



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической
безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистранта

На тему: «Негативное влияние техногенного воздействия на состояние
окружающей среды криолитозоны Тюменской области ЯНАО»

Исполнитель: Фалевич Глеб Олегович

Руководитель: кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
Корвет Надежда Григорьевна

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Мухин Иван Андреевич
(фамилия, имя, отчество)

«16» ноября 2024г.

Санкт-Петербург
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ ЯНАО (ПРИУРАЛЬСКОГО И НАДЫМСКОГО РАЙОНОВ)	6
1.1 Физико-географический очерк	6
1.2. Геологическое строение	8
1.3. Ландшафтно-геоморфологические условия	11
1.4 Гидрогеологические условия	14
1.5. Геокриологические условия	17
1.6. Экзогенные геологические процессы	23
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИУРАЛЬСКОГО И НАДЫМСКОГО РАЙОНОВ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	27
2.1. Техногенное воздействия объектов в пределах городской инфраструктуры г. Надым и г. Салехард	27
2.2. Техногенное воздействие объектов трассы железной дороги Салехард- Надым	35
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	38
3.1 Изменение многолетнемёрзлых пород под влиянием техногенных факторов на территориях городской инфраструктуры	38
3.2. Оценка техногенного влияния на ММП площадки г. Надым и г. Салехард	41
3.2.1. Расчёт нормативной глубины сезонного оттаивания на площадке г. Надыма и г. Салехард	44
3.2.2. Расчёт нормативной глубины сезонного промерзания на площадке г. Надыма	48
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА УЧАСТКАХ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ САЛЕХАРД-НАДЫМ	51

4.1. Взаимодействие многолетнемёрзлых пород с комплексами сооружений на участках трассы железной дороги Салехард-Надым	51
4.2. Оценка возможности развития криогенного процесса на участке трассы железной дороги Салехард-Надым	54
ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВИЗАЦИИ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А	71

ВВЕДЕНИЕ

В наше время весьма активно развивается строительство инфраструктуры, направленное на разведку, разработку и транспортировку полезных ископаемых, что вызвано потребностью промышленности. Как следствие, мы можем наблюдать огромные изменения окружающей среды.

Антропогенное воздействие – это любое человеческое воздействие на окружающую среду в целом и на отдельные её компоненты, биоту и геосистемы в результате проводимой хозяйственной деятельности. Это отчётливо видно в городских (или урбанизированных) территориях, так как городская и пригородная зоны уже существенно отличаются от окружающих или изначальных территорий, а также развиваются. Особенно остро эта проблема стоит в Арктической зоне.

Известно, что более 2/3 площади Российской Федерации относится к криолитозоне (при учёте всех областей распространения). Изучение воздействия инженерной деятельности на окружающую среду несёт огромную практическую пользу. Нерациональное использование природных ресурсов, строительство инфраструктуры, нерассчитанное для условий конкретного места, нарушение температурного режима ММП вызовут повреждение конструкций. Этот факт с одной стороны и уязвимость северных геосистем, усугубляемое глобальным потеплением (для северных районов эта тенденция выражается сильнее) требует организации природопользования, балансирующей между сохранением окружающей среды и экономической эффективностью.

Объектом исследования выбрана территория Приуральского и Надымского районов Тюменской области в криогенной зоне Западной Сибири. Для изучения этой территории оставлена следующая цель работы: Оценка техногенного воздействия на компоненты природной среды и их изменение в криолитозоне Приуральского и Надымского районов при инженерно-хозяйственном освоении.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Охарактеризовать основные компоненты природной среды Приуральского и Надымского районов Тюменской области;
2. Рассмотреть возможные источники техногенного воздействия на компоненты природной среды Приуральского и Надымского районов Тюменской области;
3. Изучить геокриологические условия криолитозоны Приуральского и Надымского районов Тюменской области ЯНАО;
4. На основании анализа литературных данных изучить факторы, определяющие изменение компонентов природной среды в криолитозоне;
5. Охарактеризовать криогенные процессы, влияющие на условия работы инженерных сооружений;
6. Дать прогноз взаимодействия многолетнемёрзлых пород с комплексами сооружений (в городах Надым и Салехард) и на участках трассы железной дороги Салехард-Надым;
7. Практические рекомендации по минимизации негативных последствий проявления активизации криогенных процессов, направленные на сохранность инженерных сооружений.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ ЯНАО (ПРИУРАЛЬСКОГО И НАДЫМСКОГО РАЙОНОВ)

1.1 Физико-географический очерк

Приуральский район расположен на западе Ямало-Ненецкого автономного округа, занимает площадь 66 тыс. км². Надымский район расположен в центральной части Ямало-Ненецкого автономного округа. Площадь составляет 110 тыс. км². Оба района пересекают Северный Полярный круг (рисунок 1).



Рис. 1. Карта исследуемого района.

Примечание: 1 – Приуральский район, 2 – Надымский район.

Эти районы располагаются на северо-западе Западно-Сибирской низменности, на характеризующейся пологой и пологоволнистой Полуйской возвышенности. Значительная часть рассматриваемой территории ЯНАО относится к

водоразделу, приуроченному к стоку рек Обь, Полуй, Надым, уровень поверхности которой из-за пологости постепенно понижается в направлении на восток. Речные террасы постепенно переходят в пологие, с редкими возвышениями микрорельефа, междуречья, крутизна которых достигает 5° , в некоторых случаях имеет большее значение. В основном крутизна склона составляет не более 2° . Такой плоский рельеф обуславливает слабый поверхностный сток и способствует широкому распространению заболачивания территории. [1].

Характерной, хоть и не уникальной особенностью изучаемой территории является большое количество озёр, болот и мелких рек. В прошлом, до регрессии моря с этой местности, здесь располагалось дно – морской шельф. Эта черта местности вызвана следующими, сложившимися в результате последующих сложившихся действий, повлиявших на условия формирования: наличие пологого рельефа, с редкими небольшими возвышениями, небольшой наклон поверхности водораздела, большое количество излишних осадков, вызывающее переизбыток, малая инсоляция, близкое залегание к поверхности водоупорных горизонтов, слабое дренирование грунта. Часто озёра имеют термокарстовое происхождение. Большинство из них имеют неустойчивую фазу развития: отсутствует литораль и постоянных очертаний. Данное состояние характеризует их как относительно новообразованные. В зависимости от количества выпавших за год осадков летний уровень воды непостоянен и выражен слабо, максимум – во время весеннего паводка. Воды пресные или ультрапресные, с большим содержанием гуминовых кислот из-за заболоченности окружающих почв [2]. По характеру водного режима водные объекты ЯНАО относятся к объектам с весенне-летним половодьем и частым паводками в тёплое время года.

Для начала, поскольку мы рассматриваем территории Приуральского и Надымского районов с точки зрения техногенного воздействия на уже сложившуюся ММП, то нужно рассмотреть естественные факторы её формирования. В первую очередь это климатические условия. Исследуемая территория характеризуется избыточным переувлажнением и низкой теплообеспеченностью поверхности. Открытая с севера и юга ввиду отсутствия естественных барьеров

территория подвергается резким среднегодовым колебаниям температуры. Характерной для всей Арктической зоны Российской Федерации, пожалуй, кроме западного сектора является продолжительный и суровый период зимы с сильным порывистым ветром. Самым холодным месяцем является январь со среднемесячной температурой $-23,6^{\circ}\text{C}$. Весна и осень, переходные сезоны, коротки. Самым теплым месяцем является июль. Его среднемесячная температура находится в пределах $+13,8^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура равна $-6,4^{\circ}\text{C}$, создающая условия для образования и развития многолетнемерзлых пород. Среднегодовое количество выпадаемых (жидких и в виде снега) осадков варьируется в пределах 418–546 мм, при наблюдаемых максимуме в августе и сентябре (до 71 мм) и минимуме в феврале (до 24 мм). Средняя температура в городе Салехард (за период наблюдения с 1882 по 2021 гг.) составляет $-5,9^{\circ}\text{C}$, при количестве осадков в 387 мм, средняя температура в Надыме (за период наблюдений 1959–2021 гг.) – $(-5,1)^{\circ}\text{C}$, при среднем количестве осадков в 502 мм. В среднем, начиная с середины прошлого века, наблюдается тренд повышения среднегодовой температуры окружающей среды (темп увеличения составляет $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$), количество выпадаемых в год осадков увеличивается с темпом $1,51\text{ мм}/\text{год}$ [3]. Этот тренд характерен не только для территорий ЯНАО, но и для всех полярных регионов Арктики. За период наблюдений после 1961–1990 гг. (за период 1991–2021 гг.) среднегодовая температура повысилась на $+1,35^{\circ}\text{C}$, что составляет $0,0225^{\circ}\text{C}/\text{год}$ [4]. Известно, что зона Арктики более подвержена потеплению, что можно здесь заметить.

1.2. Геологическое строение

Для оценки территории ММП основной интерес представляют породы, непосредственно взаимодействующими на них инженерными сооружениями и зданиями (бытовыми и жилыми). Это грунты, сложенные четвертичными отложениями мощностью, достигающей 100 метров и относящимся к Салехардско-Тазовскому геологическому району. Это аллювиальные, озерно-аллювиальные, аллювиально-морские. Подробное их описание будет дано да-

лее. Современное геологическое строение приобрело свой вид в результате чередования периодов похолодания и межледниковых периодов с одновременной с ними трансгрессией моря [5].

Аллювиальные отложения расположены в террасах долин таких крупных рек, как Надым, Обь и Полуй в виде смеси галечного материала и супесчаного (иногда в виде песчаного) заполнителя. При просмотре отложений от четвёртой к первой террасе наблюдается процесс увеличения содержания суглинков. Их мощность в составе аллювиальных отложений первой террасы достигает 6 м. Также тут может встречаться аллохтонный торф. Эти отложения развиты ввиду достаточной ширины только в районе долин крупных водотоков. Из-за малой широты воздействие более мелких водотоков не способствует этим отложениям. Аллювиальные отложения низкой поймы расположены у так или иначе всех водотоков, в том числе небольших. Как уже упомянуто выше, рассматриваемая территория характеризуется повышенным увлажнением, вызываемым малой солнечной радиацией, так что в понижениях рельефа (не только естественных, но и в виде термокарстовых впадинах и понижениях, образованных в следствие давно прошедшей техногенной деятельности) имеются озерно-болотные отложения, сложенные главным образом из супесей, суглинков. Местами присутствуют включения илистого торфа, если имеются условия для его образования.

песей и алевроглин) [6]. Город Надым расположен на первой надпойменной террасе и отчасти на высокой пойме реки Надым (грунты составлены песками, супесями, суглинками) [7]. Аллювиальные отложения состоят из различных по размеру песков, наблюдается небольшая дифференциация. Ближе к поверхности количество пылеватых частиц с редкими и малыми прослойками супесей и суглинков постепенно увеличивается. Под ней – аллювиально-морские и лагунные отложения (алевриты, пески, галька, валуны).

Геологическое строение железнодорожной линии Салехард–Надым ввиду протяженности разнообразно. Из-за своей протяженности она пересекает разные геоморфологические структуры. Нас интересуют отложения, сложенные рыхлыми четвертичными отложениями, более глубокие (залегающие глубже 200 метров) отложения не оказывают влияние на взаимодействие проектируемой железной дороги и природной среды. Это ледниково-морские, морские, озерно-аллювиальные и биогенные отложения. Строение разреза на разных участках неоднородно. Например, на отрезке ПК 2792+00 – 2838+00 верхний слой – суглинки текучепластичные мощностью до 3 м, под ними – среднеплотные пески мелкие с включением органического вещества, на глубине более 10 м – тугопластичные морские глины. На отрезке ПК 1688+00 – 1737+00 верхняя часть разреза сложена торфами на глубине до 4,6 м, до 20 м залегают супеси и суглинки, глубже – пески мелкие водонасыщенные средней плотности.

1.3. Ландшафтно-геоморфологические условия

Современный ландшафт рассматриваемого района образован в процессе современных тектонических действий и связанных с разными эрозионными и аккумулятивными процессами. Они характеризуются неравномерностью действий тектонических движений в Салехардско-Надымском мегаблоке с наиболее значимым поднятием в северо-западной части и наименее – в районе северо-западной части. Возвышения поверхности расположены в взаимосвязи с прибрежно-морской равниной, располагающейся на водораздельных пространствах крупных водотоков в виде слабохолмистых и интенсивно расчленённых

микрорельефах. Они были сформированы геологическими процессами в четвертичный период, когда происходила регрессия моря на север. Наиболее распространёнными криогенными процессами являются: заболачивание (по описанным выше причинам), эрозия и различные криогенные процессы.

Выделяют следующие элементарные ландшафты:

1. Различные элювиальные ландшафты, относящиеся к плакорам и характеризующиеся плоским, равнинным рельефом с редкими неровностями микрорельефа;
2. Трансэлювиальные относятся к склонам террас (наклон менее 3°);
3. Супераквальные находятся в пределах береговых валов высокой поймы рек;
4. Субаквальные в основном характерны территорий низкой поймы крупных водотоков, отличительной чертой которых является сезонные затопления;
5. Суперсубаквальные ландшафты приурочены к понижениям со слабым стоком и близким уровнем подземных вод, а как следствие, характеризуются заболачиванием территории, торфообразованием;
6. Аквальные ландшафты характерны для крупных водоёмов, проточных и озёр.

На основе дифференциации рассматриваемой территории, выполненной на основе преобладающих типов растительности и степени техногенного воздействия, можно выделить ряд ландшафтов. Наибольшее распространение имеют разной плотности и видового состава лесные ландшафты. Они расположены на обширных равнинах и склонах речных террас. Фитоценозы являются типичным для рассматриваемых широт и сложившихся климатических условий. Они представлены различными лиственными и смешанными лесами, однако произрастающие деревья, характерно для северных регионов, являются карликовыми. Здесь можно обнаружить берёзовые, лиственные, елово-берёзовые леса. При продвижении на север редколесье сменяется типичными тундровыми ландшафтами. Здесь можно наблюдать различные доминанты растительных со-

обществ: ивняки, ерниковые, лишайниковые сообщества. Также на слабодренированных и низинных участках этих лесотундр или равнинах развиваются типичные болотные ландшафты. В результате естественных процессов происходит процесс тофообразования. Поэтому можно наблюдать микрорельефы в виде плоскобугристых или плоских торфяников. Мощность образованных торфяников достигает 20 см. в некоторых случаях мощность торфа имеет большие значения. Эти микроландшафты часто разделены рельефами в виде небольших ложбин, занятыми гипновыми болтами. Поймам крупных водотоков свойственны типичные пойменные ландшафты с кустарниковой, разнотравной, злаковой растительностью.

