

На правах рукописи



КИСТАНОВ ОЛЕГ ГЕННАДЬЕВИЧ

**ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННАЯ ДИНАМИКА
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ НА ЗАПОЛЯРНОМ
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Специальность: 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова на кафедре геокриологии геологического факультета

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Гарагуля Людмила Семеновна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Якушев Владимир Станиславович,
ФГБОУВПО РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина
Профессор кафедры Разработки и эксплуатации
газовых и газоконденсатных месторождений

кандидат геолого-минералогических наук
Сергеев Дмитрий Олегович,
ФГБУН Институт геоэкологии
им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН)
Заведующий лаборатории геокриологии

Ведущая организация: **ООО «Газпром добыча Надым»**

Защита диссертации состоится 16 мая 2014 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 501.001.30 при Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, Главное здание МГУ, геологический факультет, аудитория 415.

Автореферат размещен на интернет-сайтах Геологического факультета МГУ им. Ломоносова www.geo.web.ru и Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru. С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Научной библиотеки Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, в Отделе диссертаций Фундаментальной библиотеки по адресу: Ломоносовский проспект, 27; сектор А, 8 этаж, к.812).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д 501.001.30, профессору В.Н. Соколову.

Автореферат разослан 15 марта 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор



В.Н. Соколов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Добыча полезных ископаемых и, в первую очередь, нефти и газа в районах Крайнего Севера продолжается уже более полувека. При этом инженерно-геологические условия местности, подвергаемой освоению, зачастую характеризуются наличием многолетнемерзлых пород (ММП).

Техногенная нагрузка на естественные ландшафты и перераспределение снежного покрова, уничтожение растительности, смена режима и стока поверхностных вод в виде оборудования выравнивающих насыпей, возведение сооружений, трубопроводов, линий электропередачи и другие воздействия приводят к изменению естественного температурного режима на территории, попадающие в зону влияния застройки. Это воздействие сопровождается различными геокриологическими процессами: термокарстом, пучением, новообразованием мерзлых пород.

В связи с относительно длительной эксплуатацией Заполярного газонефтеконденсатного месторождения (12 лет с момента подачи газа), на котором при обустройстве установок комплексной подготовки газа (УКПГ) широко использовались насыпи большой площади (до 300 000 м²), а также сезонные охлаждающие устройства (СОУ), возникла необходимость оценить состояние температурного режима грунтов как основного показателя надежности оснований сооружений под влиянием техногенного воздействия.

Цель работы заключается в исследовании температурного режима мерзлых грунтов на застроенной территории под влиянием техногенных воздействий и природных факторов, изменяющих условия теплообмена на поверхности и в массиве грунтовых оснований.

Задачи исследования

1. Провести геокриологический мониторинг и создать базу данных наблюдений за условиями теплообмена на поверхности и техногенными воздействиями на температурный режим грунтов.

2. Оценить влияние различных методов термостабилизации грунтов оснований на температурное поле на участках обустройства месторождения.

3. Исследовать динамику надмерзлотных вод в площадных песчаных насыпях. Определить особенности влияния надмерзлотных вод на температурный режим грунтов.

4. Дать оценку условиям развития опасных инженерно-геокриологических процессов в связи с изменением температурного режима грунтов.

Фактический материал и методы исследования. Работа основана на результатах, полученных в период с 2000 по 2012 гг. в ходе проведения мероприятий в рамках геотехнического мониторинга на объектах Заполярного месторождения при участии автора в составе мерзлотной лаборатории Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Ямбург». Фактический материал включает в себя многочисленные полевые наблюдения за температурой грунтов (более 1000 замеров), создание наблюдательной сети и

данные замеров уровней надмерзлотных вод на 120 пьезометрических скважинах.

Проведена типизация по инженерно-геологическим условиям по данным изысканий на участках обустройства Заполярного месторождения применительно к различным видам сооружений и методов термостабилизации грунтов. По данным термометрического мониторинга создана база данных об изменении температуры грунтов. Оценены характер и скорость изменения температурного режима грунтов под влиянием проветриваемого подполья, одиночных СОУ и СОУ, установленных по густой сетке в основании сооружений.

