



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра Геоэкологии и природопользования полярных областей

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

На тему Влияние деятельности нефтегазового комплекса в ЯНАО на
мерзлотные процессы

Исполнитель

Максарова Екатерина Эдуардовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

профессор, кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Макеев Вячеслав Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

профессор, доктор географических наук

Стурман Владимир Ицхакович

«06» 06 2016 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

Оглавление

Введение.....	3
1. Природные особенности Ямало-Ненецкого автономного округа.....	6
1.1 Климат.....	6
1.2 Ландшафты.....	10
1.3 Поверхностные и подземные воды.....	11
1.4 Растительность.....	12
1.5 Животный мир.....	13
1.6 Население.....	13
1.7 Экономика.....	14
2. Особенности геокриологического строения ММП.....	16
2.1 Техногенное воздействие на ММП.....	25
2.2 Криогенные процессы, происходящие в толще ММП под влиянием объектов нефтегазовой промышленности.....	36
3. Рекомендации по уменьшению отрицательных последствий хозяйственной деятельности.....	42
Заключение.....	45
Список использованной литературы.....	47

Введение

Большинство нефтегазовых месторождений России расположены на территории распространения многолетней мерзлоты – криолитозоны. Ее площадь составляет почти 65% площади всей страны.

Многолетняя мерзлота занимает всю территорию Ямало-Ненецкого автономного округа. Особое внимание на мерзлоту в ЯНАО начала уделяться тогда, когда стала разворачиваться нефте- и газоразведка на территории. Преобладающая часть месторождений находится в северной и юго-восточной части округа. Развитие нефтегазоразведочных и потом эксплуатационных работ оказывает воздействие на все компоненты окружающей среды. И почти каждый компонент связан с многолетней мерзлотой. Изменение одного из них влекут за собой ряд новых процессов с другими элементами.

В своей работе я взяла один из этих компонентов, а именно многолетнемерзлые породы. Под воздействием деятельности нефтегазовой промышленности происходит изменение состояния многолетней мерзлоты, которое вызывает обратное воздействие изменение свойств мерзлых пород на объекты нефтегазовой промышленности и инфраструктуры.

Для хозяйственного освоения сурового севера требуется тщательное выяснение инженерно-геологических условий, анализ состояния окружающей среды, прогноза экологических последствий освоения и влияния хозяйственной деятельности на мерзлотные процессы, разработка возможных технических решений при применении инженерных сооружений и инженерная защита территории освоения.

Одной из важных пунктов в освоении территории в областях распространения вечной мерзлоты это предвидеть динамику изменения мерзлых пород на фоне высокой техногенной нагрузки.

Данному вопросу, а именно по воздействию на мерзлотные процессы, посвящено очень мало работ, но носит достаточно актуальный характер в связи с освоением территорий, так как мерзлота препятствует и создает осложнения для хозяйственной деятельности. Материал с основным выпускался с 80-ых по 2000-е года и изложен в монографиях, научной и учебной литературе с рекомендательным характером, в сборниках с проведенных конференций и носит общий характер, и обычно выделена для этого совсем небольшая часть.

На данный момент кто только не говорит о глобальном потеплении и таянии многолетней мерзлоты в глобальном масштабе. За последние пару десятков лет выпустились не только научные издания и статьи, но она также стала предметом обсуждения у политиков и ученых на научных конференциях и политических форумах, для которых важным моментом стали влияние климата на окружающую среду, безопасность и здоровье проживающего населения на данной территории, и развитие экономики. А в узком смысле именно по воздействию нефтегазового комплекса на многолетнюю мерзлоту и ее состояние на настоящее время новых работ нет.

Потепление климата и таяние многолетней мерзлоты на Земле вызывает все больше беспокойства и пристальное внимания у ученых и политиков.

Данная работа посвящена многолетней мерзлоте и ее процессам, происходящим под влиянием нефтегазового комплекса на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. И я выбрала такую тему, так как родилась и выросла в Ямало-Ненецком автономном округе и для меня небезразлично влияние хозяйственной деятельности на многолетнюю мерзлоту, окружающую среду и традиционное природопользование, при которых изменяются их естественные процессы развития. Также необходимость изучения состояния многолетнемерзлых пород и климата является важным для всего мира, так как таяние многолетнемерзлых пород приведут к разрушению строительных сооружений и невозможность «легко» добывать нефть и газ, поменяют состояние климата и затопление материков при длительном таянии льда. И в

целом, это важно для самих нефтегазовых компаний для устойчивости сооружений, скважин и дорог.

Актуальность настоящей работы обусловлена большим интересом к теме «Влияние нефтегазового комплекса ЯНАО на мерзлотные процессы» и с другой стороны недостаточной разработанностью. Рассмотрение вопросов в работе носит как теоретическую, так и практическую значимость.

Объектом работы являются мерзлотные процессы, находящиеся под влиянием деятельности нефтегазового комплекса в ЯНАО.

Предметом работы является изменение мерзлотных процессов под влиянием деятельности нефтегазового комплекса в ЯНАО.

Целью работы является анализ влияния деятельности нефтегазового комплекса в ЯНАО на мерзлотные процессы.

Для достижения поставленной цели, необходимо решение следующих задач:

1. описать природные особенности ЯНАО;
2. проанализировать геокриологическое строение ММП и динамику их развития в районах нефтегазодобывающих месторождений;
3. проанализировать и рассмотреть причиняемое техногенное воздействие на ММП и их последствия;
4. рассмотреть и выявить какие криогенные процессы происходят при освоении территории;
5. дать рекомендации по уменьшению отрицательного воздействия хозяйственной деятельности на ММП.

Материалом для написания выпускной квалификационной работы послужили опубликованные источники, экологические отчеты, официальные сайты.

1. Природные особенности Ямало-Ненецкого автономного округа

1.1 Климат

Криолитозона покрывает всю территорию округа. Климат на севере и юге, западе и востоке отличается друг друга. Причинами этого являются малое и неравномерное поступление солнечной радиации, большое количество рек, озер и болот, адвекция воздушных масс, близость Карского моря и ее холодных вод. К примеру, из-за адвекции на западе зима теплее, чем на востоке на тех же широтах, а солнечного сияния, продолжительности и высоты солнца на юге дольше, чем на севере. [2]

Климат региона можно разделить на три климатические зоны. В северной части на полуостровах Ямал и Гыдан преобладает морской арктический климат, в средней и южной (средняя часть Ямала и Тазовский полуостров) – морской субарктический. Для остальной территории округа характерен умеренно-континентальный климат.

На севере зима длится 8-9 месяцев, на юге – длительность уменьшается до 6,5 – 7 месяцев. Самый холодный месяц на полуострове Ямал – это февраль, южнее – январь. В тундре самая низкая температура в январе и феврале равна -27°C (Гыдойма), в лесотундре – в январе -24°C (Надым). Но зима на данной территории неустойчивая, в январе могут быть оттепели. Это вызвано тем, что теплые воздушные массы, образовавшиеся над Баренцевым морем, наступают на регион. Так холодным может быть любой месяц – с ноября по апрель. Пример, на станции Маре-Сале в 1984 г. В апреле средняя температура была – 20,4°C, в январе –13,4°C, а в феврале –11,9°C. Междусуточные температурные колебания иногда доходят до -25°... -27°C. [5]

В криолитозоне температура опускается от -50°C на юге до -55°C на севере. [2]

Плюсовая температура держится с конца апреля – середины мая южнее полярного круга и с конца мая – севернее, осенью – до конца сентября.

Лето длится не больше 3-х месяцев, среднемесячная температура не превышает +10°C, исключениями бывают только аномально жаркие летние периоды в среднем с температурой +22°C. Самым теплым месяцем является июль.

Наибольшее среднегодовое понижение температуры наблюдаются на севере Гыдана (до -10-11°C). [5]

Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха некоторых населенных пунктах обозначены в таблице 1.

Таблица 1 Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха, °С.
[Справочник по климату: сайт Интернета <http://meteo.infospace.ru>]

Станция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Гыдоюма	-27	-27	-25	-17	-7	+2	+9	+8	+2	-8	-19	-25	-11
Каменная коса	-24	-25	-22	-15	-7	+1	+8	+10	+5	-6	-16	-21	-9,3
Марресале	-22	-21	-20	-13	-5	+1	+6	+6	+3	-4	-13	-18	-8,3
Надым	-24	-23	-18	-9	-1	+9	+14	+11	+5	-5	-17	-23	-6,7
Новый порт	-25	-24	-21	-14	-5	+3	+11	+10	+4	-5	-16	-22	-8,6
Ныда	-24	-24	-20	-12	-4	+6	+13	+11	+5	-5	-17	-22	-7,7
Салемал	-23	-22	-18	-9	-1	+8	+13	+11	+5	-4	-15	-21	-6
Салехард	-23	-22	-18	-9	-1	+8	+13	+11	+5	-4	-15	-21	-6
Сидоровск	-27	-25	-20	-12	-3	+8	+14	+11	+5	-7	-20	-26	-8,5
Тазовский	-27	-26	-22	-14	-5	+5	+13	+10	+4	-7	-19	-25	-9,4
Тамбей	-25	-26	-24	-16	-7	+1	+5	+6	+2	-6	-16	-22	-10,6
Тарко-сале	-25	-23	-18	-9	-1	+9	+15	+12	+5	-5	-17	-24	-6,7
Толька	-25	-23	-16	-7	+1	+10	+15	+12	+6	-5	-18	-25	-6,2
Станция им. М.В.Попова	-23	-24	-24	-16	-7	+0	+4	+5	+2	-6	-14	-20	-10,2

На территории ЯНАО изолинии сумм отрицательных температур, в основном, имеют меридиональное направление, и только на юго-востоке –

субширотное. Изолинии сумм положительных температур имеют субширотное направление (рис. 1, 2). [5]

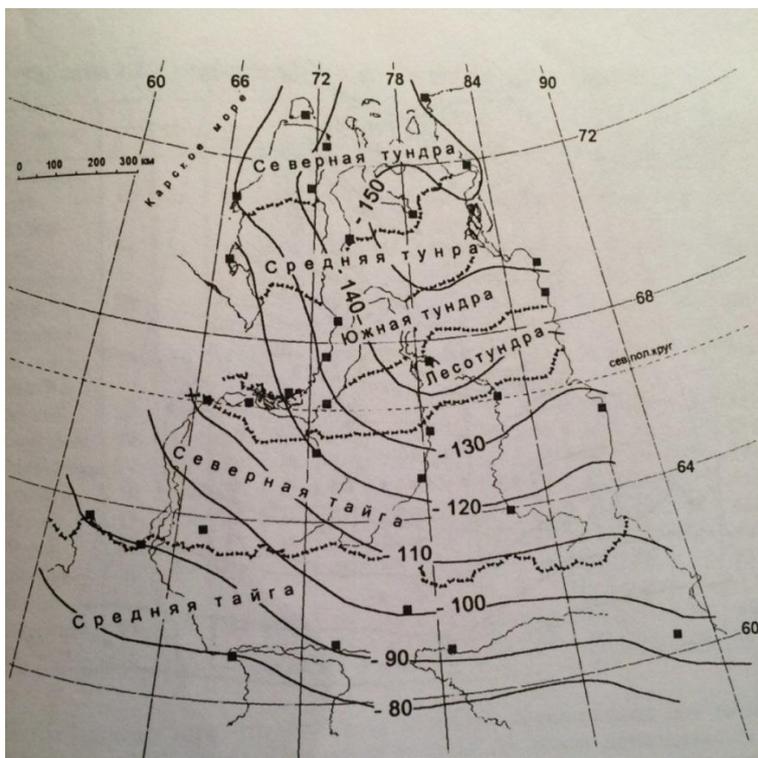


Рис. 1 Сумма отрицательных температур воздуха Ямало-Ненецкого автономного округа.