Плоский ландшафт рассматриваемой территории позволяет чётко определить географические пояса. Для Надымского района, двигаясь с юга на север, можно наблюдать северную тайгу, подзону редколесий, кустарниковые тундры, низкокустарниковые тундры и субарктическую тундру [8].

По характеру ландшафт Салехарда (рисунок 3) и прилегающей местности, в частности это равнина с чередованием безлесных (до 60 %), залесенных (до 30 %) и заболоченных (до 20 %) участков, можно говорить о его разнообразии. Это элювиальные и суперсубаквальные элементарные ландшафты. Тут наблюдается большая вариативность температур пород и глубины промерзания–протаивания из-за разной инсоляции и мощности снежного покрова. Город располагается на абсолютной высоте 135–145 м, с лишь редким промышленными зонами и отдельными частями на более низких территориях. Одной из характерных черт является значительное углубление (до 50–100 м) и частота эрозионного расчленения [9].

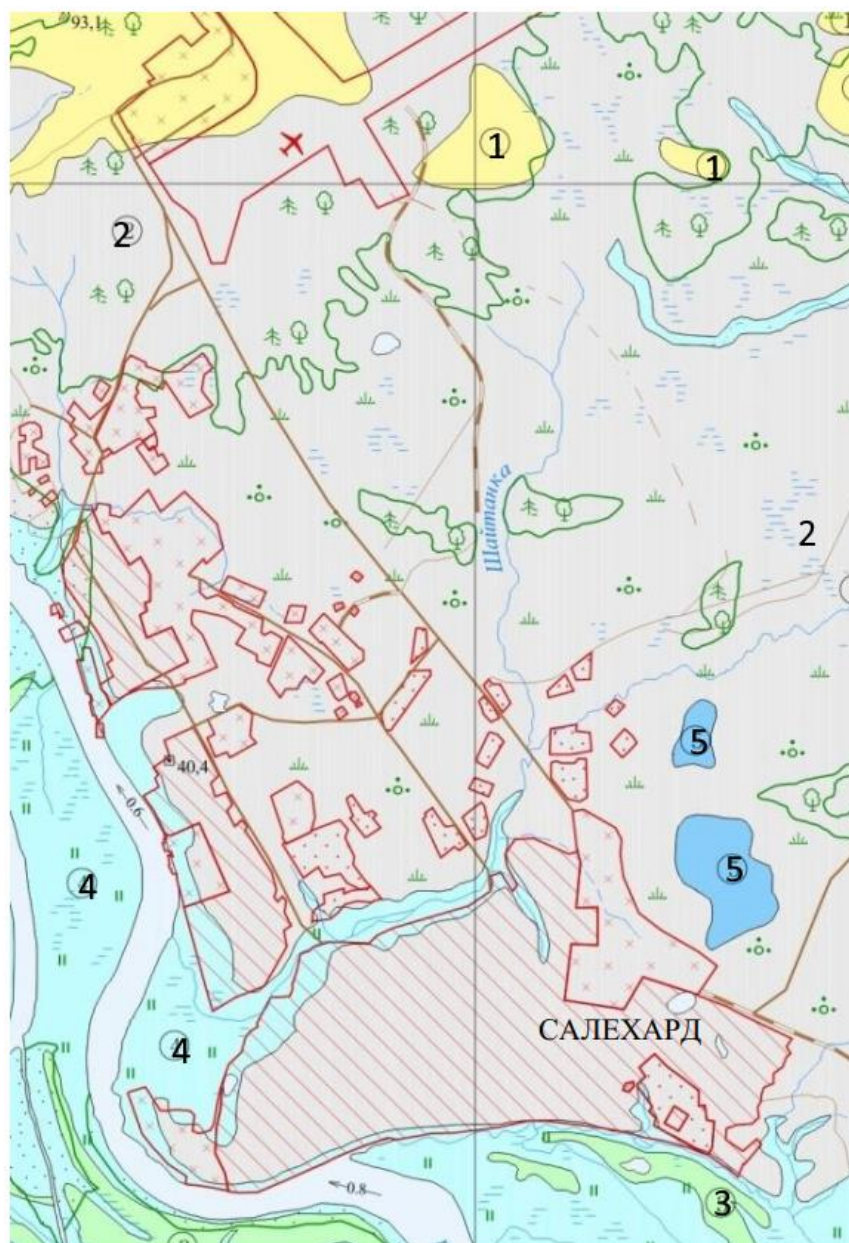


Рис. 3. Распространение элементарных ландшафтов Салехардской площади [1].
Примечание: 1 – Элювиальные ландшафты, 2 – трансэлювиальные, 3 – супераквальные,
4 – субаквальные, суперсубаквальные.

1.4 Гидрогеологические условия

Территории изучаемого региона принадлежат Нижнеобскому бассейну стока грунтовых вод, определённый местоположением разных гидрогеологических водоразделов, сложенный из системы рек. Это различные крупные реки, большое количество мелких ручьев, которые пересыхают в лене-осеннюю ме-

жень или перемерзают в зимний период, обширные болотные участки, множество озёр, различающихся по площади и часто сгруппированные.

Наибольшую роль, с точки зрения развития многолетнемерзлых грунтов имеет верхний водоносный комплекс, сложенный, как выше сказано, из пород четвертичного периода. Напротив, распространение ММП оказывает значительное влияние на формирование, динамику и химический состав грунтовых вод. Неглубокое залегание ММП способствует поверхностному заболачиванию и поверхностному стоку. Для подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна имеется отличительная черта – крайне низкая минерализация (вплоть до ультрапресной) [10]. В процессе многократных промерзаний и оттаиваний происходила криогенная метаморфизация в течение нижнезырянского-верхнезырянского ледниковых периодов и при действии талых вод в периоды между похолоданиями. В наше время можно наблюдать зоны сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов.

По расположению водовмещающих пород выделяют по отношению к мерзлотным породам следующие типы:

1. Надмерзлотные сезонно-талого слоя. Мёрзлые породы образуются в зимний период. В районах сливающейся мерзлоты надмерзлотные воды чаще всего сезонные и являются сезонно-промерзающими;
2. Надмерзлотные несквозных таликов. Породы образуются в подо-зёрной области или в зоне несливающейся мерзлоты;
3. Водовмещающие породы таликовых зон. Ограничены по бокам ММП;
4. Межмерзлотные водовмещающие породы. Часто расположены в талых и немёрзлых слоях, они ограничены ММП сверху и снизу.

Грунтовые воды, расположенные над толщей ММП (т. е. надмерзлотные воды) представлены главным образом подземными водами, образованными в результате выпадения интенсивных атмосферных осадков или таяния снегов в весенний и летний (к концу пропадает из-за отсутствия продолжающегося питания) периоды. Напор появляется только на этот период или не появляется во-

обще. Малоопасны для инженерных сооружений, так как появление напора при промерзании редки. Они непостоянны и наблюдаются только во время этих процессов. Водовмещающими породами являются хорошо водопроницаемые пески и супеси над постоянными водоупорами.

Согласно общим принципам гидрогеологической стратификации в Надымском и Приуральском районах ЯНАО выделяют несколько гидрогеологических подразделений. Сезонно-водоносный слой представлен наиболее повсеместно. Его водовмещающие породы находятся в пределах сезонного оттаивания глубиной до 1 м в виде суглинков, песка или супесей. Это озёрные, аллювиальные и озёрно-аллювиальные породы, иногда – болотные отложения. Подземные воды безнапорны, близки к поверхности. Глубина залегания редко превышает 1 м. Не смотря на это однолетние бугры пучения способны образовываться.

Водоносный таликовый слой представлен в виде разминочных горизонтов. Это зависит от характера толщ многолетнемерзлых пород. К ним относятся надмерзлотные и межмерзлотные (в случае наличия реликтовой мерзлоты) водоносные горизонты. Он менее распространен, чем воды несквозных таликов, но рассматриваемые территории обладают обширными территориями различающихся по размерам водоёмов и водотоков, что тем не менее и обуславливает широкое распространение. Здесь водовмещающими породами являются супеси и пески разного размера в включениями гравия и гальки. Мощность межмерзлотных пород достигает 100 м, являясь единственной представленной в разрезе четвертичных пород, и менее нескольких десятков метров надмерзлотных пород. Может встречаться сезонных характер развития с такими же условиями, как у предыдущих. Напор относительно слабый.

Водоносный таликово-криогенный комплекс располагается в районе распространения надпойменных террас и пойм реки Надым. Характерной чертой является прерывное расположение ММП. Он представлен тем же расположением относительно мерзлоты, что и предыдущий. Водовмещающие горизонты состоят из как суглинков, так и песков с включениями в виде гравия и гальки.

Глубина залегания надмерзлотных по сравнению с предыдущими значительно меньше, в пределах 1 м. Насыщены водой эти горизонты весь год, так что при промерзании зимой появляется напор. Это позволяет образовывать однолетние бугры пучения и наледи. Межмерзлотные подземные воды также постоянны. Залегают в пределах 6 м под крупными водотоками – до 15 м. Состоит из разноразмерных песков с гравием или мелкозернистых песков. Питание происходит за счёт атмосферных осадков, паводковых вод и таликовых зон, разгружаясь в сеть водотоков.

Криогенный водоупорный комплекс различного генезиса содержат включения сегрегационных льдов, в особенности в приповерхностных слоях. Отложения комплекса крайне разнообразны. Это пески, глины, торф, суглинки.

1.5. Геокриологические условия

На протяжении всего четвертичного периода мерзлые толщи севера Западной Сибири под действием разных факторов подвергались неоднократным перестройкам и преобразованиям, определившим её нынешнее состояние. Главная особенность – двухслойное строение.

Начиная с первого плейстоценового оледенения (первый этап), когда началось осушение севера Западной Сибири, происходило образование ММП. Климатические условия тех времён изменялись несущественно, хотя интенсивность процессов промерзания и оттаивания менялись, процесс промерзания в общем преобладал. Во время второго этапа, верхнего плейстоцена и нижнего голоцена, процесс регрессии моря на север продолжается, происходит развитие ледников на северных территориях. Каргинское межледниковье было сравнительно с остальными периодами холодным, имело место быть частичное, но не повсеместное протаивание. Третий этап – это средний голоцен. Ему приурочено самое крупное потепление климата, приведшее к частичному и неравномерному протаиванию ММП и смещению её южной границы севернее. Именно здесь и произошло формирование глубокого слоя мерзлоты и межмерзлотного талика. Четвертый этап – поздний голоцен. Здесь произошла очередная смена

климата, на холодный, приведший к началу нового промерзания. Слияние новообразовавшейся толщи ММП и реликтовой ввиду различных рельефных и прочих условий произошло не повсеместно. Далее (последние 2000 лет) происходили потепление, похолодание и снова потепление.

Таким образом основным фактором, определившим характер распределения толщ ММП исследуемой территории, является ее история геологического развития. Приуроченные к ней ММП носит эпигенетический характер. Строение и мощность носят изменчивый характер и неравномерны. В целом можно выделить 4 этапа: промерзание-промерзание-протаивание-промерзание. В том числе прослеживается, что влияние поверхностных условий вызывает несоответствие нынешнего состояния ММП и общей тенденции её развития.

В зависимости от литологического состава и степени увлажненности в исследуемом районе выделяют 6 типов криогенного строения.

1. Песчаная водонасыщенная толща, отличительной чертой которой является массивная криогенная структура. Имеет широкое распространение, практически во всех песчаных геологических уровнях.

2. Песчаная водонасыщенная толща, отличающаяся образованием напора при промерзании и наличием шпировой (толщина шпиров составляют 5–8 см) криогенной структурой. Встречается редко.

3. Однородная глинистая толща, имеющая нормальное криогенное строение. При рассмотрении сверху вниз видно, что уменьшается содержание льда в виде горизонтальных или сетчатых криогенных текстур при максимуме в верхних 4–6 м.

4. Пески, подстилаемые толщей глинистых грунтов. Обе структуры имеют нормальные криогенные текстуры, но на их пересечении образуются крупные прослои льда (до 30 см).

5. Чередующиеся слои глинистых пород и песка. Ледяные шпирь встречаются в обоих слоях, крупные. Если мощность песчаного слоя меньше высоты капиллярного поднятия этих песков, то там можно наблюдать образо-

вание таких включений, как ледяные шпирь. Встречается в таких разрезах, как бугры пучения (временные и постоянные) и торфяники.

6. Глинистые грунты соприкасаются вертикально или в некоторых случаях замещаются по простираию различными по морфологическому составу водонасыщенными песчаными породами. При этом можно наблюдать интенсивное льдовыделение и пучение. Криогенная текстура сетчатая.

Органические грунты не образуют определённой криогенной текстуры. Льдовыделение определяется длиной волокон торфа, эластичностью и беспорядочностью ориентировки. Встречаются массивные и различные по форме шпировые структуры (волнистые, плейчатые, порфировидные), часто они сочетаются. Торф подстилается сильнооторфованными суглинками.

Основная часть Приуральского района и город Салехард в геокриологическом плане располагается в зоне сплошного развития мерзлых пород с редкими участками талых зон.

Надымский район и город Надым расположены в зоне прерывистого развития ММП.

Высота кровли ММП изменчива. Основную роль в современный период в этом играет теплоизолирующий покров сверху (растительность, снежный покров, торф). Его влияние на глубину протаивания зависит от сочетания и мощности.

Как уже сказано выше, в результате развития ММП образовалось 2 типа, но они также делятся на подтипы, 2 на каждый тип. Для пород, характерных для зон сплошного распространения мерзлоты, выделяют подтипы для древних форм рельефа (мощность колеблется от 70 до 182 метров) и для молодых рельефов – поймы, отчасти надпойменные террасы рек (с мощностью до 40 метров). Для двуслойных ММП с реликтовым слоем, залегающим на глубине более 65 м, типирование основывается на наличии верхнего (нового) слоя. Здесь могут иметься промерзающие породы до глубины 40 м или непромерзающие вовсе соответственно.

