

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Специальность 21.05.03 «Технология геологической разведки»
Отделение школы (НОЦ) Отделение Геологии

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
«Уточнение сейсмической опасности площадки строительства на территории г. Якутска» <u>УДК 550.343.4:725.87(571.56)</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Степанова Сардаана Степановна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ислямова А.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По геологической части

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимкин Т.В.	К.г.-м.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пожарницкая О.В	К.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Т.А.	К.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Немирович-Данченко М.М.	Д-ф.м.н.		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Специальность 21.05.03 «Технология геологической разведки»
Отделение школы (НОЦ) Отделение Геологии

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломной работы

Студенту:

Группа	ФИО
223Б	Степановой Сардаане Степановне

Тема работы:

Уточнение сейсмической опасности площадки строительства на территории г. Якутска.	
Утверждена приказом директора ИПР (дата, номер)	№ 2406/С от 06.04.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной производственной практики и опубликованная литература по теме дипломной работы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучение геолого-геофизических данных об объекте исследования, уточнение исходной сейсмичности в программе EAST-2010, изучение полевых методов СМР, расчет приращения балла по данным полевых изысканий, расчет синтетических акселерограмм и пиковых грунтовых ускорений, сравнение расчетных данных с данными, полученными на предприятии

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ислямова А.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Степанова Сардаана Степановна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 страниц, 36 рисунков, 32 таблиц, 43 источников.

Объектом исследования является площадка строительства культурно-досугового центра с аквапарком на 203 квартале г. Якутска.

Цель работы – уточнение сейсмической опасности территории площадки строительства с помощью доступных нам специализированных программ, а также методами, рекомендованными в нормативной действующей инструкции, на основании полевых данных.

В процессе исследования проводилось составление унифицированного каталога землетрясений, уточнение и расчет исходного сейсмического балла, определение приращений сейсмической интенсивности различными методами и сравнение полученных данных с результатами, полученными на предприятии.

В результате исследования уточнили сейсмическую опасность площадки строительства и получили значения сейсмической интенсивности 7 баллов по карте ОСР-В.

СОКРАЩЕНИЯ

РАН – Российская академия наук

ОСР – общее сейсмическое районирование

УОСР – уточнение общего сейсмического районирования

УИС – уточнение исходной сейсмичности

ВОЗ – выделение очагов землетрясений

ЛДФ – линеаментно-доменно-фокальная

СГС – сейсмогенерирующие структуры

УСО – уточнение сейсмической опасности

ЭВМ – электро-вычислительная система

МТС – метод тонкослоистых сред

МКЭ – метод конечных элементов

МПВ – метод преломленных волн

PGA – пиковые грунтовые ускорения

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ.....	4
СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
1.1 Географо-экономический очерк района работ	9
1.2 Краткая геолого-геофизическая изученность района.....	12
1.3 Макросейсмические данные по землетрясениям района.....	15
2 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ	18
2.1 Стратиграфия.....	20
2.2 Тектоника.....	23
3 АНАЛИЗ ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ И ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАННЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	28
3.1 Изучение исходной сейсмичности по картам ОСР	28
3.2 Сейсмогеологические свойства грунтов на участке работ	32
4 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ	35
4.1 Обоснование актуальности, цели и задачи исследований	35
4.2 Сейсмогеодинамическая регионализация	37
4.2.1 Составление унифицированного каталога землетрясений района исследований	40
4.2.2 Оценка повторяемости землетрясений в районе исследований.....	42
4.3 Уточнение исходного сейсмического балла	46
4.3.1 Расчет исходного балла в программе на основе ЛДФ-модели.....	47
4.4 Обзор методики полевых работ по СМР	52
4.4.1. Методы регистрации землетрясений и взрывов	53
4.4.2. Метод регистрации микросейсм	53
4.4.3 Метод сейсмических жесткостей	55
4.5 Определение приращения различными методами.....	56
4.5.1 Расчет приращения балльности методом сейсмических жесткостей.....	56
4.5.2 Расчет приращения балльности методом регистрации микросейсм	59

4.5.3 Расчетный метод	62
4.6 Сравнение результатов	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	73
Список использованной литературы	74

ВВЕДЕНИЕ

В апреле 2017 года для строительства Культурно-досугового центра с аквапарком в 203 квартале г. Якутска Якутским филиалом федерального исследовательского центра единой Геофизической службы РАН были проведены геолого-геофизические изыскания для определения сейсмической опасности площадки строительства.

Целью проведения исследований в ВКР является уточнение сейсмической опасности территории площадки с помощью доступных нам специализированных программ, а также методами, рекомендованными в нормативных действующих документов, на основании тех же полевых данных.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы планируется:

- изучение района исследований и сейсмогенерирующих структур;
- составление актуального каталога событий;
- уточнение повторяемости, сейсмичности зон возникновения очагов землетрясений и исходного сейсмического балла;
- расчет приращения баллов полевым и расчетным методам;
- сравнение данных, полученных нами и на предприятии;
- расчет финансовых расходов на сейсмическое микрорайонирование;
- рассмотрение социальной ответственности и БЖД.

При выполнении данной работы использовались результаты сейсмического микрорайонирования методом микросейсм и сейсмических жесткостей, полученные предприятием. В результате планируем получить уточненные значения исходного сейсмического балла и рассчитать пиковые грунтовые ускорения для рекомендаций к дальнейшим этапам строительства.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Географо-экономический очерк района работ

В административном отношении участок исследований находится в г. Якутске, столице Республики Саха (Якутия).

Географически район работ находится в пределах Приленского плато, расположенного в центральной части Среднесибирского плоскогорья (рис. 1.1). В орографическом отношении район работ представляет собой равнину с абсолютными отметками от 500-600 м на юге до 300 м на севере к долине реки Лены.



Рис. 1.1 – Географическое положение района исследований

Климат района от умеренного до резко континентального, с небольшим годовым количеством осадков. Зима исключительно суровая, средняя температура января составляет около минус 40°C, иногда морозы даже могут

больше минус 60°С. Зима длится с ноября по март включительно, весна и осень очень короткие. Заморозки продолжаются до конца мая – первой декады июня. В противоположность зиме, лето отличается сильной жарой. Средняя температура июня плюс 18-19° С, абсолютный максимум плюс 38°С.

Территория района работ расположена в центральной части г. Якутска в пойме левого берега р. Лена, на намывных грунтах (рис. 1.2).

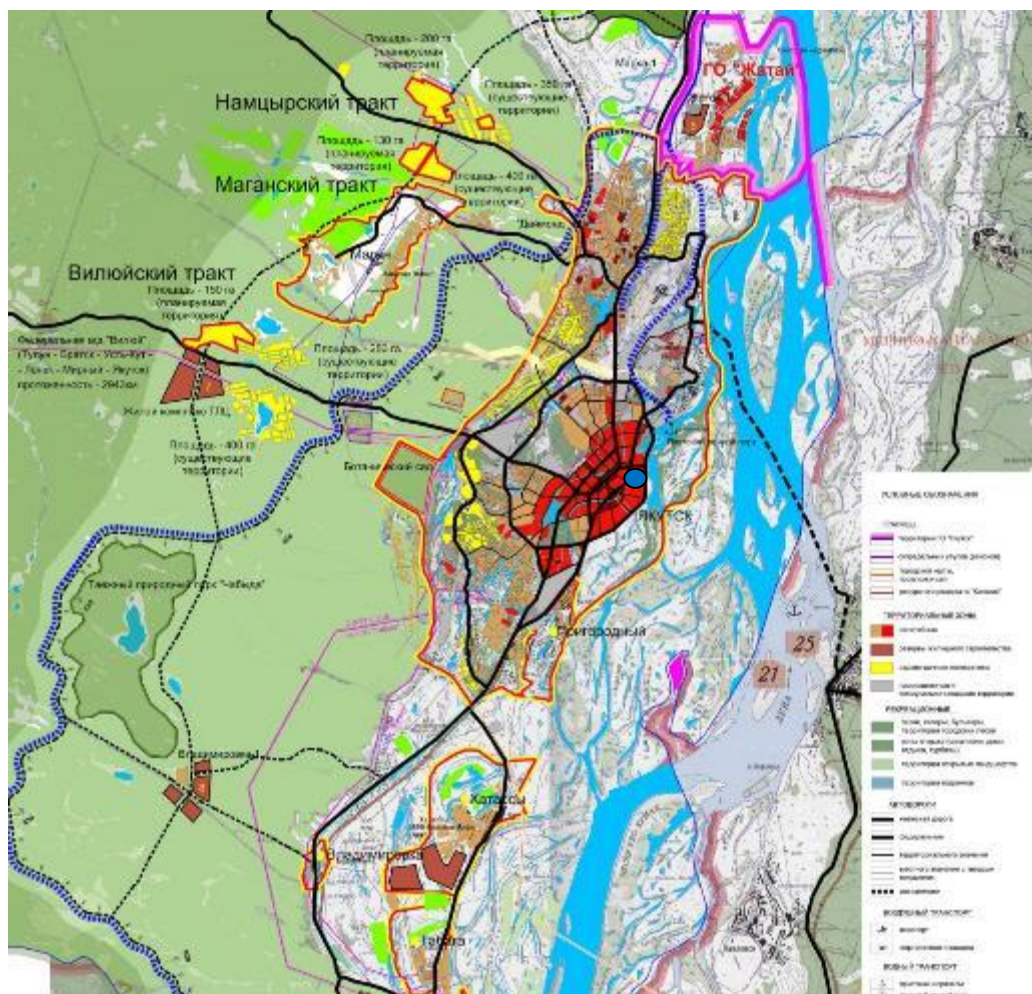


Рис. 1.2 – Положение участка исследований (синяя точка) на схеме города в масштабе 1:25000 [40]

Снежный покров устанавливается в середине октября и сходит в первых числах мая. Зима малоснежная, снег мелкий и легко сдувается. Высота его в конце зимы обычно 30-40 см. Годовое количество осадков в среднем от 240 до 260 мм. Наибольшее количество осадков приходится на июль, август. В годовом ходе осадков минимум наблюдается в феврале-

марте. Летом осадков также немного, выпадают они очень нерегулярно. Засушливость климата сказывается на почвообразовательных процессах, вызывая потерю структурности почв и накопление в них солей. Из-за засух сильно мелеют и пересыхают реки и нередко быстро высыхают и аласные озера, превращающиеся в луга, в той или иной степени засоленные.

Немаловажный фактор, влияющий на климат и почвообразовательные процессы – наличие многолетнемерзлых пород, которые на территории работ имеют сплошное распространение и достигают мощности от 200 до 470 м. Многолетняя мерзлота способствует фиксированию атмосферных осадков в пределах деятельного слоя почвы. Залегая близко к поверхности водонепроницаемым экраном, мерзлота задерживает нисходящие почвенные растворы и способствует накоплению в деятельном слое щелочных и щелочноземельных элементов и развитию почв солонцового ряда под лесной растительностью. На территории Центральной Якутии криогенные процессы активно влияют на рельеф местности, растительный и почвенный покровы. Широкое распространение имеют проявления термокарста – просадки земной поверхности при протаивании льдистых мерзлых пород и подземного льда. Термокарстовый рельеф в Центральной Якутии занимает огромные пространства и приурочен к террасированным аллювиальным равнинам.

В экономическом отношении в районе работ хорошо развита инфраструктура, имеются медицинские центры, столовая, круглосуточные магазины, аэропорт, дороги, посадочные площадки для вертолетов, пост милиции. Транспортировка аппаратуры и оборудования может осуществляться автотранспортом, самолетом, вертолетом, судоходным транспортом в любое время года.

По вышеописанным данным можно сделать вывод, что территория г. Якутска относится к I категории трудности.

1.2 Краткая геолого-геофизическая изученность района

Район исследований характеризуется слабой геолого-геофизической изученностью на 2009 г. (рис. 1.3). Отчетных материалов по геологической изученности в масштабе 1:200000 нет.

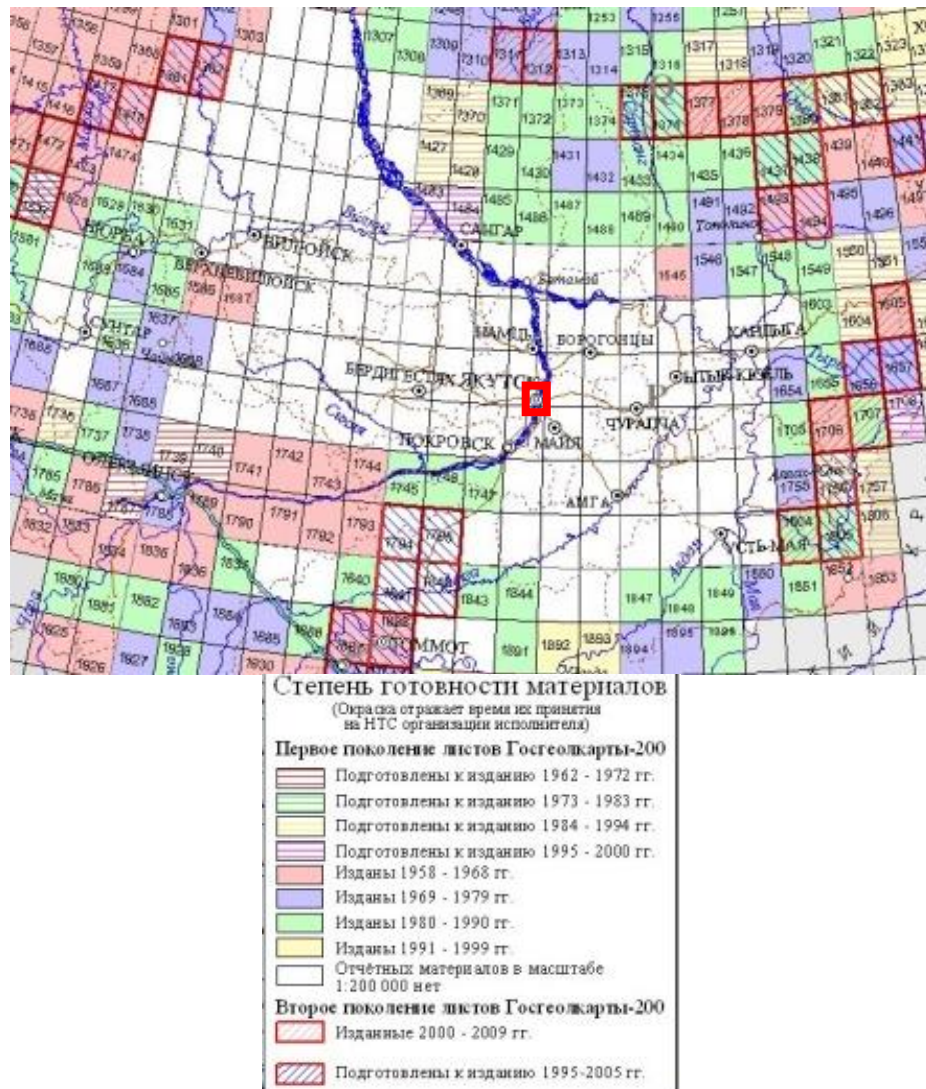


Рис. 1.3 – Положение участка исследований на Карте геологической изученности в масштабе 1:200000 [41]

К настоящему времени на территории исследования проведены гравиметрические исследования в масштабе 1:200 000 (рис. 1.4).

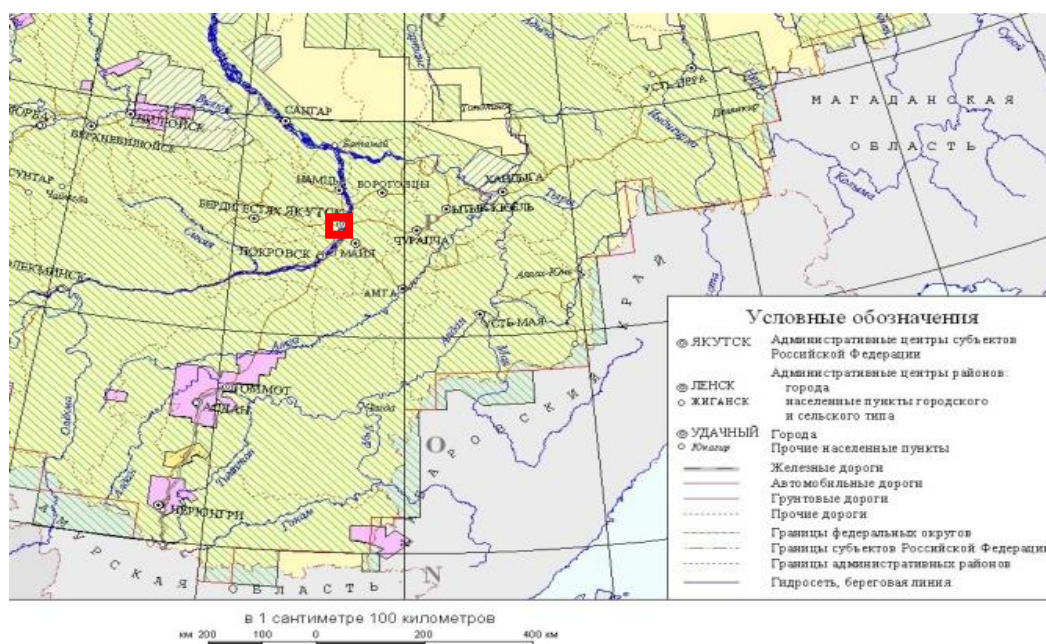


Рис. 1.4– Положение участка исследований на Карте гравиметрической изученности [41]

На карте территории г. Якутска отмечаются аномальные магнитные поля от 0 до 35 мЭ на западе и от 35 до 70 мЭ на востоке. (рис.1.5).

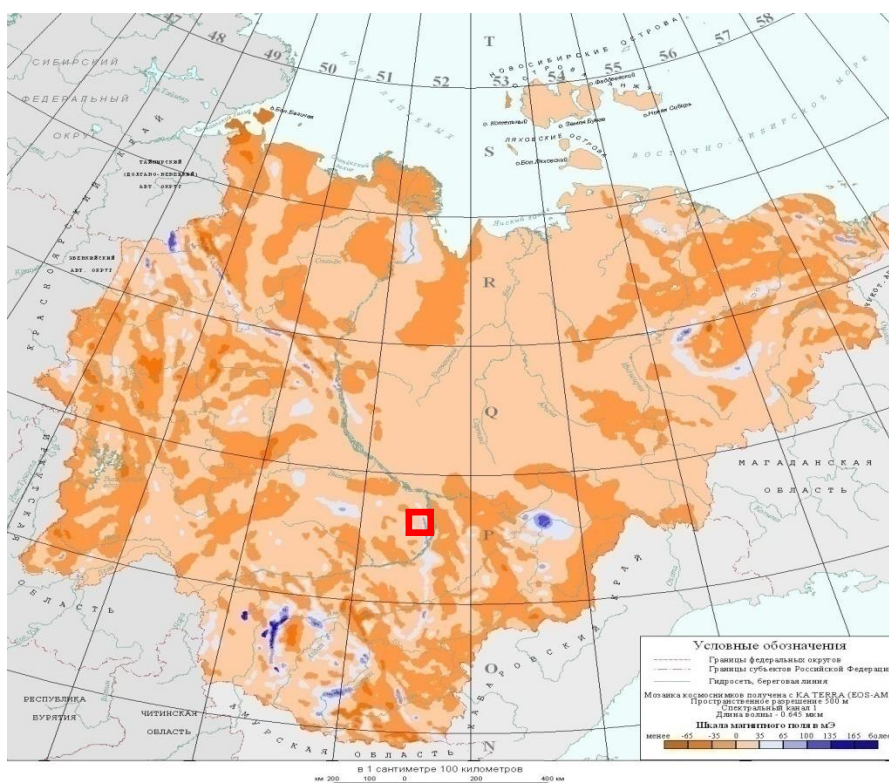


Рис.1. 5 – Положение участка исследований на Карте аномального магнитного поля района г. Якутска масштаба 1:2 500 000 [41]

На территории Якутии проводились аэромагнитные и комплексные аэро-гаммаспектрометрические съемки, но в самом г. Якутске не проводились. (Рис.1.6).