Осуществлены визуальные наблюдения за состоянием зданий и сооружений и развитием инженерно-геологических процессов. Проведен теплотехнический расчет динамики температурного поля под влиянием надмерзлотных вод в песчаных насыпях, режим которых определялся по сети наблюдательных пьезометрических скважин. Дана оценка процессов морозного пучения и тепловой осадки грунтов на основе натуральных наблюдений и выявленных закономерностей техногенных изменений температурного поля грунтов.

Научные результаты. На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Температурный режим многолетнемерзлых пород, сформировавшийся в естественных условиях и отличающийся чрезвычайной степенью пространственной изменчивости, при освоении месторождения сопровождается разнонаправленной динамикой среднегодовой температуры грунтов и увеличением неоднородности температурного поля.
2. Влажность грунтов насыпи и динамика уровня надмерзлотных вод существенно влияют на значения теплофизических характеристик мерзлых и талых насыпных песчаных грунтов и величину годовых теплооборотов. При залегании уровня надмерзлотных вод вблизи дневной поверхности на участках со сливающимся типом мерзлых толщ происходит повышение среднегодовой температуры и увеличение глубины оттаивания, а на участках с несливающимся типом при высоте снега менее 0,5 м идет либо новообразование многолетнемерзлых грунтов (ММГ), либо понижение кровли мерзлых пород. Отсутствие в теле насыпи водонасыщенного слоя грунта в летний и зимний периоды – наиболее благоприятное условие для понижения температуры грунтов для любого типа мерзлых толщ.
3. Динамика уровня надмерзлотных вод – один из факторов развития морозного пучения грунтов, которое проявляется в локальном и площадном повышении уровня дневной поверхности. На участках с избыточным снегонакоплением (под влиянием расположения инженерных сооружений) развиваются термокарстовые просадки поверхности насыпи.

Научная новизна

1. Для территории нефтегазового месторождения со сложными геокриологическими условиями проведены долговременные (более 5 лет) режимные наблюдения за температурой грунтов оснований, для которых использованы различные методы термостабилизации и создана база данных динамики температурного режима.

2. Впервые в большом объеме выполнен численный эксперимент влияния годовой динамики уровня надмерзлотных вод в площадных песчаных насыпях на температурный режим грунтов. На его основе установлено: различные режимы динамики надмерзлотных вод приводят как к повышению, так и понижению среднегодовой температуры грунтов.

Достоверность результатов исследования основана на обобщении данных по теме диссертации, опубликованных в российских изданиях; использовании научно-обоснованных методов обработки данных, применении программных продуктов при проведении прогнозных температурных расчетов и построении информационных карт; подтверждении результатов моделирования данными наблюдений.

Практическая значимость и реализация результатов исследования. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов в схожих геолого-климатических условиях, что позволит выбрать оптимальные варианты проектных решений и повысить эксплуатационную надежность сооружений. Выполненные наблюдения и полученные данные могут быть применены для прогнозирования температурного режима грунтов оснований сооружений в области распространения многолетнемерзлых пород.

Комплексные исследования влияния техногенных факторов и динамики надмерзлотных вод на температурный режим грунтов могут быть использованы для прогноза неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов на объектах, возводимых на насыпных грунтах.

Результаты, полученные в ходе исследований, использованы в отчетах по геотехническому мониторингу на инженерных объектах Заполярного месторождения. Также они учитывались при разработке проектов строительства и реконструкции сооружений месторождения компанией ОАО «ВНИПИгаздобыча».

Личный вклад автора заключается в постановке цели и формулировании задач исследования. Проведении камеральных исследований в составе мерзлотной лаборатории Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Ямбург» с 2007 по 2012 гг. в рамках геотехнического мониторинга на объектах Заполярного месторождения. Участии в разработке методики наблюдения за уровнем надмерзлотных вод в планировочных насыпных грунтах, создании и эксплуатации сети пьезометрических скважин, систематизации результатов наблюдений, теоретических исследований и подготовке выводов.

Апробация работы. Основные материалы и результаты работы изложены в докладах на международных, российских и отраслевых конференциях: XVI научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы развития газовой промышленности Сибири» (Тюмень, 2010); Международный научно-практический семинар «Стратегия развития инженерного мерзлотоведения», посвященный 20-летию создания НПО «ФундаментСтройАркас» (Тюмень, 2010); X международная конференция по мерзлотоведению (Салехард, 2012).

