

Санкт-Петербургский государственный университет

ЛАЗУТА Анастасия Александровна

Выпускная квалифицированная работа

*Изучение инженерно-геологических условий при проектировании
высокоскоростной железнодорожной магистрали Санкт-Петербург-Москва*

Магистерская диссертация

Направление *05.03.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *ВМ.5798.2021 «Гидрогеология и инженерная
геология»*

Научный руководитель:

Старший преподаватель кафедры

гидрогеологии и инженерной

геологии, кандидат геолого-

минералогических наук

Еремеева Анастасия Александровна

Рецензент: Главный геолог

Отдела инженерных изысканий

Рощина Дарья Владимировна

Санкт-Петербург

2023 г.

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа посвящена изучению инженерно-геологических условий участка строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург, а также изучению строительства на слабых грунтах. Рассмотрены методы упрочнения грунта, подобрана концепция. Сделан был расчет несущей способности свай по грунту, а также прогнозный расчет осадки основания.

Annotation

The final qualified work is devoted to the study of the engineering and geological conditions of the construction site of the Moscow-St. Petersburg high-speed railway, as well as the study of construction on weak soils. Methods of soil hardening are considered, the concept is selected. The calculation of the bearing capacity of piles on the ground was made, as well as the forecast calculation of the base precipitation.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА И ОТЧЕТСТВЕННОГО В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ.....	7
1.1 Глобальные технологические достижения в развитии высокоскоростных магистралей и их потенциальное влияние на внутренние проекты	7
1.2 Обеспечения устойчивости дорожного полотна на слабых основаниях при строительстве высокоскоростных магистралей	9
1.3 Изучение научных концепций характеристик глинистых грунтов, с учетом их потенциала для технологических манипуляций	14
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ НОВОГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	17
2.1 Орографические условия региона	17
2.2 Климатические условия региона	18
2.3 Геологическое строение региона.....	20
2.4.1 Структурно-геологическое строение территории	23
2.4.2 Тектоно-магматическое строение территории	31
2.5 Гидрогеологические условия региона	36
ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА РАБОТ МОСКВА - САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)	41
3.1 Физико-географический очерк	41
3.2 Инженерно-геологические условия участка изысканий	43
3.3 Климатические условия на участке изысканий	46
3.3 Геологическое строение на участке изысканий	49
3.4 Гидрогеологические условия.....	52
3.5 Физико-механические свойства грунтов	54
3.6 Геологические и инженерно-геологические процессы.....	57
3.7 Геологические и инженерно-геологические процессы.....	58
3.7.1 Сейсмичность	58
3.7.2 Морозное пучение грунтов.....	59
3.7.3 Подтопление территории.....	59
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСОЛИДАЦИИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ	61
4.1 Модели деформационного поведения слабых грунтов и определение их осадки с помощью аналитических методов	61
4.1.1 Модель линейного деформирования грунта (Пузыревский Н.П., Герсеванов Н.М., Флорин В.А. и др.)	61

4.1.2 ТЕОРИЯ НЕ ЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВ (Вялов С.С., Гольдин А.Л., Зарецкий Ю.К., Крещановский А.Л. и др.)	61
4.1.3 Методы фильтрационной консолидации (Терцаги К., Био М.А., Николаевский В.Н., Зарецкий Ю.К. и др.)	61
4.1.4 ИДЕАЛЬНО-УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ПРЕДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ, ОПИСЫВАЕМОЙ КРИТЕРИЕМ КУЛОНА–МОРА	62
4.1.5 МОДЕЛЬ ВЯЗКО-УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ (ШАШКИН А.Г.)	62
4.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ СВАИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ, ВКЛЮЧАЯ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ	64
4.2.1 ГРУНТОЦЕМЕНТНЫЕ СВАИ ТИПА JET GROUTING.....	67
4.2.2 ПЕСЧАНЫЕ СВАИ	67
4.2.3 БУРОНАБИВНЫЕ СВАИ CFG	68
4.3 РАСЧЕТНО-ПРОГНОЗНЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ВСМ НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ ПО I ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ	69
4.4 РАСЧЕТНО-ПРОГНОЗНЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ВСМ НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ ПО II ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ.....	74
4.5 РАСЧЕТ КОНСОЛИДАЦИИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ МКЭ. PLAXIS 2D.....	80
4.5.1 МОДЕЛЬ ГРУНТА HARDENING SOIL	82
4.5.2 МОДЕЛЬ ГРУНТА SOFT SOIL CREEP	82
4.5.3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА	84
4.5.4 РАСЧЕТ КОНСОЛИДАЦИИ ПОСЛЕ УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ БУРОНАБИВНЫМИ СВАЯМИ CFG.....	87
4.5.5 РАСЧЕТ КОНСОЛИДАЦИИ ПОСЛЕ УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЕСЧАНЫМИ СВАЯМИ	89
4.5.6 РАСЧЕТ КОНСОЛИДАЦИИ ПОСЛЕ УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ СВАЯМИ JET-GROUTING	91
4.6 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОНСОЛИДАЦИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАСЧЕТА ПО II ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ И ВЫВОДЫ.....	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	97
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	102

Введение

Актуальность исследования. За последние несколько десятилетий модернизация глобальных пассажирских перевозок была сосредоточена на развитии высокоскоростных железных дорог (ВСМ) и скоростных магистралей (СМ), которые смогли конкурировать с авиационными и автомобильными компаниями из-за сокращения времени в пути. Однако в России недостаточное развитие транспортной инфраструктуры стало препятствием для перехода страны на более высокий уровень социальной структуры, учитывая ее обширные географические масштабы и неравномерное заселение территорий.

Важность высокоскоростного железнодорожного сообщения была признана в государственных программных документах, включая Транспортную стратегию Российской Федерации и Стратегию развития железнодорожного транспорта до 2030 года.

Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются при строительстве железных дорог (ЖД), является обеспечение надежности дорожного полотна на слабых основаниях, что трудно предсказать. Чтобы преодолеть эту проблему, необходимы детальное изучение инженерно-геологических условий и современные инструменты, такие как моделирование и численный расчет.

Поэтому важной задачей инженерно-геологических исследований является оценка взаимодействия сооружения с горными породами, слагающими геологический разрез участка строительства.

Степень разработанности темы. Достижения, представленные в выпускной работе, основаны на исследованиях как национальных, так и международных ученых по рассматриваемым вопросам:

- методологии проектирования и эксплуатации земляного полотна: Казарновского В.Д., Кузахметовой Э.К. (МИИТ), Шахунянца Г.М., Виноградова В.В., Ефименко В.Н. (ТГАСУ); Ефименко В.Н. (ТГАСУ); Коншина Г.Г. (МИИТ), Дыдышко П.И. (ВНИИЖТ), Колоса А.Ф., Прокудина И.В. (ПГУПС), Добрава Э.М. (МАДИ);
- технологии и механизации сооружения земляного полотна: Недорезова И.А., Жорняка С.Г., Орлова Г.Г., (ЦНИИС), Луцкого С.Я., Спиридонова Э.С., Долгова Д.В. (МИИТ), Хархуты Н.Я. (СПбГПУ);
- грунтоведения: Трофимова В.Т., Королева В.А., Вознесенского Е.А., Зиангирова Р.С. (МГУ);

- геотехники: проф. Р.А. Мангушева (СПбГАСУ), Улицкого В. М. (ПГУПС), Трубецкого К.Н. (ИПКОН АН РФ), Шашкина А. Г. (ООО «ПИ Геореконструкция»), З. Г. Тер-Мартirosяна (МГСУ), А.И. Полищука (КГАУ) и других известных ученых.

Цель работы. Целью работы является всестороннее изучение инженерно-геологических условий на участке строительства ВСМ Москва - Санкт-Петербург с целью рекомендаций для расчета и проектирования конструкций насыпи на слабых грунтах/ Исследование будет включать анализ физико-механических свойств грунтов и их несущей способности. Полученные расчеты и рекомендации для проектирования показывают, что учет консолидации грунтов и укрепление основание сваями приведет к стабилизации осадок и устойчивости сооружения в течение длительного времени.

Для достижения цели проведения комплексного исследования инженерно-геологических условий на строительной площадке ВСМ Москва - Санкт-Петербург с целью проектирования безопасных путепроводных сооружений были поставлены следующие задачи:

- анализ инженерно-геологических условий участка проектирования;
- исследование свойств грунтов различными методами и выбор наиболее достоверных методов;
- теоретический анализ возможности консолидации грунтов участка и ее расчет;
- выбор наилучшего варианта укрепления основания сваями;
- расчет осадок основания земляного полотна ВСМ на слабом основании.

Автор принимал участие в рекогносцировочных, полевых работах: бурение, штамповые испытания, статическое зондирование.

Структура и объем работы.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и семи приложений.

Благодарность. Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю Старшему преподавателю кафедры гидрогеологии и инженерной геологии, кандидату геолого-минералогических наук Еремеевой Анастасии Александровне, а также рецензенту Главному геологу Рощеной Дарье Владимировне.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА И ОТЧЕТСТВЕННОГО В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

1.1 Глобальные технологические достижения в развитии высокоскоростных магистралей и их потенциальное влияние на внутренние проекты

Термин высокоскоростные магистрали (high-speed railway) обычно относится к железным дорогам и автомагистралям, но чаще он ассоциируется с железными дорогами. В частности, высокоскоростная железная дорога - это вид транспорта, который обычно работает со скоростью выше 200 км / ч, с возможностью достижения скорости 400 км / ч или выше.

В последние десятилетия развитие высокоскоростных магистралей (ВСМ) сыграло значительную роль в модернизации глобальных пассажирских перевозок. ВСМ удалось захватить сегменты рынка авиационной и автомобильной промышленности за счет существенного сокращения времени в пути, что делает его популярным выбором среди пассажиров.

Расширение систем высокоскоростных железных дорог (ВСМ) происходит быстрыми темпами во всем мире, при этом лидируют Китай и Европа. Экономическая целесообразность строительства линий ВСМ в густонаселенных районах была продемонстрирована различными странами, включая Бельгию, Англию, Китай, Францию, Германию, Италию, Японию и другие, несмотря на значительные первоначальные инвестиции (рисунок 1).

[скрыть] Страна ⇅	В эксплуатации (км) ▾	На стадии строительства (модернизации) (км) ⇅	Общая протяжённость (км) ⇅	Максимальная скорость (км/ч) ⇅
 Китай	42000 ^[13]	28000	70000 ^[14]	350 ^{[15][16]}
 Испания	3762 ^[11]	1763	5525	310
 Германия	3641 ^[8]	1122	4763	300
 Франция	3460.8	341.3	3802.1	320
 Япония	2764.6	684.3	3448.9	320
 Швеция	1706 ^[32]	349.1	2055.1	205
 Италия	1467 ^[12]	890.96	2357.96	300
 Южная Корея	1104.5	425	1529.5	305
 Финляндия	1079.4	95	1174.4	220
 Турция	802	3798 ^[22]	4600	300
 Узбекистан	741	465 ^[31]	1206	250
 Греция	700	695	1395	200
 Россия	650	1298.1 ^[18]	1948.1	250
 Саудовская Аравия	453 ^{[19][20]}	2354	2807	300
 США	362	1789.3	2151.3	240

Рисунок 1 - Высокоскоростные железные дороги по странам

(<https://ru.wikipedia.org>)

Если рассматривать строительство ВСМ с технической точки зрения, то оно представляет собой множество сложных задач. При этом значительное внимание уделяется проектированию земляных полотен для неустойчивых оснований в качестве одной из основных задач.

На сегодняшний день реализовано множество проектов касемо ВСМ. В таких странах как: Китай, Испания, Германия и т.д. На данных территориях широко распространены слабые грунты.

Использование глинистых грунтов в естественном основании земляного полотна ВСМ представляет собой многогранную и сложную проблему из-за их уникальных характеристик. Это требует разработки технологических, методологических и других задач, что делает проблему научного обоснования и технологических решений в системе "дорожное полотно - слабый фундамент ВСМ" всемирным предметом исследований многочисленных специалистов. Следовательно, решение этой проблемы является обязательным при создании современного ВСМ.

В этом исследовании рассматривается сочетание искусственно возведенных сооружений и естественных слабых фундаментов в контексте дорожных полотен

высокоскоростных автомагистралей. В частности, исследование будет сосредоточено на маршруте ВСМ Москва – Санкт-Петербург в качестве иллюстрации этих условий (рисунок 2).

Одним из важнейших обязательств правительства является создание современной инфраструктуры, учитывая огромные просторы нашей страны и ограниченную транспортную связь ее регионов.

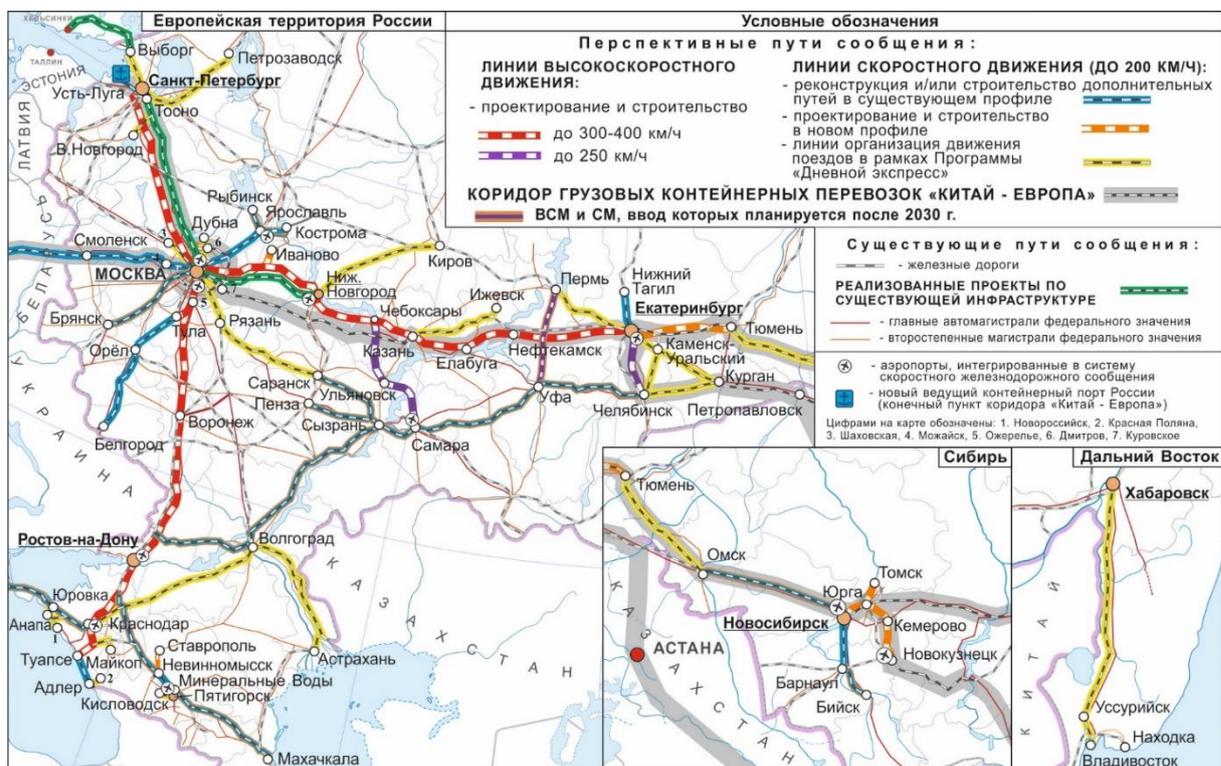


Рисунок 2 – Схема расположения ВСЖМ-1 Москва-Санкт-Петербург

(<https://www.slideserve.com>)

Основные показатели ВСМ «Москва – Санкт-Петербург»:

- 1) Протяженность - 660 км;
- 2) Максимальная скорость движения поезда – до 400 км/ч;
- 3) Искусственных сооружений 256 шт/72 км.

1.2 Обеспечения устойчивости дорожного полотна на слабых основаниях при строительстве высокоскоростных магистралей

Стоит отметить, что многие фундаментальные вопросы, связанные с задачами, поставленными в диссертации, недостаточно представлены в нормативной и научно-технической литературе по отечественному проектированию, строительству и эксплуатации ВСМ, в основном из-за ограниченного отечественного опыта в этих областях. Для решения этой проблемы был использован отечественный опыт проектирования ВСМ с учетом научных, методологических, конструктивных и

технологических подходов и практических решений для строительства и эксплуатации железных и автомобильных дорог. Геомеханические подходы, предложенные отечественной школой, представляют значительный интерес для решения вопросов, связанных с обеспечением устойчивости дорожного полотна на слабом основании при строительстве высокоскоростных магистралей.

Учет зарубежного опыта является разумным подходом, подкрепленным текущей практикой и достижениями в методологических и конструктивно-технологических решениях в области ВСМ.

Различные методы, которые применяются при строительстве скоростных магистралей, стабилизации земляного полотна на слабых грунтах имеют отрицательные и положительные стороны. Например, к отрицательным относится – методологические и терминологические расхождения, а к положительным - обобщенный опыт строительства ВСМ.

Терминологические несоответствия возникают, когда в научной и методической литературе используются понятия, отличные от тех, которые используются при проектировании железных и автомобильных дорог для описания естественного основания дорожного полотна. Это особенно актуально, когда земляное полотно или его основание расположено в сложных инженерно-геологических условиях, как определено в нормативной литературе, где присутствуют определенные типы грунта или существует риск опасных геологических явлений, возникающих на пути высокоскоростной железной дороги.

В нормативно-технической литературе, касающейся проектирования железнодорожного полотна, фраза "слабые основания" относится к естественным основаниям в сложных инженерно-геологических условиях. Такие условия могут включать влажные естественные основания с насыщенными водой грунтами, возвышенности, которые со временем подвержены значительным и неравномерным осадкам, а также неустойчивую местность (см. Таблицу 1). Для предотвращения деформаций требуются специализированные технические решения.

Таблица 1 – Характеристики железнодорожного (ЖД) полотна

Тип основания	Характеристика основания
Сухое основание	Условия для поверхностного стока хорошие; глинистые грунты на глубине до 1 м имеют влажность не более $W_p + 0,25 I_p$, грунтовые воды отсутствуют или залегают на глубине более 2 м от поверхности земли
Влажное основание	Условия для поверхностного стока хорошие; глинистые грунты на глубине до 1 м имеют влажность не более $W_p + 0,25 I_p$, грунтовые воды отсутствуют или залегают на глубине более 2 м от поверхности земли

Водонасыщенное основание	Поверхностный сток отсутствует; грунты глинистые, торфы, илы, сапропели; глинистые грунты в предморозный период имеют влажность на глубине до 1 м, равную $W_p + 0,75 I_p$ и более, а уровень грунтовых вод — на глубине до 1 м; имеются выходы грунтовых вод на поверхность земли или длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды
--------------------------	--

Одним из ключевых аспектов проектирования дорожного полотна высокоскоростных магистралей, которое отличается от проектирования традиционных железных дорог, является необходимость поддержания определенного уровня остаточной деформации на основном участке в течение всего срока его эксплуатации. В случае высокоскоростных железных дорог, в которых используется верхняя структура пути без балласта, общее количество осадков во время эксплуатации не должно превышать 15 мм. Для высокоскоростных железных дорог, использующих балласт, допускается остаточная деформация до 100 мм при условии, что ее интенсивность не превышает 10 мм в год.

Формулировки "слабые основания" и "слабые грунты", использованные ранее, не совсем совпадают по смыслу. Хотя между ними есть различие, они не взаимозаменяемы. Разница между ними заключается:

1. Термин "слабые грунты" охватывает глинистые грунты, тогда как "слабые основания" в основном относятся к грунтам с высоким содержанием воды. Это предполагает более широкую категорию типов грунта, таких как насыщенные водой песчаные, глинистые и др.

2. Доминирующий фактор в концепции "слабых фундаментов" приписывается заболачиванию грунтов, что указывает на то, что устойчивость железнодорожного полотна в значительной степени зависит от параметров содержания влаги и водообмена между грунтовой массой основания и окружающей почвенной средой.

Общие характеристики "слабых оснований" и "слабых грунтов" охватывают глинистые грунты, которые служат важнейшими естественными основаниями в сложных инженерно-геологических сценариях, таких как стабилизация автомобильных и железных дорог. Если не указано иное, термин "слабые основания" будет использоваться как общий термин, относящийся к железным и автомобильным дорогам, когда речь идет о естественных основаниях в сложных инженерно-геологических сценариях.

Для обеспечения устойчивости дорожного полотна на слабом основании при строительстве высокоскоростных магистралей должны соблюдаться следующие требования:

- Ранее установленные принципы и методологии, используемые для поддержания устойчивости дорожного полотна на слабых основаниях как для автомобильных, так и для железных дорог;
- Углубленный анализ свойств и характеристик глинистых грунтов;
- Соответствующий опыт, накопленный при проектировании, строительстве и эксплуатации высокоскоростных железных дорог (ВСМ) внутри страны и за рубежом.

Рекомендации и методы, используемые для обеспечения долговечности автомобильных и железнодорожных фундаментов, построенных на слабом грунте при использовании соответствующих конструктивных и технологических решений (КТР), указаны в таблице 2, при соблюдении конкретных условий.

Согласно таблице 2, цели КТР включают повышение устойчивости фундамента, ускорение достижения допустимой интенсивности осадков и минимизацию влияния динамического воздействия, вызванного транспортными нагрузками.

Железнодорожная отрасль установила нормативные и рекомендательные руководящие принципы для обеспечения стабильности, и прочности дорожных полотен, построенных на заболоченных, слабых и недостаточно прочных основаниях. Для достижения этой цели рекомендуется в первую очередь использовать дренирующие грунты для насыпей на влажных и влажных грунтах. Однако, когда используются мелкие и порошкообразные пески или глинистые грунты, для обеспечения стабильности и прочности дорожного полотна и его основания используются такие меры, как глубокие траншеи, дренажи, прослойки дренирующих грунтов, геотекстильные материалы и устройства бERM. Кроме того, правила диктуют параметры высоты края насыпи над уровнем давних поверхностных вод или самым высоким расчетным уровнем грунтовых вод, а в случае влажного фундамента он должен быть поднят над поверхностью земли, чтобы защитить участок от пучения и оседания. Для насыпей, построенных на слабых и недостаточно прочных фундаментах, тщательно проверяются устойчивость склона и интенсивность осадков на фундаменте. Однако, когда используются мелкие и порошкообразные пески или глинистые грунты, для обеспечения стабильности и прочности дорожного полотна и его основания используются такие меры, как глубокие траншеи, дренажи, прослойки дренирующих грунтов, геотекстильные материалы и устройства бERM. Кроме того, правила диктуют параметры высоты края насыпи над уровнем давних поверхностных вод или самым высоким расчетным уровнем грунтовых

вод, а в случае влажного фундамента он должен быть поднят над поверхностью земли, чтобы защитить участок от пучения и оседания. Для насыпей, построенных на слабых и недостаточно прочных фундаментах, тщательно проверяются устойчивость склона и интенсивность осадков на фундаменте.

Таблица 2 – Конструктивно-технологические решения (КТР)

Назначение конструктивно-технологических решений	Определяющий результат	Определяющий результат	
		технологические	конструктивные
Повышение устойчивости основания	Уменьшение нагрузки	-	снижение высоты насыпи; насыпи из легких материалов; несжимаемые сваи
	Улучшение напряженного состояния	-	снижение высоты насыпи; боковые пригрузочные призмы; свайная конструкция; распределительные плиты
	Увеличение сопротивляемости сдвигу грунта основания	предварительная консолидация	снижение высоты насыпи; боковые пригрузочные призмы; свайная конструкция; распределительные плиты
Ускорение достижения допустимой интенсивности осадки	Уменьшение конечной осадки		
	Уменьшение нагрузки	-	снижение высоты насыпи; насыпи из легких материалов; несжимаемые сваи
	Уменьшение мощности сжимаемой толщи в активной зоне	-	частичная замена слабых грунтов
	Улучшение напряженно-деформированного состояния	предварительная консолидация	свайная конструкция; распределительные плиты
	Уменьшение сжимаемости грунта	предварительное осушение	песчаные сваи-дрены; вертикальные дрены; дренажные прорези
	Ускорение процесса консолидации	временная пригрузка	-
	Улучшение условий удаления поровой воды	-	частичная замена слабых грунтов; песчаные сваи-дрены; вертикальные дрены; дренажные прорези
	Увеличение уплотняющей нагрузки		
Уменьшение влияния динамического воздействия от транспортной нагрузки	Снижение напряжений от транспортной нагрузки	-	распределительные плиты; увеличение высоты насыпи
	Повышение динамической устойчивости основания насыпи	-	распределительные плиты; увеличение высоты насыпи

1.3 Изучение научных концепций характеристик глинистых грунтов, с учетом их потенциала для технологических манипуляций

Проектирование дорожного полотна на изначально слабом основании является важным, дорогостоящим и трудоемким этапом дорожного строительства. В соответствии с правилами устойчивость основания насыпи оценивается на основе коэффициента безопасности при строительстве на слабых грунтах.

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{рас}}} \quad (1)$$

где:

$P_{\text{без}}$ - безопасная нагрузка, т.е. предельная нагрузка, отвечающая условию устойчивости; $P_{\text{рас}}$ - расчетная (проектная) нагрузка.

Считается, что стабильность фундамента для ВСМ гарантирована при условии, что:

$$K_{\text{без}} > 1,3 \quad (2)$$

Современная версия нормативного справочника, в настоящее время адаптированная для целей строительства высокоскоростных железнодорожных линий, появилась в качестве основополагающего нормативного документа под названием "Дорожное полотно высокоскоростных железнодорожных линий". Однако важно отметить, что эта ссылка все еще находится в черновом виде и еще не утверждена для применения.

Рассматриваемый документ ценен с точки зрения выявления новых стратегий решения проблемы сохранения долговечности дорожного полотна высокоскоростных железнодорожных линий. Следовательно, в отношении определения несущей способности основания дорожного полотна в любом заданном месте было предложено аналитическое обозначение для выражения либо условия устойчивости (3), либо коэффициента устойчивости (4).

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C \quad (3)$$

$$K_{\text{ст}} = \frac{\sigma \tan \varphi + C}{\tau} \quad (4)$$

где:

τ – касательное напряжение по наиболее вероятной (критической) площадке сдвига, кПа ($\text{т}/\text{м}^2$);

σ – нормальное напряжение, действующее по той же площадке, кПа ($\text{т}/\text{м}^2$);

φ – расчетное значение угла внутреннего трения, град.;

C – расчетное значение удельного сцепления, кПа ($\text{т}/\text{м}^2$).

По нескольким причинам использование (1) - (4) при оценке устойчивости основания насыпи является довольно сложной задачей, особенно в сценариях, когда грунт слабый.

Текущее состояние исследований свидетельствует о том, что недостаточно разработаны методы определения определенных характеристик слабых грунтов, таких как угол внутреннего трения и удельное сцепление. Кроме того, интерпретация лабораторных результатов механических, фильтрационных и других параметров слабых грунтов часто бывает сложной и неоднозначной из-за неопределенных свойств этих грунтов. Хотя в нормативной и технической литературе предлагаются методы определения критического давления, они применимы только для типичных случаев насыпей с уклонами 1: 1,5, и надежное определение коэффициентов устойчивости может быть достигнуто только в естественных условиях. Невозможно выполнить проверку конструктивных и технологических мер, указанных в таблице 2.

Исходя из факторов, упомянутых ранее, необходимо было расширить источники, используемые для изучения принципов и методов стабилизации дорожного полотна на слабых основаниях для железных дорог. Чтобы обосновать подход к созданию устойчивых дорожных полотен на слабых грунтах, требуется изучить свойства глинистых грунтов и их потенциал для технологической обработки.

Модель глинистого грунта предполагает, что грунт состоит из твердого неорганического каркаса, состоящего из мельчайших коллоидных частиц. Промежутки между этими частицами заняты жидкостью, и между твердым каркасом и жидкостью существует динамическое взаимодействие. Это взаимодействие позволяет грунту эффективно поглощать и удерживать воду при определенных обстоятельствах.

Глинистый грунт обладает:

- Содержание влаги в грунте оказывает значительное влияние на ее деформационное поведение, как упоминалось ранее.
- Для начала процесса герметизации необходимо резкое повышение давления.
- Когда давление сбрасывается, грунт лишь частично возвращается в исходное состояние, явление, известное как тиксотропия (рисунке 4).
- При воздействии динамических сил транспортной инфраструктуры, таких как железные и автомобильные дороги, реакция глинистого грунта не совсем предсказуема. Согласно Вознесенскому Е.А., естественные среды проявляют динамическую нестабильность, что означает, что вероятность разрушения грунта при динамических нагрузках выше, чем при статических условиях.



Рисунок 3 – Кинетика восстановления прочности тиксотропной системой(а) и квазитиксотропных природных грунтов (б, в)

Стоит отметить, что представленная модель для глинистых грунтов хорошо согласуется с точками зрения петербургской школы геотехников по этому вопросу. Частицы окружены водными оболочками, которые соединены с ними, и вместе они создают структурный каркас, удерживаемый водно-коллоидными связями. Эта структура содержит карманы, которые напоминают капсулы, где вода задерживается и не может двигаться.

Тот же источник включает менее очевидное утверждение, которое предполагает, что грунт, сохраняя свои структурные связи, ведет себя как твердое вещество, но при нарушении она ведет себя как вязкая жидкость. Перераспределение численных значений прочности этих грунтов при испытаниях в одноосных условиях со свободным дренажем варьируется в диапазоне от 5 до 20 кПа. Однако, понятие прочности не совсем подходит для описания жидких сред, которые обычно характеризуются их вязкостными свойствами, такими как зависимость деформации среды от приложенного напряжения. Невозможно представить себе узкий диапазон прочности на растяжение (5 - 20 кПа), который был бы характерен для всего спектра природных глинистых грунтов, в первую очередь из-за их исключительного разнообразия.

Что касается изучения слабой основы, важно дать некоторые разъяснения относительно научных основ физической и химической механики. Эта область, возникшая в результате новаторской работы известного советского ученого академика Ребиндера П.А., члена Академии наук СССР, является разделом современной коллоидной химии. Основное внимание уделяется исследованию взаимосвязи между физико-механическими и структурными характеристиками дисперсных систем и материалов и физическими и химическими явлениями, которые происходят на границах раздела.

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ НОВОГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1 Орографические условия региона

Новгородская область располагается на северо-западе Восточно-Европейской равнины и включен в состав Северо-Западного федерального округа. Он граничит на северо-западе и севере с Ленинградской областью, на западе и юго-западе – с Псковской областью, на юго-востоке и востоке – с Тверской областью, а на северо-востоке – с Вологодской областью. Территория региона занимает Приильменскую низменность и северную часть Валдайской возвышенности. Она расположена в лесной зоне в умеренных широтах северного полушария.

В пределах данной области поверхность Русской равнины характеризуется пологоволнистой формой рельефа, с наличием пониженных участков, расположенных на Приильменской низменности (с высотой около 18 метров над уровнем моря), и высоких отметок, которые можно наблюдать на Валдайской возвышенности (с высотой около 300 метров над уровнем моря). Преобладающие высоты в данной области находятся в диапазоне от 50 до 200 метров над уровнем моря.

Многочисленные реки, включая Шелонь, Ловать и Мсту, разделяют поверхность данной территории, которая расположена в центральной части области, и впадают в озеро Ильмень. Река Волхов, протекающая на территории данной области, истекает из озера.

Поверхность Приильменской низменности сильно заболочена, а реки, которые протекают по ней, имеют неглубокие долины. Возвышен только южный берег озера Ильмень. Западный, северный и восточный берега во время паводков затопляются на многие километры. Окраины низменности поднимаются на 100 метров над уровнем моря, что делает ее поверхность более пересеченной. Холмы, террасы и глубокие речные долины Головы, Явони, Поломети и других рек расположены ближе к Валдайской возвышенности.

Валдайский хребет отделяет Валдайскую возвышенность от Приильменской низменности, при этом высоты в некоторых районах достигают 100 метров. Горный хребет состоит из нескольких террас. Самые высокие точки Новгородской области расположены на Валдайской возвышенности, а именно гора Рыжуха (с абсолютной высотой 296 метров) и гора Ореховна (с абсолютной высотой 288 метров). Главный водораздел Восточно-Европейской равнины проходит по Валдайской возвышенности. На юго-западе возвышенности преобладают вытянутые моренные гряды и долины.

Моренный рельеф лучше всего сохранился в восточной части региона, в пределах Валдайской возвышенности, где материал, перенесенный ледником, был повторно отложен. Из всех оледенений наиболее важным для Новгородской области было последнее, известное как Валдайское оледенение. Большие моренные холмы имеют относительную высоту 50-60 метров, средние - 10-30 метров, а мелкие - 5-10 метров. Центральная часть характеризуется чередованием крупных моренных холмов и крупных озерных котловин (Селигор, Валдай, Вели). К северу от города Валдай преобладает холмистая местность с множеством небольших озер. Помимо холмов, расположенных в основном вдоль границы последнего оледенения, на Валдайской возвышенности есть много равнинных участков, состоящих из валунной глины и песка, особенно в восточной части (Мошенский и Пестовский районы).

На западной части Валдайской возвышенности распространены карстовые формы рельефа, такие как воронки, ямы, небольшие пещеры и сухие долины рек. Во время доледникового периода сформировалась Мстинская впадина. По окончании этого периода здесь появилось озеро, которое было связано с Ильменским водоемом широким протоком. Река Мста разделяет Валдайскую возвышенность на две части: Валдайскую гряду на юге и Тихвинскую гряду на севере. Шереховичские высоты - южный участок Тихвинской гряды - являются наиболее расчлененным участком в пределах данной области.

На восточной части территории расположена Мологская низина, которая является частью Молого - Шекснинской низменности. Высоты на Мологской низине составляют около 100 - 150 метров над уровнем моря. Рельеф низины пологоволнистый, зандровый и имеет уклон к востоку. В результате реки в этом районе движутся на восток и принадлежат к бассейну реки Волга.

2.2 Климатические условия региона

Климат Новгородской области можно описать как умеренно-континентальный, который схож с морским. Он отличается повышенной влажностью, коротким летом с умеренной жарой, продолжительной теплой осенью, мягкой зимой и прохладной весной с длительным характером.

Циркуляция воздушных масс оказывает значительное воздействие на климат. Над территорией данной области могут находиться воздушные массы различных широт, таких как умеренные, арктические и тропические. Воздух умеренных широт чаще всего поступает в данную область и приводит к теплой ясной погоде летом и морозной зимой. Из-за близкого расположения области к морю, морской воздух умеренных широт

достаточно часто поступает в эту территорию. Приход морского воздуха из Атлантического океана сопровождается потеплением и снегопадами зимой, а понижением температуры и дождями - летом. Арктические воздушные массы приводят к похолоданию из-за своих низких температур. Тропические воздушные массы редко появляются над данной областью, но когда это происходит, они приводят к значительному потеплению.

На пути движения воздушных масс с запада на восток расположена Новгородская область, где происходит взаимодействие атлантических и арктических циклонов, вызывающих перепады погоды в регионе. Климат также зависит от характеристик местности: Валдайская возвышенность получает более высокие осадки и обладает более прохладным летом по сравнению с Приильменской низменностью.

Июль характеризуется как месяц с наивысшей среднемесячной температурой, особенно на восточном побережье озера Ильмень, где она составляет около $+18^{\circ}$. Средняя температура июля на большей части Приильменской низины равна примерно $+17,5^{\circ}$, при этом большое количество тепла тратится на прогрев заболоченных пространств и испарение. На Валдайской возвышенности температура ниже, и проходит изотерма $+17$ около западного края возвышенности. Наиболее прохладный июль отмечается на Северо-востоке (Тихвинская гряда), где среднемесячная температура составляет около $+16^{\circ}$. В Демянске был зафиксирован абсолютный максимум в области - около $+36^{\circ}$. Среднемесячные температуры самого холодного месяца - января убывают с запада на восток при удалении от океана. В западной части области средняя температура января составляет около -8° , в средней - около -9° , а на востоке - около -10° . Абсолютный минимум в области отмечался в Боровичах: -54° (Мстинская впадина). Безморозный период длится около 110-130 дней в северной части области и около 130-135 дней в южной. Заморозки могут возникать в любом месяце, включая и июль. Большинство растений начинают вегетацию при среднесуточной температуре выше $+5^{\circ}$. (<http://www.geografia.ru/novgorodskaya>)

В Новгородской области выпадает достаточное количество осадков, которое распределяется неравномерно по территории из-за рельефных особенностей. На западных склонах Валдайской возвышенности количество осадков достигает 800 мм, на Приильменской низменности - 600-700 мм. В долинах Ловати, Волхова и Мсты, а также у озера Ильмень количество осадков минимально. Количество осадков также неравномерно распределяется по сезонам, где в теплый период года количество осадков в 2-2,5 раза больше, чем в холодный. В конце зимы снежный покров накапливается до 50 см на севере области и менее 30 см на юге.

На территории данной области количество осадков превышает количество влаги, уходящей на испарение и сток. В результате возникает значительное количество заболоченных земель. Это явление особенно выражено на Приильменской низменности, где среднегодовая испаряемость составляет 400-450 мм, а коэффициент увлажнения колеблется от 150% до 200%. В отличие от Приильменской низменности, на Валдайской возвышенности заболоченность земель меньше.

Зима, самый холодный и продолжительный сезон, длится в течение 4-5 месяцев. В первой декаде декабря обычно появляется устойчивый снежный покров, что считается началом зимы. Зимой преобладает умеренно холодная погода, и температура воздуха может достигать -10° . Весной наступает период, когда средняя суточная температура переходит через 0° , что совпадает с таянием устойчивого снежного покрова. Этот период наступает в конце марта на юге и в первых числах апреля на севере области. Вскрытие рек происходит в первой половине апреля.

Длительный период осени наблюдается в регионе из-за воздействия теплых воздушных масс из Атлантического региона. В среднем за ноябрь месяц средняя температура составляет около -1° на юге и около -3° на северо-востоке области. К началу декабря на западе региона и на Валдайской возвышенности устанавливается стабильный снежный покров. (<http://www.geografia.ru/novgorodskaya>)

2.3 Геологическое строение региона

Новгородская область находится на северо-западе Восточно-Европейской (Русской) платформы в пределах Прибалтийской низменности, окруженной с востока и юга Валдайской возвышенностью.

Этот участок Русской плиты представляет собой область развития отложений, начиная от архей-нижнепротерозойских и верхнепротерозойских (рифейских) до пермских, общей мощностью до 2500 метров. Геологическая структура этой области определяется пологим моноклинальным залеганием образований, которые сменяются более молодыми в южном и юго-восточном направлениях. На геологической карте (см. рисунок 4) отображается последовательная смена девонских отложений на отложения карбонового и пермского периодов в юго-восточном направлении. (Геология СССР.Т.1, 1971).