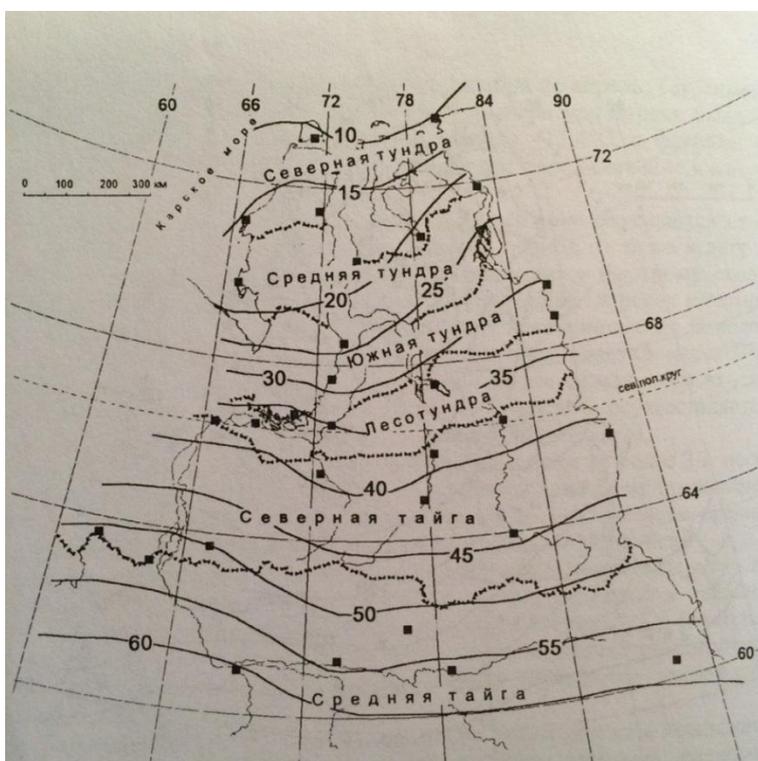


Рис. 2 Сумма положительных температур воздуха Ямало-Ненецкого автономного округа

Уральские горы протянуты вдоль всей западной части округа и защищают регион от основного западного влагопереноса, что является причиной неравномерного распределения осадков с запада на восток. Так, большая часть осадков выпадает в предгорьях Урала, потом резко уменьшается и вновь возрастает при движении на восток криолитозны за счет испарения и транспирации влаги лесов и болот.

Дожди являются основным видом осадков. На юге они носят ливневой характер, на севере – моросящий. Количество осадков увеличивается с севера на юг – от 230 – 350 мм до 610 мм. Снижение осадков на севере происходит из-за малого влагосодержания арктического воздуха. Самое большое количество осадков выпадает летом из-за периода наибольшей циклонической активности на арктическом и полярных фронтах при большом влагосодержании воздушных масс и быстром развитии восходящих потоков над нагретой землей. Наибольшее количество осадков приходится на центральную часть криолитозоны.

Зимой осадки незначительные и не превышают 200 мм. Самое большое их количество выпадает в таежной зоне от Северного полярного круга до широтного течения Оби, как было упомянуто выше, увеличиваясь с запада на восток. Большая часть осадков приходится на первую половину зимнего периода, это обусловлено интенсивной циклонической деятельностью. Во второй половине осадков выпадает мало на фоне антициклональной деятельности.

Также распределение снега зависит, в основном, от рельефа местности, скорости и направления ветра. В тундровой зоне и на открытых участках за счет сильных ветров происходит интенсивное перераспределение снежного покрова. На бугристых местностях снег накапливается в понижениях рельефа и перед препятствиями для снега, но все это зависит от глубины вреза и высоты препятствия. А на вершинах бугров снег отсутствует, и часто образуются песчаные раздувы. Так, к концу зимы можно наблюдать сугробы до 3-4 метров

в высоту, а на равнинах в тундре высота снежного покрова определяется высотой растительности. [8]

1.2 Ландшафты

Север округа занимает тундровая зона. И в данных суровых условиях на мерзлых тундровых глеевых почвах образуются арктические мохово-лишайниковые, кустарничковые и кустарниковые тундры. Далее южнее идет неширокая полоса лесотундры. Здесь распространены торфянисто-глеевые, глеево-слабоподзолистые и болотистые почвы, где формируются сложные сочетания кустарниковых тундр, лиственничных редколесий, торфяников и болот. Вся остальная часть округа занята северотаежной зоной. Преобладающей частью растительности являются хвойные леса из сибирской ели, сосны, пихты, кедра и лиственницы на торфяно-подзолистых и подзолистых почвах дренированных участков. Довольно широкое развитие болот.

В арктической и типичной тундре на полуострове Ямал и Гыдан сплошное развитие многолетнемерзлых пород и это дает простую ландшафтную структуру зоны. Преобладают здесь ландшафты высоких морских равнин с мохово-лишайниковыми и кустарничковыми тундрами и пойм больших и средних рек с кустарниковыми тундрами. Наибольшую часть этих морских равнин занимают холмистые и холмисто-увалистые слабозаозеренные местности.

Ландшафты более низких морских террас и лайды отличаются большой заболоченностью и заозеренностью с льдистыми песчано-суглинистыми засоленными грунтами. 14% северной части занимают поймы рек, гривистые в прирусловой, плоские и заозеренные в тыловой части, сложенные льдистыми песками.

Ландшафтная структура южной тундры и северной лесотундры отличается большей сложностью по сравнению со структурой северной части тундровой зоны. Здесь также большую площадь занимают высокие морские равнины. Выделяются значительной расчлененностью рельефа и относительно слабой заозеренностью с холмистым типом местности кустарничковой и кустарниковой тундры. Лиственничные деревья встречаются на приречных участках. На Тазовском полуострове ландшафтное строение усложняется из-за появления линейно-грядового типа местностей.

Озерно-болотные и озерно-котловинные типы местностей характерны для морских террас, соответственно здесь отмечается сильная заозеренность, плоский рельеф и слабое расчленение.

Для западной части и северо-востока округа типичны ледниковые и водно-ледниковые ландшафты, преобладает холмисто-увалистый тип местности с наличием в разрезе гравийно-галечниковым материалов, валунов и лесов.

Ландшафты долин рек в большей степени не дифференцированы на местности. В долинах рек развиты березово-лиственничные редколесья, сменяющиеся с кустарниковыми тундрами и болотами.

Ландшафты южной лесотундры и севера таежной зоны выделяются сложным расчленением. Здесь преобладает салехардская морская равнина с лиственничными редирами. Типичны холмистый и озерно-болотный типы местностей.

Кроме этих ландшафтов следует еще добавить, что существенные площади округа занимают четвертая и третья озерно-аллювиальные равнины. Для них характерны озерно-болотные, холмистые и залесенные местности приречного типа. [8]

1.3 Поверхностные и подземные воды

Округ имеет значительные запасы поверхностных и подземных вод и отличается большим их разнообразием. Всего общее количество – 48 000 рек и 300 000 озер. К поверхностным водам относятся Обская Губа, побережье Карского моря, заливы, многочисленные озера и реки. Наиболее крупные реки – это Обь, Таз, Пур, Ныда, Надым. А озера – это Шурышкарский Сор, Щучье, Яррото.

Переход от зимы к лету в ЯНАО короткий и это приводит к быстрому таянию снега, образованию половодий на реках и затоплению обширных пойм. За счет этого получается питание у рек снеговое, редко дождевое. Ледоход длится весь май. Ледостав начинается с октября.

По происхождению большинство озер – ледниковые, наблюдаются также термокарстовые, пойменные и западинные.

Из подземных вод имеются большие запасы термальных и артезианских вод. Подземный сток подчинен поверхностному.

Среднегодовой сток рек составляет примерно 450 кубических километров. Сейчас используется только 0,04 % от имеющихся в округе водных ресурсов. 0,014 % приходится на поверхностные воды и 12 % на подземные.
[2]

1.4 Растительность

Растительность на территории округа подчинена законам зональности в равнинной местности и высотной поясности в горной.

Территорию ЯНАО имеет три природные зоны: тундра, лесотундра и северная тайга. В тундровой зоне с севера на юг формируются арктические мохово-лишайниковые, кустарничковые и кустарниковые тундры. Там растут такие растения как мох, лишайник, ягель, ерники, ивняки, карликовая береза, багульник, ягоды и грибы. В лесотундре тундровая растительность чередуется с деревьями. В северной части это лиственница и ближе к южной появляется ель,

береза. Северотаежная зона представлена смешанными лесами из березы, лиственницы, сибирской ели, кедра, сосны и пихты. Обычно высотой не более 10-12 м. Еще в регионе распространены торфяники, моховые и пушицевые болота. [22]

1.5 Животный мир

Фауна региона довольно разнообразна. В округе насчитывается около 300 видов позвоночных животных, из них 40 видов млекопитающих, до 200 видов птиц, 40 видов рыб, 3 вида амфибий и 1 рептилий. Больше всего видов животных встречается в лесотундре.

Наиболее распространенными в северных районах тундры являются белый песец, дикий и домашний северный олень, полярный волк, россомаха, заяц, горностай, ласка и ряд мышевидных - лемминги, полевки, землеройка. Из птиц широко распространены белая сова, тундровая и белая куропатка, утки, гуси и кулики. На юге таежной зоны встречаются: соболь, колонок, белка, бурундук, которые не заходят в арктическую тундру. На островах и побережье Карского моря встречается белый медведь. В прибрежных водах моря из китовидных водится белуха, а из ластоногих - нерпа, гренландский тюлень, морской заяц, морж. [3]

1.6 Население

В настоящее время численность населения округа составляет 534 299 человек (2016). Плотность населения – 0,69 чел./км². В городах проживает 83,67 % человек.

Округ является одним из импортеров иностранной рабочей силы в России. Эта сила, в основном, занята в строительстве, геологии и промышленности.

На сегодня национальный состав населения округа примерно следующий: русские - 62,8%, украинцы - 5,8%, татары - 5,8%, ненцы - 4%, ханты - 1,5%, коми - 1%. ЯНАО – родина коренных малочисленных народов Крайнего Севера. Это ненцы, ханты, манси, селькупы. Их численность составляет 8 % от численности округа.

Округ уделяет особое внимание коренному населению и помогает финансово. Для поддержания коренного населения в управление администрация ЯНАО получила более 5 % акций РАО «Газпром». [24]

1.7 Экономика

В основном, вся экономика Ямало-Ненецкого автономного округа развивается на добыче нефти и газа.