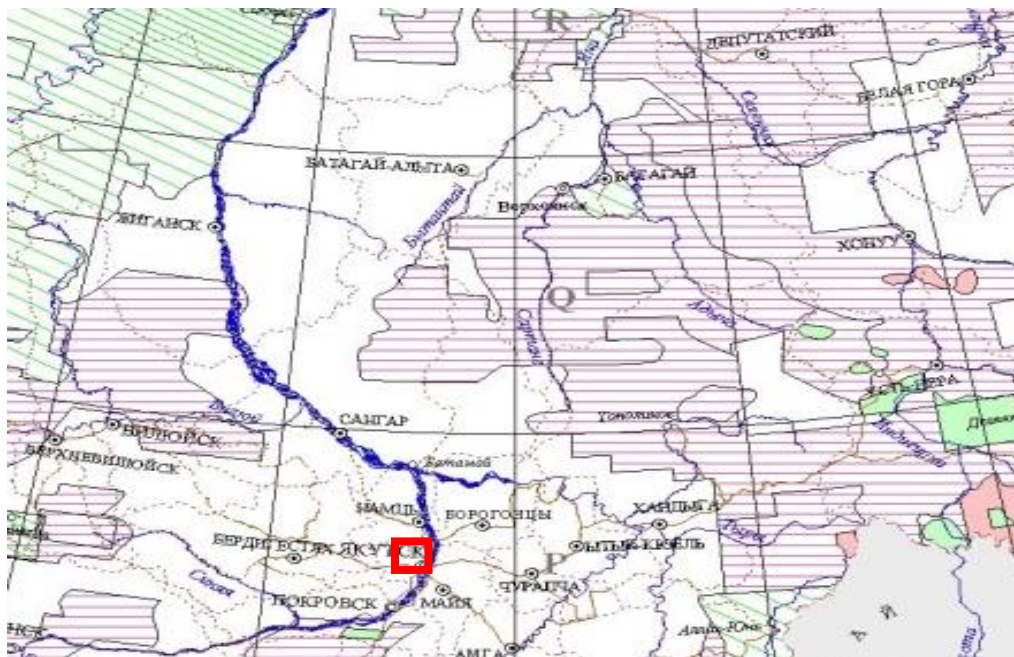


Рис. 1.6 – Положение участка исследований на Карте аэрогеофизической изученности [41]

Таким образом, анализ всего имеющегося материала показывает слабую геолого-геофизическую изученность района г. Якутска.

1.3 Макросейсмические данные по землетрясениям района

Рассмотрим более подробно землетрясения, произошедшие в районе исследования и ощутимые в г. Якутске.

Первое упоминание о сейсмичности Якутска относится к 1849 году, когда жители ощутили толчки силой 5 баллов. В 1956 году также было зафиксировано землетрясение, интенсивность которого достигала 2-3 баллов.

29 января 1956 г. в 80–100 км юго-восточнее Якутска в междуречье Суолы и Таммы (правых притоков р. Лена) произошло сильное землетрясение с интенсивностью в эпицентре до 6 баллов, $M=4,5$. [33] Оно

ощущалось на небольшой площади около 40 кв. км. Расчеты по приведенным данным показывают, что глубина фокуса составляет около 10 км.

В 1957 г. на территории г. Якутска начала действовать сейсмическая станция. В процессе ее работы в радиусе 100–150 км от Якутска было зарегистрировано более 80 сейсмических событий, различной интенсивности.

Одно из самых близких к городским кварталам землетрясение было зафиксировано 13 июля 1979 г. в 15 часов ($M=4,5$; $K=12$) с эпицентром в 40 км к северо-востоку от г. Якутска (район Кангаласской протоки). В эпицентре наблюдались 5–6 балльные эффекты: в тихую погоду резко качались деревья, как при сильном ветре; люди у костра в испуге вскакивали с земли, слышали глухой гул.

Следующее довольно крупное событие отмечено 1 февраля 1985 г. в 110 км к северо-западу от Якутска. Землетрясение произошло в верховьях р. Ситтэ (левый приток р. Лены) в ненаселенном месте. Эффекты в эпицентре достигали 4–6 баллов ($M=4,4$; $K=11,9$). Кроме того, в г. Якутске наблюдались проявления 8 балльного Южно-Якутского землетрясения 1989 г. с $M=6,8$.

В 1998 году после Южно-Якутского землетрясения были зафиксированы более 80 сейсмических событий в ближней зоне города; эпицентры самых сильных 5–6-балльных землетрясений зафиксированы в районе п. Кангалассы, на р.р. Ситтэ, Суола, р. Синяя и др.

В 2004 году, 11 октября, в районе п. Мырыла на р. Амге, произошло землетрясение интенсивностью 5–6 баллов, которое ощущалось жителями и соседних деревень: слышался гул, выпадали картины, раскачивались лампочки, в одном доме из печи выпал кирпич, произошло замыкание электрических проводов в котельной.

Во время землетрясений работали сейсмические станции, регистрирующие волновые формы, и определялось положение эпицентра для каждого ощутимого события (рис. 1.7 и 1.8).

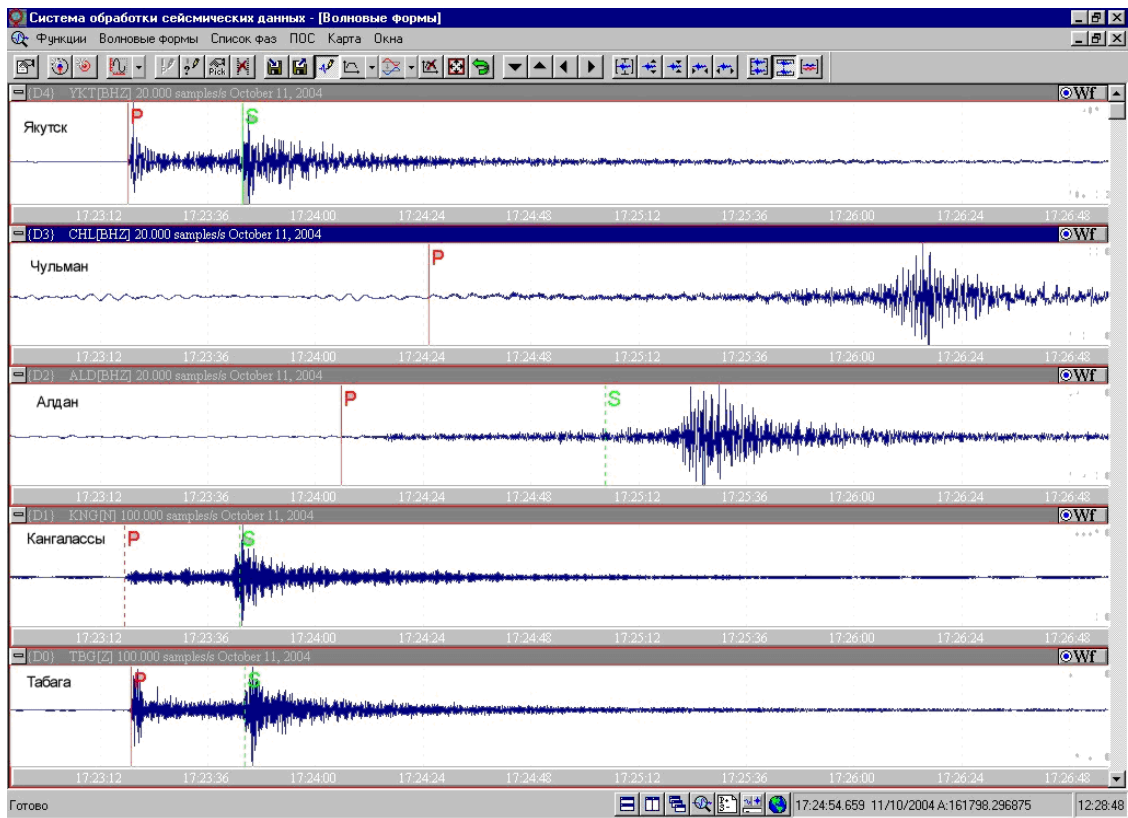


Рис.1.7 – Волновые формы, отмеченные при Амгинском землетрясении 11.10.2004 г

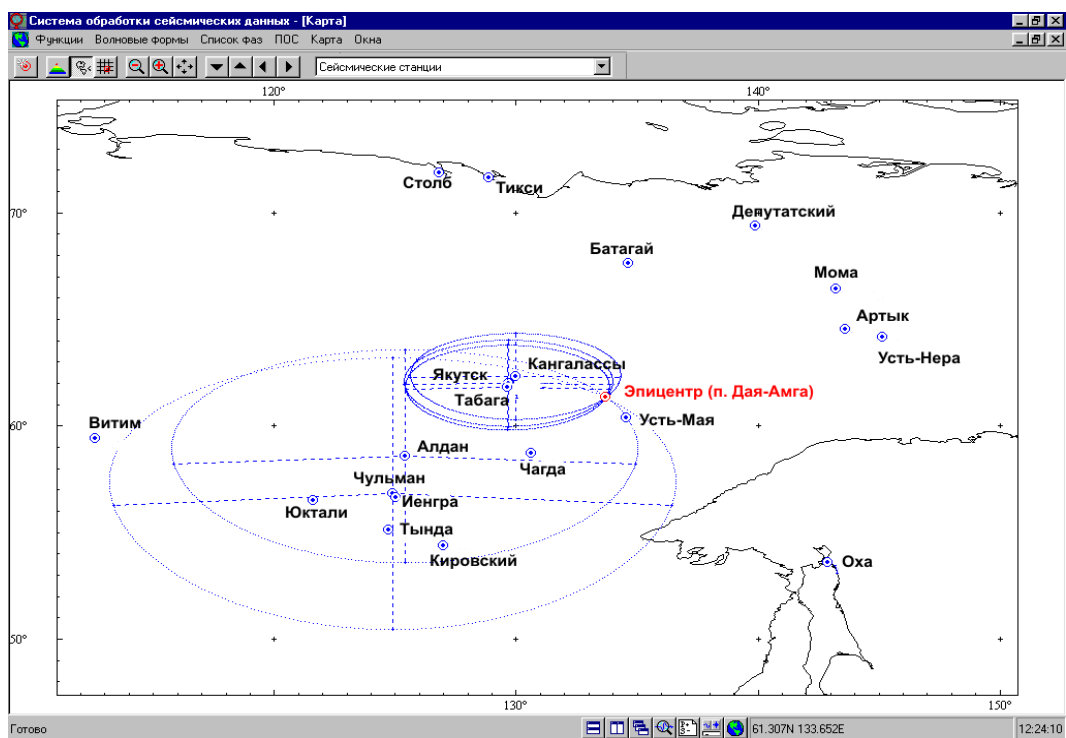


Рис.1.8 – Положение местоположения эпицентра Амгинского землетрясения 11.10.2004 г

В январе 2008 и 2010 годов землетрясения силой до 3-4 баллов произошли в зоне Якутского разлома вблизи п.п. Октёмцы и Марха.

В г. Якутске наблюдались проявления Охотских землетрясений 14 августа 2012 ($M=6,3$) и 24 мая 2013 годов ($M=8,2$), очаг произошедших землетрясений залегал на глубине 600 км, с макроэффектами на поверхности до 2–3 баллов, на верхних этажах домов до 4–5 баллов, за счет раскачивания высотных сооружений. Наиболее интенсивно, по сведениям жителей, раскачивались высотные здания в 202 квартале.

2 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

В геологическом строении г. Якутск находится в четвертичной системе. Для листа Р-52-ХVI Якутским производственным геологическим объединением (Якутскгеология) в 1986 году была построена геологическая карта (рис. 2.1) в масштабе 1:200000 и геологический разрез в масштабах: горизонтальный 1:200000 и вертикальный 1:40000. По результатам работ в районе Якутска под четвертичными отложениями были вскрыты отложения юрского возраста.

A

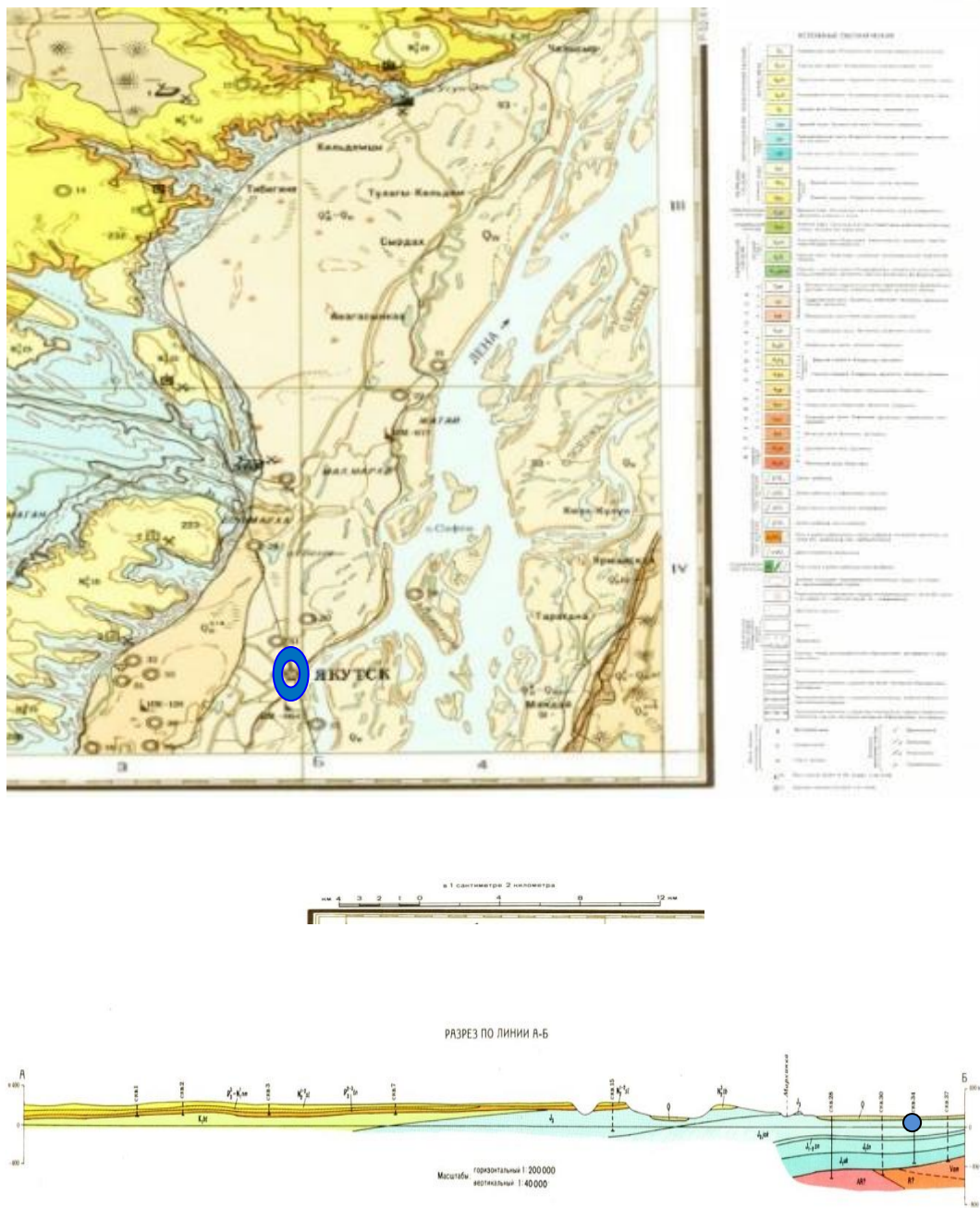


Рис. 2.1 – Геологическая карта и разрез для Листа Р-52-ХVI

2.1 Стратиграфия

В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие разновозрастные образования, слагающие кристаллический фундамент, промежуточный этаж и платформенный чехол (рис. 2.2). Фундамент сложен породами архейского возраста, промежуточный этаж – отложениями протерозоя, а в составе платформенного чехла участвуют отложения вендского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста.

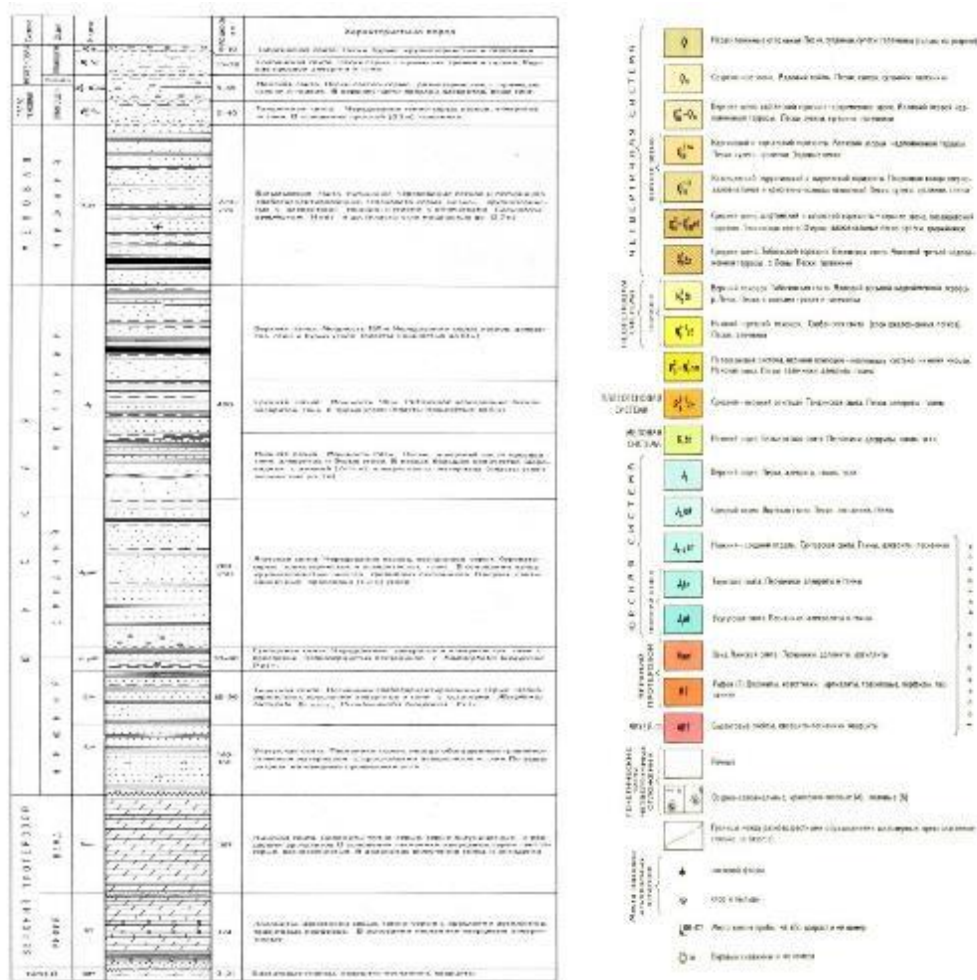


Рис. 2.2 – Стратиграфическая колонка Якутии

Архейская группа

Отложения этого возраста на исследуемой территории на поверхности не обнажаются и вскрыты несколькими скважинами. В районе п. Табага они

вскрыты на глубине 893–940м, а в скважине Р-1 в районе Белого озера на глубине 562-632м и представлены амфибол-пироксеновыми, амфиболовыми кристаллическими сланцами, амфиболитами, амфибол-пироксеновыми метагаббро, амфиболовыми, амфибол-пироксеновыми, амфибол-биотитовыми, биотитовыми, биотит-гранатовыми и графитсодержащими гнейсами. Породы гранитизированы, катаклазированы и милонитизированы, по трещинам наблюдаются многочисленные зеркала скольжения, пласты смяты в складки различных генераций. Метаморфизованы породы в гранулитовой фации. Скважиной №1 в п. Тектюор (на правом берегу р. Лены против п. Жатай) в интервале 589–600м вскрыты биотитовые гнейсы, граносиениты, мигматиты, милониты. В породах также наблюдаются зеркала скольжения, свидетельствующие о существовании в долине р. Лена и на её правом и левом берегах разломов земной коры в отложениях архейского возраста и интенсивным разнонаправленным движениям по разломам в предыдущее и в настоящее время. Далее наблюдается перерыв в осадконакоплении.