На территории можно выделить несогласия в геологическом строении. Наиболее заметным структурным несогласием является противоположное простирание архейско-, ниже- и среднепротерозойских кристаллических пород и осадочных толщ. Кристаллические породы распространены на северо-западе, в то время как осадочные

отложения простираются в северо-восточном и широтном направлениях. (Геология СССР: в 48 т. Т. I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание./Северо-Западное территориальное ГУ; ред.: А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1971.504 с.) Имеются разногласия между ордовикскими отложениями, распространенными в широких широтах, и девонскими отложениями, которые простираются на северо-восток. При общем погружении отложений в южном и юго-восточном направлениях, углы их падения различны: составляют 10-12° и 6-8° соответственно. Меньшие промежутки времени в стратиграфии обнаруживаются между нижним и средним кембрием, на основании пакерортского горизонта нижнего ордовика, между девоном и карбоном, карбоном и пермью (отложения среднего карбона заменяются татарским ярусом верхней перми), и выше, в структуре находятся четвертичные отложения. (Геология СССР.Т.1, 1971)

**СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ
НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДОЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

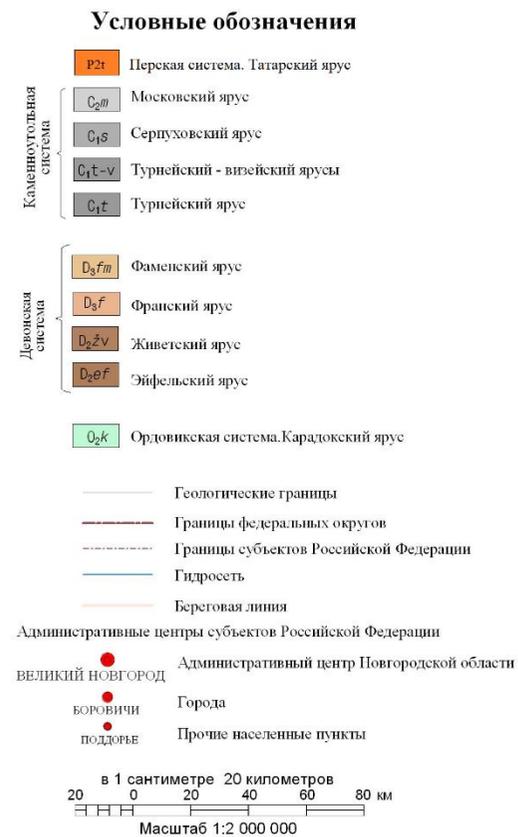
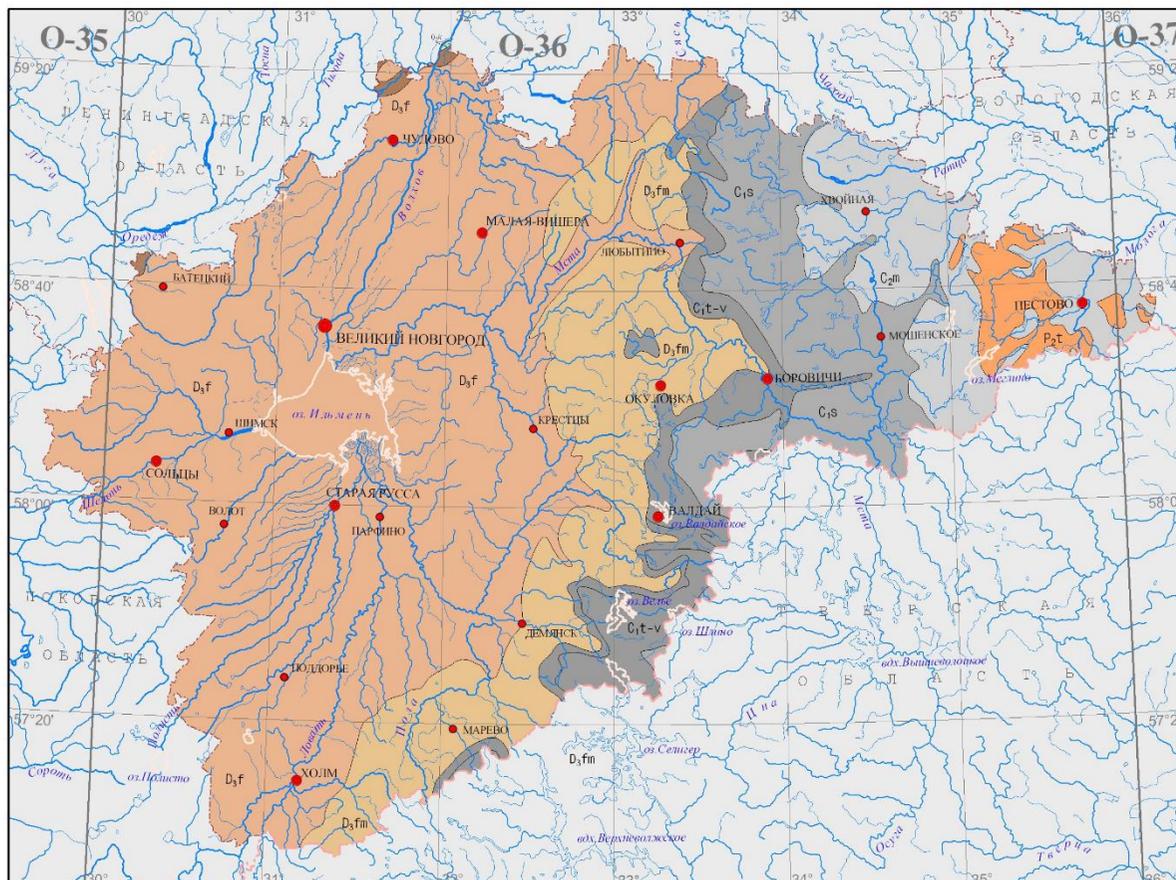


Рисунок 4 – Карта-схема геологического строения Новгородской области (<https://webmapget.vsegei.ru/>)

2.4.1 Структурно-геологическое строение территории

Основные характеристики структуры и материального состава фундамента в границах Русской плиты были определены на основе геофизических данных. Их интерпретация и связывание с результатами бурения указывают на то, что кристаллические образования, составляющие фундамент в этом регионе, прямо продолжают региональные складчатые структуры осадочно-эффузивных и интрузивных комплексов, расположенных на южной части Балтийского щита. (Геология СССР. Т.1, 1971)

Архей – протерозойская система(AR-PR₂)

В соответствии с результатами глубокого бурения в кристаллических породах рассматриваемого региона выделяются следующие геологические комплексы:

1) Неразделенные образования архея - нижнего протерозоя (AR-PR₁), которые состоят из гнейсов различного состава и маломощных тел амфиболитов и кварцитов - продуктов метаморфизма терригенных и вулканогенно-терригенных пород. В этом возрастном отрезке (γ AR-PR₁) также обнаружены интрузивные породы, такие как плагиомикроклиновые граниты с подчиненными плагиогранитами и кварцевыми диоритами, которые широко распространены на территории рассматриваемой области.

2) В протерозое нижнего и среднего периодов (PR₁₋₂) встречаются мелкозернистые биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы, которые имеют небольшие пласты сланцев, амфиболитов и скарнированных карбонатных пород. Также в этом периоде был образован магматический комплекс (ν PR₁₋₂), состоящий из габбро, габбро-норитов и плагиомикроклиновых гранитов. Согласно результатам глубокого бурения, интрузивные тела этого комплекса обнаружены в районе п. г. т. Крестцы, расположенного неподалеку от зоны исследования. Эти тела связаны с глубинными разломами. Кроме того, породы гранитной формации (γ PR₁₋₂) образуют небольшие секущие тела, которые можно обнаружить среди гнейсов и сланцев. (Геология СССР.Т.1, 1971)

Отметим, что в позднем протерозое в районах Валдайского-Крестца и Приладожского происходили вулканические явления, что подтверждается обнаружением базальтов, базальтовых порфиритов и туфовых пород в песчано-глинистых отложениях волынской серии (например, в скважинах Крестцы, Паша, Кондратьево).

За исключением Крестецкой грабенообразной впадины, где находятся рифейская и волынская серии - самые древние осадочные толщи, на остальной территории

обнаружены более молодые образования нижнего кембрия, такие как ломоносовская и илнатоваская свиты. Непосредственно на фундаменте находятся песчано-глинистые отложения валдайской серии вендского комплекса - гдовский и котлинский горизонты, а выше глины с песчаником в основании балтийского комплекса. На территории Новгородской области, к югу от Балтийско-Ладожского глинта, эти отложения погружаются под толщу ордовикских отложений. Глубина залегания этих отложений на территории области находится в диапазоне от 1050 до 1360 метров. (Геология СССР. Т.1, 1971)

Характеристика отложений на территории развития вендского комплекса и нижнего кембрия (балтийской серии) в целом схожа: они состоят из глинистых пород, с косою слоистостью, алевролитистыми в разной степени. Переход от песчаников к алевролитам происходит постепенно. Содержание каолинита и гидрослюди в глинистых частицах отложений является значительным.

Кембрийская система (Є1-3)

Отложения нижнего слоя кембрийской системы представлены глинами, прерываемыми песчано-алевритовыми породами ломоносовской свиты (Є_{1lm}). Выше по разрезу, на глубине около 800-1200 м, располагаются отложения лонтоваской свиты (Є_{1lz}). Нижняя и верхняя границы свиты нечетко выражены из-за близкого литологического состава с перекрывающимися отложениями. Лонтоваская свита состоит из зеленовато-серых каолинит-гидрослюдистых глин с песчаниковыми и алевролитовыми прослоями и линзами, ее мощность на основании бурения составляет 27-50 м. После перерыва в осадении, отмеченного наличием коры выветривания в лонтоваских "синих" глинах, предположительно накапливались среднекембрийские осадки, которые представлены в разрезе кварцевыми песчаниками. Кора выветривания имеет вид светлых, белых глин, обогащенных гидроокислами железа. Общая мощность отложений кембрия составляет около 150 м. (Геология СССР.Т.1, 1971).

Ордовикская система(О1-3)

Ниже по разрезу расположены отложения ордовика, образующие Ордовикское плато, которое простирается от реки Сясь на восток до западной границы Ленинградской области и далее на территорию Эстонии. Составляющие плато известняки и доломиты разных отделов ордовика. В Новгородской области и далее в области Московской синеклизы, толща ордовикских отложений перекрыта отложениями девона, а их глубина залегания составляет от 500 до 600 метров. Нижнеордовикские известняки, доломитизированные известняки, доломиты и мергели составляют толщу, а под ними находятся горизонты лезтс и пакерортская. Ордовикские отложения на северо-западе

Московской синеклизы отличаются от других регионов отсутствием чечевичного горизонта, наличием прослоев диктионемовых сланцев большей мощности и отсутствием точной верхней границы ордовика. Погружение Московской синеклизы в кембрийский и ордовикский периоды привело к увеличению мощностей отдельных стратиграфических горизонтов на юго-востоке территории. (Геология СССР: в 48 т. Т. I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание./Северо-Западное территориальное ГУ; ред.: А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 504 с.)

Девонская система (D₂₋₃)

К югу и северо-востоку от ордовикского плато распространяется обширная девонская равнина, называемая Главным девонским полем, составляющая около двух третей всей рассматриваемой территории. На большей ее части на поверхности прослеживается полоса развития среднедевонских отложений, представленных терригенными (пярусский горизонт) и карбонатными (наровский и старооскольский горизонт) отложениями живетского яруса. Пески пярусского горизонта в основном в пониженных участках ордовикских пород. Отложения наровского горизонта имеют преимущественно мергелисто-доломитовый состав, а старооскольский горизонт представлен красновато-бурыми и желтовато-серыми песками, разноцветными песчаниками с отдельными прослоями коричневатых и зеленовато-серых глин и алевроитов. Толща имеет мощность около 170-180 м в центральной части Новгородской области и к северной границе полностью выклинивается. Верхнедевонские отложения распространяются к югу и юго-востоку. В Новгородской области описываемые отложения представлены наиболее полно. Максимальная мощность их в этом регионе составляет около 550 м. Обширная площадь развития весьма пестрых и не выдержанных по простиранию и в разрезе пород франского и фаменского ярусов. Франский ярус характеризуется здесь двумя фациально отличными разрезами: юго-западным, представленным морскими карбонатными и в меньшей степени глинистыми фациями, и северо-восточным - прибрежно-континентальными, преимущественно терригенными песчано-глинистыми образованиями. Отложения фаменского яруса, развитые в восточных районах (восточнее оз. Ильмень), имеют более или менее однотипный разрез, преимущественно песчано-глинистый. Карбонатный уступ протягивается в субмеридиональном направлении от оз. Селигер на юго-западе до Онежского озера на северо-востоке, примерно по линии Торопец - Валдай- Тихвин, или ограничивается с запада распространением каменноугольных отложений, слагающих Карбоновое плато. (Геология СССР. Т.1, 1971)

Карбоновая система (С₁₋₂)

Каменноугольные отложения распространены в восточной части Новгородской области. Нижне- и среднекаменноугольные отложения, имеющие субмеридиональное простирание, представляют собой северо-западную окраину Подмосковского бассейна. Ширина полосы развития карбоновых отложений на широте г. Пестово составляет 225 -240 км, в районе Демянска 30 - 40 км и в северной части 10 - 15 км. Наиболее широко представлены отложения нижнего карбона, средне карбоновые имеют подчиненное значение, верхнекарбоновые отложения отсутствуют полностью. Общая мощность нижнекаменноугольных отложений составляет порядка 260 м, и представлены они визейским и намюрским ярусами. Относящиеся к ним горизонты имеют преимущественно песчано-глинистый состав, и лишь в верхней части разреза встречены карбонатные породы. «Вышележащая толща переслаивающихся известняков с песчано-глинистыми породами алексинского и михайловского горизонтов характеризуется весьма непостоянной мощностью песчаных пачек, которые колеблются от 1 до 20 м, во впадинах до 40 м. Наиболее полный разрез этих отложений представлен в обнажениях на р. Мсте. Несколько восточнее Карбонового уступа и полосы выхода на поверхность песчано-глинистых пород (тульский горизонт) распространяется собственно Карбоновое плато, сложенное мощной толщей известняков, доломитов с прослоями глин и мергелей веневского, тарусского и стешевского горизонтов визейского яруса и протвинского горизонта намюрского яруса. Мощности отдельных горизонтов непостоянны, с общей тенденцией сокращения к западу и к северо-западу».(Геология СССР: в 48 т. Т. I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание./ Северо-Западное территориальное ГУ; ред.: А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 504 с.)

Среднекаменноугольные отложения, трансгрессивно залегающие на размытой поверхности протвинских известняков, слагают восточную, часть Карбонового плато. Отложения изучены недостаточно, что связано с плохой обнаженностью. Они представлены башкирским и московским ярусами, имеющими в основании песчано-глинистый состав с прослоями карбонатных пород (верейский горизонт) и известняками (каширский и подольский горизонты). Общая мощность составляет около 45 м. Отложения башкирского яруса обнаружены лишь на небольшой площади в Пестовском районе Новгородской области. В их основании залегают лиловых и лиловато-бурых жирных глин с угловатыми обломками известняка. Остальная часть разреза – белые известняки с лиловыми и желтоватыми глинистыми примазками, выше известняки крепкие, массивные, пористые.

Московский ярус как правило представлен пестро окрашенными, преимущественно красноцветными, песчано-глинистыми и карбонатными породами, залегающими на размытой поверхности отложений башкирского яруса. Мощность пород московского яруса составляет в данном регионе 30-40 м. (Геология СССР.Т.1, 1971)

Пермская система (Рз)

Самыми молодыми образованиями осадочной толщи являются песчано-глинистые отложения татарского яруса верхней перми. Они трансгрессивно залегают на среднекаменноугольных (каширских) известняках в пределах небольшого участка в районе г. Пестово, где их мощность составляет 10 -12 м. Это красноцветные породы – кирпично-красные и коричневые плотные глины, песчанистые и алевроитовые, местами карбонатные, встречаются редкие прослои желтых и серых песков. (Геология СССР.Т.1,1971)

Четвертичная система (Q)

С поверхности вся территория покрыта четвертичными отложениями различной мощности и разного генезиса. Мощность их весьма неравномерна и зависит от характера дочетвертичной поверхности. Она может варьировать от первых метров равнинной части Карбонового плато и Главного Девонского поля до 150- 226 м в древних дочетвертичных депрессиях и долинах (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012). Здесь развиты среднечетвертичные (московский ледниковый горизонт), верхнечетвертичные (микулинский межледниковый горизонт и валдайский надгоризонт) и современные отложения. (Геология СССР.Т.1, 1971)

Среднечетвертичные осадки сохранились на территории области лишь в наиболее глубоких впадинах дочетвертичного рельефа. Они представлены слоистыми, плотными темно-коричневыми глинами одинцовского горизонта. Отложения являются подстилающими для пород Московской стадии оледенения. Московский горизонт (gПms) вскрыт скважинами в области Мстинской впадины, а также известны выходы на дневную поверхность в Приильменской низменности и в бассейне р. Ловать. Отложения представлены слоями озерных голубовато-серых и желтовато-зеленых глин и суглинков, преобладают голубые валунные суглинки, реже супесии глины, состав обломочного материала зависит от состава подстилающих пород. В морене часто встречаются линзы и прослои водно-ледниковых отложений, а также отторженцы палеозойских пород. В краевых ледниковых образованиях, вскрытых на юго-востоке области, отмечено большое содержание плохо сортированного валунно-галечного материала и песчано-гравийных отложений.(Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Флювиогляциальные отложения московского горизонта (fIIms) перекрывают отложения московской морены и представлены разнозернистыми песками, часто с примесью гравия и гальки. Они слагают долинные зандры, озы и камы. Ледниково-озерные образования (lgIIms), представленные песками, супесями и суглинками, иногда ленточными, образуют террасовидные участки некоторых речных долин.

В состав верхнечетвертичных входят отложения микулинского горизонта, в основе которого встречены континентальные фации и морская мгинская свита. Морские отложения (mIIIms) выявлены на территории области только в скважине в районе п. г. т. Крестцы и представлены темно-серыми, черными глинами и суглинками, местами слоистыми, гумусированными, запахом битума и включениями раковин морских моллюсков. Отложения микулинского горизонта имеют озерный, болотный и озерно-аллювиальный генезис и состоят преимущественно из глин и суглинков, обогащенных органическими остатками, реже песками и алевроитами.

Образования осташковского горизонта отличаются различной мощностью, разнообразием литологического состава и генезиса и представлены комплексом ледниковых (основная и краевая морены), водно-ледниковых, аллювиальных, озёрно-аллювиальных и озёрных отложений. Отложения осташковского горизонта подразделяются на три части: нижнюю, среднюю и верхнюю, которые соответствуют этапам развития осташковского оледенения – подморенным отложениям времени наступания ледника, внутриморенным – образованиям начальной стадии деградации, и осадкам, сформировавшимся в ходе отступления ледника. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

В пониженных частях и в пределах камовых массивов основная осташковская морена (gIIIos) практически повсюду перекрыта сплошным покровом водно-ледниковых образований осташковского горизонта и голоценовых отложений. На суше основная морена представлена буро-коричневыми, красновато-коричневыми или серо-бурными валунными суглинками, супесями или глинами, значительно реже встречаются песчано-валунные и валунно-галечные разности. Окраска ледниковых отложений, как правило, зависит от цвета подстилающих коренных пород. Локальная морена может быть лилово-красной, зеленоватой, голубоватой или светло-серой. Мощность основной осташковской морены непостоянна: на возвышенных равнинах, в низинах она колеблется от 1–2 до 15–20 м, а в пределах холмистых комплексов и в погребённых долинах достигает 50 м.

«Краевые морены отличаются по составу от основной морены и обычно представлены валунными супесями, реже валунными суглинками и глинами».

(Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка/ Вербицкий В. Р. [и др.]. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 510 с. + 18 вкл.) В них присутствуют прослои и линзы грубозернистого материала, а также различные по величине отторженцы палеозойских пород, мощность которых достигает первых десятков метров. Мощность краевых ледниковых образований может достигать 100 м. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Флювиогляциальные отложения осташковского горизонта (fIIIos) имеют широкое распространение. Флювиогляциальные пески образуют разнообразные формы рельефа: зандровые поля, озы, камовые массивы и гряды, аккумулятивные террасы в ложбинах стока ледниковых вод, а также слагают внутри моренные прослои и линзы. Максимальные мощности наблюдаются в пределах развития озовых и камовых холмов – 30-40 м.

Наибольшее площадное распространение имеют отложения региональных приледниковых озёр (lgIIIos), выравнивающие поверхность ледникового рельефа и формирующие полого наклонные плоские ледниково-озёрные равнины. В их разрезах наблюдается определенная закономерность, в наиболее пониженных участках развиты ленточные глины, фациально замещающиеся при приближении к краевой части бассейна суглинками, супесями и песками. Мощность ленточных глин изменяется в широких пределах, составляя в среднем от 5–10 м до 20 м. Озерно-ледниковые пески распространены на территории области в Приильменской низменности и в Мстинской впадине, ими также часто сложены камовые массивы и гряды. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Голоцен

Отложения имеют повсеместное развитие и представлены различными генетическими типами, в составе которых присутствуют набор континентальных осадков водного ряда, а также биогенные, эоловые и техногенные образования.

Техногенные отложения (tIV) занимают ограниченные площади в районах промышленных центров и крупных объектов горнодобывающей промышленности, а также крупных карьеров, объектов мелиоративных и сельскохозяйственных работ. В состав отложений входят перемещённые при строительстве грунты, намывные отложения и искусственные образования (асфальт, бетон и др.). К ним относятся также культурный слой в пределах городов и крупных сёл, отходы предприятий и населения – свалки бытового и промышленного мусора, различного рода отвалы добывающих и

перерабатывающих производств, отходы сельскохозяйственной и агропромышленной деятельности – содержимое жижесборников и навозохранилищ, искусственные скопления валунов. Мощность техногенных отложений на суше самая разная – от первых десятков сантиметров до 30 м в пределах крупных мусорных свалок. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Эоловые отложения (vIV) имеют достаточно широкое развитие на террасах крупных водоёмов, а также на террасах рек, озёрно-аллювиальных песчаных равнинах и прибрежных частях озёрно-ледниковых равнин в пределах Молого-Шекснинской низменности на востоке области, Мстинской впадины в центральной части и в крупных озёрных котловинах и долинах рек. Местами процессы развевания приостановлены растительностью. Представлены данные отложения как правило хорошо сортированными, тонко- и, реже, среднезернистыми песками, слагающими эоловые гряды. Мощность отложений достигает 18 м. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Болотные отложения (bIV) широко распространены на всей территории. Они слагают верховые, переходные (сфагново-пушицевые и сфагново-осоковые олиготрофные) и низинные (осоково-топяные, крупно-осоковые и травяно-глинистые эвтрофные) болота. Наиболее крупные болотные массивы к плоским водораздельным пространствам и низинам. Крупные торфяники наблюдаются вдоль берегов Ильменского и других озёр. Многочисленные мелкие болота встречаются в межхолмных понижениях в пределах холмисто-моренного и камового рельефа, характерного для востока и юго-востока данного региона, а также в долинах рек. Залегают торфяники преимущественно на осташковских ледниковых, водно-ледниковых, озерных и озерно-аллювиальных отложениях. Образование крупных современных торфяников началось в пребореальном периоде. Иногда в пределах крупных болот прослеживается «пограничный горизонт» сильно разложившегося и уплотнённого торфа (нередко со стволами сосен), который формировался вначале суббореального времени – около 3300–3900 лет назад. Мощность торфяных залежей колеблется в широких пределах – от 0,5 до 13 м. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Озерно-аллювиальные отложения (laIV) слагают дельты некоторых крупных рек, таких как Волхов, Мста, Ловать, Великая и другие, прилегающие к ним участки озёрных мелководий и озёровидные расширения речных долин. Залегают они преимущественно на комплексе ледниковых и водно-ледниковых отложений осташковского горизонта. Представлены озёрно-аллювиальные отложения супесями, суглинками, тонко- и мелкозернистыми песками, иногда глинистыми, реже – глинами. Иногда в них присутствуют прослойки и линзы илов и торфа. Для озерно-аллювиальных отложений

характерна насыщенность многочисленными растительными остатками, нередко находки пресноводных моллюсков и диатомовой флоры. Полный разрез голоценового лимноаллювия, залегающего согласно и без перерыва на поздне осташковском лимноаллювии, вскрыт в дельте р. Мста. В Приильменской низменности, в пределах акватории озера, развиты авандельты рек Ловать и Мста. Они образуют насыпные аккумулятивные тела с четко выраженной на эхограммах бровкой высотой 1–1,5 м. Сложены авандельты песками глинистыми и алевритистыми, которые ближе к краю дельтсменяются песчаными и глинисто-песчаными алевритами. Иногда внешний край авандельт в значительной мере переработан волновыми процессами. В таком случае отложения этой краевой зоны отличаются от описываемых осадков лучшей сортировкой и практически отсутствием алевро-песчаных фракций. Основными критериями выделения данного стратона на дне оз. Ильмень являются форма аккумулятивного тела и приуроченности к устьевым частям крупных рек, песчаный состав и характерная гранулометрия этих песков, а также наличие многочисленных вытянутых желобов на поверхности авандельты, являющихся каналами стока. Особый характер имеют лимноаллювиальные отложения в устье р. Шелонь – они представлены средне- и мелкозернистыми песками, практически лишенными алевропелитовых фракций. Мощность голоценового лимноаллювия достигает 12 м. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Осадки современных озерных отложений в пределах центральной части дна акваторий представлены илами и сапропелями. Данные органико-минеральные отложения содержат до 90% глинистой фракции, могут содержать примесь алевритовых и песчаных зерен и растительный детрит. Осадки характеризуются слабой механической дифференциацией. В связи с относительно высоким содержанием органического вещества отложения как правило имеют темно-коричневый, черный цвет. В осадке могут встречаться целые и полурастворенные раковины пресноводных моллюсков, часто отмечается отчетливый запах сероводорода. В крупных, но мелководных водоемах их мощность достигает 8,6 м. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

2.4.2 Тектоно-магматическое строение территории

Данная территория имеет два структурных этажа, которые можно выделить в ее строении: нижний - кристаллический фундамент и верхний - вулканогенно-осадочный чехол.

Фундамент кристаллического происхождения состоит из пород архейской эпохи, характеризующихся высокой степенью дислоцированности и метаморфизма, а также наличием интрузий разнообразного состава. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Средняя высота абсолютных отметок подошвы фундамента составляет примерно "минус" 900-1000 м на северо-западе региона, который расположен вблизи Прибалтийско-Ладожской моноклинали. Крупное юго-западное звено Среднерусской системы авлакогенов - Крестецкий авлакоген, является осевой частью впадины и наиболее глубоко погруженной по зонам разломов, до абсолютных отметок "минус" 3000-3500 м. (Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка/ Вербицкий В. Р. [и др.]. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 510 с. + 18 вкл.) Практически на расстоянии 450 км расположена структура в форме широкой дуги, ограниченная двумя сегментами, напоминающими кулисы - Бологоевским и Валдайским грабенами. Средняя ширина авлакогена по краям разломов составляет около 75 км, а в некоторых местах она увеличивается до 100-125 км. На востоке авлакоген переходит в Молоковский. Крестецкий авлакоген отличается асимметричной структурой: юго-восточная часть, погруженная на глубину до 3500 м, более крутая по сравнению с северо-западной, глубиной 1500-2000 м.

На юго-востоке Крестецкого авлакогена находится Нелидово-Торжокский свод, который ограничивает его. С западной стороны авлакоген срезается зоной разломов Торопецкого грабена. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Различные соотношения структурных форм осадочного чехла с структурой поверхности фундамента могут носить как унаследованный, так и инверсионный характер, причем эти формы имеют разный возраст.

Геологический покров, образованный вулканическими и осадочными породами, был подвержен незначительным смещениям и имеет горизонтальное положение. Покров перекрыт более молодыми четвертичными образованиями.

На территории можно выделить несколько уровней структуры. Нижний ярус, известный как нижнебайкальский (среднерифейско-нижневендский), состоит из терригенных и вулканогенно-осадочных формаций, и является местом формирования Крестецкого авлакогена. Обычно это глинисто-песчаные породы с присутствием туфов, гравелитов и долеритов. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Почти на всей изучаемой территории можно обнаружить Верхнебайкальский структурный ярус, сформированный верхневендско-нижнекембрийскими

образованиями (балтийская серия), который символизирует начало нового плитного периода развития. Расположение формаций Верхнебайкальского структурного яруса в зонах рифейских авлакогенов на породах кристаллического фундамента и нижнебайкальского структурного яруса характеризуется ярко выраженной несогласованностью. Эти образования первыми сформировали структурную форму Московскую синеклизу, которая является типичной для платформ. Северо-западный склон Московской синеклизы, заложенный в позднепротерозойский период, представляет собой одну из наиболее масштабных и древних структур Восточно-Европейской платформы. Данная область также характеризуется наибольшей глубиной залегания фундамента и наибольшей мощностью осадочных толщ, достигающих более 2500 м.

На этой территории существует Каледонский структурный ярус, в который входят отложения нижнего кембрия до верхнего ордовика. Старт седиментационного цикла Каледонии был отмечен трансгрессивной стадией, а верхние карбонатные формации соответствуют регрессивной стадии. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Нижний Герцинский структурный горизонт идентифицирован в пределах стратиграфического интервала от нижнего девона до нижнего карбона включительно. Этот горизонт залегает со значительными стратиграфическими и структурными несоответствиями в различных формациях каледонского и верхнего байкальского горизонтов. Формированию Нижнегерцинского структурного горизонта предшествовала крупная перестройка структурного плана Восточно-Европейской платформы. Нижняя часть разреза, включая отложения ниже-франского подъяруса, характеризуется преобладанием континентальных терригенных образований, представленных аллювиальной, аллювиально-озерной и дельтовой фациями. Исключением является гипсомергелево-доломитовая формация, которая сформировалась в прибрежно-морских и лагунных условиях в течение позднего эйфеля. Верхняя часть разреза, начиная со средне-франского подэтажа, представляет собой регулярное чередование трансгрессивно-регрессивных образований, от мергелисто-известняковых до карбонатно-терригенных, в возрастном диапазоне от позднего франского до поздне-фаменского подэтажа девона. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Начало этапа верхнегерцинской эры было отмечено событиями поздневизейской трансгрессии Уральского моря и образованием новых структурных форм. При изучении восточной части данной территории было обнаружено, что около 30% ее площади составляют терригенно-карбонатные и карбонатные формации каменноугольного

возраста, а также терригенные отложения среднепермского возраста, которые связаны с циклами трансгрессии и регрессии в отложениях. Трансгрессивный период включает кремнистые доломитово-известняковые и глинисто-известняковые формации алексинско-протвинского возраста, а также доломитово-глинисто-известняковую формацию верейско-каширского возраста. Регрессивный период представлен формацией, состоящей из ритмичного переслаивания известняков и доломитов, а также пестроцветных глин и мергелей в верхней части сечения.

Залегающая на них с глубоким размывом красноцветная песчано-алевритовая формация средней перми представляет собой континентальное образование позднегерцинского этапа.

Структура западного и северо-западного крыльев Московской синеклизы верхнебайкальского структурного яруса согласуется со структурными формами поверхности фундамента. В пределах Крестецкого авлакогена ярус залегает на нижнебайкальском, образуя наложенную структурную форму. К юго-востоку от Крестецкого авлакогена выделяется Нелидово-Торжковский свод, отметившийся в структуре осадочного чехла сокращением мощности верхнебайкальского яруса и выпадением из разреза кембрийских и ордовикских отложений. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Залегающий на верхнебайкальских образованиях ниже-и верхнегерцинский структурные ярусы смяты в протяженные линейные и куполовидные пологие складки. Им соответствуют зоны поднятий: Волго-Мстинское, Нелидовское, сводовые части которых осложнены локальными поднятиями с амплитудой 10–15м.

На северо-восточном крыле Московской синеклизы в прибортовой части Крестецкого авлакогена в верхнебайкальском структурном ярусе выявлено Пестовское поднятие, совпадающее с одноименным выступом фундамента. Абсолютные отметки его в своде по кровле составляют около 1300м. Сформировавшись в позднебайкальский этап, эта структура претерпела инверсию в каледонский этап, о чем говорит увеличенная мощность ордовикских отложений (более 440 м) каледонского структурного яруса.

Возобновившиеся поднятия, предшествовавшие началу позднегерцинского этапа, привели к формированию современной структуры Пестовского выступа. Пестовское поднятие имеет валообразную форму с крутым южным и более пологим северным крыльями.

«Рассмотренные структурные формы разного порядка и возраста свидетельствуют об отсутствии значительных перепадов гипсометрических уровней различных горизонтов осадочного чехла». (Государственная геологическая карта

Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 –Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка/ Вербицкий В. Р. [идр.].–СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.510 с. + 18 вкл.) Исключение составляют лишь области распространения рифейских отложений, формировавшихся в до плитную стадию в условиях интенсивных тектонических движений по разломам с образованием мощных толщ терригенных пород, накапливавшихся в зонах линейных структур – авлакогенов, грабенов, прогибов.(Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

«В плитном комплексе дизъюнктивные нарушения проявлены слабо и находят выражение в куполовидных складках и флексурных перегибах слоев, к которым приурочены трещинные зоны, линейно ориентированные, как правило, вдоль основных разломов в фундаменте. На рассматриваемой территории прямых геологических свидетельств о крупных смещениях слоев практически нет. Наиболее вероятно влияние разломной тектоники на нижние структурные ярусы – верхнебайкальский и каледонский. Возможное влияние додевонской блоковой тектоники на вышележащие образования не доказана, так как амплитуда и наклон крыльев структур вверх по разрезу уменьшаются. Роль разломов в ранне- и позднегерцинских отложениях проявилась лишь в виде зон трещиноватости пород». (Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 –Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка/ Вербицкий В. Р. [идр.].–СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.510 с. + 18 вкл.)

Таким образом, тектоническая перестройка на описываемой территории происходила на границе нижнего и среднего протерозоя, в начале и конце позднего протерозоя, в доживетский период, в конце позднедевона, а также в послекарбоновое и послепермское время. В соответствии с геотектоническим районированием северо-запада Русской платформы в пределах рассматриваемой территории расположены следующие части региональных структур первого порядка (типа синеклиз и антеклиз): северо-западный склон Московской синеклизы, часть восточного склона Балтийской моноклинали. Границы между ними условные, так как одна структура служит естественным продолжением другой. Так, юго-восточный склон Балтийского щита является частью или продолжением северо-западного склона Московской синеклизы.

Некоторые исследователи (В. А. Котлуков, 1955 г. и др.) границу между ними условно проводят по абсолютной отметке погружения фундамента 500 м, другие - по

разлому в фундаменте в Крестецко-Валдайском районе.(Селиванова В.А., Кофман В.С., 1971)

Неотектоника

Проявления геологических процессов, не связанных с тектоникой, не оказывают прямого значительного воздействия на ландшафт. Однако, в условиях равнинной местности, даже эти незначительные процессы могут повлиять на формирование речных систем. В отличие от этого, покровные оледенения, которые охватывали территорию региона, имели гораздо более существенное значение для создания современного рельефа.

В разных областях исследуемой территории можно заметить необычные особенности рек и долин: они имеют изгибы под углами и направлены в двух главных направлениях - северо-западном и северо-восточном. В некоторых случаях это может быть связано с недавними геологическими процессами.

Отражение новейших разрывных нарушений было обнаружено на прямолинейных участках рек, таких как Волхов, Ловать и Холова. Идентификация следов доледниковой неотектоники представляет большую сложность из-за того, что следы ледниковых аккумуляционных и экзарационных процессов оказывают влияние на все геоморфологические процессы и формы рельефа, определяя их основные особенности. (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

2.5 Гидрогеологические условия региона

Территория Новгородской области находится полностью в пределах Московского артезианского бассейна. Исходя из этого, основные гидрогеологические закономерности определяются следующими факторами: общее погружение кровли кристаллического фундамента и пластов осадочной толщи на юго-восток в сторону осевой части Московской синеклизы; увеличение мощности осадочной толщи в этом же направлении, чередование в осадочной толще водопроницаемых породы водоупорных горизонтов; наличие в нижней части разреза рифейских отложений, выполняющих глубокие отрицательные структуры в кристаллическом фундаменте (Крестецкий авлакоген). (Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., 2012)

Гидрогеологический разрез осадочной толщи в пределах территории характеризуется достаточным разнообразием и представляет собой чередование водоносных и водоупорных горизонтов, и реже водоносных комплексов и относительно водоупорных горизонтов. Происходит постепенное наращивание гидрогеологического разреза в юго-восточном направлении с последовательным выходом на дочетвертичную

поверхность гидрогеологических подразделений, приуроченных к отложениям все более и более молодым. Водоносные горизонты и комплексы, как правило, отделены друг от друга водоупорными или относительно водоупорными горизонтами, за исключением частей гидрогеологического разреза, приуроченных к отложениям среднего и верхнего девона, а также кембрия и ордовика. «В этих случаях смежные условия залегания водоносных горизонтов обусловлены наличием в разрезе достаточно контрастных водоносных горизонтов, приуроченных к карбонатным и терригенным породам, которые резко разнятся по фильтрационным свойствам и, несмотря на отсутствие разделяющих водоупоров, имеют различные пьезометрические поверхности уровней, нередко и различный химический состав подземных вод». (Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка/ Вербцкий В. Р. [и др.].–СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 510 с.+ 18 вкл.) В соответствии с геологическим строением и гидродинамическими условиями территории, в гидрогеологическом разрезе выделены подразделения от Архейско-нижнепротерозойской водоносной зоны трещиноватости(AR–PR₁) до Четвертичного водоносного комплекса (Q).

Можно отметить, что единственным повсеместно распространенным региональным водоупором в пределах северо-западной части Московского артезианского бассейна является толща глин верхневендского водоупорного горизонта(V₂). Достаточно мощным и широко распространенным по площади является также нижнекембрийский водоупорный горизонт (Є₁), который в целом также отвечает критериям регионального водоупора. Между ними верхневендским водоупорным горизонтом залегает только один маломощный нижнекембрийско-верхневендский водоносный горизонт (V₂–Є₁). Исходя из условий распространения региональных водоупоров и их значимости в пределах изученной площади, повсеместно выделяется два водоносных этажа: архейско-вендский (AR–V) и верхневендско-четвертичный (V₂–Q).

«Нижний архейско-вендский водоносный этаж (AR–V) включает в себя водоносные комплексы, содержащие порово-трещинно-пластовые воды, а также гидравлически связанную с ними архей-нижнепротерозойскую водоносную зону трещиноватости (AR–PR₁) в кристаллических породах фундамента». (Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение).

Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург.

Объяснительная записка/ Вербицкий В. Р. [и др.].—СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 510 с. + 18 вкл.)

Верхневендско-четвертичный (V_2-Q) водоносный этаж включает в себя верхневендский водоупорный горизонт, залегающий в основании, и толщу с чередованием водоносных, относительно водоупорных и водоупорных горизонтов терригенных и карбонатных пород от поздневендского до среднекарбонного возраста, повсеместно перекрытых отложениями четвертичного водоносного комплекса (Q). «Водоносные горизонты содержат разные типы скоплений вод – порово-пластовые, трещинно-пластовые и карстовые». (Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка/ Вербицкий В. Р. [и др.].—СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 510 с. + 18 вкл.)