Публикации. По теме диссертации основные положения опубликованы в пяти тезисах и докладах, а также в двух статьях в журналах, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов» ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит 186 страниц машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения и шести приложений. Работа содержит 62 рисунка и 28 таблиц. Список используемой литературы включает 64 отечественных и три зарубежных наименования.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, профессору Л. С. Гарагуле за научную и методическую помощь, а также поддержку в процессе подготовки и написания данной работы. Автор благодарит преподавателей и сотрудников кафедры геокриологии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова за ценные замечания и рекомендации, в особенности С. Н. Булдовича, И. А. Комарова, Е. Н. Оспенникова и Л. Н. Хрусталева. Автор признателен всем коллегам по мерзлотной лаборатории на Заполярном месторождении компании ООО «Газпром добыча Ямбург» за помощь в проведении полевых исследований и при подготовке диссертации. Автор выражает признательность Л. П. Ларионовой за консультации и помощь при проведении расчетов температурных полей. Особая благодарность В. Б. Стебунову за помощь в выборе направления исследования. Автор признателен своей семье за терпение, понимание и помощь при работе над диссертацией.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, формулируется цель и задачи исследования, охарактеризована научная новизна работы и ее практическая значимость, а также показан личный вклад автора.

Глава 1. Исследования геокриологических условий на обустраиваемой территории нефтегазовых месторождений на севере Западной Сибири

В настоящее время, несмотря на высокую степень научного обоснования проектов обустройства месторождений, отмечаются параметрические отказы оснований и фундаментов отдельных сооружений, сопровождающиеся их деформацией, которые вызваны изменением инженерно-геокриологической обстановки.

Опыт строительства и эксплуатации месторождений на севере Западной Сибири (Медвежье, Уренгойское, Юбилейное, Ямбургское и др.), по данным организаций ВСЕГИНГЕО, ВНИИГАЗ, ВНИПИгаздобыча, «Газпром добыча Надым», «Газпром добыча Ямбург», МГУ, ПНИИИС, ТюменНИИгипрогаз, «Фундаментпроект» и др., свидетельствует о том, что изменение геокриологической обстановки происходит уже на стадии строительства.

Особенность Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения – его расположение в лесотундровой (переходной) зоне, с высокой расчлененностью местности, что приводит к разной степени дренированности существующих ландшафтов. Часто встречаются участки с погруженной кровлей ММП, которые находятся на площадях, зарезервированных под строительство.

Обустройство установок комплексной подготовки газа (УКПГ) реализовано на больших по площади (600×500 м и более) отсыпках из песчаного материала мощностью до 5 м. На стадии строительства проведены мероприятия по инженерной защите территории: укрепление откосов, оборудование ливневой и дренажной системы и др.

Крупные в плане объемы насыпного песчаного грунта служат хорошим аккумулятором жидких осадков, что влияет на температурный режим грунтов на обустроенной территории. При этом реализованные мероприятия по инженерной защите не всегда исключают воздействие надмерзлотных вод на несущую способность оснований сооружений и зданий, а также развитие неблагоприятных геокриологических процессов.

Глава 2. Характеристика природных условий

В главе представлена характеристика географического положения месторождения, проанализированы физико-географическая и климатическая обстановка, рассмотрены геоморфологические, инженерно-геологические, гидрогеологические, геокриологические условия, благодаря которым сформировался температурный режим, существовавший до момента освоения участков строительства на Заполярном месторождении.

Исследования проведены в пределах области, расположенной на севере Западно-Сибирской низменности, в междуречье нижних течений рек Таз и Пур, в Нижнетазовской провинции лесотундровой зоны, между 66° 52' и 67° 16' с.ш., 78° 56' и 80° 00' в.д. Площадь месторождения составляет 8 745 га, в длину 50 км, в ширину 30 км. Ближайшие крупные населенные пункты – п. Тазовский, п. Уренгой.