Протерозойская группа

Отложения этого возраста также изучены только по керну глубоких скважин. На Якутском выступе фундамента в районе Белого озера в скважине Р-1 вскрыты кварцитовидные песчаники, аргиллиты и трахитовые порфиры, залегающие на гнейсах архейского возраста. В глубокой скважине в районе п. Табага, по полевым описаниям утерянного керна, на архейских метаморфических толщах залегают вулканогенно-терригенные отложения, кислые эффузивы, условно относящиеся к отложениям нижнепротерозойского возраста. Вскрытая мощность около 100 м. Выше их здесь выделяется юдомская свита вендского возраста. На других участках г. Якутска и в целом долины реки, отложения протерозойского и вендского возраста отсутствуют.

Венд и кембрий

Отложения этого возраста также изучались только по скважинам, при этом в них вскрылись различные части разреза осадков вендско-кембрийского возраста. В Табагинской скважине к отложениям этого возраста относится верхняя часть выделяемой здесь юдомской свиты, сложенная переслаиванием окремнелых мраморизованных известняков, доломитов, песчаников и алевролитов. Вскрытая мощность 14 м.

Инниканская и тымпынская свиты ниже-среднекембрийского возраста сложены доломитами, известняками серого, коричневатого цвета, массивными и слоистыми.

Мощности и состав кембрийских отложений, вскрытых скважинами в долине р. Лена и г. Якутска значительно изменяются от 0 до 200м, не одинаковой является и глубина залегания этих толщ. Так, в районе Белого озера, гнейсы архейского возраста, вскрытые на глубине 562м, перекрываются песчаниками юры, т.е. отложения венда и кембрия здесь отсутствуют.

Мезозойская группа

Непосредственно в районе г. Якутска обнажаются отложения **юрского возраста**, представленные нижним и средним отделами. Отложения верхнеюрского возраста присутствуют на водоразделе Лены и Кенгкеме.

Укугутская свита нижнеюрского возраста в Табагинской скважине перекрывает нижнекембрийские известняки и представлена серыми, буровато-серыми песчаниками. К нему согласно залегает *тюнгская свита*, представленная слабоцементированными мелкозернистыми серыми песчаниками с прослоями алевролитов и глин.

Якутская свита в среднем отделе представлена чередованиями песков, серых песчаников и буровато-серых, тонкозернистых и алевролитистых глин. Мощность 200-250 м, в основании пачка крупнозернистых и гравийных песчаников, а в верхах свиты единичные прослойки углей.

Верхний отдел юры представлен песками, алевролитами, глинами и углями.

Кайнозойская группа

В районе среднего течения р. Лена известны отложения неоген-четвертичного возраста: дыгдальская, тегити-хаинская, покровская, бестяхская, чуйская, абалахская, енерская свиты. Мы приведем краткую характеристику лишь первой и второй надпойменных террас, поскольку изучаемая нами территория строительства расположена на поверхности поймы р. Лена.

Аллювиальные отложения II надпойменной террасы представлены сложно переслаивающимися, не выдержанными по простиранию галечниками, песками, супесями, алевролитами с прослоями туфов и льдов различной мощности и генезиса. Мощность 5–25 м.

Современные отложения I надпойменной террасы и поймы представлены также сложно переслаивающимися, не выдержанными по простиранию тальми и мёрзлыми песками, глинами, галечниками, с прослоями льда. В долине р. Лена в их составе встречаются вулканические породы.

2.2 Тектоника

Район работ расположен в пределах древней Сибирской платформы (Рис.2.3). Участок исследования расположен на стыке Алданской антеклизы, расположенной на юге, юго-востоке и севере и Вилуйской синеклизы, примыкающей с северо-запада.

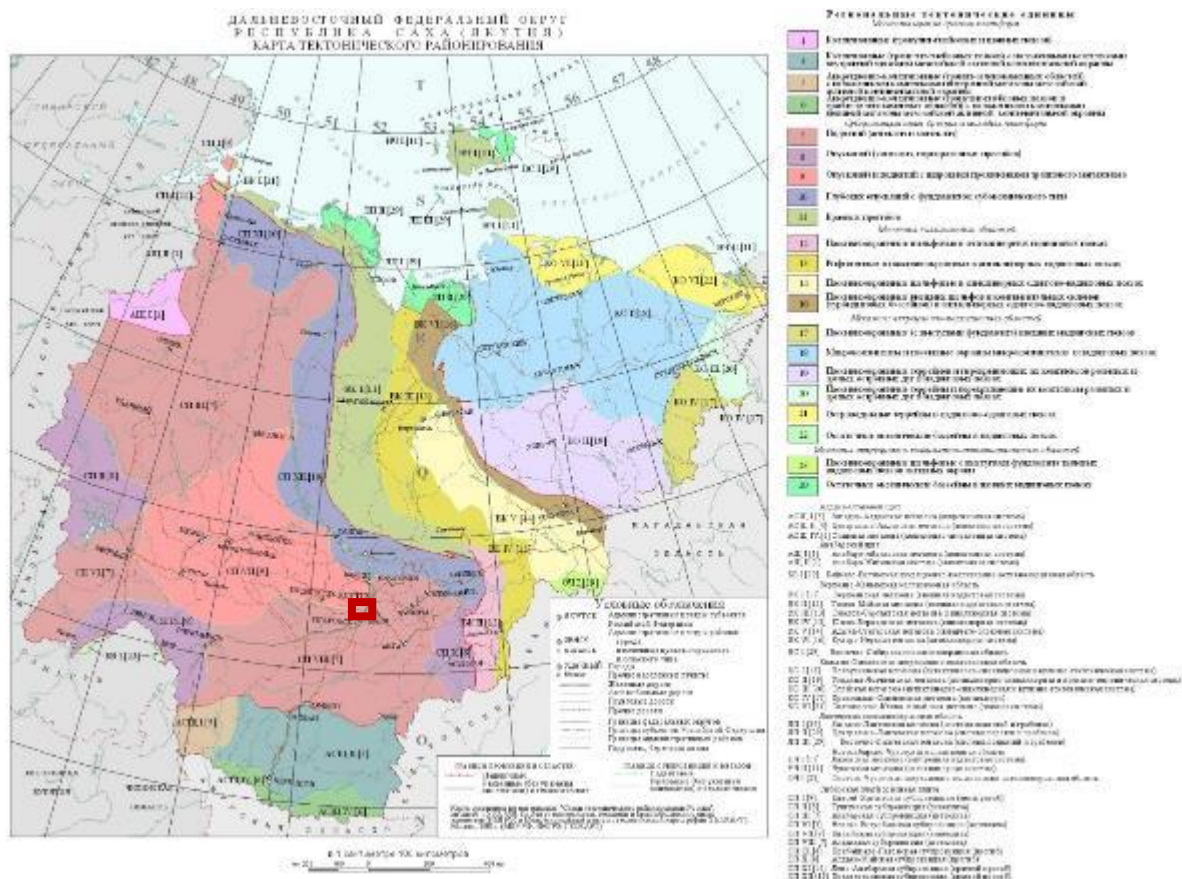


Рис. 2.3 – Положение территории исследования на тектонической карте [41]

На данной территории присутствуют выступы фундамента на поверхность под фанерозойским чехлом, а также зоны палеозойской и раннемезозойской тектономагматической активации в авлакогеосинклинальных зонах и метаплатформенных массивах [31]. По палеотектонической схеме Сибирской платформы район исследований находится в области преобладающего погружения и формирования чехла мощностью до 1 км, а также области проявлений позднедевонского базальтового вулканизма.

По данным, полученным при составлении Атласа тектонических карт и опорных профилей Якутии в районе г. Якутска выявлена граница, разделяющая две ранне-архейские области – гранито-гнейсовую и карбонатно-сланцево-плагинейсовую [31]. На этой границе располагается мощная, протягивающаяся с севера на юг разломная зона, в которой

сохранились отложения промежуточного этажа – верхнеархейских зеленокаменных поясов раннего этапа, сложенные молассоидными терригенно-вулканогенными толщами смешанного состава и молассоидными вулканогенно-терригенными железосодержащими отложениями.

В магнитном поле железосодержащие отложения выражены мощной положительной магнитной аномалией с экстремально высокими значениями до 16 миллиэрстед. Эта аномалия в районе г. Якутска охватывает всю долину р. Лена и протягивается с юга Якутии до моря Лаптевых на севере. Разломная природа этой зоны, получившей название Якутский разлом [32], подтверждается наличием в районе г. Якутска в отложениях архейского возраста зеркал скольжения, катаклизмов и милонитов, аналогичных со строением этой зоны на Алданском щите, а также анализом материалов глубокого бурения, по которым устанавливается чешуйчато-надвиговое строение зоны разлома, так как в скважинах, пробуренных в долине р. Лена вблизи и на территории Якутска, под отложениями юрского возраста вскрываются различные по возрасту и составу отложения докембрийского и палеозойского возраста. Сложное строение зоны разлома отчетливо прослеживается на картах магнитного поля этой территории масштаба 1:2 500 000 (Рис.2.4).

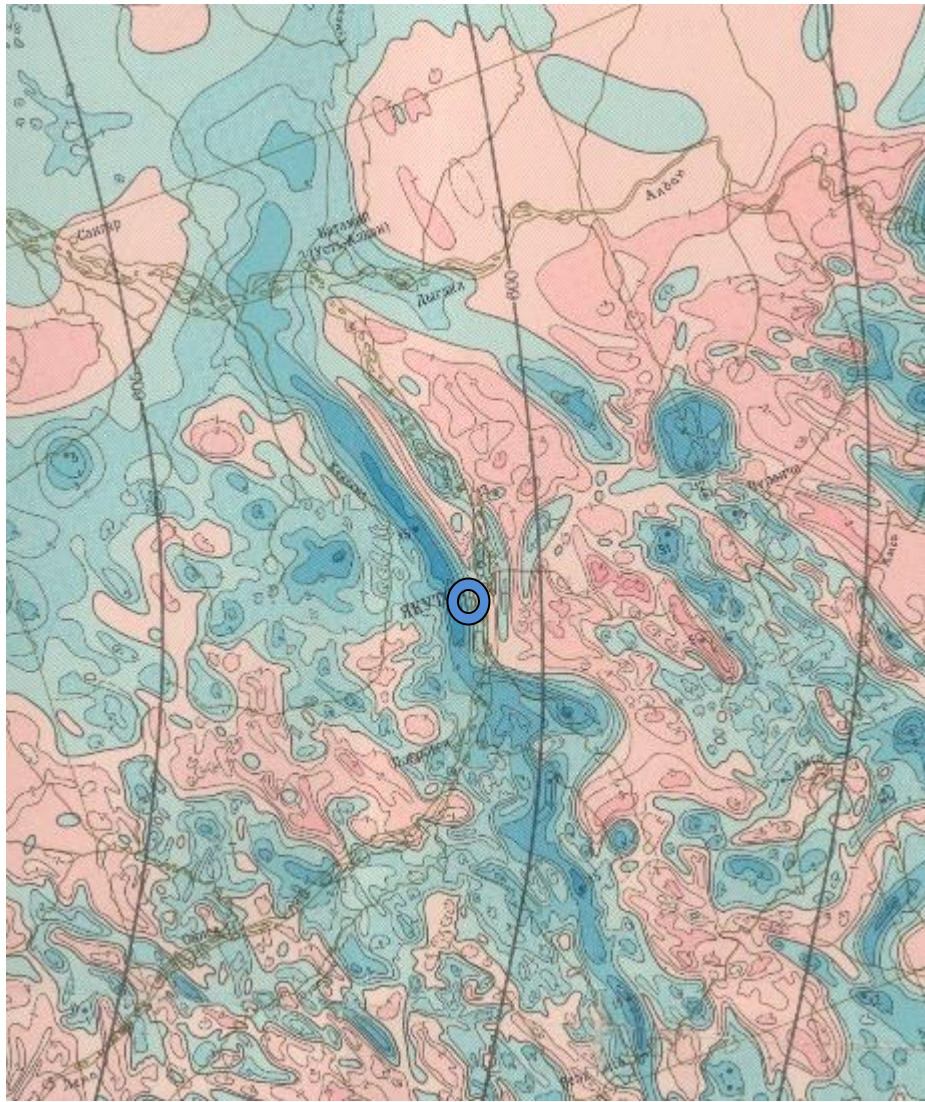


Рис. 2.4 – Карта аномального магнитного поля района г. Якутска масштаба 1:2 500 000

Синим цветом показаны положительные магнитные аномалии, красным – отрицательные. Протяжённые положительные аномалии – разломы в земной коре, как правило, генерирующие напряжения на границе блоков, разрядка которых и вызывает землетрясения.

Дешифрирование космических снимков разного масштаба и спектрального диапазона позволило выделить на рассматриваемой и соседней с ней территориях линеаменты различного простирания и протяжённости и разделяемые ими домены. Как правило, линеаменты выделяются или прямыми линиями, секущими все формы рельефа, или разделяют участки территории с различным фототонном. Часть линеаментов

совпадает с прямыми участками речной сети (рис. 2.5). Генезис всех линеаментов на описываемой территории до настоящего времени не установлен, но практика изучения линеаментов на других территориях свидетельствует об их преимущественно тектонической природе.

В береговых обнажениях Кангаласского и Табагинского мысов, Кангаласского угольного разреза и Кильдемского карьера в юрских терригенных толщах наблюдаются разломы, преимущественно сбросы и взбросы, выраженные смещением пластов на 1,5–2 м и зеркалами скольжения, а также многочисленные мелкие дизъюнктивы небольшой амплитуды. Углы наклона плоскости 65–67°, азимут простирания 20–110°. Здесь же отмечаются надвиги амплитудой в первые метры. Наиболее крупные и протяжённые разломы – Табагинский и Кангаласский имеют северо-западное простирание. К ним приурочены эпицентры землетрясений на правом и левом берегах р. Лена, а также на участках их пересечения с Якутским разломом (рис. 2.4).

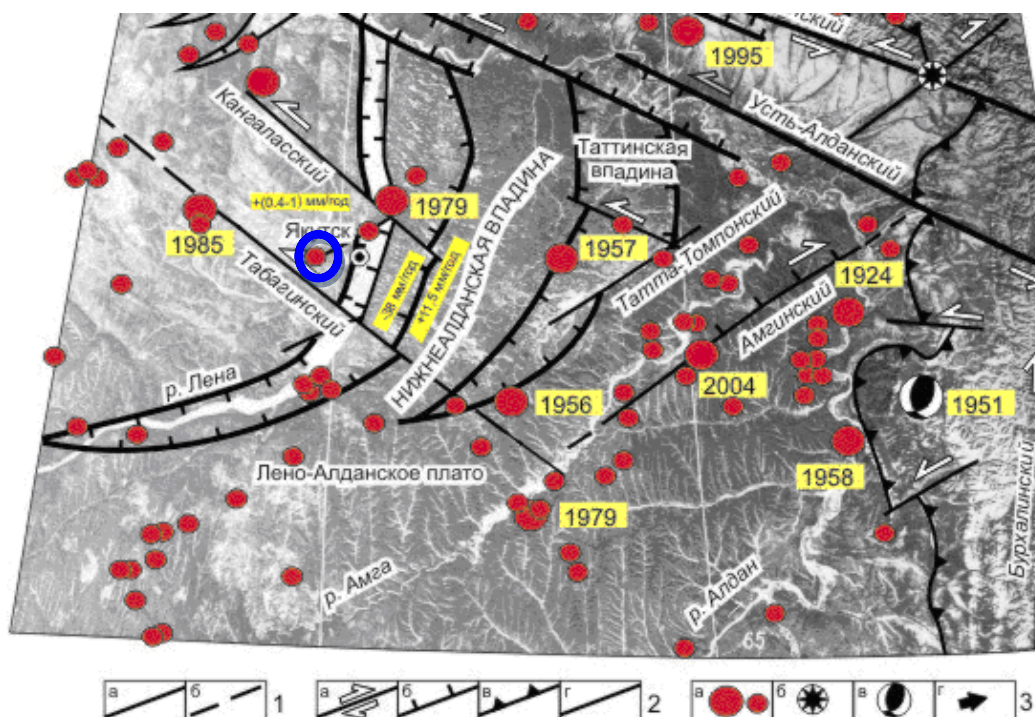


Рис. 2.5 – Схема сейсмотектоники и современной геодинамики (на основе дешифрирования космоснимка “Метеор”) 1 – активные разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 2 – кинематика разломов: а – сдвиги, б – сбросы, в – взбросы и надвиги, г – неустановленной кинематики; 3 – землетрясения с $K > 11$ и $K < 10$ (а) (рядом подписан год их

возникновения), сеймотектонические деформации (б), в – фокальный механизм Сетте-Дабанского землетрясения 1951 г. (белые области – действие напряжений сжатия, черные – растяжения), г – направление регионального сжатия. Цифрами (мм/год) показаны скорости современных вертикальных движений (пликативная складчатость).

Породы осадочного чехла на описываемой территории залегают преимущественно горизонтально, образуя мелкие приразломные пологие брахиформные, реже – изоклинальные складки. Наиболее наглядно они наблюдаются в обрывах Кангаласского угольного разреза. Размеры их – первые метры, углы падения крыльев колеблются от 30° до 45°. Геологами Якутской поисково-съёмочной экспедиции в строении осадочного чехла обнаружены многочисленные горизонтальные или близкие к ним надвиги внутри толщ осадочного чехла.

3 АНАЛИЗ ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ И ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАННЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Изучение исходной сейсмичности по картам ОСР

Сейсмическое изучение для строительства проводится с целью раннего выявления и предотвращения поведения зданий и сооружений под сейсмическим воздействием в виде сотрясений земной поверхности, потери грунтом своей несущей способности, а также разработки методов и технологий строительства зданий, устойчивых к сейсмическим воздействиям.

Изучением сейсмичности и составлением карт первым в России занимался советский сейсмолог, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии России Валентин Иванович Уломов [42].

Крупнейшими достижениями В.И.Уломова в области сейсмологии стали результаты исследований природы Ташентского 1966 г. и уникальных Газлийских землетрясений 1976-1984 гг. Им создано новое направление в сейсмологии и геодинамике – сейсмогеодинамика, положенная в основу исследований по прогнозу землетрясений и сейсмической опасности. Широко известен научный и практический вклад В.И.Уломова в решение проблемы прогноза сейсмической опасности.

Комплект современных карт ОСР- 97 создан в 1991–1997 годах в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук. Согласно сложившейся в нашей стране традиции карты ОСР регулярно обновляются (в среднем каждые 10–12 лет) по мере накопления новых сведений о землетрясениях и совершенствования методов оценки сейсмической опасности. Они фрагментарно изменялись практически после каждого сильного землетрясения, происходившего в сейсмических зонах, показанных на этих картах как менее опасные. Актуализированы и карты ОСР-97, хотя они и выдержали все «сейсмические испытания», имевшие место после их создания.

Актуализация ОСР-97 и разработка современных карт ОСР предусматривает не только пополнение базы исходных данных (каталогов землетрясений, разломной тектоники, геофизики и др.), но и усовершенствование методологических подходов и гармонизацию терминологии. Так, уточнение общего сейсмического районирования (УОСР) должно базироваться на уточнении исходной сейсмичности (УИС) и затухания сейсмической интенсивности (УЗИ).

Рассмотрим назначение данных карт на примере версии ОСР-97. Комплект карт ОСР-97 позволяет оценивать степень сейсмической опасности на трех разных уровнях (А, В, С) в средних грунтовых условиях, характерных для соответствующих регионов. Для территории Российской Федерации этот комплект был принят Госстроем России для использования в Строительных нормах и правилах (СНиП) "Строительство в сейсмических районах":

Карта ОСР-97-А – соответствует 90%-ной вероятности не превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (или 10%-ной вероятности превышения) может быть предназначена для массового гражданского и промышленного строительства;

Карта ОСР-97-В – соответствует 95%-ной вероятности не превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (или 5%-ной вероятности превышения) – для объектов повышенной ответственности;

Карта ОСР-97-С – соответствует 99%-ной вероятности не превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (или 1%-ной вероятности превышения) – для особо ответственных объектов.

Окончательное решение о категорировании строительных объектов должно быть принято в законодательном порядке Госстроем России или вышестоящими директивными органами страны.

В настоящее время используются новые карты ОСР-2016, в комплекте которых система оценки опасностей осталась прежней, трехуровневой. Например, класс «А» также соответствует 10%-ной вероятности превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (период повторяемости сотрясений 500 лет).