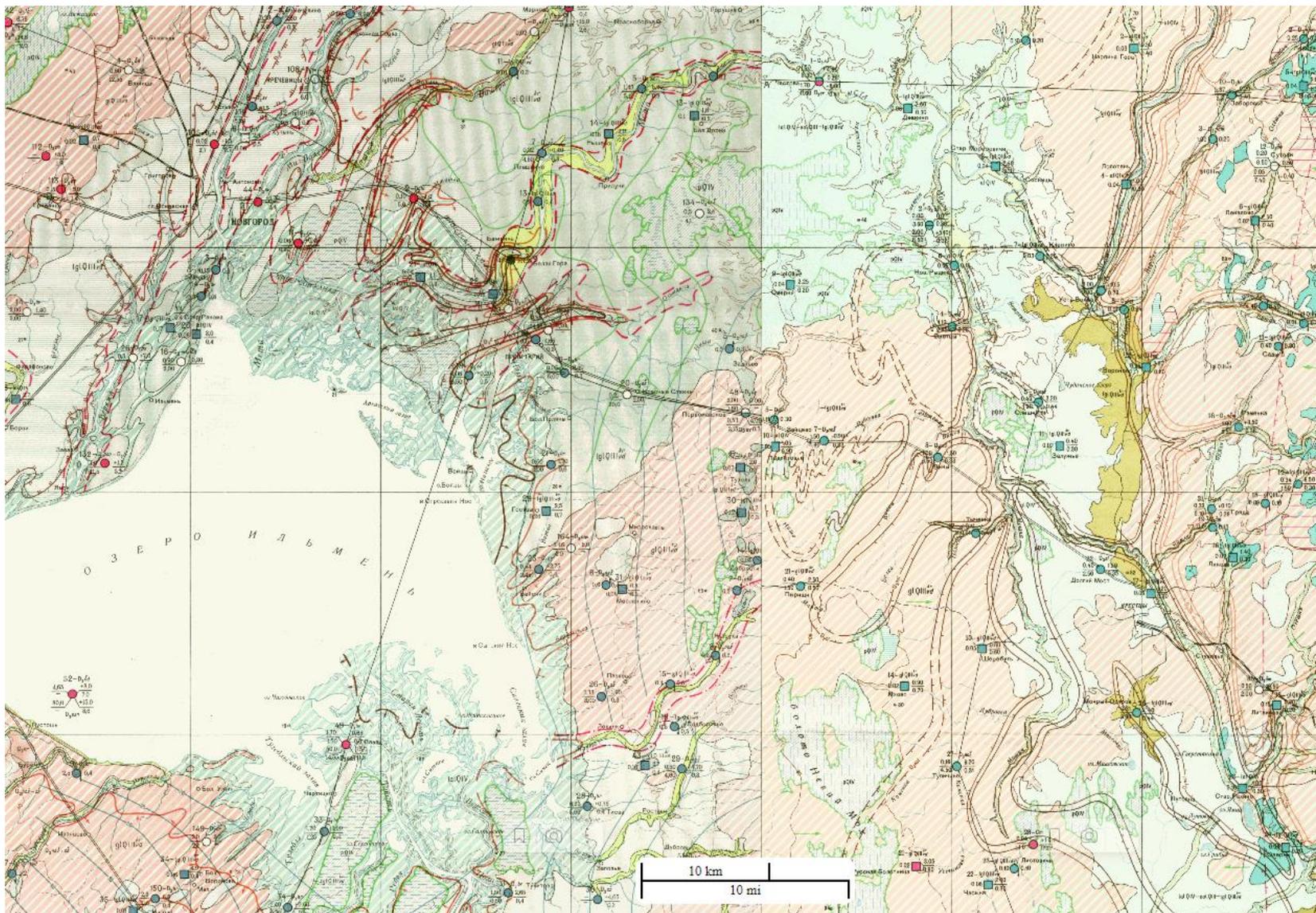


Рисунок 5 – Фрагмент гидрогеологической карты О-36-ХІV, О-36-ХV (<https://webmapget.vsegei.ru/>)

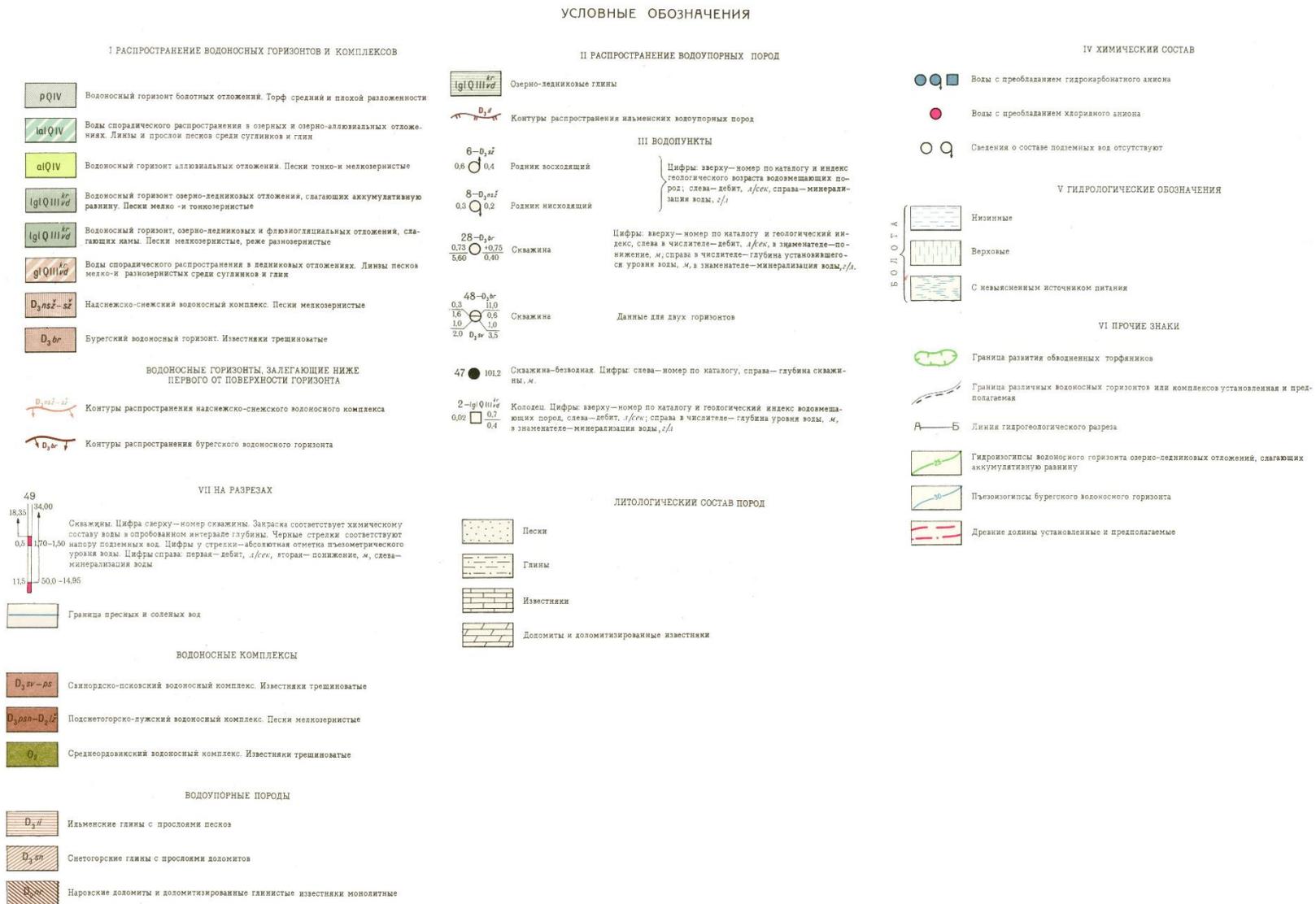


Рисунок 6 – Условные обозначения к фрагменту гидрогеологической карты О-36-XIV, О-36-XV (<https://webmapget.vsegei.ru/>)

ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА РАБОТ МОСКВА - САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (Новгородская область)

3.1 Физико-географический очерк

В соответствии с приложением СП 47.13330.2016 Табл.А.1 категория сложности инженерно-геологических условий – III (сложная).

Новгородская область находится на северо-западе Европейской части России. Она расположена на северо-западе Русской (Восточно-Европейской) равнины, в пределах Приильменской низменности и северных отрогов Валдайской возвышенности. Входит в состав Северо-Западного Федерального округа. Административный центр – город Великий Новгород. Другие крупные города – Боровичи, Старая Русса. Область простирается с запада на восток на 385 км, а с севера на юг – на 250 км, граничит с Псковской, Тверской, Ленинградской и Вологодской областями. Площадь территории области составляет 55,3 тыс. км².

Согласно геологическими картами четвертичных отложений (Московская серия О-36-XIV; О-36-XV; О-36-XVI; О-36-VIII) участок проектируемой трассы располагается в пределах нескольких геоморфологических элементов различного генезиса – аллювиальных долинах рек, склонов, на участках водоразделов в пределах флювиогляциальных и моренных равнин, на участках крупных рек (Волхов, Мста) в пределах поймы и нескольких надпойменных террас.

Основные черты рельефа большей части территории сложились в плейстоцене в результате ледниковой экзарации и аккумуляции, а также эрозионно-аккумулятивной деятельности талых ледниковых вод. Ледниковый рельеф частично преобразован флювиальными, эоловыми и некоторыми другими процессами. В зависимости от главных факторов рельефообразования и приуроченности к области того или иного оледенения выделяются ледниковые, флювиогляциальные, озерно-ледниковые группы, типы и формы рельефа валдайского, московского и днепровского возраста, а также плиоцен-раннеплейстоценовый эрозионно-денудационный, валдайский и современный флювиальный и эоловый рельеф.

Рассматриваемая территория Новгородской области пересечена густой сетью рек, расходящихся в различных направлениях. Значительная часть бассейнов рек занята болотными массивами, дающими сток малым рекам и ручьям.

Все реки рассматриваемого района принадлежат к типу равнинных рек, для которых характерно смешанное питание; с преобладанием снегового (50%), а также, примерно в равных долях участвуют талые, дождевые и грунтовые воды.

Проектируемая трасса пересекает р. Волхов, р. Болтун, р. Робейка, р. Сосница, р. Витка, р. Большая Вишера, р. Березовец, р. Стерленец, р. Хубка, р. Хуба, р. Мста, р. Веребушка, р. Котовец, р. Кривчага, множество мелких рек, ручьев без названия, канав, озеро Поддубское.

Абсолютные отметки поверхности земли по данным высотной привязки устьев пробуренных скважин изменяются от 28,7 до 40,5 м.

Дорожная сеть в районе недостаточно хорошо развита. По дорогам местного назначения возможен круглогодичный проезд автотранспорта только в пределах населенных пунктов. В основном же подъезд возможен только по грунтовым дорогам или бездорожью.

Обзорная схема размещения объекта изысканий приведена на рисунке 7.

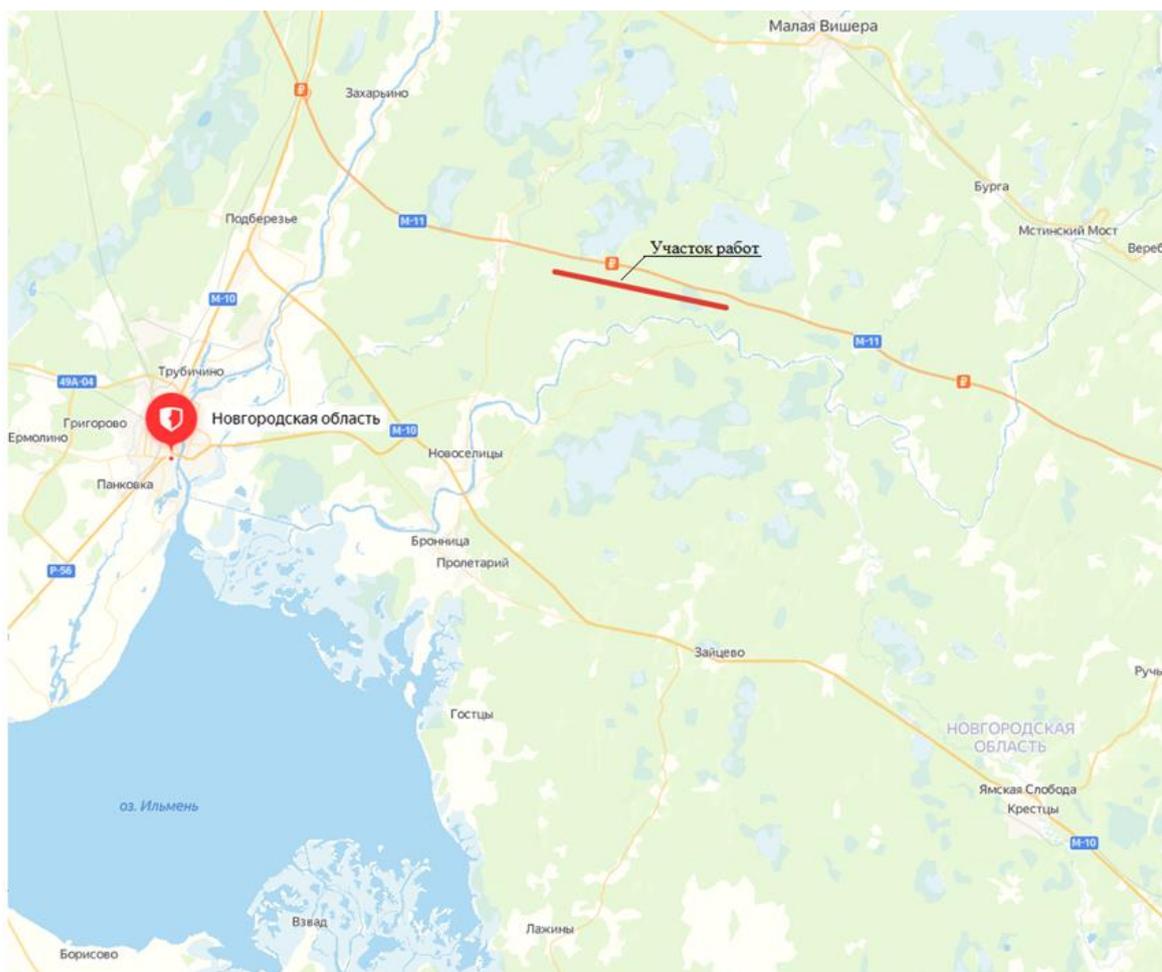


Рисунок 7 – Обзорная схема размещения объекта изысканий

3.2 Инженерно-геологические условия участка изысканий

Участок ПК 1700+00 – ПК 1710+00 Начинается на пересечении проектируемой трассы с автодорогой 49К на расстоянии 4500 метров от трассы М-11.

Абсолютные отметки рельефа изменяются от 36 до 40 м. В целом, местность характеризуется как равнина с локальными понижениями и холмами. На ПК 1701 – ПК 1702+50 находится болото глубиной до двух метров до минерального основания. Наличие болота обусловлено насыпью автодороги 49К, не имеющей водопропускных сооружений и препятствующей стоку воды. На ПК 1706 расположено пересечения с ЛЭП 10 кВ (ПАО МРСК), пересекающей ось проектируемой трассы с северо-запада на юго-восток. ЛЭП ограничена просекой шириной 15-20 м, за пределами которой распространен хвойный лес высокой плотности. В границах просеки имеются локальные обводнённые участки, частично заторфованные, покрытые болотной растительностью. За исключением заболачивания опасных геологических процессов не выявлено. В пределах участка встречаются специфические грунты – торфы.



Участок ПК 1710+00 – ПК 1720+00 Абсолютные отметки в границах участка разнятся от 35 до 41 метров, с плавным подъемом по профилю в восточном направлении. На ПК 1712 расположен лог, с периодическим водотоком и уклоном в южном направлении до нескольких градусов. Дно лога торфяное, не имеющее следов размыва. Растительность за пределами бровок лога представлена, преимущественно, молодым смешанным лесом высокой плотности. Русло лога обильно поросло мхами и болотной растительностью. Опасных геологических процессов на участке не обнаружено. Слабые грунты в пределах участка – торфы.

Рисунок 8 – Начало участка изысканий

Участок ПК 1720+00 – ПК 1730+00 Участок практически равнинный, с колебанием абсолютных отметок от 39 м до 41. До ПК 1722 участок имеет поперечный к оси трассы, едва различимый уклон на понижение в южном направлении.

На ПК 1726+50 – 1729 находится старая лесосека с сильно увлажненным торфяным грунтом, слабой степени разлаженности, мощностью до одного метра. Опасных геологических процессов на участке не обнаружено. Слабые грунты в пределах участка – торфы.

Участок ПК 1730+00 – ПК 1740+00 Абсолютные отметки участка 40 – 41 метр, с понижением в широком логу, на ПК 1735+50 до 39 метров. Лог имеет едва различимый уклон в южном направлении, ориентирован в крест трассе. В северном направлении, выше оси трассы в логу расположены торфяники средней степени разложения, избыточно влажный до заболачивания, возможно причиной увлажнения и заторфования является скрытый ключ, который на поверхности не обнаружен. За исключением заболачивания иных геологических процессов не обнаружено. Слабые грунты в пределах участка представлены торфом.



Участок ПК 1740+00 – ПК 1750+00 В целом участок равнинный с плавным подъемом по абсолютным отметкам, от 41 метра в начале участка до 42 метров в конце. На ПК 1741 расположен широкий лог с понижением отметки по дну до 40 м. Дно лога переувлажнено, заторфовано и заболочено, мощностью до полуметра. На ПК 1747 проектируемая трасса пересекается с мелиорационной канавой,

Рисунок 9 – Мелиорационная канава

откосы которой подвержены подмыву и разрушению, схожему с оврагообразованием. Разрушение и подмыв откосов не постоянны и активны в период снеготаяния и обильного выпадения дождей. В окрестностях находятся еще каналы, соединенные в сеть с пересекаемой. Подмывы откосов канав локальны и активны в супесчаных и песчаных, неукрепленных корневой системой местах. Дно системы канав повсеместно заболочено и заторфовано. За исключением заболачивания естественных и искусственных низменностей, опасных геологических процессов не выявлено. Слабые грунты в пределах участка представлены торфом.

Участок ПК 1750+00 – ПК 1760+00 имеет абсолютную отметку в 42 метра до ПК 1754+00, с последующим плавным понижением до 36 метров на ПК 1758+00. В нижней части участка почвенно-растительный слой подвержен переувлажнению и заторфованию, местами до образования трясины и заболачивания, мощностью до 0,6

метра. Заболачивание и трясине образование обусловлено пологостью и отсутствием стока поверхностных вод от ПК 1758 до ПК 1760. Водоупор представлен тугопластичным суглинком. За исключением заболачивания в низменной части участка, иных опасных инженерно-геологических процессов не выявлено. Слабые грунты в пределах участка – торфы.

Участок ПК 1760+00 – ПК 1770+00 Равнинный участок с абсолютной отметкой в 36-37 метров. На участке расположен ручей на ПК 1763, ориентированный с осью трассы с восточного – северо-восточного направления. Ручей представляет из себя понижение относительно местности до одного метра, в засушливый период, не имеющий активного стока воды. Имеющий заторфованные берега и русло, удерживающиеся от разрушения мощной корневой системой, болотной растительности. За исключением заболачивания ручья, иных опасных геологических процессов в пределах участка не выявлено. Слабые грунты – торфы.

Участок ПК 1770+00 – ПК 1780+00 Участок имеет равнинный рельеф до ПК 1776, с абсолютной отметкой 37метров. Далее на восток рельеф понижается до отметки 32 метра, образуя долину ручья. В долине имеются песчаные холмы-останцы достигающие отметки в 36 метров. Холмы имеют пологие склоны, укрепление корневой системой хвойных насаждений. На ПК 1778+50 находится пересечение с ручьем Пустошный. Русло ручья проходит в основании холмов. Скорость водотока не постоянна и изменяется от глубины и ширины русла, в среднем 0,2 м/с. Приблизительный объем водосброса, до одного кубометра в секунду. Дно и берега ручья песчаные. Берега прочно укреплены корневой системой и не имеют следов прогрессирующих эрозионных процессов, в границах полосы отвода. Опасных геологических процессов в пределах участка не обнаружено.



Участок ПК 1780+00 – ПК 1790+00 Начало участка располагается в долине ручья Пустошный, с подъёмом в восточном направлении от отметки 32 метра в начале участка до 36 на ПК 1787. Рисунок 10 – Ручей Витошный, конец участка изысканий

Почвенно-растительный слой значительно увлажнен, часто встречаются локальные проявления торфов слабой степени разложения. Повсеместно обильное прорастание

мхом. На ПК 1781 проектируемая трасса пересекает ЛЭП ПАО МРСК, с просекой по полосе отвода в 8 метров. Опасных геологических процессов в границах участка не выявлено. Встречены слабые грунты – торфы.

Участок ПК 1790+00 – ПК 1800+00 Участок находится на равнине, с отметкой 37 метров до ПК 1794, с последующим спуском по ходу километража в долину ручья Витошный, до отметки 33 метра на ПК 1795, где находится пересечение со старицей. Старица представлена руслом шириной до двух метров, глубиной до 0,7 метров. Повсеместно распространено заболачивание. Вода в русле стоячая, обильно цветущая тиной. Берега старицы увлажнены до состояния трясины. Грунт берегов торф разложившийся. Ниже песок мелкий до пылеватого.

3.3 Климатические условия на участке изысканий

Климат Новгородской области умеренно континентальный, с прохладным летом и мягкой зимой. Определяющее влияние на климат имеют континентальный воздух умеренных широт и арктический воздух. Меньшее значение имеет тропический воздух. Летом континентальный воздух является теплой воздушной массой. Температура летом редко бывает выше +20°, максимум +25°. На юге воздушные массы более прогреты, чем на севере, поэтому летние температуры заметно повышаются к югу. Влажные западные и юго-западные ветры приносят осадки и понижение температуры. Вторжения холодного арктического воздуха сопровождаются заморозками весной и в начале лета.

Зимой континентальный воздух умеренных широт является холодной воздушной массой (температура минус 15, минус 20°). В зимний период часты циклоны с Атлантики, которые вызывают потепление. Поэтому наблюдаются оттепели с положительными температурами. Северные ветры, сопровождающие вторжения масс арктического воздуха, характеризуются сильными морозами (до минус 30° и более). Помимо Атлантического океана, на температуру воздуха влияют местные причины: абсолютные высоты, различные элементы рельефа, озера.

Валдайская возвышенность является одной из наиболее влажных областей Русской равнины. Здесь выпадает более 600 мм осадков в год. Наиболее приподнятые части получают до 675 мм осадков. В течение года осадки выпадают неравномерно (особенно много - в июне - сентябре). Летом наблюдаются сильные ветры, грозы. Влажность воздуха высокая.

Согласно схематической карте климатического районирования для строительства (СП 131.13330.2020, Приложение А), территория находится в климатическом подрайоне II В.

Основные климатические параметры исследуемой территории согласно СП 131.13330.2020 приведены в таблице 5 по метеостанции г. Великий Новгород.

Таблица 5 – Климатические параметры

Климатические параметры	Значения
<i>Климатические параметры холодного периода года</i>	
Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.98	-35 °С
Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92	-32 °С
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.98	-30 °С
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92	-27 °С
Температура воздуха обеспеченностью 0.94	-13 °С
Абсолютная минимальная температура воздуха	-45 °С
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца	7,0 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤ 0 , °С	138 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 0 , °С	-5,0 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤ 8 , °С	213 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 , °С	-1,9 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤ 10 , °С	231 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 10 , °С	-1.0 °С
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца	85 %
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца	83 %
Количество осадков за ноябрь-март	186 мм
Преобладающее направлением ветра за декабрь - февраль	Ю
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь	5,0 м/с
Средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 , °С	4,1 м/с
<i>Климатические параметры теплого времени года</i>	
Барометрическое давление	1011 гПа
Температура воздуха обеспеченностью 0,95	20 °С
Температура воздуха обеспеченностью 0,98	25 °С

Климатические параметры	Значения
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца	23,5 °С
Абсолютная максимальная температура воздуха	36 °С
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца	10,1 °С
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца	75 %
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца	59 %
Количество осадков за апрель - октябрь	388 мм
Суточный максимум осадков	74
Преобладающее направление ветра за июнь - август	С
Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль	3,3 м/с
<i>Средняя месячная и годовая температура воздуха</i>	
Средняя годовая температура воздуха, °С	5,1 °С
Средняя месячная температура воздуха наиболее жаркого (июль) месяца, °С	18,2 °С
Средняя месячная температура воздуха наиболее холодного (январь) месяца, °С	-7,4 °С

Среднемесячная и годовая температура воздуха (°С) согласно СП 131.13330.2020 приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Среднемесячная и годовая температура воздуха

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-7,4	-6,9	-1,9	4,7	11,9	15,9	18,2	16,2	10,8	5,0	-0,5	-4,7	5,1

Сумма абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в соответствии с таблицей 6 составляет 21,4 °С.

Нормативная глубина промерзания грунтов при оголенной от снега поверхности, рассчитанная согласно СП 22.13330.2016, п. 5.5.3 представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Значения нормативной глубины промерзания для различных типов грунтов

Наименование грунта	Нормативная глубина промерзания, м
Глины, суглинки	1,06
Супеси, пески пылеватые и мелкие	1,30
Пески крупные и средней крупности	1,39
Крупнообломочные грунты	1,57

В соответствии с СП 20.13330.2016 СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» площадка инженерно-геологических изысканий относится к III району по весу снежного покрова (карта 1), расчетное значение веса снежного покрова (S_g) 1,5 кПа (табл. 10.1); I району по давлению ветра (карта 2), нормативное значение ветрового давления (w_0) составляет 0.23 кПа (табл. 11.1); II району по толщине стенки гололеда (карта 3), толщина стенки гололеда (b) 5 мм (табл. 12.1).

Согласно СП 50.13330.2012, Приложение В (карта зон влажности) район расположен в нормальной зоне.

3.3 Геологическое строение на участке изысканий

Изученность инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических условий территории предварительно определялась по литературным данным: «Инженерная геология СССР» (Том I, Русская платформа), по геологическим и гидрогеологическим картам четвертичных и дочетвертичных отложений, масштаб 1:200000, 1:500000 и 1:1000000.

Район работ расположен в пределах листов О-36-VIII, О-36-XIV в соответствии с геологическими картами четвертичных и дочетвертичных отложений (данные геологического фонда ФГБУ «ВСЕГЕИ» масштаба 1:200000).

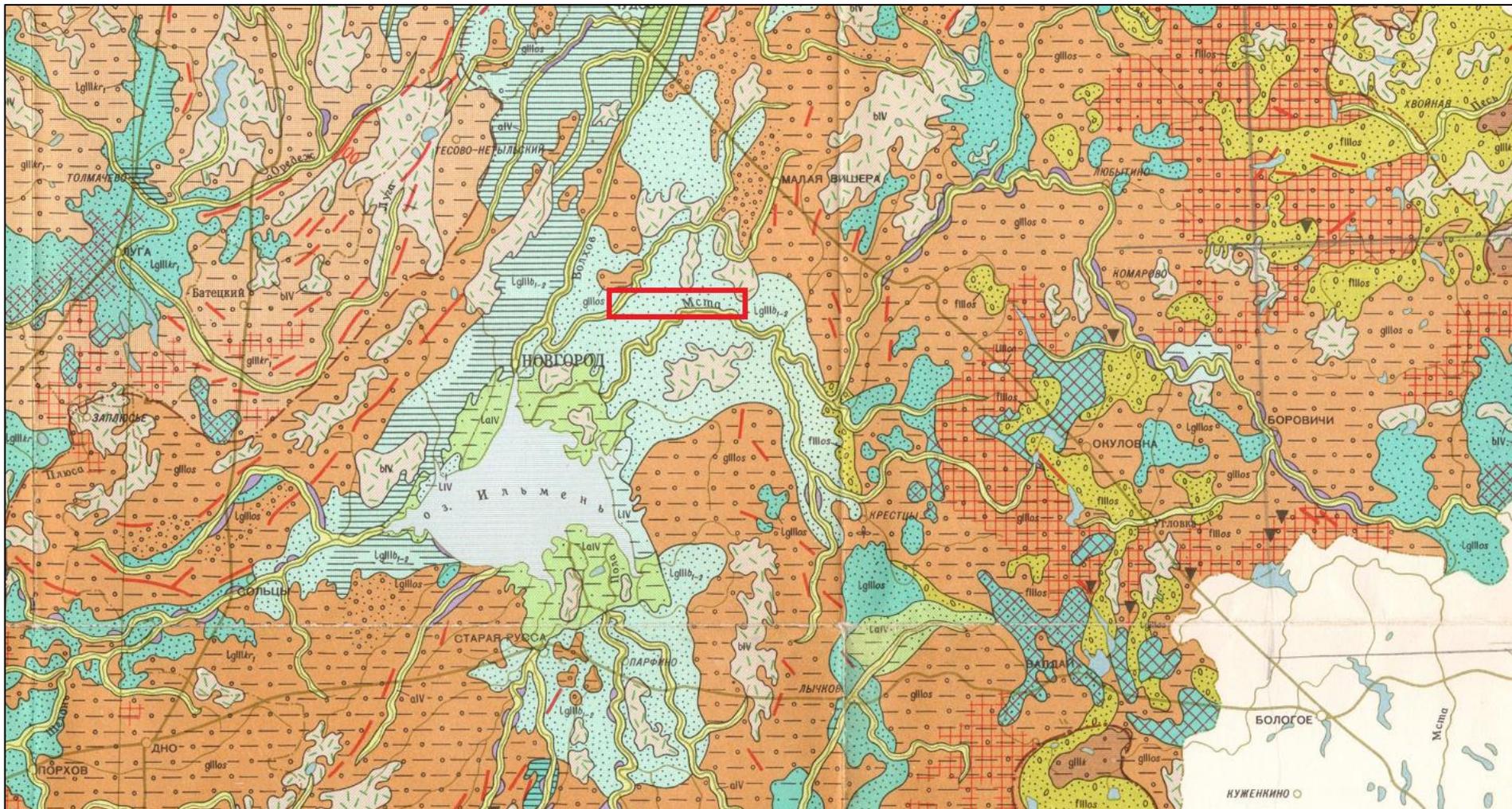


Рисунок 11 – Фрагмент карты четвертичных отложений (<https://webmapget.vsegei.ru/>)

У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я

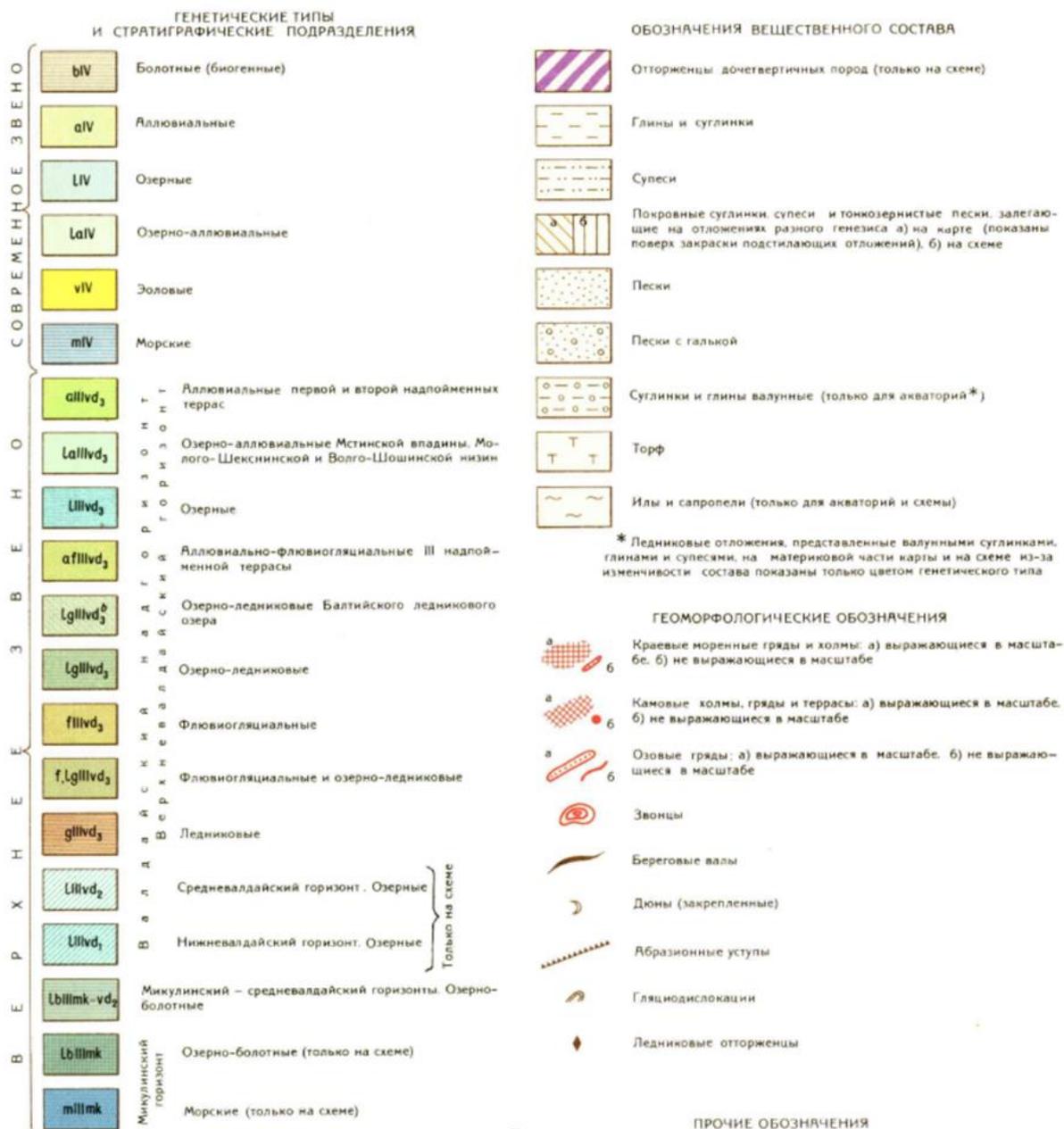


Рисунок 12 – Условные обозначения к карте четвертичных отложений

(<https://webmapget.vsegei.ru/>)

Проектируемая трасса расположена в пределах Русской Платформы, где выделяются два структурных комплекса. Нижний – кристаллический фундамент, сложенный метаморфическими образованиями архея и нижнего протерозоя. Верхний – осадочный чехол, представленный горизонтально или слабонаклонно залегающими отложениями рифея, венда, палеозойской, мезозойской и кайнозойской групп. В геоструктурном отношении проходит по территории Московской синеклизы.

Новгородская область расположена в центральной части Русской платформы на северо-западе Московской синеклизы.

В соответствии с геологическими картами четвертичных и дочетвертичных отложений (Московская серия О-36-XIV; О-36-XV; О-36-XVI; О-36-VIII) геологическое строение на участке проектируемой трассы представлено отложениями четвертичной, каменноугольной и девонской систем. Практически на всем участке преобладает холмисто-рядовой рельеф.

По имеющимся данным, геологический разрез на глубину бурения до 50,0 м сверху вниз выглядит следующим образом:

Современные биогенные отложения (solQIV) представлены почвенно-растительным слоем и торфом сильноразложившимся водонасыщенным (pH)

Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения (lgQIIIvd). Имеют повсеместное распространение. Залегают с поверхности под почвенно-растительным слоем. Представлены супесями и суглинками различной консистенции, песками пылеватыми.

Верхнечетвертичные ледниковые отложения (gQIIIvd). Подстилают озерно-ледниковые отложения. Представлены преимущественно суглинками твердой и полутвердой консистенции, реже – текучепластичной, мягкопластичной и текучей консистенции, а также супесями пластичной консистенции. Иногда встречаются прослойки средних, плотных, водонасыщенных песков. Все моренные грунты содержат гравий и гальку не более 5-15%.

Коренные породы верхнего девона (D₃) подстилают моренные отложения, вскрыты глубокими скважинами, представлены твердыми суглинками и глинами.

3.4 Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия участка работ на глубину бурения 50,0 м характеризуются наличием двух водоносных горизонтов.

Первый от поверхности водоносный горизонт в период изысканий (июль-ноябрь 2021 г.), был вскрыт на глубинах от 0,2 до 7,2 м, на абсолютных отметках от 32,5 до 41,8 м. Воды безнапорные. Водовмещающими породами являются верхнечетвертичные озерно-ледниковые пески пылеватые, средней плотности (ИГЭ-15а3).

Водоупором являются суглинки и супеси верхнечетвертичные озерно-ледниковые и ледниковые.

Данные уровни можно отнести к среднегодовым.

Питание грунтовых вод обусловлено количеством атмосферных осадков, их поверхностным стоком и инфильтрацией в грунт. Разгрузка происходит в местную гидрографическую сеть (сток в направлении р. Мсты).

В периоды снеготаяния, выпадения проливных дождей в понижениях рельефа возможно образование открытого зеркала воды. Кроме того, вблизи дневной поверхности возможно образование «верховодки».

По минералогическому составу воды грунтового водоносного горизонта пресные, гидрокарбонатно-кальциевые.

По степени агрессивного воздействия на бетон всех марок и арматуру железобетонных конструкций при постоянном погружении и периодическом смачивании вода не агрессивная по всем показателям согласно СП 28.13330.2017, табл. В.3, В.4, В.5, Г.2.

Вода пригодна для затворения бетонной смеси.

Амплитуда сезонного колебания уровня подземных вод составляет 0,5 – 1,0 м.

По характеру подтопления исследуемый участок относится к потенциально подтопляемым, т.к. глубина залегания грунтовых вод от 0,2 до 7,2 м от поверхности (СП 22.13330.2016).

Второй от поверхности водоносный горизонт напорный, приурочен к пескам мелким и средней крупности ледникового происхождения, вскрыт на глубине 9,0-21,8 м (абс.отм. 31,5-13,5 м). Напор составил 20,2 м. Водоупором являются полутвердые и твердые суглинки ледникового происхождения.

В процессе строительства и эксплуатации сооружений возможен подъем уровня грунтовых вод со скоростью 0,1 м/год за первые 10 лет и 0,025 м/год за последующие 5 лет, т.е. за 15 лет подъем воды составит 1,13 м.

Результаты химического анализа грунтовых вод приведены в таблицах - .1, 6.2 и Приложении М.

Таблица 8 – Сводная ведомость содержания химических элементов в подземных водах

№	Скважина	Глубина, м	SO ₄ ⁻² , мг/л	Cl ⁻ , мл/л	HCO ₂ , мл/л
Первый водоносный горизонт (lg QIIIvd)					
1	211в	0,1	5,8	12,8	78
2	212в	0,5	8,2	11,3	76
3	215в	1,2	10,6	14,2	44
4	236в	1,0	9,1	14,2	19
5	246в	1,0	5,3	11,3	85
6	247в	0,9	5,8	14,2	72

7	243В	2,0	7,7	7,8	12
8	245В	0,6	4,8	11,3	86
9	241В	1,0	6,7	6,8	13
Максимальное значение			10,6	14,2	86
Второй водоносный горизонт (gQIIIvd)					
10	241В	16,6	14,9	6,4	0
11	223В	15,5	9,6	8,5	21
12	201В	15,0	15,4	7,1	11
13	154В	18,7	6,7	5,0	75
14	206В	17,2	7,2	6,4	9
15	213В	19,2	14,9	5,7	19
Максимальное значение			15,4	8,5	75

Таблица 9 – Степень агрессивности грунтовых вод к бетону марок W4-W12 и железобетонным конструкциям согласно СП 28.13330.2017, таблица В3, В4

Первый водоносный горизонт (lg QIIIvd)		
К бетону марки	W4	среднеагрессивная
	W6	слабоагрессивная
	W8	не агрессивная
	W10-W12	не агрессивная
К ж/б конструкциям	При постоянном смачивании	не агрессивная
	При периодическом смачивании	не агрессивная
Второй водоносный горизонт (gQIIIvd)		
К бетону марки	W4	слабоагрессивная
	W6	среднеагрессивная
	W8	не агрессивная
	W10-W12	не агрессивная
К ж/б конструкциям	При постоянном смачивании	не агрессивная
	При периодическом смачивании	не агрессивная

3.5 Физико-механические свойства грунтов

Результаты лабораторных определений физико-механических свойств грунтов, вскрытых в процессе инженерно-геологических работ, были статистически обработаны в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-2012. На основании этого выделено 15 инженерно-геологическим элементов (Приложение 5).

Классификация грунтов выполнена при обязательном соблюдении классификационной составляющей грунтов согласно ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация».

Четвертичная система – Q

Современные отложения – solQIV

Почвенно-растительный слой (ПРС) с корнями кустарников и деревьев вскрывается с поверхности, распространён на всем протяжении участка изысканий на незатронутых активной хозяйственной деятельностью территориях.

Озерно-болотные – lbQIV

Торф среднеразложившийся, избыточно влажный, темно-коричневый, сильнопучинистый (ИГЭ-02т2а) вскрыт в скважинах с глубины от 0,0 до 1,7 м., распространён на ПК 1725+00, с ПК 1733+00 до ПК 1735+00, с ПК 1745+00 до ПК 1751+13,08 и на ПК 1785+00

Четвертичная система – Q

Верхнечетвертичные отложения – QIII

ИГЭ-15а2. Песок пылеватый, средней плотности, желтый, влажный – 10а;

ИГЭ-15а3. Песок пылеватый, средней плотности, желтый водонасыщенный – 10а;

ИГЭ-15б3. Песок мелкий средней плотности, водонасыщенный – 10а;

ИГЭ-15е2. Супесь пластичная пылеватая, участками песчанистая, коричневая, с прослоями песка – 10а;

ИГЭ-15ж4. Суглинок мягкопластичный легкий, пылеватый, с прослоями песка – 10а;

ИГЭ-15ж5. Суглинок текучепластичный песчанистый, пылеватый – 10а;

Ледниковые отложения – gQIIIvd

ИГЭ-17а3. Песок пылеватый, средней плотности, водонасыщенный – 10а;

ИГЭ-17б3. Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный – 10а;

ИГЭ-17в3. Песок средний, средней плотности, водонасыщенный – 10а;

ИГЭ-17е2. Супесь пластичная, песчанистая, коричневая– 10б;

ИГЭ-17ж1 Суглинок твердый легкий, пылеватый – 10б;

ИГЭ-17ж2. Суглинок полутвердый песчанистый, пылеватый – 10б;

Дочетвертичные отложения

Отложения верхнего девона – Dз

ИГЭ-72ж1. Суглинок твердый, тяжелый пылеватый, красно-коричневый– 35г;

ИГЭ-72з1. Глина твердая легкая, пылеватая, голубая, красно-коричневая – 8д.

