

Санкт-Петербургский государственный университет

КУДИНОВА Виолетта Сергеевна

Выпускная квалификационная работа

**Прогноз изменения инженерно-геологических и
геокриологических условий территории при размещении
ветроэнергетических установок (на примере Северо-
Эвенского района Магаданской области)**

Уровень образования магистратура

Направление *05.04.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *ВМ.5798.2020 «Гидрогеология и
инженерная геология»*

Научный руководитель:
канд. г.-мин. н. В. А. Усов

Заведующий кафедрой:
канд. г.-мин. н. С. Б. Бурлуцкий

Санкт-Петербург
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ.....	6
1.1 Геокриологические карты и районирование	9
ГЛАВА 2. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ	11
2.1 Карты общего, детального и микро- сейсмического районирования.....	12
2.2 Геофизические исследования, проводимые в районах с повышенной сейсмичностью	13
ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ	16
ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ	18
4.1 Физико-географические условия и геоморфологическая приуроченность	18
4.2 Геологические условия.....	19
4.3 Гидрогеологические условия.....	21
4.4 Инженерно-геологические элементы.....	22
4.5 Специфические грунты	23
4.6 Инженерно-геологическое описание трассы	23
ГЛАВА 5. ФАКТОРЫ И ПРОЦЕССЫ, ОСЛОЖНЯЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ НА УЧАСТКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ	26
5.1 Результаты сейсмического микрорайонирования	26
5.2 Инженерно-геокриологическое районирование	28
5.3 Инженерно-геологические и инженерно-геокриологические процессы.....	29
5.4 Другие опасные факторы	29
ГЛАВА 6. ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ (ВЭУ)	31
ГЛАВА 7. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	34
7.1 Расчет глубины залегания подошвы сезонно-талого слоя (СТС) для каждого участка трассы.....	36
7.2 Расчет несущей способности свай при организации мостового перехода через ручей Безымянный на участке ПК0+00-ПК2+47	41
7.3 Проектирование противоналедного пояса в верховьях ручья Безымянный на участке ПК0+00-ПК2+47	42
7.4 Проектирование дорожной насыпи на участке ПК2+47-ПК24+00 и расчет глубины залегания подошвы СТС под дорожной насыпью	44
7.5 Расчет свайного фундамента опоры ЛЭП на морозное пучение на участке ПК24+00-ПК55+44.....	46
7.6 Расчет максимальной глубины водоема, после которой может начаться термокарст на участке ПК24+00-ПК55+44	48

7.7	Расчет плитно-свайного фундамента ВЭУ на площадке размещения ВЭУ	50
ГЛАВА 8. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....		55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....		59

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена особенностям проведения инженерно-геологических изысканий и рекомендациям к строительству в районах со сложными геологическими условиями. В частности, рассматриваются условия повышенной сейсмичности и залегания на участке многолетнемерзлых грунтов. В главах 1 и 2 описаны основные требования к инженерно-геологическим изысканиям и дополнительным геолого-геофизическим исследованиям, необходимым для полной оценки условий строительства зданий и сооружений. В главе 3 кратко приведено описание геологического строения Дальнего Востока России. В главе 4 рассмотрены инженерно-геологические условия участка для проектирования ветроэнергетических установок (ВЭУ) в пгт. Эвенск Магаданской области. Глава 5 содержит результаты сейсмического микрорайонирования и описание факторов и обстоятельств, осложняющих строительство и эксплуатацию ВЭУ. В главе 6 приведено описание ветроэнергетических установок и их характеристики. Глава 7 содержит инженерно-геологические и геокриологические расчеты (расчет плитно-свайного фундамента, глубины залегания СТС под автодорожной насыпью и др.). В главе 8 приведены рекомендации к проектированию и прогноз изменения инженерно-геокриологических условий.

Данная работа выполнена на основе изучения технических отчетов компании ООО "ВПИ" о проведенных инженерно-геологических изысканиях для проекта модернизации схемы электроснабжения с использованием ветроэнергетических установок. В административном отношении участок изысканий находится в Российской Федерации, Магаданской области, Северо-Эвенском районе, пгт Эвенск.

Цель работы – дать прогноз изменения инженерно-геокриологических условий. Были поставлены следующие задачи:

- 1) проанализировать требования к инженерно-геологическим изысканиям, проводимым в сейсмических районах и в районах распространения многолетнемерзлых пород
- 2) охарактеризовать дополнительные исследования, проводимые в таких районах,
- 3) проанализировать результаты инженерных изысканий, выполненных на участке проектирования,
- 4) провести расчет фундамента и дать рекомендации для проектирования и эксплуатации.

Актуальность данной работы обусловлена растущим спросом на возведение источников возобновляемой энергии на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями.

Выражаю благодарность Усову Вячеславу Александровичу за руководство и помощь в работе над выпускной квалификационной работой.

ГЛАВА 1. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Многолетнемерзлыми грунтами (ММГ) называют грунты, постоянно имеющие отрицательную или нулевую температуру в течение трех и более лет (СП 493.1325800.2020).

Инженерные изыскания в районах распространения ММГ выполняют для получения достоверных и достаточных данных об условиях территории и для прогноза изменения этих условий. При строительстве, используя ММГ в качестве основания сооружений, применяют один из принципов:

- принцип I: грунты основания используются в мерзлом или промораживаемом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение периода эксплуатации сооружения;
- принцип II: грунты основания используются в оттаянном (талом) или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения).

Изыскания в районах распространения ММГ выполняют таким образом, чтобы не нарушить инженерно-геокриологические условия территории, не допустить активизации геокриологических процессов, в том числе в летний период запрещено нарушать почвенно-растительный покров.

В соответствии с п. 4.3.2 СП 493.1325800.2020 задание на выполнение инженерно-геологических изысканий в районах распространения ММГ должно дополнительно содержать сведения о:

- периоде эксплуатации зданий и сооружений.
- принципах использования грунтов в качестве оснований;
- тепловых нагрузках зданий и сооружений на геологическую среду;
- перечень характеристик многолетнемерзлых, сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, необходимых для проектирования объекта капитального строительства;
- прогнозируемой глубине теплового и механического взаимодействия проектируемых сооружений с грунтами оснований.
- требования о выдаче промежуточных (предварительных) отчетных материалов по результатам инженерно-геологических изысканий в районах распространения ММГ

в случае необходимости получения оперативной информации о распространении геокриологических процессов.

При сборе материалов прошлых лет осуществляется в соответствии с СП 446.1325800.2019 (пункт 5.3) и в районах распространения ММП дополнительному изучению подлежат (согласно п. 4.3.5.1 СП 493.1325800.2020):

- результаты геокриологических исследований и локального геокриологического мониторинга компонентов геологической среды (если они проводились);
- геокриологические карты, имеющиеся на данную территорию;
- научно-исследовательские работы и научно-техническая литература, в которых содержатся данные о геокриологических условиях территории и (или) приводятся результаты разработок по методике и технологии выполнения геокриологических исследований.

В состав материалов, подлежащих сбору и обработке, следует включать сведения о характере распространения ММГ (СП 115.13330), их составе, свойствах, льдистости, засоленности (приложение Б), глубинах сезонного оттаивания и сезонного промерзания, средней годовой температуре грунтов, залегании повторно-жильных и пластовых льдов, составе и свойствах грунтов СМС и СТС, геокриологических процессах и явлениях, о подземных водах (надмерзлотных, межмерзлотных, подмерзлотных), изменениях геокриологических условий под влиянием природных и техногенных факторов, опыте строительства и эксплуатации зданий и сооружений на данной территории или в схожих инженерно-геокриологических условиях (при наличии).

При маршрутных наблюдениях проводят описание естественных и искусственных обнажений грунтов, их льдистости, особенностей криогенного строения, обнажений подземных льдов (пластовых, повторно-жильных и др.), водопроявлений, геоморфологических условий, типов ландшафтов с выявлением характерного набора индикационных признаков, отражающих характер распространения ММГ, наличия и активности геокриологических процессов (п. 4.3.7.4 СП 493.1325800.2020). При наблюдениях на застроенной территории дополнительно выявляют развитие заболачивания, подтопления, деформаций поверхности земли из-за активизации геокриологических процессов (термокарста, морозного пучения, морозобойного растрескивания) и другие факторы, обуславливающие изменение инженерно-геокриологических условий или являющиеся их следствием (п. 4.3.7.5 СП 493.1325800.2020).

Проходка инженерно-геологических выработок требуется для:

- установления инженерно-геокриологического разреза и условий залегания грунтов и подземных вод;
- определения глубин залегания ММГ, их сезонного оттаивания и промерзания;
- изучения температурного режима, мощности мерзлых грунтов и характера их залегания, состава и криогенного строения, выявления и оконтуривания повторно-жильных и пластовых льдов, криопэгов, исследования геокриологических процессов и явлений;
- отбора образцов грунтов с последующим определением их состава, состояния, криогенного строения и свойств, а также проб подземных вод для их химического анализа;
- проведения полевых исследований свойств мерзлых грунтов, определения гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и зоны аэрации и выполнения геофизических исследований;
- выявления и оконтуривания участков распространения таликовых зон, специфических грунтов и зон проявления геокриологических процессов.

Особенности мерзлых грунтов ограничивают возможность применения некоторых разновидностей способов бурения. Допустимыми являются только те способы, которые обеспечивают получение образцов грунта с ненарушенным криогенным строением (п. 4.3.8 СП 493.1325800.2020). Глубина таких выработок должна быть до прогнозируемой глубины теплового и механического взаимодействия проектируемых сооружений с мерзлыми грунтами оснований, но не менее 10 м (п. 4.3.8.3 СП 493.1325800.2020).

Отбор образцов грунтов, их упаковка, транспортировка и хранение проводят в соответствии с ГОСТ 12071 (п. 4.3.8.4 СП 493.1325800.2020).

Подземные воды СТС и таликов, надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды исследуют для оценки их влияния на активизацию геокриологических процессов (термокарста, пучения), формирование техногенного подтопления, перенос загрязняющих веществ в поверхностные водотоки, а также для оценки их агрессивного воздействия на фундаменты и подземные коммуникации (п. 4.3.10 СП 493.1325800.2020).

Опасные инженерно-геологические процессы изучают в соответствии с СП 446.1325800, в первую очередь в районах распространения ММП исследуют геокриологические процессы: морозное пучение грунтов (в том числе, образование бугров пучения), термоэрозия, термоабразия, солифлюкция, термокарст,

наледообразование, курумообразование, морозобойное растрескивание (п. 4.3.13 СП 493.1325800.2020).

1.1 Геокриологические карты и районирование

В ходе инженерно-геокриологической съемки должны быть получены сведения и данные о рельефе; о геологическом строении грунтового массива; о геоморфологических и гидрогеологических условиях территории; о составе, состоянии и свойствах многолетнемерзлых, сезонноталых и сезонномерзлых грунтов; о геокриологических и других геологических (включая сейсмостектонические в сейсмических районах) и инженерно-геологических процессах (п. 4.3.15 СП 493.1325800.2020).

Результатом инженерно-геокриологической съемки являются геокриологические карты (в том числе карты инженерно-геокриологического районирования и инженерно-геокриологических условий).

Карта инженерно-геокриологического районирования может быть составлена как на основе общего, так и частного (специального) районирования. Карта на основе общего инженерно-геокриологического районирования составляется с выделением регионов (по структурно-тектоническим признакам), областей внутри регионов (по геоморфологическим признакам), районов внутри областей (по типу геокриологических условий), участков и зон внутри районов (по одному из характерных для данной территории факторов). Карта инженерно-геокриологического районирования на основе частного (специального) районирования строится по типологическому принципу, с выделением территорий, характеризующихся определенным типом инженерно-геокриологических условий для решения определенных проектных задач (п. 4.3.15.1 СП 493.1325800.2020).

По данным съемки и сопутствующих полевых работ проводится районирование по степени термокарстовой, термоэрозионной, наледной и прочих опасностей, с учетом максимальных размеров поверхностных проявлений процессов в плане (средняя величина в м), плотности поверхностных проявлений на 1 км или на 1 га, других параметров и характеристик рассматриваемых процессов (п. 4.3.15.2 СП 493.1325800.2020).

На общих картах инженерно-геокриологических условий должны быть отражены следующие факторы (п. 4.3.15.4 СП 493.1325800.2020):

- геоморфологические: рельеф, его характер, формы, генезис;
- геологические и инженерно-геологические: генезис, возраст, условия залегания, состав, строение многолетнемерзлых, сезонноталых, сезонномерзлых

грунтов, в том числе специфических; распространение геокриологических и других геологических и инженерно-геологических процессов; специфических грунтов (в том числе засоленных); физико-механические свойства многолетнемерзлых, сезонноталых и сезонномерзлых грунтов (при необходимости);

- геокриологические: особенности распространения; их льдистость (в соответствии с ГОСТ 25100) в зоне механического и теплового взаимодействия сооружений с геологической средой; наличие залежей льда (повторно-жильного и пластового, в горных районах - погребенного ледникового); среднегодовая температура ММГ (близкая к 0°С температура ММГ обуславливает их динамичность, возможность развития многолетнего оттаивания или промерзания);

- гидрогеологические: наличие, распространение, характер и химический состав подземных вод;

- геодинамические: наличие тектонических разломов (в первую очередь активных разломов) и вулканов;

- техногенное воздействие на территорию.

ГЛАВА 2. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

К сейсмическим районам относят территории с установленными и возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке строительства сейсмические воздействия интенсивностью 6 баллов и более. Строительство в таких районах регламентируется СП 14.13330.2018. Опасность инженерно-геологических процессов оценивают по СП 115.13330.2016.

Помимо основных инженерно-изыскательных работ, в сейсмических районах проводят (СП 446.1325200, 2019):

- сейсмологические и сейсмотектонические исследования, сейсмическое микрорайонирование (СМР);
- лабораторные исследования сейсмических свойств грунтов;
- разработка прогноза изменений сейсмических условий и рекомендаций для принятия проектных решений по инженерной защите территории.

При проведении изысканий на территориях с уже имеющейся застройкой дополнительно собирают топографические планы прошлых лет, материалы по вертикальной планировке, строительству подземных сооружений (СП 446.1325200, 2019).

Сейсмологические исследования выполняются в районах с сейсмичностью 6 баллов и более. Сейсмическое микрорайонирование (СМР) обычно выполняется в районах с сейсмичностью 7 баллов и выше, но может также проводиться и при меньшей балльности, если площадка сложена грунтами категории III или IV по сейсмическим свойствам в соответствии с СП 14.13330.2018.

При проведении изысканий в сейсмических регионах учитывают проявление вторичных эффектов, связанных с сейсмичностью (разжижение грунтов, склоновые процессы и др.) (СП 446.1325200, 2019).

Инженерно-геологические изыскания в сейсмических районах должны быть основанием для составления карт с выделением границ участков развития опасных геологических процессов, а также для прогноза землетрясений и их влияния на объекты строительства (СП 446.1325200, 2019).

Кроме того, в соответствии с пунктом 6.3.3.14 СП 47.13330.2016 при инженерно-геологических изысканиях в сейсмических районах (с сейсмичностью 6 и более баллов по действующему комплекту нормативных карт ОСР - А, В или С в зависимости от

периода повторяемости сейсмических воздействий) следует дополнительно к пункту 6.3.1.5 приводить в техническом отчете:

- сведения об исходной сейсмичности (принимаемой по соответствующей карте ОСР, указанной в задании) для объектов пониженного и нормального уровней ответственности;

- результаты уточнения исходной сейсмичности (УИС) (при нормативной сейсмичности 6 и более баллов по действующей карте ОСР, указанной в задании) для объектов повышенного уровня ответственности. Результаты дополнительных исследований имеют приоритет по отношению к картам ОСР при определении исходной интенсивности сейсмических воздействий для данной категории сооружений, если они утверждены в установленном порядке;

- результаты работ по сейсмическому микрорайонированию (при нормативной сейсмичности 7 и более баллов по действующей карте ОСР, указанной в задании) в соответствии с требованиями СП 14.13330. Если по результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что площадка сложена грунтами III или IV категории по сейсмическим свойствам (таблица 1, СП 14.13330.2014), сейсмическое микрорайонирование выполняется и при нормативной сейсмичности 6 баллов;

- параметры сейсмических воздействий, соответствующие методам расчетов сейсмостойкости, применяемым при проектировании конкретного объекта и указанным в задании.

На картах (схемах) сейсмического микрорайонирования следует указывать сейсмичность в баллах (для заданной повторяемости сейсмических воздействий) на момент выполнения инженерных изысканий и давать прогноз ее изменения с учетом изменений инженерно-геологических условий в период строительства и эксплуатации объектов.