ПАО «Газпром» является основным добытчиком газа и на его долю приходится почти 90 % всей добычи газа в округе. А основными добытчиками нефти являются его дочерние предприятия ПАО «Газпромнефть», ПАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз», филиал «Газпромнефть-Муравленко» и ПАО «НК «Роснефть»». И еще более 30 предприятий. В округе расположено 236 месторождений углеводородного сырья, из них 31 газовых, 15 нефтегазовых, 73 нефтяных, 72 нефтегазоконденсатных и 36 газоконденсатных. В распределенном фонде недр находится 208 лицензионных участков.

44,5 трлн. кубометров газа, 5 млрд. тонн нефти и около 2 млрд. тонн конденсата это все разведанные запасы углеводородов на текущее время. В перспективе еще находится 35 трлн. кубометров газа и около 8 млрд. тонн жидких углеводородов. В общем, за все время освоения территорий с месторождениями было добыто: 11 % по газу, 5 % по нефти и 2 % по конденсату. Добычу газа в будущем планируется увеличить до 310 – 360 млрд. куб. м., сейчас около 75 – 115 млрд. куб. м.

В связи с освоением территорий идет интенсивное развитие транспортных инфраструктурных коммуникаций, это магистральный газопровод Бованенково – Ухта, магистральный нефтепровод Заполярье – Пурпе, продуктопровод Пуровский ЗПК – Тобольск-Нефтехим, морской порт «Сабетта».

Недавно закончилось строительство нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан – один из крупнейших проектов. Название новой марки ВСТО. И также введен в эксплуатацию Пякхинское месторождения ПАО «Лукойл». [23]

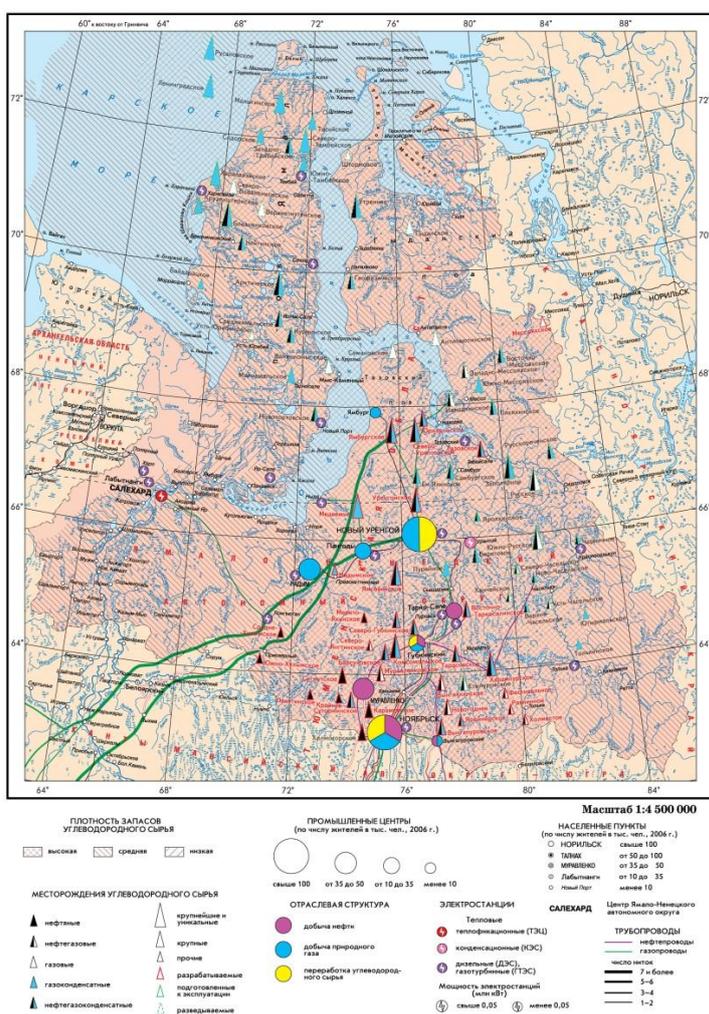


Рис. 3 Нефтегазовые месторождения на территории ЯНО

Средне заработная плата в округе составила примерно 53 тыс. рублей.

Кроме этого, в округе хорошо развито оленеводство. ЯНО занимает первое место в России по поголовью оленей. На 2010 году — 660 тыс. голов. 50

% поголовья оленей принадлежит сельскохозяйственным предприятиям. Остальная часть находится в личной собственности кочующих оленеводов.

Также здесь развито рыболовство и пушной промысел. [24]

2. Особенности геокриологического строения ММП

Многолетнемерзлые породы – это породы, которые имеют отрицательную температуру и содержат лед в составе, не оттаивающий в течение длительного времени – от нескольких лет до многих тысячелетий. Области распространения многолетней мерзлоты это, в основном, Северное полушарие Земли (север Евразии и Северной Америки). Занимает около 25% суши Земли, почти 65% территории России и всю территорию ЯНАО (рис. 4). [3]



Рис. 4 Распространение многолетнемерзлых пород в России

Главные характеристики мерзлоты – распространение, мощность, температура, льдистость и ландшафтные особенности. Основные

географические закономерности, влияющие на распределение мерзлоты: широтная зональность, высотная поясность и секторность. [15]

На территории округа различают область сплошного и несплошного распространения мерзлых пород (рис. 5).

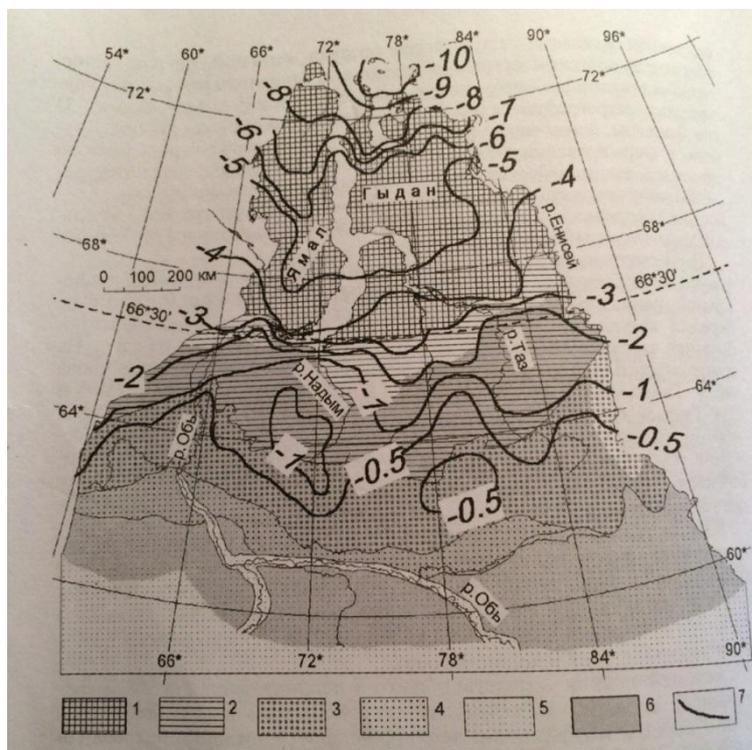


Рис. 5 Характер распространения и температуры ММП (составили Д.С. Дроздов, Г.В. Афанасьев). 1-4 – распространение ММП: 1 – сплошное, 2 – прерывистое, 3 – островное, 4 – редкоостровное; 5 – немерзлые с поверхности породы; 6 – реликтовые мерзлые толщи; 7 – изолинии температур ММП.

Сплошное распространение мерзлых пород имеется в тундре и лесотундре примерно до широты полярного круга. Здесь они распространены повсеместно. Талики (талые грунты) сохраняются только под руслами рек и крупных озер. Мощность многолетней мерзлоты достигает до 450 м и примерно до 500 м в восточной части Гыдана. Среднегодовая температура изменяется от -5°C до -9°C. [3]

Далее к югу от области сплошного распространения располагается зона несплошного распространения мерзлых пород. На этом участке она распространена прерывисто, а к югу от нее находится массивно-островная и

островная мерзлота. Также в южной части, где распространена островная мерзлота, могут образовываться перелетки – участки мерзлых пород, которые сохраняются до нескольких лет. [15] В этой зоне мерзлота имеет два слоя: верхний современный и нижний реликтовый. У верхнего температура составляет от 0°C до -1°C, мощность – 10-100 м с талым грунтом и на глубине 150-400 м снова мерзлый грунт. Такая двухслойная мерзлота начала образовываться в теплую эпоху климатического оптимума голоцена, около 5 – 8 тыс. лет назад. Менялись климатические условия и нижний реликтовый слой, образовавшийся в верхнем плейстоцене, начал деградировать, образуя глубокое протаивание мерзлоты. После процесс промерзания возобновился, вплоть до настоящего времени, но процесс слияния современной и реликтовой мерзлоты так и не произошел. [21]

На Полярном Урале на вершине гор мерзлые породы распространены повсеместно из-за высотной поясности мощностью до 700-1000 м и с температурой до - 9... - 11°C. Далее в среднегорье и низкогорье распространена сплошная и прерывистая мерзлота мощностью до 200-500 м и с температурой от -5°C до -1°C. И ниже в предгорьях и в лесотундре распространена массивно-островная мерзлота мощностью 100-200 м и с температурой не ниже -2,5°C.

Деятельный слой (верхняя часть) многолетнемерзлых пород на всей территории подвергается ежегодному сезонному протаиванию и промерзанию. Мощность сезонноталого или сезонномерзлого слоя зависит от тех же характеристик, что и для многолетней мерзлоты, но только в меньших масштабах. Глубина сезонноталого слоя на равнинах – 0,2-2,0 м, в горах – 0,5-5,0 м; глубина сезонномерзлого слоя на равнине – 0,4-3,0 м. [6]

Мерзлые породы на территории ЯНАО характеризуются высокой льдонасыщенностью, что весьма осложняют хозяйственное освоение региона.

В районе расположения Харасавэйского, Тамбейского (Северное, Западное и Южное), Бованенковского, Крузенштерновского, Арктического и

Среднеямальского (Утреннее (Салмановское), Геофизическое и Гыданское на Гыдане) газовых и нефтегазовых месторождений многолетняя мерзлота имеет сплошное развитие. Прерывается она только неглубокими подозерными и подрусловыми таликами и по данным электроразведки (В.М. Тимофеев, В. Б. Пугач) под акваторией Обской губы (несквозные талики).

Для вечной мерзлоты среднегодовая температура составляет от -7°C до -10°C , чуть южнее – от -5 до -8°C . Изменчивость температурного режима обуславливается различным уровнем снегонакопления в разных местностях с неоднородным рельефом. Глубина сезонного протаивания составляет 0,3-0,6 м на моховых тундрах в озерно-болотистой местности (торф, заторфованные суглинки и льдистые суглинки) и 1,0-1,5 м в холмистой и плоско-ложбинной местностей (пески и суглинки).

В северной части полуострова Ямал мерзлота характеризуется высокой льдистостью за счет сегрегационного, залежеобразующего и льда-цемента. А в южной части льдистость зависит от ландшафтного строения территории. Для холмистых местностей характерно развитие жильных льдов, которые залегают глубже 10 м и определяют протекание термоэрозии, солифлюкции и оползней на крутых склонах холмов. Залежеобразующий лед встречается в озерно-болотных, хасырейных и плоско-ложбинных типов местностей и в большем количестве их типов. Для северных районов в верхней части литологического разреза объемная макрольдистость возрастает от высоких уровней к низким от 3-10% до 30-40%. Далее южнее в пределах холмистых местностей VI и IV равнин объемная макрольдистость верхнего 10-метрового слоя многолетнемерзлых пород меньше 10%.