Сведения о глубине залегания, абсолютных отметках кровли и подошвы, а также минимальной и максимальной мощности выделенных инженерно-геологических элементах приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Сведения о глубинах кровли, подошвы и мощностях выделенных ИГЭ

Генезис	ИГЭ	Описание грунта	Глубина подошвы	Абс.отм. Подошвы	Глубина кровли	Абс.отм. кровли	Мощность слоя
solQIV	ПРС	Почвенно-растительный слой	от 0.1 до 0.5	от 32.9 до 43.1	от 0.0 до 0.0	от 33.2 до 43.3	от 0.1 до 0.5
lbQIV	02т2а	Торф среднеразложившийся, избыточно влажный, темно-коричневый, сильнопучинистый	от 0.3 до 3.4	от 33.9 до 42.0	от 0.0 до 0.0	от 34.9 до 42.6	от 0.3 до 3.4
lgQIIIvd	15а2	Песок пылеватый, средней плотности, желтый, влажный	от 0.2 до 2.0	от 32.8 до 41.9	от 0.1 до 0.3	от 33.4 до 43.1	от 0.1 до 1.9
lgQIIIvd	15а3	Песок пылеватый, средней плотности, желтый водонасыщенный	от 1.5 до 15.5	от 21.5 до 39.5	от 0.1 до 13.6	от 24.1 до 41.9	от 0.5 до 9.8
lgQIIIvd	15б3	Песок мелкий средней плотности, водонасыщенные	от 1.5 до 10.0	от 32.5 до 35.2	от 1.0 до 3.5	от 33.9 до 41.7	от 0.5 до 8.8
lgQIIIvd	15е2	Супесь пластичная пылеватая, участками песчаная, коричневая, с прослоями песка	от 1.5 до 16.1	от 20.4 до 40.0	от 0.2 до 10.1	от 29.2 до 41.7	от 0.7 до 9.1
lgQIIIvd	15ж4	Суглинок мягкопластичный легкий, пылеватый, с прослоями песка	от 5.5 до 17.2	от 20.9 до 32.5	от 1.5 до 15.5	от 22.2 до 37.5	от 0.5 до 13.1
lgQIIIvd	15ж5	Суглинок текучепластичный песчаный, пылеватый	от 3.5 до 21.0	от 19.9 до 29.8	от 1.5 до 17.0	от 23.8 до 34.5	от 1.0 до 11.6
gQIIIvd	17а3	Песок пылеватый, средней плотности, водонасыщенный	от 15.0 до 18.0	от 21.1 до 27.3	от 14.5 до 17.2	от 21.9 до 28.3	от 0.2 до 1.6
gQIIIvd	17б3	Песок мелкий, средней плотности, водонасыщенный	от 17.2 до 22.0	от 14.5 до 20.5	от 15.5 до 19.5	от 17.0 до 21.5	от 0.5 до 2.5
gQIIIvd	17в3	Песок средний, средней плотности, водонасыщенный	от 17.4 до 24.2	от 14.9 до 22.9	от 15.1 до 24.0	от 15.1 до 25.6	от 0.2 до 6.6
gQIIIvd	17е2	Супесь пластичная, песчаная, коричневая	от 13.7 до 19.5	от 17.0 до 25.5	от 10.3 до 16.1	от 20.4 до 28.9	от 0.5 до 3.4
gQIIIvd	17ж1	Суглинок твердый легкий, пылеватый	от 14.3 до 50.0	от -13.5 до 25.8	от 6.7 до 33.0	от 3.5 до 31.3	от 0.8 до 17.0
gQIIIvd	17ж2	Суглинок полутвердый песчаный, пылеватый	от 11.5 до 33.0	от 3.5 до 25.0	от 2.0 до 22.5	от 14.5 до 32.6	от 0.9 до 17.0
D ₃	72ж1	Суглинок твердый, тяжелый пылеватый, красно-коричневый	от 17.5 до 41.0	от -6.5 до 18.6	от 14.3 до 25.0	от 9.6 до 25.8	от 1.0 до 19.1
D ₃	72з1	Глина твердая легкая, пылеватая, голубая, красно-коричневая	от 25.0 до 50.0	от -16.8 до 13.1	от 17.5 до 41.0	от -6.5 до 18.6	от 0.5 до 24.5

Частные значения физико-механических характеристик грунтов приведены в Приложении 6.

3.6 Геологические и инженерно-геологические процессы

На участке проектируемого строительства к геологическим и инженерно-геологическим процессам относятся:

- сейсмичность;
- морозное пучение грунтов;
- подтопление территории.

8.1 Сейсмичность

В соответствии с картами общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (СП 14.13330.2018 карты ОСР-2015-А, ОСР-2015-В), вся территория трассы находится в зоне низкой сейсмичности, с интенсивностью сотрясений менее 6 баллов.

8.2 Морозное пучение грунтов

Интенсивность проявления морозного пучения определяется составом грунтов и условиями промерзания.

Нормативная глубина сезонного промерзания составляет: глины, суглинки – 1,06 м; супеси, пески пылеватые и мелкие – 1,30 м; пески средней крупности, крупные, гравелистые – 1,39 м; крупнообломочные грунты – 1,57 м. (рассчитана согласно СП 22.13330.2016, п. 5.5.3).

В соответствии с ГОСТ 25100-2020 (табл. Б. 27) и СП 22.13330.2016, п.6.8.8

(Приложение И), по степени морозного пучения грунты, находящиеся в пределах сезонно промерзающего слоя подразделяются на (приложение П1):

ИГЭ-02т2а. Торф среднеразложившийся избыточно влажный-сильнопучинистый, степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,086$;

ИГЭ-15а2. Песок пылеватый, средней плотности, желтый, влажный – непучинистый - степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,005$;

ИГЭ-15а3. Песок пылеватый, средней плотности, желтый водонасыщенный – непучинистый - степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,05$;

ИГЭ-15е2. Супесь пластичная пылеватая, участками песчанистая, коричневая, с прослоями песка – среднепучинистый- степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,062$.

8.3 Подтопление территории

Основным фактором процесса естественного подтопления является затруднение поверхностного стока, способствующее скоплению атмосферных осадков на поверхности и в верхних горизонтах грунтов, близкое залегание к земной поверхности кровли водоупорных пород, а также гидравлический подпор от близлежащих водотоков и водоёмов.

При рекогносцировке участка работ были выявлены процессы подтопления и заболачивания в связи с наличием плохо проницаемых грунтов и прослоек, относительно близким расположением к поверхности водоупора и низкой дренированностью территории.

В неблагоприятные периоды года (периоды дождей и снеготаяния) максимальный уровень грунтовых вод ожидается близким к дневной поверхности с образованием открытого зеркала грунтовых вод.

В соответствии с приложением И (СП-11-105-97 часть II), рассматриваемую территорию рекомендуется отнести к категории II-Б1 – потенциально подтопляемые территории в результате ожидаемых техногенных воздействий (проектируемая промышленная и гражданская застройка с комплексом водонесущих коммуникаций, вырубка лесов и т.д.)

Согласно СП 115.13330.2016, Приложение Б, по категории опасности процесс подтопления территории оценивается как умеренно опасный (площадная пораженность территории до 50 %).

Нормативные характеристики действительны для непромороженных грунтов основания при условии сохранения их природного сложения в процессе проведения земляных работ, а также при предупреждении их замачивания. При соблюдении предупредительных мер, принципиального изменения геологической среды, в процессе строительства и эксплуатации не ожидается.

3.7 Геологические и инженерно-геологические процессы

На участке проектируемого строительства к геологическим и инженерно-геологическим процессам относятся:

- сейсмичность;
- морозное пучение грунтов;
- подтопление территории.

3.7.1 Сейсмичность

В соответствии с картами общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (СП 14.13330.2018 карты ОСР-2015-А, ОСР-2015-В), вся территория трассы находится в зоне низкой сейсмичности, с интенсивностью сотрясений менее 6 баллов.

3.7.2 Морозное пучение грунтов

Интенсивность проявления морозного пучения определяется составом грунтов и условиями промерзания.

Нормативная глубина сезонного промерзания составляет: глины, суглинки – 1,06 м; супеси, пески пылеватые и мелкие – 1,30 м; пески средней крупности, крупные, гравелистые – 1,39 м; крупнообломочные грунты – 1,57 м. (рассчитана согласно СП 22.13330.2016, п. 5.5.3).

В соответствии с ГОСТ 25100-2020 (табл. Б. 27) и СП 22.13330.2016, п.6.8.8 (Приложение И), по степени морозного пучения грунты, находящиеся в пределах сезонно промерзающего слоя подразделяются на:

ИГЭ-02г2а. Торф среднеразложившийся избыточно влажный-сильнопучинистый, степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,086$;

ИГЭ-15а2. Песок пылеватый, средней плотности, желтый, влажный – непучинистый - степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,005$;

ИГЭ-15а3. Песок пылеватый, средней плотности, желтый водонасыщенный – непучинистый - степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,05$;

ИГЭ-15е2. Супесь пластичная пылеватая, участками песчанистая, коричневая, с прослоями песка – среднепучинистый- степень морозной пучинистости $\epsilon_{fh}=0,062$.

3.7.3 Подтопление территории

Основным фактором процесса естественного подтопления является затруднение поверхностного стока, способствующее скоплению атмосферных осадков на поверхности и в верхних горизонтах грунтов, близкое залегание к земной поверхности кровли водоупорных пород, а также гидравлический подпор от близлежащих водотоков и водоёмов.

При рекогносцировке участка работ были выявлены процессы подтопления и заболачивания в связи с наличием плохо проницаемых грунтов и прослоек, относительно близким расположением к поверхности водоупора и низкой дренированностью территории.

В неблагоприятные периоды года (периоды дождей и снеготаяния) максимальный уровень грунтовых вод ожидается близким к дневной поверхности с образованием открытого зеркала грунтовых вод.

В соответствии с приложением И (СП-11-105-97 часть II), рассматриваемую территорию рекомендуется отнести к категории II-Б₁ – потенциально подтопляемые территории в результате ожидаемых техногенных воздействий (проектируемая

промышленная и гражданская застройка с комплексом водонесущих коммуникаций, вырубка лесов и т.д.)

Согласно СП 115.13330.2016, Приложение Б, по категории опасности процесс подтопления территории оценивается как умеренно опасный (площадная пораженность территории до 50 %).

Нормативные характеристики действительны для не промороженных грунтов основания при условии сохранения их природного сложения в процессе проведения земляных работ, а также при предупреждении их замачивания. При соблюдении предупредительных мер, принципиального изменения геологической среды, в процессе строительства и эксплуатации не ожидается.

Глава 4. Анализ исходных данных и предпосылок для расчета консолидации слабого основания

4.1 Модели деформационного поведения слабых грунтов и определение их осадки с помощью аналитических методов

В настоящее время существует большое количество моделей, описывающих деформационное поведение слабых грунтов, и это число постоянно увеличивается вместе с усложнением самих моделей.

4.1.1 Модель линейного деформирования грунта (Пузыревский Н.П., Герсеванов Н.М., Флорин В.А. и др.)

Эта модель является простой и распространенной в инженерной практике, так как она позволяет использовать математические концепции теории упругости для описания напряженно-деформированного состояния грунтов. Предполагается, что при однократном нагружении или разгрузке в грунтах существует линейная зависимость между напряжением и деформацией.

Сейчас имеется значительное количество экспериментальных данных, которые не соответствуют теории линейного деформирования грунта.

4.1.2 Теория не линейного деформирования грунтов (Вялов С.С., Гольдин А.Л., Зарецкий Ю.К., Крыжановский А.Л. и др.)

Более развитым средством, чем теория линейной деформации, является теория нелинейной деформации грунтов. В инженерной практике широко используется теория деформации пластичности, основанная на принципах малых упруго-пластических деформаций, предложенных академиком Ильюшиным А.А. Однако, применение этой теории усложняет экспериментальное определение параметров уравнения состояния и требует специализированного расчетного аппарата для анализа.

4.1.3 Методы фильтрационной консолидации (Терцаги К., Био М.А., Николаевский В.Н., Зарецкий Ю.К. и др.)

Теория рассматривает изменение формы полностью насыщенного водой грунта со временем. Предполагается, что напряжение, вызванное приложенной нагрузкой, распределяется на скелет грунта (эффективное напряжение) и на давление в поровой воде - поровое давление. Разность давлений в поровой жидкости вызывает перемещение воды в менее нагруженные части грунта. Математическое описание этого процесса основывается на предположении об однородности среды, высказанном Павловским Н.Н.

в 1922 году, то есть предполагается, что уменьшение пористости грунта пропорционально расходу воды. Важным следствием этого является то, что скорость деформации грунта прямо пропорциональна скорости фильтрации поровой воды. Поэтому коэффициент фильтрации принимается в качестве основной характеристики грунта, определяющей длительность фильтрационной консолидации. В теории фильтрационной консолидации скелет грунта рассматривается как линейно деформируемый.

4.1.4 Идеально-упруго-пластическая модель с предельной поверхностью, описываемой критерием Кулона–Мора

Модель деформации грунта, известная как модель Кулона-Мора, использует идеально упруго-пластическую модель с предельной поверхностью, определяемой критерием Кулона-Мора. Критерий прочности Кулона-Мора описывает зависимость касательных напряжений материала от величины приложенных нормальных напряжений в билинейной форме.

$$\tau = \sigma \tan (\varphi) + C \quad (5)$$

где:

τ – величина касательных напряжений;

σ – величина нормальных напряжений;

C – пересечение кривой критерия прочности с осью;

$\tan (\varphi)$ – тангенс угла наклона кривой критерия прочности.

4.1.5 Модель вязко-упруго-пластическая (Шашкин А.Г.).

Модель вязко-упруго-пластического поведения грунта является одной из самых исследованных для слабых грунтов. Она основана на принципе описания упрочнения грунта при деформациях, уплотнении и изменении формы в независимости друг от друга.

Зависимости между объемными деформациями и преобразованиями деформаций, а также объемный тензор и девиатор напряжений полностью определяют вектор пластической деформации для заданного приращения напряжений. Необходимо также отметить, что несколько проблем пришлось решать без общепринятой реологической модели поведения для водонасыщенных глинистых грунтов. Одним из сложных вопросов, решаемых авторами модели, было понять, почему скорость сдвиговых деформаций в лабораторных экспериментах на несколько порядков превышает скорость этих деформаций в естественных условиях. Эта проблема была решена с использованием приближения, согласно которому вязкость линейно

уменьшается с увеличением напряжения сдвига и приближается к нулю при пределе текучести.

Ниже представлена таблица со всеми существующими моделями деформационного поведения слабых грунтов, а также перечислены их преимущества и недостатки. (Таблица 11.)

Таблица 11 – Модели деформационного поведения

№	Модель	Преимущества	Недостатки
1	Теория нелинейного деформирования грунтов	Более широкое распространение в инженерной практике по сравнению с методами линейного деформирования грунта	Усложнение экспериментов для определения параметров уравнения состояния и расчетного аппарата анализа
2	Теория линейного деформирования грунта	Простота аналитических соотношений	Не соответствует поведению многих грунтов
3	Идеально-упруго-пластическая модель (модель Кулона-Мора)	Простота назначения параметров	Непригодность модели при учете анизотропии прочности и жесткости, ползучести и длительной прочности, моделировании динамических процессов
4	Методы теории фильтрационной консолидации	Развитый аналитический аппарат	Отсутствии методик измерения прочности скелета грунта и порового давления
5	Модели упрочняющегося грунта	Возможность учета изменения прочности грунта при его уплотнении	Перегруженность большинства моделей математическими зависимостями, не имеющими под собой физических обоснований. При практическом применении сложность моделей играет скорее негативную роль
6	«Шатровые» модели. Модифицированная модель Cam Clay	Меньшее количество входных параметров, по сравнению с моделью Кулона-Мора. Простота аналитических соотношений	В ряде случаев результаты плохо согласуются с реальными данными. Не вполне корректное описание сдвиговых деформаций грунта.
7	Вязко-упруго-пластическая модель	Достоинство модели – простота и предсказуемость ее поведения	Значительное число допущений, не имеющих научного обоснования

Проведя анализ данных моделей можно сделать следующие выводы:

- модели охватывали весь диапазон деформационного поведения сплошной среды, от линейного до нелинейного.

- из всех моделей, представленных в таблице 11, наибольший интерес представляют идеальная упругопластическая модель Мора Кулона, модель деформируемого грунта и вязко-упруго-пластическая модель.

- модели линейной деформации грунта не очень перспективны на практике.

- отличительной особенностью модели деформационного поведения с переменным состоянием грунта является то, что источники и движущие силы механизмов деформации грунта взаимосвязаны со сложными процессами - происходит массоперенос двух типов: внутри грунта и из грунта во внешнюю среду, уплотнение грунта, трансформация его структуры и другие процессы.

- модели деформационного поведения можно разделить на две группы в зависимости от того, учитывают ли они постоянное или переменное состояние грунта.

- массоперенос в грунтах разного состава имеет различную природу в зависимости от типа: внешний массоперенос приводит к вытеснению некоторого количества пористой жидкости из грунта во внешнюю среду, в то время как внутренний массоперенос включает пластическое перемещение массы грунта в пределах ее объема.

- отличительной особенностью модели деформации грунта постоянного состава является то, что происходит только массоперенос внутри грунта, и, таким образом, механизмы деформации реализуются более простым способом, чем в случае деформации грунта переменного состава.

- вязко-упруго-пластическая модель изучает грунты постоянного и переменного состава одновременно, причем грунт постоянного состава изучается в процессе его формирования. Однако эта модель все еще недостаточно разработана с точки зрения слабых грунтов.

- модель фильтрационного уплотнения относится к группе моделей, которые изучают грунты переменного состава во время уплотнения, когда из него удаляется часть жидкой фазы.

- идеальная упруго пластичная модель Мора-Кулона и деформационно-упрочняющая модель грунта, как высоко адаптивные в условиях слабых грунтов, представляются наиболее перспективными при решении задач данной работы.

4.2 Характеристики конструкций из композитных материалов, содержащих сваи различных типов, включая их технологические особенности

В сфере строительства существует большое количество методов укрепления основания слабых грунтов, которые можно классифицировать на подгруппы:

- Методы армирования конструкций геосинтетическими материалами на слабых грунтах: георешетки, высокопрочные геоткани и др.
- Методы осушения грунтов: геодрены, термическое удаление влаги, силикатизация, электрический и электрохимический способы и др.
- Методы цементации и инъекции: механическое перемешивание грунта с вяжущими, струйная цементация (Jet-Grouting) и др.
- Механические методы: укрепление железобетонными сваями (забивными и буронабивными), грунтовые сваи (песчаные и щебенистые), замена слабого грунта и др.
- Разнообразные подходы, включая технологические, могут использоваться в комбинации, например, сочетание методов, рассмотренных ранее, и технологии интенсивного уплотнения грунтов.

В работах зарубежных и отечественных деятелей были рассмотрены теоретические предпосылки использования слабых грунтов в качестве основания для скоростных магистралей с учетом воздействия скоростных поездов. Из выводов следует, что необходимо снижение нагрузки на слабые грунты и передача их на более прочные грунты, расположенные глубже. В результате исследования было выявлено, что наиболее эффективными методами для устройства фундаментов глубокого заложения с глубиной от 6 до 20 метров являются те, которые обеспечивают прочность и деформативность.

Основываясь на принципах теории композитных материалов, что эффективное укрепление слабого грунта достигается при условии, что прочность материала арматуры, такой как сваи, значительно превышает прочность матрицы слабого грунта. Следовательно, для укрепления земляного полотна скоростных магистралей можно использовать механические методы укрепления сваями, методы цементации и комбинированные методы.

Методы, включающие комбинацию интенсивного уплотнения, осушения грунтов и другие комбинированные подходы, имеют ограничения на применение в случае тонких слабых грунтов и высокой водоотдачи, а также требуют значительного времени на их применение. Более того, не всегда достигается необходимый уровень деформации во время эксплуатации. Следовательно, такие методы могут быть рассмотрены как дополнение к механическим методам.

В настоящее время в практике строительства дорог широко используются механические методы упрочнения слабых оснований, что было хорошо оценено.

- усиление оснований сваями из дренирующего материала – песок, щебень, в том числе в геотекстильной оболочке;
- усиление оснований забивными железобетонными сваями по ГОСТ19804-2012;
- укрепление оснований буронабивными сваями CFG (Cement- Flyash- Gravel) по технологии непрерывного полого шнека, массово применяются на ВСМ в КНР;
- укрепление оснований методом цементации, в том числе Jet Grouting.

В процессе создания композитных конструкций для усиления слабых оснований земляного полотна скоростных магистралей могут быть использованы различные методы. Однако применение забивных железобетонных свай ограничено технологическими особенностями производства работ, уровнем шума и вибрации, а также требует контроля осадки свайного куста. Технология забивки свай в грунт также требует наличия конструктивного армирования в теле свай, что значительно увеличивает стоимость конструкции. В композитном фундаменте усиливающие элементы работают на сжимающую нагрузку, а изгибающие нагрузки практически отсутствуют, поэтому конструктивное армирование не включается в работу.

Для достижения задачи гарантированной безопасности и качества земляного основания на участке строительства ВСМ Москва-Санкт-Петербурга рассмотрены три способа укрепления основания слабых грунтов:

1. - песчаными сваями дренами в геотекстильной оболочке;
2. – сваями CFG (cement- flyash- gravel);
3. - грунтоцементными сваями Jet Grouting.

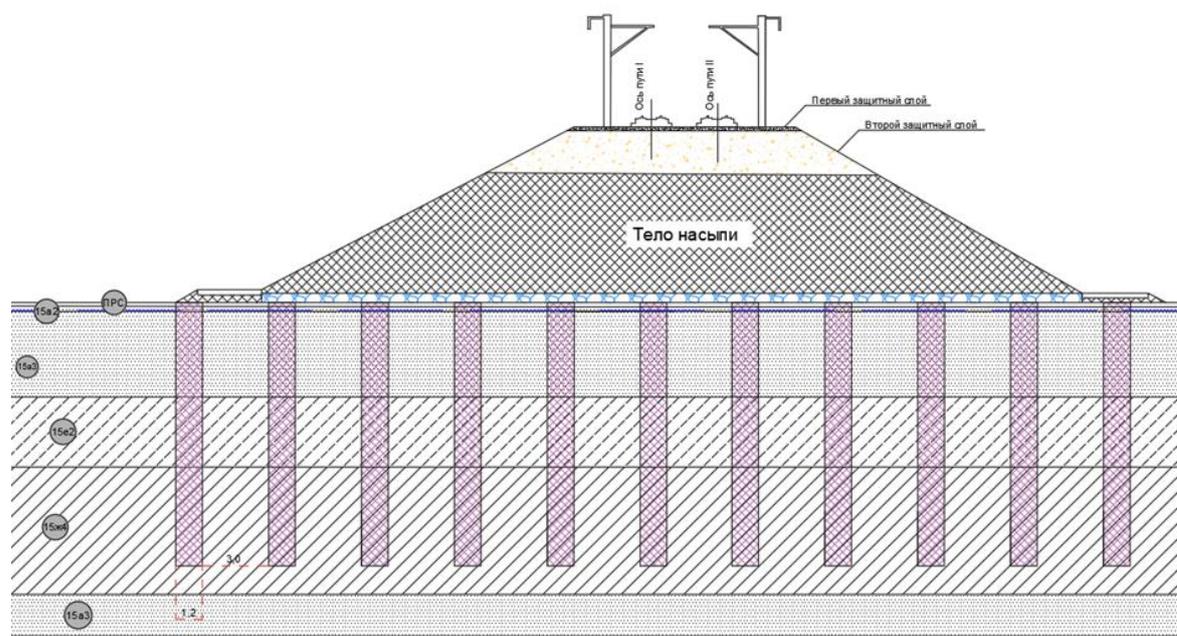


Рисунок 13 – Упрочнение слабого основания с помощью «свайного поля»

Для укрепления насыпи на слабом грунте разработаны три варианта укрепительных конструкций: использование буронабивных свай CFG диаметром 0,5 м с интервалом между осями свай 1,5 м и укладкой гибкого ростверка; использование песчаных свай-дрен диаметром 0,8 м с интервалом между осями свай 2,0 м и укладкой гибкого ростверка; использование свай Jet-grouting диаметром 1,2 м с интервалом между осями свай 3,0 м и укладкой гибкого ростверка. Эти меры необходимы для обеспечения стабильности насыпи.

4.2.1 Грунтоцементные сваи типа Jet Grouting

В соответствии с требованиями СП 291.1325800.2017 "Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования", использование композитной конструкции со сваями типа Jet Grouting осуществляется с применением технологий глубинного перемешивания и струйной цементации для устройства временных и постоянных несущих и ограждающих конструкций. Армированные грунтоцементные конструкции используются для различных целей, таких как армирование оснований, ограждений котлованов, фундаментов линейных объектов строительства, анкерных креплений ограждений котлованов, отсечных геотехнических экранов, массивных конструкций, распорных дисков, горизонтальных и вертикальных противодиффузионных завес, усиления фундаментов зданий и сооружений, а также противооползневых конструкций на склонах и откосах.

Размер грунтоцементных элементов обычно определяется характеристиками физико-механических свойств грунтов, а также параметрами технологического процесса, такими как скорость подъема, время размыва, давление нагнетания раствора, форма и качество сопел, а также количество и размер форсунок.

Для укрепления основания земляного полотна скоростных магистралей было принято использование грунтоцементных свай диаметром 1,2 м, которые были установлены на расстоянии 3,0 м друг от друга. Грунтоцементный композит, используемый при изготовлении свай, содержал цемент ПЦ500 в количестве 8-10% от массы, а также обладал модулем деформации 70 МПа и прочностью при сжатии от 1,0 до 2,0 МПа.

4.2.2 Песчаные сваи

В соответствии с рекомендациями ОДМ 218.2.054-2015 «Рекомендации по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах», была использована композитная конструкция с песчаными сваями. Текстильно-песчаные сваи представляют собой геополотно, которое формирует

геоболочку свай в виде цилиндра диаметром 0,4-1,5 м, заполненную дренирующим грунтом (песком или гравием). Они используются для передачи эксплуатационной нагрузки, уплотнения слабых грунтов между сваями, вертикального дренажа по глубине свай и ускорения процесса консолидации грунта. Усиление прочностных и деформационных характеристик грунта в зоне уплотнения позволяет повысить несущую способность грунтов, что способствует передаче нагрузок на модифицированные конструкции.

Для устройства песчаных свай необходимо учитывать следующие требования:

1. Модуль деформации заполнителя должен превышать компрессионный модуль грунта слабого основания в 10 раз ($E_c > 10E_g$);
2. Использовать гравий, щебень и песок;
3. Угол внутреннего трения заполнителя должен быть не менее 30° ;
4. Коэффициент фильтрации заполнителя должен быть не менее 10-5 м/с и как минимум на два порядка выше, чем у окружающего слабого грунта.

Для гарантирования необходимой несущей способности и устойчивости откосов насыпи, было принято решение об армировании основания с помощью текстильно-песчаных свай определенных характеристик. Свайный фундамент состоит из свай диаметром 0,8м, заполненных песком средней крупности и установленных на расстоянии 2 м между осями. Оболочка свай выполнена из геополотна тканого 100/200, обладающего прочностью при растяжении в поперечном направлении 220 кН/м^2 и относительным удлинением при максимальной нагрузке в поперечном направлении 10%. Погружение свай в прочный грунт выполнено не менее, чем на 1,0 м в соответствии с требованиями пункта 8.14 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты».

4.2.3 Бурунабивные сваи CFG

Для создания композитной конструкции, использующей бурунабивные сваи, выполненные с применением технологии непрерывного полого шнека, были применены китайские нормативные документы проектирования земляного полотна высокоскоростных магистралей ТВ 10106-2010. Для снижения затрат на сооружение бурунабивных свай была использована технология CFG, в которой зола уноса добавляется в состав бетона, что позволяет значительно уменьшить расход цемента. Ориентировочный состав бетона для свай CFG включает портландцемент в количестве не более 200 кг/м^3 , золу уноса в количестве $70-90 \text{ кг/м}^3$ и заполнитель (песок и гравий) в количестве 1500 кг/м^3 . Бетон должен иметь стандартную кубиковую прочность на

сжатие не менее 15 МПа в возрасте 28 дней. При установке свай CFG используется технология непрерывного полого шнека CFA.

Эта технология широко используется российскими строителями для создания буресекущих стен, противофильтрационных завес и крепления котлованов. Однако, она не была использована для укрепления оснований линейных сооружений. В КНР и других странах, таких как Германия и Франция, эта технология является основным способом укрепления оснований земляного полотна. В участках, где основание укрепляется с помощью буронабивных свай, используется бетон класса В15 без армирования. Диаметр свай составляет 0,5 м, а расстояние между сваями - 1,5 м (3 диаметра свай). Свайные поля организуются по типу квадрата. Глубина погружения свай в прочный грунт должна быть не менее 1,0 м в соответствии с пунктом 8.14 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты».

4.3 Расчетно-прогнозный принцип проектирования земляного полотна ВСМ на слабом основании по I группе предельных состояний

Все строительные конструкции разрабатываются на основе принципа расчетов по предельным состояниям. Этот принцип означает, что все усилия, напряжения, перемещения и деформации в конструкции не должны превышать соответствующих предельных значений. Такой подход позволяет находить оптимальные и экономичные решения и обеспечивает безопасную эксплуатацию конструкции.

Вычисления для предельных состояний разделяются на две категории. Первая категория состоит из расчетов несущей способности, которые направлены на предотвращение утраты устойчивости формы или положения конструкции, а также предотвращение ее разрушения, будь то хрупкое, вязкое или какого-либо другого типа. Расчеты для первой категории предельных состояний регулируются имеющимися нормативными документами и не имеют фундаментальных различий для быстрых железных дорог. Вторая категория состоит из расчетов для деформаций, которые устанавливают величины перемещений или деформаций конструкций, при которых не возникают затруднения в нормальной эксплуатации сооружений и не происходит снижение их долговечности.

В СТУ "Москва – Санкт-Петербург" установлены ограничения на уровень эксплуатационной осадки дорожного покрытия, который не должен превышать 20 мм. Это означает, что необходимы методы расчета деформаций, обеспечивающие точность на уровне миллиметров для определения деформационных характеристик земляного полотна. Кроме того, такие методы расчета должны иметь прогнозный характер на весь период эксплуатации.

В настоящей работе рассматриваются способы устройства композитных конструкций со сваями типа CFG диаметром 0,5 м с шагом 1,5 м, песчаными сваями в геотекстильной оболочке диаметром 0,8 м с шагом 2,0 м и Jet-Grouting диаметром 1,2 м с шагом 3,0 м. Значения представлены для рассматриваемого участка длиной 100 м.

Согласно теории композитных материалов, сваи предназначены для переноса практически всей нагрузки отвеса насыпи и подвижного состава на более прочное основание. Композитный фундамент подобной конструкции обладает высокой несущей способностью, так как потеря несущей способности возможна только в случае смещения всей толщи грунта на всю глубину заложения свай, при этом песчаные и грунтоцементные сваи могут быть подвержены деформациям при нагрузке.

При проектировании свайных фундаментов необходимо провести анализ несущей способности грунта основания свай, который определяется в соответствии с СП 24.13330.2021 "Свайные фундаменты".

Несущая способность одиночной сваи определяется исходя из условия:

$$\gamma_n * N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}} \quad (6)$$

Где:

N – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю;

F_d – предельное сопротивление грунта основания одиночной сваи (несущая способность сваи);

γ_n - коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый 1,3;

$\gamma_{c,g}$ - коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным 1,5.

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{R,R} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{R,f} \cdot f_i \cdot h_i) \quad (7)$$

где:

F_d – несущая способность набивной буровой сваи, работающих на сжимающую нагрузку, кН;

γ_c – коэффициент условий работы сваи, принимаемый 0,85;

$\gamma_{R,R}$ – коэффициент надежности по сопротивлению грунта под нижним концом сваи, принимаемый 1,0;

$\gamma_{R,f}$ – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа;

u – периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, кПа.

Расчет несущей способности свай производился в программном обеспечении (ПО) GeoPile 4. Также расчеты были перепроверены арифметически.

Полученные результаты представлены в таблице 12 и рисунках 14,15,16.

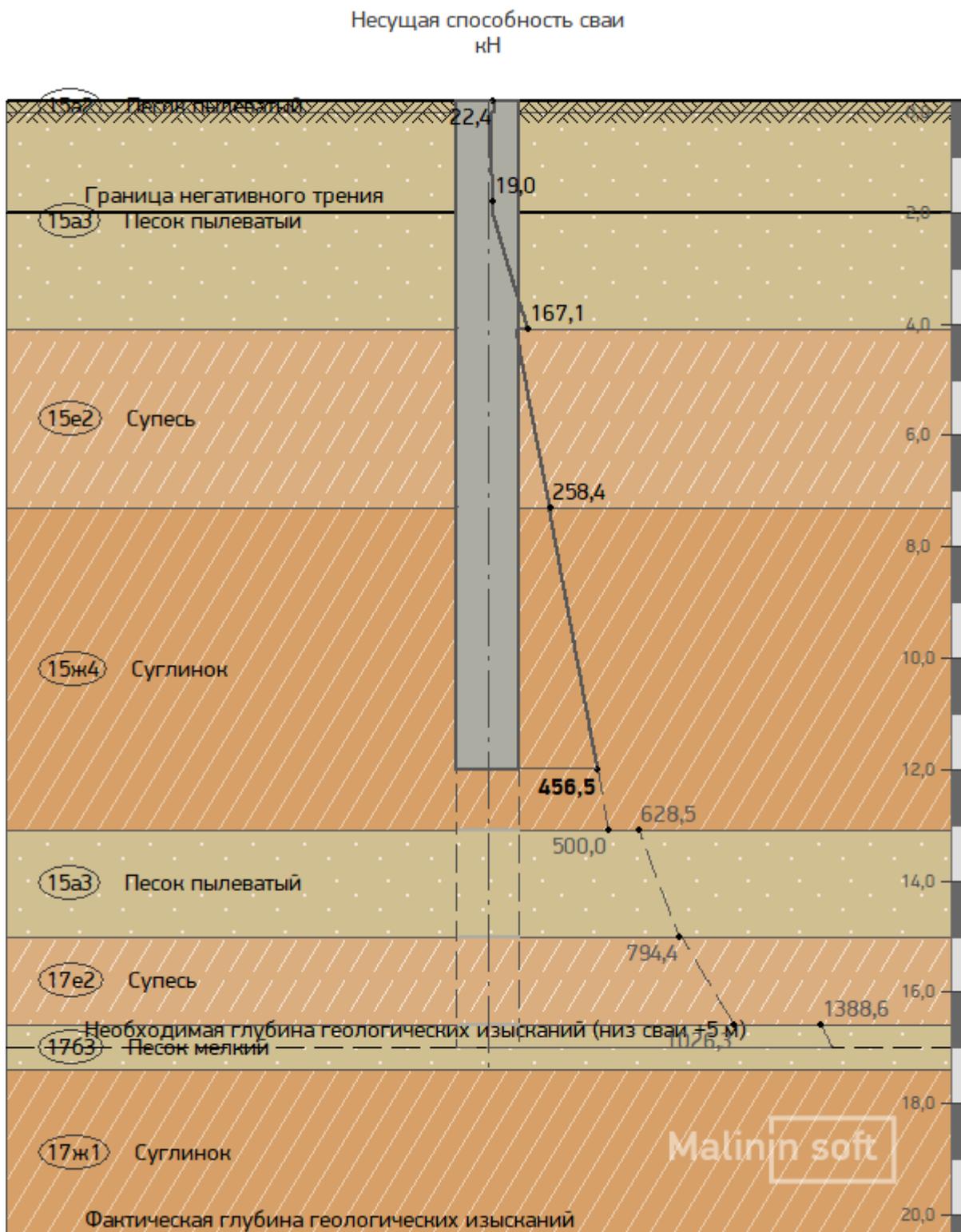


Рисунок 14 – Несущая способность CFG свай

Несущая способность сваи
кН

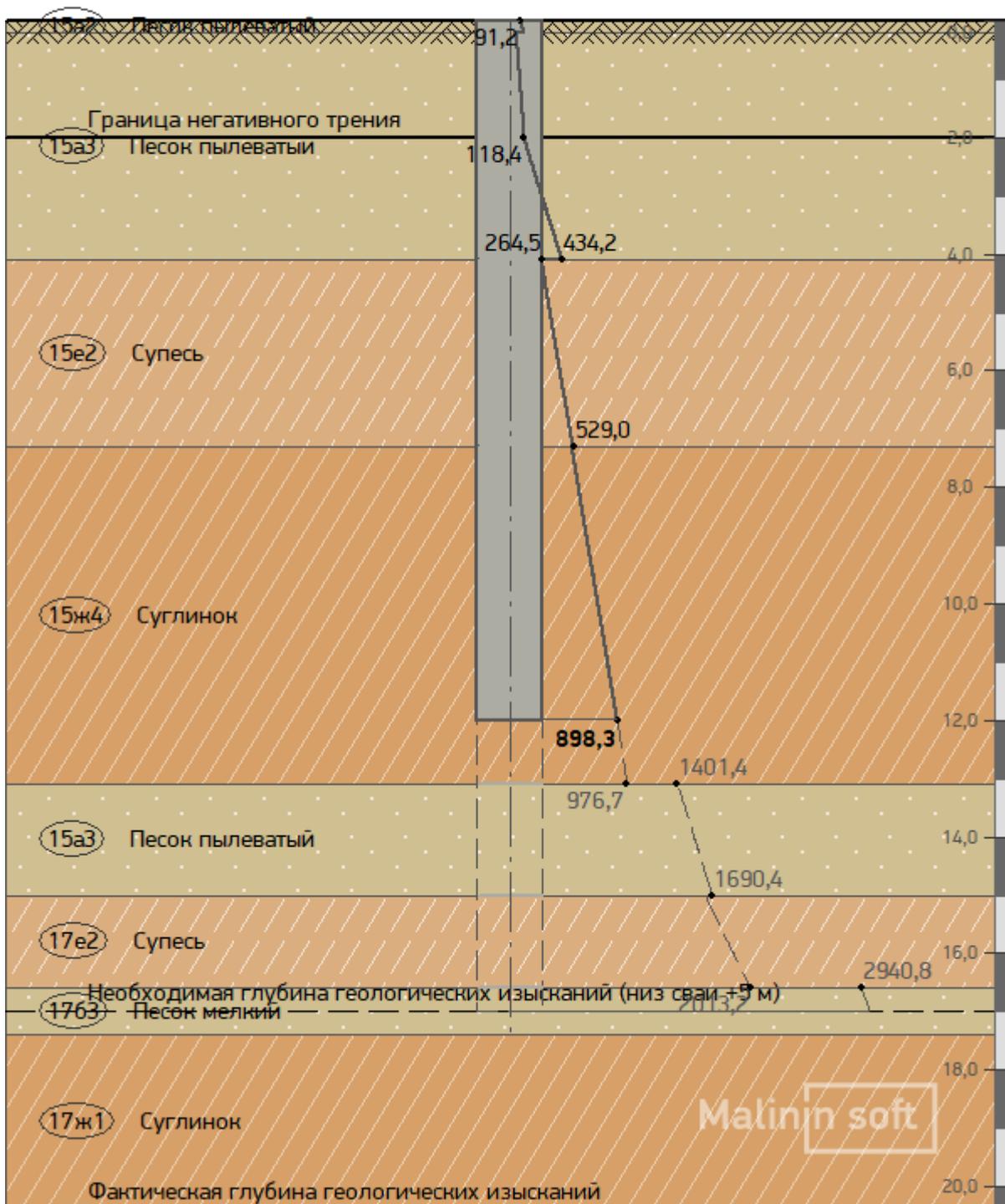


Рисунок 15 – Несущая способность песчаной сваи

Несущая способность свай
кН

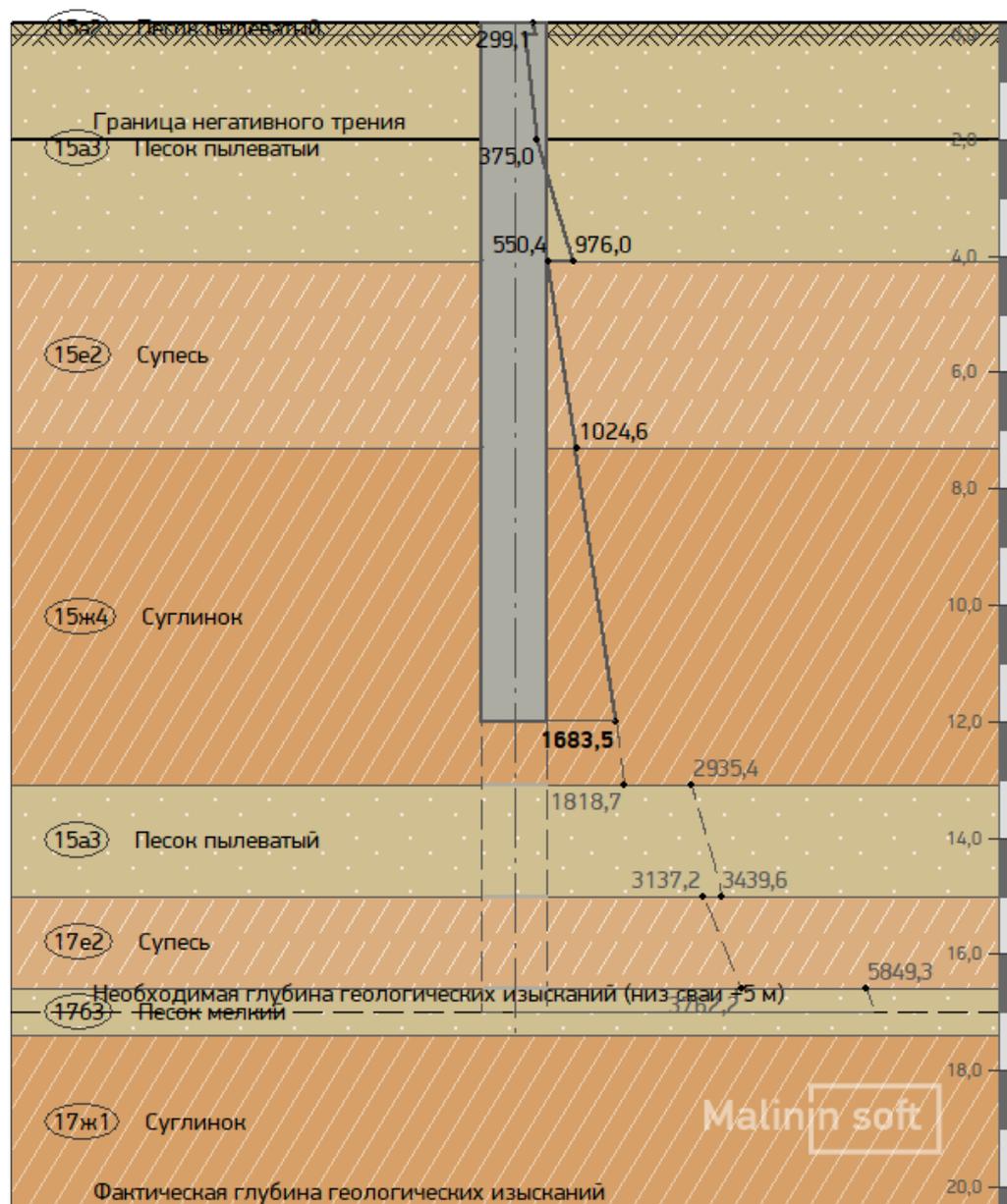


Рисунок 16 – Несущая способность Jet-Grouting свай

Таблица 12 – Результаты расчета несущей способности свай

Тип свай	Диаметр свай, м	Расстояние между осями свай, м	Удельный вес материала свай, кН/м ³	Расчетная нагрузка на сваю, кН	Несущая способность свай, кН	Несущая способность по боковой поверхности свай, кН	Несущая способность под подошвой свай, кН	Сопротивление под подошвой свай, кПа
CFG	0,5	1,5	24,5	296,4	456,5	281,5	175,0	700
ПЕС	0,8	2,0	2,2	583,3	898,3	450,3	448,0	700
JET	1,2	3,0	24,5	1093,2	1683,5	675,5	1008,0	700

Из представленных результатов мы видим, что расчетная нагрузка на сваю меньше несущей способности свай по грунту. Однако требуется сказать, что данная

формула (5) не учитывает прочность материала свай и считается, что свая несжимаемая. Поэтому для более детального расчета и подтверждения применения рассматриваемых мероприятий требуется выполнить расчет и анализ потери устойчивости конструкции.