Если вспомнить, что ЯНАО обладает обширной сетью крупных, мелких рек озёр, то нужно упомянуть и про наличие таликов под ними. Таким образом для самых крупных водотоков – Обь и Надым – особенностью является образование сквозных (кровля ММП не обнаружена на глубине 50 м от дна в случае Оби) постоянных таликов, обусловленных влиянием поверхностных вод. Несквозные талики обнаружены под небольшими реками и термокарстовыми озёрами.

Температурный режим ММП ЯНАО очень неравномерный. Он зависит от многих факторов: от климатических условий местности, литологического состава пород, геологических условий, наличия или отсутствия растительности, мощности и плотности снежного покрова и внешнего воздействия различных инженерных сооружений.

Известно, что температура подошвы кровли в этом регионе характеризуется мягким режимом годовых колебаний в диапазоне отрицательных значений. В районах распространения ММП их значение варьируется от -3 до 0 °С, в районе талых пород (на урбанизированных территориях) – $0-8$ °С. Примерно 30 % находятся под хорошо развитым растительным покровом, что создаёт благоприятные условия для накопления большого количества рыхлого снежного покрова. Породы состоят из различного по составу и размеру песков. Во втором случае это зависит от прогрева верхних слоёв пород при действии инсоляции и инфильтрации атмосферными осадками и солнечной радиации.

На пойменных участках, обладающих относительно ровным рельефом в общем и микрорельефом в виде набольших кочек. Температура варьируется в пределах $-0,5$ до 0 °С. Породы, залегающие под руслами крупных рек и берегов имеют положительную температуру в пределах от 0 до 2 °С (например, под рекой Обь). Отопляющее действие таких водоёмов создаёт условия, при которых многолетнемерзлые породы не образуются, образуя талики.

Почти половина, площади приурочено к участкам с температурой пород со средним значением $-0,5$ °С (от -1 до 0 °С). Это тундровые безлесные участки, имеющие слабый растительный покров. Подобные участки характеризуют-

ся увеличенным в 1,5–2 раза годовым теплообменом почвы с атмосферой. Во время летнего периода инсоляция поверхности, соответственно, значительно больше, так как ничего ей не препятствует. Это увеличенное поступление тепла компенсируется потерей тепла во время сокращения снежного покрова в зимний период при действии воздушных потоков. Как известно, снег является очень хорошим теплоизолятором и при увеличении мощности и плотности покрова температура грунта возрастает. Таким образом температура безлесных участков значительно более низкая, чем участков, расположенных в лесистой местности (или имеющей другой растительный покров, амплитуда сезонного протаивания и промерзания соответственно больше. В зависимости от таких факторов, как микрорельеф и наличие растительности, здесь выделяют участки с температурами пород в районе $-1-(-0,5)^\circ\text{C}$ и $-0,5-0^\circ\text{C}$. В первом случае они представлены участками возвышенных террас, где снежный покров в силу действия ветра обладает малой мощностью, во втором случае – неровные овраженные участки, хасыреи, кустарниковые тундры.

К низким болотистым участкам приурочены породы с температурами $-1-(-3)^\circ\text{C}$. Специфика теплообмена почвы с атмосферой заключается в увеличенной теплоотдаче при испарении при избыточном увлажнении и развитие низкой влаголюбивой растительности. Наиболее высокая температура отложений наблюдается в тровяно-сфагновых и травяных топях. Самые низкие – в торфяниках (древние торфяные болота), здесь сильно различаются теплофизические свойства талого и мёрзлого торфа, вызывающие наиболее интенсивное выхолаживание.

Необходимо заметить температурный режим пород в городской черте. Его особенностью является крайне широкий диапазон температур на подошве слоя годовых колебаний и находится в пределах $-2-8^\circ\text{C}$. Например, в настоящее время большая на большей части территорий города Надым имеет положительные температуры, хотя до активного освоения она составляла $-3-2^\circ\text{C}$. Произошло нарушение естественного теплообмена, изменение физических

свойств грунтов и, как следствие, создалась угроза повреждений возведённых сооружений.

Грунты в мёрзлом состоянии обладают отличными от грунтом в нормальном состоянии строением, свойствами, составом. При протаивании эти характеристики изменяются, меняется несущая способность и появляется опасность повреждения оснований зданий и других инженерных сооружений, развития деформаций.

Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы состоят из пылеватых и мелких песков с редкими включениями супесей и суглинков. Встречаются относительно крупные, линзовидные льдистые структуры в песчаных грунтах, что редко для этого типа грунта, в глинистых встречаются шлировые, сетчатые, слоистые и линзовидные. Далее будут приведены средние значения. Плотность мёрзлого песка – $1,9 \text{ г/см}^3$, суммарная льдистость – 0,39 д. ед. Плотность мёрзлого суглинка – $1,5 \text{ г/см}^3$, суммарная льдистость – 0,51 д. ед. Для суглинков основная доля льдистости приходится на включения, что необходимо учитывать при изысканиях. Коэффициент оттаивания – 0,014 д. ед. Аллювиальные отложения второй и третьей надпойменных террас составлены в основном мелкими и средними песками с частыми прослоями пылеватых песков, суглинков, реже – супесей. Плотность песков в мёрзлом состоянии – $1,95 \text{ г/см}^3$, средняя суммарная льдистость – 0,33 д. ед., коэффициент оттаивания – 0,008 д. ед.

Озёрно-болотные отложения расположены в понижениях рельефа, представлены торф с различной степенью разложения и нечастыми прослоями суглинков и глин. Суммарная льдистость – 76 д. ед., коэффициент пористости – 15,89 д. ед., коэффициент оттаивания – 0,94 д. ед., коэффициент сжимаемости – $1,26 \text{ Мпа}^{-1}$. Высокая сжимаемость, даже при малых нагрузках, характеризует торфяные отложения как крайне неблагоприятные грунты для строительства.

Территория железной дороги Салехард–Надым располагается в районе прерывистого и островного распространения ММП, можно заметить чередование талые участки (приурочено к часто встречаемым водотокам различного

размера) с участками сливающейся и несливающейся мерзлоты. Кроме этого породы характеризуются наличием такой особенности, как двухярусное (в следствие особенностей исторического развития местности) строение ММП. Мощность верхнего яруса изменяется от 40 до 100 м с максимальными значениями в местах обильного развития торфяников. В районах поймы и речных террас мощность мерзлых грунтов может уменьшаться местами – до 30 метров, в зависимости имеющихся условий. В отдельных случаях кровля многолетне-мерзлых пород обнаружена на глубине более 50 м от поверхности. Средняя температура грунтов варьируется в пределах $-1,0$ – $(-0,2)$ °С с максимальной амплитудой – (-3) – 0 °С.

Можно подвести итог по этой подглаве. Исторически в результате периодов промерзания и протаивания образовалась двуслойные ММП с островами таликов, сквозных и несквозных. Температуры имеют относительно широкий диапазон значений. Для мёрзлых пород их значения весьма малы, а для таликовых зон достигают 8 °С (в местах застройки). Наибольший сезонный теплообмен протекает в границах годовых колебаний температур деятельного слоя, где и происходят процессы сезонного промерзания и сезонного оттаивания, оказывающие значение на строительство и эксплуатацию инженерных сооружений.

1.6. Экзогенные геологические процессы

Выше перечислены факторы, обуславливающие развитие экзогенных геологических процессов. К ним относятся: нестабильная теплообеспеченность, переувлажнение и развитие ММП. Они создают возможность реализации целого ряда этих процессов. К ним относятся криогенные (термокарст, образование бугров пучения и морозобойных трещин), вызванные ежегодным колебанием теплообмена грунтов. Абразионные, водно-балансовые и прочие процессы возникают из-за различного воздействия водных масс (грунтовых вод, атмосферных осадков, вод водотоков и водоёмов) на мёрзлые и протаивающие породы, например, способствуя заболачиванию территории и водной эрозии. Масштаб развития экзогенных геологических процессов достигает 40 %, что значительно

осложняет дальнейшее расширение городской инфраструктуры и возведение новых инженерных сооружений.

В пределах Салехарда и окрестностях встречаются области развития термокарста и западинно-бугристого рельефа. Редкими являются термоэрозионные впадины, сложившиеся под действием термокарста и заболоченности, на востоке и северо-востоке расположены многолетние бугры пучения и немного менее распространенные морозобойные трещины. На севере, вдоль Оби, обширно распространены солифлюкционные процессы (рисунок 4) и озовые валы. Вдоль движения Оби можно заметить эрозионные уступы.



Рис. 4. Пример солифлюкции на побережье в пределах г. Салехард
(фото из личного архива, дата съёмки: 15.08.2024)

На востоке и юго-востоке Надыма сильно развиты грядово-мочажинные болота. Редко морозное растрескивание. По всей Надымской площади наблюдается криогенное пучение. При воздействии объектов техногенного комплекса (главным образом это объекты транспортного комплекса и другие, различные по назначению, линейные инженерные сооружения) значительно возрастает ве-

роятность и степень заболоченности территории и частой активации термокарстовых процессов (на 20–55 % и 30–100 % соответственно) [11].

Большая протяженность проектируемой железной дороги Салехард–Надым означает большое разнообразие биотопов и микрорельефов, пересекаемых ею. Это означает разнообразие условий и подстилающих грунтов, из-за чего встречаются разные виды экзогенных геологических процессов. Как уже сказано выше, эта территория обладает большим количеством водотоков разного размера. В результате исследований аэрофотоснимков и визуальных наблюдений установлено, что для них характерны процессы боковой и донной эрозии. В летний период с выпадением осадков и образованием временных водотоков они усиливаются, что сопряжено с деградацией ММП. Широкое распространение получило заболачивание местности. Они характеризуются как низкобугристые, характеризующиеся как комплекс, в котором возникают различающиеся формы микрорельефа в виде сочетания сухих торфяных бугров и мокрых низин. Торфяно-болотные озера располагаются среди открытых низин болот. Эти озера развились в процессах неравномерного нарастания торфяной залежи и вторичного разрушения поверхности торфяников.

Ввиду образования ММП развиваются экзогенные процессы, причиной которых они и являются, а при неблагоприятных погодных условиях или антропогенной нагрузки они усиливаются. В результате нарушения условий теплообмена (сведение растительного покрова, наличие насыпи и т. д.) увеличивается глубина сезонно-талого слоя и начинается протаивание льдистых отложений – образуются термокарстовые западины глубиной до 0,8 м. Солифлюкционные процессы встречаются редко, в виде нечастых участков, описываемых наличием сильнольдистых грунтов на склонах. Часто можно встретить многолетние бугры пучения. Они образуют цепи с расстоянием 10–50 м друг от друга, одиночные редки. В среднем высота бугра составляет 1,2–5 м, максимальная – 12 м. Площади распространения бугров приурочены к площадям обширных понижений, образованных при термокарстовых процессах, распространения верховых болот и современного многолетнего промерзания грунтов. Очень редко

встречаются почвы, пораженные морозобойными трещинами. Таковые обнаружены на двух площадках. Полигональные формы рельефа встречаются редко, только на некоторых участках торфяников и оторфованных поверхностях. Реликты, характеризуются полным или частичным отсутствием полигонально-жильных льдов, и в настоящее время деградируют под действием развития термокарста.

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИУРАЛЬСКОГО И НАДЫМСКОГО РАЙОНОВ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Техногенное воздействия объектов в пределах городской инфраструктуры г. Надым и г. Салехард

Активное освоение Тюменской области в XIX веке вызвано развитием добывающего, промышленного и транспортного природопользования. Учитывая, что эта территория расположена в зоне распространения ММП, началось детальное изучение закономерностей их распространения и развития [12].

Арктические территории являются уязвимыми к антропогенному воздействию. Традиционно к причинам уязвимости северных экосистем относят:

1. Малая теплообеспеченность территорий, вызывающая малую скорость протекания биологических процессов и процессов испаряемость;
2. Малая способность к самовосстановлению из-за недостаточной инсоляции и крайне небольшого количества имеющейся биомассы, к тому же не способная быстро восстановиться при повреждении;
3. Низкая устойчивость ММП при действии внешних факторов;
4. Высокая вероятность резкой активации различных криогенных процессов при любом техногенном воздействии.

Современные города, расположенные в Арктической зоне Российской Федерации основывались в основном в качестве промышленных центров, обеспечивающих добычу, переработку и транспортировку природных ресурсов. Это определило их внешний вид. Часто встречается компактное расположение жилых домов с небольшой этажностью (девятиэтажные здания и более низкие) для увеличения эффективности передачи тепла, хотя в ранних поселениях встречаются одноэтажные строения. Также имеются разветвленная сеть транспортной коммуникации, дороги с твердым покрытием, канализацией, ТЭЦ и котельные. Для построения этой инфраструктуры природные ландшафты полностью преобразуются, верхние слои, где необходимо для строительства, изы-

маются, насыпаются техногенные грунты, что, конечно, влияет на последующий теплообмен. Стоит отметить, что у разных промышленных городов, расположенных в однотипных ландшафтах, ввиду различных техногенных грунтов и их геохимического состава, могут наблюдаться разные геокриологические процессы.

Таким образом, антропогенное воздействие в криолитозоне имеет большое практическое значение, так как образуется новая техногенно-природная среда [13]. В зависимости от доминирующей субсистемы, природной или антропогенной, в урбанизированной среде определяется возможность использовать эту уязвимую экосистему. Необходимость освоения и имеющаяся специфика этих территорий накладываются друг на друга, формируя новые специфические процессы. Конечно же, главенствующим фактором, определяющим это является формирование нового температурного поля с различной интенсивностью, создавая новый, особенный климат, характерный микроклимат города. Основными факторами, создающими новые климатические условия являются:

1. Застройка территорий приводит к изменению шероховатости поверхности и циркуляции атмосферы;
2. Тепло, выделяемое зданиями и предприятиями;
3. Изменение снежного покрова;
4. Выбросы от предприятий в атмосферу.