Также широко распространены в минеральных грунтах поймы, лайды и морской террасы полигонально-жильные льды с мощностью от 3-4 до 8-10 м. Мощные пластовые льды широко развиты в западной части Ямальской подпровинции и на севере Гыдана, их мощность составляет до 8-10 м и более. Они описаны на берегах рек Тиутейяха, Харасавэй, Надуй-Яха, долинах рек Се-

Яха (Мутная) и Морды-Яха, береговых обнажениях озер Нейто на Ямале, в устье реки Гыда на побережье Гыданской губы, долине рек Тадибе-Яха и Юрибей на Гыдане. Мощные жильные льды описаны в устье реки Се-Яха (Зеленая), районе полярной станции Марре-Сале, долинах рек Соты-Яха и Юрибей на Ямале и в долине реки Юрибей на Гыдане, но они уменьшаются с западного побережья полуострова Ямал к его центральным районам и полуострову Гыдан.

Причиной широкого развития термокарста, термоэрозии и солифлюкции (в краевых частях холмистых типов местностей) является высокая льдистость поверхностных отложений, наличие близкозалегающих залежеобразующих льдов и активное проявление современных дифференцированных тектонических движений на некоторых участках. Из-за выветривания снега на краевых частях полигональных тундр и холмистых водоразделов подвергаются морозобойному и криогенному растрескиванию, образуются сезонные бугры пучения. При протаивании залежеобразующих льдов формируются различные специфические формы рельефа, впоследствии, по ним можно определить участки их широкого развития либо прежнего распространения. Одним из таких форм являются термоцирки в береговых и приозерных зонах, глубокие линейные овраги, круглые термокарстовые впадины и озера, солифлюкции.

Широкое развитие криопэгов на глубине более 10 м с минерализацией 100 г/л также осложняет освоение нефтегазовых районов. [5]

В районе расположения осваиваемых Ямбургское, Соленинское, Мессояхинское газовых месторождений, разведенного Новопортовское, а также разведываемых Каменномысское, Семаковское, Антипаютинское, Юрхаровское и Находкинское газовых месторождений многолетнемерзлые породы также имеют повсеместное распространение. На территории наблюдается довольно широкое развитие по масштабам озерно-болотных и хасырейных типов местностей и это, в свою очередь, обуславливает огромное количество гидрогенных подоцерных талик. Также отмечается понижение кровли там, где

есть заросли низкорослой ивы и высоких кустарников в днищах логов и хасыреев.

Среднегодовая температура мерзлоты в данном районе составляет $-4-5^{\circ}\text{C}$, увеличиваясь в логах и днищах хасыреев до $0-1^{\circ}\text{C}$ и уменьшаясь на выветренных от снега придолинных участках до $-6-7^{\circ}\text{C}$. Больше всего температура изменяется в мелкохолмистых и предгорных местностях. На торфяниках глубина сезонного протаивания изменяется на $0,4-0,6$ м, на песчаных раздувах речных долин и песчаных кос Обской губы до 2 м (плосколожбинный тип местности). Самая низкая льдистость присуща для среднего разреза суглинисто-глинистых многолетнемерзлых пород в холмистых типах местностей. Самая высокая льдистость наблюдается в верхней части разреза в пределах холмистых местностей, торфяно-суглинисто-песчаных породах в пределах озерно-болотных и хасырейных местностей из-за текстурообразующих льдов.

На данном участке наибольшее распространение имеют залежеобразующие льды в торфяниках (ПЖЛ), в озерных и аллювиальных отложениях пойм рек и их низких террасах (плосколожбинная и озерно-болотная местности). Мощность составляет 2-4 м, что значит, не очень велика. Объемная льдистость не превышает 10%, в основном из-за тех самых залежеобразующих льдов. В ландшафте наблюдается повышенная заозеренность этих территорий и широкое развитие хасыреев, обусловленное вытаиванием мощных пластовых льдов в прошлом. А вот таяние мощных жильных льдов поспособствовало образованию специфической гидросети с системой ортогональных долин и крупных полигонов (>100 м). Также в этом районе есть огромное количество бугров пучения, сформированных за счет промерзания подозерных таликов при спуске озер, а самые крупные из них связаны с зонами глубинных разломов.

Термокарст, заболачивание, сезонное и многолетнее пучение, новообразование многолетнемерзлых пород все это имеет большое

распространение в современном криогенном процессе. На участках, где есть пески, развиты эоловые процессы и идет формирование сезонных инъекционных бугров пучения. Неравномерно промерзает горизонт надмерзлотных вод. Также довольно широко развит процесс наледообразования. [6]

Там, где находятся такие газоконденсатные месторождения как Медвежье, Уренгойское, Песцовое и Заполярное многолетнемерзлые породы имеет прерывистое распространение. Прерывистость характеризуется таликами в долинах рек и центральных частях водоразделах, неглубокими таликами мелких рек и ручьев, на залесенных участках плосколожбинной местности и на выветренных участках песчаных массивов. В последнее время талики набирают количество и мощность с востока на запад и с севера на юг и достигают своего максимума в долинах рек Оби и Ево-Яхи (Пур-Надымское междуречье) и в местах, где активно идет освоение газовых месторождений.

Стоит отметить, что прерывистость мерзлых пород имеет не только горизонтальное направление, но и вертикальное. Многослойный разрез толщи мерзлых грунтов отнесен с долинами крупных рек Оби, Надыма, Пура и Таза за счет распространенных здесь песчаных отложений.

Температура горных пород варьируется от 0 до -5°C . Высокие температуры обычны в южной части подпровинции, они характерны для пойм крупных и средних рек, днищ хасыреев, логов залесенных участков речных террас и болотных массивов. Низкие температуры характерны в северной части на массивах плоских торфяников, торфяно-минеральных буграх пучения и на плосколожбинных местностях. Наибольшая неоднородность температурного поля присуща для холмистых типов местностей с повышенной расчлененностью.

Глубина сезонного протаивания мерзлых пород на торфяниках колеблется от 0,3 – 0,5 м и до 2,5 м на береговых зонах рек. На холмистых и

предгорных участках в зависимости от влажности суглинки протаивают на 1,2 – 1,8 м.

На данной территории многолетнемерзлые породы отличаются невысокой льдистостью, это взаимосвязано с особенностями рельефа и оттаиванием пород в теплые периоды. Но льдистость многолетнемерзлых пород резко увеличивается в пределах поймы и озерно-болотных типов местностей, где широко развиваются торф и заторфованные минеральные грунты.

Полигонально-жильные льды распространены в торфяниках с мощностью от 2 до 4 м, также широко распространены на левобережье реки Пур и в окраинных частях плиты линзообразные ледяные тела бугров пучения. Бугры и гряды пучения обычно развиты в тыловых частях озерно-аллювиальных равнин, аллювиальных террас и днищах хасыреев. Самые крупные находятся в зонах регионального разлома (сопка Парны-Сэдэ, гидролакколиты в верховьях рек Бол. Ярудея, Паровы-Хадутгэ и Мессо-Яхи).

По сведениям глубокого бурения, на данной территории найдены мощные ледяные тела на глубинах от 50 до 200 м в пределах локальных тектонических структур (р-н г. Салехард), сложенных раздробленными палеогеновыми породами. Еще примерно глубже 10 м следует ожидать наличие ледяных жил и слоев на участках линейно-рядовых типов местностей, где трещиноватые палеогеновые глины выходят на поверхность.

Из современных криогенных процессов здесь имеют широкое развитие термокарст по полигонально-жильным льдам, сезонное и многолетнее пучение и новообразование мерзлых пород в днищах хасыреев. Локально-эрозионные и эоловые процессы развиты в долинах рек, а солифлюкция – на склонах холмов.
[6]

Муравленковское, Суторминское, Юбилейное, Русское, Ямсовейское, Комсомольское, Таркосалинское, Медвежье и другие газовые месторождения

расположены в пределах островного распространения многолетнемерзлых пород с прерывистостью по разрезу.

Для формирования современных мерзлых пород наиболее важную роль играют состав поверхностных отложений, условия дренированности и характер теплоизолирующих покровов. Это обеспечивает генетическую связь геокриологических условий с ландшафтным строением территории. Наиболее широкое развитие мерзлые породы имеют на севере территории в поймах крупных и средних рек, и в пределах озерно-болотной местности. Отсутствуют многолетнемерзлые породы на значительных участках заболоченной местности в долинах рек и на водоразделах, и в пределах плосколожбинной местности. Островные маломощные мерзлые породы обычно встречаются в пределах холмистых, холмисто-увалистых и предгорных местностях.

На севере температура горных пород изменяется от -3°C до -4°C на участках крупнобугристых торфяников и торфяно-минеральных бугров пучения, а в центре и на юге – от $+1^{\circ}\text{C}$ до $+2^{\circ}\text{C}$ на залесенных участках плосколожбинных типов местностей. В долинах крупных и средних рек температура пород выше на 2-3 градуса, чем на водоразделах из-за аazonальности. За счет увеличения континентальности климата температура мерзлых пород имеет тенденцию снижаться с запада на восток в пределах однотипных природно-территориальных комплексов ($\sim 1^{\circ}\text{C}$ на 200-250 км).

Глубина сезонного протаивания мерзлых пород колеблется от 0,2-0,3 м на замшелых заболоченных участках до 1-1,5 м на залесенных участках в поймах рек. Для немерзлых пород глубина сезонного промерзания колеблется от 0,6-0,8 м на участках травяно-моховых болот до 2,5-3,5 м на песчаных раздувах плосколожбинных типов местностей.

Несмотря на прерывистость, многолетнемерзлые породы характеризуются здесь высокой льдистостью. За счет текстурообразующих льдов практически всех многолетнемерзлых пород превышает 0,2 и достигает

0,4 на территории бугров пучения, бугристых торфяников и грядово-мочажинных болот. Но макрольдистость мерзлых пород в целом не велика. Она обычно характерна для озерно-болотных и хасырейных местностей, также где образуются полигонально-жильные льды в торфяниках и линзами льда в днищах хасыреев и в буграх пучения. На севере территории в массивах полигональных торфяников полигонально-жильные льды достигают мощностью до 2 метров. А южнее г. Надым они встречаются довольно редко.

Бугры и гряды пучения широко распространены в долинах рек Надым, Пур, Таз и их притоков. Из-за залежеобразующих льдов в 10-метровом слое объемная льдистость не превосходит 3-5% для озерно-болотной местности и уменьшается к югу, так как идет сокращение площади распространение мерзлых пород.

Из криогенных процессов на южной территории округа наиболее развиты новообразования мерзлых пород с неравномерным пучением, также можно добавить сезонное пучение, заболачивание, эоловые процессы в плосколожбинной местности, эрозия в холмистой и предгорной местности и локальное распространения термокарста. [5]

2.1 Техногенное воздействие на ММП

Освоение нефтегазовых территорий в районах многолетней мерзлоты неизбежно сопровождается процессами антропогенного преобразования и изменения естественных условий природного ландшафта. Объектами воздействия являются все компоненты природной среды в криолитозоне, но особое место занимают многолетнемерзлые породы в силу ряда причин. Они определяют все многообразие протекающих природных процессов на Крайнем Севере, стабильность и изменчивость состояния других компонентов природной среды. В общем, мерзлота определяет реакцию ландшафта к различного рода изменениям их условий развития. И между тем они являются наиболее неустойчивым и динамичным элементом природной среды и

подвержены любым процессам, нарушающих естественные условия окружающей среды. Поэтому важно учитывать все факторы потенциального воздействия на многолетнемерзлые породы при планировании любого рода хозяйственной деятельности.