4.4 Расчетно-прогнозный принцип проектирования земляного полотна

ВСМ на слабом основании по II группе предельных состояний

Для оценки деформаций земляного полотна ВСМ возможно использование разных методик. Например, в КНР применяется методика, основанная на последовательном суммировании слоев с использованием одометрического модуля деформации и компрессионных кривых, при расчете строительной и эксплуатационной осадок.

Метод послойного суммирования используется для расчета деформации земляного полотна с использованием схемы, где полупространство деформируется линейно.

При выборе метода послойного суммирования с использованием модуля деформации E (без учета бокового расширения грунта) были учтены требования российских нормативных документов, включая СП 22.13330.2016.

Уравнение для расчета сжатия i -ого слоя грунта под основанием h выводится из определения одометрического модуля E_{oed} :

$$S_t = \sum \frac{\sigma_{z,i} h_i}{E_{oed,i}} \quad (8)$$

Где:

$\sigma_{z,i}$ – вертикальный компонент увеличивающегося напряжения в середине i -го слоя;

h_i – толщина i -ого слоя;

$E_{oed,i}$ – одометрический модуль i -ого слоя.

Согласно требованиям, установленным в СТУ для высокоскоростных железных дорог, необходимо строго контролировать осадку дорожного полотна, чтобы в пост-строительном периоде она не превышала допустимую осадку. В соответствии со СТУ «Москва-Санкт-Петербург», допустимая осадка дорожного полотна составляет 20 мм. Это требует соблюдения жестких норм для всей дорожной свайной конструкции.

На участке изысканий проведены исследования геологических условий строительства ВСЖМ "Москва – Санкт-Петербург" с целью определения времени консолидации и количества осадки земляного полотна.

Для расчета прогноза осадки фундамента были заданы следующие параметры грунтов таблица 13. (Приложение 5)

Таблица 13 – Физико-механические характеристики грунтов основания

ИГЭ	W, д.е.	IL	Sr, д.е.	E, д.е.	ρ , г/см ³	E, МПа	C, кПа	ϕ , град
15а2	0,147	-	0,67	0,593	1,91	14	3	30
15а3	0,240	-	0,95	0,701	1,96	15	3	29
15е2	0,213	0,57	0,94	0,604	2,01	16	26	20
15ж4	0,250	0,60	0,97	0,707	1,99	10	30	17
15ж5	0,315	0,88	0,98	0,883	1,90	7	20	16
17е2	0,139	0,23	0,97	0,383	2,21	30	34	25
17б3	0,211	-	0,95	0,622	1,99	31	4	35
17ж1	0,128	-0,17	0,97	0,366	2,23	32	103	27
72з1	0,210	-0,36	0,94	0,615	2,07	-	126	19

В программном комплексе GEO5, была смоделирована ситуация, когда слабый грунт был не укреплен (нагрузка только от насыпи). Получены следующие результаты. (Рисунок 17)

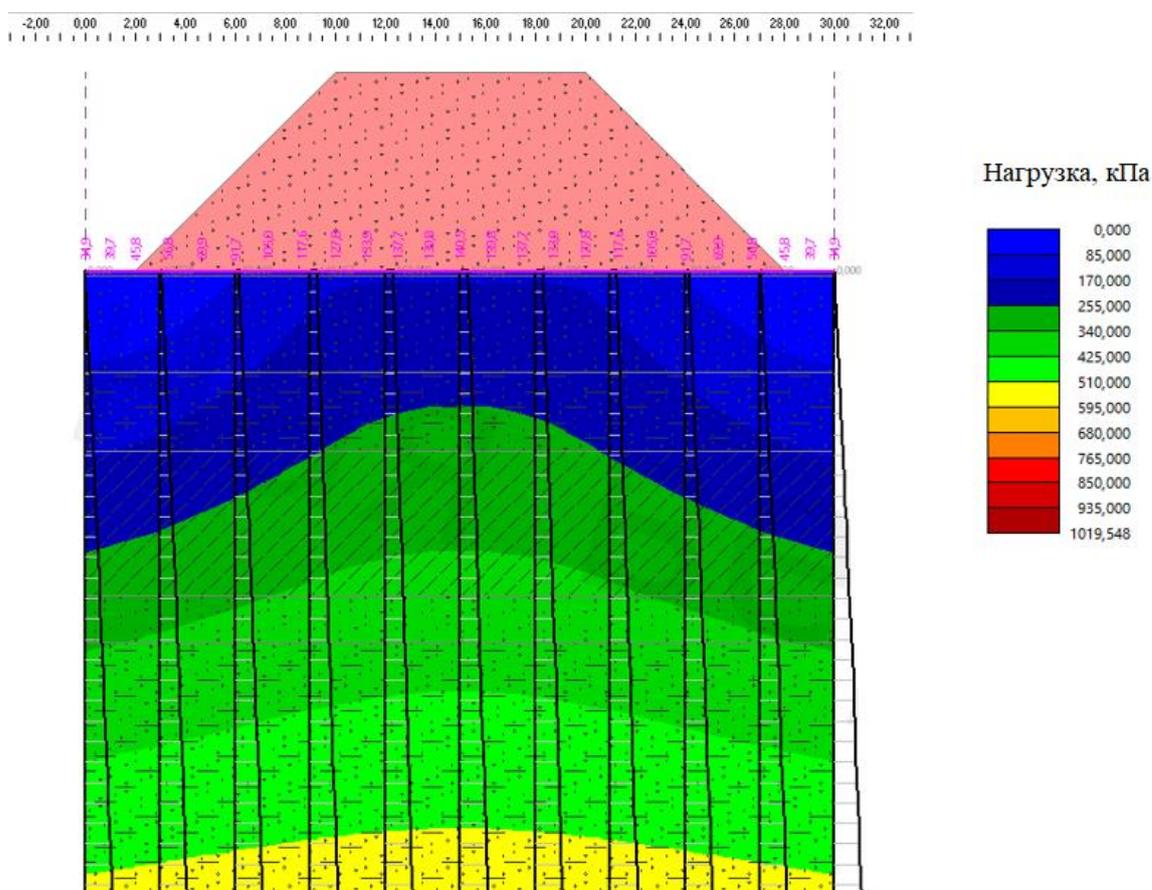


Рисунок 17 – Осадка основания от собственного веса насыпи

Максимальная осадка основания составила 0,146 м (14 см), что не соответствует допустимой норме согласно СТУ ВСЖМ.

Далее была смоделирована ситуация с пригрузом. Учитывалась нагрузка от насыпи, ВСП и поезда. (Рисунок 18)

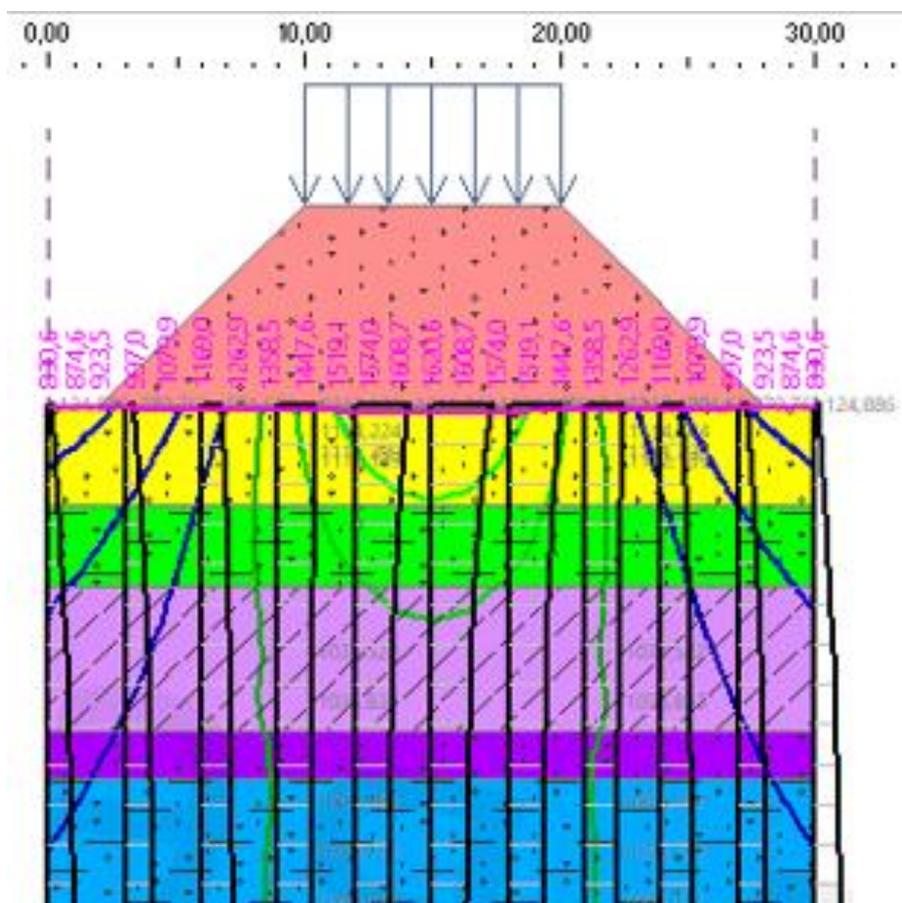


Рисунок 18 – Расчет осадки с пригрузом

Максимальная осадка основания с пригрузом составила 1,624 м, что является недопустимо при возведении ВСЖМ на данном основании без принятия конструктивных решений.

В программном комплексе GeoPlate Lite 4. Были заданы параметры свай, нагрузок и проведен расчет осадки основания фундамента. (Рисунки 19,20,21)

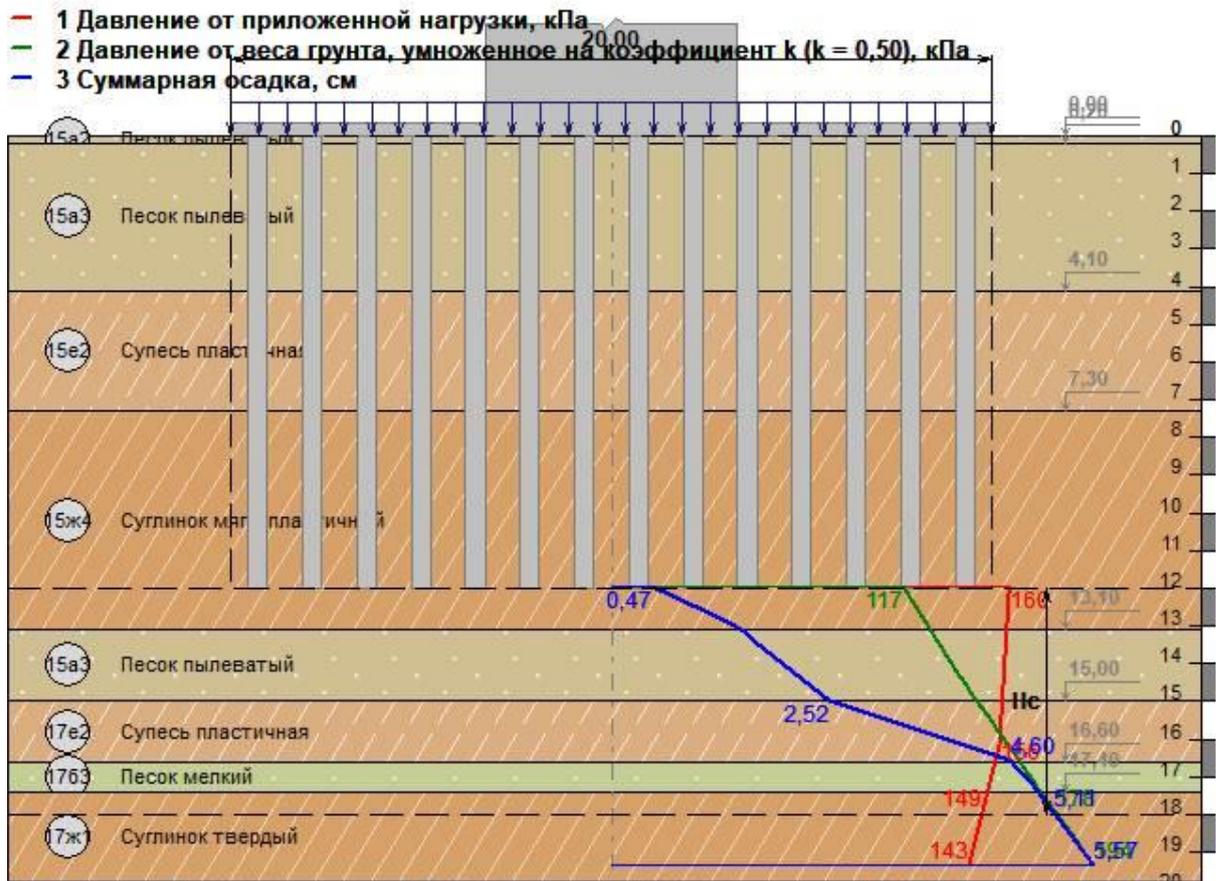


Рисунок 19 – Осадка свайного поля (CFG сваи)

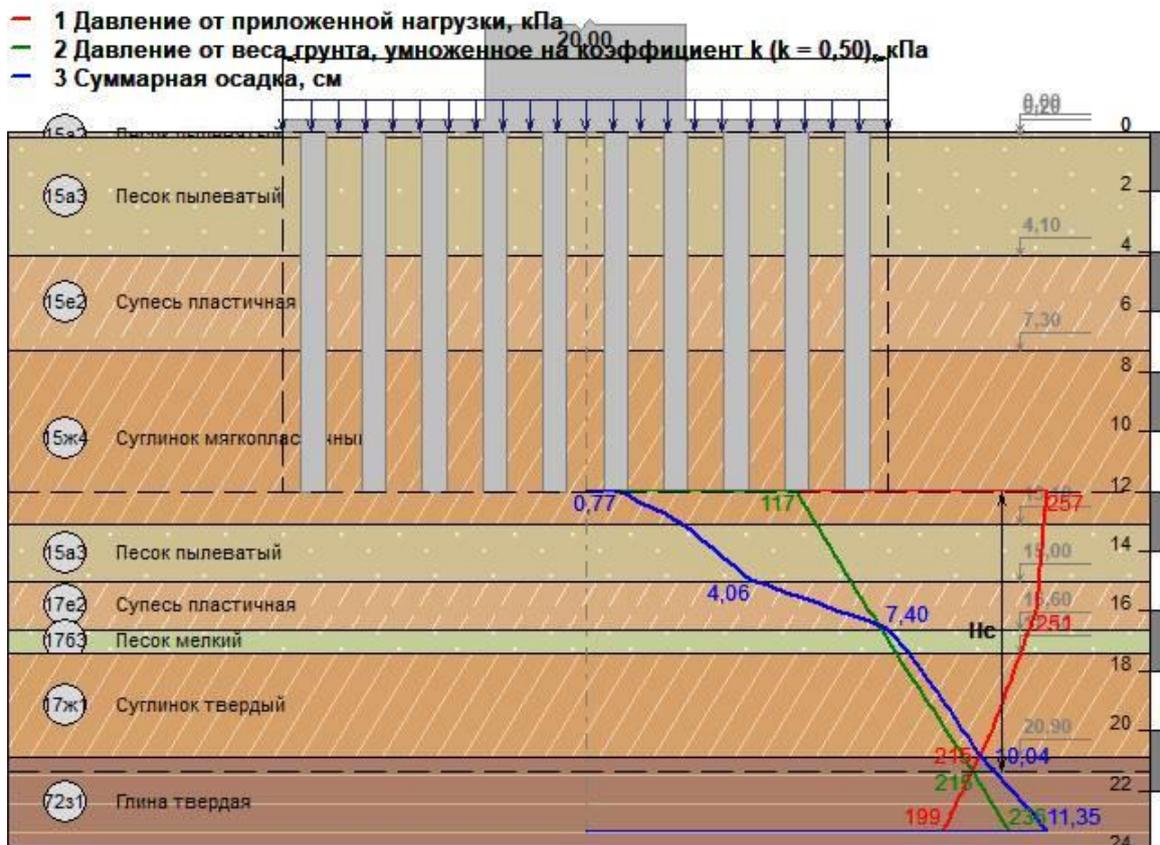


Рисунок 20 – Осадка свайного поля (песчаной сваи)

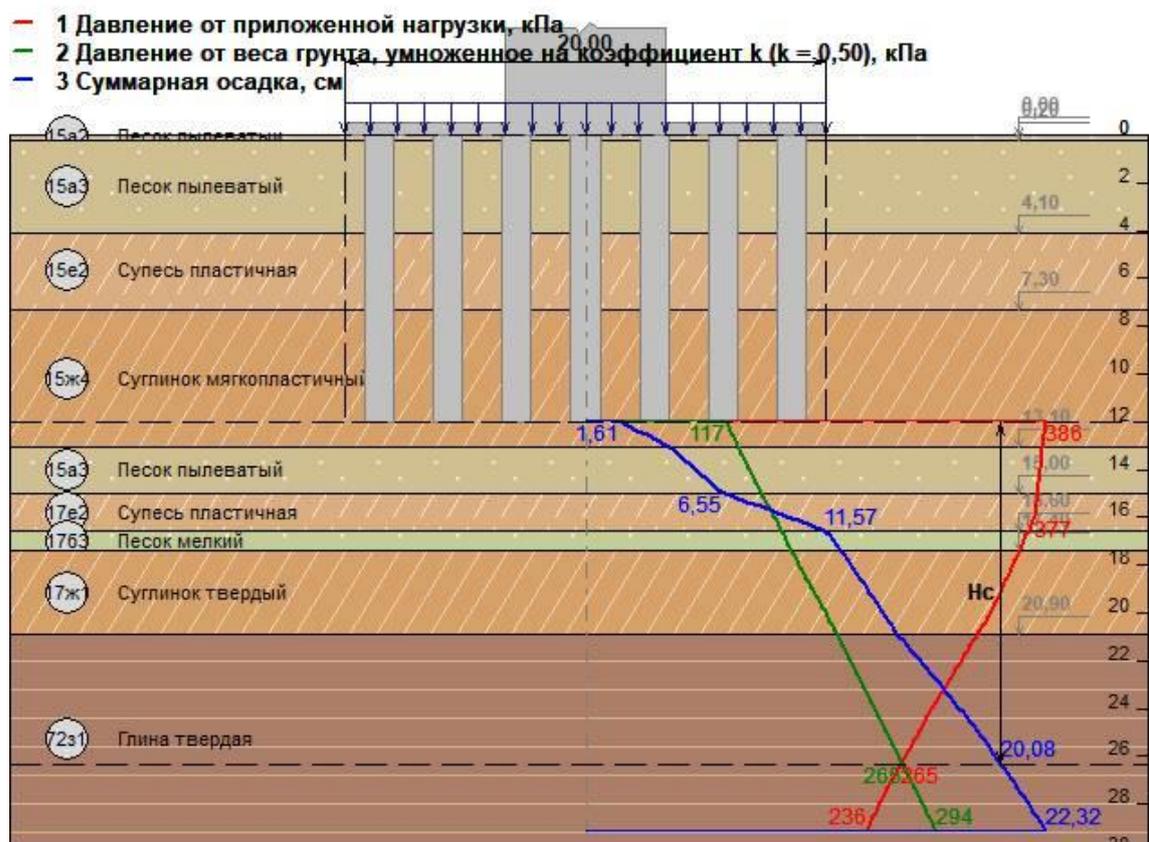


Рисунок 21 – Осадка свайного поля (Jet-Grouting сваи)

Полученные результаты представлены в таблице 14.

Для определения осадок земляного полотна ВСМ иногда недостаточно точности аналитических методов. При строительстве ВСМ и решении подобных задач, проблемы корреляции расчетных данных с реальными деформациями и скоростями консолидации земляного полотна решаются с помощью проведения натуральных испытаний на характерных участках земляного полотна и введения поправочных эмпирических коэффициентов в расчетные формулы.

Проведение подобных экспериментов в процессе разработки проектной документации невозможно. Следовательно, необходимо определить оптимальный способ получения достоверных данных с использованием альтернативных методов. Недавно российскими и международными учеными была произведена оценка соответствия фактических данных, полученных при натуральных испытаниях, и данных, полученных с использованием численного моделирования в программном комплексе Plaxis. Результаты, полученные в ходе компьютерного моделирования с использованием Plaxis, хорошо соответствуют результатам натуральных испытаний, при условии правильного выбора модели поведения грунта и решаемых задач. Поэтому далее будет произведен расчёт консолидации во времени с помощью Plaxis 2D.

Таблица 14 – Результаты расчетов по двум принципам предельных состояний

№п/п	Тип свай	Диам. свай, м	Глубина свай, м	Кол-во свай в фундаменте, шт.	Несущая способность одной свай, кН	Нагрузка от насыпи, ВСП и поезда, кПа	Расчетная нагрузка на сваю, кН	Осадка фундамента, S, см	Глубина ростверка, м	Осадка фундамента с учетом ГВ, см
Насыпь высотой 8 м										
Без усиления										162,4
1	CFG	0,5	12	31	456,5	4,607,4	296,4	5,11	-	-
2	ПЕС	0,8	12	23	898,3		583,3	10,04	-	-
3	JET	1,2	12	16	1 683,5		1 093,2	20,08	-	-
10	CFG	0,5	12	31	456,5	4,607,4	296,4	-	-	5,11
11	ПЕС	0,8	12	23	898,3		583,3	-	-	10,04
12	JET	1,2	12	16	1 683,5		1 093,2	-	-	20,08
13	CFG	0,5	12	31	521,2	4,607,4	338,4	5,21	1	-
14	ПЕС	0,8	12	23	1 009,9		655,7	12,1	1	-
15	JET	1,2	12	16	1 866,8		1 212,2	24,04	1	-
19	CFG	0,5	12	31	521,2	4,607,4	338,4	-	1	5,29
20	ПЕС	0,8	12	23	1 009,9		655,7	-	1	12,19
21	JET	1,2	12	16	1 866,8		1 212,2	-	1	24,16

4.5 Расчет консолидации слабого основания методом МКЭ. Plaxis 2D

Важной задачей при обосновании применяемых конструктивных решений для усиления слабых оснований земляного полотна скоростных магистралей является оценка зависимости прочностных и деформативных характеристик грунта от окончательной величины деформации и времени консолидации слабого основания. Для оценки напряженно-деформированного состояния различных конструкций, используемых для усиления слабого основания, был выбран отрезок трассы ВСМ "Москва - Санкт-Петербург" в качестве объекта.

Если в земляном полотне отсутствуют усилительные элементы, то базовые показатели должны быть рассчитаны таким образом, чтобы не превышать критические значения, необходимые для сохранения целостности земляного полотна.

Для вычисления продолжительности процесса консолидации был применен метод конечных элементов (МКЭ) с построением графиков консолидации, отражающих зависимость уровня уплотнения от времени.

В основу расчетного комплекса «Plaxis 2D» положен метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий выполнять математическое моделирование процессов, протекающих в грунте. Программные средства расчетного комплекса автоматически сопоставляют напряжение с прочностными свойствами грунтов и с помощью определенных процедур обеспечивают соответствие картины напряжений условиям равновесия и заданным свойствам грунта. При решении задач методом конечных элементов массив считается сплошным, то есть, невозможен сдвиг элементов друг относительно друга. Условие сплошности удовлетворяется тем, что элементы в процессе деформирования области не теряют контакта друг с другом в узловых точках. Метод конечных элементов предполагает, что силовые взаимодействия между элементами осуществляются только в узловых точках. Деформирование элемента обусловлено приложением со стороны соседних элементов или внешних воздействий узловых сил, каждая из которых раскладывается на три составляющие вдоль координатных осей. В итоге получается уравнение в матричной форме, связывающее известные внешние силы с неизвестными перемещениями через матрицу жесткости элемента.

После определения узловых перемещений в соответствии с известными соотношениями теории упругости находятся деформации и напряжения. Методика проведения численных экспериментов по геотехническому прогнозу (оценке) влияния строительства определяется следующими ключевыми аспектами:

- геотехнический прогноз осуществляется на основе плоской постановки задачи, система координат задается осями X, Y;
- геометрическая схема расчетной модели строится на основе технической документации участка нового строительства: ситуационного плана, конструктивных решений проектируемых сооружений, инженерно-геологических данных;
- граничные условия задаются путем фиксации боковых границ геометрической модели от горизонтальных, а нижней границы – от горизонтальных и вертикальных перемещений;
- грунтовый массив и все конструкции модели находятся под действием массовых сил, обусловленных гравитацией;
- для моделирования окружающего грунтового массива, используются структурные объекты, называемые «borehole» (буровая скважина), с помощью которых моделируется объём грунтового массива по всей площадке нового строительства;
- поведение грунтов описывается идеально-пластической моделью Мора-Кулона (Mohr-Coulomb), линейно-пластической Hardening Soil, моделью слабого грунта с учетом ползучести Soft Soil Creep;
- для моделирования свай используются структурные элементы, называемые «embedded beam row» (ряд погруженных балок);
- расчетную область грунтового массива, со всеми внесенными в расчетную модель сооружениями, программа разбивает на конечные элементы (расчетные блоки), построение сетки конечных элементов производится автоматически;
- поровое давление воды, характеризующее гидростатические условия, устанавливается в соответствии с уровнями грунтовых вод (УГВ) по результатам инженерно-геологических изысканий;
- начальное напряженное состояние грунтового массива, предшествующее строительству, вычисляется на первой стадии расчета (стадия начальных напряжений);
- устройство свайного основания и насыпи моделируется на второй стадии расчета;
- расчет консолидации производится на третьей стадии расчета при помощи метода Consolidation до достижения значения консолидации в 90%;
- производится процесс вычисления по заданным стадиям;
- вывод данных расчетов осуществляется с помощью программы Plaxis 2D Output, основными выходными величинами расчета методом конечных элементов являются перемещения и напряжения.

4.5.1 Модель грунта **Hardening soil**

Модель упрочняющегося грунта (**Hardening soil**), разработанная на основе теории пластичности, является усовершенствованной моделью Мора-Кулона, предназначенной для моделирования поведения различных типов грунтов, как слабых, так и прочных. В отличие от упругой идеально пластической модели, поверхность текучести модели пластичного упрочняющегося грунта не зафиксирована в пространстве главных напряжений, а может расширяться благодаря пластическому деформированию. Эта модель позволяет учесть два вида упрочнения: упрочнение при сдвиге и упрочнение при сжатии. Упрочнение при сдвиге применяется для моделирования необратимых деформаций, появившихся в результате первичного девиаторного нагружения. Упрочнение при сжатии - для моделирования необратимых пластических деформаций, обусловленных первичным сжатием при одометрическом или изотропном нагружении.

Основной особенностью настоящей модели грунта является зависимость жесткости грунта от напряжений.

Модель упрочняющегося грунта требует введения 7-ми параметров, получаемых экспериментально при инженерно-геологических изысканиях:

- φ – угол внутреннего трения (градусы);
- c – сцепление (кН/м^2);
- Ψ – угол дилатансии (градусы);
- E_{50}^{ref} – секущий модуль жесткости при стандартном испытании грунта на трехосное сжатие при возможности дренирования (кН/м^2);
- $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ – касательный модуль жесткости при первичном одометрическом нагружении (кН/м^2);
- $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ – жесткость при разгрузке/повторной нагрузке ($E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 3.5E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$) (кН/м^2).

4.5.2 Модель грунта **Soft soil creep**

Модель упрочняющегося грунта (**Hardening Soil**) и модель слабого грунта (**Soft Soil**) могут быть использованы для моделирования поведения сжимаемых слабых грунтов, но ни одна из этих моделей не годится для учета ползучести (вторичной консолидации) грунтов. Все типы грунтов обладают определенной ползучестью, т. е. после первичного сжатия всегда следует вторичное уплотнение. Если предположить, что

вторичная консолидация (длящаяся, например, 10–30 лет) составляет определенный процент от величины первичного сжатия, ясно, что явление ползучести требует учета в тех задачах, которые сопряжены со значительным первичным сжатием грунта. Это, например, имеет место при строительстве насыпей на слабых грунтах. В самом деле, за большой первичной осадкой фундаментов и насыпей обычно следует значительная вторичная осадка, обусловленная ползучестью грунта и протекающая в течение ряда лет. В таких случаях желательно оценить степень ползучести с помощью расчета методом конечных элементов.

Фундаменты могут быть также заложены на изначально переуплотненных грунтах, дающих относительно небольшую первичную осадку. Со временем грунты могут перейти в состояние нормального уплотнения, после чего может развиваться явление ползучести. Эта ситуация достаточно опасна, так как вначале ничто не указывает на возможность значительной вторичной консолидации. В подобных случаях также желательно провести расчеты с использованием модели ползучести.

Vuisman (1936) возможно был первым, предложивший закон ползучести для глин после того, как его наблюдения показали, что осадка слабых грунтов не может быть до конца объяснена классической теорией консолидации. Его исследования в области одномерной вторичной консолидации были продолжены другими исследователями, среди которых можно указать Vjerrum (1967), Garlanger (1972), Mesri & Godlewski (1977) и Leroueil (1977). Математические исследования процесса ползучести были продолжены, например, Sekiguchi (1977), Adachi и Oka (1982) и Borja & Kavazanjian (1985). Трехмерное математическое моделирование ползучести в значительной степени определялось результатами одномерного моделирования, однако между этими двумя подходами существуют и противоречия.

Трехмерная ползучесть должна являться прямым продолжением одномерной ползучести, однако этому препятствует тот факт, что существующие одномерные модели не выражены в виде дифференциальных уравнений. Для представления модели ползучести слабых грунтов мы сначала выполним одномерное моделирование, преобразовав одномерную модель в дифференциальную форму. На основе полученного дифференциального уравнения был сделан переход к трехмерной модели. В настоящей главе дается полное описание вывода уравнений для модели ползучести грунтов. Кроме того, уделено особое внимание модельным параметрам и проведена проверка трехмерной модели путем сравнения с результатами испытаний на трехосное сжатие. Особое внимание здесь уделено трехосным испытаниям при постоянной скорости деформации и испытаниям на ползучесть при недренированном трехосном сжатии.

Различные способы применения модели рассмотрены в работах (Vermeer, Stolle, Bonnier, 1998; Neher, Vermeer, 1998; Brinkgreve, 2004).

Основные характеристики модели ползучести слабого грунта включают в себя:

- Зависимость жесткости от напряжений (логарифмическое сжатие);
- Различие между первичным нагружением и разгрузкой/повторным нагружением;
- Вторичная (зависящая от времени) консолидация;
- Выдерживание напряжения предварительного уплотнения;
- Разрушение в соответствии с критерием Мора-Кулона.

4.5.3 Исходные данные для расчета

Расчет производился для насыпи размерами 35 м (ширина подошвы); 8 м (высота насыпи); 14 м (ширина верхней части).

Насыпь смоделирована при помощи грунтовых кластеров. Суммарная нагрузка от насыпи составляет 4607,4 кН/м.

В качестве грунтов насыпи использовались грунты со следующими характеристиками (таблица 15).

Таблица 15 - Характеристики грунтов насыпи

№ п/п	Наименование	γ_{unsat}	γ_{sat}	Кф	Е, кН/м ¹	ν	С, кН/м ²	ϕ , град.	e
1	Насыпной грунт, песок средней крупности (НАСЫПЬ)	17,64	18,44	50	50	0,3	3	40	0,98
2	Насыпной грунт, песок средней крупности (ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ №2)	17,62	18,31	50	80	0,3	3	40	1,0
3	Насыпной грунт, ЩПГС(ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ №2)	18,62	18,62	80	120	0,3	2	43	1,0

Грунты основания представлены 8-ю инженерно-геологическими элементами.

№ п/п	ИГЭ	Наименование	Модель	γ_{unsat}	γ_{sat}	Е ₅₀ , кН/м ¹	Е _{оed} , кН/м ¹	Е _{ur} , кН/м ¹	λ^*	к*	μ^*	С, кН/м ²	ϕ , гр.
1	15a2	Песок пылеватый, средней плотности, желтый влажный	SSc	18,44	19,80	-	-	-	0,009	0,003	0,011	5	32
2	15a3	Песок пылеватый, средней плотности, желтый	SSc	18,93	19,39	-	-	-	0,009	0,003	0,011	3	28

		водонасыщенный											
3	15е2	Супесь пластичная, пылеватая	SSc	19,33	19,70	-	-	-	0,014	0,014	0,08	14	25
4	15ж4	Суглинок мягкопластичный	SSc	19,13	19,45	-	-	-	0,015	0,008	0,044	23	18
5	17б3	Песок мелкий, средней плотности	HS	19,52	19,82	30	31	93	-	-	-	3	33
6	17е2	Супесь пластичная, песчанистая	MC	21,58	21,72	-	30	-	-	-	-	34	25
7	17ж1	Суглинок твердый легкий	MC	21,68	21,90	-	32	-	-	-	-	73	26
8	72з1	Глина твердая, легкая	MC	19,91	20,27	-	34	-	-	-	-	125	20

В качестве вариантов укрепления насыпи использовались:

1. CFG-бурунабивные сваи диаметром 0,5 м с шагом 1,5 м (31 свая);
2. Песчаные сваи-дрены диаметром 0,8 м с шагом 2,0 м (23 сваи);
3. Сваи Jet-grouting диаметром 1,2 м с шагом 3,0 м (16 свай).

Глубина погружения свай – 12 метров.

На основании исходных данных, а также данных по инженерно-геологическим изысканиям, была составлена одна геометрическая схема расчетной модели в двухмерной постановке.

Геометрическая схема расчетной модели в плоской постановке представляет собой расчетную область – прямоугольник. Весь прямоугольник разбит на определенные слои исходя из инженерно-геологических условий.

На рисунке 22 представлена схема расчетной модели.