Территория месторождения представляет собой пологоволнистую равнину, в значительной степени террасированную. Северо-восточная часть Заполярного месторождения лежит в пределах Тазовской низменности, остальная — на территории Пур-Тазовской возвышенности. Преобладающие отметки поверхности составляют 45...60 м. Поверхность водоразделов сильно изрезана долинами малых рек и овражно-балочной сетью. По степени расчленения рельефа район относится к сильно расчлененным.

Равнина сложена четвертичными отложениями, представленными однородными супесчано-суглинистыми породами с отдельными прослоями гравийно-галечникового материала, которые представляют собой полигенетическую толщу, залегающую с эрозионным несогласием на палеогеновых отложениях. Самые древние четвертичные породы – среднеплейстоценовые салехардские морские отложения (m, gm II₂₋₄ sh), на которых сформировались казанцевские (m, pm III₁ kz), ялбынинские (pm, la III₁₋₂ jab), зырянские (la III₂ zr), каргинско-сартанские (a III₃₋₄ kr+sr) и современные аллювиальные отложения (a IV).

Среднемесячная температура воздуха наиболее теплого месяца равна плюс 15,6 °С, среднемесячная температура воздуха наиболее холодного месяца составляет минус 23,9 °С.

Территория месторождения относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, мощность которых составляет от 380 до 495 м. Среднегодовые температуры пород изменяются от 0 до минус 4,5 °С. Наиболее высокие температуры характерны для дренированных залесенных участков. Низкие температуры свойственны торфяникам на местных водоразделах. Глубина сезонного протаивания изменяется от 0,5 до 2,2 м. Глубина сезонного промерзания на плоских безлесных и редколесных участках составляет 1,5–2,5 м.

Из современных экзогенных геологических процессов наиболее развиты: морозное пучение дисперсных грунтов, термокарст, морозобойное растрескивание.

Глава 3. Техногенные изменения температурного режима

Выполнена типизация геотехнических систем. В основе типизации – последовательное «дробление» геокриологической среды на типы грунтов (на всю глубину взаимодействия с фундаментом) по расчетной и фактической несущей способности, в зависимости от состава, льдистости, температурного режима и направленности его изменения, под влиянием инженерных объектов, а также по видам термостабилизации, используемой на сооружениях (Табл. 1). Наблюдательная сеть термоскважин учитывала функциональное назначение и расположение фундаментов сооружений (Рис. 1).