Для начала проанализируем все виды техногенного воздействия, их источники и возможные последствия в районах освоения нефтегазовых месторождений на многолетнюю мерзлоту. Затем какие мерзлотные процессы происходят при освоении и как они влияют на разведку и эксплуатацию нефтяных и газовых месторождений и их транспортировку.

Нарушение граничных условий на поверхности многолетнемерзлых пород

Практически всегда при освоении нефтегазоносных районов нарушается естественный покров и изменяется тепловлагообмен мерзлых грунтов с атмосферой. Максимальные нарушения происходят при следующих работах:

- разработка карьеров сухого грунта;
- планировка поверхности;
- возведение насыпей (для дорог, взлетно-посадочных полос и магистральных трубопроводов);
- строительные-монтажные работы.

При этом на ландшафт оказываются три следующих основных типов воздействия, различающихся по характеру и степени изменения геокриологической обстановки, которые они вызывают: нарушение почвенно-растительного покрова, изменение условий снегонакопления, изменение режима поверхностного и грунтового стока. В дальнейшем воздействия могут подразделяться в зависимости от времени, интенсивности и площади приложения. [9]

Нарушения свойств почвенно-растительного покрова

Растительность является защитным для мерзлых грунтов природным элементом. И самые большие нарушения испытывает именно почвенно-растительный покров на этапе разведки и строительства нефтегазодобывающих объектах. Нарушение может быть частичным при однократных проездах гусеничной техники или полностью трансформированным при планировке поверхности и разработке карьеров. [17]

На плоских и дренируемых водораздельных поверхностях, сложенных слабобльдистыми песчаными грунтами морского генезиса, последствия нарушений почвенно-растительного покрова, в основном, незначительны и ограничиваются небольшим увеличением мощности сезонно-талого слоя и понижением среднегодовой температуры, редко происходит развитие процессов дефляции с образованием массивов и воронок выдувания. Те же самые нарушения, но уже в другой местности на слабодренируемых участках, сложенных сильнольдистыми дисперсными грунтами сопровождаются термопросадками, а на участках развития пластовых льдов и полигонально-жильных льдов могут привести к возникновению термокарста. На склонах нарушения почвенно-растительного покрова обычно приводят к активизации комплекса парагенетически связанных процессов овражной термоэрозии, оползания и сплывов сезоннопротаивающих грунтов и редко к возникновению термоденудационных процессов. [20] В лесотундре и в таежной зоне вырубка деревьев при освоении территории также ведет к оттаиванию мерзлых пород. Данные явления происходят локально.

После полного прекращения воздействия на почвенно-растительный покров происходит самовосстановление даже при достаточно сильной степени повреждения и низком темпе восстановления к его первоначальному виду. Исключение составляют только те участки, где нарушения спровоцировали возникновение очагов развития криогенных процессов, и где произошла полная трансформация почвенно-растительного слоя на больших территориях, длительной и значительной нагрузке.

Изменение условий снегонакопления

Значительным техногенным нарушениям подвергается снежный покров. Изменяется его мощность, плотность и состав. И является наиболее значимым фактором воздействия на тепловое состояние многолетнемерзлых пород, которое определяет динамику изменения мощности слоя сезонного оттаивания – промерзания и температуру мерзлой толщи на уровне нулевых амплитуд. Нарушение естественного режима снегонакопления в большинстве случаев определяет изменение несущей способности мерзлых оснований и влияет на устойчивость зданий и сооружений. Мощность снежного покрова формирует температурный режим многолетнемерзлых пород. К примеру, на территории Бованенковского ГКМ, где повышенное снегонакопление, среднегодовая температура грунтов составляет $-1^{\circ}\text{C} \dots -2^{\circ}\text{C}$, а на водораздельных участках с минимальной мощностью достигает $-6^{\circ}\text{C} \dots -8^{\circ}\text{C}$. [1]

Наибольшее изменение естественных условий снегонакопления характерно для карьеров, выемки грунтов, антропогенных оврагов, в пределах застраиваемых территорий на площадках УКГП (установка комплексной подготовки газа), компрессорных станций, вахтовых поселков и объектов инфраструктуры. [12]

Данные режимных термометрических наблюдений на промышленных площадках газовых промыслов месторождения Медвежье позволяют количественно оценить влияние перераспределения снежного покрова на среднегодовую температуру оснований. Например, в среднем при маломощном снежном покрове в естественных условиях до 0,5 м его увеличение на 0,1 м приводит к повышению среднегодовой температуры грунтов на $0,8^{\circ} - 1^{\circ}\text{C}$, а при мощности снега более 1 м такое же ее увеличение повышает температуру оснований на $0,2^{\circ} - 0,4^{\circ}\text{C}$. В общем на застроенных участках мощность снежного покрова может увеличиваться в 2,5-3 раза и более, чем в естественных условиях. [4]

Изменение режима поверхностного и подземного стока

Их влияние на температурный режим многолетнемерзлых пород довольно мал, но во многом определяют характер протекания различного рода экзогенных процессов. Последствия техногенного изменения гидрологического и гидрогеологического режима территории освоения можно разделить на три группы: подтопление территории, активизация склоновых процессов, формирование техногенных хасыреев. [13]

Возведение насыпей жилых и промышленных площадок, кустов эксплуатационных скважин и автодорог препятствуют поверхностному стоку и если не предусмотреть достаточное количество водопропусков, то происходит нарушение условий поверхностного стока, затопление отдельных участков (техногенные водоемы), заболачивание, образование таликов и развитие термокарста. [10] Сброс теплых сточных вод на поверхность дополнительно способствует процессу таяния мерзлых пород, поэтому нельзя допускать застои теплых поверхностных вод, потому что их отепляющее воздействие может привести к деградации мерзлых пород и серьезной деформации земляного полотна.

Как правило, под техногенными водоемами образуются техногенные талики различного вида. Скорость образования и мощность зависят от глубины и размеров водоема, также от состава и криогенного строения вмещающих пород. Изменение режима поверхностного стока на водораздельных поверхностях и склонах могут спровоцировать активизацию существующих и возникновению новых очагов развития комплекса парагенетически связанных склоновых процессов. Определяющими факторами воздействия при этом являются изменение площади водосборов, концентрация или деконцентрация стока, изменение интенсивности дождевого и талого стоков. Характерным последствием этих воздействий является образование овражной эрозии и термоэрозии, которые могут спровоцировать возникновение других криогенных процессов. [9]

При освоении территории особым типом нарушения гидрологического режима является спуск озер, приводящий к формированию техногенных хасыреев. В пределах контура бывшей акватории происходят необратимые изменения геокриологической обстановки. Наблюдается промерзание донных отложений, сопровождающиеся криогенным пучением, формированием гидролакколитов и площадей пучения. Достаточно распространен на территории округа. Обратная реакция природной среды на изменение гидрологического и гидрогеологического режимов территории освоения проявляется в разрушении земляных отсыпок промышленных площадок, вахтовых поселков, авто- и железных дорог, где развиваются процессы эрозионного расчленения насыпей и суффозии. [20]

Изменение геокриологической обстановки в массиве многолетнемерзлых пород

Техногенные нарушения природных геокриологических условий в толще многолетнемерзлых пород характерны для стадии эксплуатации нефтегазовых месторождений и связаны, в большей степени, с прямым тепловым и химическим воздействием инженерных сооружений на массиве многолетнемерзлых пород. В отличие от нарушений граничных условий на поверхности ландшафта, для этого типа нарушений типичны меньшая площадь влияния, но большая интенсивность воздействия. [14] И все виды техногенного нарушения можно разделить на три группы: тепловое воздействие, механические нагрузки, химическое загрязнение.

Тепловое воздействие на мерзлые основания происходит в результате эксплуатации сооружений и характеризуется прямыми тепловыми потоками в мерзлые грунты. К ним относятся кусты эксплуатационных скважин, подземные трубопроводы с положительной температурой транспортируемого продукта и некоторые технологические корпуса газопромысловых сооружений. [18]

Нефть и газ имеют положительную температуру и при эксплуатации кустов нефтегазодобывающих скважин оказывают значительное отепляющее воздействие на мерзлую толщу, что сопровождается образованием цилиндрических ореолов оттаивания, формированием приустьевой воронки и повышением температуры грунтов на большом расстоянии от ствола скважины. Результаты математического моделирования теплового воздействия эксплуатационных скважин Бованенковского ГКМ, выполненного при различных способах термоизоляции, расстоянии между скважинами и расположении в кусте, показали, что максимальная зона теплового влияния скважин на толщу многолетнемерзлых пород через 25 лет их эксплуатации может достигать 50 м и более. [1] Анализ различных осложнений, который возникает при строительстве и эксплуатации скважин в криолитозоне, показал, что протаивание льдистых пород в верхней части разреза приводит к обвалам грунта, искривлению лифтовых колонн и деформации труб, их смятию при обратном промерзании вмещающих пород, что, соответственно, приводит к возникновению различного рода аварийных ситуаций, остановкам добычи нефти и газа. [13]

Так, значительное воздействие на температурный режим многолетнемерзлых пород оказывают еще подземные трубопроводы с температурой продукта, отличающейся от температуры вмещающих пород. Вокруг трубопровода с положительной температурой транспортируемого продукта (+10 и более) в зависимости от способов теплоизоляции, а также состава, криогенного строения и температурного режима грунтов в естественных условиях могут образовываться техногенные талики размеров от 1-2 до 5-6 м. Они сопровождаются процессами проседания поверхности, локальным термокарстом, термоэрозией вдоль труб и нередко приводит к всплыванию трубопровода на поверхность. При транспортировке охлажденного газа (от -2°C зимой и до -7°C летом) по склонам поднятие верхней границы многолетнемерзлых пород под трубой может привести к затруднению

грунтового стока, грозящей активизацией термоэрозии и оползней-сплывов. Помимо этого, прокладка трубопроводов через таликовые зоны на переходах через водоемы приводит к формированию ореолов промерзания, усилению сегрегационного льдообразования и пучению промерзающих грунтов, что может служить причиной деформации трубопроводов. [14]

Здания и сооружения оказывают в меньшей степени прямое тепловое воздействие на массив многолетнемерзлых пород. Среди них наиболее мощным источником тепла являются аппараты воздушного охлаждения (АВО) нефти и газа. Используемые при их работе вентиляторы в режиме рециркуляции нагнетают теплый воздух прямо в основание установок, что способствует образованию техногенных таликов. [18] К примеру, на действующих нефтегазоконденсатных месторождениях Медвежье и Ямбургское кровля многолетнемерзлых пород в основании АВО нефти и газа в зависимости от начальных криогенных условий и времени эксплуатации установки понизилась от 1,5-2 м до 7,5-8 м, что иногда превышает глубину заложения свай и приводит к потере несущей способности оснований и различного рода аварийным ситуациям. [13]