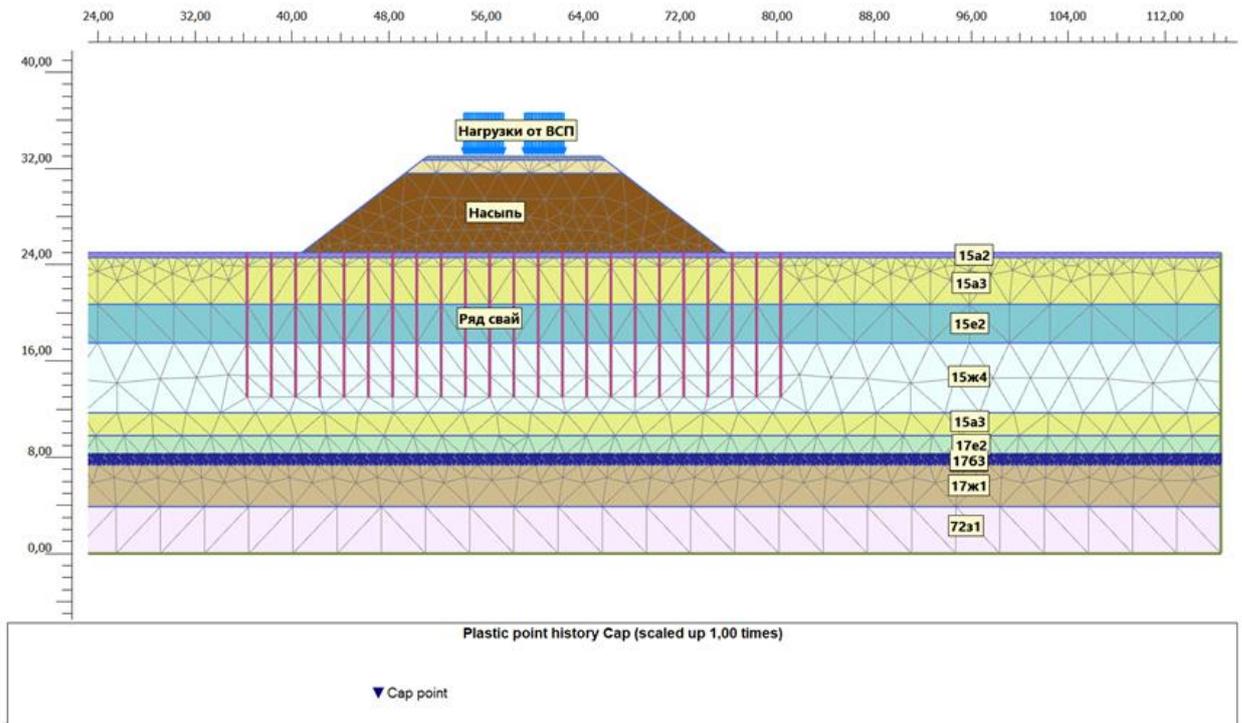


Рисунок 22 –Схема расчетной модели

На рисунке 23 представлена ситуация, смоделированная в программном комплексе Plaxis 2D, когда основание земляного полотна спроектировано без укрепления. После приложения нагрузки максимальные полные перемещения грунтового массива составили 523,2 мм, что многократно превышает максимально допустимые перемещения. В результате консолидации максимальные перемещения составили 879,4 мм (время до полной консолидации 200 суток). (Рисунок 24)

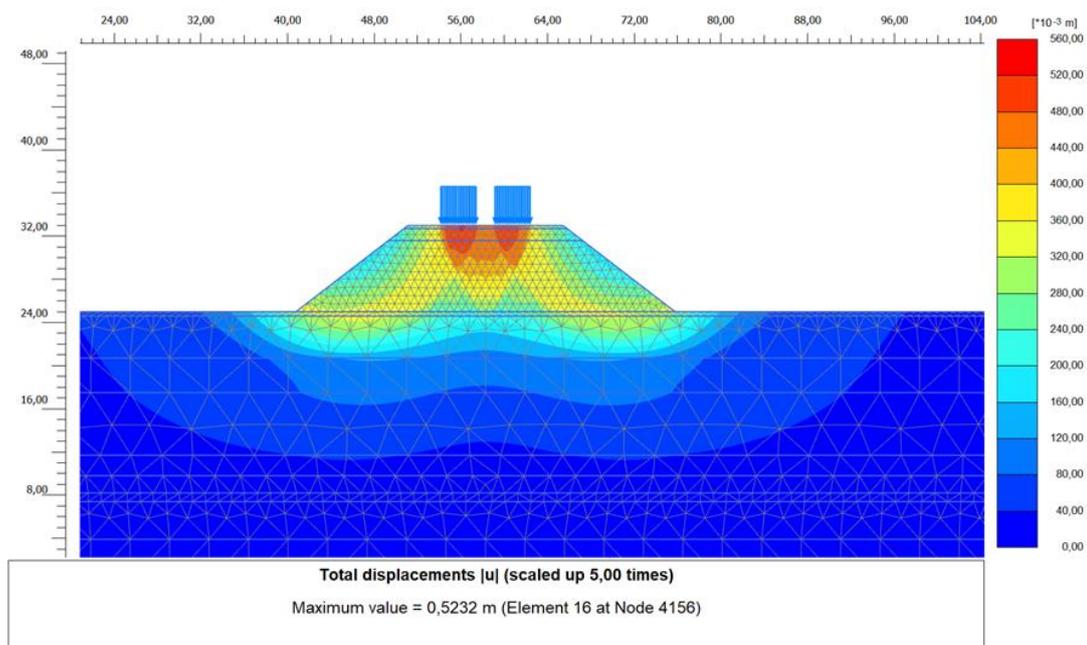


Рисунок 23 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после устройства насыпи

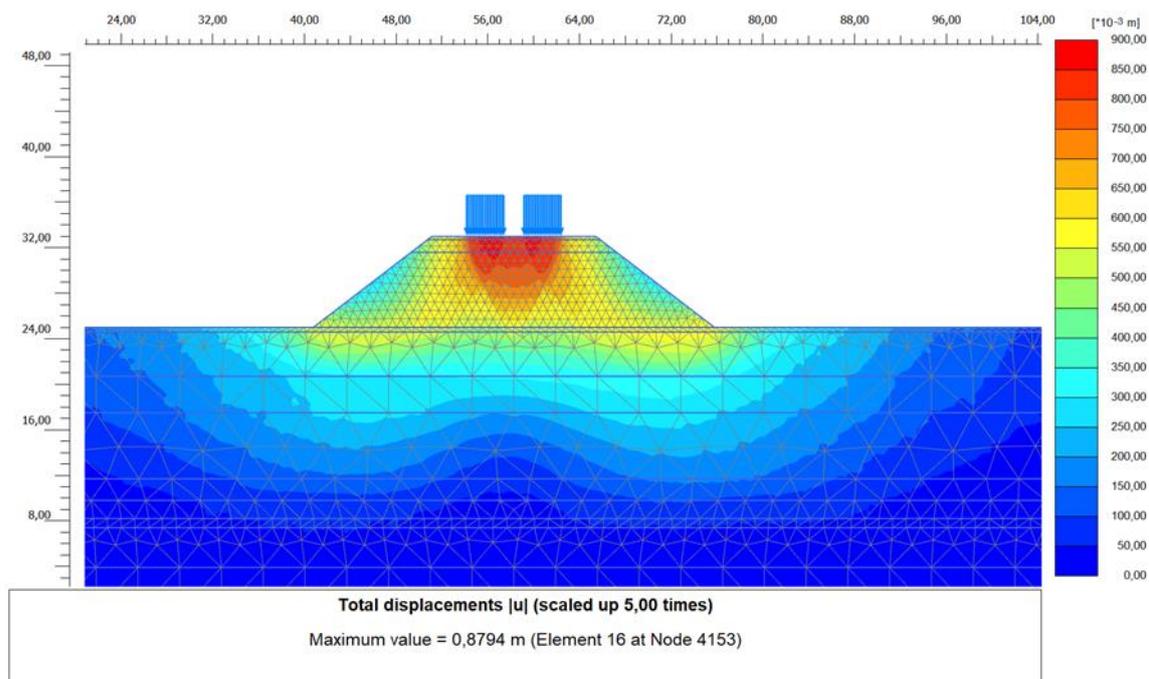


Рисунок 24 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива в результате консолидации

Проведенный анализ показал, что прогнозы, основанные на вычислительном эксперименте по разрушению земляного полотна без усиления (см. рисунок 23), могут иметь место в реальности при заданных геометрических параметрах насыпей. Это подтверждает законность использования программы Plaxis 2D для расчета осадок земляного полотна. Таким образом, расчетные данные без усиления указывают на необходимость применения конструктивных усовершенствований земляного полотна.

4.5.4 Расчет консолидации после укрепления основания буронабивными сваями CFG

Для моделирования свай использовался элемент `embedded beam row`, с типом `massive circular beam`, диаметром 500 мм, модулем упругости 32500 кН/м^2 и удельным весом 25 кН/м^3 .

После погружения свай максимальные полные перемещения грунтового массива составили 6,41 мм (рисунок 25), после приложения нагрузки – 43,89 мм (рисунок 26), а в результате консолидации – 161,4 мм (за 133 суток). (Рисунок 27)

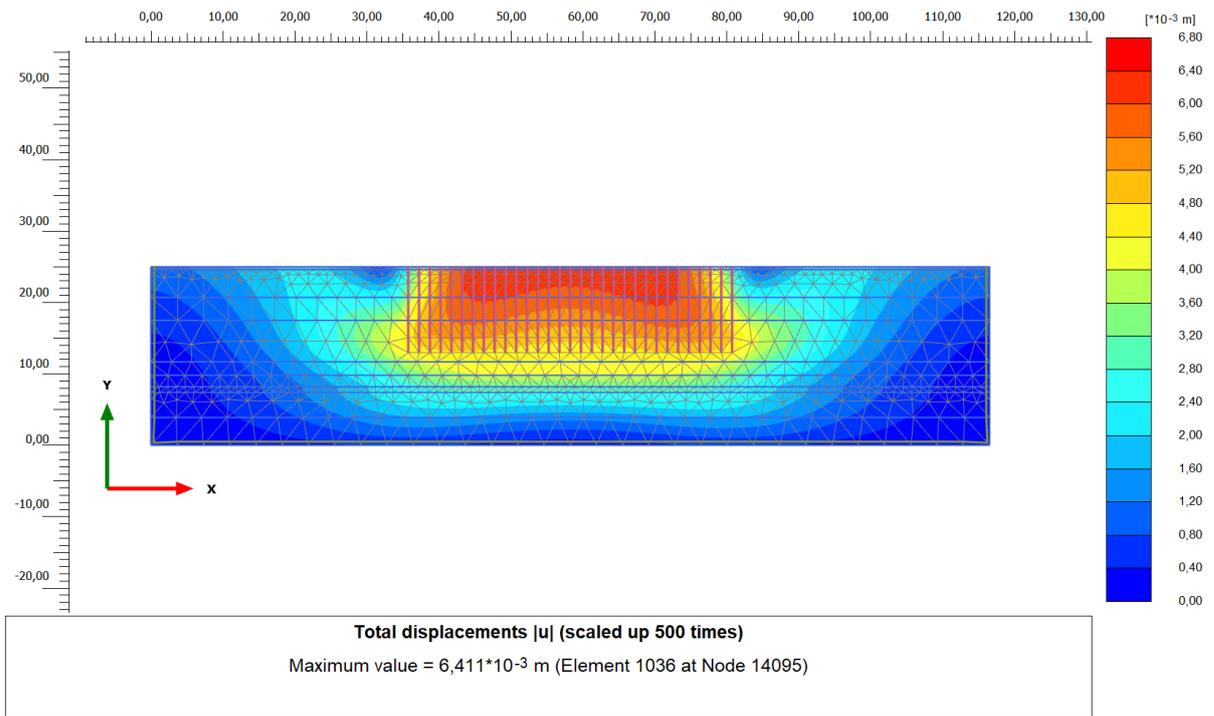


Рисунок 25 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после погружения CFG-свай

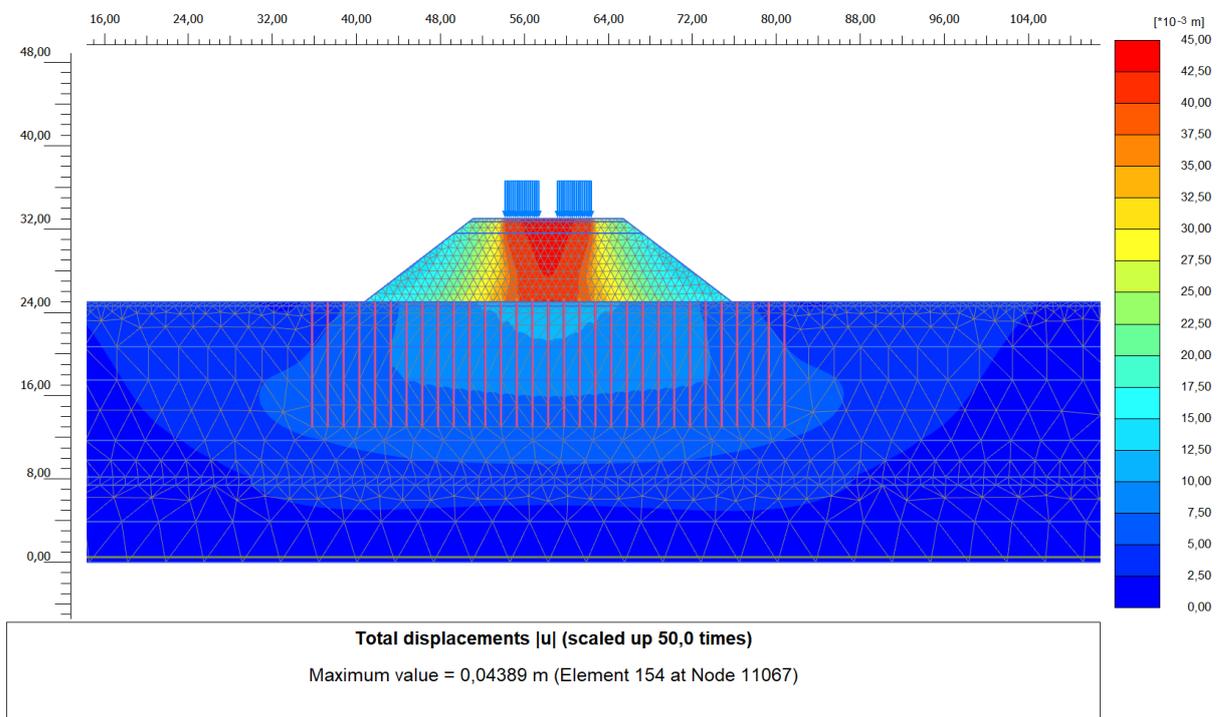


Рисунок 26 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после устройства насыпи

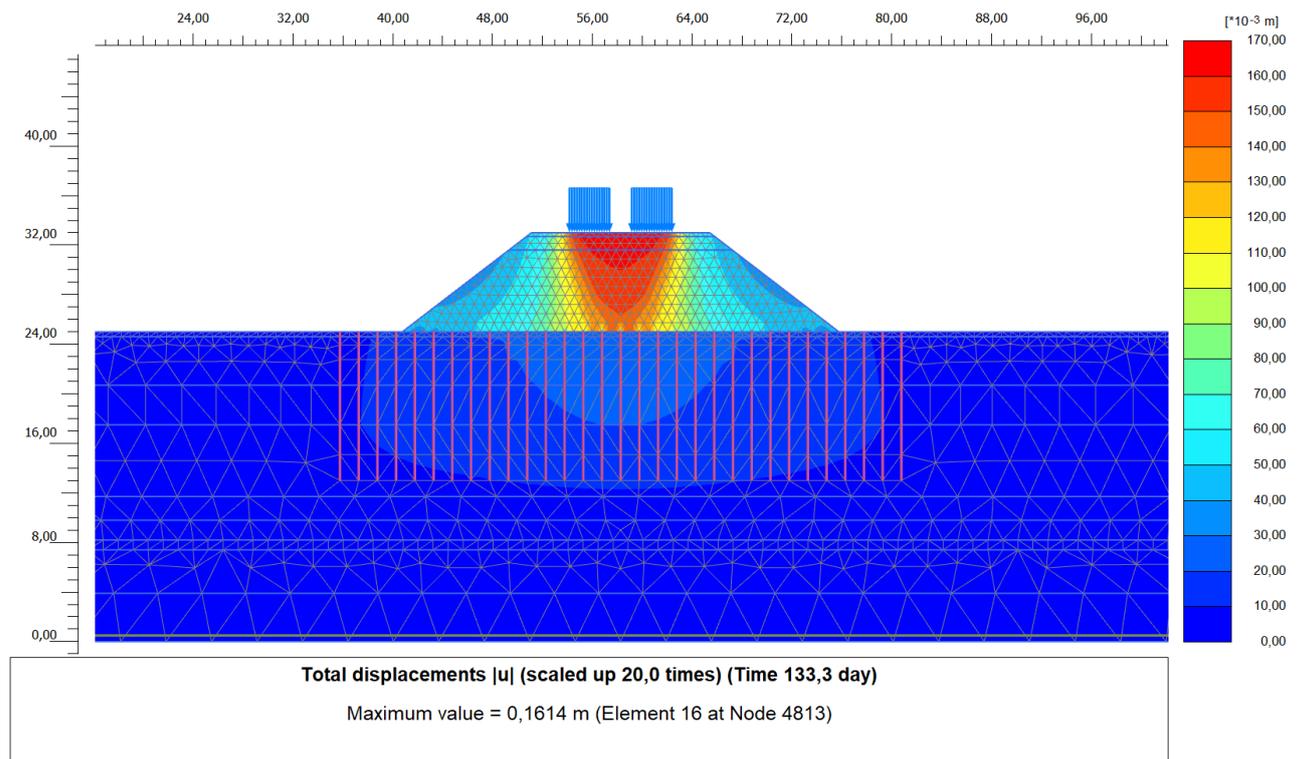


Рисунок 27 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива в результате консолидации

4.5.5 Расчет консолидации после укрепления основания песчаными сваями

Для моделирования свай использовался элемент `embedded beam row`, с типом `massive circular beam`, диаметром 800 мм, модулем упругости 40000 кН/м^2 и удельным весом 18 кН/м^3 .

После погружения свай максимальные полные перемещения грунтового массива составили 12,47 мм (рисунок 28), после приложения нагрузки – 45,26 мм (рисунок 29), а в результате консолидации – 178,1 мм (за 250 суток). (Рисунок 30)

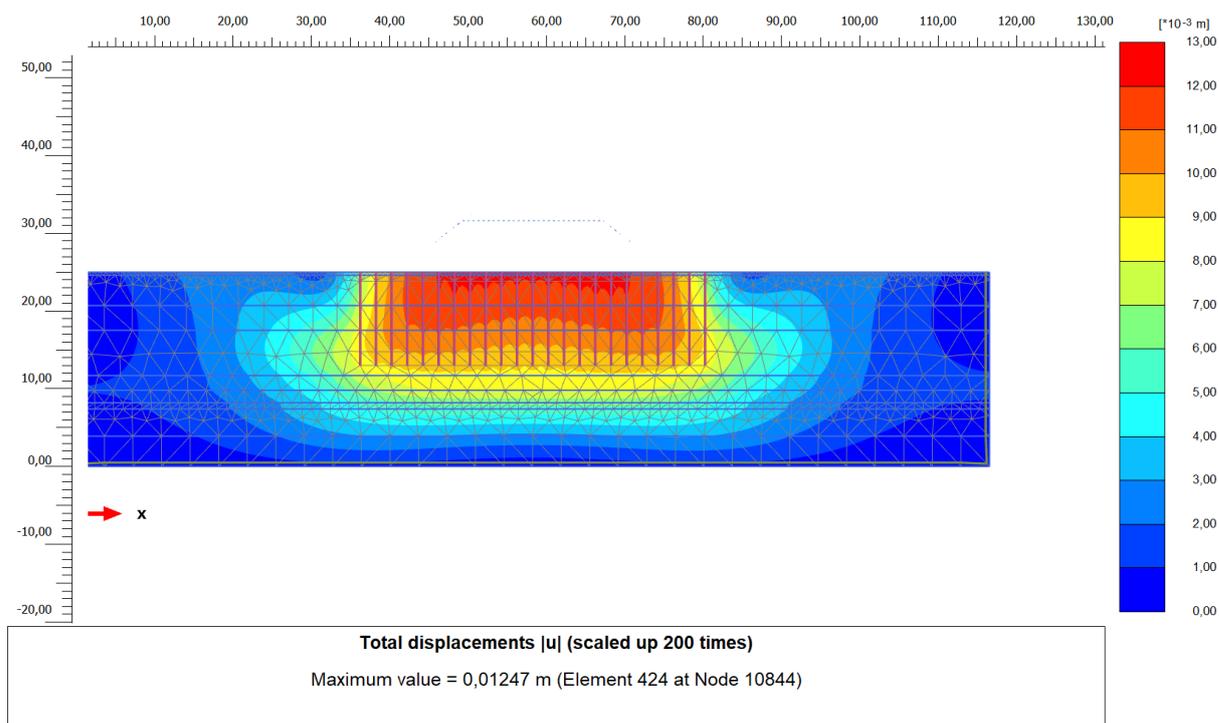


Рисунок 28 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после погружения песчаных свай-дрен

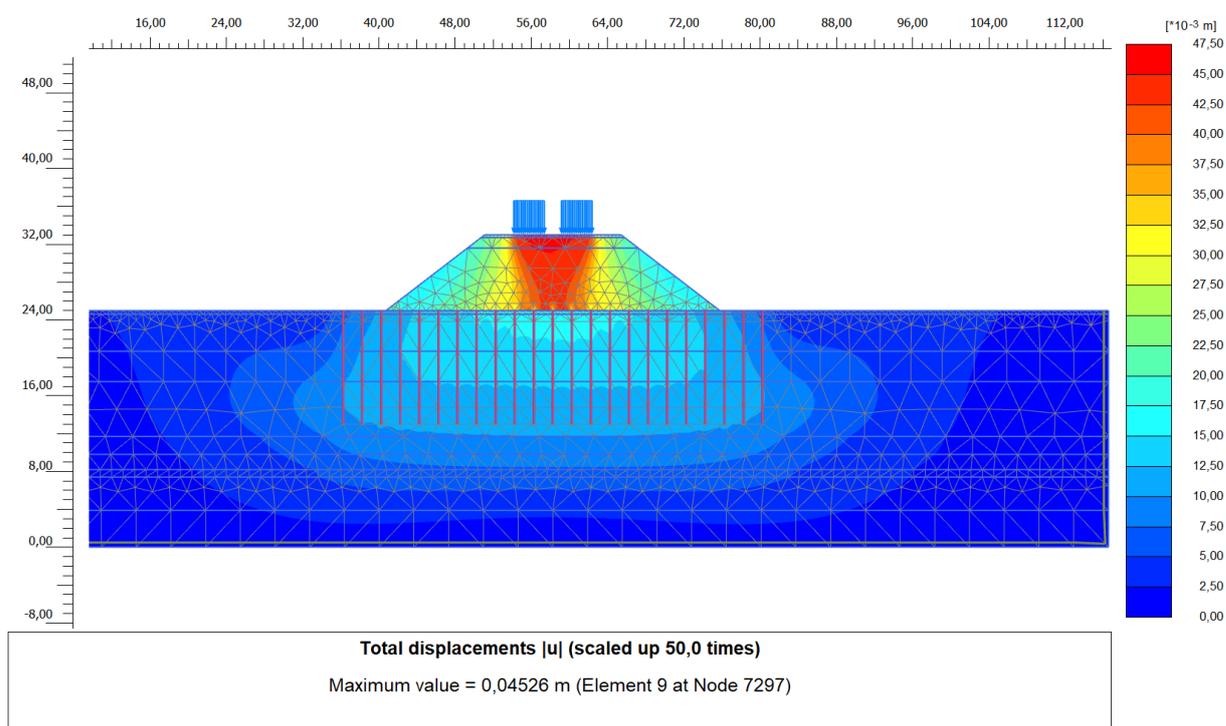


Рисунок 29 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после устройства насыпи

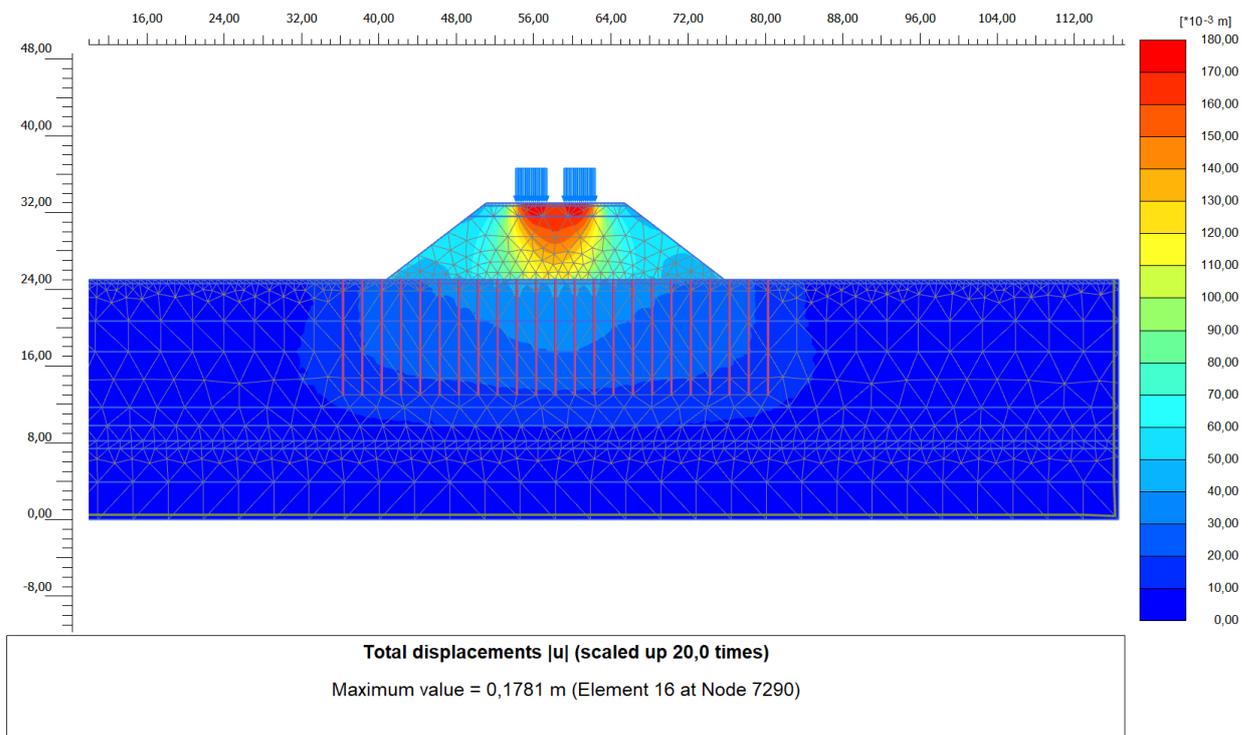


Рисунок 30 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива в результате консолидации

4.5.6 Расчет консолидации после укрепления основания сваями Jet-Grouting

Для моделирования свай использовался элемент `embedded beam row`, с типом `massive circular beam`, диаметром 1200 мм, модулем упругости 32000 кН/м^2 и удельным весом 20 кН/м^3 .

После погружения свай максимальные полные перемещения грунтового массива составили 11,56 мм (рисунок 31), после приложения нагрузки – 36,48 мм (рисунок 32), а в результате консолидации – 160,8 мм (за 147 суток). (Рисунок 33)

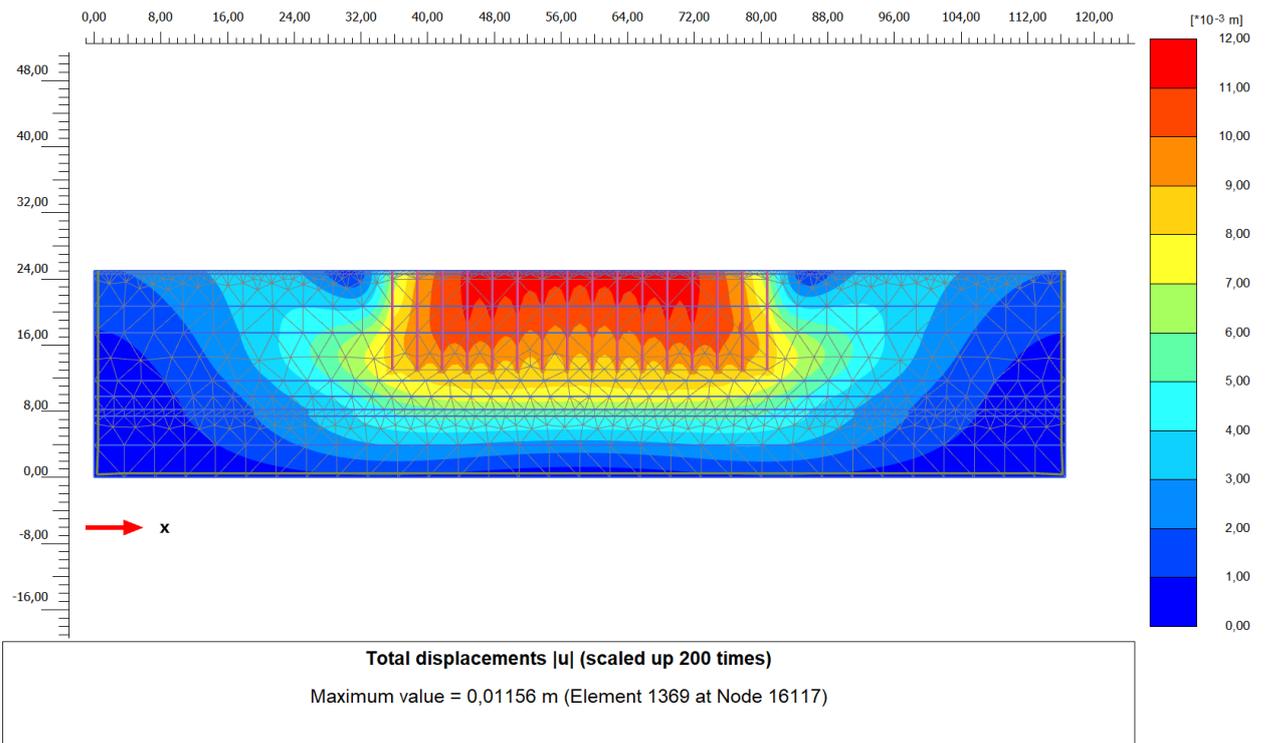


Рисунок 31 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после погружения ЖЕТ

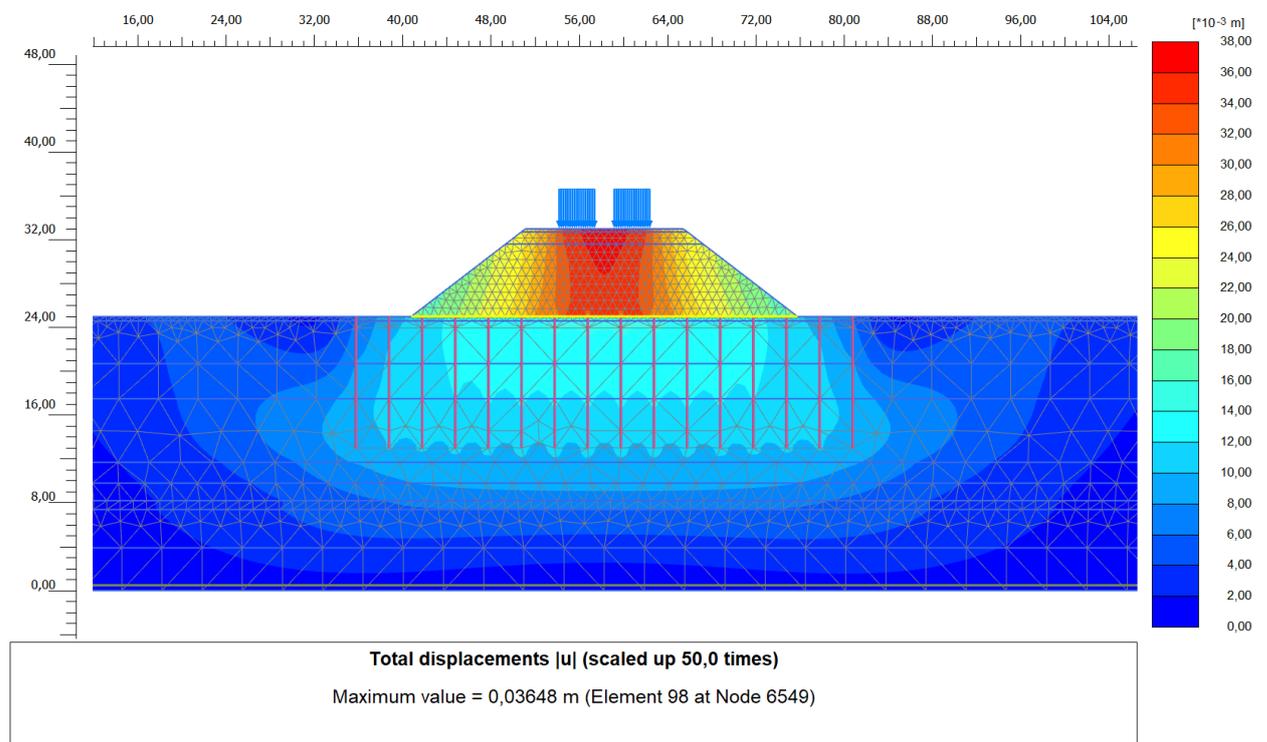


Рисунок 32 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива после устройства насыпи

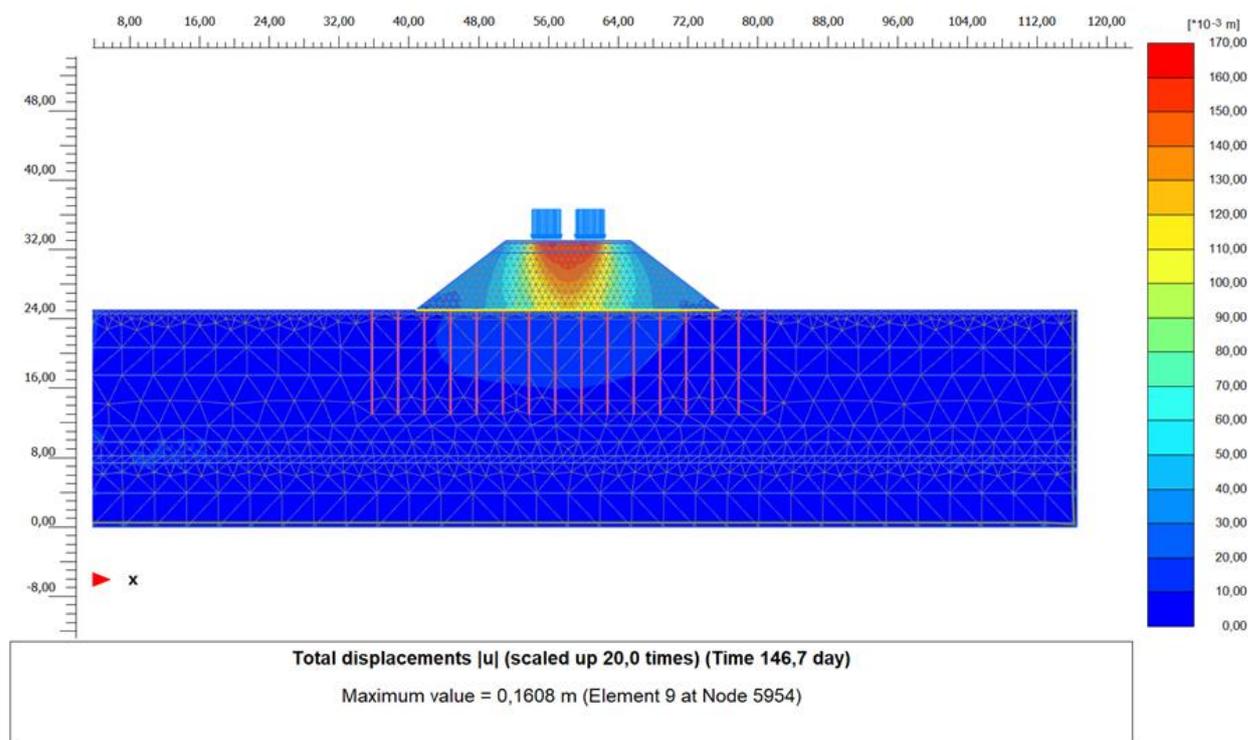


Рисунок 33 - Изолинии максимальных полных перемещений грунтового массива в результате консолидации

4.6 Результаты расчета консолидации методом конечных элементов и расчета по II группе предельных состояний и выводы

Результаты расчета приведены в таблице 16.

Таблица 16 - Результаты расчета методом конечных элементов

Тип укрепления	Максимальные полные перемещения, мм			Время до полной консолидации, сут.
	После погружения	После применения нагрузки	После консолидации	
Без укрепления	-	523,2	879,4	200
CFG сваи	6,41	43,89	161,4	133
Песчаные сваи-дрены	12,47	45,26	178,1	250
Jet-сваи	11,56	36,48	160,8	147

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Основными требованиями безопасности для земляного полотна на скоростных и высокоскоростных магистралях с непрочными основаниями являются обеспечение заданного уровня стабильности и устойчивости, а также ограничение скорости и темпа консолидации слабых грунтов с учетом динамики нагрузок при быстром движении поездов.

2. Для участка строительства Москва-Санкт-Петербург концепция укрепления слабых оснований земляного полотна ВСМ с использованием композитных конструкций вполне применима. Для этой цели используются буронабивные сваи CFG, песчаные сваи в геотекстильной оболочке и сваи типа Jet-Grouting с гибким ростверком. Эти конструкции обеспечивают необходимую степень устойчивости в условиях повышенной влажности глинистых грунтов.

3. При отсутствии усиления, для насыпей с неукрепленным основанием, эксплуатационная осадка земляного полотна превышает установленную норму в 20 мм.

4. Для создания земляного полотна ВСМ с заданными деформационными характеристиками на естественном основании необходимо учитывать ограничения, такие как максимальная высота насыпи до 8 м и отсутствие грунтов с модулем деформации менее 10 МПа в пределах сжимаемой толщи.

5. Если земляное полотно устраивается на композитном слабом грунте с прочностью менее 10 МПа, высота насыпи 8 м без укрепления, то предполагаемая величина осадки – 164 см (расчет по II группе предельных состояний); МКЭ – 88 см.

6. Земляное полотно с укреплением грунта с $E = 7\text{--}20$ МПа сваями имеет расчетную осадку от 50 до 200 мм. Сваи CFG – 51 мм; песчаные сваи – 100 мм; сваи JET – 200 мм. (расчет по II группе предельных состояний) Расчет осадки методом МКЭ: сваи CFG – 161 мм; песчаные сваи – 178 мм; сваи JET – 161 мм.

7. Расчет осадки фундамента с учетом грунтовых вод показал, что подземные воды влияют на осадку возведенной конструкции. Осадка свайного фундамента CFG сваями увеличивается с 51 мм до 53 мм (увеличение не значительное), песчаные сваи – с 100 мм до 120 мм (увеличение на 2 см), сваи JET – с 200 мм до 242 мм (увеличение осадки на 4,2 см).

8. Минимальную осадку после строительства показывают сваи, возведенные способом Jet-grouting. В то же время, после консолидации грунта, осадки грунтового массива при возведении таких свай соизмеримы со случаем, когда в качестве укрепления выступают буронабивные сваи. При этом, окончание консолидации буронабивных свай наступает раньше на 14 дней.

9. На основе проведенных вычислений была определена зона эффективного использования композитных конструкций основания с сваями типа CFG для участков дорог без балластного верхнего слоя, которые обеспечивают достаточно низкий уровень остаточной деформации в процессе эксплуатации.

10. Для создания верхнего строения железнодорожного пути на балластном основании можно успешно использовать песчаные сваи и сваи Jet-Grouting в составе композитных конструкций земляного полотна ВСМ.

11. Результаты численного моделирования подтверждают, что для обеспечения прочного взаимодействия между грунтами основания и сваями необходимо консолидировать слабые грунты в межсвайном пространстве. Кроме того, даже при использовании композитных конструкций для усиления слабых оснований, необходимо выдержать насыпи до установки верхнего строения пути.

12. Необходимо учитывать, что большая часть осадки происходит до начала эксплуатации. Несмотря на то, что консолидация в глинах может продолжаться даже в течение 100 лет, около 30-40% полной осадки происходит до начала эксплуатации. Учет реального значения осадок на строительной стадии может снизить объемы работ и затраты на сооружение фундаментов опор.

Заключение

В ходе данной научно-исследовательской работы изучались инженерно-геологические условия участка, где планируется строительство высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) "Москва-Санкт-Петербург".

Данный участок трассы для ВСМ проходит через Новгородскую область.

Была проведена оценка структуры геологического и гидрогеологического разрезов Новгородской области. Также была представлена оценка инженерно-геологических условий участка, на котором будет проходить трасса.

Исследование грунтовых оснований является важной составляющей проектирования сооружений. Полученные результаты инженерно-геологических изысканий показали, что подстилающие грунты для земляного полотна насыпи и выемки представлены дисперсными грунтами различных видов, включая: суглинки, супеси, глины и пески. В то же время, на участках трассы широко распространены специфические грунты, которые являются современными биогенными отложениями. Также были выявлены места распространения слабых грунтов с модулем деформации меньше 17 МПа, все это представляет сложность при выборе способов устройства основания сооружений.

С учетом этих сложностей, работа предусматривает различные типы упрочнения грунтов, которые позволят эффективно преодолеть трудности строительства на заболоченных участках и стабилизировать грунт основания. Таким образом, магистерская работа представляет комплексный подход к решению проблемы выбора наиболее подходящих способов устройства основания сооружений на данном участке трассы.

Для участка строительства Москва-Санкт-Петербург была применена концепция укрепления слабых оснований земляного полотна ВСМ с использованием композитных конструкций.

Результаты численного моделирования подтверждают, что для обеспечения прочного взаимодействия между грунтами основания и сваями необходимо сконсолидировать слабые грунты.

Список литературы

Опубликованные:

1. Абелев, М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах / М. Ю. Абелев. - М.: Стройиздат, 1983. - 247 с.
2. Виноградов, В.В. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие для студентов ВУЗов железнодорожного транспорта / В. В. Виноградов, А. М. Никонов, Т. Г. Яковлева и др. – М.: Маршрут, 2003. — 486 с.
3. Грунтоведение. Под ред. В.Т. Трофимова. 6е изд., перераб. и дополн. (серия «Классический университетский учебник»). М.: Изд-во МГУ, 2005, 1024 с.
4. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. СПб: Наука, 2001, 416 с.
5. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России: Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королёва. М.: КДУ, 2011, 672 с.
6. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы. / Р. Галлагер — М.: Мир, 1984 – 428 с.
7. Герсеванов, Н. М. Основы динамики грунтовой массы / Н. М. Герсеванов – М: Госстройиздат, 1933. – 196 с.
8. Гольдберг, В.М. Проницаемость и фильтрация в глинах / В. М. Гольдберг, Н. П. Скворцов — М.: Недра, 1986. - 160 с.
9. До Кхань Хунг. Усиление слабых оснований дорожных насыпей грунтовыми сваями в геосинтетических оболочках: дис. канд. техн. наук: 05.23.11 / До Кхань Хунг. – М., 2014. - 152 с.
10. Егорова, Е.С. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D / Е. С. Егорова, А. В. Иоскевич, В. В. Иоскевич, К. Н. Агишев, В. Ю. Кожевников // Строительство уникальных зданий и сооружений.– 2016. - №3. - С.31-60.
11. Киселев, И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт и перспективы его развития в мире / И. П. Киселев // Транспорт Российской Федерации. – 2012. - № 5 (42). - С.44 – 51.
12. Колос, А.Ф. Основопологающие требования к конструкции земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий / А. Ф. Колос, А. В. Петряев, И. В. Колос, В. В. Говоров, Е. И. Шехтман. // Бюллетень результатов научных исследований Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (Санкт-Петербург). – 2018. - №1. – С.36-48.