2.1 Карты общего, детального и микро- сейсмического районирования

Согласно действующим СП 14.13330.2018 "Строительство в сейсмических районах", исходную фоновую сейсмичность района строительства определяют в соответствии с картами общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2015). Сейсмическая интенсивность на картах указывается в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности — А, В и С. В комплект входят три карты А, В и С, показывающие вероятность превышения за 50 лет указанных значений сейсмической активности, равную 10%, 5% или 1% соответственно (рисунок 1). Этим вероятностям

соответствуют интервалы времени в 500, 1000 и 5000 лет между землетрясениями расчетной интенсивности. Карта А предназначена для проектирования объектов нормального и пониженного уровня ответственности, карты В и С - для объектов повышенной ответственности и особо ответственных объектов (СП 14.13330, 2018).

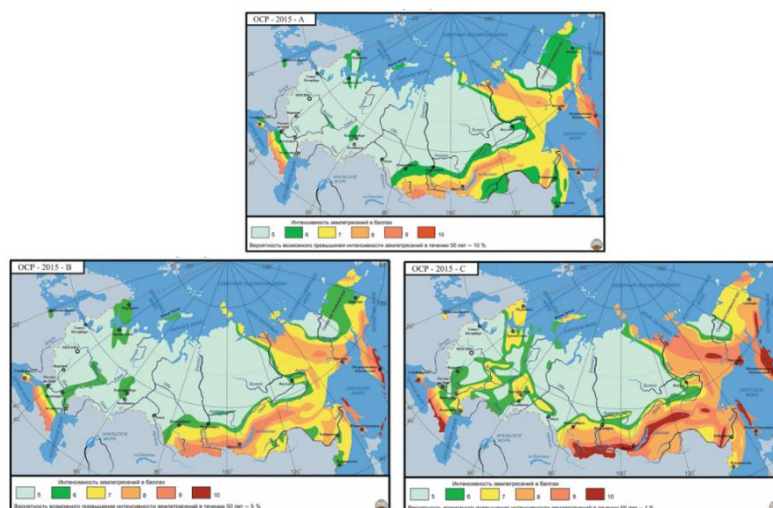


Рисунок 1. Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2015 (Комплект карт ОСР, 2015).

Так как карты общего сейсмического районирования составлены в мелком масштабе (1:2.500.000) и для усредненных грунтовых условий, то при изучении отдельных районов или населенных пунктов необходимо уточнение сейсмической опасности (УСО). В процесс УСО входят два вида работ (Научные публикации В.И. Уломова, 24.02.2020):

1. Детальное сейсмическое районирование (ДСР). При выполнении ДСР уточняется модель источников землетрясений. Карты ДСР составляют на основе карт ОСР в масштабе 1:500.000

2. Сейсмическое микрорайонирование (СМР). При проведении СМР учитываются реальные грунты под объектом строительства. Карты СМР составляют на основе карт ДСР в масштабе 1:50.000 и учитывают приращение сейсмической интенсивности за счет местных грунтовых условий.

2.2 Геофизические исследования, проводимые в районах с повышенной сейсмичностью

Для детализации сейсмических условий производится сейсмическое микрорайонирование. Его задача — установление расчетного балла, то есть выделение

участков с разными грунтовыми, морфологическими и гидрогеологическими условиями (Иванов, 2001).

Инженерно-геологические исследования проводятся методами наземной инженерной сейсморазведки: метод преломленных волн (МПВ, КМПВ), метод анализа поверхностных волн (MASW), а также методами электроразведки: вертикальное электроразведывание (ВЭЗ) и его модификации, электропрофилирование (ЭП). Дополнительно проводятся инструментальные сейсмологические наблюдения для регистрации микросейсм и землетрясений на исследуемой территории. Для получения параметров прогнозируемых сейсмических воздействий для принятия проектных решений на последней стадии проектирования производятся специальные расчёты по методу сейсмических жесткостей (МСЖ) и методам моделирования с подбором акселерограмм-аналогов (GeophysTech, 03.10.2021).

При расчетах используется параметр *средней сейсмической жёсткости* толщи грунтов. Это безразмерная величина, рассчитывается до глубины 10 метров как произведение скорости распространения упругих сейсмических волн на плотность пород. В следующей таблице приведены значения средней сейсмической жёсткости некоторых типов горных пород (Бондарев, 2003).

Таблица 1. Типы горных пород и соответствующие им значения средней сейсмической жёсткости (Бондарев, 2003).

Горные породы	$V_p \times \rho$
Граниты	16,2
Известняки и песчаники	12,6...5
Полускальные грунты	7,2...2,9
Крупнообломочные грунты	4,2... 1,4
Пески	3,1...1
Глинистые грунты	3...1
Насыпные рыхлые	0,9...0,26

Кроме того, при сейсмическом микрорайонировании проводят уточнение влияния грунтовых условий на сейсмическую интенсивность. Определяют приращение

сейсмической интенсивности с помощью метода сейсмических жесткостей по формуле Медведева:

$$\Delta I = \Delta I_C + \Delta I_B + \Delta I_{\text{рез}},$$

где ΔI — суммарное приращение сейсмической интенсивности (в баллах) относительно фоновой балльности, ΔI_C — приращение сейсмической интенсивности за счет различия грунтовых условий, ΔI_B — приращение сейсмической интенсивности за счет ухудшения свойств грунтов при обводнении, $\Delta I_{\text{рез}}$ — приращение сейсмической интенсивности за счет резонансных явлений. В формуле Медведева, помимо волновой интенсивности, учитывается глубина залегания грунтовых вод и резонансные явления в грунтах (Кириченко и др., 2017).

При сейсмическом микрорайонировании используют, с одной стороны, сведения о районе и грунтах, полученные при инженерно-геологических изысканиях, и, с другой стороны, данные о сейсмических свойствах грунтов, определенные инструментально. Последними могут быть, например, данные об амплитудах смещений и колебаний грунтов, об акустических жесткостях грунтов с учетом резонансных свойств инженерно-геологического элемента, о типах частотных характеристик и т. д. (Кудинова, 2020).

В результате составляют карты сейсмического районирования. Они являются прогнозными, указывают место и возможную силу землетрясения на данном участке (Иванов, 2001).

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Вдоль побережья Охотского моря прослеживается Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, сложенный мощными толщами наземных вулканитов разного состава и ассоциирующими с ними интрузивными комплексами, который сформировался в течение альба-сеномана. Он принадлежит к типу окраинно-континентальных вулканогенных поясов и, таким образом, в известной мере фиксирует позднемезозойскую зону перехода от континента к океану, занимая пограничное положение между мезозойской Верхояно-Чукотской и кайнозойской Корьякско-Камчатской складчатыми областями (рисунок 2) (Короновский, 2011).

Охотско-Чукотский краевой вулкано-плутонический пояс.

Охотско-Чукотский пояс образовался в середине и второй половине мела. Он приурочен к тектоническому шву, отделяющему позднекимерийскую Верхояно-Чукотскую складчатую область от более молодых складчатых сооружений Тихоокеанского пояса. Его протяженность 3200 км, объем вулканитов 1,1 млн км³. В структуре пояса различают внешнюю (северо-западную) и внутреннюю (юго-восточную) зоны. Эти зоны разделены погребенным глубинным швом. Вулканический комплекс внутренней зоны Охотско-Чукотского пояса налегает без углового несогласия на верхнеюрские и нижнемеловые осадочно-вулканогенные образования Кони-Тайгоносской позднемеловой складчатой зоны Тихоокеанского пояса. Комплекс внутренней зоны Охотско-Чукотского пояса и образования Кони-Тайгоносской зоны были смяты вместе в линейные складки (Милановский, 1996).

Кони-Тайгоноская складчатая зона.

Кони-Тайгоноская узкая складчатая зона, возникшая в середине мела, слагает основание Охотско-Чукотского вулканического пояса, простирается к юго-востоку от него и частично обнажается на полуостровах Кони, Тайгонос и северо-восточнее Пенжинской губы. С востока к Кони-Тайгоносской зоне примыкает Корьякская покровно-складчатая система, образовавшаяся в конце мела — начале палеогена. Кони-Тайгоноская складчатая зона включает в себя (с северо-запада на юго-восток): небольшой Тайгоносский массив, сложенный в основном метаморфическим комплексом архея, Северо-Тайгоносский синклиниорий, выполненный терригенно-вулканогенными толщами триаса — нижнего мела и узкий Южно-Тайгоносский антиклиниорий, сложенный из смятых толщ палеозоя-мезозоя с интрузиями

гранитоидов. Кони-Тайгоноская зона обладает зрелой континентальной корой мощностью до 35-40 км. (Милановский, 1996).

Эвенская вулканическая зона.

В составе Охотско-Чукотского вулканического пояса, на границе с Кони-Тайгоносской складчатой зоной, выделяют Эвенскую вулканическую зону. Она сложена меловыми вулканитами и базальтоидными комплексами (Полин, 2019). В составе вулканитов эвенской серии верхнего мела выделяют 2 свиты: тава-таумскую (андезито-дацитовая) и каяханскую (липаритовая) (Заборовская, 1978). С вулканитами Эвенской зоны связана одноименная группа золото-серебряных месторождений (Горячев и др., 2021).

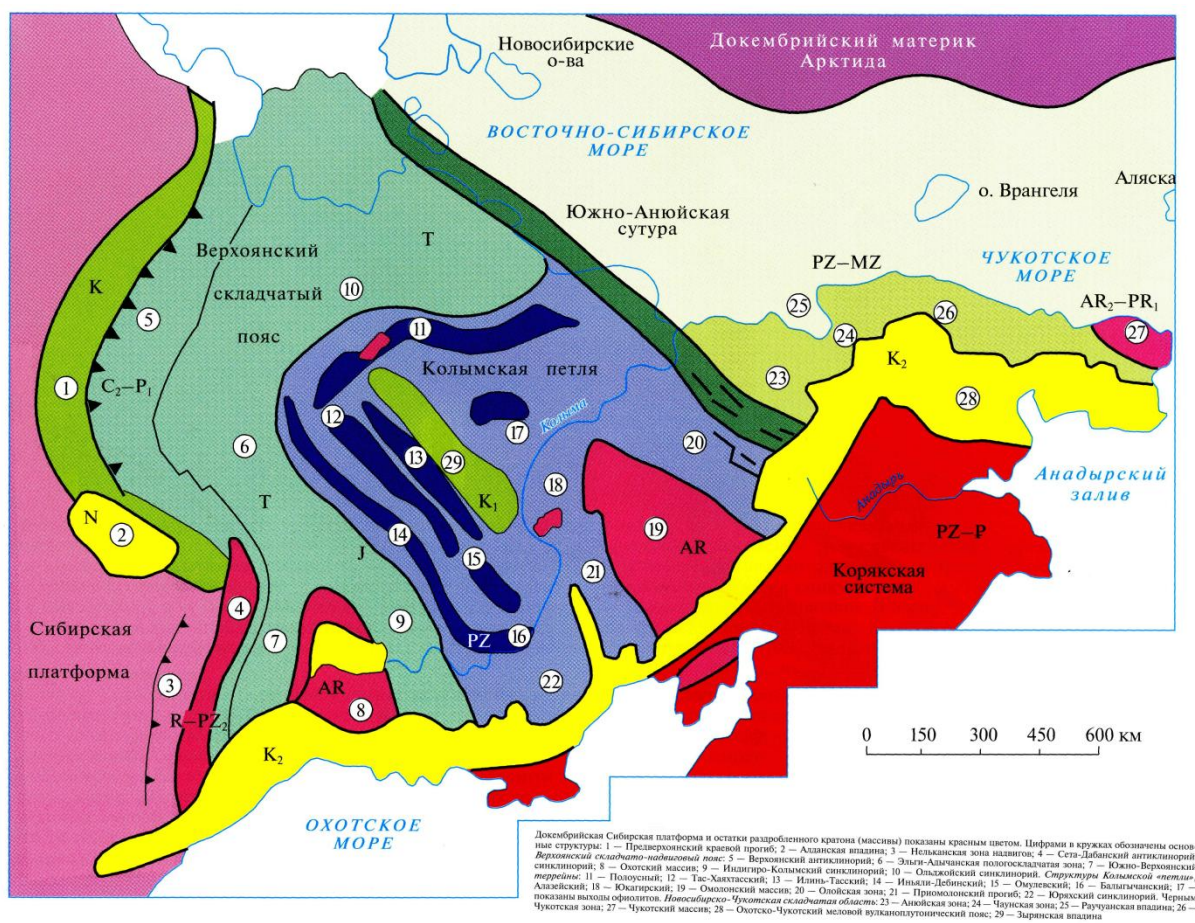


Рисунок 2. Тектоническая схема Верхояно-Чукотской складчатой области (Короновский, 2011).

ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект изысканий – «Модернизация схемы электроснабжения УМП «Коммунальная энергетика» с размещением ветроэнергетической установки (ВЭУ). АГЭУ Эвенск расположен в Северо-Эвенском районе Магаданской области, в поселке городского типа Эвенск. Эвенск является районным центром, расположен на месте впадения р. Большая Гарманда в залив Шелихова Охотского моря.

Планируется размещение 7 ветроэнергетических установок по трассе протяженностью 24,9 км (рисунок 3). Помимо этого, проектируется автодорога от границ земельного участка ВЭС до пгт Эвенск, высоковольтная воздушная линия электропередач, размещение системы накопления энергии и комплектной трансформаторной подстанции (Технический отчет, Том 2, 2021).

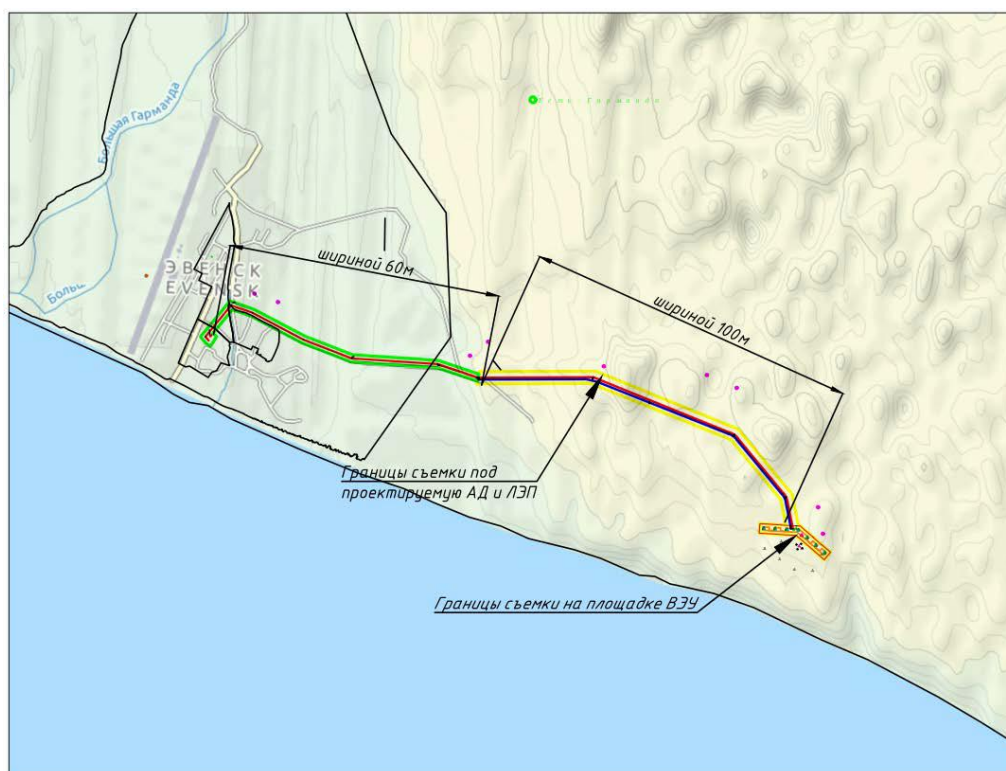


Рисунок 3. Схема расположения участка изысканий (Технический отчет, Том 2, 2021).

4.1 Физико-географические условия и геоморфологическая приуроченность

Территория участка работ представляет собой типичную для прибрежных районов Охотского моря равнинную местность. В геоморфологическом отношении она приурочена к приморским низменным равнинам. Участок изысканий находится на территории с абсолютными отметками от 46 м до 112 м над уровнем моря.

Климат описываемого района характеризуется высоким широтным положением и значительным влиянием муссонных ветров. В холодный период года господствуют ветры восточных и северо-восточных румбов, в теплый период года – южных. Среднегодовая температура воздуха отрицательная и равна минус 6,8 градусов. На побережье в любое время года, а особенно зимой, наблюдается максимальный горизонтальный градиент температуры и давления воздуха, т. е. в прибрежной зоне почти всегда есть условия для возникновения сильного ветра (Технический отчет, Том 4, 2021).