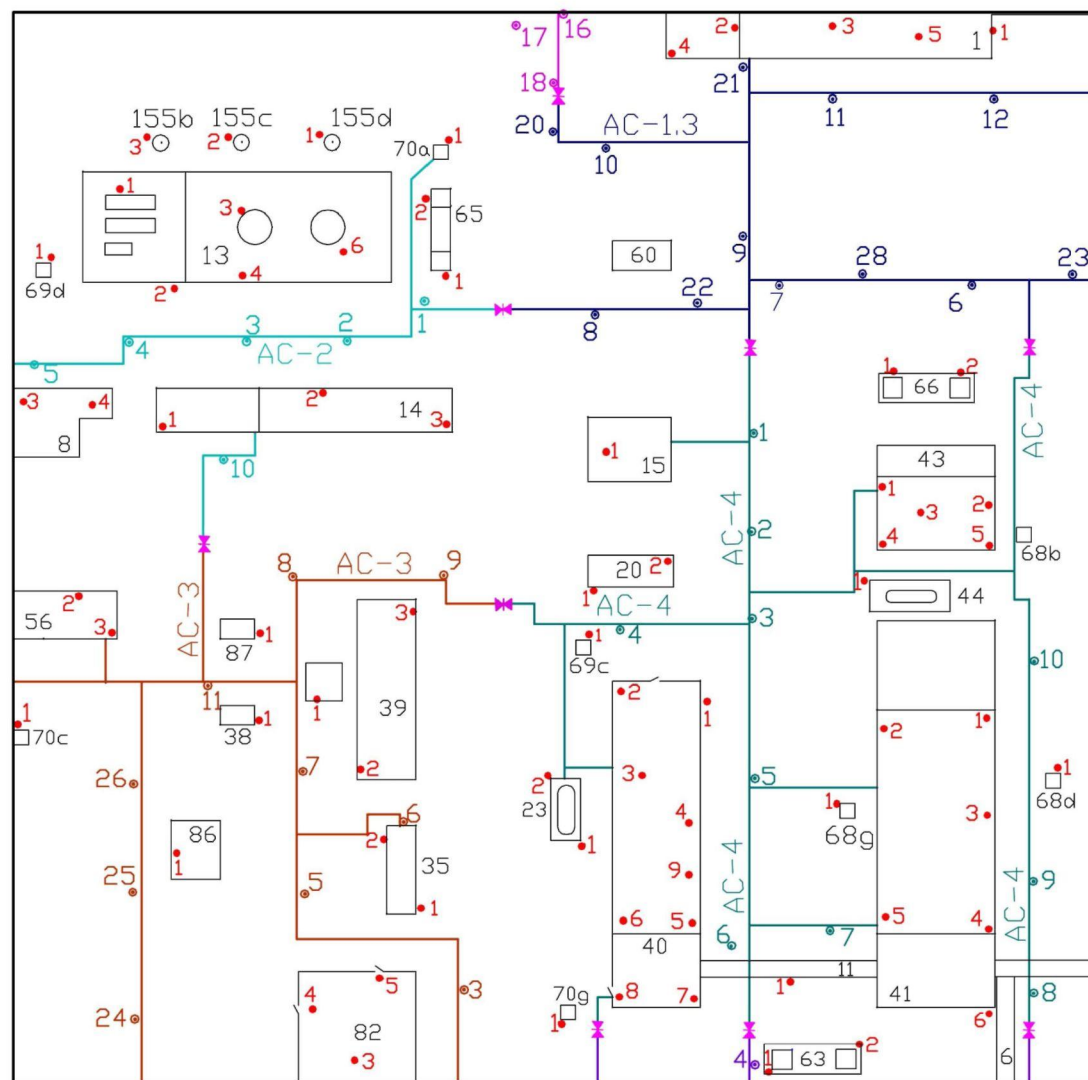
При возведении объектов на Заполярном нефтегазоконденсатном месторождении использован I принцип строительства на участках со сливающимся и несливающимся типом ММГ.

На площадках с неблагоприятными мерзлотно-грунтовыми условиями на этапе строительства и эксплуатации применены три варианта охлаждения или промораживания толщи грунтов: 1) с помощью сезонно-охлаждающих устройств; 2) проветриваемых подполий; 3) проветриваемых подполий совместно с сезонноохлаждающими устройствами (СОУ). Выбор метода термостабилизации определялся в зависимости от инженерно-геокриологических условий, определенных на стадии изысканий и с учетом характеристик возводимых сооружений.

Таблица 1

Таблица характерных геотехнических систем на территории УКПГ на Заполярном месторождении

Инженерно-геологические свойства						Инженерные объекты	Методы термостабилизации			
Номер УКПГ	Площадь с несливающимся типом ММП на УКПГ, % глубина погружения кровли, м	Характерные типы урочищ для территории УКПГ	Преобладающий разрез и состав грунта	Среднегодовая температура грунта, °С	Мощность СТС/СМС, м		Подполю и СОУ	Подполю	По периметру сооружения СОУ	Одиночное СОУ
1 С	$\frac{40}{\text{до } 9,0}$	1x	суглинок (линзы супесей, глин)	-0,6...-2,0	0,5-1,2/ 1,4-2,1	Крупные цеха	+	+	+	-
2 С	$\frac{35}{\text{до } 8,5}$	1v	суглинок, подстиляется супесью, песком	0,0...-3,4	0,5-1,5/ 1,9-2,5	Средние и малые сооружения	+	+	+	-
3 С	$\frac{40}{\text{до } 9,5}$	1d	суглинки (линзы супесей, глин)	0,6...-2,4	0,5-1,7/ 1,7-2,5	Подстанции, блок боксы	+	+	+	-
						Мачты, молниеотводы	-	-	-	+
						Эстакады коммуникаций	-	-	-	+



У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я

- 14 — контур площадочных сооружений и их номер позиции
- 68d — осветительная мачта и ее номер позиции
- ← — эстакады внутривысотных сетей их нумерация и граница
- 26. — наблюдательная термоскважина на эстакаде и ее номер
- 1 — наблюдательная термоскважина на площадочных сооружениях и ее номер

