщения пород S <sub>r</sub>	Показатель просадочности П	Показатель макропористости K <sub>y</sub> Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости K <sub>d</sub> В.А.Приклонского	Индекс просадочности I <sub>п</sub>	Коэффициент дефицита влажности К
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Кругову						
27 70,32 33,3 8,0	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,57 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,57 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,15, I <sub>p</sub> = 16,35 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,3 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,58 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 0,96 <b>П</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,5 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
29 71,14 35,7 7,03	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,62 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,62 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,1, I <sub>p</sub> = 15,22 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,23 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,43 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 0,97 <b>П</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,56 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
32 70,62 32,5 6,36	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,7 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,7 <b>Очень влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,7)	Условно просадочный	П = 0,13, I <sub>p</sub> = 15,82 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,29 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,53 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1,12 <b>НП</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 2,4 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
34 70,6 32,7 8,02	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,63 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,63 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,13, I <sub>p</sub> = 15,82 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,3 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,53 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1 <b>НП</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,64 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
35 69,38 13,0 5,95	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,71 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,71 <b>Очень влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,13, I <sub>p</sub> = 16,26 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,28 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,52 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1,13 <b>НП</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 2,3 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
39 70,38 32,9 11,01	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,66 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,66 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = 0,13, I <sub>p</sub> = 16,07 <b>Пр</b> (при П < 0,24, I <sub>p</sub> от 14 до 22)	K <sub>y</sub> = 1,3 <b>НПр</b> (непросадочен при K <sub>y</sub> > 1)	K <sub>d</sub> = 0,53 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1,05 <b>НП</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,9 <b>НП</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)

**Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-1 и ИГЭ-1а по косвенным показателям просадочности для участка 1 (продолжение)**

№ скв. Абс. отметка УГВ Просадка на 1м, мм <sup>1</sup>	Коэффициент пористости $e$ и плотность скелета грунта $\rho_d$	Коэффициент водонасыщения пород $S_r$		Коэффициент пористости $e$ , плотность скелета грунта $\rho_d$ и коэффициент водонасыщения пород $S_r$	Показатель просадочности $\Pi$	Показатель макропористости $K_y$ Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости $K_d$ В.А.Приклонского	Индекс просадочности $I_{\Pi}$	Коэффициент дефицита влажности $K$
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Крутову						
<b>41</b> 72,58 20,5 <b>7,91</b>	рыхлый	$S_r = 0,58$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,58$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,13$ , $I_p = 15,64$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,31$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,54$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 94$ <b>П</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,38$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>42</b> 72,68 20,5 <b>10,8</b>	рыхлый	$S_r = 0,66$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,66$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,12$ , $I_p = 15,94$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,28$ <b>НПр</b> (непросадочен при $K_y > 1$ )	$K_d = 0,52$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,03$ <b>НП</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,89$ <b>НП</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )

**1** – Среднее значение просадки в мм на 1 м грунта

\*Пр – краткое обозначение просадочного грунта

\*\*НПр – краткое обозначение непросадочного грунта

**Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-1 и ИГЭ-2  
по косвенным показателям просадочности для участка 2**