К антропогенным изменениям природной среды города относят: нарушение естественного режима грунтовых и поверхностных вод, нарушения земельного покрова, постоянные динамические и статические нагрузки, загрязнение (в том числе и химическое), организация свалок твердых бытовых отходов. Эти изменения необратимы, и сохранить естественные условия в таком случае невозможно. Во всех городах геокриолитозоны поэтому и наблюдается необратимая деградация ММП или её, что очень редко, агрегацию. Техногенные воздействия всегда приводят к возникновению неблагоприятных для последующих действий криогенных процессов. Наиболее масштабные изменения природной среды пришлись на север Западно-Сибирской равнины – регионы ЯНАО и

ХМАО при развитии нефтегазового комплекса. Здесь 15 из 22 городов основаны в 80-х гг. прошлого века [14].

При современном строительстве на территориях, расположенных в Арктической зоне и на ММП применяется два принципа строительства, в зависимости от состояния грунтов, при котором сооружение эксплуатируется [15]:

1. I принцип строительства – многолетнемерзлые грунты, на которых располагаются здания (или иные инженерные сооружения) сохраняются в мерзлом состоянии (в том числе при с использованием сезонных охлаждающих устройств) на этапах строительства и на протяжении последующей эксплуатации.

2. II принцип строительства – использование грунты в оттаявшем состоянии, при этом возможно протаивание во время эксплуатации или до начала строительства.

Надым является городом, основанном в 1972 г., как часто бывает с полярными городами специально для строительства и добычи ресурсов. Для Надыма – таким послужило газовое месторождение «Медвежье». Изначально здания в центре возводились согласно II принципу строительства. Для этого проектировались подвальные помещения с вентиляционными отверстиями, но позже, ввиду подтоплений, демонтированы. По мере развития городской инфраструктуры на периферии, сложенной главным образом мерзлым торфом, применялся I принцип строительства. К концу 70-х годов начались первые деформации грунтов оснований, что привело к повреждению зданий (трещины в штукатурке и стенах). В настоящее время при взаимодействии природных и техногенных комплексов сформировалась ЛТС на территории города.

Основными проблемами в организации инфраструктуры можно обозначить: повреждены или отсутствуют водостоки и отмостки, система отвода ливневых вод, часто повреждена водоотводящих коммуникаций, периодически происходят прорывы изношенных водопроводных труб. Возле сооружений накапливается вода, увеличивается влажность грунтов и температура. Эти факторы привели к широкой деградации ММП и потери несущей способности

грунтов с последующим повреждением конструкций, приводя к неравномерной усадке поверхности и фундаментов, изгибам, коррозии и выпучиванию свай, активации суффозионных процессов, подтопления, морозного пучения [16, 17]. Часть зданий в настоящее время повреждено и выведено из эксплуатации или демонтировано. Также можно отметить перераспределение снежного покрова при уборке снега. В результате значительного увеличения слоя в снежных полигонах затрудняется теплообмен, грунты не могут охладиться за зимний период, что должно происходить в естественных условиях [18].

При проектировании и зданий и геолого-инженерных изысканиях, проводимых перед строительством, геологические условия и состояние ММП отличаются от последующих, определяемых после периода эксплуатации. Наиболее распространенным явлением является просадка грунта с последующей деформацией сооружений ввиду увеличения глубины протаявшего грунта. Часто, и без того сложные мерзлотные условия могут изменяться несколько раз в пределах одного здания.

Таким образом, деградация ММП, вызванная эволюцией природных ландшафтов и взаимодействующих с ними сооружений, возведенных с многочисленными нарушениями, носит не только интенсивный, но и массовый характер. Деформация зданий протекает интенсивно, часто вскоре после введения в эксплуатацию, но это не является поводом для расселения, и они используются не смотря на это. В ходе проводимых в разные годы исследований установлено, что более 50 % сооружений в разной степени деформированы, проводится демонтаж зданий, которых предел устойчивости достигнут [19].

Самые существенные изменения естественных компонентов природной среды в городской инфраструктуры Надыма и его окрестностей произошли из-за чрезмерного и изначально неспланированного техногенного воздействия, выраженного в механическом повреждении верхних слоёв грунта, изменении физических свойств этих грунтов, тепловом внешнем воздействии и изменении режима грунтовых вод. Таким образом, сформировалась новая литотехническая система города, сильно отличающаяся от изначальной природной, гораздо бо-

лее уязвима к дальнейшим воздействиям и менее устойчивая. Изначально на крайне неравномерные ИГУ накладывается различное воздействие инженерных сооружений. Техногенные нарушения приводят следующим изменений условий:

1. Изменение естественного теплообмена поверхности грунтов с окружающей средой;
2. Тепловыделение инженерными сооружениями;
3. Повышение среднегодовой температуры грунтов (в том числе изменение амплитуды колебания температуры поверхности);
4. Изменение сезонных глубин протаивания и промерзания.

Большая часть Салехардской площади в основном относится к техногенным территориям, оказывающим наибольшее воздействие на окружающую, уже изменённую среду относятся такие объекты, как жилые здания, бытовые сооружения, ТЭЦ, транспортные комплексы, промышленные и обрабатывающие предприятия. По результатам проводимых в разные годы выделяют такие геолого-инженерные подобласти: подобласть долинного комплекса р. Обь и ее притоков (относительно не затронутая антропогенной деятельностью), а также подобласть нынешних водораздельных районов, подобласть техногенного воздействия (рисунок 5).

Области техногенного воздействия по литологическому составу представляют собой аллювиальные отложения, сложенные песками различного размера с включениями в виде гравия и галечника, озерно-аллювиальными отложениями, составленные песками с прослоями в виде линз супесей и суглинков. Глубина и характер залегания ММП неравномерен. В отдельных, наиболее напряженных в техногенном плане участках, простирается до 10 м, местами – до 100 м. Ее природные условия, конечно, нарушены, что отмечается в виде локальных увеличений глубины сезонных оттаивания и промерзания и локальном изменении температур в основном положительную и отрицательную стороны.

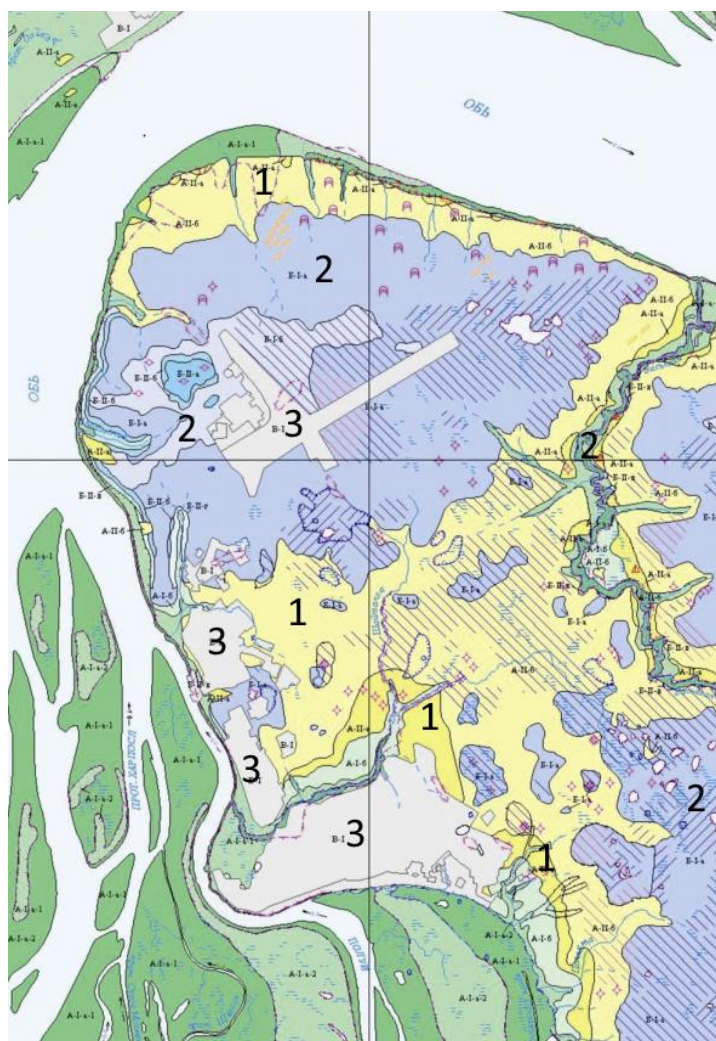


Рис. 5. Геологическое районирование Салехардской площади в зависимости от величины техногенного воздействия. Примечание: 1 – долинный комплекс Оби и ее притоков, 2 – современные водораздельные пространства, 3 – область наиболее интенсивного техногенного воздействия.

В черте города, жилого и промышленного комплексов, происходит подтопление зданий из-за дорожного покрова, зданий, что снижает поверхность почвы, способной впитывать атмосферные осадки, последующее перемораживание путей движения грунтовых вод в осенне-зимний период, как результат этого получается заболачивание придомовых и уличных территории, пучение, образование наледей на поверхности грунта. Активируются термокарстовые и термоэрозийные процессы, овражная эрозия. Как следствие этих процессов мы видим изменение естественных геологических условий, которые учитывались

при проектировании, при дальнейшей эксплуатации зданий. Нарушается целостность и устойчивость грунтовых оснований, ведущих к трещинообразованию (здания признаются аварийными) на стенах и несущих конструкций, выпучиванию свай.

Изменение природных условий вызвано, в первую очередь, негативными эффектами от дисбаланса между естественным ходом природного теплообмена, дренажа и действующего в них техногенного действия. Природные комплексы претерпевают значительные изменения.



Рис. 6. Пример деформации здания, расположенного по адресу ул. Мира, 24 (год постройки: 1972, аварийное состояние; личный архив, дата съёмки: 15 августа 2024 г.)

Район жилой застройки имеет вид 2–10-этажных зданий, имеющее централизованное тепло- и водоснабжение, канализацию, 1–2-этажные здания в основном имеют децентрализованное тепло- и водоснабжение, канализацию расположены в основном вдоль р. Полуй. Старая деревянная застройка барачного типа распространена в основном на правом берегу р. Преображенка и подвержена деформации, на левом берегу – встречается реже (рисунок 6). Более современная застройка возводится по I принципу (рисунок 7). Тут природные комплексы полностью преобразованы в урбанизированные. Транспортный ком-

плекс представлен асфальтированными, бетонным и грунтовыми автодорогами, в том числе проселочные дороги. Также ввиду близкого расположения к крупной водной артерии, рек Обь и Полуй, развита портовая инфраструктура. Значительную территорию занимают аэропорт и вертолетная площадка. Газифицированные теплоэлектростанция и районные котельные, магистральный газопровод и линии электропередач составляют объекты энергетики. Общая территория, подверженная техногенезу составляет примерно 100 км² [20].



Рис. 7. Основание здания, расположенного по адресу ул. Арктическая, 12 (личный архив, дата съёмки: 18 августа 2024 г.)

Более 90 % территории жилых кварталов возведено на искусственно выровненной поверхности [8]. При строительстве перегибы естественного масштаба сильно сглажены. Для прокладки дороги и строительства промышленных объектов заложены щебнистые и песчано-гравийные насыпи высотой до 5 м (в основном их высота в среднем 2 м). Также в промышленном районе затруднен дренаж, а кровля ММП расположена близко к поверхности. Отрицательные формы рельефа антропогенного характера представлены карьерами по

добыче песчано-гравийной смеси (глубиной менее 15 м) и дренажными каналами (до 3 м).

Загрязнение почв заключается в повышенном содержании металлов [21]. Это не затронуло жилые районы, где их содержание не превышает ПДК и находится на фоновом уровне, чего нельзя сказать про места, где располагаются автодороги, вокзалы и порты. Там наблюдается превышение Ni, Cr, Pb, Ba, Cu. В районе свалок изредка встречается превышение содержания Zn и Pb, что связано с наличием промышленных и бытовых отходов. Стоит отметить факт быстрого "затухания" интенсивности загрязнения при отделении от источников.

2.2. Техногенное воздействие объектов трассы железной дороги Салехард-Надым

Длина проектируемой однопутной железной дороги составляет 354 км, категория железнодорожной линии – II. Планируется строительство станций на трех площадках.

Площадка станции Салехард расположена на ровной поверхности III морской террасы, сложенной современными болотными, морскими и ледниково-морскими грунтами. Большая часть территории занята тундрой с травяно-моховой растительностью, незначительная часть покрыта низкорослым елово-березовым лесом. Примерно 45 % площади участка занято болотами с многочисленными термокарстовыми растущими озерами диаметром до 25 м глубиной до 2 м. Западная часть подверглась воздействию автодороги Салехард–Аксарка. В результате чего нарушился естественный тепловой режим, а глубина кровли ММП снизилась с 8 до 5 м.

Площадка проектируемой станции Татаринцево располагается на заболоченной и заозеренной равнине. Ландшафт бугристо-западинный с многочисленными буграми пучения высотой 0.3–0.4 м. Местность сильнозатрофирована (до 80 % территории), что мешает дальнейшему строительству. Мощность торфяных отложений до 5 м. Ввиду неосвоенности территории техногенные процессы отсутствуют.

Площадка станции Надым расположена на слабозаболоченной террасе р. Надым. Поверхность имеет бугристо-западинный рельеф, покрыта редкой березой и кустарниками. По краям вскрыт торфяной покров мощностью до 0,5 м. Условия для строительства благоприятные, ММП отсутствует, за исключением остаточных мерзлотных явлений в виде бугров пучения и морозного растрескивания.

В настоящее время нарушения природной среды вызваны действиями во время инженерных изысканий и ныне не используемая железная дорога. В первом случае это действие гусеничной техники, во втором – строительством, являющимся неправильным для этого региона. В дальнейшем 90 % нарушений естественного режима грунтов придется на период строительства железнодорожного полотна. Главные источники: действие строительной техники, временные дороги, поселки, насыпь, мостовые переходы.

Главными причинами активации и развития неблагоприятных и опасных геокриологических процессов при чрезмерном антропогенном воздействии рассматриваемой территории являются:

1. Неучтенный на этапе планирования измененный баланс теплообмена при возведении насыпи и других инженерных сооружений, извлечение растительности;
2. Увеличение нагрузки на поверхностный слой, и, следовательно, на подземные воды. У основания насыпи накапливается вода от атмосферных осадков, создавая узкие озера и активируя термокарстовые процессы;
4. Сток и накопление осадков у основания насыпи;
3. Ослабление закрепляющего действия растительности на грунт ввиду ее удаления. Происходят увеличение альбедо, дефляция песчаных грунтов, солифлюкция и оползни на склонах;
4. Разгрузка подземных вод. Грунтовые воды выходят на поверхность, приводя к образованию наледи.