Особым видом теплового воздействия на мерзлую толщу является предварительное оттаивание мерзлых оснований при использовании II-го принципа строительства (I принцип предусматривает сохранение грунтов оснований в мерзлом состоянии на весь период эксплуатации месторождения). Существует два способа оттаивания: электрооттаивание (для всех видов грунтов на глубину до 40 м и более) и пароттаивание (для песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации более 0.0004 м/ч (открытыми паровыми иглами) и для всех видов грунтов (закрытыми паровыми иглами) с глубиной не выше 10 м). [17]

Механические нагрузки на массив многолетнемерзлых пород оказывают практически все объекты нефтегазодобычи и инфраструктуры, возведенные на фундаментах. На устойчивость мерзлых оснований к механическим нагрузкам

вливают такие факторы, как литологический состав отложений, засоленность, криогенная структура, льдистость и температурный режим. В общем, данный тип воздействия незначительно изменяет природную геокриологическую обстановку. Он более важен при определении несущей способности оснований и устойчивости фундаментов, особенно в районах распространения засоленных мерзлых грунтов со сложным криогенным строением или на участках пластично-мерзлых пород с высокими среднегодовыми температурами. [18]

Химическое загрязнение многолетнемерзлых пород, межмерзлотных и грунтовых вод сезонно-талого слоя токсичными веществами происходит в результате бурения разведочных и эксплуатационных скважин и при аварийных разливах нефти, нефтепродуктов, горюче-смазочных материалов и технологических жидкостей. Эти воздействия связаны с нарушением природоохранных регламентов в освоении территории. В некоторых случаях химическое загрязнение мерзлых пород может оказывать значительное влияние на несущую способность мерзлых оснований. Например, в результате периодического сброса отработанного диэтиленгликоля, который применяется при осушке газа, в основание технологического корпуса УКПП-4 на месторождении Медвежье под ним образовался специфический техногенный талик с температурой $-1,5^{\circ}\text{C}$ и мощностью более 6 м, что вызвало осадку фундамента и многочисленные деформации сооружений. [13]

Осваивая нефтегазоносные районы, в процессе идут выбросы «парниковых газов» в атмосферу (углекислого газа, метана, фреона и др.), что усиливает действие «парникового эффекта» и потепление климата, впоследствии приводящее к таянию многолетнемерзлых пород и различного рода аварийным ситуациям на объектах. Их влияние друг на друга взаимосвязаны и получается своего рода замкнутый круг.

По данным [7], выполнен схематический прогноз изменения положения границы многолетней мерзлоты и скоростей ее оттаивания (на данный момент через 20-40 лет), то есть «отрыва» кровли многолетней мерзлоты от подошвы

сезонно-промерзающего слоя в торфяных, глинистых и песчаных урочищах. Эти границы сравниваются с современными границами многолетней мерзлоты (рис. 6 А). На основании прогнозных расчетов представлено схематическое районирование прогнозной геокриологической ситуации. [12] Условно территория криолитозоны России делится на две крупные области (рис. 6 Б): S – зона условно стабильной многолетней мерзлоты и D – зона ее потенциальной деградации – с тремя подзонами в каждой. Как мы видим территория ЯНАО, ее южная часть относится к потенциальной деградации. Вся северная часть от полярного круга останутся условно стабильными.

Подзоны к 2025 году:

D₁ – полное оттаивание многолетней мерзлоты к 2025 году;

D₂ – среднее оттаивание: песчаные и глинистые урочища остаются в основном немерзлыми; в торфяных урочищах кровля мерзлоты понижается, ее «отрыв» к 2025 г. составит от 1,5 до 0,5 м;

D₃ – слабое оттаивание: песчаные урочища остаются в основном немерзлыми; в глинистых кровля мерзлоты понижается, «отрыв» идет в настоящем времени, значения «отрыва» к 2025 г. составят от 3 до 1,5 м; в торфяных кровля мерзлоты понижается, начало «отрыва» через пару лет, величина слоя «отрыва» к 2025 г. от 0,5 до 0;

S₁ – островная мерзлота;

S₂ – зона прерывистой мерзлоты;

S₃ – зона сплошной мерзлоты.

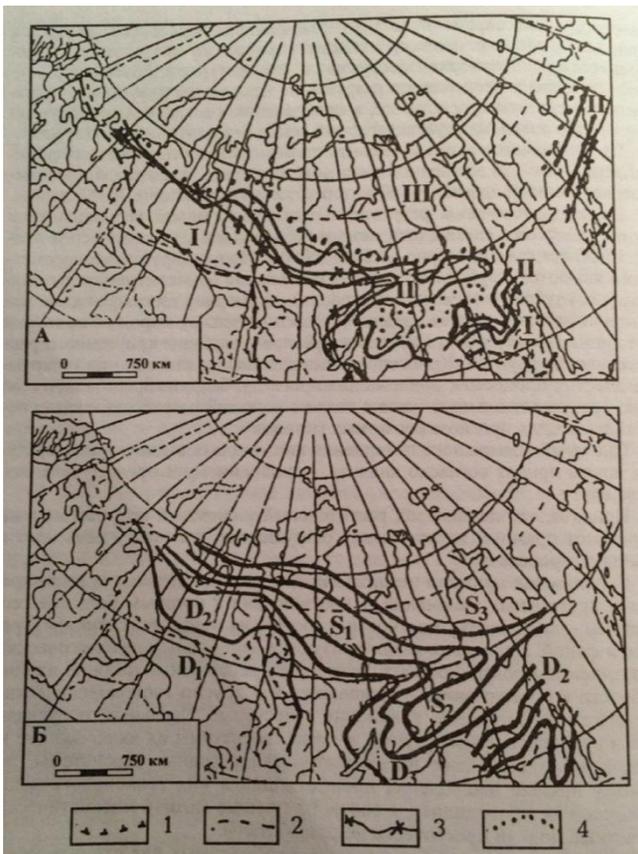


Рис. 6 Современное (А) и прогнозное, к 2025 году (Б) распределение многолетней мерзлоты. I – островное, II – прерывистое, III – сплошное. 1 – современная южная граница многолетней мерзлоты, 2-4 – расчетные современные южные границы многолетней мерзлоты в грунтах: 2 – торфяных, 3 – глинистых, 4 – песчаных. Остальные обозначения смотрите в тексте.

И также выполнен прогноз для одного из наиболее опасных криогенных процессов, это криогенное растрескивание. Он выполнен на основе методики, изложенной в работе [10]. Входные данные в расчетную методику состоят из: 1) климатических данных, включая температуру воздуха и снежный покров, 2) свойств грунтов, включая физические, тепло-физические и механические. Для прогноза ареала современного растрескивания определены критические минимальные зимние температуры поверхности для грунта различного типа: для торфа -12°C , для глинистых грунтов -14°C , для песчаных -20°C (рис. 7 А). Точно таким же способом, но только основываясь на расчетных прогнозных значениях минимальных зимних температур поверхности грунта, могут быть определены районы растрескивания, ожидаемые примерно через 20-40 лет (рис. 7 Б). [5]

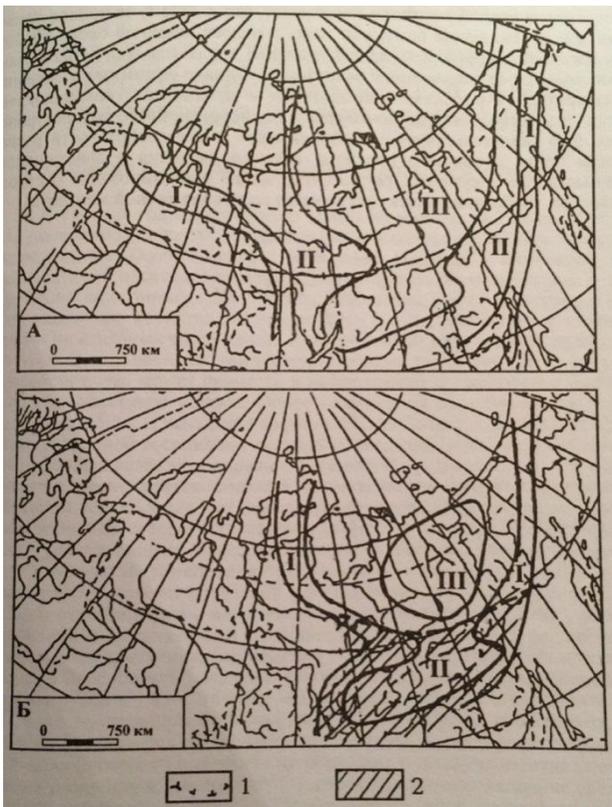


Рис. 7 Области криогенного растрескивания в современных условиях (А) и в условиях, ожидаемых через лет (Б). I – в торфе (в глинистых и песчаных грунтах растрескивание не происходит), II – в торфе и глинистых грунтах (в песчаных не происходит), III – растрескивание происходит во всех типах грунтах. 1 – южная граница современной многолетней мерзлоты; 2 – область с развитием криогенных трещин только в пределах слоя сезонного промерзания.

Как мы видим, ожидается сильное сокращение ареалов растрескивания в естественных условиях. И на территории округа оно прекратится полностью, что является большим плюсом для хозяйственного освоения территорий.

2.2 Криогенные процессы, происходящие в толще ММП под влиянием объектов нефтегазовой промышленности

Освоение нефтегазовых месторождений в областях распространения многолетнемерзлых пород выдвигает сложные проблемы в связи наличием мощных высокольдистых мерзлых толщ. Слой пород в 300-500 м, сцементированных льдом и резко отличающихся по физическим параметрам от талых толщ, существенно затрудняют бурение и эксплуатацию скважин, приводит к замерзанию бурового раствора, «прихватам» инструмента, обвалам

стенок скважин и образованию крупных каверн при оттаивании пород. Низкие температуры пород способствуют закупорке эксплуатационных труб газовых месторождений кристаллогидратами и выпадению парафина из нефти, а также затруднению цементирования скважин. Движение нагретого газа или нефти по скважине вызывает оттаивание пород в затрубном пространстве, за пределами цементного кольца, что создает дополнительные пути проникновения газа на поверхность. [2] Многолетнемерзлые высокольдистые грунты затрудняют строительство зданий, сооружений и дорог.

Техногенное вмешательство провоцирует активизацию криогенных процессов. И эти спровоцированные процессы отличаются от природных рядом характерных признаков: большая интенсивность, быстрое протекание во времени и часто развиваются противоположно от естественного строения рельефа, что мешают для освоения территории.

Так как на территории округа на месторождениях строительство зданий происходит по I принципу (с сохранением мерзлоты в основании), то для них опасны два процесса: отепление и оттаивание грунтов и растрескивание грунтов с ростом жильного льда в трещинах в проветриваемом подполье. [11]

Современная технология строительства оснований и фундамента промышленных и жилых зданий и сооружений на многолетнемерзлых породах с применением парожидкостных охлаждающих установок и проветриваемых подполий имеют свойства наращивать глубину промерзания пород. Так режимный термокаротаж скважин, пробуренных в основаниях зданий и сооружений объектов Самбургского месторождения, свидетельствует о том, что динамика температурного режима мерзлых грунтов в основаниях сооружений развивается в проектом режиме. Под всеми зданиями и сооружениями отмечено понижение температур грунтов оснований. На участках, в пределах которых отмечались мерзлые грунты несливающегося типа, верхние горизонты разреза промерзли. [18] Процесс аградации многолетнемерзлых толщ приводит к неравномерному выпучиванию.