- поз. 1-здание переключющей арматуры (ЗПА)
- поз. 8-площадка емкостей хлорного кальция
- поз. 13-площадка расходных емкостей ТЭГ
- поз. 14-технологическая насосная
- поз. 15-площадка подогревателя газа
- поз. 20-здание узла редуцирования газа
- поз. 23-дренажная емкость объемом 40 м3
- поз. 35 и 60-трансформаторная подстанция
- поз. 38, 63, 65, 66 и 87-насосные станции с заглубленными в грунт тепловыделяющими конструкциями
- поз. 39-котельная
- поз. 40-цех осушки газа
- поз. 41-цех регенерации ТЭГ
- поз. 43-здание огневых регенераторов ТЭГ
- поз. 44-дренажная емкость объемом 40 м3 для ТЭГ
- поз. 56-компрессорная сжатого воздуха
- поз. 68, 69 и 70-прожекторные мачты, молниеотводы
- поз. 82-ремонтно-механический цех
- поз. 86-блочное устройство хранения материалов

Рис. 1 Фрагмент схемы расположения термометрических скважин на площадке УКПГ

Использование одиночных СОУ вблизи свайных оснований эстакад, опор осветительных мачт и молниеотводов благоприятно сказывается на температурном режиме грунтов как на территории со сливающимся типом ММП, так и на участках с погруженной кровлей мерзлых пород. Эксплуатация СОУ в течение одного зимнего сезона позволяет достичь таких отрицательных значений температуры грунта (от минус 1 °С и менее), которые обеспечивают мерзлое состояние и надежную работу основания в последующий летний период.

Создание проветриваемого подполья без СОУ в первый год позволяет сохранить значение температуры грунтов, которые были в природных условиях до начала строительства. Дальнейшая эксплуатация подполья позволяет понизить температуру грунтов оснований. Данный метод термостабилизации реализует климатический потенциал охлаждения грунтов (после одного года эксплуатации температура по рабочей длине свай осенью составляет минус 0,8 °С; после трех лет – минус 2,2 °С).

При совместном применении проветриваемого подполья и СОУ температурный режим грунтов достигает проектных величин за относительно короткий промежуток времени – по окончании второго зимнего периода, а иногда и за один зимний сезон. Полностью потенциал понижения температуры грунтового основания достигается через 4-5 циклов охлаждения, в дальнейшем изменения температурного режима грунта, при отсутствии отрицательного техногенного влияния (избыточное тепловыделение, слив технологических жидкостей с положительной температурой), будет зависеть от вариаций температуры воздуха на рассматриваемой территории.

Температура грунта при эксплуатации сооружений с использованием мероприятий по термостабилизации грунтов основания (проветриваемого подполья и сезонных охлаждающих устройств) на территории с погруженной кровлей мерзлоты обладает большой дифференциацией. Разница температур на одной и той же глубине под сооружением и за его пределами на расстоянии 10 м друг от друга может достигать 15,0 °С в весенний период (Рис. 2). Температура грунтов, которая существовала на площадке УКПГ до момента строительства, в зависимости от естественных природных условий кардинально меняется (Рис. 3, 4). Столь быстрое и значительное изменение температурного режима влечет за собой развитие неблагоприятных геокриологических процессов, например пучения в объеме грунта.