Кроме того, во время эксплуатации железной дороги продолжится воздействие на геологическую среду. При техногенном нарушении плотности и

влажности грунтов можно ожидать просадки грунтов в основании трассы. Под действием избыточного увлажнения активируются эрозионные и суффозионные процессы, которым подвержено тело насыпи. Из криогенных процессов наиболее вероятно образование наледей возле насыпей, мостов, при сбросе технических и бытовых вод. Могут активизироваться современные термокарстовые процессы на поймах и различных по уровню надпойменных террасах. Есть вероятность возникновения под насыпью новообразованных мерзлотных грунтов.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1 Изменение многолетнемерзлых пород под влиянием техногенных факторов на территориях городской инфраструктуры

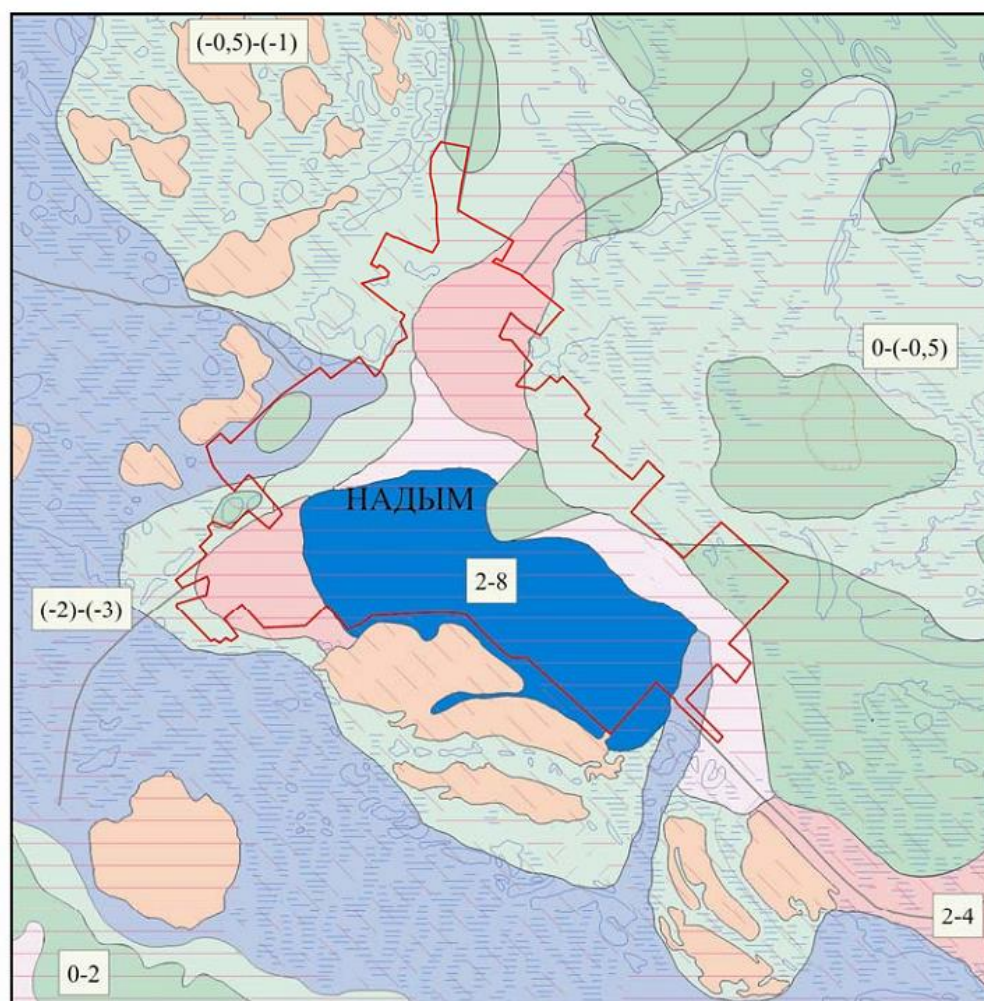
Основные изменения компонентов природной среды в пределах городской инфраструктуры Тюменской области (города Надым, Салехард и железной дороги Салехард – Надым) рассмотрены в главе 2.

В области криолитозоны, где расположены рассматриваемые города, изменение этих компонентов под влиянием техногенных факторов наиболее отчетливо проявляется в грунтах, слагающих эти области, и, которые являются основанием и средой для городских сооружений. Проектирование, строительство и эксплуатация на мерзлых грунтах требует учитывать и регулировать с сооружениями, а также с внешней средой. В случае нарушения теплообмена, изменение температуры грунта приводит к изменению состава, строения и свойств многолетнемерзлых горных пород, и сказывается на уменьшении их прочности, а также обуславливает формирование криогенных процессов, ухудшающих экологическую обстановку территорий. В процессе хозяйственного освоения территории Тюменской области, связанного с развитием городских инфраструктур, эти изменения проявились практически во всех районах городов Надыма и Салехарда. Они и рассматриваются в работе на примере городской территории Надыма. Совокупность новых отличных от естественных особенностей, антропогенное воздействие на естественную среду, и активация опасных для сооружений геокриологических процессов предопределило новые условия и особенности изменения внешнего вида, происходящие на территории криолитозоны Западной Сибири и севера Урала. [22].

На данной территории для её хозяйственного освоения проводились в различные годы инженерно-геологические изыскания, результаты которых показали, что сейчас на территории города Надыма сформировалась новая лито-

логическая система, действие и функционирование которой определено новой, ещё несбалансированной взаимосвязью природных компонентов и техногенных факторов. [23]. В результате происходящих неблагоприятных факторов со стороны техногенной сферы происходит нарушение температурного режима грунтов, изменение их физического состояния и свойств, деградация ММП, активизация опасных процессов: суффозия, подтопление, морозное пучение, термокарстовые явления.

Территория Надыма расположена, согласно геокриологическому районированию, в зоне преимущественно сплошного распространения ММП Центр города приурочен к зоне развития несквозного талика с мощностью, превышающей 10 м. Часто встречаются линзы мёрзлых пород в сезонно-талом слое. Периферия города относится к зоне мерзлоты, залегающей с поверхности, изредка встречаются участки с заглублением верхней границы до 10 м. температуры пород относительно низкие. В центральной части составляют от -2 до $-0,5$ °C. Глубина сезонного промерзания и сезонного оттаивания зависит от факторов разной природы: степенью инженерной нагрузки и литологического состава пород. В среднем составляет 5,5–3,0 м. На рисунке 8 представлена геокриологическая карта г. Надым.



Масштаб 1:50000

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I. ОБЛАСТЬ РАЗВИТИЯ ММП Залегание кровли:	
	с поверхности
	кровля опущена до глубины 5-10 м
	кровля опущена до глубины 10-20 м
	кровля опущена до глубины 20-30 м
	кровля опущена до глубины 30-50 м
	кровля опущена до глубины более 50 м
II. ОБЛАСТЬ РАЗВИТИЯ ТАЛЫХ ПОРОД	
	Предполагаемые несквозные талики (глубина не установлена)
III. КРИОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ МЕРЗЛЫХ ПОРОД	
	Массивная, характерна для песчаных и супесчаных пород
	Горизонтально-слоистые, слоисто-сетчатые, сетчатые, характерны для пород глинистого состава
	Волнистые, пloyчатые, порфировидные, характерны для торфов, заторфованных суглинков и глин
IV. ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	
	Граница кровли ММП
	Предполагаемая температура ММП ниже слоя годовых колебаний (по фондовым материалам)
	Граница Муниципального образования г. Надым

Рис. 8. Геокриологическая карта г. Надым и его окрестностей [1].

Учитывая значительное техногенное влияние на изменение многолетне-мёрзлых пород на территориях городской инфраструктуры обусловленное строительством сооружений, необходимо осуществлять теплофизические расчеты, позволяющие прогнозировать динамику этого влияния, изменение параметров ММП, сезонно-талых и сезонно-мерзлых слоев в связи с нарушением природных условий и во взаимодействии с проектируемыми инженерными сооружениями.

3.2. Оценка техногенного влияния на ММП площадки г. Надым и г. Салехард

Как было указано в 3.1, причиной возникновения различных деформаций, и как следствие, криогенных процессов, нарушающих естественную природную обстановку, является оттаивание многолетне-мёрзлых пород (ММП), которое происходит в районах освоения северных территорий при воздействии природных и техногенных факторов.

Данные долгосрочного мониторинга температуры пород на рассматриваемых территориях указывают на тренд к повышению температуры, нарастанию неустойчивости верхних, зачастую сильнольдистых горизонтов, что активизирует комплекс опасных для сооружений и экосистемы процессов. Значительное влияние оказывает отепление ММП, которое достаточно ярко проявилось на территории г. Надыма и сопровождалось вытаяванием подземного льда. В результате, за счёт усиленного теплообмена, при положительных температурах образуется слой сезонного оттаивания, подстилаемые многолетне-мерзлыми породами, что и видно на исследуемой территории. При очень схожих климатических условиях и одних и тех же тепловых воздействиях инженерных сооружений различные типы грунтов оттаивают и промерзают на разную глубину с различным действием. Глубин протаивания также зависит от микрорельефа, плотности и влажности грунта и характера произрастающей растительности в особенности – от древостоя [27].

Возникающие при этом деформации протекают по-разному. В одних случаях они могут протекать очень быстро и сопровождаются выдавливанием оттаявших грунтов – это так называемые просадки. Они обусловлены резким изменением структурных льдоцементных связей грунтов, и происходят в основном под действием локальных источников тепла (горячих печей, паровых котлов). Также под воздействием сооружений при оттаивании в их основании грунтов происходят общие деформации – осадки. Характер (величина, время) протекания осадок мёрзлых грунтов определяются их свойствами (структуры, наличия ледяных включений и др.), нагрузкой от сооружения, температурой грунта в процессе его оттаивания, и действием собственного веса оттаявших грунтов. [28].

Таким образом, на территории г. Надыма происходят процессы оттаивания ММП и осадки при оттаивании, что вызвало необходимость оценки глубины сезонного оттаивания грунтов.

Глубина сезонного оттаивания зависит от сочетания различных естественных факторов самих грунтов и постоянных погодных условий. Максимальная глубина оттаивания наблюдается в маловлажных крупнозернистых песках с включениями в виде гальки, покрытых маломощным лишайниковым покровом или при полном отсутствии любого растительного покрова. Наименьшие показатели глубины сезонного оттаивания фиксируются на заболоченных (зоторфированных) территориях или в густых лесах.

При оценке глубины сезонного оттаивания определяют нормативные и расчетные глубины сезонного оттаивания. В работе производится расчёт нормативной глубины СО грунтов слагающих площадку, одного из районов г. Надыма. На данной площадке грунты с поверхности до глубины 6.0 м представлены песками мелкими и средней крупности (рисунок 8). Плотность минеральной части (в среднем) составляет 2,67 г/см³, естественная влажность не превышает 0,11 д. ед., в среднем влажность мёрзлого грунта составляет 0,078 д. ед.. Содержание фракций > 0,1 мм для песков мелких составляет более 75-87 %. Содержание фракций более 0,25 мм для песков средней крупности составляет

более 59–76 %. Пески мелкого и среднего размера относятся к сильноводопроницаемым, что обеспечивает низкую влажность. На рисунке 9 показано геологическое строение площадки, на примере которой выполняется исследование.

Шкала глубин, м	Интервал, м		Мощность, м	Сводная геологическая колонка	Краткое описание пород	Уровень грунтовых вод, м
	от	до				
1	0,0	0,6	0,6		Насыпной грунт: песок мелкий, серовато-желтый.	
	0,6	5,6	5,6		Песок средней крупности, серовато-желтый, средней плотности.	
2						
3						
4						
5						

Рис. 9. Геологическое строение площадки г.Надыма

Наиболее распространёнными грунтами в г. Салехард являются озёрно-аллювиальные отложения второй надпойменной террасы. Они сложены песками средней и мелкой фракции с редкими включениями пылеватых песков и супесей. Среднее значение естественной влажности – 0,24 д. ед., плотность минеральной части (в среднем) составляет 2,65 г/см³. Содержание фракции более 0,1 мм в песках мелких составляет 79 %, содержание фракции > 0,25 мм в песках средней крупности – более 55 %. Средняя высота снежного покрова оставляет 0,54 м [29] его плотность – 0,34 т/м³ [30].

Нормативная глубина оттаивания определяется как наибольшая его глубина оттаивания грунта, наблюдаемая за срок более 10 лет на участках, где деятельный слой сливается с толщами многолетнемерзлых пород. Нормативная

глубина сезонного оттаивания должна быть рассчитана в условиях отсутствия растительного покрова [31].

Определяется нормативная глубина сезонного оттаивания грунта по данным режимных натурных наблюдений. Учитывая, что их проведение осуществляется во время изысканий не всегда и не всегда есть возможность получить это значение ввиду удаленности или труднодоступности этот показатель возможно рассчитывать по формуле, указанной в СП 25.13330.2020 (где такой вид расчета допускается) [15].

3.2.1. Расчёт нормативной глубины сезонного оттаивания на площадке г. Надыма и г. Салехард

Как сказано выше, мы можем рассчитать нормативную глубину оттаивания грунта $d_{th,n}$ по формуле 1. Однако здесь допускаются допущения касательно состава и свойств грунтов. Принимается, что глубины горизонтов одинаковы на всём протяжении профиля, а также они обладают однородностью морфологического состава. В дополнение для этих расчетов не имеют значения пористость, влажность, льдистость и прочие свойства.

$$d_{th,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_{th}(T_{th,c} - T_{bf})t_{th,c}}{q_1} + \left(\frac{Q}{2q_1}\right)^2} - \frac{Q}{2q_1}, \quad (1)$$

где T_{bf} – температура начала замерзания грунта, °С (согласно таблице 1);

$T_{th,c}$ – температура поверхности грунта в летний период, °С;

$t_{th,c}$ – период положительных температур, ч;

λ_{th} – теплопроводность талого грунта, Вт/(м*°С);

Q – количество теплоты грунта, Дж/кг.