На стадии подготовительных работ и строительства могут возникать следующие криогенные процессы. Если в основании при оттаивании находятся многолетнемерзлые высокольдистые грунты с залежеобразующими (пластовыми или полигонально-жильными) льдами, это может привести к термокарсту. Временное образование межмерзлотных водонапорных горизонтов и появление наледей при обратном промораживании техногенных чаш оттаивания. Овражная термоэрозия и солифлюкция, спровоцированные планировочными работами при строительстве на/или вблизи склонов. Предпостроечное промораживание грунтов в замкнутых и незамкнутых таликах обязательно сопровождается криогенным пучением, весьма неоднородным в плане. В центре замораживаемого контура поднятие поверхности вследствие пучения может быть в несколько раз больше, чем среднее значение по площади контура. [22] Явление морозобойное растрескивание в мерзлых грунтах имеет широкое распространение и ни одна из строительных площадок на Севере не свободна от него. Особое влияние оказывает на здания, построенные по I принципу. [11]

Техногенные насыпи имеют влияние на температурный режим подстилающих грунтов. Так, например, были проведены расчеты на Заполярной ГНКМ на влияние режима увлажнения техногенных насыпей на температурный режим подстилающих грунтов. И было выявлено, что, «если насыпь постоянно обводнена, то теплопроводность грунтов в талом состоянии меньше, чем в мерзлом, что обеспечивает формирование отрицательной температурной сдвижки (понижение среднегодовой температуры на подошве сезонно-талого слоя по отношению к среднегодовой температуре на поверхности насыпи). С увеличением мощности насыпи от 0,5 м до 2,5 м температура грунтов незначительно повышается от $-1,4^{\circ}\text{C}$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$, в связи с тем, что значение отрицательной температурной сдвижки уменьшается, а отепляющее влияние снега растет (рис. 8).

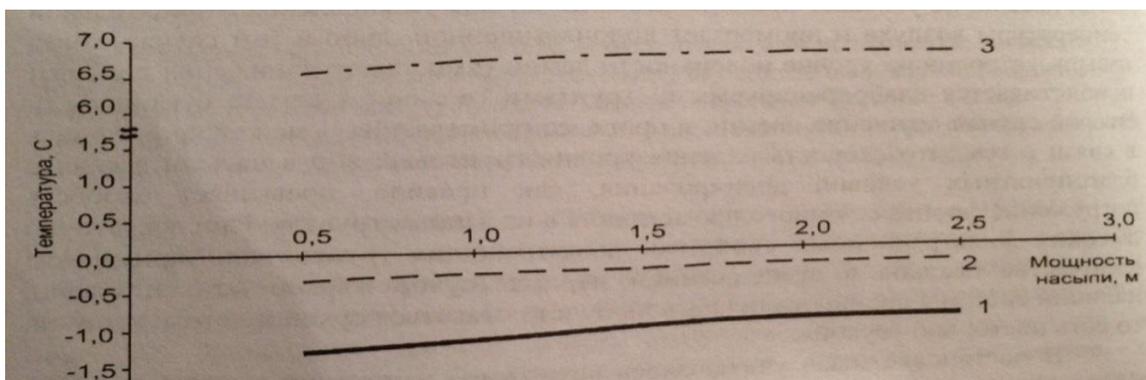


Рис. 8 Прогнозные значения среднегодовой температуры грунтов (1), температурной сдвижки (2), тепляющего влияния снега (3) в зависимости от высоты насыпи. Насыпь постоянно обводнена, подстилается суглинками, мощность снега на насыпи 0,3 м.

В случае летнего обводнения и осеннего осушения насыпи имеет место положительная температурная сдвижка, которая увеличивается с увеличением высоты насыпи, при этом тепляющее влияние снега уменьшается, в результате среднегодовая температура повышается незначительно: от -1,4 до -1,0°C, так же как и в предыдущем случае (рис. 9).

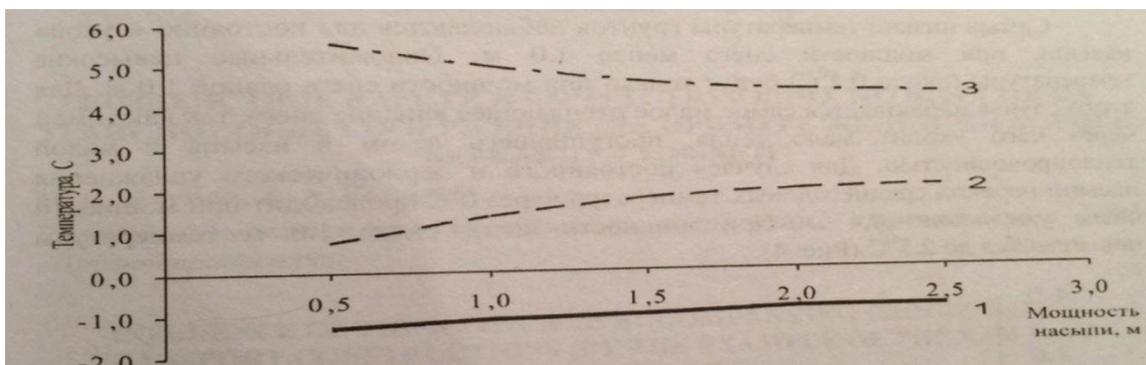


Рис. 9 Прогнозные значения среднегодовой температуры грунтов (1), температурной сдвижки (2), тепляющего влияния снега (3) в зависимости от высоты насыпи. Насыпь обводнена летом, осушается зимой; подстилается суглинками, мощность снега на насыпи 0,3 м.

Если насыпь постоянно «сухая», то увеличением ее мощности происходит понижение среднегодовой температуры грунтов, то есть насыпь оказывает охлаждающее влияние за счет малой теплопроводности грунта и небольших затрат тепла на фазовые переходы. Например, в случае, если насыпь подстилается суглинками, то понижение температуры грунтов происходит от -2,9 до -4,4°C при увеличении мощности насыпи от 0,5 до 2,5 м. Влияние

теплофизических свойств подстилающих грунтов на их температурный режим сказывается в том случае, когда высота насыпи не превышает 1-1,5 м. Это действительно для всех режимов увлажнения насыпей (рис. 10)». [16]

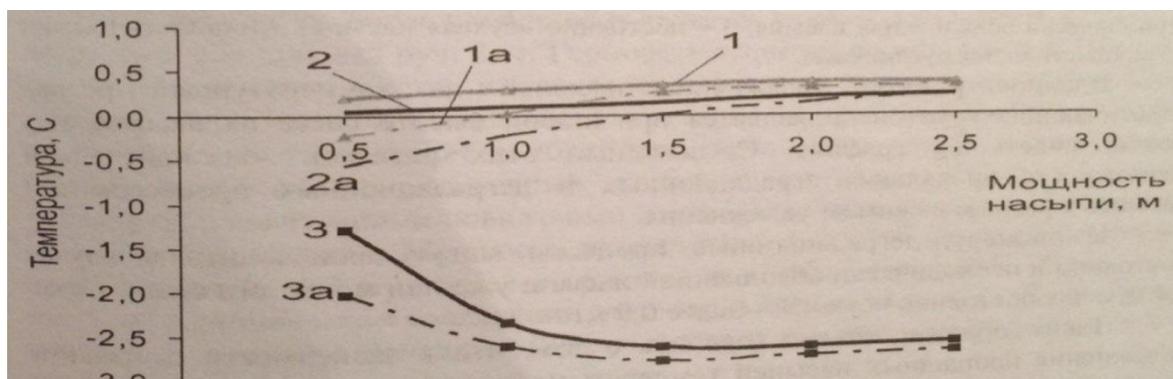


Рис. 10 Зависимость среднегодовой температуры подстилающих грунтов от высоты насыпи при различных режимах увлажнения; мощность снега на насыпи 0,5 м (1 - постоянно обводненная насыпь, подстиляется суглинками; 1а - постоянно обводненная насыпь, подстиляется торфом; 2 - периодически обводненная насыпь, подстиляется суглинками; 2а - периодически обводненная насыпь, подстиляется торфом; 3 - постоянно «сухая» насыпь, подстиляется суглинками; 3а - постоянно «сухая» насыпь, подстиляется торфом).

Если высота насыпи оказывается больше сезонного протаивания, то основание не протаивает, и в теле насыпи формируется мерзлое ядро.

Морозобойные температурные трещины в теле земляных насыпей могут образовываться вследствие температурных напряжений в грунте, вызванных его охлаждением зимой в связи с понижением температуры наружного воздуха. Применение сезонно-охлаждающих установок и иных охлаждающих устройств, вызывая дополнительное охлаждение (замораживание) грунтов, может также способствовать криогенному растрескиванию. В плане трещины обычно образуют систему – ортогональную решетку. Глубина трещины может быть от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Если трещины проникают в мерзлое ядро насыпи, то они могут стать основой для образования и роста жильных льдов. Система трещин, образовавшихся на откосе насыпи, может вызвать ее эрозию дождевыми водами и спровоцировать развитие термокарста. [11]

При подземной укладке трубопровода нужно учитывать массу грунта для засыпки после ее укладки. Мощность сезонно-талого слоя составляет примерно 0,7-1,3 м. При строительстве почвогрунт будет смешан со льдом, извлеченным из траншеи. На отдельных участках трассы вынесенный на поверхность лед при таянии образует потоки воды, что может привести к образованию промоин и оврагов и выталкиванию трубопровода. Для холодных или теплых участков трубопроводов применяются либо теплоизоляционные экраны либо сезоннодействующие охлаждающие устройства. Применение теплоизоляции приводит к замедлению процессов промерзания талых грунтов на холодных участках и оттаиванию мерзлых грунтов на теплых участках. [19]

Геокриологические исследования, выполненные на газопроводах Уренгой-Надым-Пунга, Уренгой-Помары-Ужгород, Ямбург-Елец и на межпромысловых газовых коллекторах на Медвежьем и Уренгойском газовых месторождениях [4], показали, что, в результате оттаивания мерзлых грунтов, происходит образование мощных и протяженных таликовых зон (термокарста) вдоль трубы газопровода, что оказывает существенное влияние на гидродинамический режим грунтов, приводит к их интенсивному обводнению и интенсификации эрозионного процесса.

При надземной способе укладки трубопроводов непосредственное тепловое воздействие транспортируемого продукта на мерзлые грунты практически исключается, в связи с чем проявление криогенных процессов связано, главным образом, с техногенными нарушениями при строительстве трубопровода, при проведении ремонтных работ, а также с изменением характера снегоотложения у опор трубопровода. Установлено, что при строительстве (проводится обычно в зимний период) в полосе освоения уничтожается древесная растительность, влияние на напочвенный покров значительно меньше. Однако при постоянно действующих зимниках и на подъездных путях, используемых летом для ремонтных работ, напочвенный покров и дернина полностью нарушаются, и на этих участках происходит

увеличение глубины сезонного оттаивания грунтов, развиваются термокарстовые понижения и просадки, достигающие на льдистых грунтах 1,0 – 1,5 м. Оголение поверхности от растительных покровов способствует эрозионному размыву грунтов поверхностными водами и росту оврагов, а также солифлюкционному течению грунтов. [22]

Уменьшение высоты снежного покрова (из-за удаления древесной растительности и наличия аэродинамического эффекта), приводящее к сокращению на 35-40 дней период промерзания грунтов сезонного слоя приводит, по данным Ф.М. Ривкина [5], к формированию на склоновых участках трассы газопровода Мессояха-Норильск наледей, которые при толщине до 1 м достигают в ширину 60 м.