Территория Якутии по карте ОСР-2016-А находится в зонах от 8-ми до 6-ти баллов по шкале MSK-64. Зона максимальных значений в 8 баллов находится на востоке республики в Момском улусе, и протягивается на запад. Зона в 7 баллов окружает данную территорию и продолжается полосой на северо-запад. Узкой полосой ее обрамляет зона 6-балльной интенсивности.

По карте ОСР-2016-В появляются участки в 8 баллов в районе Тикси, Усть-Неры и к восточной части отмечается вытянутый пластинообразный 9-ти балльный участок.

По карте ОСР-2016-С большую часть территории Республики Саха (Якутия) занимает интенсивность 8 баллов. Интенсивностью 8 баллов охвачены все северные районы: Депутатский, Зырянка, Среднеколымск, Белая Гора, Батагай и т.д. Центральные районы, такие как Намцы, Бердигестях, Майа, Хатассы, Марха и г.Якутск отнесены к 7-ми баллам.

Якутск по карте ОСР-2016-А расположен на стыке зон в 5 и 6 баллов, граница проходит по территории города и требует уточнения. По карте ОСР-

2016-B балльность составляет 6 баллов, а по ОСР-2016-C достигает 7 баллов.
Комплект карт ОСР-2016 класса А, В, С показаны на рисунке 3.1.





Рис. 3.1 – Комплект карт ОСР-2016 (А,В,С)

3.2 Сейсмогеологические свойства грунтов на участке работ

Важную роль при проведении сейсмического микрорайонирования играют инженерно-геологические особенности строения и физические свойства грунтов на площадке: литология, гидрогеологические условия, однородность или разнородность состава, степень засоленности, талые, мёрзлые грунты, их строение, гидрогеология и т.д. Необходимым условием является учёт возможного изменения состояния физических свойств грунтов в процессе строительства и эксплуатации, наличие разломов земной коры, водоносных горизонтов, тектонических дизъюнктивных и пликативных структур и геодинамических процессов.

Объектом исследования является верхняя часть разреза, которая представлена намывными породами и грунтами руслового аллювия – песками пылеватой, мелко- и среднезернистой фракции с примесью гравия и мелкой гальки.

В ноябре 2016 года были пробурены инженерно-геологические скважины. По результатам исследования в скважине №13 намывные грунты до границы нормативной глубины слоя сезонного промерзания представлены песками средней крупности, средней плотности, маловлажные в талом

состоянии. Далее представлены пески средней крупности, плотности, маловлажные и талые грунты. С глубины 8,4 м представлены мелкие пески, талые, средней плотности, насыщенные водой, редкие включения органических веществ, а в скважине №14 имеются прослойки песка пылеватого, влажные средней крупности и плотности, Начиная с глубины 14,4 м до 20 м на скважине №13 отмечаются единичные включения гравия и прослойки пылеватого песка, в отличие от этой скважины, 14-я с глубины 16,8 м до 20 м включает в себя пески средней крупности с единичными включениями гравия, талые, насыщенные водой (рис.3.2).

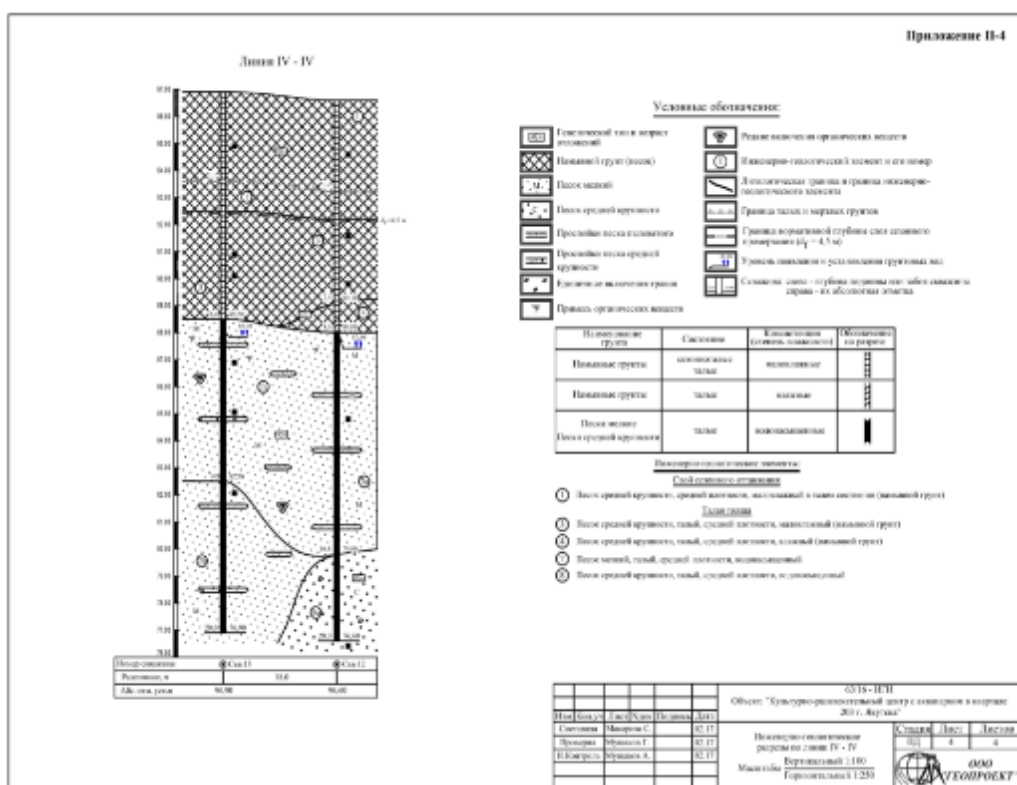


Рис. 3.2 – Инженерно-геологический разрез на территории 203 микрорайона

Сведения о сейсмических свойствах глин, суглинков, супесей, песков в талом состоянии изложены в работе Кригера Н.И. [34]. В таблице 3.1 приведены характеристики распределения скоростей продольных и поперечных волн в песчаных грунтах в мерзлом и оттаивающем состояниях для Восточной Сибири [35].

Таблица 3.1

Вероятностные характеристики распределения скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в песчаных грунтах различного состояния

Состояние грунтов	V_p , км/с			V_s , км/с		
	min	max	средн.	min	max	средн.
Неводонасыщенные (I)	0,26	1,10	0,41	0,12	0,40	0,21
Водонасыщенные(II)	1,45	2,25	1,54	0,22	0,65	0,37
Мерзлые(III)	2,40	4,58	3,41	1,00	2,54	1,77

Если воспользоваться средними значениями скоростей поперечных волн в мерзлых и водонасыщенных разностях из таблицы 1.1, отношение которых V_{sIII}/V_{sII} достигает значений, превышающих 4–5, то согласно известной зависимости между приращением сейсмической интенсивности и сейсмической жесткостью при переходе мерзлых песков в водонасыщенные интенсивность может увеличиваться более чем на 1 балл.

Следует также отметить, что при оттаивании песчано-глинистых грунтов под сооружениями образуются так называемые чаши протаивания. При соизмеримости размеров чаш протаивания с длиной сейсмических волн при землетрясениях возникает явление фокусировки сейсмической энергии, что в свою очередь может привести к усилению сейсмического эффекта при землетрясении.

При изучении сейсмических и геологических свойств грунтов при детальном исследовании на площадках строительства необходимо учитывать обширный опыт изучения сейсмических свойств грунтов в Восточной Сибири, позволивший в соответствии с физическими свойствами грунтов уточнять скоростные характеристики прохождения волн и ускорения перемещения грунтов при сейсмическом воздействии.

4 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

4.1 Обоснование актуальности, цели и задачи исследований

Сегодня столица Республики Саха (Якутия) город Якутск – крупный административный, индустриальный, культурный, финансовый и научный центр с населением 300 тысяч человек. Якутск является крупнейшим населенным пунктом на северо-востоке страны и самым большим городом в мире, построенным на вечной мерзлоте, толщина которой составляет 250-300 метров.

Город связан деловыми, торговыми и производственными отношениями со многими предприятиями России и зарубежными компаниями, широко развиты и функционируют торгово-закупочные предприятия, вещевые и пищевые рынки, туристические фирмы, рестораны, кафе, организации бытового обслуживания населения. Активно возводятся жилые дома, торгово-офисные здания, детские сады, спортивные сооружения, строятся дороги. Успешно реализуются программы жилищного строительства.

За последнее десятилетие г. Якутск обновился и преобразился. Улицы и кварталы заметно изменились, похорошели, но хочется сказать, что строительство в целом по городу ведется бесконтрольно, хаотично и без учета перспективы, так как не выполняется и не соблюдается Генеральный план застройки города. Есть необходимость детально изучить дальнейшую застройку с учетом всех недочетов, на основе 202 и 203 кварталов и проблем градостроительства города Якутска. Так же есть вероятность того, что в будущем отсыпанную часть дамбы будет смывать, ведь недаром говорится «Вода камень точит». В связи с этим, появляется необходимость обязательного изучения сейсмической опасности на 203 микрорайоне.

В апреле 2017 года для строительства Культурно-досугового центра с аквапарком в 203 квартале г. Якутска компанией были проведены геолого-геофизические изыскания. На территории строительства были проведены

геологические маршруты, изучены геологические разрезы скважин, пробуренных при выполнении инженерно-геологических изысканий, использованы данные по трещиноватости юрских и неогеновых континентальных отложений Кангаласского и Табагинского мысов, Кангаласского угольного разреза и Хатын-Юряхского карьера, поскольку именно отложения этого возраста подстилают пойму р. Лена, а, следовательно, и грунты, слагающие с поверхности площадку, на которые будут опираться фундаменты здания. Проведено изучение на местности геоморфологии и элементов техногенного ландшафта на намывной и прилегающей территории, «привязаны» к местности линеаменты, дешифрируемые на космических снимках и геофизических картах в долине р. Лена, а также проведена обработка данных. В результате на предприятии, занимающемся инженерными изысканиями, получили значения уточненного сейсмического балла.

Целью проведения исследований в ВКР является уточнение сейсмической опасности территории площадки с помощью доступных нам специализированных программ, а также методами, рекомендованными в нормативной действующей инструкции, на основании тех же полевых данных.

В соответствии с этим определены следующие задачи:

- Изучить сейсмогенерирующие структуры района работ;
- Составить актуальный каталог событий, уточнить повторяемость и сейсмичность зон ВОЗ;
- Уточнить исходный балл;
- Рассчитать приращения по полевым и расчетным методам;
- Сделать сравнение и заключение о соответствии наших данных и данных, полученных на предприятии.

4.2 Сейсмогеодинамическая регионализация

Территория Северной Евразии неоднородна по сейсмической активности и геодинамическому развитию. Выделяются тектонические структуры различного порядка, объединенные в соответствующие регионы, что является частью методологии ОСР. Средняя площадь сейсмогеодинамических регионов мира составляет около 10^6 - 10^7 км². Регионы характеризуются определенной сейсмичностью и величиной магнитуд, максимальных возможных в их пределах.

В 2013-2016 гг. выполнены работы по разработке комплекта карт ОСР-2016, в рамках которой также проведена актуализация сейсмогеодинамической регионализации Северной Евразии для территории РФ. Район исследований попадает в регион 4.4 (рисунок 4.1.).

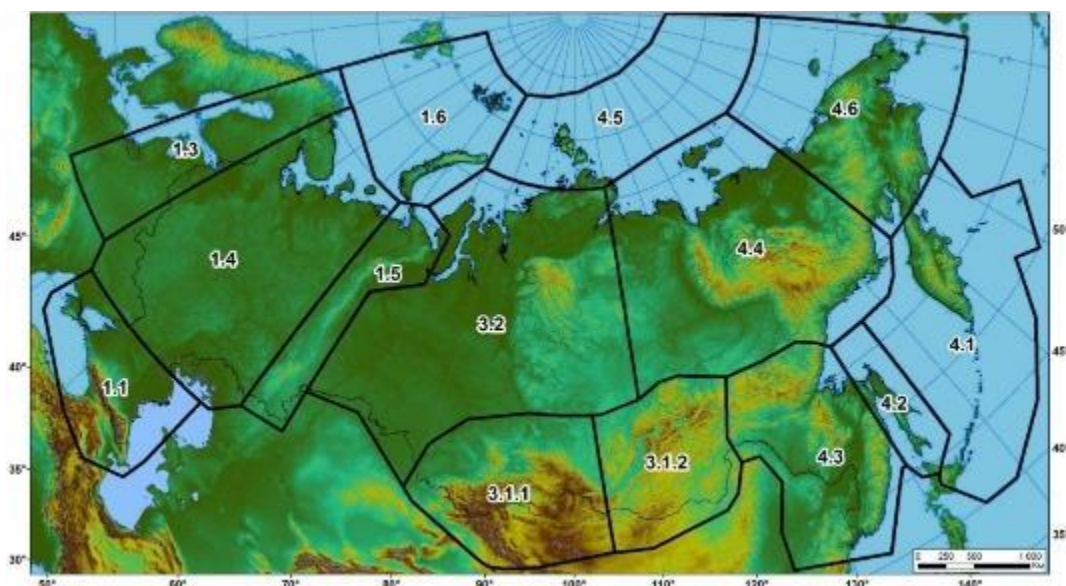


Рис. 4.1 – Сейсмогеодинамическая регионализация Северной Евразии для территории РФ

Рассмотрим сейсмический режим Якутии 4.4, в точности определение сейсмического режима выполнен для района исследований. (Рис.4.2).

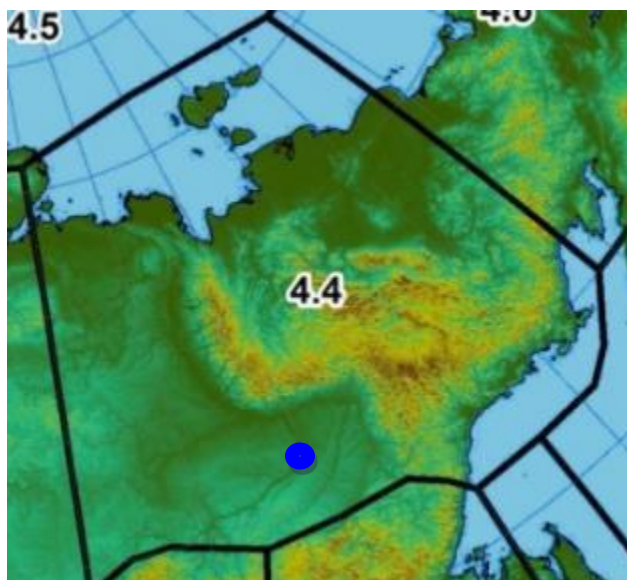


Рис. 4.2 – Расположение района исследований относительно сейсмогеодинамической регионализации Северной Евразии территории РФ

Для уточнения сейсмической опасности по требованиям РБ-019-01 в качестве изучаемой территории принимается участок, включающий 300 км зону вокруг исследуемой площадки. Это обусловлено тем, что землетрясения с эпицентрами на данном участке полностью определяют сейсмическую опасность выше 5 баллов по шкале MSK 64. В таблице 4.1 приведены расстояния, на которых землетрясения разных магнитуд создают сотрясения в 5,5 баллов. Оценки получены по зависимости интенсивность (балл) – магнитуда – расстояние для данного региона с учетом возможного разброса макросейсмических данных [36].

Таблица 4.1

Верхний предел расстояний, на которых землетрясения магнитуды M вызывают сотрясения 5,5 баллов (В.И. Уломов)

Магнитуда MLH	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Расстояние, км	40	70	100	150	200	250	300	350

Используя ограничения, представленные в таблице, можно сделать вывод, что интенсивность сотрясений, а значит, и сейсмическая опасность на

площадке зависит от сейсмичности окружающей территории в радиусе 300 км. Также необходимо учитывать, что попадающие в зону 300 км активные сеймотектонические структуры могут продолжаться и за ее границы. Поэтому для корректного расчета повторяемости землетрясений и сейсмического потока необходимо рассматривать территорию, которая включает в себя данные структуры полностью.

На рисунке 4.3 показана 300 км зона вокруг исследуемой площадки (черно-розовым), сейсмически активные разломные структуры и домены. Далее под районом исследований будет пониматься территория, изображенная на рисунке, включающая в себя полностью разломы и домены.

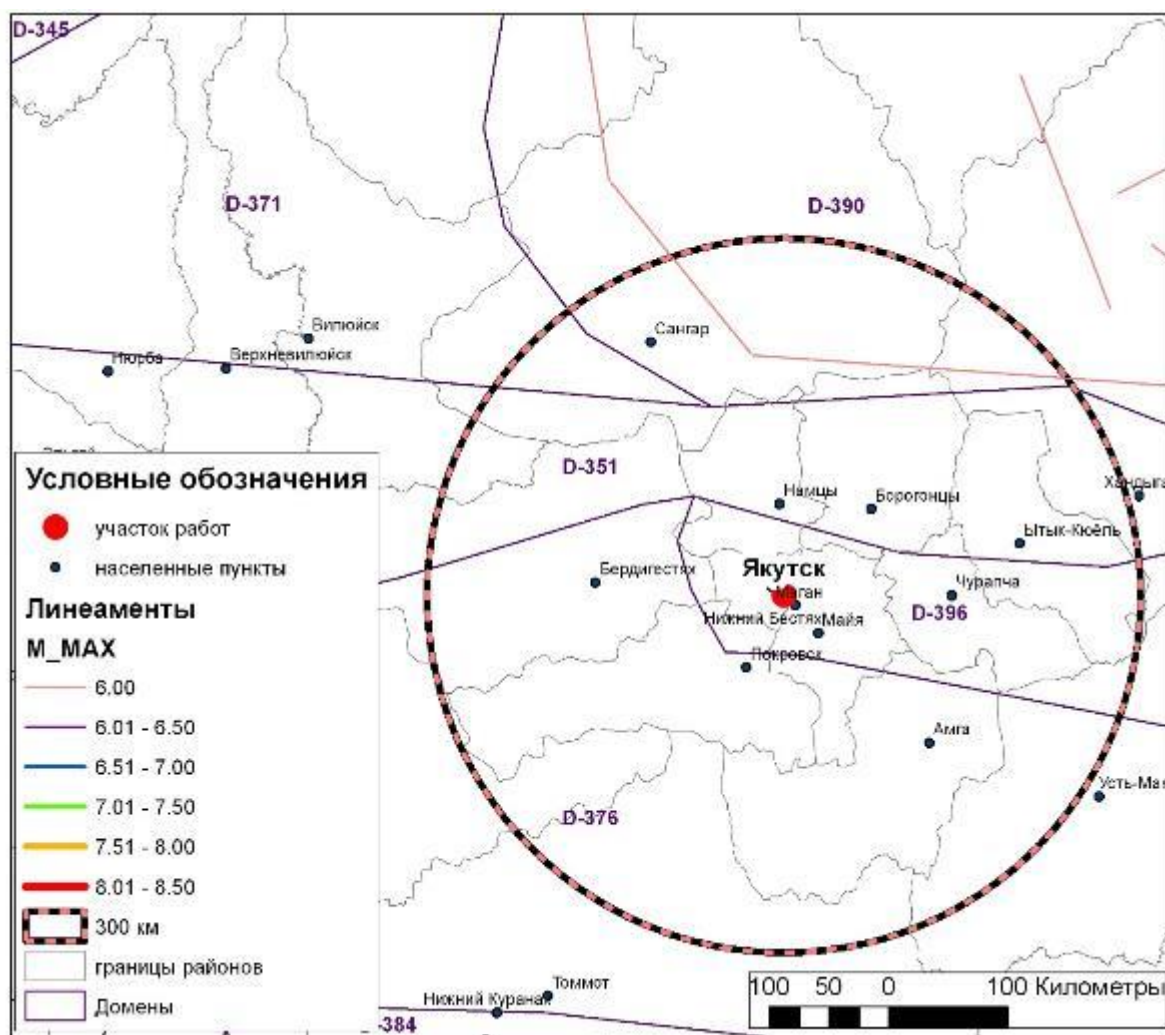


Рис.4.3 – Район исследований

4.2.1 Составление унифицированного каталога землетрясений района исследований

Регистрация сейсмических колебаний инструментальными методами сейсмической станцией г. Якутска, которая начала действовать с 1957 г., в радиусе 100–150 км от Якутска зарегистрировано более 80 сейсмических событий, различной интенсивности.