В результате ветровой деятельности часто встречаются большие сугробы снега и застрugi, ориентированные по направлению господствующих ветров. Среднемесячные скорости ветра в течении года не имеют больших отклонений (4,3 м/сек в июле и 5,7 м/сек в январе) (Технический отчет, Том 2, 2021).

4.2 Геологические условия

С точки зрения инженерно-геологического районирования Дальнего Востока Эвенск относится к Тауйско-Тайгоносскому региону. В тектоническом отношении совпадает с одноименной складчатой зоной Охотско-Корякской складчатой системы.

В геологическом строении изучаемой территории принимают участие палеогеновые отложения, комплекс ледниковых и водноледниковых верхнеплейстоценовых, современных аллювиальных отложений (рисунок 4) (Технический отчет, Том 2, 2021).

Палеогеновые отложения представлены преимущественно базальтами, андезитами, липаритами, дацитами, реже терригенными породами. В составе формации преобладают эффузивы основного и среднего состава. Общая мощность формации составляет 500-900 м.

Ледниковые отложения представлены несортированными бесструктурными суглинками и супесями с большим содержанием обломочного материала различной степени окатанности. Мощность отложений достигает до 80 м.

Водно-ледниковые отложения близки по составу ледниковым, но отличаются лучшей сортировкой материала. Преобладают галечники, переслаивающиеся с хорошо промытыми гравийными прослоями, песчаными и торфяными линзами мощностью до 2 м.

Аллювиальные отложения распространены по долинам рек. Представлены гравийно-галечниковым материалом с разнoзернистым песком, реже песками с прослоями супесей, суглинков, илов, гравия.

По результатам инженерно-геологических изысканий в геологическом строении исследованного участка в пределах глубины до 20,0 м принимают участие четвертичные биогенные, аллювиальные, флювиогляциальные, элювиальные отложения, подстилаемые палеогеновыми скальными грунтами (рисунок 5) (Технический отчет, Том 2, 2021).

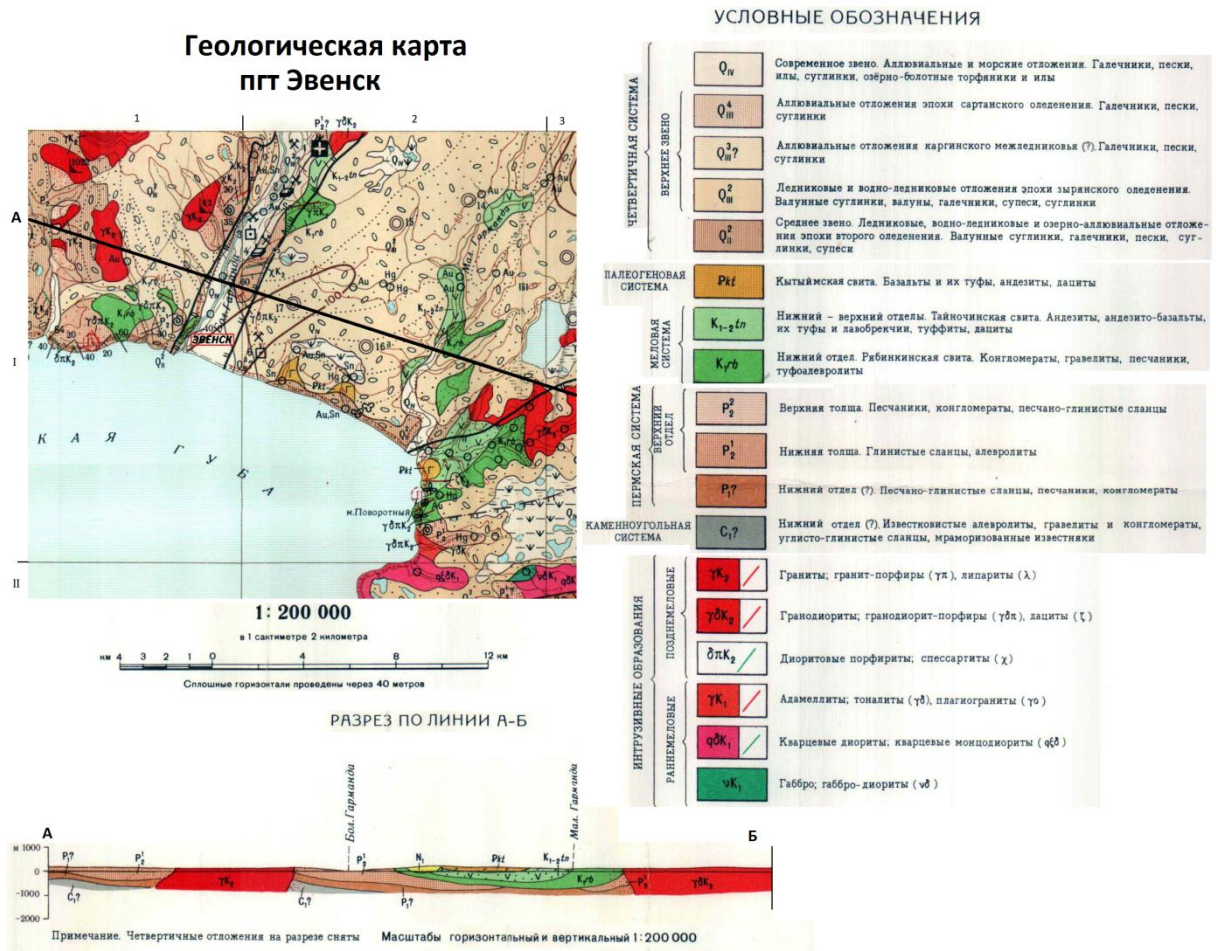


Рисунок 4. Увеличенный участок геологической карты (Магаданская серия, лист Р-57-XXII), на котором представлена территория пгт. Эвенск.

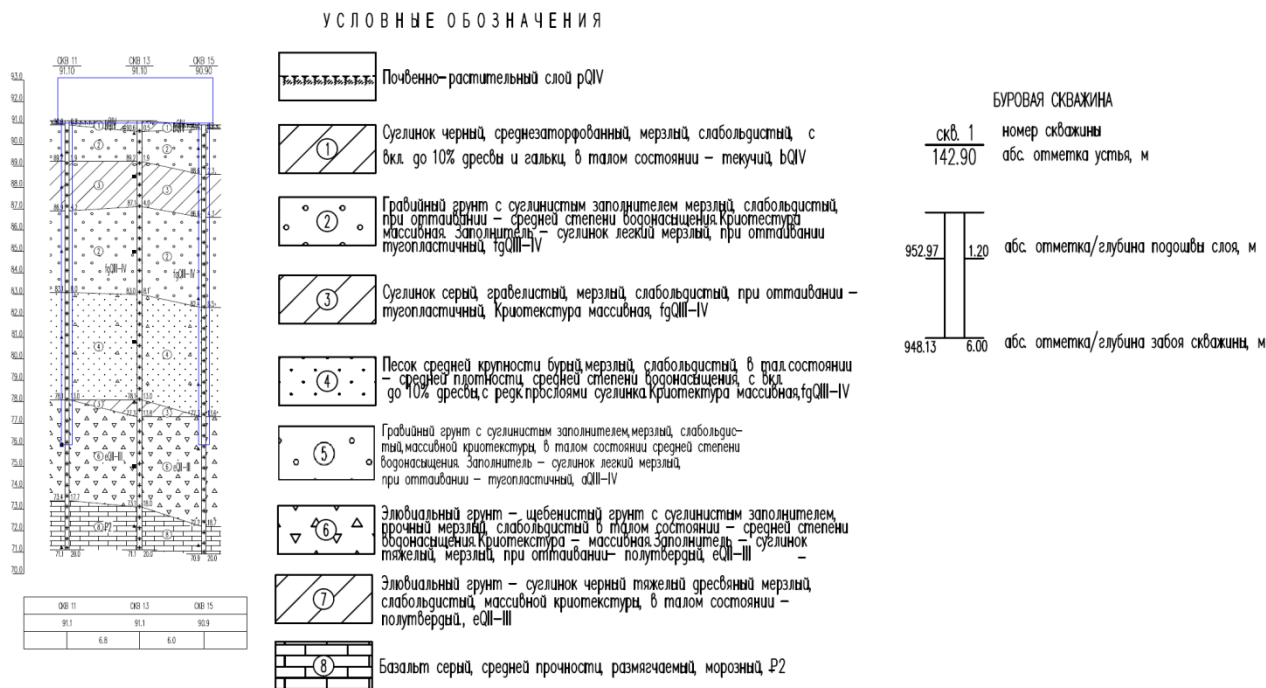


Рисунок 5. Литолого-стратиграфическая колонка 20-метровой скважины
(Технический отчет, Том 2, 2021).

4.3 Гидрогеологические условия

Согласно схеме гидрогеологического районирования северо-востока России, изученная территория расположена в юго-восточной части Приохотской системы трещинных и трещинно-жильных вод. В гидрогеологическом строении выделяются подземные воды: надмерзлотные воды сезонного оттаивания и сквозных таликов (Технический отчет, Том 2, 2021).

Надмерзлотные воды распространены в слое сезонного оттаивания и в пределах надмерзлотных таликов. Глубина до воды обычно составляет 0,1-1,5 м. Воды сезонно-талого слоя развиты во всех генетических типах современных отложений, в жидком состоянии находятся только в летне-осенний период.

Воды надмерзлотных и сквозных таликов распространены в долинах рек, под крупными озерами.

В период проведения полевых изыскательских работ (апрель 2021 г.) подземные воды в вскрыты в скважине 53 на глубине 0,5 м. Воды безнапорные и приурочены к слою сезонного оттаивания. По химическому составу воды гидрокарбонатно-сульфатные магниевые, пресные (Технический отчет, Том 2, 2021).

Грунтовые воды слабоагрессивны по показателю бикарбонатной щелочности к бетону марки W4, к остальным маркам бетона W6-W20 и к стальной арматуре железобетонных конструкций вода неагрессивна. (СП 28.13330.2017 г. табл. В1-В8).

В период положительных температур возможно появление водоносного горизонта в слое сезонного оттаивания. Согласно приложению И СП 11-105-97 часть II, территория изысканий относится к участку I-A-2 (сезонно подтапливаемые).

4.4 Инженерно-геологические элементы

На основании анализа пространственной изменчивости частных показателей свойств грунтов, определенных лабораторными методами, а также на основании документации скважин в пределах изучаемых глубин выделяются 8 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) (Технический отчет, Том 2, 2021):

ИГЭ № 1 Суглинок черный тяжелый среднеторфованный, мерзлый, слабодистый в талом состоянии текучий. Криотекстура грунта массивная (bQIV);

ИГЭ № 2 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем, мерзлый, слабодистый, массивной криотекстуры, при оттаивании – средней степени водонасыщения. Заполнитель - суглинок легкий мерзлый, при оттаивании тугопластичный;

ИГЭ № 3 Суглинок серый легкий гравелистый, мерзлый, слабодистый, массивной криотекстуры, при оттаивании тугопластичный;

ИГЭ № 4 Песок бурый средней крупности, мерзлый, слабодистый, массивной криотекстуры, в талом состоянии средней плотности, средней степени водонасыщения;

ИГЭ № 5 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем, мерзлый, слабодистый, массивной криотекстуры, в талом состоянии средней степени водонасыщения. Заполнитель - суглинок легкий мерзлый, при оттаивании – тугопластичный;

ИГЭ № 6 Элювиальный грунт - щебенистый грунт с суглинистым заполнителем, прочный, мерзлый, слабодистый, массивной криотекстуры, в талом состоянии средней степени водонасыщения. Заполнитель - суглинок тяжелый, мерзлый, при оттаивании – полутвердый;

ИГЭ № 7 Элювиальный грунт - суглинок черный тяжелый дресвяный мерзлый, слабодистый, массивной криотекстуры, в талом состоянии полутвердый;

ИГЭ № 8 Скальный грунт - базальты серые, средней прочности, размягчаемые, морозные.

В качестве основания выбраны суглинки ИГЭ 7. Скальные грунты ИГЭ 8 не были выбраны в качестве основания, так как имеют местами глубокое залегание и не были вскрыты всеми инженерно-геологическими выработками,

4.5 Специфические грунты

Органоминеральные грунты ИГЭ № 1, представленные суглинком черным среднезаторфованным, мерзлым, слабодистым, относятся к специфическим. В период проведения плевых работ грунты ИГЭ № 1 находятся в мерзлом состоянии, залегают с поверхности. Мощность слоя составляет 0,3-1,3 м. В период положительных температур на участках распространения специфического грунта ИГЭ № 1 при его оттаивании распространено заболачивание местности (Технический отчет, Том 2, 2021).

Грунты с примесью органического вещества обладают большой сжимаемостью под нагрузкой, проявлением пластических деформаций в широком диапазоне отрицательных температур, пониженной прочностью смерзания с фундаментами, низкой теплопроводностью и замедленной стабилизацией осадков при оттаивании.

Элювиальные грунты ИГЭ № 6 и № 7 так же относятся к специфическим. ИГЭ № 6 представлен щебенистым грунтом с суглинистым заполнителем, ИГЭ № 7 – суглинком тяжелым дресвяным. В период проведения плевых работ грунты ИГЭ № 6 и № 7 находятся в мерзлом состоянии. Залегают на глубинах 75,1-76,3 м и 75,6-83,4 м соответственно. Мощность составляет 1-8 м для ИГЭ № 6 и 6-10 м для ИГЭ № 7.

4.6 Инженерно-геологическое описание трассы

Протяженность всей исследуемой трассы 24,9 км. По геоморфологическим, литологическим и гидрогеологическим особенностям всю трассу можно разбить на 4 характерных участка (Технический отчет, Том 2, 2021).

1. ПК0+00-ПК2+47

Проектируемая трасса ЛЭП проходит по территории пгт. Эвенск, начинаясь от существующей дизельной электростанции. Близлежащая территория застроена малоэтажными зданиями и сооружениями. Поверхность территории частично спланирована, с абсолютными отметками 6-7 м. В геологическом разрезе территории принимают участие элювиальные отложения, представленные гравийным грунтом с суглинистым заполнителем, мерзлым. Максимальная вскрытая мощность 9,7 м. Участок попадает в зону сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов. На ПК 2+01 трасса ЛЭП пересекает ручей Безымянный, далее проектная трасса поворачивает на существующую дорогу к полигону ТБО и протягивается в юго-восточном направлении вдоль неё. Из инженерно-геологических процессов на участке возможно развитие морозного пучения.

2. ПК2+47-ПК24+00

Проектируемая трасса ЛЭП проходит по естественной поверхности, слева, вдоль существующей дороги к полигону ТБО. Территория представлена типичным слабонаклонным равнинным ландшафтом, характерным для тундры. Абсолютные отметки колеблется в пределах от 16 до 87 метров. С ПК2+47 до ПК 9+00 на поверхности наблюдаются наледи, образованные в результате разлива ручья Безымянный. С поверхности территория покрыта почвенно-растительным слоем, ниже залегают суглинки заторфованные, служащие теплоизоляционным слоем для мерзлых грунтов, далее по разрезу их подстилают многолетнемерзлые суглинки гравийные, чередуясь с гравийным грунтом с суглинистым заполнителем. Также по разрезу встречаются пески средней крупности, мерзлые. По генетическому типу, отложения представляют собой биогенные, аллювиальные и флювиогляциальные отложения. На момент проведения полевых работ (апрель 2021) грунтовые воды вскрыты в скважине № 53 на глубине 0,5 м. В период положительных температур возможно формирование водоносного горизонта.

3. ПК24+00-ПК55+44

На данном участке параллельно с проектной трассой линии ЛЭП проходит проектная трасса оси автомобильной дороги, соединяющая площадку ВЭУ с существующей дорогой до полигона ТБО. Рельеф местности в основном равнинный, лишь местами расчленен водотоком (ПК 31+02) и небольшими плоскими возвышенностями. Абсолютные отметки колеблется в пределах от 83 до 107 метров. Проектные трассы проходят по естественной поверхности, по целине. С поверхности разрез представлен почвенно-растительным слоем, подстилают его суглинки заторфованные. Далее, разрез представлен многолетнемерзлыми флювиогляциальными отложениями, в виде переслаивания суглинка гравийного с гравийным грунтом. В некоторых скважинах в основании разреза встречены ниже-среднечетвертичные элювиальные отложения, в виде щебенистого грунта с заполнителем. В период положительных температур на поверхности формируется верховодка, характерная для заболоченных участков тундры. Из инженерно-геологических процессов на участке возможно развитие морозного пучения.