Значения $T_{th,c}$, $t_{th,c}$, Q и q_1 рассчитываются по формулам 2, 3, 4, 5 соответственно

$$T_{th,c} = 1,4T_{th,m} + 2,4, \quad (2)$$

где $T_{th,m}$ – средняя температура воздуха за период положительных температур, °С.

$$t_{th,c} = 1,15t_{th,m} + 0,1t_1 \quad (3)$$

где $t_{th,m}$ – продолжительность периода положительных температур, ч (таблица 2);

t_1 – время, принимаемое равным $1,3 * 10^7$ с (3600 ч).

$$Q = \left(0,25 - \frac{t_{th,c}}{t_1}\right) (T_0 - T_{bf}) k_m \sqrt{\lambda_f C_f t_{th,c}}, \quad (4)$$

k_m – коэффициент для песчаных грунтов равным 1,0, а для глинистых – в зависимости от теплоёмкости C_f и средней температуры грунта (рассчитывается по формуле 6) (таблица 3);

λ_f – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м * °С).

$$q_1 = L_v + \left(\frac{t_{th,c}}{t_2} - 0,1\right) [C_{th}(T_{th,c} - T_{bf}) - C_f(T_0 - T_{bf})], \quad (5)$$

где L_v – теплота таяния (замерзания) грунта, Дж/м³ (формула 7)

t_2 – время, принимаемое равным $2,7 * 10^7$ с (7500 ч)

C_{th} – объемная теплоёмкость талого грунта, Дж/(м³ * °С)

C_f – объемная теплоёмкость мерзлого грунта, Дж/(м³ * °С)

$$\bar{T} = (T_0 - T_{bf}) \left(\frac{t_{th,c}}{t_1} - 0,22 \right) \quad (6)$$

где T_0 – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта, °С;

$$L_v = L_0 [W_{tot} - W_w] \rho_{d,th,f}, \quad (7)$$

где L_0 – удельная теплота фазовых превращений лёд–вода (равная $3,35 * 10^5$ Дж/кг);

W_{tot} – суммарная влажность мерзлого грунта, д. ед.;

W_w – влажность мерзлого грунта за счёт незамёрзшей воды, д. ед.;

$\rho_{d,th,f}$ – плотность скелета грунта, г/см³.

Таблица 1

Температура начала замерзания незасоленного грунта

Грунты	А, °С
Пески разных фракций	– 0,10
Супеси и пылеватые пески	– 0,15
Суглинок	– 0,20
Глины	– 0,25

Таблица 2

Средняя месячная и годовая температура воздуха

Город	Средняя температура, °С												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Надым	– 23,7	– 22,9	– 14,4	– 8,2	0,0	9,9	15,7	12,0	5,7	– 4,2	– 15,2	– 20,9	– 5,5
Салехард	– 24,2	– 23,5	– 15,4	– 9,2	– 1,1	8,6	14,4	11,1	5,3	– 4,1	– 15,2	– 20,6	– 6,2

В соответствии с СП 131.13330.2020 территории Надыма, Салехарда и планируемой железной дороги относятся к территории климатического подрайона IIГ. Таким образом, значения средней температуры воздуха период положительных температур и продолжительность этого периода принимаются с коэффициентом 0,9.

Таблица 3

Коэффициент k_m

Температура, °С	Значения коэффициента k_m при объемной теплоёмкости C_b , Дж/(м³ * °С)			
	1,3 * 10 ⁶	1,7 * 10 ⁶	2,1 * 10 ⁶	2,5 * 10 ⁶
– 1	6,8	5,9	5,3	5,0
– 2	5,2	4,5	4,0	3,7
– 4	3,7	3,2	2,8	2,5
– 6	3,0	2,6	2,3	2,1
– 8	2,5	2,2	1,9	1,6
– 10	1,8	1,6	1,4	1,2

Значение L_v для данной площадки г. Надым принимается равным 28644 Вт*ч/м³, Коэффициент теплопроводности талого и мёрзлого грунтов равны $\lambda_{th}=1,45$ Вт/(м*°С) и $\lambda_f=1,57$ Вт/(м*°С) соответственно. На исследуемой площадке среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта составляет – 2 °С. Результаты расчетов приведены в приложении А. Расчёты показали, что нормативная глубина сезонного оттаивания на площадке составляет 2,12 м.

Важно иметь в виду, что в отличие от глубины оттаивания в естественных условиях, нормативная глубина сезонного оттаивания грунта, рассчитываемая по указанным формулам, не учитывает дополнительные факторы – наличие растительного покрова, инфильтрацию атмосферных осадков, радиационную составляющую, тепловое действие зданий и др. Обычно, нормативные глубины оттаивания, учитывающие условия строительной площадки оказываются больше естественных.

3.2.2. Расчёт нормативной глубины сезонного промерзания на площадке г. Надыма

Нормативная глубина промерзания грунта также при отсутствии натуральных наблюдений рассчитывается по формуле 8.

$$d_{f,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_f(T_{bf} - T_{f,m})t_{f,m}}{q_2}}, \quad (8)$$

где T_{fm} – средняя температура воздуха за период отрицательных температур, °С;

t_{fm} – продолжительность периода, при котором температура воздуха положительная, ч;

q_2 – количество открытой теплоты, выделяемой при плавлении льда, Дж/м³ (формула 9).

$$q_2 = L_v - 0,5C_f(T_{f,m} - T_{bf}), \quad (9)$$

В результате подсчетов мы получили глубину сезонного промерзания равную 2,72 м. Это значение больше сезонного оттаивания, значит при нормальных условиях (в значении отсутствия дополнительного внешнего воздействия разных факторов, в том числе антропогенного) должно происходить создание и развитие ММП. Но согласно рисунку 7 кровля ММП залегает глубоко от поверхности в городской черте.

Таким образом, в результате расчетов установлено, что сооружения в г. Надыме оказывают негативное (отепляющее) действие на подстилающие многолетнемерзлые породы, что привело к изменению теплового состояния грунтов, увеличению их температуры, формируя глубину сезонного оттаивания,

большую нормативной глубины, равной 2,12 м. Поскольку в нормальных условиях (при сезонных процессах промерзания и протаивания, равных рассчитаным) должно происходить формирование и развитие ММП, мы должны наблюдать верхнюю границу мерзлых пород на глубине 2,12 м. Из имеющихся данных мы знаем, что кровля ММП в пределах городской черты залегает на глубине до 50 м (в некоторых случаях она не установлена), что говорит о долговременном процессе нарушения естественного теплообмена, вызвавшего деградацию мерзлых пород.

В результате расчётов для площадки г. Салехард глубина промерзания грунтов составляет 2,80 м, глубина протаивания составляет 2,35 м. Опять же здесь слой сезонного промерзания превалирует над слоем сезонного оттаивания. Различные литературные источники показывают, что на большей территории города кровля ММП залегает с поверхности, что позволяет утверждать, что теплообмен между грунтами и атмосферой, в том числе с инженерными сооружениями, находится в равновесии или смещён в сторону атмосферы.

Эти изменения в температурном режиме ММП могут способствовать формированию криогенных процессов, таких, как морозное пучение, термокарст и стать причиной деформации зданий и сооружений на площадке. Ранжирование степени риска морозного пучения для населенных пунктов российской Арктики показало, что города Надым и Салехард входят в число городов характеризующихся чрезвычайно высокой степенью реализации риска морозного пучения и повышенной вероятностью возникновения термокарстовых процессов и морозного пучения (рисунок 10, таблица 4) [32].

Таблица 4

Оценка степени риска воздействию термокарста

Муниципальное образование, 2014 г.	Распространение	Продолжительность	Повторяемость	Оценка степени риска
Тазовский*	0,05	0,42	1	0,0210
Тарко-Сале*	0,001	0,001	0,001	0,000000001
Новый Уренгой	0,005	0,50	1	0,0025
Надым	0,0075	0,50	1	0,00375
Ямбургское газоконденсатное месторождение	0,15	0,45	1	0,0675
Новый Порт*	0,20	0,40	1	0,080
Салехард	0,008	0,45	1	0,0036
Лабытнанги	0,002	0,45	1	0,0009
Харп*	0,0015	0,40	1	0,0006
Елецкий*	0,001	0,001	0,001	0,000000001
Воркута	0,01	0,45	1	0,0045
Амдерма*	0,015	0,45	1	0,00675



Рис. 10. Оценка степени риска морозного пучения для населенных пунктов российской Арктики

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА УЧАСТКАХ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ САЛЕХАРД-НАДЫМ

4.1. Взаимодействие многолетнемерзлых пород с комплексами сооружений на участках трассы железной дороги Салехард-Надым

Строительство железнодорожной линии Салехард – Надым планируется в рамках проекта «Создание железнодорожного Северного широтного хода (СШМ) «Обская – Салехард – Надым – Пангоды – Новый Уренгой – Коротчаево» и железнодорожных подходов к нему» (рисунок 11). Также в пределах рассматриваемого участка будет возведена станция Татаринцево [33]. Особенности геологического строения трассы и основные факторы техногенного воздействия объектов железнодорожной линии Салехард – Надым изложены в главах 1 и 2.

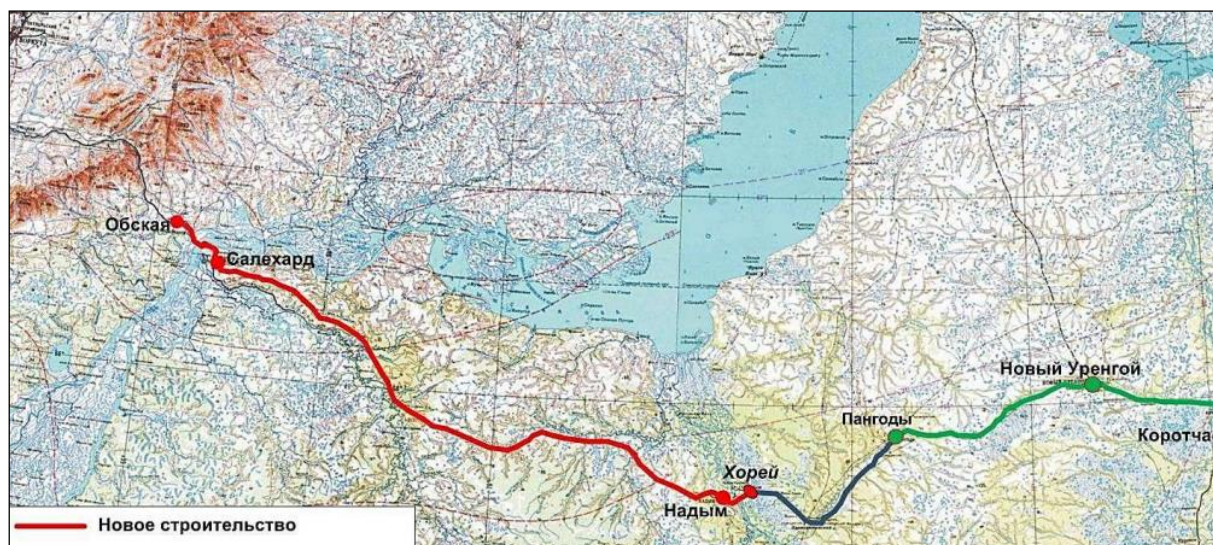


Рис. 11. Трасса железной дороги Салехард–Надым

Трасса проходит на стыке двух природных зон – северной тайги и лесотундры, при этом пересекает три области, выделяемые согласно геоэкологическому районированию в зависимости от характеристик ММП (таблица 5).

Геокриологическое районирование территорий прокладки трассы [34]

Область	Температура породы, °С	Мощность пород, м	Тип распространения ММП	Состав пород	Криогенные процессы
Усть-Обская	–0,1–3	80	островная	пески, супеси, суглинки	термоэрозия, образование бугров пучения
Обь-Надымская	1	40	массивно-островная	пески, супеси, суглинки	термокарст, бугры пучения, гидролаколиты
Надымская	–0,5–1,5	50–70	массивно-островная	пески	бугры пучения

Учитывая, что трасса железной дороги расположена в сильно различающихся условиях и на основе ранее описанных возможных различиях в характере образования мерзлоты можно точно утверждать, что, естественно, на различных её участках будет происходить развитие и активизация различных по своей сути возможному ущербу геокриологических (мерзлотно-динамических) процессов. Они представляют опасность, как для природной среды (экосистемы), так и для техногенных объектов, самого полотна и соответствующих сооружений, подверженным их действию. [35]. Особое место среди криогенных процессов в пределах трассы занимают: морозное пучение грунтов, термокарст, солифлюкция наледи, морозобойные трещины, термоэрозия (рисунок 12) [36].



Рис. 12. Криогенные процессы, активация которых наиболее вероятно в пределах железнодорожной трассы

Также, как и в городских инфраструктурах, в пределах железнодорожной трассы появление новых условий нарушают естественную природную обста-

новку, являясь причиной возникновения различных деформаций, которые протекают по-разному в зависимости от техногенного воздействия сооружений, и выражаются в просадках и осадках грунтов, что показано в главе 3.2.

Результаты оценки состояния железнодорожной трассы производилось ОАО «Ленгипротранс» и показали, что все деформации железнодорожного полотна связаны с просадками, размывом насыпи, сплывами. При этом, преобладают просадки, которые появляются практически по всей трассе. Выделено два типа просадок: резкие (именно просадки) и равномерные осадки земельного полотна. На мерзлых грунтах встречается их наибольшее количество. Осадка наблюдается во всех природных комплексах, но особенно развиты в зоне распространения торфяников, на заболоченных территориях, глиняных грунтах, где при протаивании влага в виде льдистых включений будет мигрировать. Объём подстилающих грунтов будет уменьшаться на локальном уровне, в зоне непосредственного воздействия. Основной причиной формирования этих деформаций при строительстве железных дорог является изменением теплообмена на поверхности при возведении насыпей различной высоты.

За период мониторинговых наблюдений на протяжении нескольких лет наблюдается стабилизация положения кровли многолетнемерзлых пород почти на всех обследованных объектах. Результаты наблюдений за температурным режимом грунтов показывают, что за двухлетний период строительства и эксплуатации железной дороги имеется выраженная тенденция повышения среднегодовой температуры грунтов у подножья насыпи и подходах к ней на расстоянии до 30 м. Степень влияния насыпи на температурный режим грунтов в основном зависит от высоты насыпи, её расположения относительно склонов и расположения Солнца и условий снегонакопления [37].