Запись землетрясений на Северо-Востоке Якутии проводится цифровыми сейсмическими станциями предприятия: Батагай, Мома, Усть-Нера, Артык, Белая Гора, Тикси и Депутатский (рис.4.4). В августе 2013 года открыта станция «Столб» на территории метеостанции «Сокол».



Рис. 4.4 – Система инструментальных сейсмологических наблюдений предприятия в 2013 г

Динамика развития системы инструментальных наблюдений за последние годы имела тенденцию к росту. Так, в 1999 г. действовало 11 сейсмостанций, в 2000 г. – 12, в 2001 г. – 13. В среднем, число пунктов регистрации землетрясений увеличивалось ежегодно на 1 станцию. В настоящее время на территории Якутии действует 24 сейсмические станции.

На рисунке 4.5 представлены эпицентры сейсмических событий, включенные в используемые сейсмические каталоги.

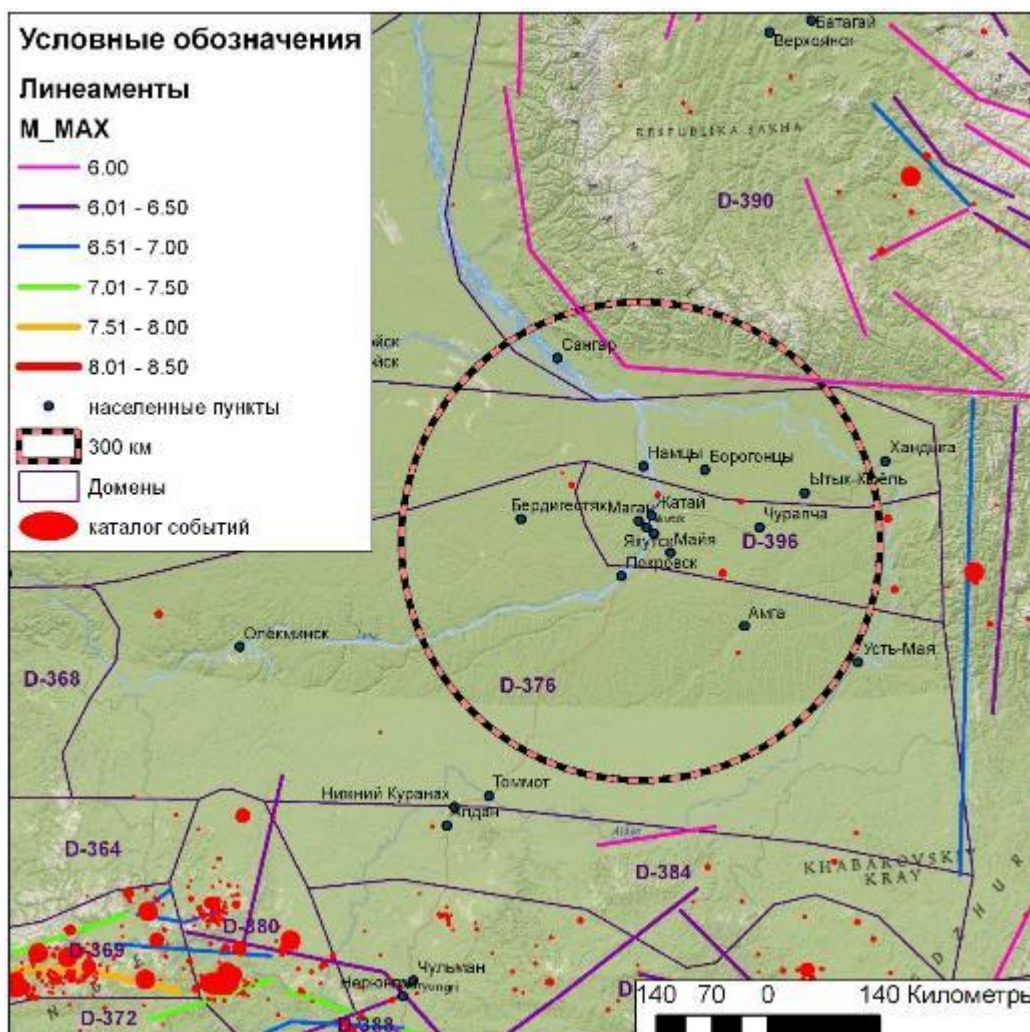


Рис. 4.5 – Эпицентры сейсмических событий

По каталогу событий в юго-западе отмечается большое количество землетрясений, вызванные за счет линеаментов и доменов, а также на северо-востоке имеется небольшое количество землетрясений, вызванная линеаментами, с магнитудами от 6-7 баллов. В зоне 300 км от исследуемого

участка наименьшее количество землетрясений, так как данная территория охватывает малое количество разломов.

4.2.2 Оценка повторяемости землетрясений в районе исследований

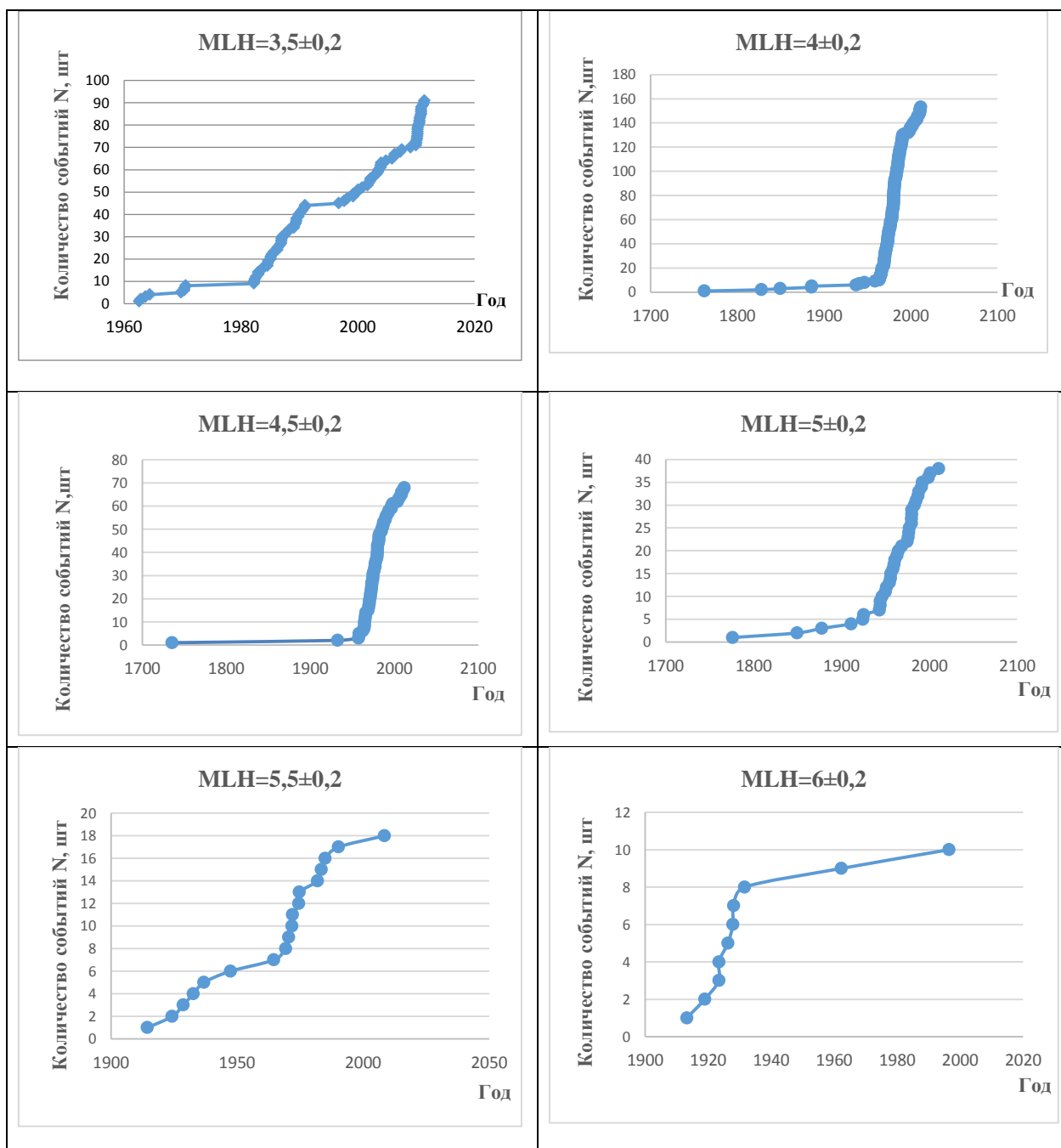
В основу вероятностного анализа сейсмической опасности положен принцип стационарности во времени сейсмического режима. Это означает, что в идеальном случае график накопления землетрясений конкретного интервала магнитуд должен представлять собой прямую линию. Нелинейной линия тренда может быть из-за не представительности каталога или недостаточного периода уверенной регистрации, который необходим для характеристики сейсмического режима в целом, а не локального во времени эффекта.

В силу технологических причин представительность каталогов землетрясений меняется не только от региона к региону, но и, условно, от года к году. Например, в большинстве каталогов на территорию России, для землетрясений малых магнитуд наблюдается искривление графиков накопления в 90-ые годы (а в некоторых регионах и по сей день ситуация не изменилась). Это связано с изменением представительного уровня регистрации в результате сокращения региональных сетей станций, а не с изменением сейсмического режима. Очевидно, подобные интервалы необходимо исключать.

Исходя из этих соображений, на графиках накопления выбирались максимальные по продолжительности интервалы времени, в которых график имеет преимущественно линейный вид, и обеспечивает максимальную скорость накопления (минимальный период повторяемости) землетрясений. При таких критериях мы получаем квазистационарный сейсмический режим территории с обоснованным наименьшим периодом повторяемости землетрясений. Включая в расчет события с большим периодом повторяемости, мы получим более низкую скорость накопления землетрясений, что заведомо понизит вероятностные оценки опасности. Из

этой схемы необходимо исключать группы землетрясений, произошедшие в короткий интервал времени в одной зоне, представляющие собой афтершоки и не характеризующие в целом повторяемость подобных землетрясений в регионе.

На основании каталога землетрясений были построены графики накопления землетрясений каждого интервала магнитуд в зависимости от года (рис. 4.6). Основная часть землетрясений происходит в южной части региона, где действует тектонически активный пояс.



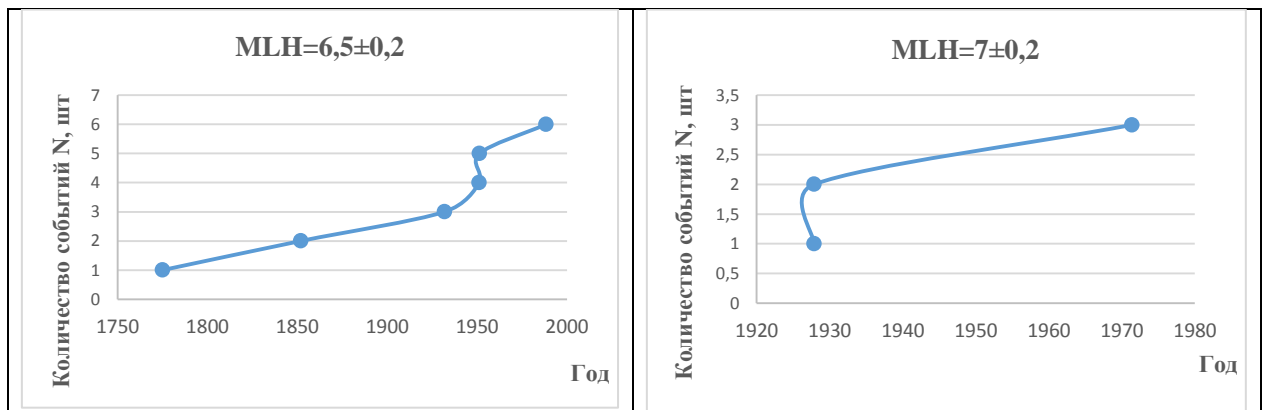


Рис. 4.6 – Графики накопления сейсмических событий для района исследований

На основе каталога землетрясений, входящих в район исследования, построены графики накопления и получена исходная информация для построения графика повторяемости, приведенная в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для построения графика повторяемости района исследований

Mh±0.2	Интервал времени			Количество земл. N	Повторяемость V, земл./год (N-1)/T	Период повторяемости, лет
	Начало	Конец	Период T, лет			
3,5	1982	1991	9	36	3,88	0,257
4	1963	1990	27	121	4,44	0,225
4,5	1962	1982	20	43	2,1	0,476
5	1943	1992	49	29	0,57	1,75
5,5	1924	1990	66	16	0,227	4,4
6	1913	1996	83	10	0,108	9,22
6,5	1774	1988	214	6	0,023	42,8
7	1927	1971	44	2	0,0227	44

Полученный график повторяемости для района исследований приведен на рис 4.7.

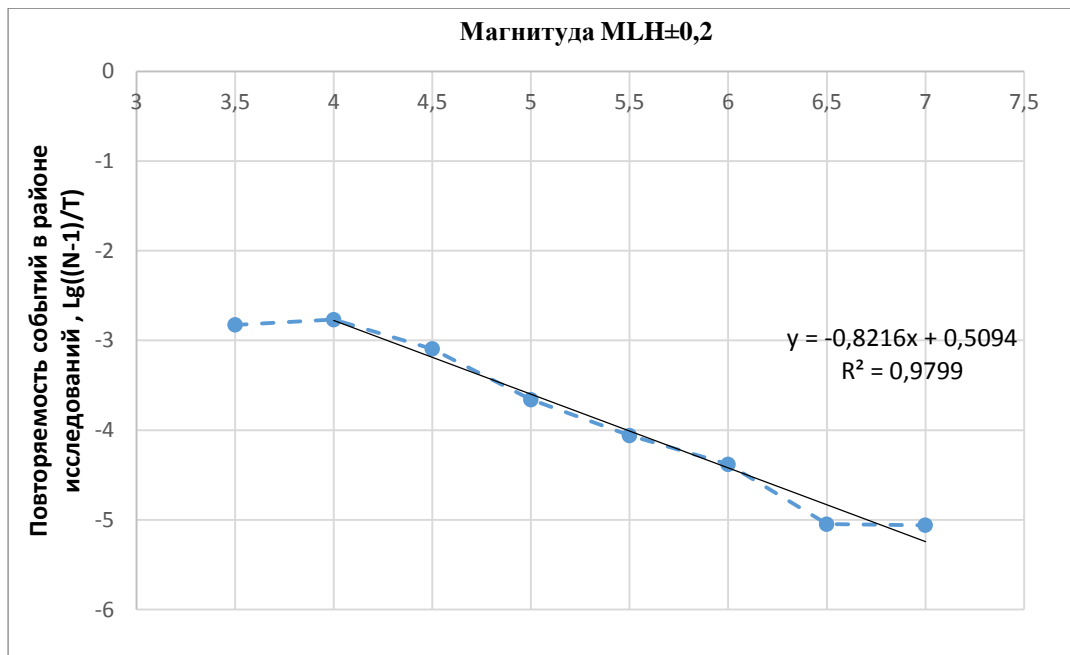


Рис. 4.7 – Среднегодовой график повторяемости землетрясений района исследований

Для проверки корректности построений выполнено сравнение графика повторяемости землетрясений домена D-396, к территории которого принадлежит Якутск, и графика района исследований, нормированных на их площадь. В результате получили повторяемости землетрясений на площади в 1 км^2 .

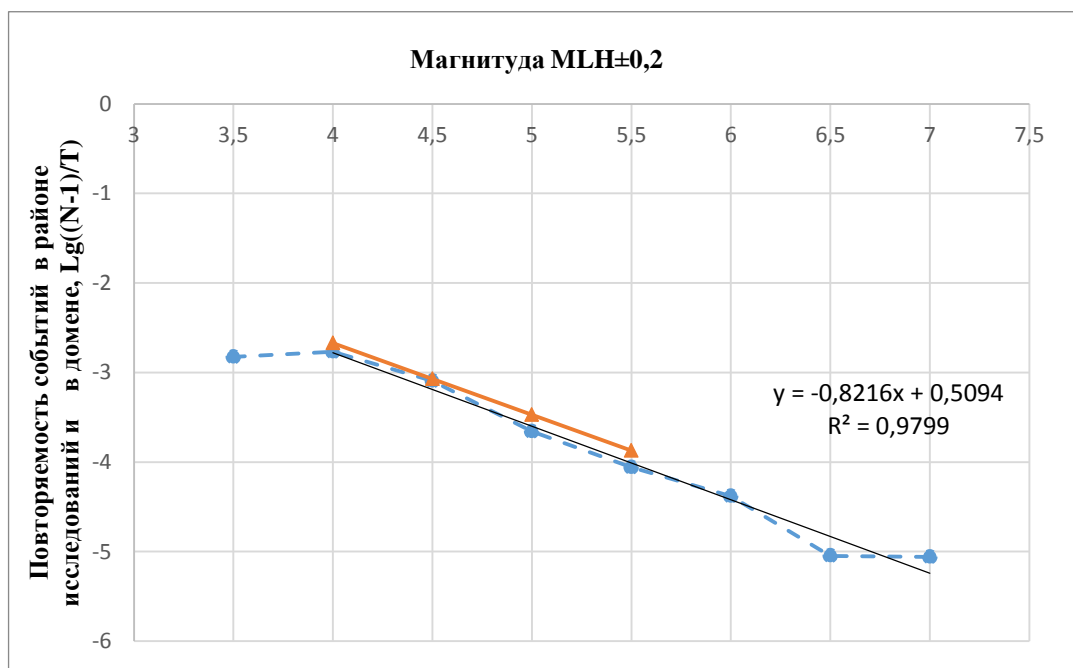


Рис. 4.8 – Сравнение графиков повторяемости землетрясений в домене (красные точки) и в районе исследований (синие точки).

Анализируя графики, можно сделать вывод, что повторяемость землетрясений в изучаемом районе очень близка сейсмичности данного домена, что подтверждает корректность произведенных расчетов повторяемости. Однако, в целом, уточненная сейсмичность района немного ниже, чем домена, что говорит о пониженной сейсмической активности исследуемой площади по сравнению с выделенным при составлении карт ОСР доменом.

С учетом принятого параметров графика повторяемости получены значения максимально возможных магнитуд в пределах 300 км зоны для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет.

Эти оценки являются предварительными и будут использованы для дальнейшей параметризации модели зон ВОЗ. Полученные магнитуды рекомендуется относить к ближайшим к площадке структурам, способным генерировать аналогичные сейсмические события. Наиболее сейсмоактивные структуры расположены в юго-западной части 300-километровой зоны, также есть линеаменты с $M_{\max}=6$ в южной части зоны. Кроме того, относительно близко (около 150-200 км) к площадке зон ВОЗ проходят линеаменты с магнитудным потенциалом 6 и 6,5. Таким образом, вклад в расчетную интенсивность на площадке будут обеспечивать как дальние высокомагнитудные линеаменты, так и зоны ВОЗ меньших M_{\max} , но находящихся ближе к площадке.

4.3 Уточнение исходного сейсмического балла

Уточнение сейсмической опасности площадки выполнялось в виде вероятностного анализа на основе утвержденных карт ОСР-2016 с применением программного комплекса EAST-2014 с линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) моделью по состоянию на 2016 год. Данным методом предусмотрено использование элементов, структурирующих сейсмичность высокой магнитуды (линеаменты), и элементов, описывающих рассеянную

сейсмичность (домены). ЛДФ-модель зон ВОЗ конструируется и параметризуется, далее на земной поверхности по регулярной сетке рассчитывается сейсмический эффект, определяющий вероятность возникновения сейсмических воздействий с заданным периодом повторяемости.

4.3.1 Расчет исходного балла в программе на основе ЛДФ-модели

Основная задача уточнения ЛДФ-модели – выделение зон возникновения очагов землетрясений и параметров их сейсмического режима. Дальнейшие расчеты строятся исходя из полученных данных модели.