4. Площадка размещения ВЭУ

Площадка представляет собой равнинную поверхность, с абсолютными отметками от 81 до 93 метров. На участке расположен существующий ветроизмерительный комплекс, а также планируется разместить семь ветроэнергетических установок, модуль системы накопления энергии и комплектную

трансформаторную подстанцию. С поверхности разрез представлен почвенно-растительным слоем, ниже его подстилают флювиогляциальные отложения в виде переслаивающихся суглинка гравийного и гравийного грунта с суглинистым заполнителем. Реже встречаются прослойки песка средней крупности. Подстилают флювиогляциальные отложения элювиальные грунты, в виде щебенистого грунта с суглинистым заполнителем, переходящие с глубиной в скальный грунт, представленный базальтами прочными. Участок расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Из инженерно-геологических процессов на участке возможно развитие морозного пучения.

ГЛАВА 5. ФАКТОРЫ И ПРОЦЕССЫ, ОСЛОЖНЯЮЩИЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ НА УЧАСТКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Результаты сейсмического микрорайонирования

Территория будущего строительства характеризуется исходной сейсмичностью 7 баллов согласно картам ОСР-2015-А и ОСР-2015-В (рисунок 6). В соответствии с таблицей 1 СП 14.13330.2018, исследованные грунты относятся ко II категории грунтов по сейсмическим свойствам при условии строительства и эксплуатации по принципу I (Технический отчет, Том 2, 2021). Расчеты сейсмичности сведены в таблицу 2.

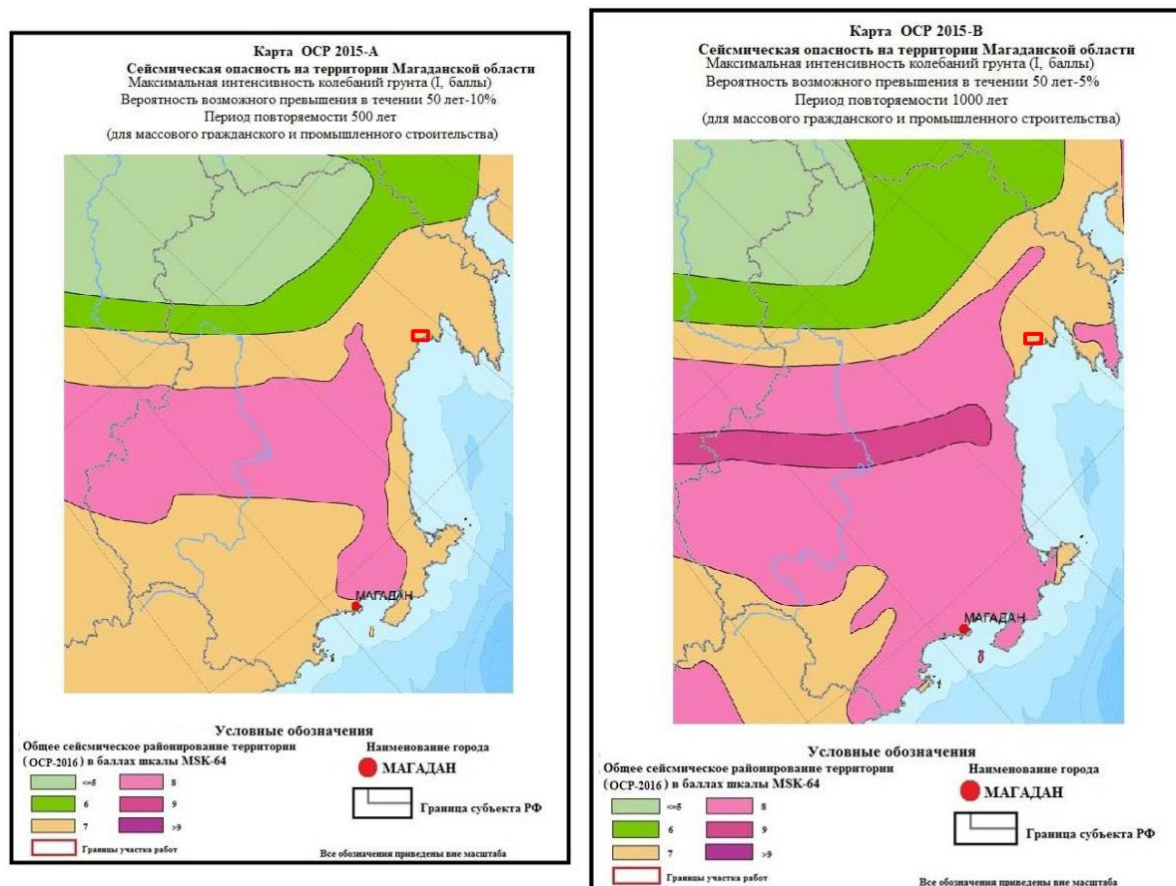


Рисунок 6. Карты ОСР-А и ОСР-В для территории Магаданской области (Технический отчет, Том 2, 2021).

Анализ возможных очагов землетрясений (ВОЗ) и расчет интенсивности сотрясений выполнялся с использованием программного комплекса вероятностного анализа сейсмической опасности EAST-2016 (ВОСТОК-2016), разработанного в 2016 году на основе методики ОСР-97 под руководством В.И. Уломова (ИФЗ РАН, г. Москва). Для исследуемой территории по программе EAST-2016 был выполнен расчет

интенсивности сотрясаемости в баллах. Приведенные расчеты по уточнению сейсмической опасности с использованием программного комплекса вероятностного анализа сейсмической опасности EAST-2016 (ВОСТОК-2016) показывают, что интенсивность сотрясаемости на территории исследования составляет 7.1 балла (карта ОСР-2015 А), 7.6 балла (карта ОСР-2015 В).

Оценка сейсмической опасности с учетом конкретных инженерно-геологических условий (СМР) базируется на двух взаимодополняющих друг друга методах: инструментальные методы и расчетные методы (математическое моделирование). Параметры сейсмических воздействий оцениваются для периода повторяемости ожидаемых землетрясений $T = 500$, что соответствует для строительства объектов нормальному уровню ответственности проектируемых объектов.

Конечным результатом работ является уточненные параметры сейсмической опасности площадок, с точностью до 0.1 балла.

При проведении работ по сейсмическому микрорайонированию были выполнены сейморазведочные работы для определения расчетной сейсмичности участка изысканий в виде отдельных зондирований на продольных V_p и поперечных V_s волнах. На всей территории изысканий проведены работы в пятнадцати точках сейсмического зондирования (СЗ1 – СЗ15). В основу оценки сейсмичности площадки положены следующие принципы:

- Фоновая сейсмичность района в соответствии с работами по уточнению исходной сейсмичности (УИС) нормального уровня ответственности – 7.0 (карта А) балла, 7.0 - (карта В) балла.
- В качестве эталонного приняты средние грунты, относящиеся к II категории по сейсмическим свойствам согласно табл. 1 СП 14.13330.2018 и п 5.1 РСН 60-86.
- Приращение сейсмичности по методу жесткостей, рассчитанные для грунтов, слагающих площадку, относительно эталонного грунта с учетом уровня грунтовых вод, составило 0.1; 0.2; 1.2 балла на момент исследований (приложение Ж)
- Приращение сейсмичности, полученное расчетным методом для грунтов, слагающих район изысканий, относительно эталонного грунта с учетом уровня грунтовых вод, составило 0.2 балла.

Таким образом, по результатам совместного анализа всего комплекса данных (инженерно- геологических, инструментальных геофизических исследований) с учетом исходной сейсмичности и определенной по специализированным исследованиям уточненная исходная сейсмичность (УИС), территория характеризуется максимальной

сейсмической интенсивностью 7.1 балла для карты ОСР-2015 А, 7.6 балла для карты ОСР-2015 В (Технический отчет, Том 2, 2021).

Таблица 2. Сводная таблица расчетов сейсмичности (Технический отчет, Том 2, 2021).

Исходная балльность ОСР-2015, балла		EAST-2016 (ВОСТОК- 2016), балла	Приращение сейсмической интенсивности по методу жесткостей с учетом обводненности, факт	Приращение сейсмической интенсивности по расчетному методу, балла
Карта А	7.0	7.1	0.1- 1.2	0.2
Карта В	7.0	7.6		

5.2 Инженерно-геокриологическое районирование

Согласно СП 11-105-97, ч.IV, приложение Л, исследованный участок будущего строительства приурочен к области несплошного распространения многолетнемерзлых грунтов. В пределах изученного участка повсеместно распространены многолетнемерзлые грунты.

Согласно СП 11-105-97, ч.IV, приложение М, участок приурочен к области распространения незасоленных и рассоленных грунтов. В соответствии с табл. 22 ГОСТ 25100-2020, изученные грунты относятся к незасоленным.

Значение нормативной глубины сезонного оттаивания грунтов, определенное теплотехническим расчетом в соответствии с СП 25.13330.2020, равно для грунтов исследуемой территории – 2,40 м.

Согласно приложению И СП 11-105-97 часть II, территория изысканий относится к участку I-A-2 (сезонно подтапливаемая).

При промерзании грунты сезонно-талого слоя обладают следующими пучинистыми свойствами: грунты ИГЭ №1 – сильнопучинистые, ИГЭ № 2 – непучинистые, ИГЭ №3 – среднепучинистые, ИГЭ №5 – слабопучинистые.

В скважинах, пробуренных в многолетнемерзлых грунтах, было проведено полевое измерение температуры грунтов. По результатам термометрии на момент изысканий, температура на глубине 9-16 м составила (на глубине нулевых годовых амплитуд) от минус 1,1 °С до минус 2,0 °С. В соответствии с табл. В.12 ГОСТ 25100-2020 грунты ИГЭ № 2 – 8 являются твердомерзлыми.

5.3 *Инженерно-геологические и инженерно-геокриологические процессы*

В пределах участка повсеместно распространены многолетнемерзлые грунты и территория характеризуется высокой сейсмичностью. Помимо этого, присутствуют следующие инженерно-геологические процессы в (Технический отчет, Том 2, 2021):

1. Сезонное подтопление подземными водами. В период положительных температур при оттаивании сезонно-талого слоя возможно формирование водоносного горизонта;
2. Морозное пучение сезонно-талого слоя. Грунты обладают следующими пучинистыми свойствами: грунты ИГЭ №1 – сильнопучинистые, ИГЭ № 2 – непучинистые, ИГЭ №3 – среднепучинистые, ИГЭ №5 – слабопучинистые;
3. Заболачивание. На участках распространения органоминерального грунта ИГЭ № 1 при его оттаивании распространено заболачивание территории;
4. Наледообразование. С ПК3+60 до ПК10+00 на поверхности наблюдаются наледи, образованные в результате разлива ручья Безымянный.

5.4 *Другие опасные факторы*

Помимо высокой вышеперечисленных факторов на участке изысканий есть другие процессы, осложняющие условия эксплуатации ветроэнергетических установок.

К опасным гидрометеорологическим явлениям района изысканий относят сильные снежные метели и морозы до $-42,5$ °С (Технический отчет, Том 4, 2021). Зимние климатические условия требуют внимательного наблюдения за состоянием ветроэнергетических установок.

К другим опасным явлениям относятся волны цунами. По историческим данным наиболее высокие волны цунами в северной части Охотского моря отмечались в 1952 г. (2 м), 1960 г. (2,2 м), 2002 г. (0,4 м) (Технический отчет, Том 4, 2021). Как правило, повышение уровня моря выше критических отметок и подтопление береговой полосы наблюдались в моменты сизигийных приливов под влиянием глубоких циклонов, формирующих сильное волнение в прибрежье (более 4-5 м). При штормовых ветрах отмечался сильный нагон морских вод вызывающий дополнительный подъем уровня моря на 1м и более, наблюдался подпор воды в устьевых участках рек и подтопление берега, иногда, при одновременном повышении уровня воды в реках и лиманах с прохождением дождевых паводков.

В настоящее время все побережье Охотского моря потенциально подвержено воздействию волн цунами, но вероятность появления разрушительного цунами очень незначительная.

Таким образом, в соответствии с прил. Г СП 47.13330.2016, инженерно-геологические условия участка работ относятся к III категории (сложные) сложности.

ГЛАВА 6. ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ (ВЭУ)

Пгт. Эвенск является примером небольшой группы потребителей, находящихся в зоне децентрализованного электроснабжения. Для обеспечения бесперебойного доступа к электроэнергии было решено использовать источники возобновляемой энергии — ветроэнергетические установки (ВЭУ).

Проектируемый объект относится к II (нормальному) уровню ответственности.

Перечень строений и объектов по данному проекту:

– автономная гибридная энергоустановка АГЭУ включающая: ветряную электростанцию (ВЭС) на базе ветроэнергетических установок (ВЭУ), комплектные трансформаторные подстанции (КТП), дизельную электростанцию (ДЭС) (сущ.), систему накопления энергии (СНЭ);

- автодорога от пгт. Эвенск до площадки ВЭУ Эвенск (далее АД) с проложенной вдоль нее высоковольтной воздушной/кабельной линией;

- высоковольтная воздушная/кабельная линия электропередачи от ВЭС до ДЭС (ЛЭП).

Технические характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3. Основные технические параметры проектируемых объектов
(Технический отчет, Том 3, 2021).

Наименование здания/сооружения	Кол-во	Габариты, м.
Ветроэнергетическая установка	7	Высота башни: 36-42м.
Модуль системы накопления энергии	1	6х2,5х3(н)
Комплектная трансформаторная подстанция	1	6х2,5х3(н)

Планируется размещение 7 ветроэнергетических установок по трассе протяженностью 24,9 км. Схема ветроэнергетической установки представлена на рисунке 7.

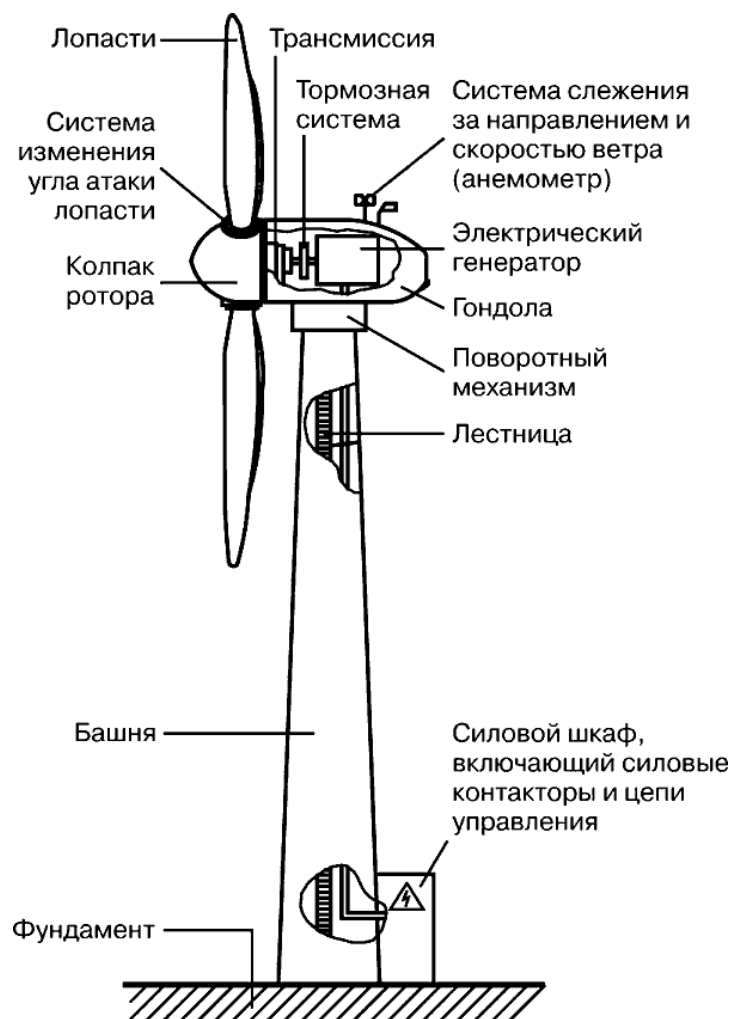


Рисунок 7. Схема ветроэнергетической установки

Для возведения ветроэнергетической установки используется плитно-свайный фундамент (рисунок 8). Плита круглого сечения, сваи висячие, опираются на суглинки ИГЭ 7.