Деформации дневной поверхности, происходящими в районе прохождения трассы, обусловлены развитием, как сказано выше, опасным и широко распространённым криогенным процессом – морозным пучением, в результате которого образуются бугры пучения (рисунок 11). Эти формы рельефа формируются в результате многолетнего постоянного пучения грунтов и могут преобра-

зовываться в гряды, внутри которых расстояние между буграми может составлять в среднем 30 м. Постоянное сезонное пучение грунтов развивается на участках трассы с глубоко расположенной кровлей многолетнемерзлых пород и проявляется повсеместно на грунтах, имеющих тенденцию к пучинистыми процессам (от пылеватых песков до глин). Это в значительной степени изменяет природную обстановку (разрушение форм микрорельефа, выделение воды и разжиженный переувлажнённый грунт) и точно будет угрожать целостности и работоспособности будущего железнодорожного полотна, вызывая риск реализации аварийных ситуаций, и прочих сооружений, как в период строительства, так и при эксплуатации [38].

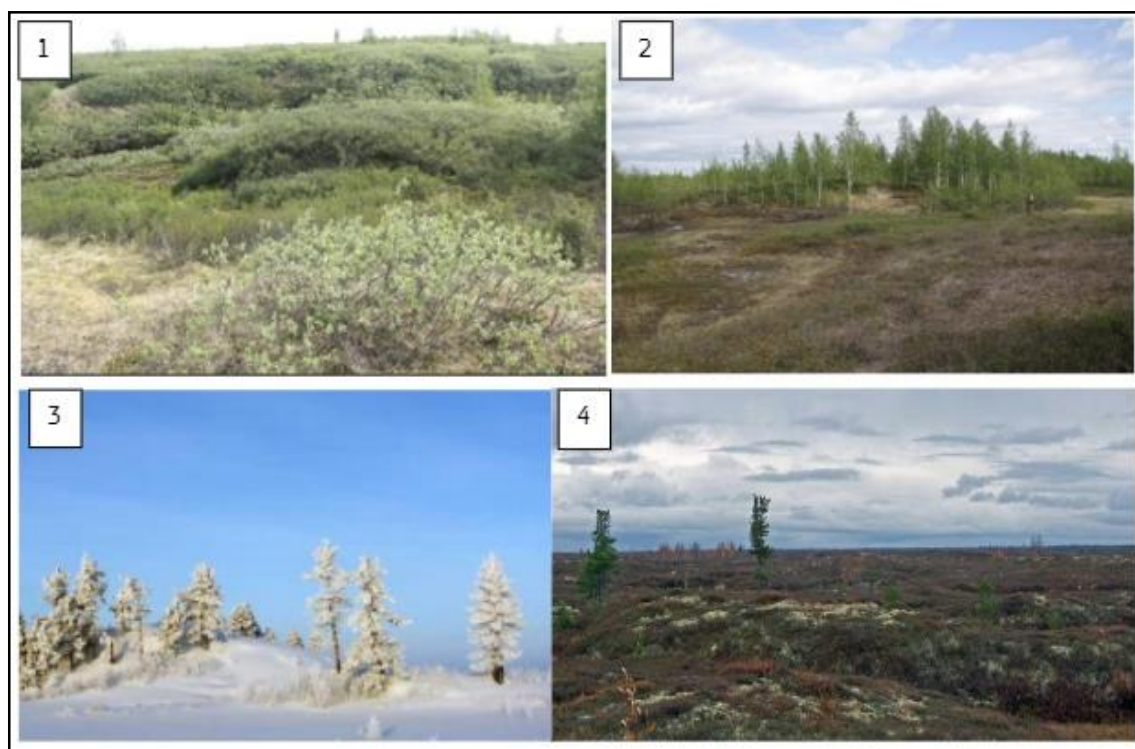


Рис. 13. Бугры пучения, зафиксированные при изучении участков железнодорожной трассы Салехард – Надым. [39]

4.2. Оценка возможности развития криогенного процесса на участке трассы железной дороги Салехард-Надым

Основным конструктивным элементом дорог является насыпь. При её проектировании необходимо учитывать возможность развития в её основании

криогенных процессов, а также тепловое воздействие насыпи на ММП. Насыпь меняет условия теплообмена в системе «атмосфера–литосфера», что приводит к изменению температуры ММП и расположению её кровли [40].

В связи с этим, в работе рассматривается возможность развития как наиболее опасного криогенного процесса – морозного пучения грунтов, расположенных на участке трассы железной дороги Салехард-Надым на площадке проектируемой станции Татаринцево.

Площадка находится на обширной заболоченной и заозеренной водораздельной равнине. Поверхность бугристо-западинная с многочисленными буграми пучения высотой от 0,3 до 3–4 м. Их можно отчетливо заметить на рисунке 2 под номером 4.

В геологическом строении участвуют среднечетвертичные отложения салехардской свиты, перекрытые современными озерно-болотными отложениями. Салехардская свита представлена мягко- и текучепластичными суглинками и пластичными супесями [39].

С целью оценки возможности развития морозного пучения выполняется расчёт вероятности развития морозного пучения и его возможной величины (влажности вероятности (порога) пучения). Данные полевых испытаний характеристик грунтов, используемые далее для расчёта, предоставлены организацией СпецПромТех [39].

Влажность предела пучения для грунтов характеризует такое предельно стабильное состояние немерзлого грунта, при котором не происходит увеличение его объема в процессе замерзания воды, заполняющей его поровое пространство. Этот порог может быть достигнут, если такой показатель, как естественная влажность (W_e), превышает влажность порога пучения грунта ($W_{n.n.}$), определяемого по формуле 10 [41]:

$$W_{n.n.} = W_w + n(W_{кр} - W_w), \quad (10)$$

где W_w – влажность за счет незамерзшей воды, д.е. (определяется по стандартным кривым зависимости температуры от соответствующей влажности для данного типа грунта).

$$W_{кр} = 0,91 W_n;$$

W_n – полная молекулярная влагоемкость, находится по формуле 11:

$$W_n = W_e / S_r, \quad (11)$$

где S_r – коэффициент водонасыщения

Коэффициент n определяется в зависимости от амплитуды колебаний среднегодовой температуры и составляет 0,5 для данного участка при годовой амплитуде колебания температур на поверхности грунта равной 8,68 °С. В процессе исследования на площадке были получены данные по скважинам, которые были использованы в работе для расчёта влажности вероятности пучения ($W_{n.n.}$) (таблица 5).

Таблица 5

Показатели свойств грунтов, расположенных в разрезе исследуемой площадки

№ скв.	Наименование грунта	Показатели свойств грунтов				
		W_e , д. е.	$W_{кр}$, д. е.	W_w , д. е.	S_r , д. е.	ρ , г/см ³
1	Суглинок мягкопластичный	0,234	0,213	0,081	1	2,05
2	Супесь пластичная	0,189	0,183	0,045	0,94	2,02

В результате выполненных расчетов получили следующее значения:

Суммарная влажность для скважины №1:

$$W_{n.n.} = 0,147 \text{ д. е.}$$

Суммарная влажность для скважины № 2:

$$W_{n.n.} = 0,114 \text{ д. е.}$$

Из полученных результатов можно сделать следующий вывод: естественная влажность на обеих скважинах превышает влажность порога пучения, что определённо создаёт вероятность протекания процессов морозного пучения. Можно ожидать повреждение земляного полотна и прочих инженерных сооружений в районе станции Татаринцево.

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВИЗАЦИИ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В результате изучения литературных источников получены и сформулированы следующие рекомендации по минимизации вероятности возникновения опасных геокриологических процессов и снижения общей несущей способности грунтов в результате эксплуатации инженерных сооружений.

В первую очередь это мероприятия, направленные на мониторинг уже существующих условий, сложившихся при эксплуатации площадей и инженерных сооружений, с последующим анализом динамики [42]. Эти действия направлены на выявления подверженных для активации опасных процессов участков и определение температурного поля. Предлагаются следующие мероприятия:

1. Визуальное наблюдение за территориями вблизи инженерных сооружений и состоянием самих этих зданий. Фиксируются провалы и бугры на поверхности оснований, трещины и наклоны стен;
2. Проводить термометрические наблюдения в подготовленных скважинах для точного определения деятельного слоя;
3. Проводить измерения уровня грунтовых вод с применением пьезометрических скважин;
4. Фиксировать высоту и плотность снежного покрова, влияющие на теплообмен, уменьшая его;
5. Отбор образцов грунтов для определения механических свойств до непосредственного действия сооружений [43];
6. Картирование и районирование территорий, оценка природной и изменённой среды к антропогенным действиям.

После сбора предлагаемых данных составляется план строительства на основании имеющихся и прогнозируемых условий. В зависимости от условий выбирается принцип строительства. Часто наиболее экономически обоснован-

ным является I принцип. В этом случае на этапе эксплуатации сооружения крайне чувствительны к изменениям несущей способности оснований (изменению температурного режима грунтов). Здесь имеет место быть расчет на изменение климата. Это позволит решить возникающие практические задачи, связанные с освоением северных районов:

1. Оценка сложности геокриологических условий;
2. Оценка степени опасности активации опасных криогенных процессов при техногенных воздействиях;
3. Разработка мероприятий по снижению этих процессов;
4. Оптимальное и рациональное расположение инженерных сооружений;

Как сказано выше, уже существующие сооружения в разной степени повреждены или потенциально могут быть повреждены в результате эксплуатации. В этом случае необходимо пристальное внимание за их состоянием. Здесь необходимо проводить мероприятия по устранению и минимизации последствий техногенного воздействия. Решение об их необходимости и конкретных действиях принимается на основании раннее проведенного мониторинга. Инженерно-геокриологический мониторинг является неотъемлемой частью использования инженерных сооружений в условиях наличия ММП. К нему могут относиться:

1. Организация дренажных систем и водостоков, учитывающий наиболее вероятный путь движения стоков атмосферных осадков, при котором их воздействие будет иметь минимальное воздействие на повышение влажности грунтов и, как следствие на вероятность морозного пучения в зимний период;
2. Тепловая изоляция подвальных помещений и устройство проветриваемых подполий для минимизации теплового воздействия на грунты основания и устойчивость ММП в будущем (при учете того, что строительство проводилось согласно II принципу;

3. Перераспределение снежного покрова (вывоз снега за пределы застроенных территорий), где термоизоляционные свойства снега не будут существенно влиять на уже сложившуюся геокриологическую обстановку. Также можно допустить организацию специальной площадки вдали от уже имеющихся инженерных сооружений, экономическое использование сейчас или в будущем не предвидится [44];

4. Восстановление (при возможности – сохранение) растительного покрова в весенний период, когда глубина деятельного слоя максимальна. Это позволит сохранить ММП более эффективно;

5. Отсыпка песчаных непучинистых грунтов при подготовке территории для строительства или освоения. Эта процедура создаст благоприятную для строительства площадку, где глубина сезонного промерзания будет наибольшей;

6. Использование СОУ и теплоизоляционных материалов покрытия для наиболее проблемных площадок и зданий, подверженных повреждению при провалах грунта;

7. Проведение постоянного геотехнического мониторинга грунтов, на которых расположены основания сооружений, что позволит отслеживать тренды температурных полей и устойчивости грунта.

Скважины для термометрических наблюдений должны быть глубиной 10 м с расположением датчиков на глубинах 2, 3, 5 и 10 м. Кроме того должна быть возможность определения температуры ручным методом. В точке нулевых колебаний температуры (примерно 10 м от поверхности), этот показатель на протяжении года слабо меняется, так что принимается для расчетов среднегодовой температуры мерзлых пород [45]. Определение кровли ММП возможно различными методами: электроразведка, георадиолокация, сейсморазведка [46].

Для наиболее проблемных (имеется в виду поверхностные породы, сложенные глинами, суглинками и торфами) отрезков железной дороги Салехард – Надым рекомендуем устанавливать мониторинг в виде термодатчиков в термоскважинах [47]. С левой стороны они располагаются вне зоны теплового воз-

действия (получаем фоновые значения), в зоне подошвы откоса насыпи и в зоне основной площадки насыпи. Такие же с правой стороны. Это позволит оценить температуры грунтов и рассчитать температурное поле. Для минимизации вероятности активации морозного пучения рекомендуем увеличить высоту земляного полотна и уменьшить величину откоса насыпи. Это действие должно уменьшить глубину промерзания естественных грунтов, что уменьшит пучение грунтов. Для предотвращения активации различных геокриологических процессов на наклонной поверхности с нагорной стороны необходимо предусмотреть систему отвода поверхностных и грунтовых вод от полотна насыпи. Также во время строительства требуется максимально сохранить сплошность почвенно-растительного покрова. Для этого рекомендуется проводить действия в то время, когда почвенный покров наименее подвержен к механическому воздействию – в зимний период [38].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе обобщения и анализа современных сведений и данных применительно к цели и задачам магистерской диссертации формулируются следующие основные выводы.

1. Дана характеристика основным компонентам природной среды Надымского и Приуральского районов Тюменской области. Пологий наклоненный ландшафт при высокой степени выпадения осадков и недостаточное теплообеспечение создают условия для переувлажнения почвы, что чревато активацией различных геокриологических процессов (в основном – образование бугров пучения).

2. Рассмотрены возможные источники техногенного воздействия. Для очень уязвимой к любым воздействиям арктической зоны это почти любой антропогенное воздействие. В рамкой изучаемой темы это города, являющиеся промышленными центрами, различные горнодобывающие предприятия и обслуживающая их инфраструктура (автомобильные и железные дороги).

3. Геокриологические условия уникальны и разнообразны. Здесь присутствует сохранившееся древняя мерзлота, в результате чего она «двухъярусная». При продвижении с севера на юг мерзлота становится более прерывистой. Основная часть Приуральского района и город Салехард в геокриологическом плане находится в зоне сплошного развития ММП с редкими участками талых зон. Надымский район и город Надым расположены в зоне прерывистого развития ММП. Периферическое географическое расположение относительно территории расположения АЗРФ обуславливает шаткое положение стабильности при антропогенном воздействии.