Создание модели источников землетрясений основано на применении линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модели зон возникновения очагов землетрясений (зоны ВОЗ) [37] (рисунок 4.9). В ЛДФ-модели рассматриваются четыре масштабных уровня: крупный регион с интегральной характеристикой сейсмического режима и три его основных структурных элемента – линеаменты, домены и потенциальные очаги землетрясений.

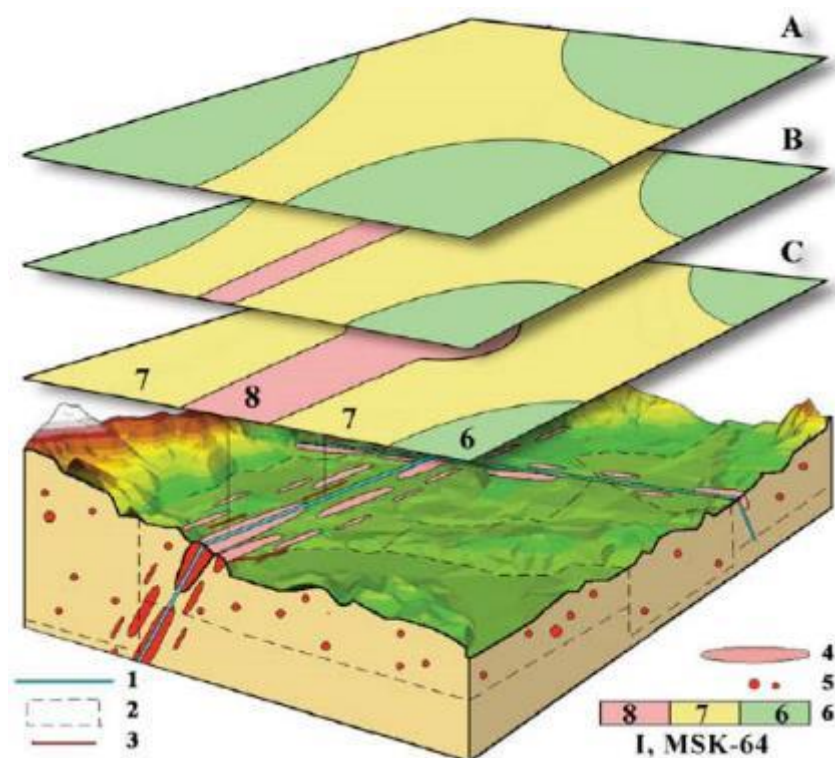


Рис. 4.9 – Объемная ЛДФ-модель зон ВОЗ и расчета сейсмических воздействий с различной их повторяемостью: 1 - следы осевых плоскостей линейментных сейсмогенерирующих структур (СГС); 2 - контуры объемных доменов с рассеянной сейсмичностью; 3 - активные разломы, фрагментарно отражающие простирание сейсмолинеаментов; 4 - очаги крупных землетрясений вдоль осей сейсмолинеаментов; 5 - очаги слабых землетрясений в доменах; 6 - модель сейсмического эффекта (баллы шкалы MSK-64), создаваемого на земной поверхности за различные интервалы времени - 500 (карта А), 1000 (карта В) и 5000 лет (карта С) (по данным В.И. Уломова).

Линеаменты (линии в плане) служат основным каркасом ЛДФ-модели и отображают на земной поверхности в генерализованном виде оси верхних кромок трехмерных и относительно четко выраженных сейсмоактивных структур. Они несут основную часть сейсмического потенциала, так как вдоль них размещаются очаги наиболее крупных землетрясений (в методике ОСР для линеаментов принята магнитуда $M \geq 6$).

Домены (площади в плане) охватывают объемы геологической среды, внутри которых с равной плотностью расположены (рассеяны) очаги землетрясений умеренных и невысоких магнитуд (в методике ОСР принято $M \leq 5.5$).

Потенциальные очаги землетрясений указывают на наиболее опасные места линеаментных структур, где могут возникнуть землетрясения высоких магнитуд, и характеризуются конкретной магнитудой (обычно $M_{\max} \geq 7.0$).

Линеаменты, домены и потенциальные очаги классифицируются по магнитуде M_{\max} с шагом 0.5 единицы магнитуды: $M \leq 8.5 \pm 0.2$, $\leq 8.0 \pm 0.2$, $\leq 7.5 \pm 0.2$, $\leq 7.0 \pm 0.2$, $\leq 6.5 \pm 0.2$, 6.0 ± 0.2 , 5.5 ± 0.2 и т.д.. Знак \leq указывает на то, что каждый из элементов модели с M_{\max} включает в себя и все менее крупные элементы. Например, линеамент с $M_{\max} > 6.0$, включает в себя линеаменты вплоть до $M = 6.0$, а домены с $M_{\max} = 5.5$ включает в себя параметры сейсмичности вплоть до $M = 3.5$.

При работах по уточнению сейсмической опасности граничный уровень магнитуд между линеаментами и доменами может быть понижен. В таблицах 4.3 и 4.4 приведены параметры выделенных линеаментов и доменов.

Таблица 4.3

Параметры линеаментов 300 км зоны

№ лин	M _{max} ±0.2	H _{min}	H _{max}	Длина, км	Сейсм. поток V, событий в год	Начало		Конец	
						lat	lon	lat	lon
809	6	5	15	185,5	0,00083	65,11	126,67	63,85	129,18
825	6	5	15	558	0,0025	63,84	129,22	63,07	140,27

Таблица 4.4

Параметры доменов 300 км зоны

Домен	H _{min}	H _{max}	Сейсмический поток				Площадь, тыс. кв. км.
			M=5,5	M=5	M=4,5	M=4	
D-371	8	13			0.001786	0.004107	217.03
D-376	5	10			0.019569	0.046405	363.65
D-390	2	7	0.2	0.5	1.5	4	1419.21
D-396	2.5	7.5	0.007314	0.018371	0.046147	0.115916	54.36
D-351	6	11				0.005435	551.04

Моделирование сейсмичности и расчет интенсивности сотрясений выполнялся с использованием программного комплекса EAST-2014, который является улучшенной версией программы EAST-2003, разработанной в 2003 году на основе методики ОСР-97 под руководством В.И. Уломова. В основу EAST положен пакет программ PRB, разработанный А.А. Гусевым, В.М. Павловым и Л.С. Шумилиной. Расчет интенсивности проводился для периодов повторяемости 500, 1000, 10000 лет. Время моделирования каталога T=500 000 лет.

Для проведения площадного расчета была построена сетка с шагом 2x2км (рисунок 4.10). В основу расчета повторяемости сейсмических воздействий различной интенсивности на изучаемой территории, и ее сейсмического районирования, положена виртуальная сейсмичность, полученная путем «разыгрывания» случайным образом гипотетических очагов землетрясений из продленного во времени синтетического каталога и в соответствии с созданной моделью зон ВОЗ.

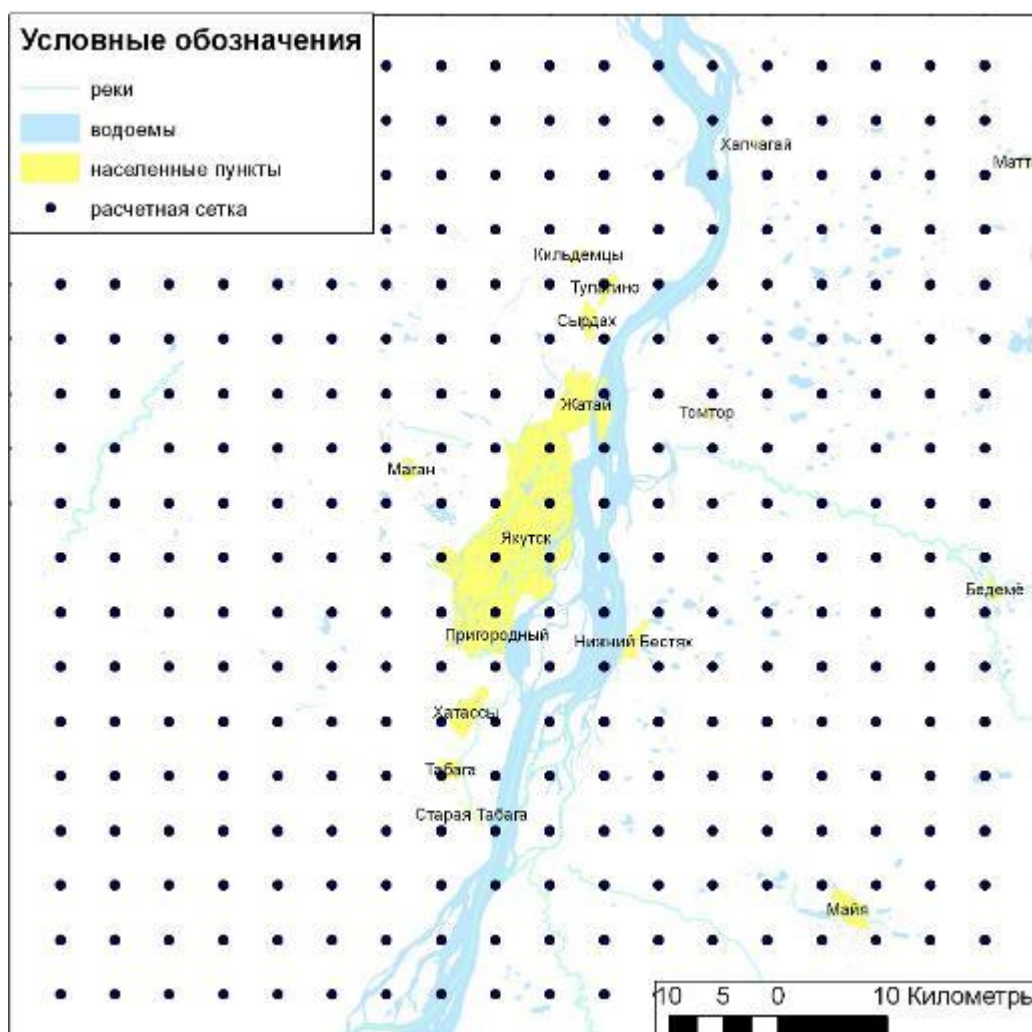


Рис. 4.10 – Расчетная сетка с шагом 2x2 км

Построение изолиний карт УСО проводилось по сетке 2 x 2 км. Узлам сетки присваивались расчетные параметры сейсмических воздействий соответствующих им участков зонирования. Полученная сетка сглаживалась фильтром Винера.

На основе сглаженной сетки проводилась интерполяция регулярным сплайном и получение поверхности. Следующий шаг заключается в переклассификации значений раstra. Интервалам значения раstra присваивается среднее значение. Шаг интервала принимался равный целому балу, и 0.1 балла. На рисунке 4.11 показано окно параметров для процедуры переклассификации.

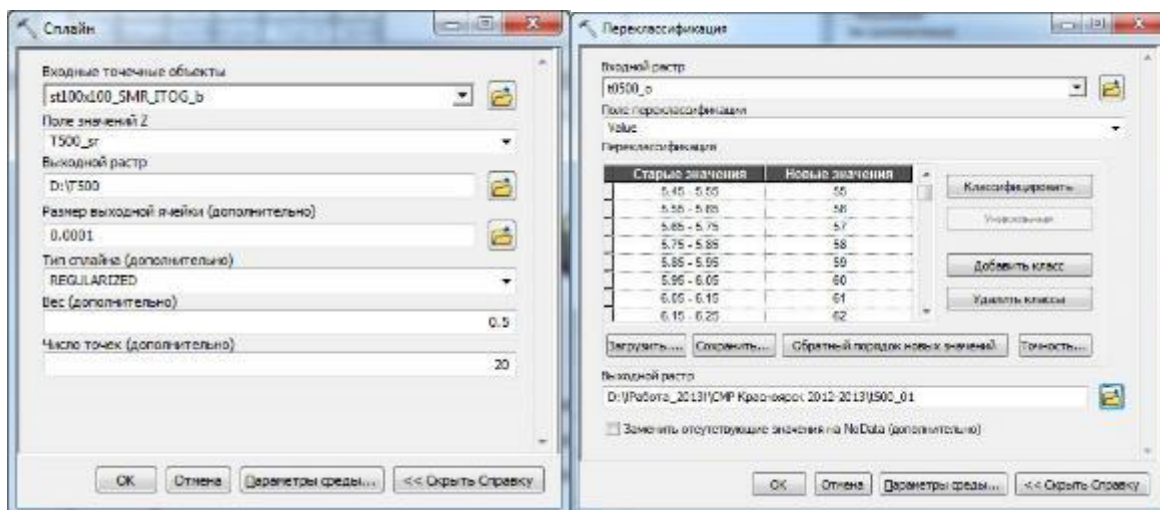


Рис. 4.11 – Параметры используемого слайда и переклассификация значений растра

После получения параметризованного растра выполнялась его конвертация в ГИС-полигоны. Группы пикселей растра с одинаковыми значениями интенсивности колебаний объединялись в один полигон с присвоением ему данного значения.

В результате расчета по изложенной методике были получены карты для территории площадки в г. Якутске (Рис 4.12). Расчетная интенсивность сотрясений для площадки составляет $I_{500} = 6$ (6,3) баллов, $I_{1000} = 7$ (6,8) баллов, $I_{10000} = 8$ (7,8) баллов.

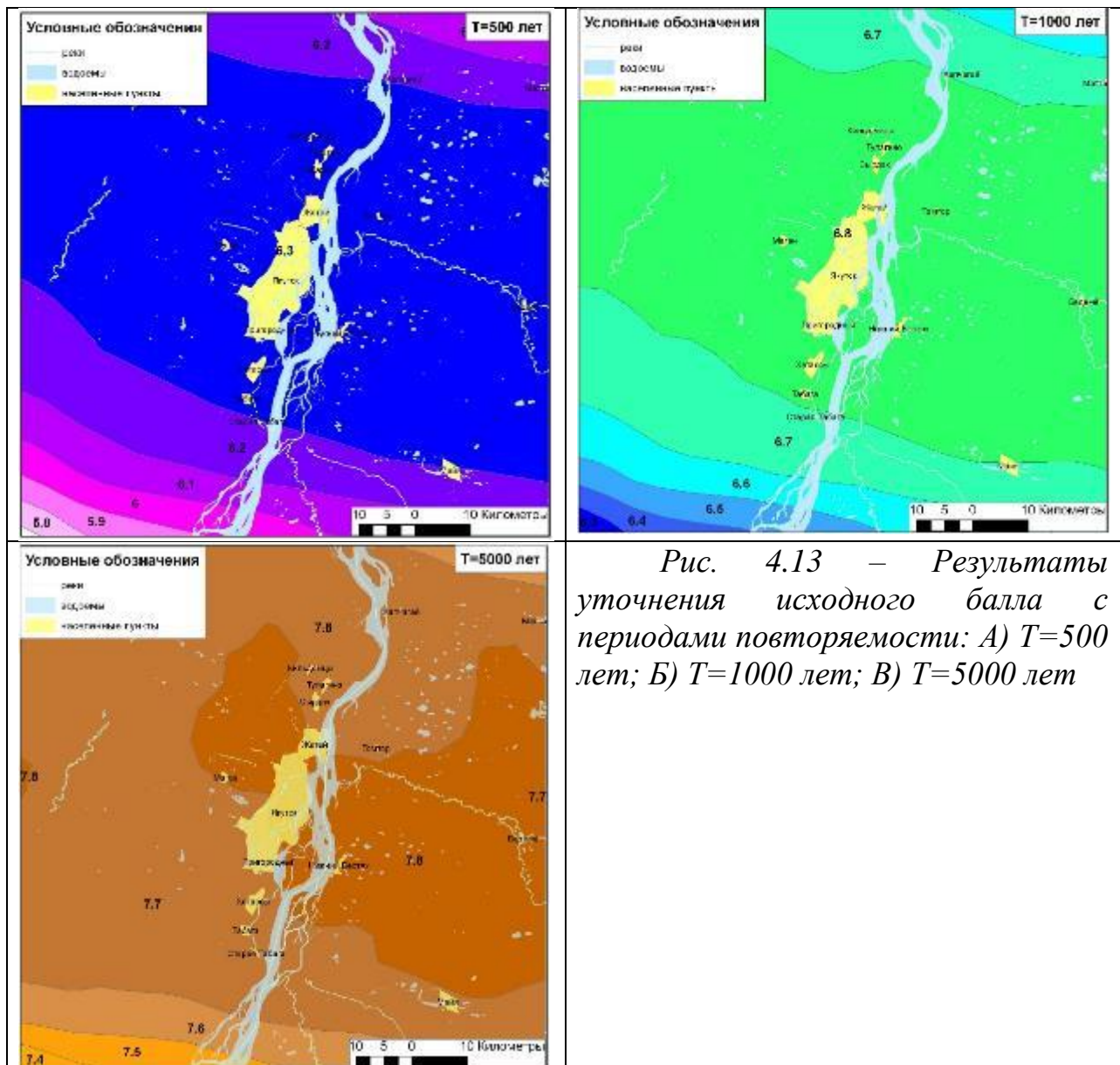


Рис. 4.13 – Результаты уточнения исходного балла с периодами повторяемости: А) T=500 лет; Б) T=1000 лет; В) T=5000 лет

4.4 Обзор методики полевых работ по СМР

Работы по уточнению сейсмичности площадок строительства выполняются организацией, составившей карту сейсмического микрорайонирования данной территории, или соответствующей базовой организацией.

Для площадок строительства конкретных зданий (сооружений), расположенных в пределах территорий, имеющих утвержденные карты сейсмического микрорайонирования, следует проводить дополнительные работы с целью уточнения сейсмичности площадки в случае, если в процессе производства инженерных изысканий выявлены различия инженерно-

геологических условий по сравнению с картой, способные повлиять на сейсмичность площадки (локальные неоднородности, длительные воздействия техногенных факторов, размещение зданий и сооружений на границе участков с различной сейсмичностью и др.).

4.4.1. Методы регистрации землетрясений и взрывов

Для регистрации землетрясений следует применять стандартную инженерно-сейсмометрическую аппаратуру с осциллографической или магнитной записью, предназначенную для работы в непрерывном или ждущем режиме. Основным требованием, предъявляемым к аппаратуре, является идентичность каналов регистрации и достаточная их чувствительность. В зависимости от характеристик применяемой аппаратуры регистрируются амплитуды смещений, скоростей или ускорений грунта. Для установления количественных характеристик колебаний от землетрясений больших и малых энергий рекомендуется параллельно с непрерывной регистрацией слабых землетрясений проводить регистрацию сильных землетрясений в ждущем режиме.

Пункты специально организованных взрывов должны располагаться в направлении, близком к направлению распространения сейсмических волн из наиболее опасной для исследуемой территории очаговой зоны.

В случае проведения взрывов и их регистрации с помощью сигналов точного времени сигналы подаются на дополнительный гальванометр каждого из осциллографов в пунктах регистрации. Одновременно сигналы точного времени и момент взрыва регистрируются также и на пункте взрыва, что позволяет определять времена пробега различных волн.

4.4.2. Метод регистрации микросейсм

Метод регистрации микросейсм следует применять в качестве вспомогательного в комплексе с другими инструментальными методами для оценки резонансных характеристик грунтов. Для выбора эффективной методики наблюдений на первом этапе исследований необходимо проведение опытно-методических работ по изучению амплитудно-частотных

характеристик местных источников микросейсм и их спектрально-временной изменчивости. Поэтому в нескольких пунктах с известным инженерно-геологическим строением следует выполнить синхронные круглосуточные наблюдения. Круглосуточные наблюдения необходимо повторять в различные дни недели и по возможности в различные сезоны года. Регистрируются три компоненты движения грунта - две горизонтальные и вертикальная. Сейсмометры следует устанавливать на твердый грунт и тщательно изолировать от ветровых помех. В радиусе 150 м от пункта записи не должно быть источников помех. Для исследования временных вариаций уровня микросейсм следует применять двухфакторный анализ. При наличии на изучаемой территории единого локализованного источника микросейсм методика наблюдений должна предусматривать синхронную запись колебаний на эталонном и исследуемом пункте.

В качестве локализованного источника микросейсм рекомендуется использовать железнодорожный транспорт или стационарные промышленные установки. Для локализации неизвестных источников микросейсм применяется спектрально-поляризационный анализ трехкомпонентных записей. При использовании в качестве источника микросейсм железнодорожного транспорта предварительно должны быть изучены законы затухания колебаний с расстоянием и амплитудно-частотные характеристики, возбуждаемые этим источником.