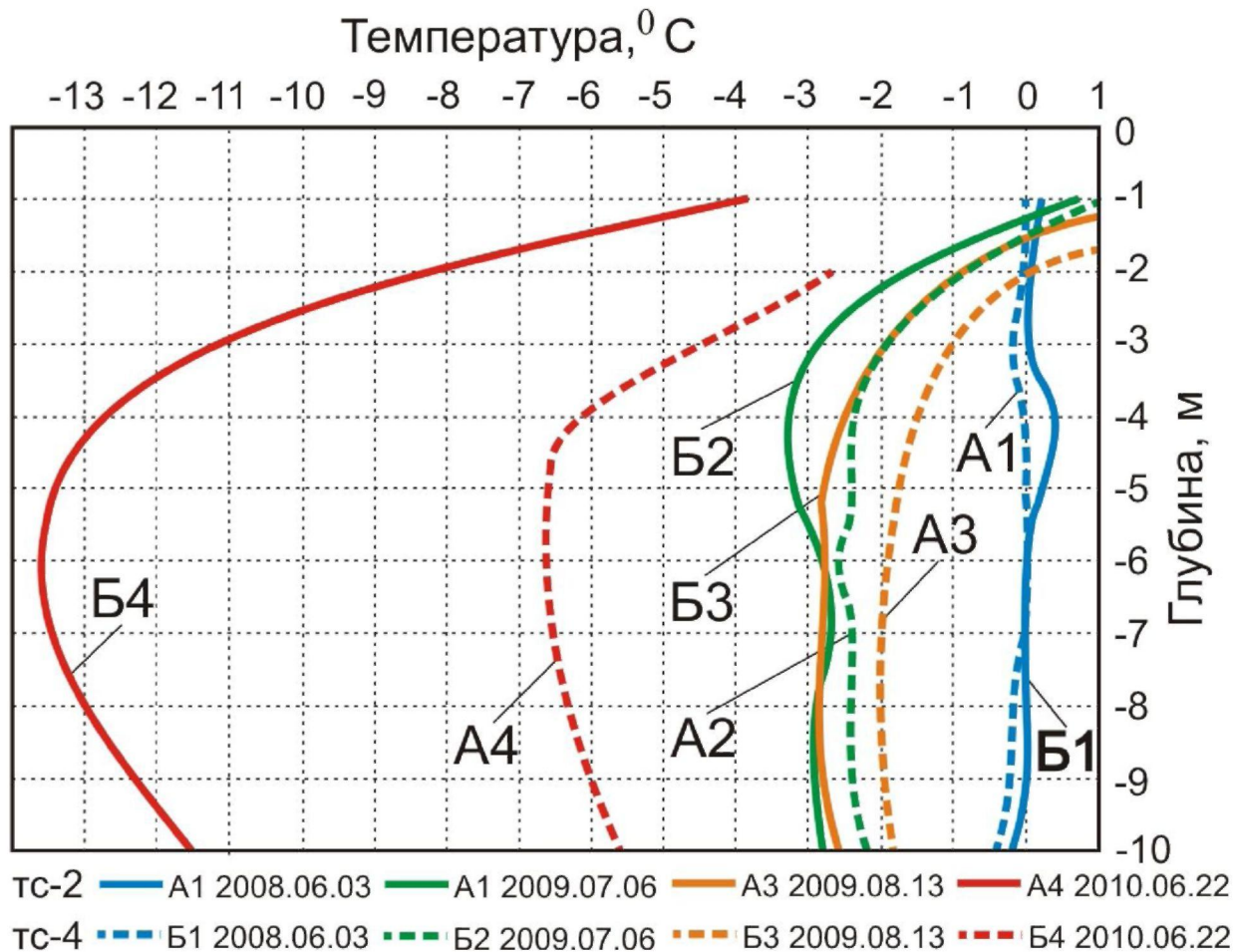
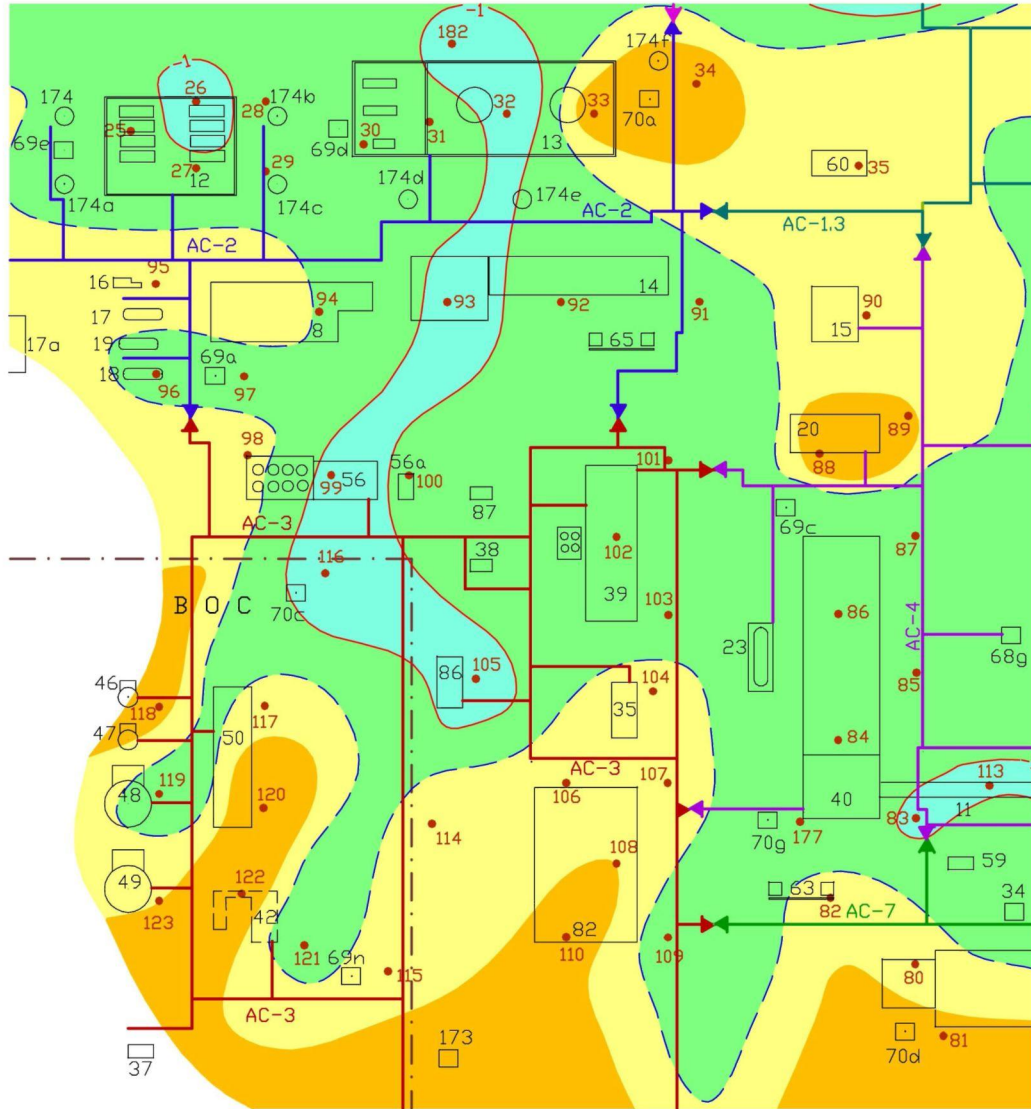