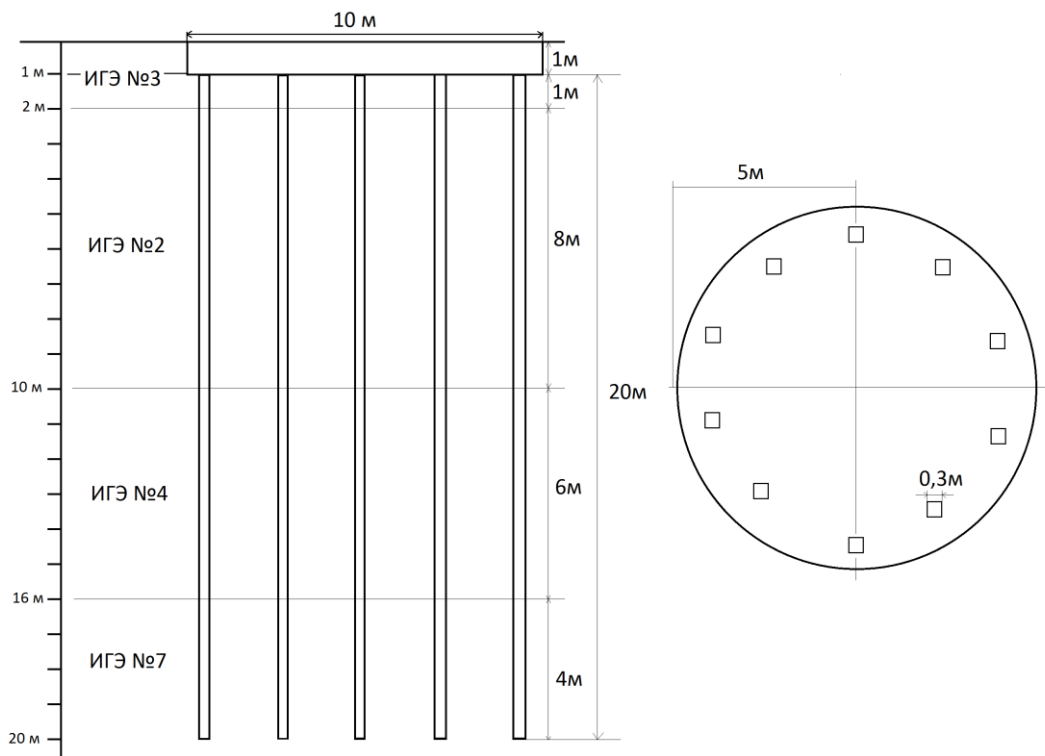


Рисунок 8. Схема плитно-свайного фундамента ветроэнергетической установки.

ГЛАВА 7. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Как было отмечено выше, протяженность всей исследуемой трассы 24,9 км, она разбита на 4 участка (Технический отчет, Том 2, 2021):

1. ПК0+00-ПК2+47;
2. ПК2+47-ПК24+00;
3. ПК24+00-ПК55+44;
4. Площадка размещения ВЭУ.

В состав расчетов входит:

1. Расчет глубины залегания подошвы сезонно-талого слоя (СТС) для трех участков трассы.
2. Расчет несущей способности сваи при организации мостового перехода через ручей Безымянный на участке ПК0+00-ПК2+47.
3. Проектирование противоналедного пояса в верховьях ручья Безымянный на участке ПК0+00-ПК2+47.
4. Проектирование дорожной насыпи на участке ПК2+47-ПК24+00 и расчет глубины залегания подошвы СТС под дорожной насыпью.
5. Расчет свайного фундамента опоры ЛЭП на морозное пучение на участке ПК24+00-ПК55+44.
6. Для случая обводнения на участке ПК24+00-ПК55+44 расчет максимальной глубины водоема, после которой может начаться термокарст.
7. Расчет плитно-свайного фундамента ВЭУ на площадке размещения ВЭУ.

Характеристики грунтов, необходимые для расчетов, представлены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики грунтов (Технический отчет, Том 2, 2021).

Характеристики грунта	Ед. изм.	ИГЭ №1. Суглинок черный вязкий среднеторфянистый, мерзлый, слабодетальный, в талом состоянии текучий	ИГЭ №2. Гравийный грунт с суглинками, мерзлый, слабодетальный.	ИГЭ №3. Суглинок серый легкий гравелистый, мерзлый, слабодетальный, при оттаивании тугопластичный	ИГЭ №4. Песок бурый средней крупности, мерзлый, слабодетальный, в талом состоянии средней плотности, средней степени	ИГЭ №5. Гравийный грунт с суглинками, мерзлый, слабодетальный, в талом состоянии средней степени водонасыщенный	ИГЭ №6. Щебенчатый грунт с суглинками, мерзлый, слабодетальный, в талом состоянии средней степени водонасыщенный	ИГЭ №7. Суглинок черный тяжелый древесный мерзлый, слабодетальный, в талом состоянии полутвердый	ИГЭ №8. Сильный грунт - базальты серые, средней прочности, размягчаемые, морозные	
1. Суммарная влажность	%	55,39	18,8	20,83	19,24	16,20	17,60	18,47	5,7	
2. Плотность грунта нормат. а=0.85 а=0.95	г/см ³	1,57 1,56 1,55	1,93 1,93 1,92	1,90 1,90 1,90	1,88 1,88 1,87	1,94 1,94 1,94	2,02 2,02 2,02	1,95 1,95 1,94	2,26 2,25 2,25	
3. Плотность сухого грунта	г/см ³	1,00	1,66	1,58	1,58	1,67	1,74	1,65	-	
4. Плотность частиц грунта	г/см ³	2,67	2,67	2,71	2,66	2,67	2,67	2,71	-	
5. Коэффициент пористости	д.е.	1,665	0,630	0,713	0,687	0,600	0,540	0,654	-	
6. Льдистость суммарная	д.е.	0,387	0,186	0,204	0,340	0,184	0,173	0,175	-	
7. Льдистость за счет видимых лед. включений, д.е.	д.е.	0,160	0,060	0,055	0,000	0,066	0,043	0,047	-	
8. Льдистость за счет порового льда, д.е.	д.е.	0,219	0,126	0,149	0,340	0,118	0,130	0,128	-	
9. Теплопроводн. в мерзлом (талом) состоянии	МДж /мЗ/ град	0,0 (0,0)	1,47 (1,37)	1,51 (1,38)	2,27 (2,04)	1,57 (1,40)	1,58 (1,40)	1,49 (1,32)	-	
10. Объемн. теплоемк. в мерзлом (талом) состоянии	МДж /мЗ/г рад	1,74 (2,75)	2,18 (2,61)	2,18 (2,75)	2,09 (2,73)	2,13 (2,67)	2,22 (2,77)	2,16 (2,78)	-	
11. Расчетное давление под нижним концом сваи	кПа	-	4300	1250	2500	4300	4300	1250	-	
12. Расчетное давление под подошвой столбчатого фундамента	кПа	350	1600	800	1600	1600	1600	800	-	
13. Расчетное сопротивление сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом	кПа	60	200	150	200	200	200	150	-	
14. Расчетное сопротивление сдвигу по грунту или грунтовому раствору	кПа	70	240	170	240	240	240	170	-	
15. В талом состоянии	Удельное сцепление	МПа	-	0,010 0,009 0,008	0,045 0,042 0,040	-	-	0,020 0,019 0,018	0,032 0,029 0,028	-
	Угол внутреннего трения	град	-	40 39 38	31 30 29	-	-	36 35 34	24 23 23	-
	Модуль деформации	МПа	-	36,8	33,9	-	-	34,5	22,4	-
16. Предел прочности (водонасыщ.)	МПа	-	-	-	-	-	-	-	24,6	
17. Предел прочности, (сухой)	МПа	-	-	-	-	-	-	-	34,7	
18. Коэффициент размягчаемости	д.е.	-	-	-	-	-	-	-	0,71	
19. Относительная деформация пучения	дол. ед.	сильнопучинистый	непучинистый	среднепучинистый	-	слабопучинистый	-	-	-	
20. Категория по сейсмическим свойствам		II							I	
21. Группа грунта по разработке (ГЭСН 81-02-01-2020)		5а	5г	5г	5в	5г	5г	5г	20а	

7.1 Расчет глубины залегания подошвы сезонно-талого слоя (СТС) для каждого участка трассы.

Расчет нормативной глубины сезонного оттаивания проводится по методике Кудрявцева. Среднегодовая температура воздуха в пгт. Эвенск $-6,8$ °С (Технический отчет, Том 4, 2021). Расчеты проводятся для ИГЭ № 1, 2, 3, 5, залегающих непосредственно под почвенно-растительным слоем. В расчетах мощность мха и растительного покрова принимается равной 0,1 м, мощность снега – 0,5 м.

Отепляющее действие снега на породу рассчитывается по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$\Delta t_{сн} = \Delta A_{сн} = \frac{A_g}{2} \left(1 - e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{KT}}} \right),$$

где A_g – метеорологическая амплитуда годовых колебаний температуры воздуха, градус (в данном районе составляет 35°C); T - период колебания температур, принять 1 год, равный 8760 час, z – мощность снежного покрова, м; K - коэффициент температуропроводности снежного покрова.

Поскольку отепляющее действие снежного покрова ограничивается зимним временем, можно принять, что $\Delta t_{сн} = \Delta A_{сн}$.

Абсолютные значения величины воздействия мха на температуру и амплитуду годовых колебаний, полученные по многолетним наблюдениям, приведены ниже:

Значения среднегодовой температуры и амплитуды колебаний температур на поверхности вычисляются по формулам (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$t_0 = t_g + \Delta t_{сн} - \Delta t_{расм},$$

$$A_0 = \frac{A_g}{2} - \Delta A_{сн} - \Delta A_{расм}.$$

Исходными параметрами формул для вычисления по методике В.А. Кудрявцева глубин сезонного протаивания являются среднегодовая температура на подошве СТС-СМС ($t_g \approx t_0$), амплитуда колебаний годовых температур на поверхности (A_0), теплопроводность ($\lambda_{ср}$) и теплоемкость (C_{th}) горных пород, теплота фазовых переходов (z_v). Методика учитывает периодически установившийся температурный режим, являясь обобщением законов Фурье, а с учетом условия Стефана на разделе фаз и фазовые переходы.

Значения объемной теплоемкости талой породы (C_{th}) и коэффициента теплопроводности $\lambda_{ср}$ определяются по СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты

на вечномерзлых грунтах». При допуске равенства теплопроводностей талой λ_{th} и мерзлой λ_f породы принимается среднее значение λ_{cp} между ними.

Теплота фазовых переходов (z_v) зависит от влажности породы за вычетом воды, не замерзающей при данной (условно – среднезимней) температуре. Последняя определяется по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$t_{zum} = \frac{t_{min}}{2} = \frac{|t_0| + A_0}{2}.$$

Влажность за счет незамерзшей воды зависит от состава горной породы, ее температуры и ряда других параметров, которые здесь не учитываются. С кривой снимается ее значение и используется в формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$z_v = z_0 (w_{tot} - w_w) \rho_{df},$$

где z_0 - удельная теплота фазовых переходов воды, равная 335 Дж/кг (в расчетах используется 93 Вт·ч/кг); w_{tot} и w_w - соответственно суммарная влажность и влажность за счет незамерзшей воды; ρ_{df} - плотность сухого грунта, кг/м³.

Вычисляются две безразмерные переменные (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$a = \frac{A_0 \cdot 2C_{th}}{z_v},$$

$$b = \frac{|t_0| \cdot 2C_{th}}{z_v}.$$

По ним определяется безразмерная величина ξ^* , а затем – мощность СТС ($\xi_{сез}$) для каждой скважины по формулам (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$\xi^* = \sqrt{(m+n)^2 + n} - m;$$

$$n = \ln \frac{a+1}{b+1}, \quad m = \frac{1}{2} \left[(a-b) \left(1 + \frac{1}{n} \right) - n \left(2 + \frac{1}{a-b} \right) \right].$$

$$\xi_{сез} = \sqrt{\frac{\lambda_{cp} T}{\pi C_{th}}} \xi^*.$$

Расчеты температурных характеристик представлен в таблице 5. Параметры грунтов ИГЭ № 1, 2, 3, 5, используемые в расчетах, представлены в таблице 6. Результаты расчетов глубин залегания СТС представлены в таблице 7. Инженерно-геологические разрезы представлены на рисунках 10-12.

Таблица 5. Результаты расчетов температурных характеристик.

A_B	$\Delta t_{CH} (\Delta A_{CH})$	$\Delta t_{раст.}$	$\Delta A_{раст.}$	t_0	A_0	$t_{зим.}$
35	4,24	0,4	2,1	-2,96	11,16	7,06

Таким образом, полученное значение среднезимней температуры составляет - 7,06 °С. Данное значение используется для определения влажности за счет незамерзшей воды w_w по графикам (рисунок 9).

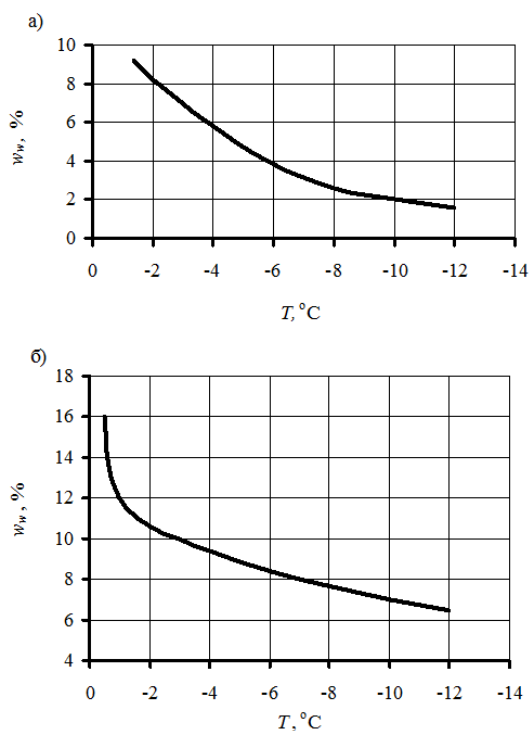


Рисунок 9. Зависимость количества незамерзшей воды w_w от температуры T для супеси (а) и суглинка (б) (Инженерное мерзлотоведение, 2013).

Таблица 6. Параметры грунтов, используемые в расчетах.

№ ИГЭ	Наименование грунта	Плотность мерзлого грунта, ρ_f , кг/м ³	Плотность сухого грунта, ρ_{df} , кг/м ³	λ_{th-f}	C_{th}	Суммарная влажность, w_{tot} , Д.ед.
1	Суглинок среднезатопфованный	1550	1000	1,9	3,44	0,55
2	Гравийный грунт с суглинистым заполнителем	1975	1660	2,26	2,31	0,19
3	Суглинок гравелистый	1912	1580	1,42	2,31	0,21
5	Гравийный грунт с суглинистым заполнителем	1937	1670	1,9	2,48	0,16

Таблица 7. Результаты расчетов глубины сезонного оттаивания.

№ ИГЭ	1	2	3	5
Z_v	44640	18525,6	20571,6	13977,9
a	0,00172	0,00278	0,0025	0,00396
b	0,000456	0,000738	0,00066	0,00105
n	0,001259	0,00204	0,00184	0,002903
m	0,003335	-0,000039	-0,00092	0,0009597
ξ^*	0,0324	0,0452	0,044	0,053
$\xi_{сез.}, \text{ м}$	1,27	2,36	1,82	2,45

Таким образом, глубина залегания подошвы СТС для суглинков ИГЭ №1 и №3 составляет соответственно 1,27 м и 1,82 м, для гравийных грунтов ИГЭ №2 и №5 – 2,36 м и 2,45 м.