По результатам, полученным на первом этапе исследований, определяются тип и характеристики регистрирующей аппаратуры, время регистрации и оптимальное расстояние между источником и пунктами регистрации. Для регистрации микросейсм следует использовать стандартную инженерно-сейсмологическую аппаратуру с осциллографической записью (сейсмометры ВЭГИК, СМ-2, С-5-С, УСФ с гальванометрами ГБ-IV с собственной частотой 10 Гц, установленными в осциллографы Н-700, Н-041, Н-044) а также аппаратуру с аналоговой магнитной записью типа «Регион», АСС-6 «Черепаша», «Земля» и частотно-

избирательные станции. Комплекты аппаратуры, предназначенные для записи микросейсм, должны быть тщательно идентифицированы, обладать большим увеличением (не менее 10000) и иметь амплитудно-частотные характеристики, позволяющие регистрировать без искажений колебания в диапазоне периодов от 0,1 до 1 с. [26]

4.4.3 Метод сейсмических жесткостей

Метод сейсмических жесткостей следует применять в комплексе с другими инструментальными методами для количественной оценки относительных изменений (приращений) сейсмической интенсивности на участках с различными инженерно-геологическими условиями.

Оценку приращений балльности по методу сейсмических жесткостей следует проводить на основе измерения скоростей распространения сейсмических волн и средних значений плотности в верхней толще изучаемого и эталонного грунта. Мощность расчетной толщи принимается равной 10 м, считая от планировочной отметки, либо другой обоснованной, но не более 20 м.

Скорости распространения сейсмических волн определяются с помощью инструментальных наблюдений сейсморазведочного типа на дневной поверхности или во внутренних точках среды по стандартной методике. Значения плотностей, входящие в расчет сейсмических жесткостей, определяются по лабораторным данным или по результатам радиоизотопных измерений.

Количество точек сейсморазведочных наблюдений (стоянок на профиле), сейсмозондирований, пунктов измерений скорости в горных выработках) на 1 кв. км назначается в зависимости от масштаба карты сейсмического микрорайонирования и категории сложности инженерно-геологических условий.

При назначении объемов сейсморазведочных наблюдений следует учитывать необходимость получения характеристик грунтов для каждого выделенного по данным инженерно-геологических и геофизических работ

участков с различным геоморфологическим и геологическим строением, литологическим составом, состоянием и физико-механическими характеристиками грунтов, тектоническими и гидрогеологическими условиями.

Сейсморазведочные наблюдения на каждом из выделенных участков должны обеспечивать оценку изменчивости сейсмических жесткостей в их пределах (с учетом материалов сейсморазведки, выполненной при инженерно-геологической съемке).

Комплекс инструментальных наблюдений, применяемый для уточнения сейсмичности, помимо наземных методов инженерной сейсмологии и сейсморазведки, включает скважинные и комбинированные методы, позволяющие изучать сейсмические характеристики грунтов оснований во внутренних точках среды (регистрация землетрясений и взрывов на различных глубинах, акустическое просвечивание, вертикальное сейсмическое профилирование и др.).

Количество пунктов наблюдений при работах по уточнению сейсмичности в зависимости от сложности строения разреза, размеров и назначения объекта строительства должно быть не менее трех для каждого основного здания или сооружения [26].

4.5 Определение приращения различными методами

4.5.1 Расчет приращения балльности методом сейсмических жесткостей

Оценка приращений сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей выполняется на основе измерения скоростей распространения сейсмических волн и значений плотностей в верхней (10 метровой) толще изучаемого и эталонного грунта с учетом влияния обводненности разреза.

Расчеты выполняются по формуле:

$$J=J_0 +\Delta J_c$$

где J – сейсмическая интенсивность в баллах с учетом местных условий,

J_0 – исходная сейсмическая интенсивность в баллах в привязке к средним грунтовым условиям (II-категория по сейсмическим свойствам) по данным УСО;

ΔJ_c – приращение сейсмической интенсивности за счет различия акустических жесткостей грунтов на изучаемом и эталонном участке:

$$\Delta J_c = 1,67 \lg (V(p,s) p_{\text{э}} / V(p,s) i p_i)$$

$V(p,s)$ и $V(p,s)I$ – средневзвешенные значения скоростей распространения продольных и поперечных волн для расчетной толщи на изучаемом и эталонном участке;

$p_{\text{э}}$ и p_i – средневзвешенные значения плотностей на эталонном и изучаемом участке.

В качестве эталонных параметров грунта II категории принята акустическая жесткость $655 \text{ с} \times \text{г}/\text{см}^3$. [27 Приложение Г]

Пластовые скорости на участке определялись по справочным данным [38], исходя из литологической колонки скважины, так как компания не предоставила ни информацию о скоростях на участке, ни полевые данные, полученные методом малоглубинной сейсморазведки для определения скоростей.

Указанным способом по формуле приращения сейсмической интенсивности за счет различия акустических жесткостей грунтов были проанализированы данные по 13 инженерно-геологическим скважинам в контуре здания «Культурно-досугового центра в 203 микрорайоне г. Якутска». В качестве примера показаны данные по скважине №1. (Табл.4.5).

Таблица 4.5

Пример расчета средневзвешанной сейсмической жесткости в точке измерения по данным скважины

№ скв.	№ слоя	Глубина, м	Мощность, м	Тип грунта	Vs, м/с	Плотность, кг/м ³	Средневзвешанная сейсмическая жесткость
1	1	0,4	0,4	Песок средней крупности с включениями гравия и гальки до 10%, твердо-мерзлый	0,11	1600	520,5148
	2	2,8	2,4	Песок средней крупности с включениями гравия и гальки до 10%, сыпуче-мерзлый	0,14	1650	
	3	7,5	4,7	Песок средней крупности с включениями гравия и гальки до 10%, талый	0,37	1600	
	4	8,5	1	Супесь с примесью органических веществ, талый	0,36	1600	
	5	10	1,5	Мелкий песок с единичными включениями органических веществ, грунт талый, водонасыщенный.	0,5	1600	

По приведенному алгоритму были обработаны все 13 скважин. Результаты приращения сейсмической интенсивности в 10-ти метровом слое на объекте исследования и итоговые значения интенсивности сотрясений приведены в таблице 4.6.

Результаты приращения балльности методом сейсмических жесткостей

№ скв	$\Delta J_{с.ж}$	J_B	$\Delta J_{с.ж\ ср}$	J_A	J_B	J_c
1	0,17	6,97	0,154	6,45	6,954	7,954
2	0,23	7,03				
3	0,06	6,86				
4	0,16	6,96				
5	0,02	6,82				
6	0,1	6,91				
7	0,13	6,93				
8	0,18	6,98				
9	0,26	7,06				
10	0,18	6,98				
11	0,16	6,96				
12	0,2	7				
13	0,19	6,99				

4.5.2 Расчет приращения балльности методом регистрации микросейсм

В данной работе сделали перерасчет методом Накамуры [39]. Частотный анализ микросейсм по методу Накамуры позволяет оценить частотно-зависимый коэффициент усиления амплитуд горизонтальных колебаний в слоистой грунтовой толще с помощью расчета и анализа межкомпонентного спектрального отношения:

$$HVSR = \frac{\sqrt{\frac{(H1)^2 + (H2)^2}{2}}}{V}$$

где $H1$ и $H2$ – сглаженные амплитудные спектры горизонтальных (С-Ю и З-В) компонент, а V – сглаженный спектр вертикальной компоненты. На рисунке

приведена амплитудно-частотная характеристика грунтов в 1 пункте наблюдений.

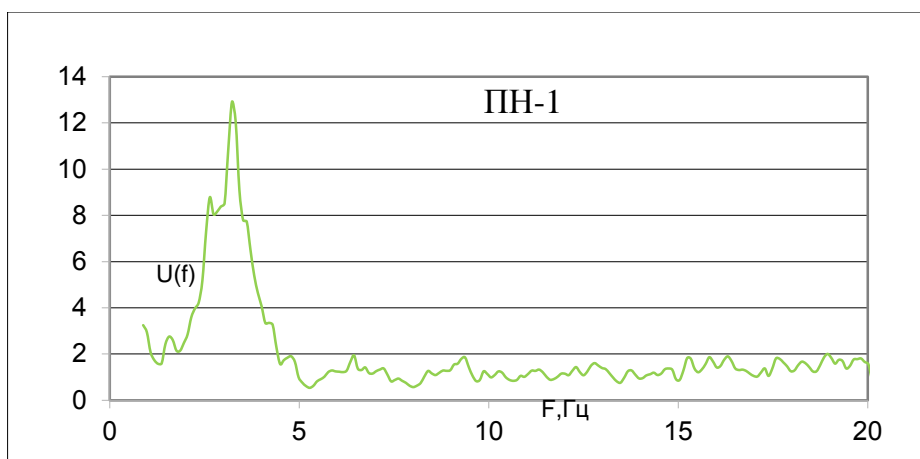


Рис. 4.16 – Амплитудно-частотные характеристики грунтов в пункте наблюдения 1 методом Накамуры

В качестве сравнения на рисунке 4.17 показана амплитудно-частотная характеристика грунтов в 1 пункте наблюдений, полученный на предприятии.

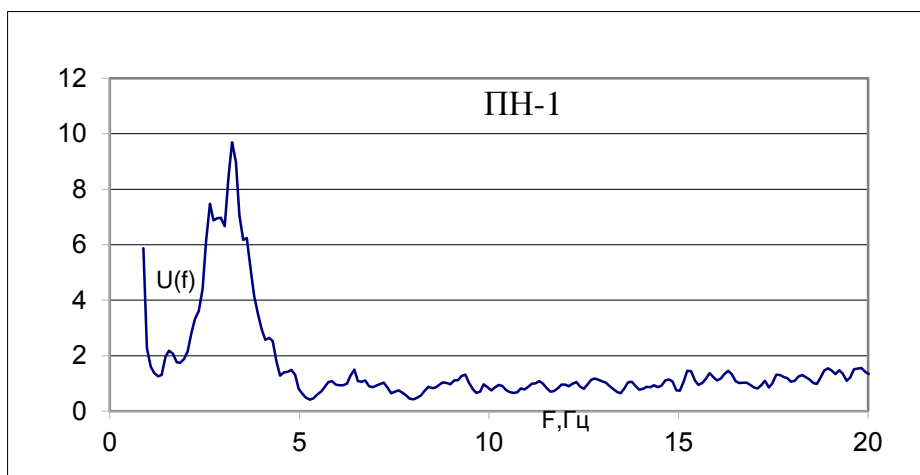


Рис. 4.17 – Амплитудно-частотные характеристики грунтов в пункте наблюдения 1.

Амплитудно-частотные характеристики (рис.4.16 и 4.17) по двум разным методам практически не отличаются.

По спектрам Н/V-отношений, достаточно устойчивые резонансные характеристики наблюдаются только в высокочастотной области спектра

колебаний. В средне- и низкочастотной областях спектра резонансное усиление проявляется по-разному в разных пунктах. Сводка данных о проявлениях резонансных свойств толщи представлена в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Резонансы грунтовой толщи в пунктах по наблюдениям микросейсм

Номер пункта	Диапазон частот 0,5-2 Гц		Диапазон частот 2-4 Гц		Диапазон частот 4-10 Гц	
	Частота	Усиление	Частота	Усиление	Частота	Усиление
1	0,87	3,25	3,23	12,14	6,54	1,36
2	0,97	4,06	3,71	7,43	4,3	6,28
3	1,07	1,3	3,02	2,85	4,78	4,83
4	0,97	6,68	2,83	9,65	4,68	2,36
5	1,37	3,2	3,8	10,75	4,29	8
6	1,07	2,97	3,22	7,02	5,27	10,25
7	0,87	6,27	3,41	10,33	4,49	10,36

Расчет приращений балльности dJ производился по формуле:

$$dJ(f) = 1,6 \lg \{HVS Ri(f)/HVS R0(f)\},$$

где f – частота в Гц,

$HVS Ri(f)$ – величина спектрального H/V-отношения (коэффициента усиления колебаний) в исследуемом i -ом пункте,

$HVS R0(f)$ – величина спектрального H/V-отношения в эталонном пункте.

Для всех семи пунктов наблюдений в качестве эталонного пункта выбрана пункт наблюдений №2.

Величины сейсмической интенсивности I при землетрясениях уровня ПЗ усредненных в стандартных инженерно-сейсмологических интервалах частот (0,5-2 Гц, 2-4 Гц, 4-10 Гц), определенные с учетом данных кратковременных сейсмологических наблюдений представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10

Величины сейсмической интенсивности I при землетрясениях уровня ПЗ усредненных в стандартных инженерно-сейсмологических интервалах частот (0,5-2 Гц, 2-4 Гц, 4-10 Гц)

Номер пункта	dJ, балл			Jcp123	Ja T=500 лет	Jв T=1000 лет	Jс T=5000 лет
	0,5-2 Гц	2-4 Гц	4-10 Гц				
1	-0,0756	-0,096	0,291	0,12	6,42	6,92	7,92
2	0	0	0				
3	0,0681	-0,142	0,0735				
4	0	-0,188	0,0588				
5	0,239	0,0166	-0,0016				
6	0,068	-0,098	0,1413				
7	-0,075	-0,058	0,03004				

4.5.3 Расчетный метод

Расчетные методы следует применять для решения задач сейсмического микрорайонирования, связанных с прогнозом поведения грунтов при сильных сейсмических воздействиях.

С этой целью производятся расчеты спектральных характеристик и синтетических акселерограмм для различных моделей изучаемой среды. Теоретические расчеты спектральных характеристик среды следует выполнять с использованием ЭВМ на основе подбора реальных или синтетических акселерограмм и параметров разреза, определяемых по результатам инженерно-геологических и геофизических исследований.

Подбор расчетных акселерограмм из реальных записей сильных землетрясений проводится по значениям магнитуды, эпицентрального или гипоцентрального расстояния, а также по значениям максимальных ускорений, скоростей колебаний или смещений, соответствующих коренному основанию. Синтетические акселерограммы подбираются только по значению максимальных ускорений, скоростей или смещений.

В МКЭ исследуемый разрез в зависимости от геометрии слоев разбивается на конечное число элементов, характеризующихся плотностью, модулем упругости и коэффициентом Пуассона. Необходимо также задавать затухание всей расчетной модели в долях от критического. Выходными данными в МТС являются частотные характеристики рыхлой толщи по горизонтальной и вертикальной компонентам колебаний, пересчитанная с полупространства на дневную поверхность реальная или синтетическая осциллограмма по одной или двум компонентам, графики коэффициента динамичности и спектры реакций. Выходными данными в МКЭ являются расчетные осциллограммы по 10 любым заданным точкам разреза, графики коэффициента динамичности и спектры реакций по тем же точкам. Определяется также преобладающий резонансный период колебаний расчетного разреза в целом. Расчетные акселерограммы следует использовать для оценки сейсмических характеристик инженерно-геологических участков.

Расчет синтетических акселерограмм проводился в пакете DeepSoil v6.1, который предназначен для выполнения одномерного анализа отклика грунта и с ее помощью возможно осуществление:

- а) одномерного нелинейного анализа во временной области с созданием порового давления и без него;
- б) одномерного линейного эквивалентного анализа в частотной области, включая конволюцию и деконволюцию.

Ход работы:

Создали первый слой и выбрали метрическую единицу измерения. Добавляем слои в каждой скважине, вводим значения мощностей, плотностей, скоростей. В следующем шаге автоматически разбиваются слои скважины по мощностям, таким образом была построена модель 10-метрового разреза с заданными плотностями и значениями скорости поперечных волн. На рис. 4.18 представлены выходные данные для послойной модели вместе с колонкой.

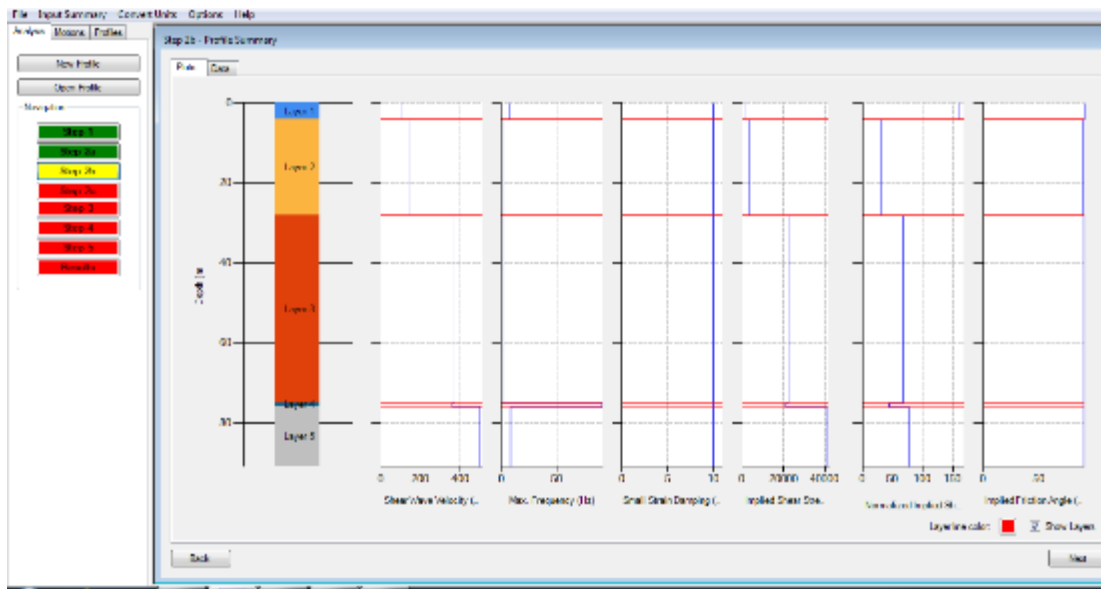


Рис. 4.18 – Слоистая 10-метровая модель грунта для расчета динамических характеристик

Для данной модели грунта выбираем библиотечное колебание Northridge2.txt, так как в исследуемой территории мало линейментов и доменов.

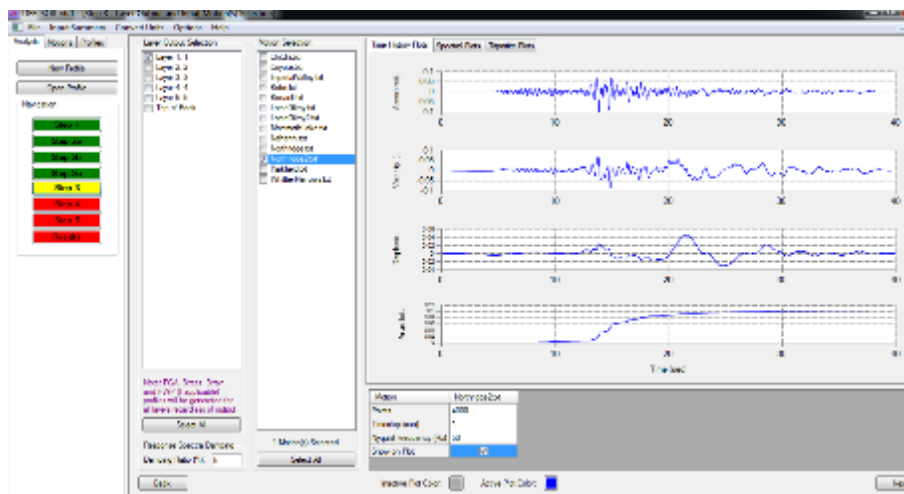


Рис. 4.19 – Моделирование отклика колебания Northridge2.txt

Мы посчитали пиковые грунтовые ускорения (PGA) в 13-ти скважинах до глубины 10 м. Чтобы сравнить как зависит PGA от глубины задания разреза, для первой скважины внесли данные по грунтам до 10, 20 и 30 метров. Взяли значения PGA на нуле (на поверхности), где для глубины 10 м значение пикового-грунтового ускорения равен 0,24, а для глубины 20 м равен 0,05 м и на 30 м составил 0,03. Судя по результатам, при глубине

скального основания 30 метров самое наименьшее значение ускорения. Отсюда следует, что чем глубже задана жесткая граница скального фундамента, тем большее расстояние от него до поверхности, сложенное рыхлыми грунтами, которые хорошо поглощают колебания, и сигнал сильно уменьшается по амплитуде. При маленьких глубинах залегания основания рыхлые грунты не успевают полностью поглотить колебания. Поэтому для дальнейших расчетов был взят худший случай, глубина рыхлых отложений 10 метров. В таблице 4.11 показаны результаты пиковых грунтовых ускорений.