13. Колос, А.Ф. Особенности напряженного состояния грунтов подплитного основания при безбалластной конструкции верхнего строения пути/ А. Ф. Колос, А. А. Сидоренко, С. В. Соловьев //Инженерный Вестник Дона. – 2014.- №2. – С.108.
14. Ланис, А.Л. Усиление грунтов земляного полотна на подходах к мостам и путепроводам / А. Л. Ланис, Д. А. Разуваев // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. - №3. – С.97-104.
15. Ле Суан Тхо. Обеспечение стабильности слабых оснований дорожных насыпей с помощью грунтоцементных свай: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / ЛеСуан Тхо. – М., 2011. - 146 с.
16. Леонтьев, Н.Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие / Н. Е. Леонтьев. — М.: Изд-во Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2009. — 88 с.
17. Мангушев, Р.А. Численные, аналитические и полевые методы оценки несущей способности свай и свай-баррет глубокого заложения в слабых грунтах Санкт Петербурга. / Р. А. Мангушев // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сборник статей международной научно-технической конференции СПбГАСУ. - 2012. – С.44-52.
18. Маслов, Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии / Н. Н. Маслов – М.: Изд- во министерства автомобильного строительства, 1961.- 707 с.
19. Мельников, Р.В. Калибровка параметров модели Hardening Soil по результатам лабораторных испытаний в программе SoilTest / Р. В. Мельников, Р. Х. Сагитова //Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2016. - № 3. - С.79 –83.
20. Полищук, А.И. Оценка несущей способности свай в глинистых грунтах с помощью ПК Plaxis 3D Foundation/ А. И. Полищук, Д. Г. Самарин, А. А. Филиппович// Вестник ТГАСУ. – 2013. - №3. - С.352 – 358.
21. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. - М.: ФГУП Инфрмавтодор, 2004. – 252 с.
22. Рекомендации по проектированию земляного полотна дорог в сложных инженерно-геологических условиях. - М.: Ротапринт ЦНИИСа, 1974. – 257 с.
23. Родченко, В.А. Высокоскоростное железнодорожное движение. Мировой опыт и перспективы в России: учебное пособие. / В. А. Родченко, Д. С. Зандарашвили. – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. - 116 с.
24. Романов, Н.В. Обзор современных методов усиления и стабилизации слабых оснований / Н.В. Романов, Ж. Расине// Вестник МГСУ. – 2018. - №4. –

25. Строкова, Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов / Л. А. Строкова// Известия Томского политехнического университета. - 2008. - №1. - С. 69-74

26. Су Да. Особенности развития железных дорог Китая и армогрунтовых удерживающих сооружений земляного полотна: автореф. дис. канд. техн. наук:07.00.10 / Су Да. – Хабаровск, 2014. – 23 с.

27. Тер-Мартirosян, А.З. Определение и верификация параметров модели слабого грунта с учетом ползучести /. А. З. Тер-Мартirosян, В. В. Сидоров, Л. Ю. Ермошина // Вестник МГСУ. - 2018. - № 6 - С.697–708.

28. Тер-Мартirosян, З.Г. Анализ статического испытания свай большого диаметра и длины с помощью МКЭ / З. Г. Тер-Мартirosян, Тер-Мартirosян, В. В. Сидоров // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сборник статей международной научно-технической конференции СПбГАСУ. -2012. –С.52-57.

29. Терцаги, К. Теория механики грунтов / К. Терцаги. - М.: Стройиздат, 1961.- 507с

30. Трофимов, В.Т. Грунтоведение / В. Т. Трофимов, В. А. Королев, Е.А. Вознесенский и др. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

31. Уланов, И.С. Земляное полотно высокоскоростных магистралей / И. С. Уланов, Ю. И. Филиппов //Транспортное строительство. -2017.- №10. – С.08-11.

32. Уланов, И.С. Организация и технология строительства выемок в грунтах III –IV категории термopосадочности / И. С. Уланов // Механизация строительства. - 2017.-№9.- С.24-27.

33. Шашкин, А.Г. Вязко-упруго-пластическая модель поведения глинистого грунта / А. Г. Шашкин // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011.- №2. - С.1-32.

Нормативные документы:

34. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

35. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

36. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

37. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»;

38. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах». Актуализированная редакция СНиП II-7-81*;
39. СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии». Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85*;
40. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*;
41. СП 115.13330.2016 «Геофизика опасных природных воздействий». Актуализированная редакция СНиП 22-01-95;
42. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов;
43. ГОСТ 30416-2020. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения;
44. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация.
45. ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»;
46. ГОСТ 12248.1-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза»;
47. ГОСТ 12248.3-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия»;
48. ГОСТ 12248.4-2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия»;
49. ГОСТ 12536-2014 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава»;
50. ГОСТ 20522-2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»;
51. ГОСТ 20276.1-2020 «Грунты. Метод испытания штампом»;
52. ГОСТ 9.602-2016 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии».
53. Методика оценки прочности сжимаемости крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями», ДальНИИС Госстроя СССР, 1989 г.
54. ГЭСН 81-02-Пр-2017 сборник 1 «Земляные работы».
55. ОЕРЖ 2001 Часть. 1 «Земляные работы».
56. Пособие к СНиП 2.02.01-83 «Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений».
57. СТУ ВСЖМ-1 Специальные технические условия (Проектирование, строительство и эксплуатация высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва-Санкт-Петербург (ВСЖМ-1)).
58. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция. СНиП 2.02.01-83 - М:Стандартинформ, 2016. – 220 с.

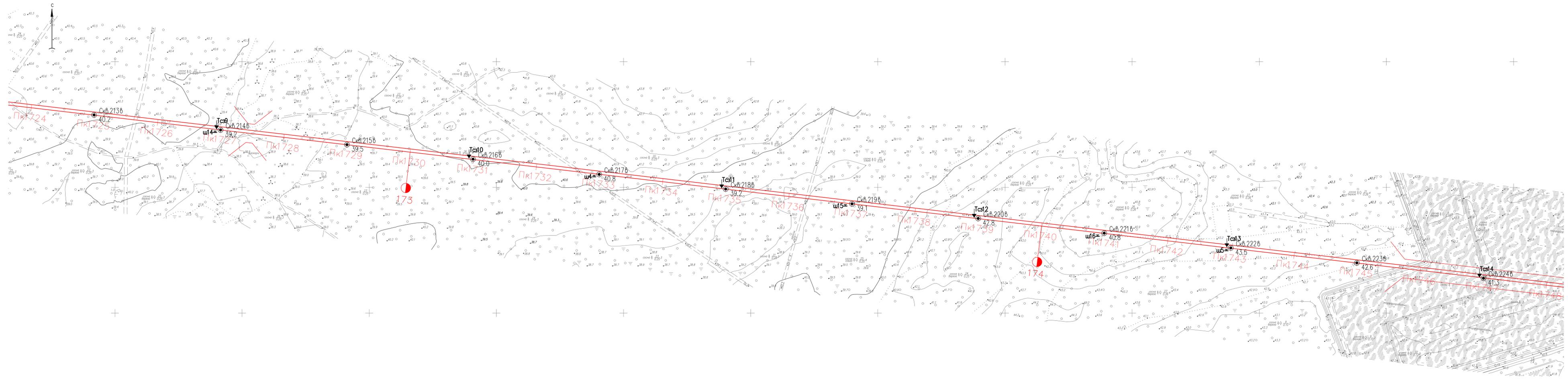
59. СП (проект, первая редакция). Земляное полотно высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства.– СПб.:ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. – 163 с.

60. СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь. – М.: Стандартинформ,2015. –71 с.

61. СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты. Актуализированная редакцияСНиП2.02.03-85. Изменение 2. – М.: Стандартинформ, 2011. – 86 с.

62. Методические указания по проектированию земляного полотна на слабых грунтах. - М.: Оргтрансстрой, 1968. – 125 с.

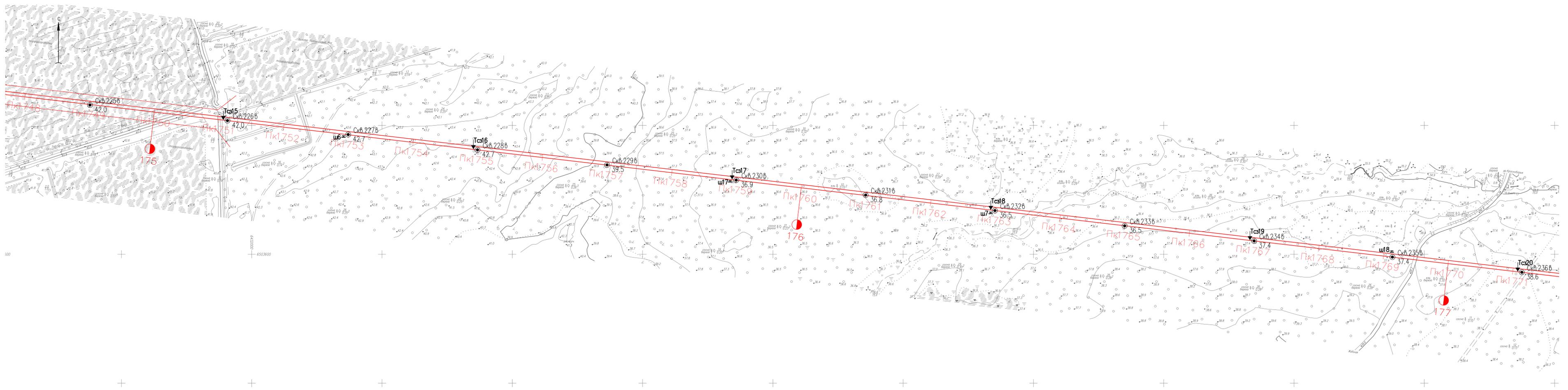
ПРИЛОЖЕНИЯ



Условные обозначения

- Скв.2236 / 42.6 — пробуренная инженерно-геологическая скважина 1 этапа; в числителе номер скважины; в знаменателе — абс. отметка устья, м
- ▼ Тсз13 — точка статического зондирования
- Ш5 — штамповые испытания
- 1700 1800 — проектируемая ось трассы (ПК)

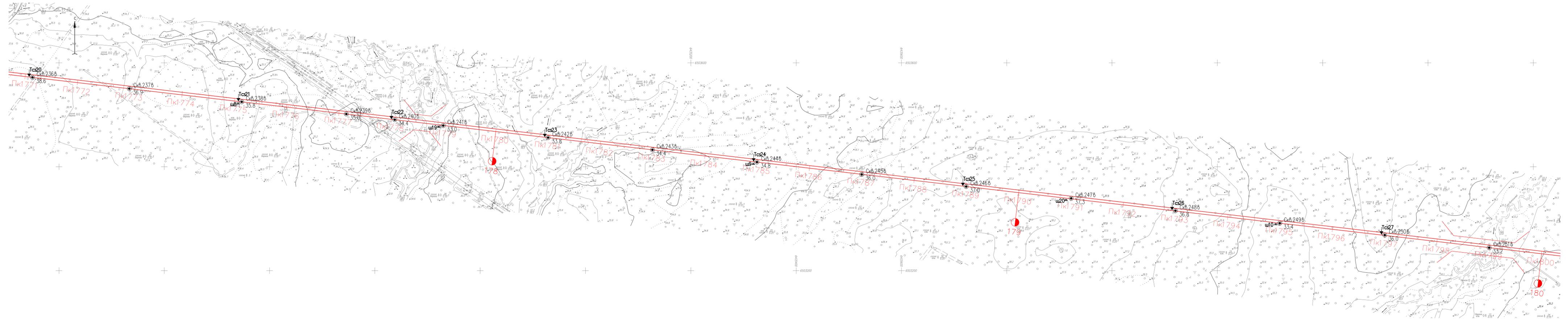
1. Система координат — местная.
2. Система высот — Балтийская 1977 г.



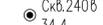
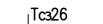
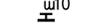
Условные обозначения

- СкВ.2306
36.9 — пробуренная инженерно-геологическая скважина 1 этапа; в числителе номер скважины, в знаменателе — абс. отметка устья, м.
- Тс18 — точка статического зондирования
- ш7 — штамповые испытания
- 1700 1800 — проектируемая ось трассы (ПК)

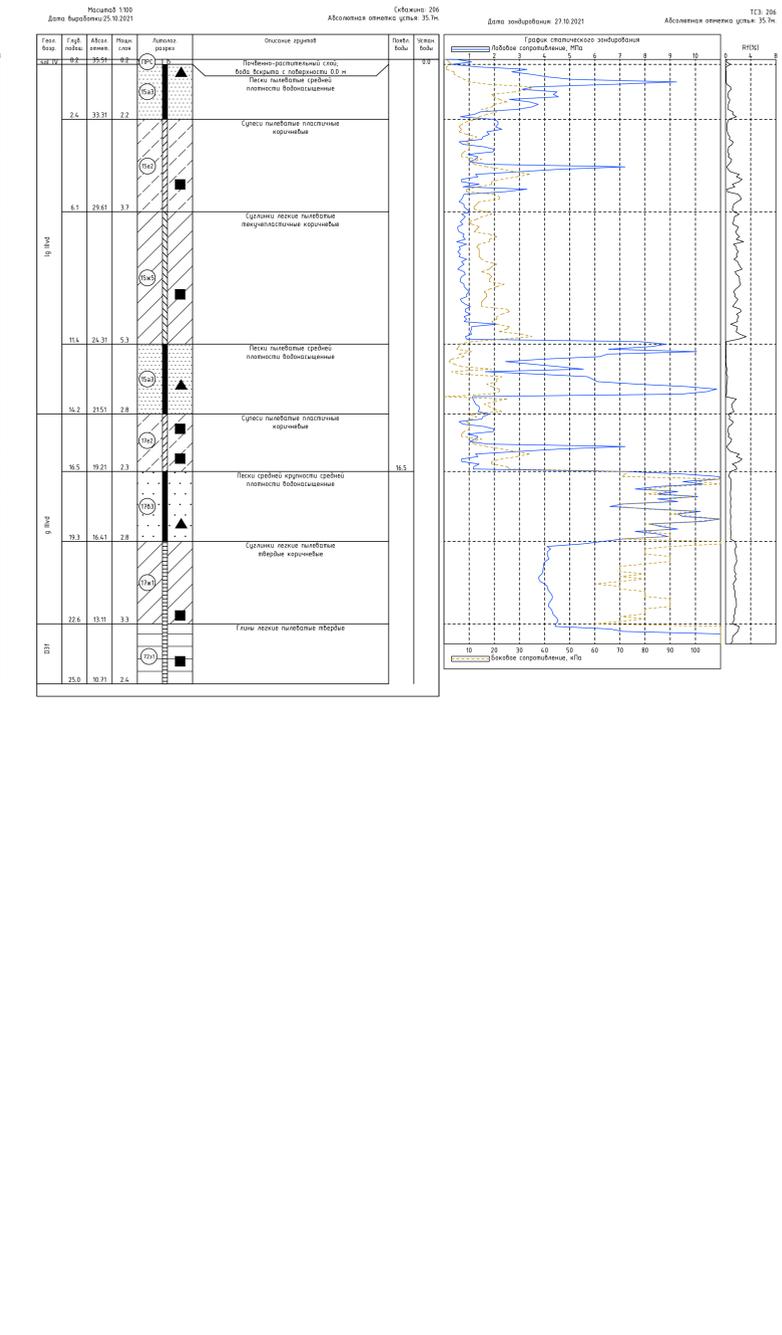
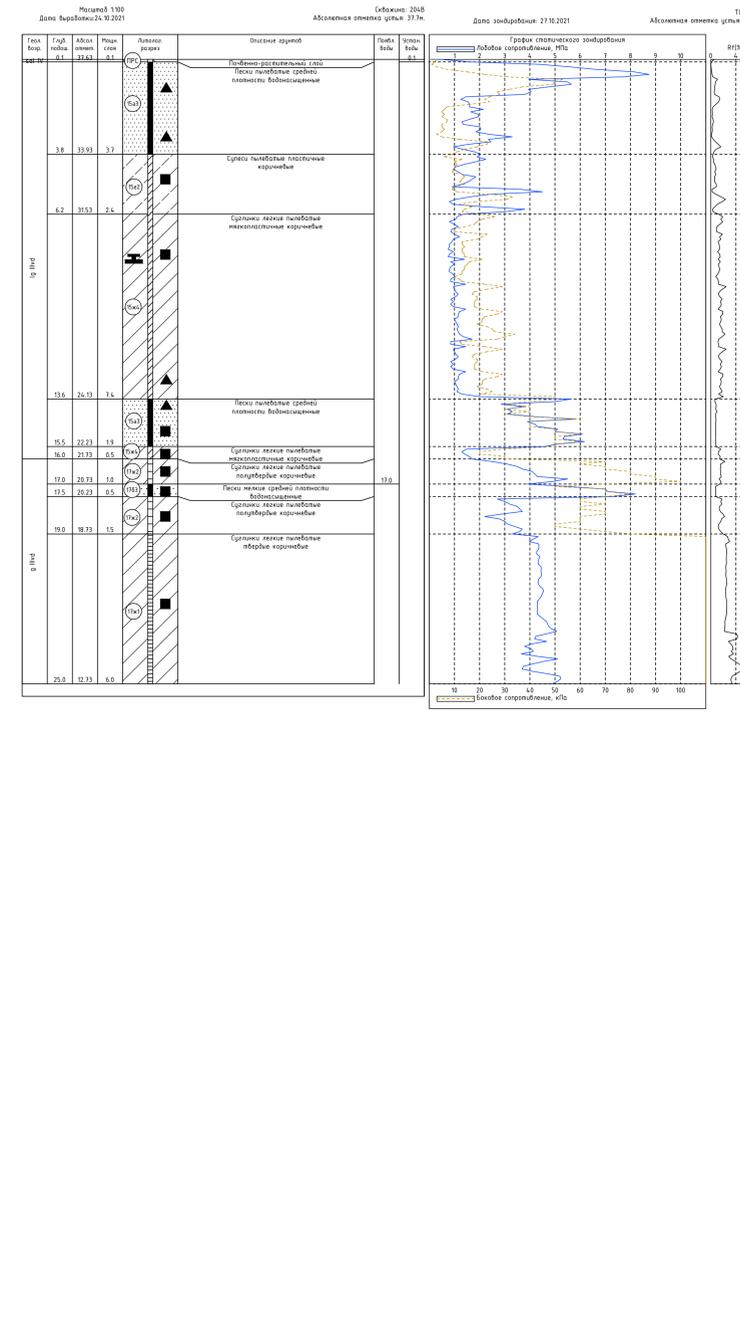
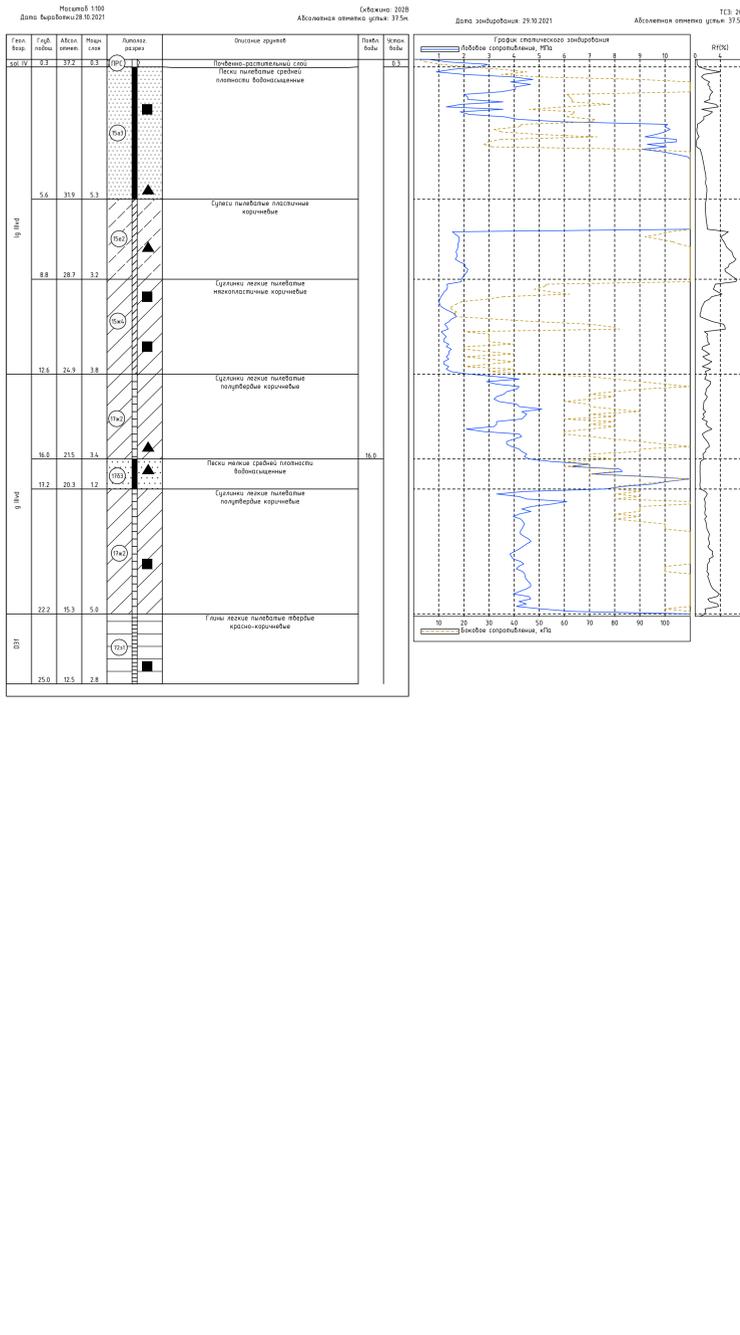
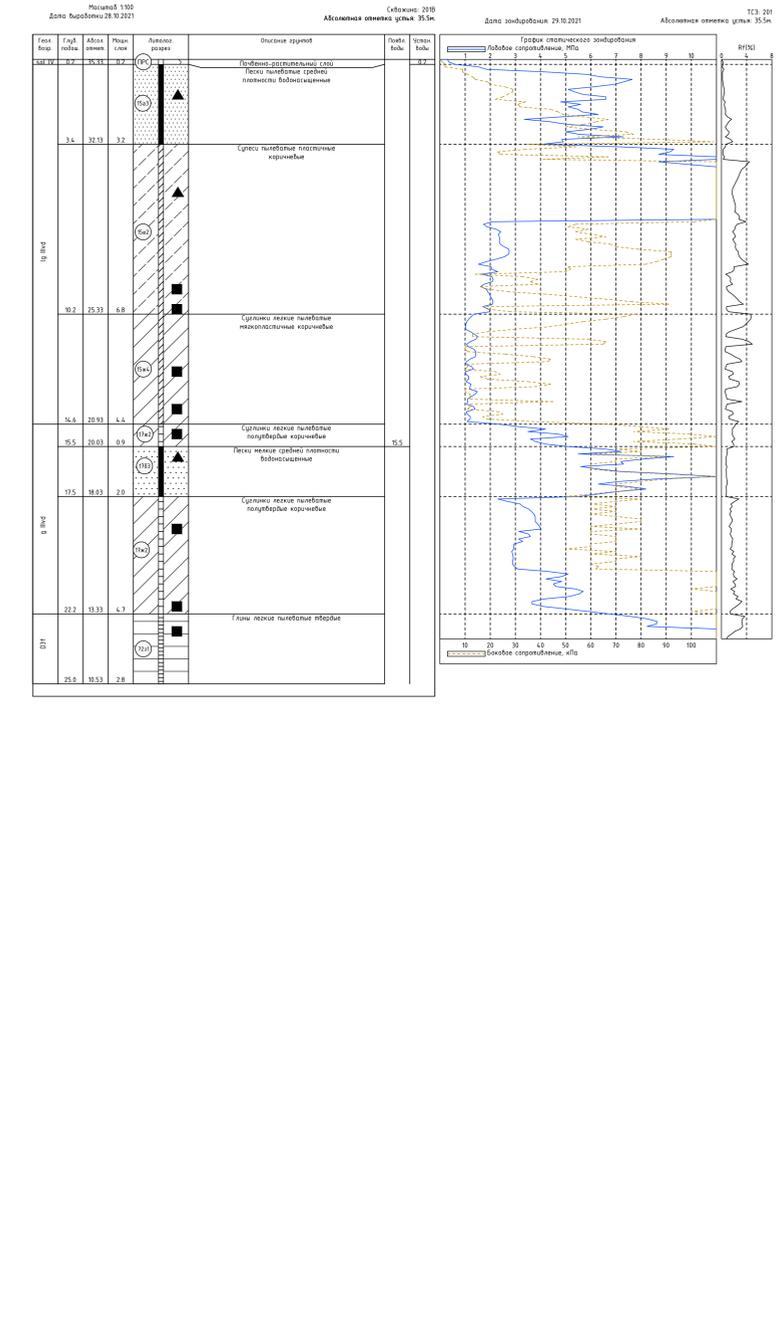
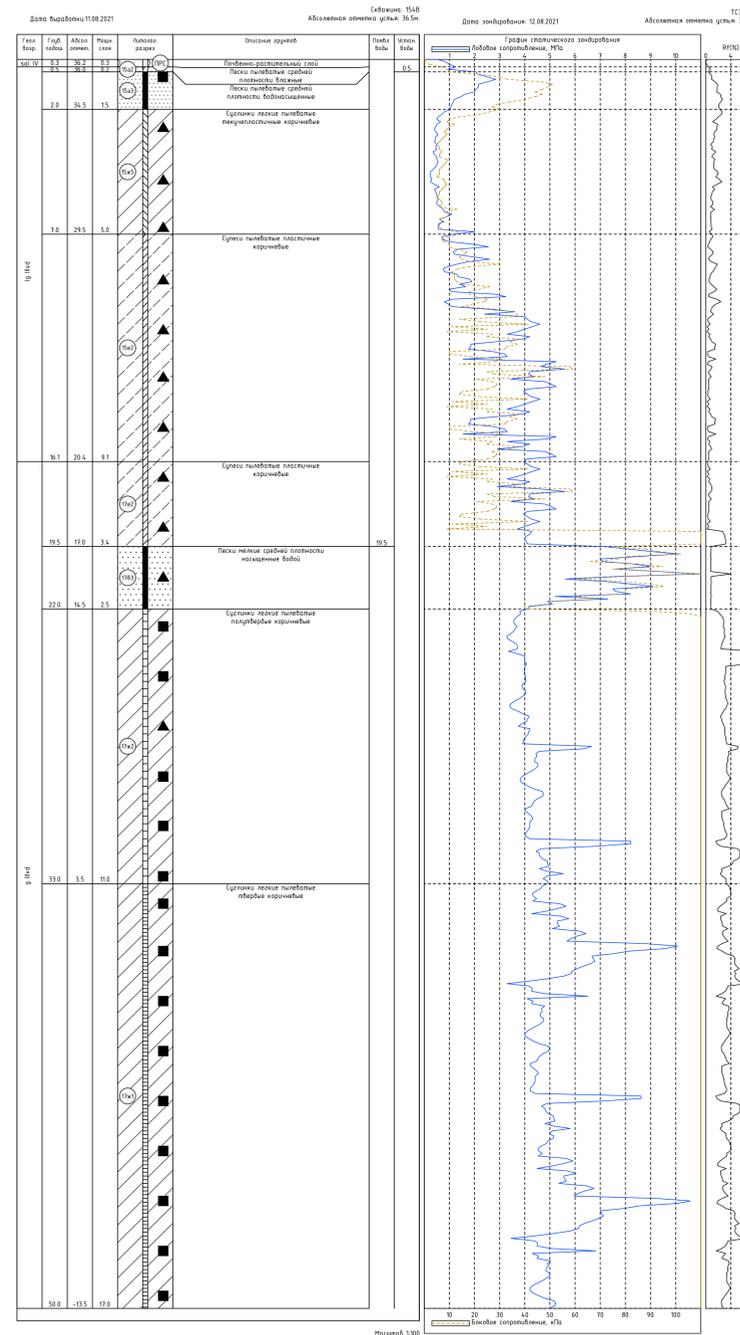
1. Система координат — местная.
2. Система высот — Балтийская 1977 г.

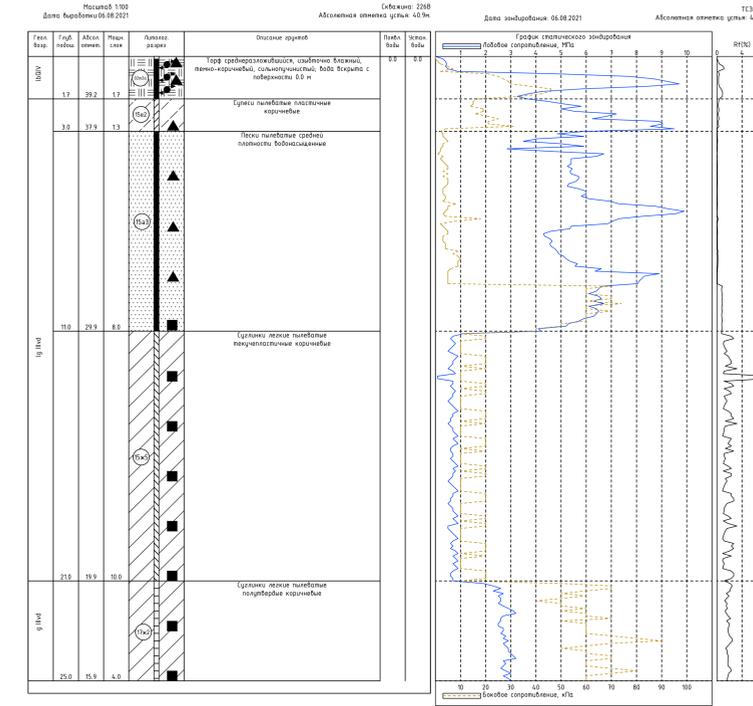
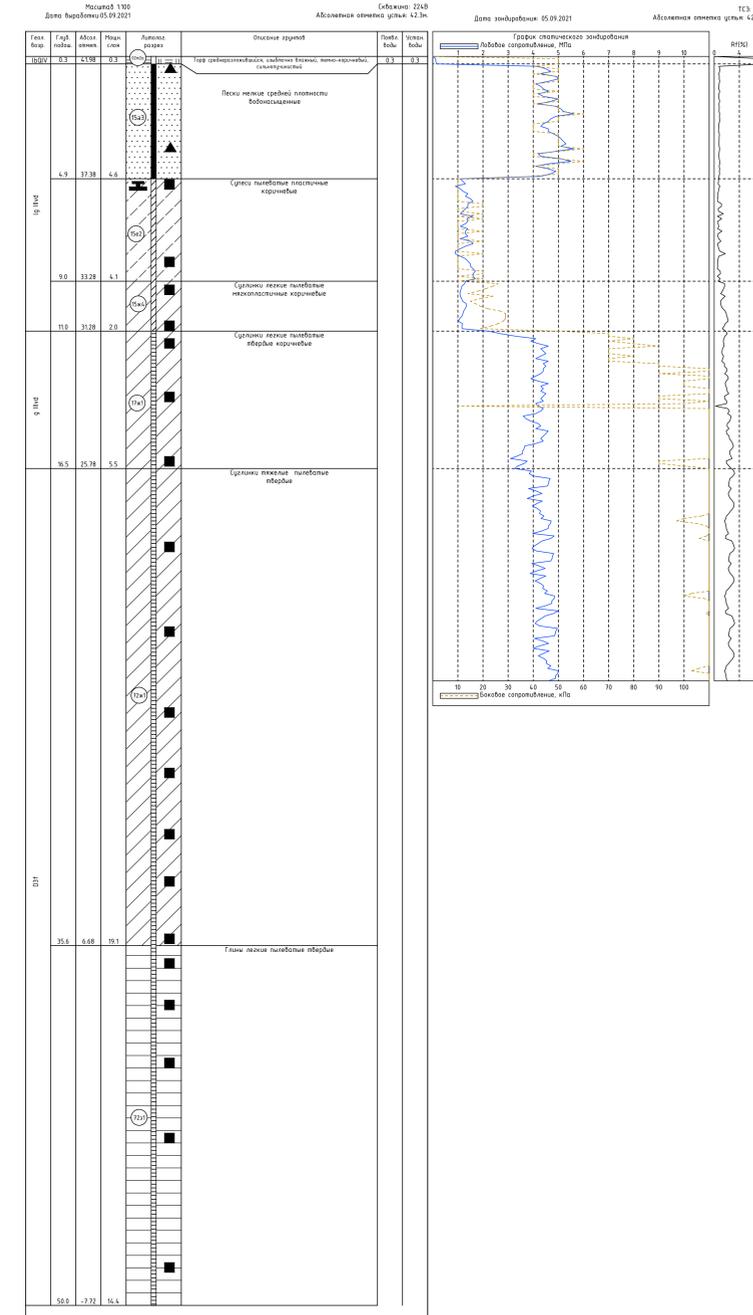
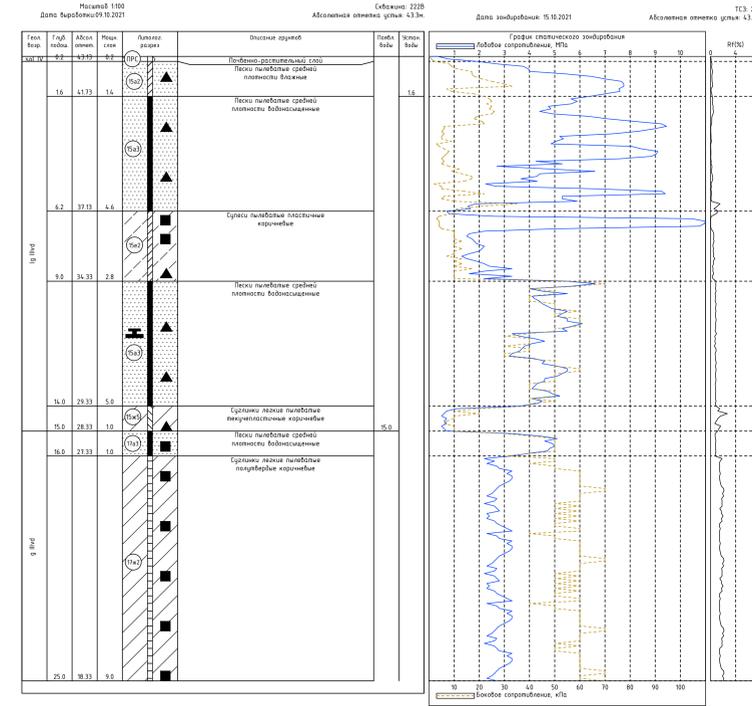
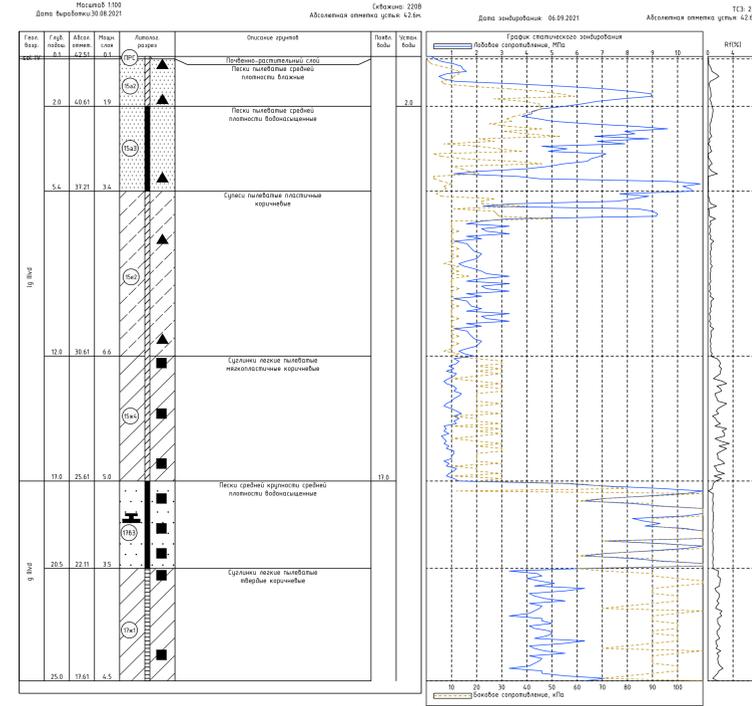
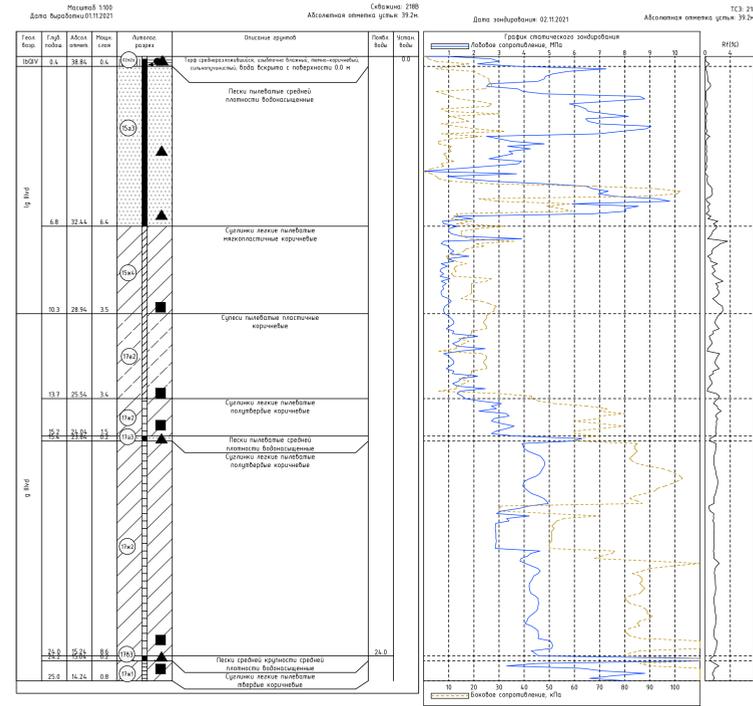


Условные обозначения

- 
 Скв.2406
34.4 — пробуренная инженерно-геологическая скважина 1 этапа
в числителе номер скважины, в знаменателе — абс. отметка устья, м
- 
 Тс26 — точка статического зондирования
- 
 ш10 — штамповые испытания
- 
 1700 1800 — проектируемая ось трассы (ПК)

1. Система координат — местная.
2. Система высот — Балтийская 1977 г.

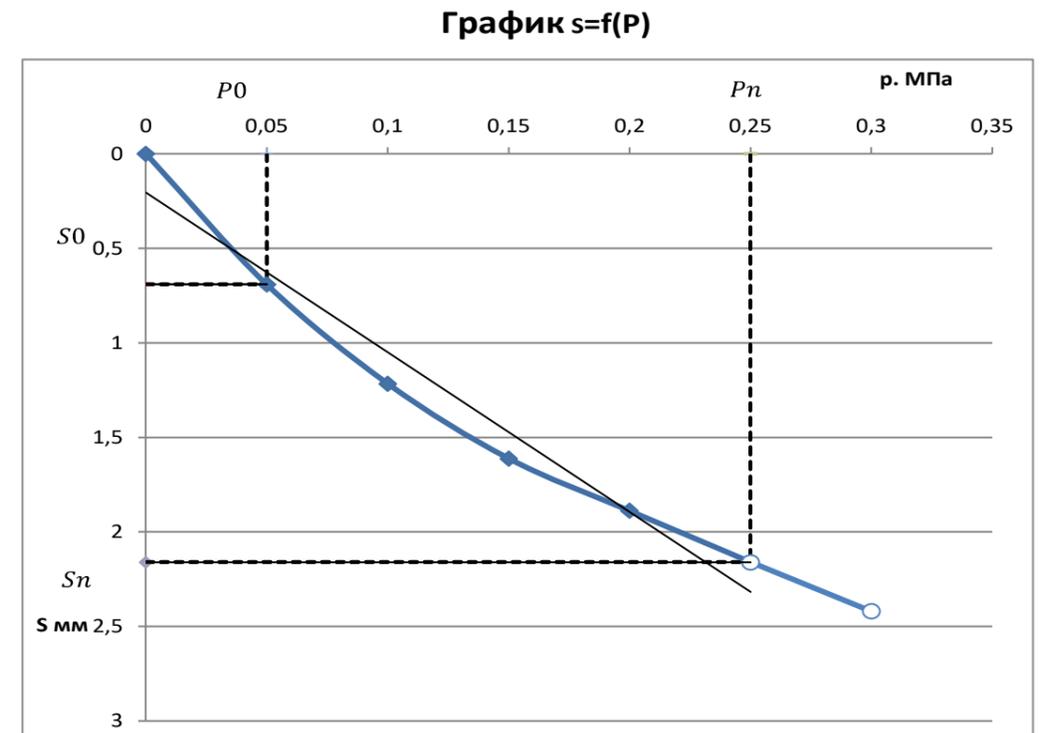




ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №209в, 5,6м	
Номер опыта		1	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Супеси пылеватые пластичные коричневые	1	0,05	27.10.2021	3	0,69	0,69	15,6
	2	0,10		3	0,53	1,22	
	3	0,15		3	0,40	1,61	
	4	0,20		3	0,28	1,89	
	5	0,25		3	0,27	2,16	
	6	0,30		3	0,26	2,42	

Скважина: 209В
Абсолютная отметка устья: 40.3м.