4. Основное действие, влияющее на изменение природной среды, оказывают города, предприятия по добыче минеральных ресурсов и связывающая их инфраструктура. Поселения для удобства коммуникаций организуются компактными, плотно концентрируя теплопередачу, существенно ускоряя деградацию мерзлоты.

5. В пределах Салехарда и окрестностях встречаются области развития термокарста и западинно-бугристого рельефа. Редкими являются термоэрозийные впадины, сложившиеся под действием термокарста и заболоченности. По всей Надымской площади наблюдается криогенное пучение. Изменение несущей способности грунта вызывает повреждение зданий и железнодорожного полотна.

6. Для Надыма предполагается продолжение негативного воздействия на здания и инженерные сооружения. В Салехарде активно строятся здания по I принципу строительства, так что можно предположить уменьшение негативного воздействия. На участках трассы железной дороги Салехард – Надым ожидается её повреждение в будущем.

7. В качестве практических рекомендаций даны предложения по вывозу снега в места, где кровля мерзлоты залегает на небольшой глубине. В городах это должно способствовать увеличению глубины промерзания. Также, нужно продолжать строительство по I принципу и использовать СОУ на проблемных участках. Для железной дороги нужно строить более высокое земляное полотно, уменьшая глубину промерзания подстилающих грунтов (в основном состоящих из глин и органического вещества) и использовать изолирующие материалы в её составе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязнов, О. Н. Инженерно-геологические условия долинных областей криолитозоны Ямало-Ненецкого автономного округа и их трансформация под воздействием техногенеза: монография / О. Н. Грязнов, И. В. Абатурова, И. А. Савинцев, И. А. Емельянова, И. Г. Петрова, Л. А. Стороженко; под ред. О. Н. Грязнова. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2014. – 198 с.;
2. Переладова, Л. В. Особенности морфологии и гидрологического режима озёр территории Ямало-Ненецкого автономного округа / Л. В. Переладова, А. А. Кормильцева // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2017. – Т. 3, № 1. – С. 35–46;
3. Современные условия гидрологических процессов малых рек юга Ямало-Ненецкого автономного округа / В. А. Иванов [и др.] // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2023. – № 3 (120). С. 52–75;
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год / Росгидромет. – Москва, 2022. – 104 с. Режим доступа: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf>;
5. Архипов, С. А. Четвертичный период в Западной Сибири / Новосибирск: Наука. – 1971. – 330 с.
6. Зылёва, Л. И., Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 – Салехард. Объяснительная записка. / Л. И. Зылёва, А. Л. Коновалов, А. П. Казак [и др.]. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2014. – 396 с.
7. Московченко, Д. В. Биогеохимические особенности ландшафтов Надыского района ЯНАО / Д. В. Московченко, Е. А. Романенко // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2022. – № 4 (60). – С. 122–136.

8. Ермеленко, Е. А. Антропогенная трансформация рельефа населенных пунктов нижнего Приобья / Е. А. Ермеленко [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2022. – № 1. – С. 69–86.
9. Емельянова, И. А. Основные причины деформации зданий и сооружений городов криолитозоны / И. А. Емельянова // Литосфера. – 2011. – № 3. – С. 144–149.
10. Иванов, Ю. К. Палеографические аспекты формирования химического состава пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа / Ю. К. Иванов, В. А. Башенцев // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 188–196.
11. Савинцев, И. А. Инженерно-геологические условия долинных областей криолитозоны ЯНАО (на примере Салехардской и Надымской площадей): специальность 25.00.08 "Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Савинцев Иван Андреевич; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург, 2012. – 26 с.
12. Лихачева, Э. А. Эколого-географический анализ и оценка природно-антропогенных рисков на урбанизированных территориях / Э. А. Лихачева, И. В. Чеснокова, Г. М. Черногаева; под ред. В. М. Котлякова // Инновационные и интегральные процессы в регионах и странах СНГ. – М.: Медиа-Пресс. – 2011. – С. 38–48.
13. Лихачева, Э. А. Ресурсные города в зоне многолетнемерзлых пород / Э. А. Лихачева, Л. А. Некрасова, И. В. Чеснокова [и др.] // Региональные геосистемы. – 2018. – № 4 (42). – С. 497–506.
14. Баду, Ю. Б. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты / В. Т. Трофимов, Ю. Б. Баду, Ю. К. Васильчук [и др.]. – М.: Наука, 1987. – 219 с.
15. СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/689/SP-25.pdf> (Дата обращения: 13.03.2024).

16. Осадчая, Г. Г. Эколого-географические принципы рационального природопользования на севере / Г. Г. Осадчая, Т. Ю. Зенгина // Материалы межрегиональной научно-практической конференции "Роль университетов в реализации арктической стратегии России: экологические, технологические, социокультурные аспекты. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет. – 2013. – С. 22–26.
17. Чеснокова, И. В. Подходы к оценке антропогенного морфогенеза в криолитозоне / И. В. Чеснокова // Антропогенная геоморфология: наука и практика: материалы XXXII Пленума. – М. – ИвановБелгород: ИД "Белгород". – 2012. – С. 124–128.
18. Брушков, А. В. Основы мерзотоведения: Учебник для вузов / А. В. Брушков, О. В. Жданеев, К. Н. Фролов. – М.: Академический проект, 2024. – 190 с.
19. Абатурова, И. В. Исследование причин деградации многолетнемерзлых пород на примере г. Надыма / И. В. Абатурова, И. А. Носкова // Известия УГГУ. – 2007. – № 22. – С. 75–80.
20. Грязнов, О. Н. Трансформация геологической среды урбанизированных территорий Северного Приобья. Техногенная трансформация геологической среды / О. Н. Грязнов, И. В. Абатурова, И. Г. Петрова, Е. В. Селезнева // Материалы Международной научно-практической конференции (Россия, Екатеринбург, 17–19 декабря 2002 г.). – Екатеринбург: УГГГА. – 2002 г. – 174 с.
21. Лихарев, Б. В. Эколого-геологические условия города Салехарда / Б. В. Лихарев // Известия УГГУ. – 2003. – № 4. – С. 52–54.
22. Хилимонюк, В. З. Методические аспекты оценки эколого-геологических рисков городских территорий / В. З. Хилимонюк, И. В. Чеснокова // Тезисы доклада III Международного симпозиума "Экология, вода, человек". – Хургада. – 2007. – С. 107–111.
23. Абатурова, И. В. Закономерности распространения толщ многолетнемерзлых пород в районе г. Салехард / И. В. Абатурова, Б. В. Лихарев, И. А. Носкова, И. С. Сабуров // Известия УГГУ. – 2003. – № 18. – С. 229–232.

24. Емельянова И. А. Прогноз изменения инженерно-геологических условий городской инфраструктуры в криогенной зоне Западной Сибири (на примере г. Надым): специальность 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Емельянова Ирина Андреевна; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург, 2010. – 22 с.
25. Абатурова И.В. Мониторинг литотехнической системы северных городов (на примере г. Надыма) / И. В. Абатурова, И. А. Емельянова, Л. А. Стороженко // Труды международной научной конференции «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем». – М., 2007. – С. 151-152.
26. Грязнов, О. Н. Комплексные гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические исследования масштаба 1:50000 территории г. Надым: отчет / О. Н. Грязнов [и др.] – Екатеринбург. – 2006.
27. Гребенец В.И. Влияние опасных криогенных процессов на инфраструктуру городов в Арктике / В. И. Гребенец [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – № 2. – 2022. – С. 25–36.
28. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов (общая и прикладная): учеб. пособие / Н. А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 448 с.
29. Чичерин, С. И. Эколого-геохимическое состояние снежного покрова города Салехард и карбонового полигона "Семь лиственниц" / С. И. Чичерин [и др.] // Исследования молодых географов: Сборник статей участников зимних студенческих экспедиций. – Москва: ИП Ерхова И.М. – 2024. – С. 37-45.
30. Никитин, К. А. Отопляющее влияние снежного покрова на севере Западной Сибири (на примере Салехарда) / К. А. Никитин // Advances in Science and Technology: Сборник статей XLII международной научно-практической конференции, Москва, 31 января 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Актуальность.РФ". – 2022. – С. 82–83.

31. Никитин, К. А. Отепляющее влияние снежного покрова на севере Западной Сибири (на примере Салехарда) / К. А. Никитин // *Advances in Science and Technology: Сборник статей XLII международной научно-практической конференции*, Москва, 31 января 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Актуальность.РФ". – 2022. – С. 82–83.

32. Толманов, В.А., Оценка негативного влияния криогенных процессов на инфраструктуру ЯНАО / В. А. Толманов, В. И. Гребенец, Ф. Д. Юров // *Материалы XV Общероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации»*. – М.: Геомаркетинг. – 2019. – С. 284–290.

33. Федоров, Ю. Н., Фейло М. Б., Чурилин А. Ю., Поречина И. А. Создание железнодорожного Северного широтного хода / Ю. Н. Федоров, М. Б. Фейло, А. Ю. Чурилин, И. А. Поречина / *Транспорт Российской Федерации*. – 2017. – №4 (71). – С. 40–44.

34. Трофимов, В.Т. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты / В. Т. Трофимов, В. В. Баулин, Ю. К. Васильчук // *Геокриология СССР. Западная Сибирь* – М.: Недра. – 1989. – С. 159–162.

35. Гарагуля, Л. С. Роль геокриологических процессов в формировании и динамике экосистем криолитозоны / Л. С. Гарагуля, Г. И. Гордеева, Е. Н. Оспенников // *Криосфера Земли*. – 2012. – Т. XVI, № 4. – С. 31–41.

36. Корвет, Н. Г. Оценка влияния опасных геологических процессов на инженерно-геологические и геоэкологические условия участка трассы железной дороги Салехард-Надым / Н. Г. Корвет, М. Б. Заводчикова, М. А. Лаздовская // *Материалы XVI Международной научно-технической конференции «Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология – 2020): в 2 т.* / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ. – Т. 1 – 2020. – 357 с.

37. Шаманова И. И. Техногенные изменения геокриологических условий железнодорожной линии Обская-Бованенково (полуостров Ямал) по результатам инженерно-геокриологического мониторинга / И. И. Шаманова, С. Н.

Титков, А. В. Максимов / Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. – Тюмень: Печатник. – Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. – 2012. – С. 337–338.

38. Технический отчет. Инженерно-геокриологические исследования по объекту «Строительство железнодорожной линии Салехард – Надым». Стадия изысканий: Разработка рабочей документации. Пояснительная записка. Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью СпецПромТех. – 2011. – 161 с.

39. Полякова, К. В. Геокриологические процессы как фактор изменения природной среды на участках трассы новой строящейся железной дороги Салехард – Надым. / К. В. Полякова // Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции «Азимут ГЕОнаук — 2022». — Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. –Вып. 3. – 2023. – С. 413–416.

40. Усов, В. А. Инженерное мерзлотоведение / В. А. Усов, Т. Н. Николаева // Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб. – 2014. – 53 с.

41. Кудрявцев, В. А. К методике лабораторных исследований влагопереноса в глинистых грунтах / В. А. Кудрявцев, Е. Д. Ершов // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во МГУ. – Вып. XI. – 1971. – С. 183–187.

42. Абатурова, И. В. Мониторинг литотехнической системы северных городов (на примере г. Надыма) / И. В. Абатурова, И. А. Емельянова, Л. А. Стороженко // Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: труды Междунар. науч. конф.– М., 2007. – С. 151–152.

43. Шихов А. И. Метод геотехнического мониторинга оснований сооружений на вечномерзлых грунтах, основанный на совместном применении механических испытаний и акустического неразрушающего контроля: специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»: диссертация на соискание ученой степени кандидата тех-

нических наук / Шихов Александр Игоревич; Санкт-Петербургский горный университет. – Санкт-Петербург, 2021. – 175 с.

44. Брушков А. В. Мониторинг вечной мерзлоты / А. В. Брушков, А. Г. Алексеев, Д. С. Дроздов [и др.] // М.: Академический проект, 2024. – 463 с.

45. Методические рекомендации по гидрогеологическому и геокриологическому изучению верхних горизонтов пород при региональных и поисковых работах на нефть и газ в криолитозоне / Отв. ред. С. Е. Гречищев, Е. С. Мельников. // ВСЕГИНГЕО. – М, 1989 – 108 с.

46. Кошурников, А. В. Информативность геофизических методов разведки при решении геокриологических задач на суше и шельфе / А. В. Кошурников, Н. Э. Демидов, А. Ю. Желтенкова [и др.] // Российские полярные исследования. – М., 2019. – № 2. – С. 17–23.

47. СП 447.1325800.2019 «Железные дороги в районах вечной мерзлоты. Основные положения проектирования». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561027907> (Дата обращения: 15.07.2024).

Таблица 6

Промежуточные значения, полученные при расчётах глубин промерзания и протаивания

Показатель	Обозначение	Значение	
		Надым	Салехард
Средняя температура воздуха за период положительных температур, °C	$T_{th,m}$	7,8	8,91
Продолжительность периода положительных температур, ч	$t_{th,m}$	3304,8	2635,2
Температура грунта, °C	T_0	-2	-0,5
Температура начала замерзания грунта, °C	T_{bf}	-0,1	-0,1
Коэффициент теплопроводности в мерзлом сост., Вт/м °C	λ_f	1,57	1,57
Коэффициент теплопроводности в талом сост., Вт/м °C	λ_{th}	1,45	1,45
Объемная теплоемкость в мерзлом сост., Дж/(мг ³ * °C) 10 ⁶	C_f	603	4658
Объемная теплоемкость в талом сост., Дж/(мг ³ * °C) 10 ⁶	C_{th}	835	4658
Суммарная влажность, д. е.	W_{tot}	0,11	0,24
Плотность скелета грунта, г/см ³	$\rho_{d,th,f}$	2,67	2,65
Теплопоток в мерзлые породы, Дж ³	Q	3415	2239
Количество открытой теплоты, поглощаемой при плавлении льда, со- держасьего в породе, Дж/м ³	q_l	34236	25617
Нормативная глубина сезонного оттаивания, м	$d_{th,n}$	2,12	2,35
Нормативная глубина сезонного промерзания, м	$d_{f,m}$	2,72	2,80