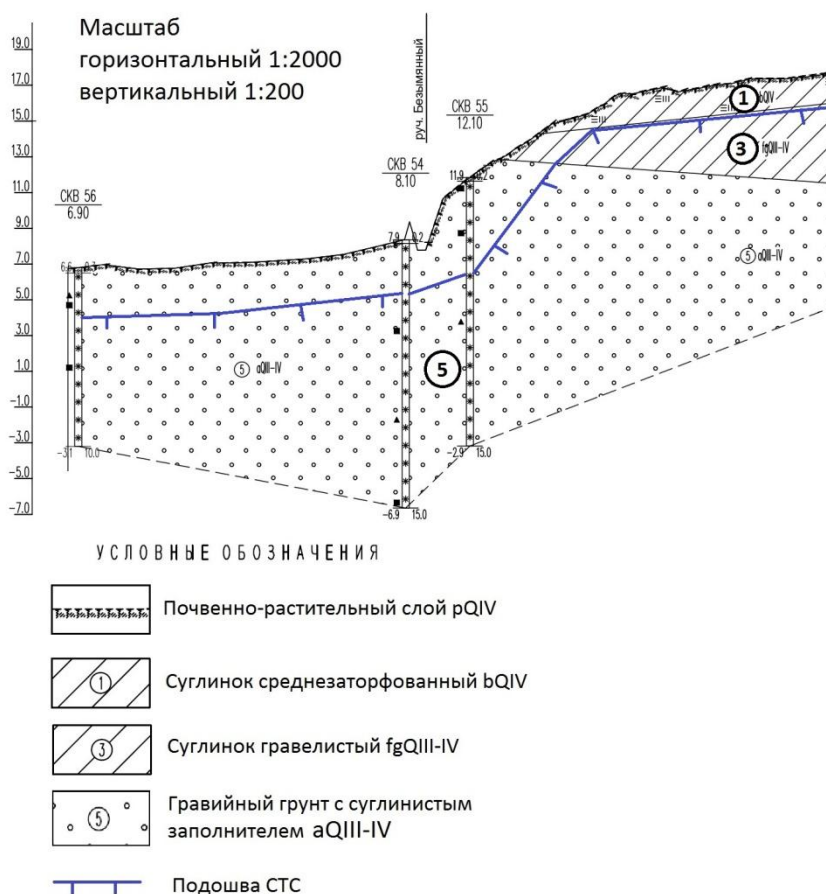


Рисунок 10. Разрез для участка ПК0+00-ПК2+47

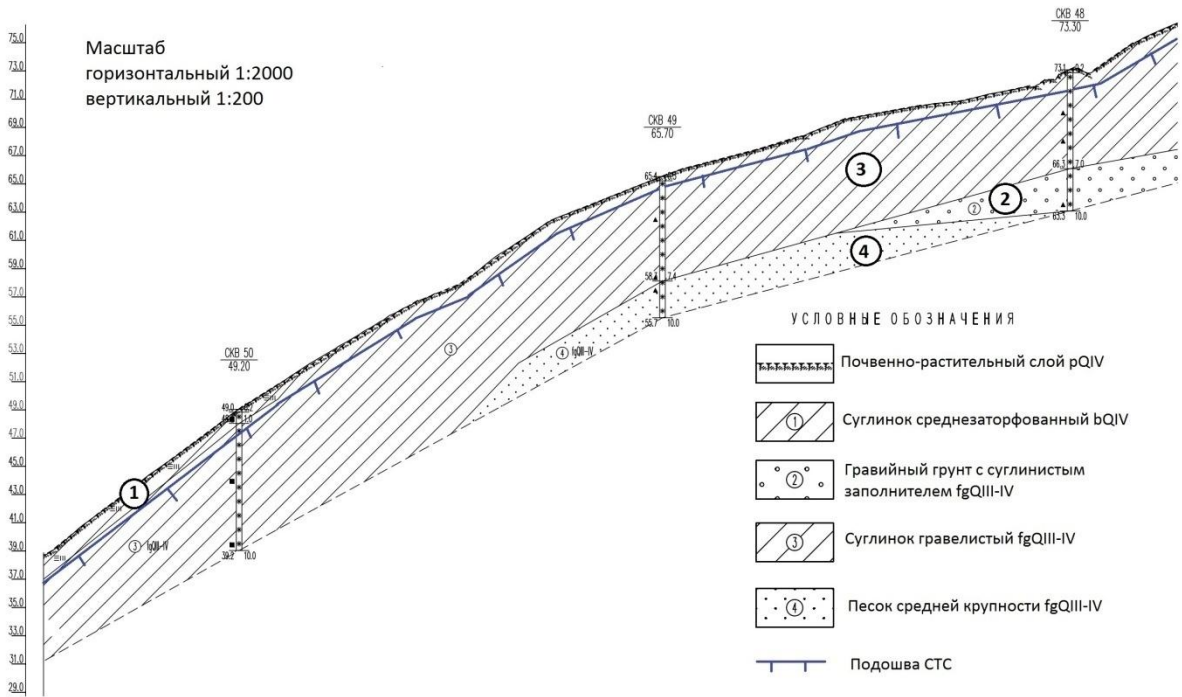


Рисунок 11. Разрез для участка ПК2+47-ПК24+00

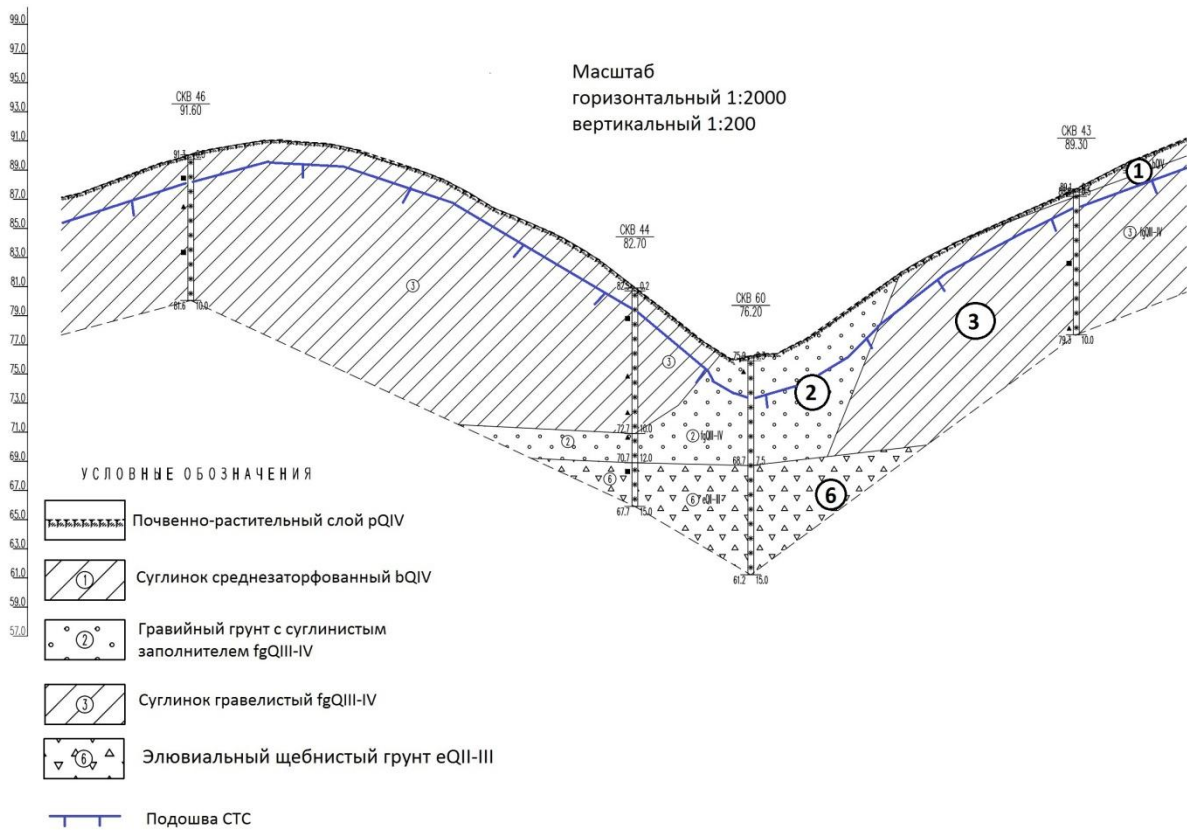


Рисунок 12. Разрез для участка ПК24+00-ПК55+44;

7.2 Расчет несущей способности сваи при организации мостового перехода через ручей Безымянный на участке ПК0+00-ПК2+47

Требуется спроектировать одиночную сваю, рассчитав ее несущую способность. Свая одиночная железобетонная бурозабивная. Принять расчетную нагрузку на фундамент $F = 50$ тс (490 кН), длину сваи 10 м, ее поперечное сечение 30×30 см.

Свая рассчитывается для местоположения в скважине 54 (ИГЭ №5) (см. рисунок 9).

Расчет оснований фундаментов по несущей способности производится исходя из условия

$$F \leq F_u / \gamma_n;$$

где F – расчетная нагрузка на основание; F_u – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания; γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения (принят равным 1,2).

Несущая способность основания, F_u , кН (кгс), вертикально нагруженной висячей сваи определяется по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$F_u = \gamma_t \gamma_c \left(RA + \sum_{i=1}^n R_{af,i} A_{af,i} \right),$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий изменение температуры грунтов основания в период строительства и эксплуатации сооружения ($\gamma_t=1,1$); γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от вида и способов устройства фундаментов ($\gamma_c=1,0$); R – расчетное давление на мерзлый грунт под нижним концом сваи, кПа (принимается равным 4300 кПа для гравелистых грунтов при температуре -2°C); A – площадь опирания сваи на грунт, м^2 (в данном случае $0,3\text{м} \times 0,3\text{м} = 0,09 \text{ м}^2$); $R_{af,i}$ – расчетное сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания фундамента в пределах i -го слоя грунта, кПа (принимается равным 200 кПа для гравелистых грунтов при температуре -2°C); $A_{af,i}$ – площадь поверхности смерзания i -го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, м^2 (в данном случае $0,3\text{м} \times 10\text{м} \times 4 = 12 \text{ м}^2$); n – число выделенных при расчете слоев ММГ.

При расчете несущей способности оснований необходимо определить расчетную температуру, которая соответствует минимальной несущей способности основания. Для свайных фундаментов это будет средняя по длине сваи и максимальная (из всех возможных значений средней температуры в году) температура ММП, называемая эквивалентной T_e . Эквивалентная температура определяет несущую способность только по боковой поверхности. Несущую способность торца сваи

определяет температура T_z на глубине z (z – глубина, отсчитываемая от подошвы слоя сезонного оттаивания) в момент установления эквивалентной температуры.

Поэтому для свайных фундаментов значения R следует принимать при расчетной температуре грунта T_z на глубине z , равной глубине погружения сваи, а расчетные сопротивления сдвигу $R_{af,i}$ – при температуре грунта T_e на глубине середины i -го слоя грунта.

Расчетную температуру грунтов $T_{z,e}$ для мостов, опор линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений и наземных трубопроводов определяют по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$T_{z,e} = (T_0 - T_{bf})\alpha k_T + T_{bf};$$

где T_0 – температура ММП, °С, (на глубине 10 м она принимается за среднегодовую, в данном случае -2°C); T_{bf} – температура начала замерзания, °С (равна $-0,2^\circ\text{C}$); k_T – коэффициент теплового влияния сооружения (принимается равным 1 для свай, заглубленных в грунт при $z > 6$); α – коэффициент сезонного изменения температуры пород основания, принимаемый в зависимости от значения параметров:

$$z\sqrt{C_f/\lambda_f}, \quad c^{0,5}(u^{0,5}),$$

где z – расстояние от подошвы СТС до уровня, на котором определяется температура, м (в данном случае $z = 10\text{м}$ (длина свай) $- 2,45\text{м}$ (глубина подошвы СТС для ИГЭ №5) $= 7,55\text{м}$); C_f , λ_f – объемная теплоемкость, [ккал/(м³·°С)], и коэффициент теплопроводности, [ккал/(м·ч·°С)], мерзлых пород (для ИГЭ №5 равны соответственно 480 [ккал/(м³·°С)] и 1,75 [ккал/(м·ч·°С)]. Для $z\sqrt{C_f/\lambda_f} = 7,55 * \sqrt{480/1,75} = 125$ получается $\alpha = 0,85$.

Таким образом,

$$T_{z,e} = (-2 - (-0,2)) * 0,85 * 1 + (-0,2) = -1,73 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$F_u = 1,1 * 1,0 * (4300\text{кПа} * 0,09\text{м}^2 + 200\text{кПа} * 12 \text{ м}^2) = 3065,7 \text{ кН} = 3066 \text{ кН}.$$

В итоге, условие $F \leq F_u/\gamma_n$ соблюдается:

$$490 \text{ кН} \leq 3066 \text{ кН}/1,2 = 2555 \text{ кН}.$$

7.3 Проектирование противоналедного пояса в верховьях ручья

Безымянный на участке ПК0+00-ПК2+47

Возникновение наледи связано с зимним изливом речных или подземных вод на поверхность. Обычно наледь образуется вблизи дороги, где глубокое и опережающее промерзание грунта препятствует естественному стоку.

Одним из действенных профилактических методов борьбы с наледями являются мерзлотные пояса, препятствующие проникновению воды и льда на дорожное полотно, вызывая образование наледи выше по течению или движению грунтового потока. Основной составной частью мерзлотного пояса является полоса, параллельная дороге, очищенная от снега, которую иногда усиливают дренажной канавой и насыпью. Под различными элементами мерзлотного пояса требуется выполнить расчет глубины сезонного протаивания и минимальную необходимую высоту насыпи, от которой зависит эффективность мероприятия. Высота насыпи должна быть не меньше расчетной мощности СТС, чтобы породы на уровне дневной поверхности окружающих участков (очищенной от снега полосы) не подвергались сезонному оттаиванию, создав на пути наледобразующих вод многолетнемерзлый барьер. Канавы же должны служить хорошей дренажной для этих вод.

В данном случае наледь образуется в долине ручья Безымянный, пересекаемого трассой проектируемой дороги. Выше по течению проектируется противоналедный пояс, состоящий из:

- 1) полосы, очищенной от снега, шириной 3 м;
- 2) дренажной канавы, в которую бульдозером сгребают снег, так что его мощность к середине зимы достигает 1,0 м;
- 3) насыпи, построенной из грунта, взятого из канавы (гравийный грунт с суглинистым заполнителем ИГЭ №5). Свежеотсыпанный грунт при влажности около 0,16 приобретет плотность скелета 1400 кг/м³.

При снятии снежного покрова изменяются температурные характеристики, расчет которых представлен в таблице 8 для разных элементов пояса. На всех элементах отсутствует моховой покров, мощность снега на насыпи принимается такой же, как до проведения работ (0,5 м). Расчет глубин залегания подошвы СТС для элементов противоналедного пояса представлен в таблице 9.

Таблица 8. Температурные характеристики полосы, очищенной от снега.

Элемент пояса	A_B	$\Delta t_{сн} (\Delta A_{сн})$	$\Delta t_{раст.}$	$\Delta A_{раст.}$	t_0	A_0	$t_{зим.}$
Полоса, очищенная от снега	35	0	0	0	-6,8	17,5	12,15
Дренажная канава	35	11,06	0	0	4,26	6,44	5,35
Насыпь	35	4,24	0	0	-2,56	13,26	7,91

Таким образом, полученные значения среднезимней температуры используются для определения влажности за счет незамерзшей воды w_w по графикам (рисунок 9).

Таблица 9. Расчет глубин залегания подошвы СТС элементов противоналедного пояса.

Элемент пояса	Полоса, очищенная от снега	Дренажная канава	Насыпь
Плотность сухого грунта, $\rho_{d,f}$, кг/м ³	1670	1670	1400
λ_{th-f}	1,9	1,9	1,5
C_{th}	2,48	2,48	2,18
Суммарная влажность, w_{tot} , д.ед.	0,16	0,16	0,16
Z_v	21743,4	1653,3	13977,9
a	0,0035	0,0193	0,0035
b	0,0016	0,0127	0,0009
n	0,001895	0,00649	0,002587
m	0,001685	0,0136	0,003722
ξ^*	0,0419	0,0694	0,0475
$\xi_{сез, М}$	1,94	3,21	2,08

Таким образом, глубина сезонного протаивания для полосы составляет 1,94 м, для дренажной канавы – 3,21 м, для насыпи – 2,08 м. Высота насыпи должна быть не менее 2,08 м.

7.4 Проектирование дорожной насыпи на участке ПК2+47-ПК24+00 и расчет глубины залегания подошвы СТС под дорожной насыпью.

На данном участке под почвенно-растительным слоем залегают среднезаторфованные суглинки ИГЭ № 1, гравийный грунт с суглинистым заполнителем ИГЭ № 2, суглинок гравелистый ИГЭ № 3 и песок средней крупности ИГЭ № 4 (см. рисунок 10).

Необходимо оценить тепловое воздействие дорожной насыпи мощностью 1,5 м. Для насыпи используется супесь с влажностью 0,14 и плотностью 1700 кг/м³. Расчет проводится по методике Л.Н. Хрусталева.

Глубина сезонного протаивания после возведения насыпи $\xi'_{\text{сез}}$ определяется по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$\xi'_{\text{сез}} = \xi_{\text{сез}} + H_{\text{II}} \left(1 - \frac{\xi_{\text{сез}}}{\xi^{\text{II}}_{\text{сез}}} \right),$$

где $\xi_{\text{сез}}$ – мощность СТС на соседних участках до возведения насыпи (1,27 м для ИГЭ №1 и 1,82 м для ИГЭ №3); H_{II} - высота насыпи (в данном случае 1,5 м); $\xi^{\text{II}}_{\text{сез}}$ – мощность СТС слоя насыпного грунта в предположении, что он бесконечен, то есть не ограничен снизу грунтами основания.