№ скв. Абс. отметка УГВ Просадка на 1м, мм <sup>1</sup>	Коэффициент пористости e и плотность скелета грунта ρd	Коэффициент водонасыщения пород S <sub>r</sub>		Коэффициент пористости e, плотность скелета грунта ρ <sub>d</sub> и коэффициент водонасыщения пород S <sub>r</sub>	Показатель просадочности П	Показатель макропористости K <sub>y</sub> Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости K <sub>d</sub> В.А.Приклонского	Индекс просадочности I <sub>п</sub>	Коэффициент дефицита влажности К
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Крутову						
<b>1</b> 68,5 13,1 <b>18,6</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,61 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,61 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	П = -0,012, I <sub>p</sub> = 9,95 <b>Пр*</b> (при П < 0,1, I <sub>p</sub> от 1 до 10)	K <sub>y</sub> = 0,97 <b>Пр</b> (просадочен при K <sub>y</sub> < 1)	K <sub>d</sub> = -0,08 <b>Недоуплотнён</b> (при K <sub>d</sub> < 0)	I <sub>п</sub> = 1,12 <b>НПр**</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,55 <b>НПр</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>3</b> 70,2 14,3 <b>18,4</b>	Средней плотности	S <sub>r</sub> = 0,63 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,63 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Непросадочный	П = -0,003, I <sub>p</sub> = 9,81 <b>Пр</b> (при П < 0,1, I <sub>p</sub> от 1 до 10)	K <sub>y</sub> = 0,99 <b>Пр</b> (просадочен при K <sub>y</sub> < 1)	K <sub>d</sub> = -0,02 <b>Недоуплотнён</b> (при K <sub>d</sub> < 0)	I <sub>п</sub> = 1,19 <b>НПр</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,68 <b>НПр</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>6</b> 69,7 17,2 <b>14,9</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,67 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,67 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Непросадочный	П = -0,005, I <sub>p</sub> = 9,46 <b>Пр</b> (при П < 0,1, I <sub>p</sub> от 1 до 10)	K <sub>y</sub> = 0,99 <b>Пр</b> (просадочен при K <sub>y</sub> < 1)	K <sub>d</sub> = -0,03 <b>Недоуплотнён</b> (при K <sub>d</sub> < 0)	I <sub>п</sub> = 1,23 <b>НПр</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,74 <b>НПр</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>8</b> 70,0 14,2 <b>10,7</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,61 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,61 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Непросадочный	П = -0,01, I <sub>p</sub> = 10,36 <b>Пр</b> (при П < 0,17, I <sub>p</sub> от 10 до 14)	K <sub>y</sub> = 0,97 <b>Пр</b> (просадочен при K <sub>y</sub> < 1)	K <sub>d</sub> = -0,06 <b>Недоуплотнён</b> (при K <sub>d</sub> < 0)	I <sub>п</sub> = 1,12 <b>НПр</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,53 <b>НПр</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>9</b> 70,0 14,4 <b>16,8</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,63 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,8)	S <sub>r</sub> = 0,63 <b>Влажный</b> (при S <sub>r</sub> от 0,5 до 0,7)	Непросадочный	П = 0,008, I <sub>p</sub> = 9,86 <b>Пр</b> (при П < 0,1, I <sub>p</sub> от 1 до 10)	K <sub>y</sub> = 1,02 <b>НПр</b> (просадочен при K <sub>y</sub> < 1)	K <sub>d</sub> = 0,05 <b>Пластичный</b> (при 0 < K <sub>d</sub> < 1)	I <sub>п</sub> = 1,18 <b>НПр</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 1,73 <b>НПр</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)
<b>11</b> 69,9 16,6 <b>10,94</b>	рыхлый	S <sub>r</sub> = 0,49 <b>Маловлажный</b> (при S <sub>r</sub> < 0,5)	S <sub>r</sub> = 0,49 <b>Маловлажный</b> (при S <sub>r</sub> < 0,5)	Слабопросадочный	П = -0,012, I <sub>p</sub> = 9,96 <b>Пр</b> (при П < 0,1, I <sub>p</sub> от 1 до 10)	K <sub>y</sub> = 0,97 <b>Пр</b> (просадочен при K <sub>y</sub> < 1)	K <sub>d</sub> = -0,08 <b>Недоуплотнён</b> (при K <sub>d</sub> < 0)	I <sub>п</sub> = 0,87 <b>Пр</b> (просадочен при I <sub>п</sub> < 1)	K = 0,95 <b>Пр</b> (просадочен при K < 1,1 – 1,2)

Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-1  
по косвенным показателям просадочности для участка 3