Геол. возр.	Глуб. подош.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sol IV	0.2	40.06	0.2	ПРС	Почвенно-растительный слой Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		0.2
lg IIIvd	5.0	35.26	4.8	15a3	Супеси пылеватые пластичные коричневые		
	10.9	29.36	5.9	15e2	Суглинки легкие пылеватые текучепластичные коричневые		

$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,28} = 15,6 \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

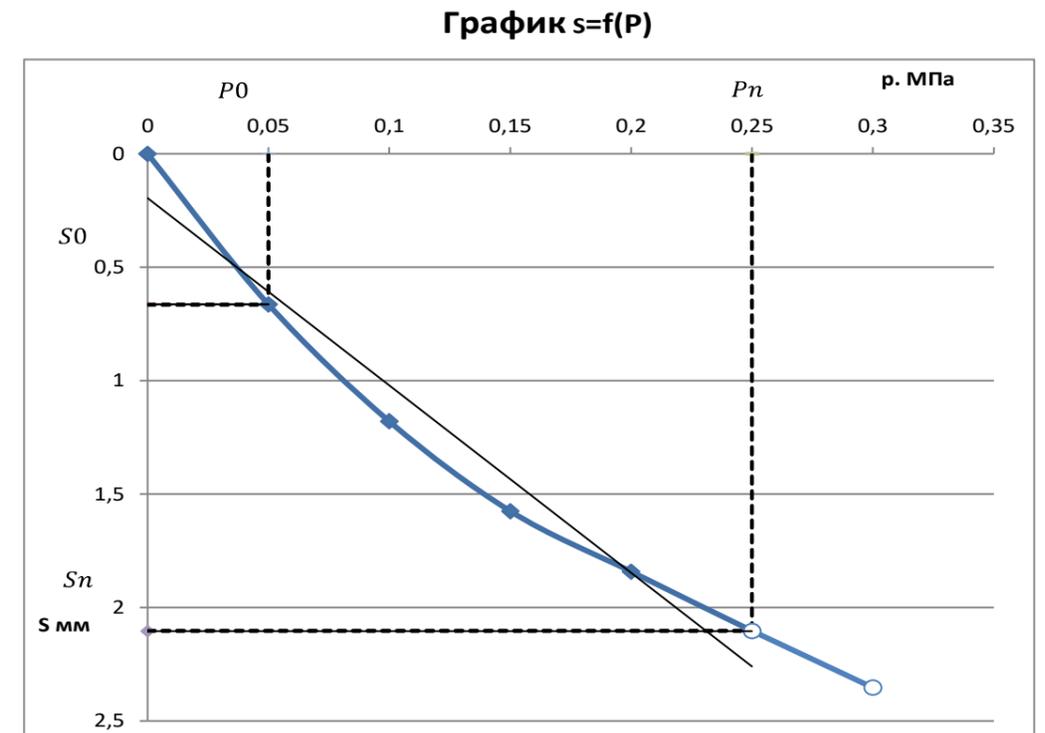
где	ν	Коэффициент Пуассона	0,35
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,7
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,28

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №234в, 0,8м	
Номер опыта		3	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Супеси пылеватые пластичные коричневые	1	0,05	09.11.2021	3	0,66	0,66	16,1
	2	0,10		3	0,52	1,18	
	3	0,15		3	0,40	1,58	
	4	0,20		3	0,27	1,84	
	5	0,25		3	0,26	2,10	
	6	0,30		3	0,25	2,35	

Скажина: 234В
Абсолютная отметка устья: 37,2м.



$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,39} = \mathbf{16,1} \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

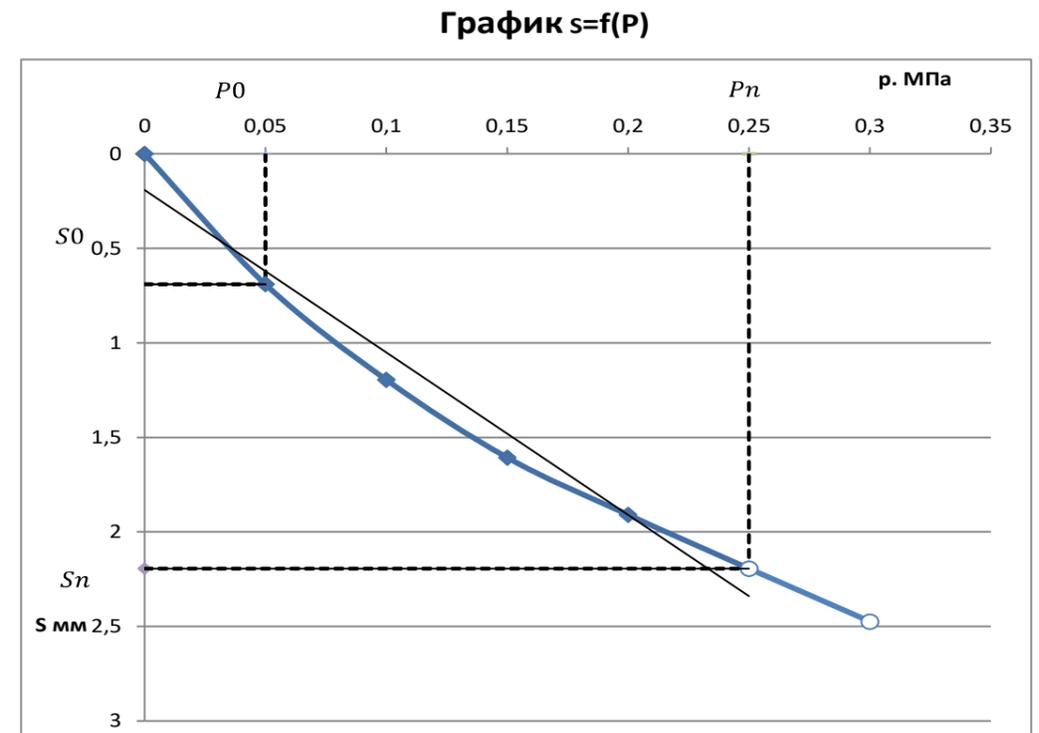
где	ν	Коэффициент Пуассона	0,3
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,9
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,27

Геол. возр.	Глуб. погаш.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sol IV	0.3	36.94	0.3	ЛРС	Почвенно-растительный слой		
lg IIIVd					Супеси пылеватые пластичные коричневые	1.0	1.0
					Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные коричневые		
	5.2	32.04	4.9				
	7.9	29.34	2.7				
				Пески мелкие средней плотности водонасыщенные			
					Суглинки легкие пылеватые полутвердые коричневые		

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №213В, 1,0м	
Номер опыта		1	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, МПа
	№ СТУПЕНИ	Величина, МПа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Пески пылеватые средней плотности влажные коричневые	1	0,05	25.10.2021	3	0,69	0,69	19,0
	2	0,10		3	0,51	1,20	
	3	0,15		3	0,41	1,61	
	4	0,20		3	0,30	1,91	
	5	0,25		3	0,29	2,19	
	6	0,30		3	0,28	2,47	



Скважина: 213В
Абсолютная отметка устья: 40,0м.

Геол. возр.	Глуб. подош.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sol IV	0,3	39,71	0,3	ПРС	Почвенно-растительный слой		
	2,0	38,01	1,7	15а2	Пески пылеватые средней плотности влажные		2,1
	5,2	34,81	3,2	15е2	Супеси пылеватые пластичные коричневые		
				15б3	Пески мелкие средней плотности водонасыщенные		

$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,30} = 19,0 \text{ МПа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где	Параметр	Описание	Значение
	ν	Коэффициент Пуассона	0,3
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,9
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, МПа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,30

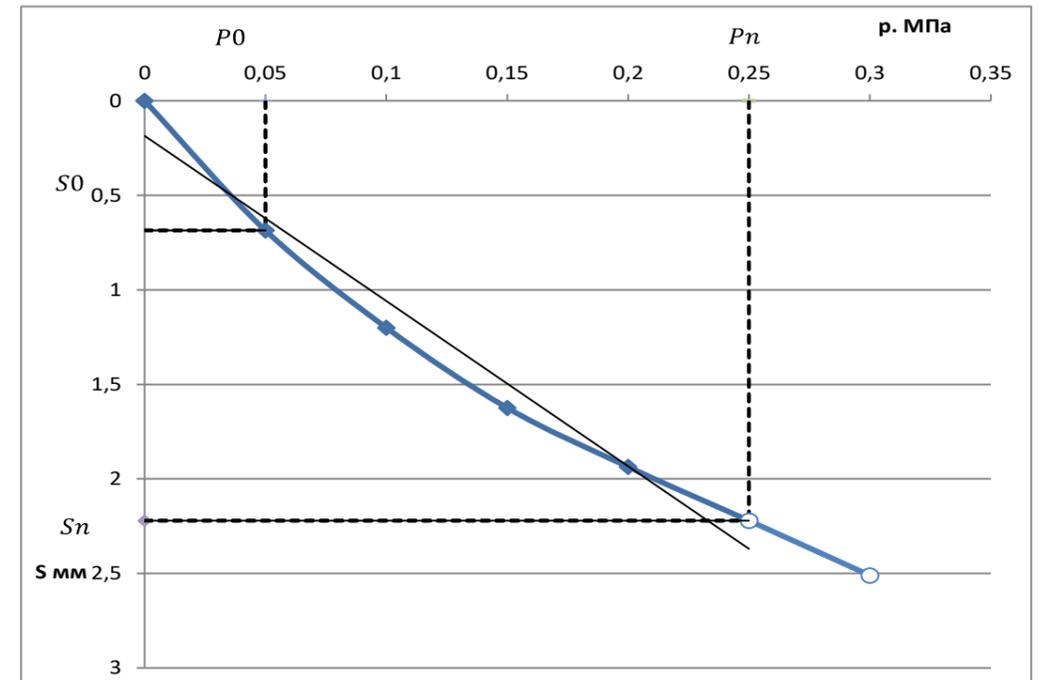
**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №238в, 0,8м	
Номер опыта		1	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Пески пылеватые средней плотности влажные коричневые	1	0,05	28.10.2021	3	0,69	0,69	18,4
	2	0,10		3	0,52	1,20	
	3	0,15		3	0,42	1,62	
	4	0,20		3	0,31	1,94	
	5	0,25		3	0,29	2,22	
	6	0,30		3	0,29	2,51	

Скважина: 238В
Абсолютная отметка устья: 35,7м.

График s=f(P)



Геол. возр.	Глуб. подош.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sol IV	0,3	35,43	0,3	ПРС	Почвенно-растительный слой		
lg IIIvd	1,9	33,83	1,6	15а2	Пески пылеватые средней плотности влажные	1,9	1,9
	3,5	32,23	1,6	15а3	Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		
	6,0	29,73	2,5	15ж4	Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные коричневые		
	7,5	28,23	1,5	15ж5	Суглинки легкие пылеватые текучепластичные коричневые		
						Суглинки легкие пылеватые полутвердые коричневые	

$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,31} = \mathbf{18,4} \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где	символ	описание	значение
	ν	Коэффициент Пуассона	0,3
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,9
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,31

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

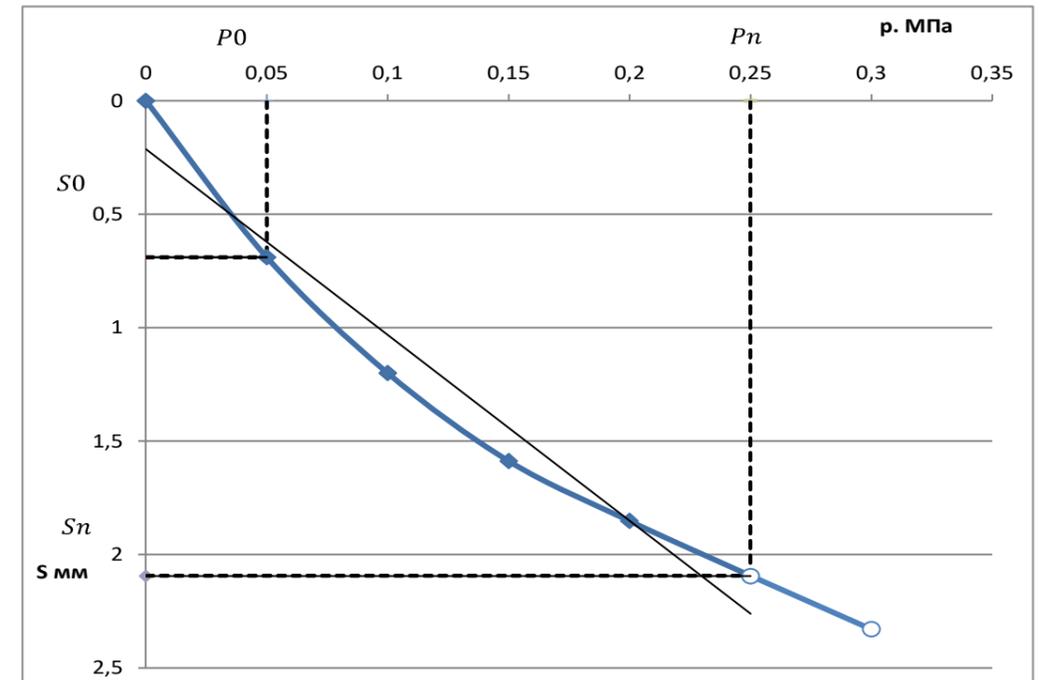
ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №222В, 10,9 м	
Номер опыта		1	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Пески пылеватые средней плотности влажные коричневые	1	0,05	12.10.2021	3	0,69	0,69	16,9
	2	0,10		3	0,51	1,20	
	3	0,15		3	0,39	1,59	
	4	0,20		3	0,26	1,85	
	5	0,25		3	0,24	2,09	
	6	0,30		3	0,24	2,33	

Скажина: 222В
Абсолютная отметка устья: 433м.

Геол. обозр.	Глуб. подш.	Абсол. отмет.	Мощ. слоя	Лито лог. разрез	Описание грунта	Площ. выды	Устан. выды
IV	0,2	43,13	0,2	ПРС	Почвенно-растительный слой		
	1,6	41,73	1,4	Бв1	Пески пылеватые средней плотности влажные		1,6
	6,2	37,13	4,6	Бв3	Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		
	9,0	34,33	2,8	Бв2	Супеси пылеватые пластичные коричневые		
	14,0	29,33	5,0	Бв3	Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		
	19,0	24,33	5,0	Бв5	Супилки легкие пылеватые текучепластичные коричневые		

График s=f(P)



$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,26} = 16,9 \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

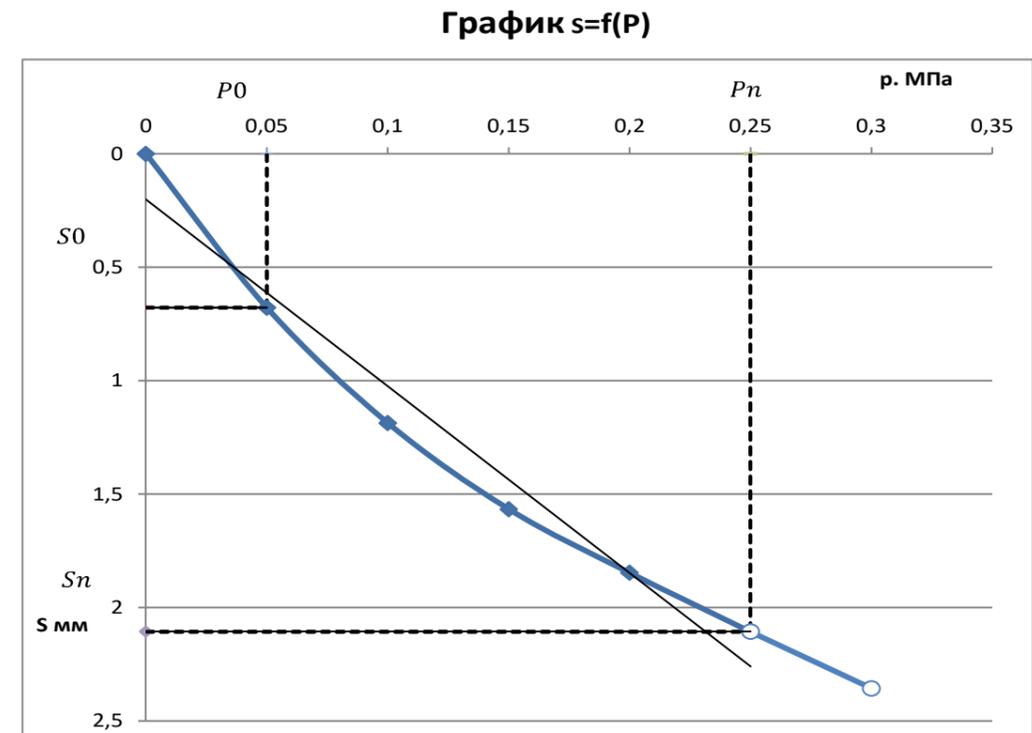
где	ν	Коэффициент Пуассона	0,3
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,7
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,26

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №237В, 2,2 м	
Номер опыта		2	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Пески пылеватые средней плотности влажные коричневые	1	0,05	27.10.2021	3	0,68	0,68	17,5
	2	0,10		3	0,51	1,19	
	3	0,15		3	0,38	1,57	
	4	0,20		3	0,28	1,85	
	5	0,25		3	0,26	2,11	
	6	0,30		3	0,25	2,36	

Скважина: 237В
Абсолютная отметка устья: 37.0м.



$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,26} = 17,5 \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

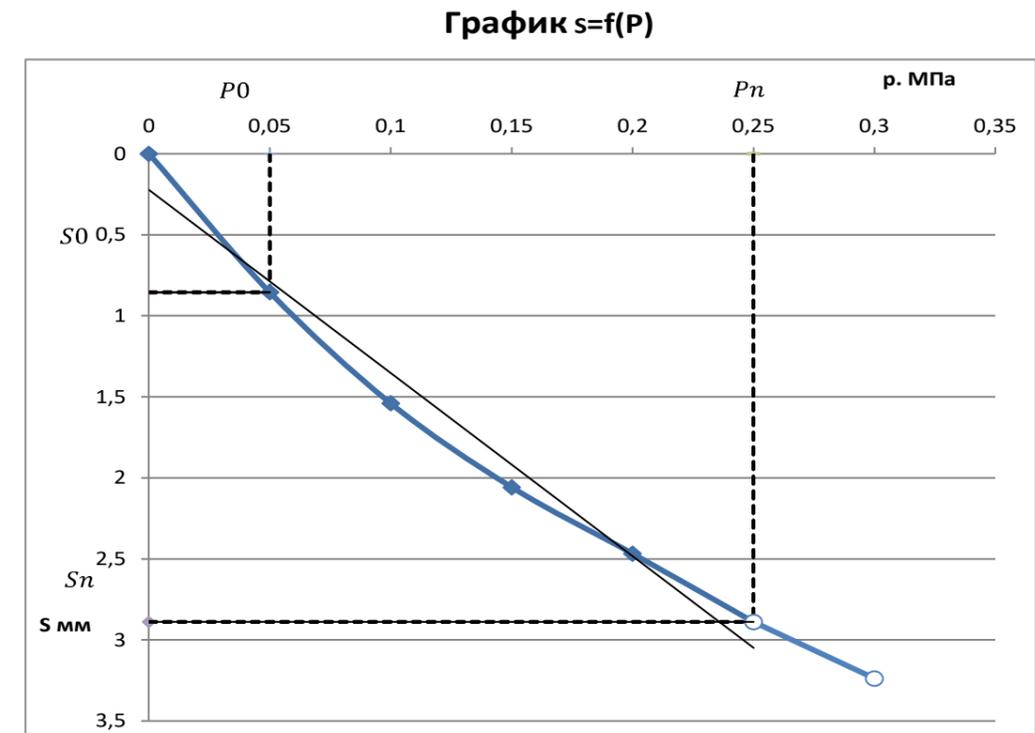
где	параметр	значение
	ν	Коэффициент Пуассона
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа
	D	Диаметр штампа, см
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа
	ΔS	Приращение осадки штампа, см

Геол. возр.	Глуб. подош.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sd IV	0.2	36.75	0.2	прг			
	0.8	36.15	0.6	15a2	Пески пылеватые средней плотности влажные	0.8	0.8
				15a3	Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		
	3.2	33.75	2.4	15e2	Супеси пылеватые пластичные коричневые		

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №204В, 7,8 м	
Номер опыта		1	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные	1	0,05	05.07.2022	3	0,86	0,86	10,3
	2	0,10		3	0,69	1,54	
	3	0,15		3	0,52	2,06	
	4	0,20		3	0,41	2,47	
	5	0,25		3	0,42	2,89	
	6	0,30		3	0,35	3,24	



Скважина: 204В
Абсолютная отметка устья: 37,7м.

Геол. возр.	Глуб. по дош.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sol IV	0.1	37.63	0.1	ПРС	Почвенно-растительный слой Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		0.1
	3.8	33.93	3.7	Бвз	Супеси пылеватые пластичные коричневые		
	6.2	31.53	2.4	Бж4	Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные коричневые		

$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,41} = 10,3 \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

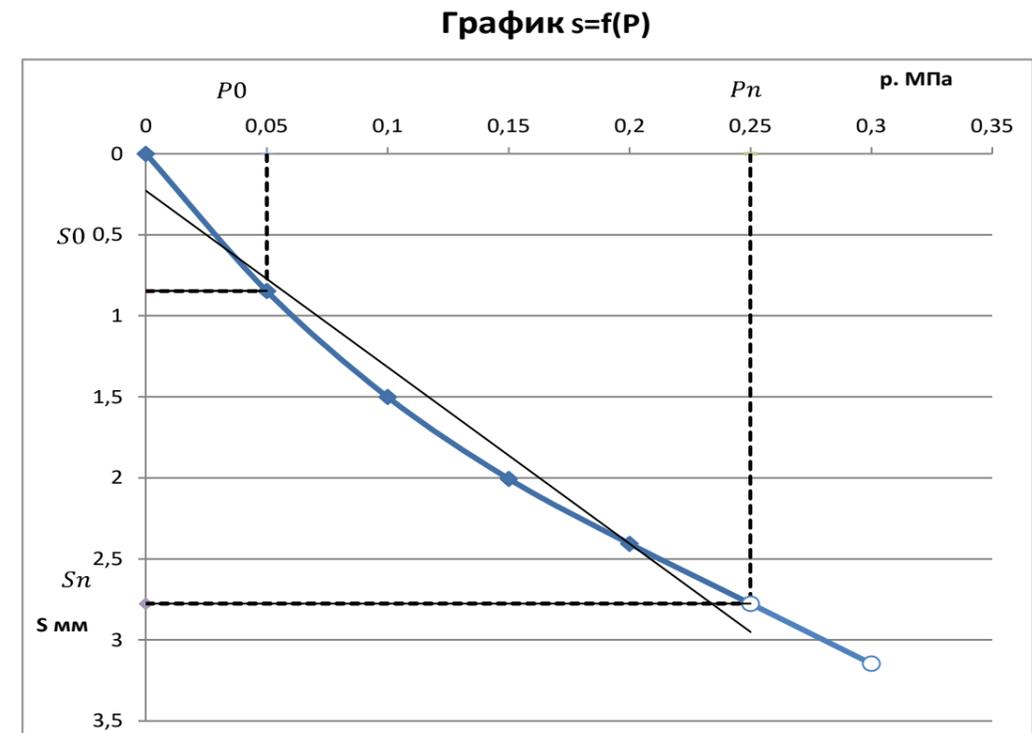
$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где	ν	Коэффициент Пуассона	0,3
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,7
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,41	

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №230в, 4,6 м	
Номер опыта		2	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные	1	0,05	10.07.2022	3	0,85	0,85	10,9
	2	0,10		3	0,65	1,50	
	3	0,15		3	0,51	2,01	
	4	0,20		3	0,40	2,41	
	5	0,25		3	0,37	2,78	
	6	0,30		3	0,37	3,15	



Скважина: 230В
Абсолютная отметка устья: 36.9м.

$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,39} = 10,9 \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где	ν	Коэффициент Пуассона	0,3
	K_p	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,71
	K_1	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,40

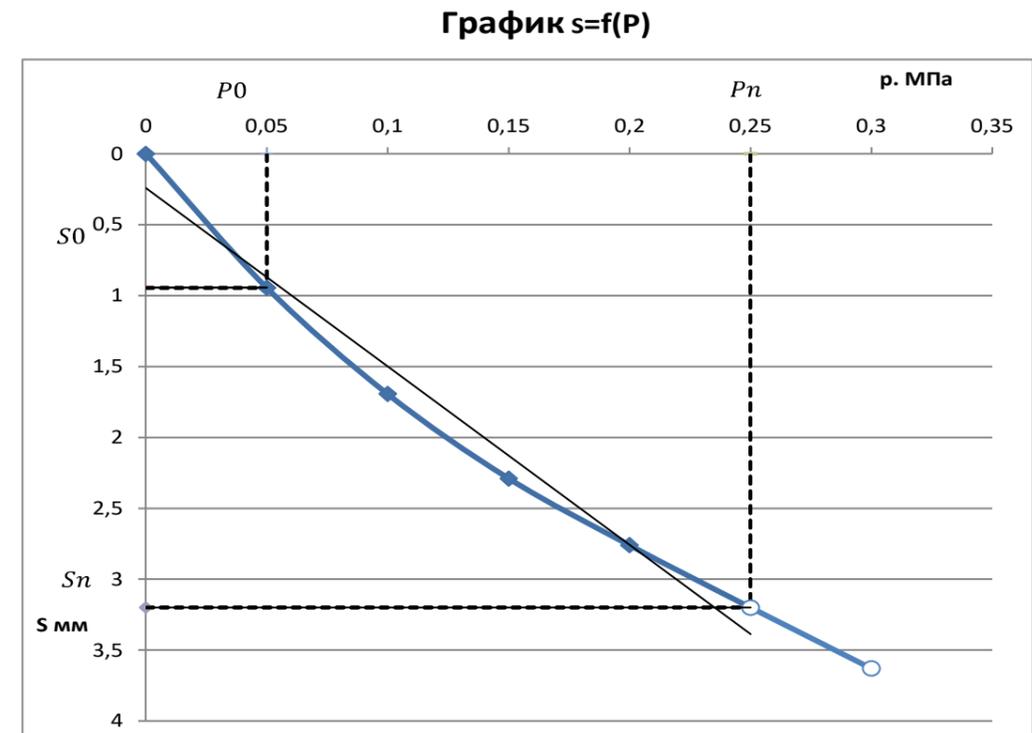
Геол. возр.	Глуб. подош.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
	0.2	36.71	0.2		Пески пылеватые средней плотности влажные	0.2	0.2
	15	35.41	1.3	Бж3	Пески пылеватые средней плотности водонасыщенные		
lg IIIvd				Бж4	Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные коричневые		
	8.5	28.41	7.0		Суглинки легкие пылеватые полутвердые коричневые		

**ПАСПОРТ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТА ШТАМПОМ**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАМПА			
тип	площадь, см ²	диаметр, см	прочие характеристики
IV	600	27,7	плоский
Скажина и глубина проведения опыта, м		СКВ. №241в, 3,8 м	
Номер опыта		3	

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА							
ВИД ГРУНТА	ДАВЛЕНИЕ		ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА	ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА, Ч	ОСАДКА, ММ		E, Мпа
	№ СТУПЕНИ	Величина, Мпа			ЗА СТУПЕНЬ	АБСОЛЮТНАЯ	
Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные	1	0,05	08.07.2021	3	0,95	0,95	9,8
	2	0,10		3	0,75	1,69	
	3	0,15		3	0,60	2,29	
	4	0,20		3	0,47	2,76	
	5	0,25		3	0,44	3,20	
	6	0,30		3	0,43	3,63	

Скважина: 241В
Абсолютная отметка устья: 33,6 м.



$$E = (1 - 0,09) \cdot 0,9 \cdot 0,79 \cdot 27,7 \cdot \frac{0,2}{0,45} = 9,8 \text{ Мпа}$$

РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ

$$E = (1 - \nu^2) \cdot Kp \cdot K1 \cdot D \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где	ν	Коэффициент Пуассона	0,35
	Kp	Коэффициент принимаемый в зависимости от заглубления штампа	0,75
	$K1$	Коэффициент для жесткого круглого штампа	0,79
	D	Диаметр штампа, см	27,7
	ΔP	Приращения давления на штамп, Мпа	0,20
	ΔS	Приращение осадки штампа, см	0,47

Геол. поз.	Глуб. подш.	Абсол. отмет.	Мощн. слоя	Литолог. разрез	Описание грунтов	Появл. воды	Устан. воды
sol IV	0,2	33,37	0,2	прг	Почвенно-растительный слой		
lg IIIvd	0,8	32,77	0,6	Бa2	Пески пылеватые средней плотности влажные; с глубины 0,8 м. водонасыщенные	0,8	0,8
	2,3	31,27	1,5	Бa3	Пески пылеватые средней плотности; с глубины 0,8 м. водонасыщенные		
lg IIIvd	7,5	26,07	5,2	Бж4	Суглинки легкие пылеватые мягкопластичные коричневые		
					Суглинки легкие пылеватые полутвердые коричневые		

№ Инженерно-геологического элемента	Наименование грунта ГОСТ 25100-2020	Природная влажность, д.е.	Число пластичности	Показатель текучести	Коэффициент водонасыщения, д.е.	Коэффициент пористости, д.е.	Плотность, г/см ³			Относительное содержание органического вещества	Статическое зондирование			Штамповые испытания	Трехосные испытания										Компрессионные и сдвиговые испытания						Значения по данным СП 22.13330.2016			Рекомендуемые значения						Расчетное сопротивление грунтов, кПа			
							нормативное	$\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$		Модуль общей деформации, МПа	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град		Модуль общей деформации, МПа	КД					КН и НН					Модуль общей деформации, МПа	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль общей деформации, МПа	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль общей деформации, МПа	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, кПа ($\alpha=0,85$)	Удельное сцепление, кПа ($\alpha=0,95$)	Угол внутреннего трения, град	Угол внутреннего трения, град ($\alpha=0,85$)	Угол внутреннего трения, град ($\alpha=0,95$)				
																Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль деф. по ветви повторного нагружения, МПа	Секундный модуль деформации, МПа	Угол дилатансии, град	Коэфф. относительной поперечной деформации	Коэфф. Пуассона	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Недренированный сдвиг, кПа																Угол дилатансии, град	Удельное сцепление с, кПа	Угол внутреннего трения, градус
							W	Ip	IL		Sr	e	ρ_n		ρ_l	ρ_{li}	I _{gr}	E	C	ϕ	E	C	ϕ	E	E _{ur}	E ₅₀	γ	ν	ν_{ur}	C	ϕ	C _u	γ	C	ϕ	E _{mod}	E _{ur}	λ^*	k^*		μ^*	E	C
17е2	Супесь пластичная, песчанистая, коричневая	0,139	0,06	0,23	0,97	0,383	2,21	2,19	2,20	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	25	29	-	45	29	19	30	-	-	-	38	24	30	30	34	23	27	25	22	23	266
17ж1	Суглинок твердый легкий, пылеватый	0,128	0,09	-0,17	0,97	0,366	2,23	2,20	2,21	-	33	39	26	21	103	27	32	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-	79	27	20	-	-	-	40	56	26	32	103	69	82	27	23	25	350
17ж2	Суглинок полутвердый песчанистый, пылеватый	0,145	0,09	0,11	0,95	0,411	2,20	2,17	2,18	-	24	32	24	19	73	26	24	-	-	2,1	-	0,38	-	-	-	66	25	13	-	-	-	65	51	27	24	73	49	58	26	23	24	340	
72ж1	Суглинок твердый, тяжелый пылеватый, красно-коричневый	0,167	0,14	-0,42	0,92	0,499	2,13	2,09	2,09	-	33	40	26	-	104	26	44	-	-	5,8	-	0,34	-	-	-	108	24	15	-	-	-	28	39	25	-	117	109	105	25	24	23	335	
72з1	Глина твердая легкая, пылеватая, голубая, красно-коричневая	0,210	0,19	-0,36	0,94	0,615	2,07	2,01	2,03	-	32	23	48	-	125	20	34	-	-	1,8	-	0,39	-	-	-	133	23	17	-	-	-	26	74	20	-	126	120	116	19	18	17	495	

Примечание:

1. Значения W, p, Ip, IL, коэффициент водонасыщения, коэффициент пористости, для ИГЭ приведены на основании лабораторных определений.
3. Значения расчетного сопротивления приведены по СП 22.13330.2016 Приложение Б.

Альбом точек наблюдения

Т.н.1 (ПК 1701+00) Находится на пересечении проектируемой трассы с автодорогой 49К на расстоянии 4500 метров от трассы М-11.

Абсолютные отметки рельефа изменяются от 36 до 40 м. В целом, местность характеризуется как равнина с локальными понижениями и холмами. В восточном направлении трассы, в 100 метрах от точки наблюдения, находится болото протяженностью 200 – 300 метров. Проходящая через точку наблюдения автомобильная дорога сообщением Малая Вишера – Новоселицы имеет асфальтовое покрытие и оборудована канавами глубиной до четырех метров, препятствующая проезду техники к участку работ. В 250 метрах в северном направлении, проходит ЛЭП. Участок покрыт плотным смешанным лесом. Местность заболочена. За исключением заболачивания, других геологических процессов на участке обследования не выявлено.



Рисунок 1 – Т.н. 1

Т.н. 3 (ПК 1711+50). Расположена восточнее т.н. 2 на 550м.

Абсолютные отметки вблизи точки наблюдения разнятся от 35 до 37 метров, с плавным уклоном до восьми градусов в сторону востока. Также в пятидесяти метрах в восточном направлении расположен лог периодического водотока. Дно лога торфяное. Растительность в точке наблюдения представлена, преимущественно, молодым смешанным лесом высокой плотности. Русло лога обильно поросло мхами и болотной растительностью. Западнее точки наблюдения в шестидесяти метрах проходит старая противопожарная борозда. Южнее в 100 метрах лес заканчивается, далее идет поле с луговой растительностью. Опасных геологических процессов в пределах точки наблюдения не обнаружено.

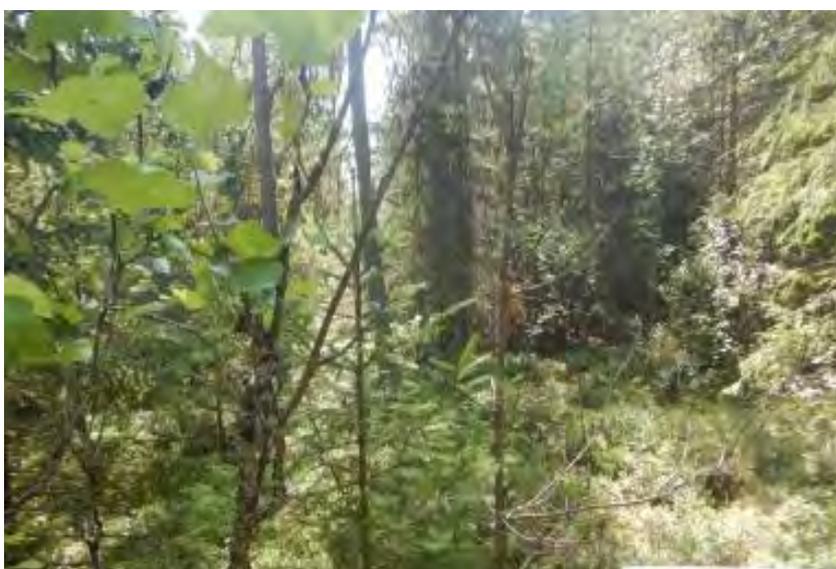


Рисунок 2 – Т.н. 3

Т.н. 9 (ПК 1741+00). Расположена в 550 метрах в восточном направлении от т.н. 8. Абсолютные отметки изменяются от 40 м в самой точке наблюдения до 42 м до и после по ходу трассы, образуя широкий лог. Растительность представлена неплотным хвойным лесом, на поляне в восточном направлении - луговая и болотная поросль. Низ лога увлажнен, местами заболочен. Также частично заболочена поляна. Кроме заболачивания иных геологических процессов не выявлено.



Рисунок 3 – Т.н. 9. Вид на восток

Т.н. 10 (ПК 1747+00). Расположена на 600 метров восточнее т.н. 10, с абсолютными отметками 41,5 – 42,5 м. Рельеф в точке наблюдения равнинный, поросший молодым смешанным лесом. Сама точка наблюдения и окрестности по оси проектируемой трассы, расположены на лесосеках различного возраста, засеянных молодым смешанным лесом и имеющих систему мелиорационных грунтовых траншей, часть которых заболочена. В целом, в пределах маршрута наблюдения грунт заторфован и увлажнен. Грунтовые каналы частично имеют подмытые, оврагообразные берега, образующиеся в период весеннего снеготаяния.

Т.н. 15 (ПК 1773+00). Находится в 600 метрах восточнее т.н. 14. Рельеф в точке наблюдения можно охарактеризовать, в целом, как равнинный, имеющий абсолютную отметку 37 метров. Растительность в точке наблюдения представлена смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Плотность произрастания леса не высокая, позволяющая проехать на автомобиле. Много валежника. В северном направлении от точки наблюдения находится старая лесосека, ориентированная полосой около 80 метров, от точки наблюдения в северо-восточном направлении, упирающаяся в ЛЭП. Лесосека, поросшая молодым сосняком, возрастом до 10 лет. Геологических процессов в точке наблюдения не выявлено.



Рисунок 4 – Т.н. 15. Вид на юг

Т.н. 16 (ПК 1779+00) Точка находится в восточном направлении от т.н. 15 в 600 метрах. Местность характеризуется, в целом, как равнинная, с локальными холмами, растянутыми в произвольных направлениях и достигающими высоты четырех метров. Абсолютные отметки у подножья от 32 метров к вершине до 36 метров. По форме холмы с очень пологими склонами, проросшие хвойным лесом средней плотности. В 200 метрах на запад проектируемая трасса пересекает ЛЭП в две линии, «ПАО МРСК» 10 кВ, ориентированная с юго-востока. В 50 метрах на запад проектируемая трасса, вкостресекает ручей Пустошный, протекающий в основании холмов. Ручей имеет различную глубину от 0,2 до одного метра и ширину до трех метров. Дно ручья песчаное. Скорость течения не постоянна и изменяется в зависимости от глубины и ширины, среднее значение скорости около полуметра в секунду. Берега ручья, в основном, из почвенно-растительного слоя, укреплены мощной корневой системой деревьев и растений. Ручей довольно извилист, но в целом, направление ручья с севера на юг.

Т.н. 20 (ПК 1799+00). Точка расположена в месте пересечения проектируемой трассы с ручьем Витошный. Абсолютная отметка в точке наблюдения 33 метра, с пологими берегами с подъемом в каждую сторону в среднем на один метр на 100 метров. Местность очень сильно заторфованна. Из-за большой ширины долины грунты по берегам ручья переувлажнены и заболочены. Русло ручья песчаное. Скорость течения до одного метра в секунду. Глубина до семидесяти сантиметров, ширина от одного метра до четырех метров. Растительность в точке наблюдения представлена хвойным лесом. В точке наблюдения трасса пересекается со старой лесовозной дорогой, ориентированной с северо-запада на юго-восток, заросшей молодым сосняком и ельником до состояния непригодности для использования без предварительной рубки. Кроме заболачивающей деятельности ручья, в пределах точки наблюдения, иных геологических процессов не обнаружено.



Рисунок 5 – Т.н. 20. Вид на юг



Рисунок 1 Бурение скв. 154в



Рисунок 2 Бурение скв. 201в



Рисунок 3 – Бурение скв. 204в



Рисунок 4 – Бурение скв. 205в



Рисунок 5 – Бурение скв. 206в



Рисунок 6 – Бурение скв. 212в



Рисунок 7 – Бурение скв. 213в



Рисунок 8 – Бурение скв. 220в



Рисунок 9 – Бурение скв. 221в



Рисунок 10 Бурение скв. 222в



Рисунок 11 – Бурение скв. 223в



Рисунок 12 – Бурение скв. 227в



Рисунок 13 – Бурение скв. 228в



Рисунок 14 – Бурение скв. 229в



Рисунок 15 – Бурение скв. 230в



Рисунок 16 – Бурение скв. 236в



Рисунок 17 – Бурение скв. 237в



Рисунок 18 – Бурение скв. 238в



Рисунок 19 Бурение скв. 239в



Рисунок 20 Бурение скв. 242в



Рисунок 21 Бурение скв. 243в