$\xi^{\text{II}}_{\text{сез}}$ рассчитывается по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$\xi^{\text{II}}_{\text{сез}} = \mu \sqrt{\frac{2\lambda_{\text{ит}}\Omega_{\text{л}}}{q_f}};$$

$$\mu = 1 - 0,033|t_{\xi}|,$$

где q_f – удельные затраты тепла на оттаивание-промерзание грунта, Вт·ч/м³; t_{ξ} - среднегодовая температура грунта на подошве СТС или (приблизенно) температура на глубине нулевых годовых амплитуд (в данном случае -2,0 °С).

Для расчета показателя q_f используют формулу (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$q_f = z_0 \rho_{d,f} w_{\text{tot}} + 0,5(C_{\text{ит}} \cdot t_{\text{л}} - C_f t_3),$$

где $t_{\text{л}}$ и t_3 – среднелетняя и среднезимняя температуры наружного воздуха в районе строительства, °С.

Теплота фазовых переходов z_v рассчитывается по формуле (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$z_v = z_0 (w_{\text{tot}} - w_w) \rho_{d,f},$$

где z_0 - удельная теплота фазовых переходов воды, равная 335 Дж/кг (в расчетах используется 93 Вт·ч/кг); w_{tot} и w_w - соответственно суммарная влажность и влажность за счет незамерзшей воды; $\rho_{d,f}$ - плотность сухого грунта, кг/м³.

$\Omega_{\text{л}}$ - сумма градусо-часов на поверхности в летнее время (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$\Omega_{\text{л}} = 730 \sum_1^m t_j,$$

где m - число летних месяцев, t_j - средняя температура месяца.

Глубина сезонного протаивания в основании подсыпки равна (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$\xi_{сез}^{осн} = \xi'_{сез} - H_{II}.$$

Если высота насыпи H_{II} оказывается больше $\xi'_{сез}$, то основание не промерзает, и в теле насыпи формируется мерзлое ядро.

Параметры насыпного грунта, используемые в расчетах, приведены в таблице 10. Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 10. Параметры насыпного грунта.

Наименование насыпного грунта	Плотность мерзлого грунта, ρ_f , кг/м ³	Плотность сухого грунта, $\rho_{d,f}$, кг/м ³	λ_{th}	C_{th}	Суммарная влажность, w_{tot} , д.ед.
Супесь	1938	1700	1,45	2,48	0,14

Таблица 11. Расчет глубины залегания подошвы СТС про возведении насыпи.

ИГЭ	1	3
$\xi_{сез.}, M$	1,27	1,82
t_l	13,65	
t_z	-18,05	
Ω_l	30660	
Z_v	9486	
q_f	22169,16	
μ	0,934	
$\xi_{сез.}^{II}, M$	1,87	
$\xi'_{сез.}, M$	1,75	1,86
$\xi_{сез.}^{осн.}, M$	0,25	0,36

Таким образом, глубина сезонного оттаивания в основании насыпи составляет 0,25 м при возведении насыпи на ИГЭ №1 и 0,36 м для насыпи на ИГЭ №3. Территория пригодна для строительства, но требует значительного улучшения грунтов, например, замены специфических грунтов ИГЭ №1 на насыпной грунт.

7.5 Расчет свайного фундамента опоры ЛЭП на морозное пучение на участке ПК24+00-ПК55+44

Расчет проводится для среднепучинистого ИГЭ №3 (тугопластичный гравелистый суглинок). Фундамент опоры ЛЭП – свая сечением 30*30 см., высота сваи 3,5 м. Нагрузка на сваю принимается 10 кПа (около 1 тс/м²).

Устойчивость фундаментов, возводимых на территории распространения многолетнемерзлых грунтов, на действие касательных сил морозного пучения грунтов надлежит проверять по условию (СП 25.13330.2020):

$$\tau_{fh} A_{fh} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F_{rf},$$

где τ_{fh} – расчетная удельная касательная сила пучения, кПа (для сооружений 1 и 2 геотехнических категорий значения τ_{fh} допускаются принимают в зависимости от состава, влажности и глубины сезонного промерзания-оттаивания грунтов, в данном случае $\tau_{fh} = 90$);

A_{fh} – площадь боковой поверхности смерзания сваи или фундамента в пределах расчетной глубины сезонного промерзания-оттаивания грунта или слоя искусственно замороженного грунта, м² ($A_{fh} = 1,82$ м (глубина СТС ИГЭ №3) * 0,3 м (сечение квадратной сваи) * 4 = 2,184 м²);

F – расчетная нагрузка на сваю или фундамент, кПа, принимаемая с коэффициентом 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию нагрузок и воздействий, включая выдергивающие (ветровые, крановые и т.п.) (принимается равной 10 кПа);

F_{rf} – расчетное значение силы, удерживающей сваю или фундамент от выпучивания вследствие трения его боковой поверхности о талый (мерзлый) грунт, лежащий ниже расчетной глубины промерзания, кН;

γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый равный 1,0;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружений, принимаемый равный 1,1.

Значение силы F_{rf} , удерживающей от выпучивания фундамент, при строительстве на многолетнемерзлых грунтах по принципу I, в зависимости от грунтовых условий следует определять по формулам (СП 25.13330.2020):

$$F_{rf} = u \sum_{i=1}^n R_{af} h_i,$$

где u – периметр сечения поверхности сдвига, м, принимаемый равный периметру сечения фундамента (сваи) (равен 0,3 м * 4 = 1,2 м);

h_i – толщина i -го слоя талого грунта, расположенного ниже подошвы слоя промерзания-оттаивания, м ($h_i = 3,5$ м (высота сваи) - 1,82 м (мощность СТС для ИГЭ №3) = 1,68 м);

R_{af} – расчетное сопротивление i -го слоя многолетнемерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания, кПа (принимается в соответствии с приложением В СП 25.13330.2020 равным 130 кПа);

Расчет проведен для среднечувствительного ИГЭ №3 (тугопластичный гравелистый суглинок). Фундамент опоры ЛЭП – свая сечением 30*30 см., высота сваи 3,5 м.

Таким образом, условие $\tau_{fn} A_{fn} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F_{rf}$ соблюдается:

$$90 \text{ кПа} * 2,184 \text{ м}^2 - 10 \text{ кПа} \leq (1,0/1,1) * 1,2 \text{ м} * 1,68 \text{ м} * 130 \text{ кПа};$$

$$187 \text{ кПа} \leq 238 \text{ кПа}.$$

7.6 Расчет максимальной глубины водоема, после которой может начаться термокарст на участке ПК24+00-ПК55+44

В случае обводнения на участке ПК24+00-ПК55+44 может образоваться водоем. Дно водоема слагает ИГЭ №2 – гравийный грунт с суглинистым заполнителем, ближайшая скважина 60 (см. рисунок 11).

Предлагаемый расчет производится с целью прогнозирования динамики температурного режима под неглубокими озерами термокарстового происхождения. В случае прогрессирующего термокарста возникает опасность глубокой деградации ММГ, в случае затухания – ситуация стабилизируется (Инженерное мерзлотоведение, 2013).

В летнее время температура в мелком водоеме, с учетом влияния конвективного перемешивания, может считаться неизменной по глубине, т.е. $t_{w,max}$. В зимнее время температура возрастает с глубиной, а на поверхности льда (под снегом) является минимальной, т.е. $t_{w,min}$. Определяют среднегодовую температуру на поверхности льда ($t_{0,i}$) и амплитуду годовых колебаний температур $A_{0,i}$. По ним рассчитывают минимальную и максимальную температуры на поверхности озера (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$t_{w,min} = A_{0,i} - t_{0,i},$$

$$t_{w,max} = A_{0,i} + t_{0,i}.$$

Температурный режим донных отложений зависит от глубины залегания нулевой среднегодовой изотермы H_1 под слоем воды и (или) донных осадков. Её рассчитывают по формуле:

$$H_1 = H_i \left(1 + \frac{t_{w,max}}{t_{w,min}} \right),$$

где H_i – мощность льда; в исследуемом районе она составляет 1,4 м.

В зависимости от глубины водоема H возможны 3 варианта:

1. Глубина водоема меньше H_1 , т.е. $H < H_1$. Донные отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии и оттаивают летом на глубину $\xi_{\text{сез}}$.

2. Глубина водоема больше H_1 , но меньше мощности льда H_i ($H_1 < H < H_i$). Имеет место сезонное промерзание донных отложений, а кровля ММП залегает ниже, образуя несквозной талик. Возможен затухающий термокарст.

3. Глубина водоема больше H_i , т.е. $H > H_i$. Под водоемом развивается активный термокарст.

Для вычисления глубины сезонного промерзания или протаивания под дном водоема необходимо определить среднегодовую температуру на поверхности дна t_H и амплитуду колебаний температур A_H на дне водоема по формулам (Инженерное мерзлотоведение, 2013):

$$t_H = \frac{\frac{H_i - H}{H_i} t_{w,\min} + t_{w,\max}}{2},$$

$$A_H = t_{w,\max} - t_H.$$

Имея эти данные, а также теплофизические характеристики пород под дном озера, рассчитывают $\xi_{\text{сез}}$ по методике В.А. Кудрявцева. Понятно, что роль t_0 играет в данном случае t_H , а A_0 – есть A_H .

Результаты расчетов приведены в таблицах 12-13.

Таблица 12. Результаты расчета максимальной глубины водоема, после которой может начаться термокарст.

№ ИГЭ	Наименование грунта	t_{0i}	A_{0i}	$t_{w,\min}$	$t_{w,\max}$	H_1 , м
2	Гравийный грунт с суглинистым заполнителем	-2,56	13,26	10,7	15,82	3,47

Таким образом, глубина залегания нулевой среднегодовой изотермы $H_1 = 3,47$ м и при глубине водоема больше 3,47 м будет развиваться активный термокарст. При глубине водоема меньше 3,47 м донные отложения будут находиться в многолетнемерзлом состоянии.

Таблица 13. Результаты расчета глубины залегания подошвы СТС под дном водоема.

№ ИГЭ	2
t_H	-0,00036
A_H	15,82036
$t_{зим.}$	7,91
Z_v	24700,8
a	0,00296
b	0,000000067
n	0,00296
m	-0,00154
ξ^*	0,0559
$\xi_{сез., м}$	2,92

При глубине водоема меньше 3,47 м донные отложения будут находиться в многолетнемерзлом состоянии и оттаивать летом на глубину 2,92 м.

7.7 Расчет плитно-свайного фундамента ВЭУ на площадке размещения ВЭУ

Расчет проводится по I группе предельных состояний – по несущей способности.

При расчете по предельным состояниям несущую способность многолетнемерзлого основания и ожидаемые деформации следует устанавливать с учетом температурного режима грунтов основания, а также при использовании ММП по принципу I - продолжительности действия нагрузок и реологических свойств.

Расчет оснований фундаментов по несущей способности производится исходя из условия:

$$F \leq F_u / \gamma_n;$$

где F – расчетная нагрузка на основание (согласно Техническому отчету, 2021, вес ВЭУ составляет 4000 тонн, в расчетах нагрузка на основание принимается $F = 39227$ кН); F_u – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания; γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения (принят равным 1,2).

Несущая способность основания, F_u , кН (кгс), вертикально нагруженной висячей сваи определяется по формуле:

$$F_u = \gamma_i \gamma_c \left(RA + \sum_{i=1}^n R_{af,i} A_{af,i} \right),$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий изменение температуры грунтов основания в период строительства и эксплуатации сооружения (принят равным 1,1, т.к. T_0 соответствует твердомерзлому состоянию грунта); γ_c – коэффициент условий работы (равен 1,0 для опускных и буронабивных свай), R – расчетное давление на мерзлый грунт под нижним концом сваи, кПа; A – площадь опирания сваи на грунт, м² (для сваи сечением 30*30 см $A=0,09\text{м}^2$); $R_{af,i}$ – расчетное сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания фундамента в пределах i -го слоя грунта, кПа; $A_{af,i}$ – площадь поверхности смерзания i -го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, м²; n – число выделенных при расчете слоев ММГ.

Расчетное давление на мерзлый грунт под нижним концом сваи R и расчетные сопротивления мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания фундамента R_{af} устанавливают экспериментально в соответствии с ГОСТ 12248-2010. Для расчета оснований сооружений II и III классов ответственности, возводимых с сохранением мерзлого состояния грунтов, и для предварительных расчетов R и R_{af} принимают таблицам 14-15 (для температуры грунта $-2,0$ °С).

Таблица 14. Расчетные давления на мерзлые грунты R под нижним концом свай.

Грунты	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления R, кПа (кгс/см ²), при температуре грунта, °С											
		-0,3	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-6	-8	-10
При льдистости $i_i < 0,2$:													
1. Крупнообломочные	При любой глубине	2500 (25,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)	4000 (40,0)	4300 (43,0)	4500 (45,0)	4800 (48,0)	5300 (53,0)	5800 (58,0)	6300 (63,0)	6800 (68,0)	7300 (73,0)
2. Пески крупные и средней крупности	То же	1500 (15,0)	1800 (18,0)	2100 (21,0)	2400 (24,0)	2500 (25,0)	2700 (27,0)	2800 (28,0)	3100 (31,0)	3400 (34,0)	3700 (37,0)	4600 (46,0)	5500 (55,0)
3. Пески мелкие и пылеватые	3-5	850 (8,5)	1300 (13,0)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1700 (17,0)	1900 (19,0)	1900 (19,0)	2000 (20,0)	2100 (21,0)	2600 (26,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)
	10	1000 (10,0)	1550 (15,5)	1650 (16,5)	1750 (17,5)	2000 (20,0)	2100 (21,0)	2200 (22,0)	2300 (23,0)	2500 (25,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)	4000 (40,0)
	15 и более	1100 (11,0)	1700 (17,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)	2200 (22,0)	2300 (23,0)	2400 (24,0)	2500 (25,0)	2700 (27,0)	3300 (33,0)	3800 (38,0)	4300 (43,0)
4. Супеси	3-5	750 (7,5)	850 (8,5)	1100 (11,0)	1200 (12,0)	1300 (13,0)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1700 (17,0)	1800 (18,0)	2300 (23,0)	2700 (27,0)	3000 (30,0)
	10	850 (8,5)	950 (9,5)	1250 (12,5)	1350 (13,5)	1450 (14,5)	1600 (16,0)	1700 (17,0)	1900 (19,0)	2000 (20,0)	2600 (26,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)
	15 и более	950 (9,5)	1050 (10,5)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1600 (16,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)	2100 (21,0)	2200 (22,0)	2900 (29,0)	3400 (34,0)	3900 (39,0)
5. Суглинки и глины	3-5	650 (6,5)	750 (7,5)	850 (8,5)	950 (9,5)	1100 (11,0)	1200 (12,0)	1300 (13,0)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1800 (18,0)	2300 (23,0)	2800 (28,0)
	10	800 (8,0)	850 (8,5)	950 (9,5)	1100 (11,0)	1250 (12,5)	1350 (13,5)	1450 (14,5)	1600 (16,0)	1700 (17,0)	2000 (20,0)	2600 (26,0)	3000 (30,0)
	15 и более	900 (9,0)	950 (9,5)	1100 (11,0)	1250 (12,5)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1600 (16,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)	2200 (22,0)	2900 (29,0)	3500 (35,0)
При льдистости грунтов $0,2 \leq i_i \leq 0,4$:													
6. Все виды грунтов, указанные в поз. 1-5	3-5	400 (4,0)	500 (5,0)	600 (6,0)	750 (7,5)	850 (8,5)	950 (9,5)	1000 (10,0)	1100 (11,0)	1150 (11,5)	1500 (15,0)	1600 (16,0)	1700 (17,0)
	10	450 (4,5)	550 (5,5)	700 (7,0)	800 (8,0)	900 (9,0)	1000 (10,0)	1050 (10,5)	1150 (11,5)	1250 (12,5)	1600 (16,0)	1700 (17,0)	1800 (18,0)
	15 и более	550 (5,5)	600 (6,0)	750 (7,5)	850 (8,5)	950 (9,5)	1050 (10,5)	1100 (11,0)	1300 (13,0)	1350 (13,5)	1700 (17,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)

Таблица 15 Расчетные сопротивления мерзлых грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхности смерзания R_{af} .

Грунты	Расчетные сопротивления R_{af} кПа (кгс/см ²), при температуре грунта, °С											
	-0,3	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-6	-8	-10
Глинистые	40 (0,4)	60 (0,6)	100 (1,0)	130 (1,3)	150 (1,5)	180 (1,8)	200 (2,0)	230 (2,3)	250 (2,5)	300 (3,0)	340 (3,4)	380 (3,8)
Песчаные	50 (0,5)	80 (0,8)	130 (1,3)	160 (1,6)	200 (2,0)	230 (2,3)	260 (2,6)	290 (2,9)	330 (3,3)	380 (3,8)	440 (4,4)	500 (5,0)
Известково-песчаный раствор	60 (0,6)	90 (0,9)	160 (1,6)	200 (2,0)	230 (2,3)	260 (2,6)	280 (2,8)	300 (3,0)	350 (3,5)	400 (4,0)	460 (4,8)	520 (5,2)

Схема расположения скважин и инженерно-геологические разрезы для площадки размещения ВЭУ представлены на рисунках 13-14. Схема фундамента представлена на рисунке 15. Расчеты представлены в таблице 16.