3. Рекомендации по уменьшению отрицательного последствия хозяйственной деятельности

Все техногенные воздействия можно разделить на две группы: предусмотренные и непредусмотренные. К первому относятся воздействия от проектируемых сооружений нефтегазодобывающего комплекса, ко второй – непредусмотренные проектом техногенные нарушения естественных условий. Таковые имеют место при нарушении регламента освоения месторождения. Типичными непредусмотренными являются нарушения при проездах по растительному покрову гусеничного транспорта в теплый период года, бурении одиночных скважин и их кустов, эксплуатации временных вахтовых поселков (без предварительной инженерной подготовки площадок). При соблюдении соответствующих регламентов площадь земель, нарушенных непредусмотренным техногенным воздействием, должна быть равна нулю.

Основное внимание должно уделяться рассмотрению мероприятий по снижению техногенных воздействий первой группы, то есть от инженерных сооружений различного типа. При освоении месторождений основными

инженерными сооружениями нефтегазового комплекса являются: промышленные и жилые здания, подземные и надземные трубопроводы (с отрицательной и положительной температурой нефти и газа), насыпи линейных сооружений, отсыпки площадные (промплощадок, вахтовых поселков, кустов скважин и др.). Основной задачей при строительстве перечисленных видов сооружений является сохранение глубин сезонного протаивания и величины среднегодовой температуры грунтов оснований не более естественных значений. В определенных случаях (засоленные грунты) необходимо понижение температуры грунтов.

При разведке в нефтегазовых месторождениях важно, чтобы каждая поисковая или разведочная скважина впоследствии могла быть использована как эксплуатационная. Правильно выбранная конструкция скважины обеспечивает безаварийную ее проходку и длительную эксплуатацию. Также для обеспечения надежности скважин нужно досконально изучить факторы, способствующие формированию осложнений, оценке их относительной роли в проявлении осложнений и существующих между такими факторами взаимосвязей.

Перед тем как прокладывать скважину необходимо учитывать ряд обязательных требований и следовать всем инструкциям и регламентам.

В случае несоблюдения одного из требований возможен целый ряд осложнений и аварий.

Магистральные трубопроводы, из-за осложнений при подземной укладке в трудных инженерно-геологических условиях, перешли на надземную укладку, так как так идет меньше воздействия на мерзлоту и за ними легче наблюдать и ремонтировать. Но при этом нужно учитывать опорную часть, защитные механизмы от атмосферной коррозии и места перехода для диких животных и кочующих оленеводов. Все это должно осуществляться при исполнении соответствующих регламентов, нормативных и технических документов. Для

других линейных сооружений могут осуществляться применение для насыпей непучинистых грунтов, устройства водопропусков, отсыпка на ненарушенный растительный покров и слой термогидроизоляции.

Для промышленных и жилых зданий и проветриваемых подпольев должны осуществляться подсыпка на грунт, регулярная уборка по периметру зданий снежных надувов, применение термостабилизаторов, применение малозаглубленных фундаментов в грунтах подсыпки на площадках с близким залеганием линз криопегов, устройства водопропусков паводковых вод (на низкой пойме).

Для отсыпок площадных применимо устройство подсыпок в зимнее время, применение непучинистых грунтов, назначение высоты подсыпки исходя из особенностей гидрологического режима пойм и требования поднятия поверхности многолетнемерзлых пород в основание подсыпки (определяется теплотехническим расчетом), отсыпка грунта на ненарушенный растительный покров и слой термогидроизоляции, укрепление откосов подсыпки от размыва паводковыми водами (на лайде, низких поймах), организация поверхностного стока, направленная на предотвращение застоя поверхностных вод на поверхности подсыпки и ее периферии, закрепление насыпных грунтов от дефляции.

При нарушении почвенно-растительного покрова, защищавший мерзлые грунты от таяния, применимы методы повторного посева семян (рекультивации) на нарушенные земли. Как показывает практика для южной границы тундры и зоны лесотундры этот метод работает, и были получены неплохие результаты. Продолжить данные мероприятия по улучшению растительного покрова.

Для поддержания температуры грунтов при техногенном воздействии и в летнее время применимы сезонноохлаждающие устройства,

термостабилизаторы, фреоновые трубки (рекомендуется применять вдоль всех авто- и железных дорог, мостов через реку).

Все мероприятия должны быть направлены на сохранение естественных геокриологических условий, как в контурах сооружений, так и в зонах влияния сооружений на грунты. Мероприятия могут несколько изменяться в зависимости от типов ландшафтов, грунтов, криологических и гидрологических условий.

Заключение

Проблема влияния нефтегазового комплекса на мерзлотные процессы носит достаточно актуальный характер для Ямало-Ненецкого автономного округа, в частности для нефтегазодобывающих компаний.

В ходе проделанной работы был проведен анализ распространения многолетнемерзлых пород, особенности их строения, закономерностей многолетнего промерзания-протаивания и криогенных процессов, который показал, что на территории присутствует область сплошного и несплошного распространения мерзлых пород, а также мощные высокольдистые мерзлые толщи.

Дана характеристика особенностей геокриологического строения многолетнемерзлых пород на участках расположения нефтегазодобывающих месторождений. Освоение нефтегазовых территорий в районах многолетней мерзлоты неизбежно сопровождается процессами антропогенного преобразования и изменения естественных условий природного ландшафта. Объектами воздействия являются все компоненты природной среды в криолитозоне, но особое место занимают многолетнемерзлые породы в силу ряда причин. Они определяют все многообразие протекающих природных процессов на Крайнем Севере, стабильность и изменчивость состояния других компонентов природной среды. В общем, мерзлота определяет реакцию

ландшафта к различного рода изменениям, являясь наиболее неустойчивым и динамичным элементом природной среды, подверженным любым процессам, нарушающие естественные условия окружающей среды.

Техногенное вмешательство провоцирует активизацию криогенных процессов. И эти спровоцированные процессы отличаются от природных рядом характерных признаков: большая интенсивность, быстрое протекание во времени и часто развиваются противоположно от естественного строения рельефа, что мешают для освоения территории.

В ходе проделанной работы выявлены воздействия нефтегазового комплекса на многолетнюю мерзлоту и предложены ряд мероприятий по уменьшению отрицательного воздействия хозяйственной деятельности. Так, в основном мероприятия должны быть направлены на уменьшение нарушений в районе инженерных сооружений различного типа. Самое главное при строительстве необходимо следовать четким указам, требованиям, инструкциям и регламентам. Также во время выполнять мероприятия по устройству подсыпки грунтов для отсыпных площадок, по замене устаревших устройств, для поддержания постоянной температуры грунтов в течение года с помощью термостабилизаторов, фреоновых трубок.

Таким образом, следуя основным требованиям при планировке, строительстве и эксплуатации, можно будет избежать нежелательных процессов в мерзлоте и ряд других осложнений и аварий.

Список используемой литературы

1. Баулин В.В., Аксёнов В.И., Дубиков Г.И. и др. Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Том II. Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения [Текст]: – Тюмень: ИПОС СО РАН, 1996. 153 с.
2. Баулин В.В. Многолетнемерзлые породы нефтегазоносных районов СССР [Текст]: – М.: Недра, 1985. С. 161-168.
3. Большая Российская Энциклопедия. М.: НИ «Большая Российская Энциклопедия», 2012.
4. Брыксин В.Н., Степанова С.Г., Спиридонов В.В., Цуриков А.С. Экспериментальное изучение теплового взаимодействия действующих систем газопроводов Медвежье-Надым-Пунга с внешней средой [Текст]: В кн.: Исследование взаимодействия трубопроводов с окружающей средой. М.: ВНИИСТ, 1979. С. 56-80.
5. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов [Текст]: / Под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. С. 59-62, 118-126.
6. Геокриологические условия Западно-Сибирской газоносной провинции [Текст]: / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск: Наука, 1983. С. 96-98.
7. Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Текст]: / Под ред. С.Е. Гречищев. Новосибирск: Наука, 1983. 143 с.
8. Геокриология СССР. Западная Сибирь [Текст]: / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. С. 41, 45-47, 164-188.
9. Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу / Биогеохимические циклы в биосфере [Текст]: – М.: Наука, 1997. С. 46-47.

10. Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. и др. Методические рекомендации по прогнозу криогенных физико-геологических процессов [Текст]: М.: ВСЕГИНГЕО, 1982. 97 с.
11. Гречищев С.Е., Жигульский А.А. Морозобойные трещины в грунтах и их влияние на устойчивость фундаментов [Текст]: В сб.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Сб. 14, ротапр. Красноярск: Изд. КПСНИИПроект, 1969. С. 171-193.
12. Гречищев С.Е., Москаленко Н.Г., Шур Ю.Л. и др. Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской газоносной провинции [Текст]: Новосибирск: Наука, 1983. 103 с.
13. Грива Г.И. Экологический мониторинг природно-технических комплексов на объектах предприятия «Надымгазпром» / Повышение эффективности освоения газовых месторождений Крайнего Севера [Текст]: – М.: Наука, 1997. С. 58-61.
14. Дубина М.М., Красовицкий Б.А. Теплообмен и механика взаимодействия трубопроводов и скважин с грунтами [Текст]: // Новосибирск: Наука, 1987. 79 с.
15. Котляков В.М., Алексеев В.Р. и др. Гляциологический словарь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
16. Материалы третьей конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова, 1-3 июня 2005 г. Т. 4. [Текст]: – М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 190-191.
17. Мельников Е.С., Крицук Л.Н., Павлов А.В. Геокриологические и инженерно-геологические проблемы освоения Ямала [Текст]: М.: ВИЭМС, 1990. С. 40-41.
18. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с мерзлыми грунтами [Текст]: М.: Наука, 1970. С. 184-186.
19. Ремизов В.В., Сулейманов Р.С., Ланчаков Г.А. и др. Диагностика состояния газотранспортных систем Крайнего Севера.

- Техногеоэкологический анализ состояния территорий трасс газопроводов [Текст]: – М.: ИРЦ Газпром, 1998. 70 с.
20. Солонцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных экосистем к техногенным нагрузкам / Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем [Текст]: – М.: Наука, 1982. С. 68-69.
21. Шполянская Н.А. Вечная мерзлота и глобальное изменение климата [Текст]: – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 86 с.
22. Эрозионные процессы центрального Ямала [Текст]: / Под ред. А.Ю. Сидорчука, А.В. Баранова. С.Пб.: 1999. С. 296, 300.

Интернет-источники

23. ПАО «Газпром». Официальный сайт <http://www.gazprom.ru> Дата посещения 29.04.2016 г.
24. Правительство ЯНАО. Официальный сайт <http://правительство.янао.рф> Дата посещения 27.04.2016 г.