Таблица 4.11

Значения пиковых грунтовых ускорений

Скважина	Литологический состав	PGA, доли g
1	1. Песок мерзлый со включениями гравия до 2.8м. 2. Песок талый с гравием до 7,5м. 3. Супесь талый до 8,5 м. 4. Песок со включениями органических веществ талый.	0.239749
2	1. Песок мерзлый с тонкими прослойками супеси. 2. Талый песок с единичными включениями органических веществ.	0.193358
3	1. Песок сыпучемерзлый до 3.2 м. 2. Талый песок. 3. Талый песок с прослойками супеси и единичными включениями гравия.	0.21286
4	1. Сыпучемерзлый песок с редкими включениями гравия. 2. Талый песок со включениями органических веществ.	0.228955
5	1. Сыпучемерзлый песок с галькой и гравием до 10%. 2. Сыпуче-талый песок. 3. Талый песок с мелкой галькой.	0.230946
6	1. Сыпучемерзлый песок с галькой и гравием до 10%. 2. Талый песок с галькой и гравием до 10%. 3. Мелкий песок, водонасыщенный.	0.251541
7	1. Песок с органическими веществами – сыпучемерзлый. 2. Мелкий песок с орг. в-ми - водонасыщенный.	0.237398
8	1. Песок с гравием сыпучемерзлый. 2. Талый песок с гравием.	0.211367
9	1. Песок с гравием сыпучемерзлый. 2. Песок с гравием талый.	0.18359
10	1. Песок с гравием сыпучемерзлый. 2. Суглинок талый с примесью орг.в-в.	0.217044
11	1. Сыпучемерзлый песок с гравием. 2. Талый песок с органическими в-ми.	0.223079
12	1. Песок сыпучемерзлый с гравием.	0.203644

	2. Песок талый с гравием. 3. Мелкий талый песок с органическими в-ми.	
13	1. Песок сыпучемерзлый с гравием, ниже талый.	0.208934

По результатам таблицы видно, что самое наименьшее значение ускорения во второй скважине. И так, $PGA=0.193g$. А максимальное PGA на поверхности из таблицы 4.11 соответствует $0.251g$. Наименьшее значение пикового грунтового ускорения может быть связано с литологическим составом, так как рыхлые грунты хорошо поглощают колебания.

Построение карты выполнялся с использованием программы Golden Software Surfer 8.0, который предназначен для математической обработки и визуализации в виде карт.

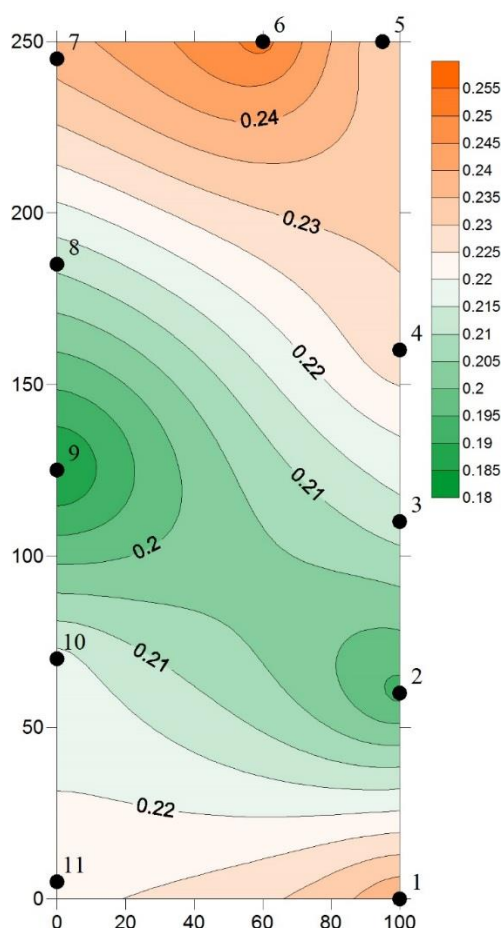


Рис. 4.20 – Карта пиковых грунтовых ускорений по расчетному методу

По карте PGA можно сделать вывод, что наиболее опасный участок отнесен к 5,6 и 7 скважинам. Контур здания будущего аквапарка не охватывает эти скважины, он расположен средней и нижних частях карты и пиковое грунтовое ускорение в среднем равен 0,21g.

4.6 Сравнение результатов

Метод сейсмических жесткостей

Приращения сейсмической интенсивности на предприятии рассчитали в пунктах скважинного опробования и в точках на сейсмогеологических профилях по формуле:

$$\Delta I = \Delta I_{\text{с.ж.}} + \Delta I_{\text{угв.}} + \Delta I_{\text{рез.}},$$

$$\text{где } \Delta I_{\text{с.ж.}} = 1.67 \lg (\rho_0 V_0 / \rho_i V_i);$$

$\rho_0 V_0$ – произведение плотности грунта на скорость продольной (поперечной) волны – средняя сейсмическая жесткость эталонной грунтовой толщи;

$\rho_i V_i$ – то же на изучаемом участке;

$$\Delta I_{\text{угв.}} = K e^{a \sigma h^2}$$

K – литологический параметр грунтовой толщи

h – глубина уровня грунтовых вод (УГВ);

$\Delta I_{\text{рез.}}$ – определяется резонансными явлениями в исследуемой грунтовой толщ.

В соответствии с комплексными данными по физическим свойствам, талые грунты площадки строительства отнесены к 3 категории. Мощность прослоев, гранулометрический состав и физические свойства грунтов изменяются в пределах площадки строительства незначительно, что свидетельствует о не значительной разнице в распределении в них сейсмических волн и ускорений.

В таблице 4.13 приведены результаты сейсмической интенсивности, полученные на предприятии, и наши расчеты.

Расчетные приращения и итоговые баллы в пунктах наблюдений методом сейсмических жесткостей, полученные нами и предприятием

Номер скважины	Расчетные приращения балльности (предприятие) $\Delta I_{с.ж.}$, баллов	Интенсивность $I_{в}$, баллов (предприятие)	Расчетные приращения балльности $\Delta I_{с.ж.}$, баллов	$I_{в}$, баллов
1	0,96	6,96	0,17	6,97
2	0,81	6,81	0,23	7,03
3	0,81	6,81	0,06	6,86
4	0,81	6,81	0,16	6,96
5	0,80	6,80	0,02	6,82
6	0,87	6,87	0,1	6,91
7	0,75	6,75	0,13	6,93
8	0,82	6,82	0,18	6,98
9	0,91	6,91	0,26	7,06
10	0,89	6,89	0,18	6,98
11	0,82	6,82	0,16	6,96
12	0,81	6,81	0,2	7
13	0,82	6,82	0,19	6,99

Исходя из результатов, можно сделать вывод, что расчетные приращения сильно отличаются друг от друга, и это может быть связано:

- с неточностью определения скоростей и плотностей грунтов, так как компания не предоставила значения полевых данных;
- мы определяли приращения до глубины 10 м, как требуется в инструкции, а у них было до 20 м;
- приращения считали по грунтам 2 категории, так как по нормативному документу СП 14.13330.2014 участок исследований должен быть отнесен к эталонным грунтам именно 2 категории [27], тогда как предприятие за эталонный приняло грунт 3 категории, что не соответствует требованиям нормативного документа.

Но, несмотря на наши низкие значения приращений балльности, итоговой сейсмический балл у обоих по карте «В» приблизительно равен 7. У нас значения интенсивности получились чуть больше, так как за исходный балл на предприятии было принято 6 баллов по карте ОСР-2016, а мы

определили по программе и получили для карты типа «В» значение интенсивности, равное 6,8 баллов.

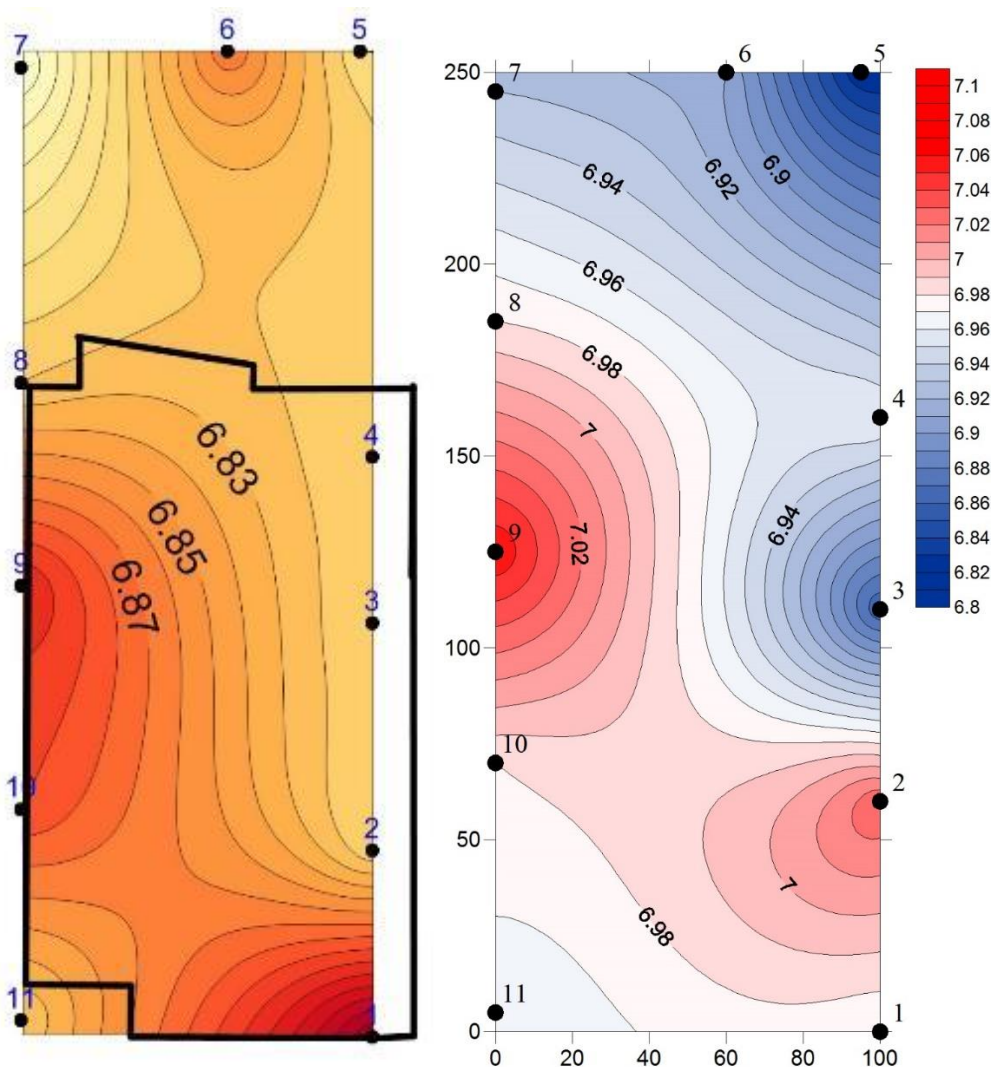


Рис. 4.21 – карты сейсмического микрорайонирования методом сейсмических жесткостей, полученные предприятием и нами.

Черные точки – скважины, жирная линия – здание Культурно-досугового центра.

Наибольшее значение интенсивности отмечается в скважине №9. По результатам, полученным на предприятии в скважине №9 интенсивность равна 6,9 баллов, а по нашей карте 7,05. Зоны с высокими значениями

интенсивностей расположены на юго-восточной части карты, которая охватывает территорию строительства здания.

Метод микросейсм

Расчет приращения предприятием:

Измерение уровня и спектральный анализ микросейсмических колебаний позволяют оценить сейсмические свойства грунтов на исследуемой площадке, рассчитать приращения сейсмической балльности по формуле:

$$\Delta I = K \lg V_i / V_э$$

Здесь K – постоянный коэффициент, для центральной Якутии он принят равным 1,8.

V_i – векторное значение среднеквадратичных амплитуд микроколебаний на исследуемом грунте,

$V_э$ – векторное значение среднеквадратичных амплитуд микроколебаний на эталонном грунте.

В случае отсутствия на исследуемой площадке эталонного грунта, оценку частотных характеристик выполняют способом спектральных отношений. Для этого проводится спектральный анализ микросейсм и АЧХ и резонансные и сейсмические характеристики определяются по отношению между спектрами горизонтальных и вертикальных компонент. Этот способ позволяет компенсировать спектральные компоненты, вызываемые техногенным шумом и получить достаточно надёжные оценки преобладающих периодов или частот колебаний грунтов.

Амплитудно-частотная характеристика определяется по следующей формуле:

$$U_{(x)} = (H_N + H_E) / 2V_Z,$$

где H_N , H_E – спектры микросейсм по горизонтальным компонентам «N-S» и «E-W», V_Z – спектр по вертикальной компоненте «Z».

Максимальное значение АЧХ связано с резонансными особенностями рыхлой толщи грунта, что и определяет его сейсмические свойства.

Приращение балльности определяется как

$$\Delta I = K I \dot{g} U_{\max},$$

где K – эмпирический коэффициент, U_{\max} – максимальные значения АЧХ.

В таблице 4.14 показаны результаты приращения балльности по интервалам и значение интенсивности, полученные предприятием.

Таблица 4.14

Частоты и приращения сейсмической балльности по интервалам

Время Частота	0,1 — 0,3 сек. 3,33 — 10 гц		0,3 — 0,5 сек. 2,0 — 3,33 гц		0,5 — 2,0 сек. 0,5 — 2,0 гц		ΔJ ср., балл	J, балл
	Fmax, гц	ΔJ ,балл	F max, гц	ΔJ , балл	F max, гц	ΔJ , балл		
1	3,32	1,5	3,22	1,6	0,59	1,0	1,4	7,4
2	3,71	1,2	3,32	1,1	0,59	1,4	1,2	7,2
3	4,79	0,8	3,32	0,5	0,5	1,7	1,0	7,0
4	3,71	1,1	2,83	1,3	0,5	1,6	1,3	7,3
5	3,81	1,4	3,32	1,3	0,5	1,4	1,4	7,4
6	5,18	1,4	3,22	1,1	0,68	1,6	1,4	7,4
7	4,30	1,5	3,03	1,2	0,5	1,9	1,5	7,5

Как видно из таблицы, приращения балльности в разных участках изменяются от 1 до 1,5 баллов.

В таблице 4.15 показаны результаты приращения балльности по интервалам и значение интенсивности, полученные нами.

Таблица 4.15

Частоты и приращения сейсмической балльности по интервалам

Номер пункта	dJ, балл			$J_{\text{ср}123}$, балл	Jа, балл	Jв, балл	Jс, балл
	0,5-2 Гц	2-4 Гц	4-10 Гц				

					T=500 лет	T=1000 лет	T=5000 лет
1	-0,0756	-0,096	0,291	0,12	6,42	6,92	7,92
2	0	0	0				
3	0,0681	-0,142	0,0735				
4	0	-0,188	0,0588				
5	0,239	0,0166	-0,0016				
6	0,068	-0,098	0,1413				
7	-0,075	-0,058	0,03004				

Среднее приращение балла, полученное предприятием равен 1,3 баллов, а в нашем случае 0,18 баллов. Отмечается большая разница приращений балльностей. Это может быть связано с использованием различных расчетных формул. В алгоритме, приводимом в отчете предприятия, применяются формулы, которые отсутствуют в нормативной документации, без указания источника. Расчет, проводимый нами, осуществлялся по методу Накамуры [39].

Средняя интенсивность, полученная на предприятии по карте ОСР-2016-В равна 7,3 баллам. Мы посчитали интенсивности при T=500 лет, T=1000 лет и T=5000 лет. В результате по нашей карте «В» интенсивность равна 6,92, что на 0,38 меньше, чем на предприятии. Тем не менее, в обоих случаях итоговый балл после округления равен 7, что говорит о корректности и сопоставимости расчетов.

Кроме того, нами были посчитаны пиковые грунтовые ускорения, необходимые при выборе дальнейших конструктивных решений строительства, основанных на результатах изысканий. Расчет проводился в специальной программе с учетом сейсмогеологического строения разреза на участке. На предприятии данный параметр не определялся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы дипломной работы проведен анализ геологического, тектонического строения грунтов площадки Культурно-досугового центра в 203 квартале, было изучение района исследований и сейсмогенерирующих структур, составление актуального каталога событий, уточнение повторяемости, сейсмичности зон ВОЗ и исходного сейсмического балла.

В научно-исследовательском разделе была проведена уточнение сейсмической опасности площадки строительства культурно-досугового центра с аквапарком на территории 203 квартала города Якутска Республики Саха Якутии. Полученные значения приращений и интенсивностей сравнили с полевыми данными, полученными предприятием. Полученные нами значения приращений балльности по методу сейсмической жесткостей в среднем равны 0,154, а по методу регистрации микросейсм 0,12, тогда как значения, полученные предприятием по методу сейсмических жесткостей близки к 1, а по методу микросейсм составляют 1,3. Столь большое различие может быть вследствие нескольких факторов, подробно изложенных в выводах соответствующих разделов.

Наш расчет основан на нормативных документах, все формулы взяты из СП, а также мы пользовались специальными программами, которые позволяют автоматически точно определить расчетные значения. Таким образом была достигнута цель уточнения итогового балла сейсмической опасности на участке строительства с соблюдением алгоритмов, рекомендуемых нормативами, тогда как расчет на предприятии проводился другими способами.

Несмотря на разницу в методиках расчета, итоговой балл проектного землетрясения (по карте В) в обоих методах составил 7 баллов. Был составлен прогноз сотрясений грунтов по PGA, который указывает на малоблагоприятные их свойства для строительства в сейсмоопасном районе.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
3. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
4. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
5. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
6. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).
11. ГОСТ 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
12. ГОСТ Р 51330.9-99 Классификация взрывоопасных зон.

13. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).
14. ГОСТ Р 56274-2014 Общие показатели и требования в эргономике
15. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
16. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
17. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
18. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.
19. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.
21. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
22. РСМ-85 «Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства».
23. РСН 65-87 «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ».
24. РСН 60-86 «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ».
25. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства.
26. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
27. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81*.

28. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов/
29. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания.
30. ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
31. Гусев Г. С., Петров А. Ф., Фрадкин Г.С. и др. //Структура и эволюция земной коры Якутии. М.: Наука, 1985, 250с.
- 32.Тектоническая карта Якутской АССР, ГУГК, 1976. Отв. редактор К.Б.Мокшанцев.
33. Соловьев П.А. Землетрясение в центральной Якутии (январь 1956 год) //Известия АН СССР. Серия геофизическая, 1957, № 12.
34. Кригер Н.И., Кожевников А.Д., Миндель И.Г. Сейсмические свойства дисперсных пород. М.: ИНЖЭКО, 1994, 196 с.
35. Джурик В.И. Инженерно-сейсмологический прогноз при нарушении естественного состояния мерзлых грунтоа. Автореф.докт.дис. Иркутск: Издательство ИЗК СО РАН, 1986.-37 с.
36. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Проблемы сейсмического районирования территории России.//Всероссийский НИИ проблем научно-технического прогресса и информации в строительстве. М.: ВНИИТПИ Госстроя России. 1999. 56 с.
37. Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решеточной регуляризации. // Физика Земли, 1998, №9. С. 20-38.
38. Н.Д. Красников, А.А. Гайдина. Методические рекомендации по определению динамических свойств грунтов, скальных и местных материалов. «Энергия», Ленинградское отделение, 1972, 36 с.

39. Nakamura Y. “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface”, QR of RTRI, 1989, Vol.30, pp. 25-33.
40. План города Якутска <http://gallery.ykt.ru/photo/view/800515> [Дата обращения 18.05.18].
41. <http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/yakutia/> [Дата обращения 22.10.2017].
42. <http://www.ifz.ru/ulomov> [дата обращения 13.02.18].
43. <https://studfiles.net/preview/4293296/> [Дата обращения 10.05.18].