Рисунок 13. Схема расположения скважин на площадке размещения ВЭУ.

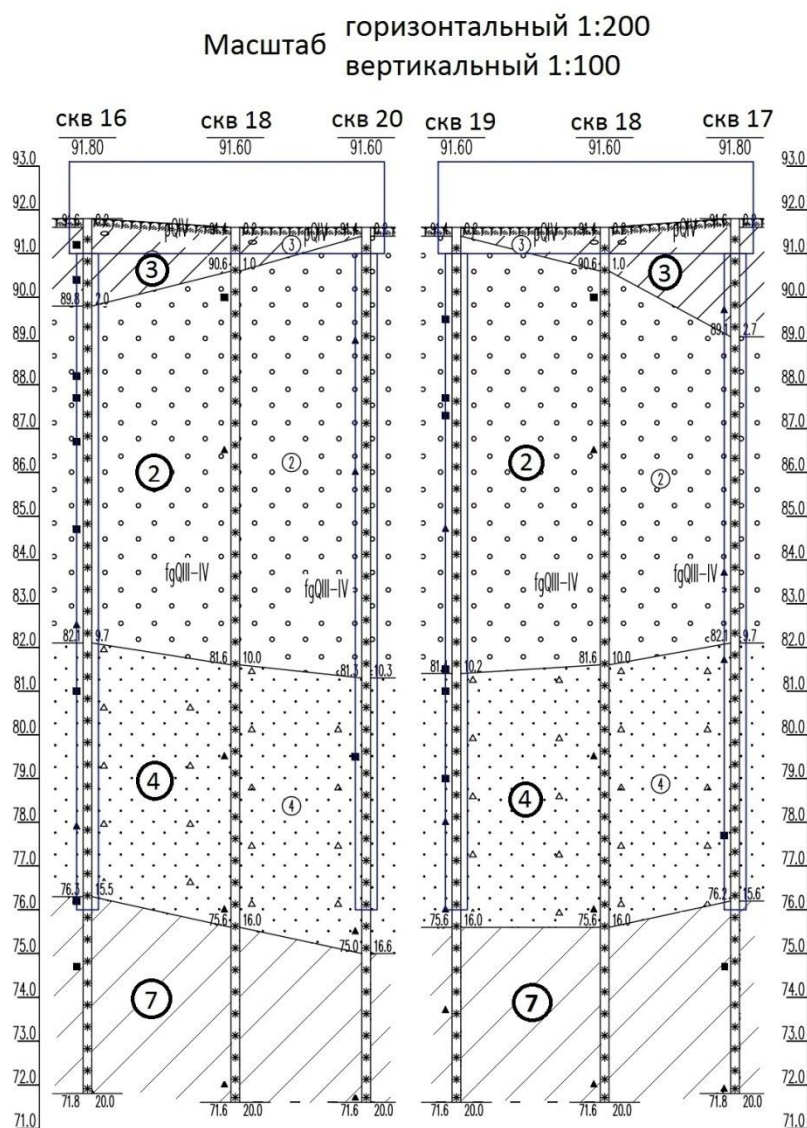


Рисунок 14. Инженерно-геологические разрезы для площадки размещения ВЭУ.

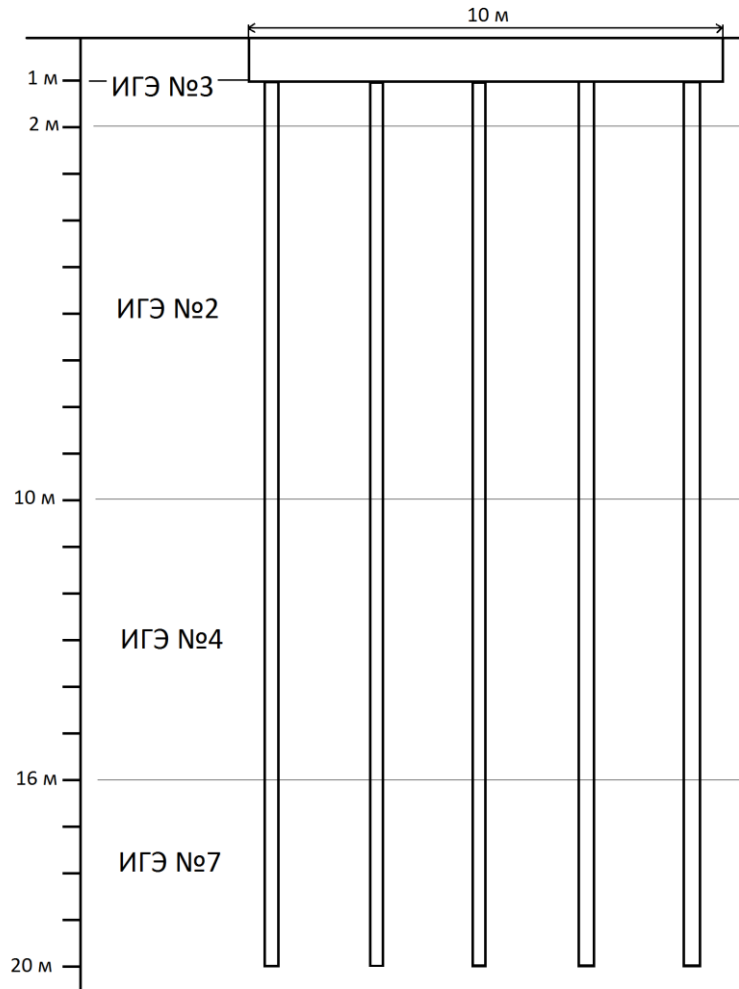


Рисунок 15. Схема размещения фундамента в грунтах основания.

Таблица 16. Расчет плитно-свайного фундамента ВЭУ.

№ ИГЭ	Мощность слоя, м	R _{af} , кПа	A _{af} , м ²	Сумма R _{af} *A _{af}	R, кПа	A, м ²	γ _t	γ _c	F _u , кН
3	2	150	2,4	3960	1400	0,09	1,1	1	4824,6
2	8	200	9,6						
4	6	200	7,2						
7	4	150	4,8						

Таким образом, несущая способность одной сваи составляет 4824,6 кН, необходимо использовать $39227 \text{ кН} * 1,2 / 4824,6 \text{ кН} = 9,7 = 10$ свай. Тогда условие выполняется:

$$F \leq F_u / \gamma_n$$

$$39227 \text{ кН} \leq 4824,6 \text{ кН} * 10 \text{ свай} / 1,2 = 40205 \text{ кН}.$$

ГЛАВА 8. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

На участке строительства максимальная сейсмическая интенсивность 7.1 балла для карты ОСР-2015 А, 7.6 балла для карты ОСР-2015 В (Технический отчет, Том 2, 2021).

Рекомендации по защите здания от разрушения под действием сейсмических нагрузок включают в себя:

1. Установку систем активной сейсмозащиты. В отличие от обычных мероприятий, связанных с повышением несущей способности конструкций, эти конструкции обеспечивают снижение уровня инерционных сил, возникающих в конструкциях во время землетрясения. Они позволяют снизить сейсмическую реакцию сооружений в 2-3 раза и вести проектирование с расчётной сейсмичностью на 1 балл ниже (Иванов, 2001). Ниже приведена классификация систем сейсмозащиты (рисунок 16).

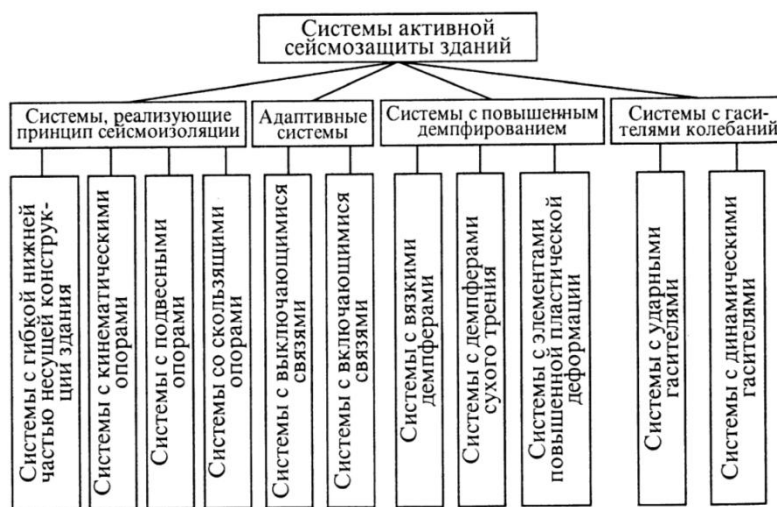


Рисунок 16. Классификация систем сейсмоактивной защиты зданий (Поляков и др., 1988)

2. Добавление в конструкцию здания упоров-ограничителей. Для сейсмозащиты зданий используют конструкции с выключающимися и включающимися связями (рисунок 17). При этом система А эффективна при землетрясениях с высокочастотной составляющей. Ее недостаток – необратимое разрушение антисейсмических конструкций (выключение связей), требующих немедленного восстановления. При

использовании системы Б конструкции не разрушаются и не требуют восстановления (Поляков и др., 1988).

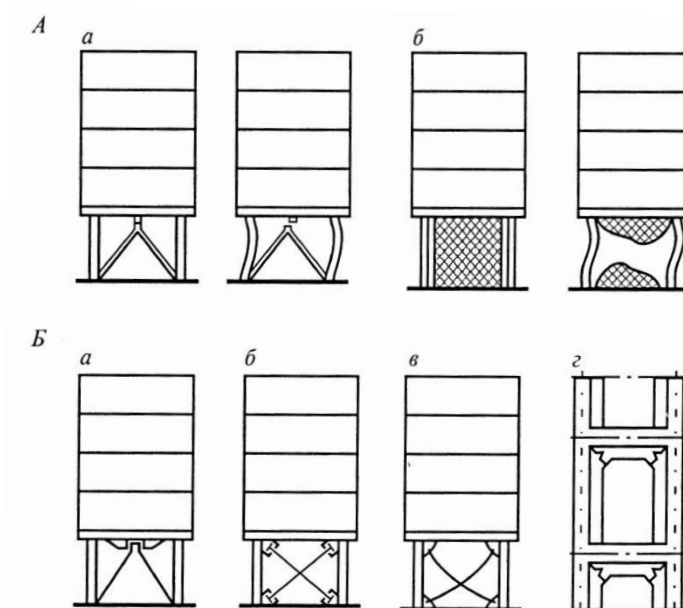


Рисунок 17. Сейсмозащита зданий с помощью выключающихся (А) и включающихся (Б) связей. А: а — специальные выключающиеся элементы, б — разрушающиеся панели — связи; Б: а — упоры-ограничители, б — упругие связи; в — провисающие растяжки, г — жесткие панели (Поляков и др., 1988)

Таким образом, для защиты от сейсмических воздействий на этапе проектирования следует предусмотреть наличие систем активной сейсмозащиты, выбираемые исходя из возможностей заказчика. Дополнительно в конструкцию здания рекомендуется добавить упоры-ограничители, которые не разрушаются и не требуют восстановления после землетрясения.

Изученный участок также расположен в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов. В пределах участка распространены слабодыстые мерзлые грунты.

Учитывая геокриологические условия изученной территории, рекомендуется проводить работы по проектированию, строительству и эксплуатации проектируемых объектов по первому принципу с сохранением грунтов в мерзлом состоянии.

Учитывая специфические особенности грунта ИГЭ № 1 и переход его в текучее состояние при оттаивании, рекомендуется провести замену грунта на непросадочные грунты.

Прогноз изменения инженерно-геокриологических условий: на основании приведенных расчетов взаимодействия ММГ и проектируемых сооружений можно сделать вывод, что соблюдение вышеперечисленных рекомендаций позволит избежать

существенных (опасных) изменений инженерно-геологических и геокриологических условий на исследуемой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена особенностям проведения инженерно-геологических изысканий в районах с повышенной сейсмичностью и с грунтами основания, находящихся в многолетнемерзлом состоянии. При написании работы были выполнены следующие задачи:

- 1) проанализированы требования к инженерно-геологическим изысканиям, проводимым в сейсмических районах и в районах распространения многолетнемерзлых пород,
- 2) охарактеризованы дополнительные исследования, проводимые в таких районах,
- 3) проанализированы результаты инженерных изысканий, выполненных на участке проектирования,
- 4) проведен расчет фундамента и даны рекомендации для проектирования и эксплуатации.

Таким образом, были проанализированы нормативные документы, регламентирующие проведение инженерно-геологических изысканий и строительства в районах со сложными геологическими условиями, и технические отчеты компании ООО "ВПИ", на основании чего были даны рекомендации по защите ветроэнергетических установок от сейсмических воздействий и геокриологических процессов.

Поселок городского типа Эвенск расположен в сейсмически активной зоне, а грунты его основания сложены многолетнемерзлыми породами, поэтому при проектировании и строительстве ветроэнергетических установок для защиты от сейсмических воздействий на этапе проектирования следует предусмотреть наличие систем активной сейсмозащиты, выбираемые исходя из возможностей заказчика. Дополнительно в конструкцию здания рекомендуется добавить упоры-ограничители, которые не разрушаются и не требуют восстановления после землетрясения. Учитывая геокриологические условия изученной территории, рекомендуется проводить работы по проектированию, строительству и эксплуатации проектируемых объектов по первому принципу с сохранением грунтов в мерзлом состоянии. На основании приведенных расчетов взаимодействия ММГ и проектируемых сооружений можно сделать вывод, что соблюдение вышеперечисленных рекомендаций позволит избежать существенных (опасных) изменений инженерно-геологических и геокриологических условий на исследуемой территории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев В.И. Основы сейсморазведки: Учебное пособие для ВУЗов. Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2003. 332 с.
2. Горячев Н. А., Сидоров А. А., Волков А. В., Гамянин Г. Н., Савва Н. Е., Округин В. М. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов северо-востока Азии, 2021 г. 5 с.
3. Заборовская Н. Б. Внутренняя зона Охотско-Чукотского пояса на Тайгоносе. М.: "Наука", 1978. 204 с.
4. Иванов И. П., Тржцииский Ю. Б. Инженерная геодинамика. СПб.: Наука, 2001. 416 с.
5. Кириченко М. А., Любимова Т. В., Пендин В. В. Основы сейсмического микрорайонирования территорий со сложными инженерно-геологическими условиями (на примере Черноморского побережья северо-западного Кавказа)// Известия высших учебных заведений, 2017, №1.С. 1-7.
6. Короновский Н. В. Геология России и сопредельных территорий: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 240 с.
7. Кудинова В. С. Оценка инженерно-геологических условий территорий в сейсмических районах (Республика Крым, г. Севастополь). Выпускная квалификационная работа. Санкт-Петербург, 2020. 30 с.
8. Милановский Е. Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии): Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1996. 448 с.
9. Полин В. Ф. О кайнозойском вулканизме северного Приохотья. Владивосток: Тихоокеанская геология, том 38, № 5, 2019. с. 105-118.
10. «Градостроительный кодекс РФ» №190-ФЗ от 29.12.2004 г.
11. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Том IV. Дальний восток. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977. 502 с.
12. Инженерное мерзлотоведение: Методические указания к лабораторным работам. Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". Сост.: В.А. Усов, Т.Н. Николаева. СПб, 2013. 51 с.
13. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2015, 2015 г.
14. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81. Москва, Стандартинформ, 2018 г.

15. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. Москва, Стандартинформ, 2016 г.
16. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. Москва, Стандартинформ, 2020 г.
17. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Москва, 2016 г.
18. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. Москва, 2012 г.
19. СП 446.1325200.2019. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. Москва, 2019 г.
20. СП 493.1325800.2020. Инженерные изыскания для строительства в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Общие требования. Москва, 2020 г.
21. Geophystech [Электронный ресурс] // <https://geophystech.ru/services/seismic-microzonation/> (дата обращения 08.02.2020)

Производственные отчеты компании ООО "ВПИ"

22. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации. 0121МГДЭ-АГЭУ-ИГИ1, Том 2. Москва, 2021.
23. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации. Геофизические исследования. 0121МГДЭ-АГЭУ-ИГИ2, Том 3. Москва, 2021.
24. Технический отчет по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий для подготовки проектной документации. 0121МГДЭ-АГЭУ-ИГМИ, Том 4. Москва, 2021.