№ скв. Абс. отметка УГВ	Коэффициент пористости $e$ и плотность скелета грунта $\rho_d$	Коэффициент водонасыщения пород $S_r$		Коэффициент пористости $e$ , плотность скелета грунта $\rho_d$ и коэффициент водонасыщения пород $S_r$	Показатель просадочности $\Pi$	Показатель макропористости $K_y$ Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости $K_d$ В.А.Приклонского	Индекс просадочности $I_{\Pi}$	Коэффициент дефицита влажности $K$
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Крутову						
<b>1</b> 90,29 6,3	рыхлый	$S_r = 0,77$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,77$ <b>Очень влажный</b> (при $S_r > 0,7$ )	Условно просадочный	$\Pi = 0,167$ , $I_p = 12,19$ <b>Пр*</b> (при $\Pi < 0,17$ , $I_p$ от 10 до 14)	$K_y = 1,4$ <b>НПр**</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = 0,71$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,37$ <b>НПр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 3,35$ <b>НПр</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>3</b> 90,18 6,3	рыхлый	$S_r = 0,696$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,696$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,08$ , $I_p = 13,54$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,17$ , $I_p$ от 10 до 14)	$K_y = 1,18$ <b>Пр</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = 0,39$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,11$ <b>НПр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 2,2$ <b>НПр</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>5</b> 90,51 6,3	рыхлый	$S_r = 0,71$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,71$ <b>Очень влажный</b> (при $S_r > 0,7$ )	Условно просадочный	$\Pi = 0,11$ , $I_p = 14,56$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,24$ , $I_p$ от 14 до 22)	$K_y = 1,25$ <b>НПр</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = 0,5$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,16$ <b>НПр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 2,46$ <b>НПр</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>7</b> 88,85 6,8	рыхлый	$S_r = 0,77$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,77$ <b>Очень влажный</b> (при $S_r > 0,7$ )	Слабопросадочный	$\Pi = 0,044$ , $I_p = 13,24$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,17$ , $I_p$ от 10 до 14)	$K_y = 1,1$ <b>Пр</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = 0,23$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,09$ <b>НПр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 2,43$ <b>НПр</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>9</b> 87,75 6,7	рыхлый	$S_r = 0,66$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,66$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Слабопросадочный	$\Pi = 0,012$ , $I_p = 13,54$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,17$ , $I_p$ от 10 до 14)	$K_y = 1,03$ <b>НПр</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = 0,06$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 0,93$ <b>Пр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,88$ <b>НПр</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )
<b>11</b> 90,1 6,4	рыхлый	$S_r = 0,72$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,72$ <b>Очень влажный</b> (при $S_r > 0,7$ )	Слабопросадочный	$\Pi = 0,023$ , $I_p = 13,48$ <b>Пр</b> (при $\Pi < 0,17$ , $I_p$ от 10 до 14)	$K_y = 1,05$ <b>НПр</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = 0,12$ <b>Пластичный</b> (при $0 < K_d < 1$ )	$I_{\Pi} = 1,04$ <b>НПр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 2,53$ <b>НПр</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )

**Сводная таблица результатов классификаций грунтов ИГЭ-14  
по косвенным показателям просадочности для участка 4**

№ скв. Абс. отметка УГВ Просадка на 1м, мм <sup>1</sup>	Коэффициент пористости $e$ и плотность скелета грунта $\rho_d$	Коэффициент водонасыщения пород $S_r$		Коэффициент пористости $e$ , плотность скелета грунта $\rho_d$ и коэффициент водонасыщения пород $S_r$	Показатель просадочности $\Pi$	Показатель макропористости $K_y$ Н.Я. Денисова	Показатель уплотнённости $K_d$ В.А.Приклонского	Индекс просадочности $I_{\Pi}$	Коэффициент дефицита влажности $K$
		По ГОСТ 25100-2011	По В.И. Крутову						
<b>14</b> 19,0 7,7 <b>0,75</b>	рыхлый	$S_r = 0,55$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,8)	$S_r = 0,55$ <b>Влажный</b> (при $S_r$ от 0,5 до 0,7)	Среднепросадочный	$\Pi = -0,06,$ $I_p = 9,35$ <b>Пр*</b> (при $\Pi < 0,1, I_p$ от 1 до 10)	$K_y = 0,87$ <b>Пр</b> (просадочен при $K_y < 1$ )	$K_d = -0,44$ <b>Недоуплотнён</b> (при $K_d < 0$ )	$I_{\Pi} = 0,82$ <b>Пр</b> (просадочен при $I_{\Pi} < 1$ )	$K = 1,22$ <b>НПр**</b> (просадочен при $K < 1,1 - 1,2$ )

**1** – Среднее значение просадки в мм на 1 м грунта

\*Пр – краткое обозначение просадочного грунта

\*\*НПр – краткое обозначение непросадочного грунта