Рис. 2 Данные температуры грунтов, полученные в течение 2008–2010 гг. для сооружения с проветриваемым подпольем и СОУ (сваи и термостабилизаторы установлены в январе – феврале 2008 года): А) термоскважина (тс.2) расположена в краевой части здания на расстоянии 0,65 и 0,95 м от двух СОУ; Б) термоскважина (тс.4) расположена вблизи продольной оси основания на расстоянии 1,3 и 1,5 м от двух СОУ

Глава 4. Влияние динамики надмерзлотных вод на геокриологические условия застроенной территории

При организации режимных наблюдений за динамикой надмерзлотных вод установлено, что в октябре в период промерзания пород в насыпи сохраняются большие объемы грунтовых вод, которые накапливаются в объеме насыпных грунтов (площадь 120 000 м², мощность 2,0–2,5 м). Наличие водоотводных лотков глубиной 0,5–0,7 м не позволяет полностью дренировать воду в теле насыпи, особенно в центральной ее части. Выявлено, что при промерзании отсыпки (октябрь – декабрь) идет перераспределение надмерзлотных вод по площади и разрезу из-за различий в глубине СТС и скорости промораживания грунта вследствие разницы высоты снежного покрова в зимний период на территории УКПГ.



У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я

 — контур площадочных сооружений и их номер позиции
 — эстакады внутриплощадочных сетей их нумерация и граница

 — скважина инженерно-геологическая в период изысканий

ММГ сливающегося типа

Средняя интегральная температура грунтов в интервале глубины 2-10 м. $T_{ср}$, °С

 — до -1,0
 — -1,0 + -2,0

ММГ несливающегося типа

Глубина залегания кровли ММГ, м

 — до 5,0
 — 5,0 + 8,0




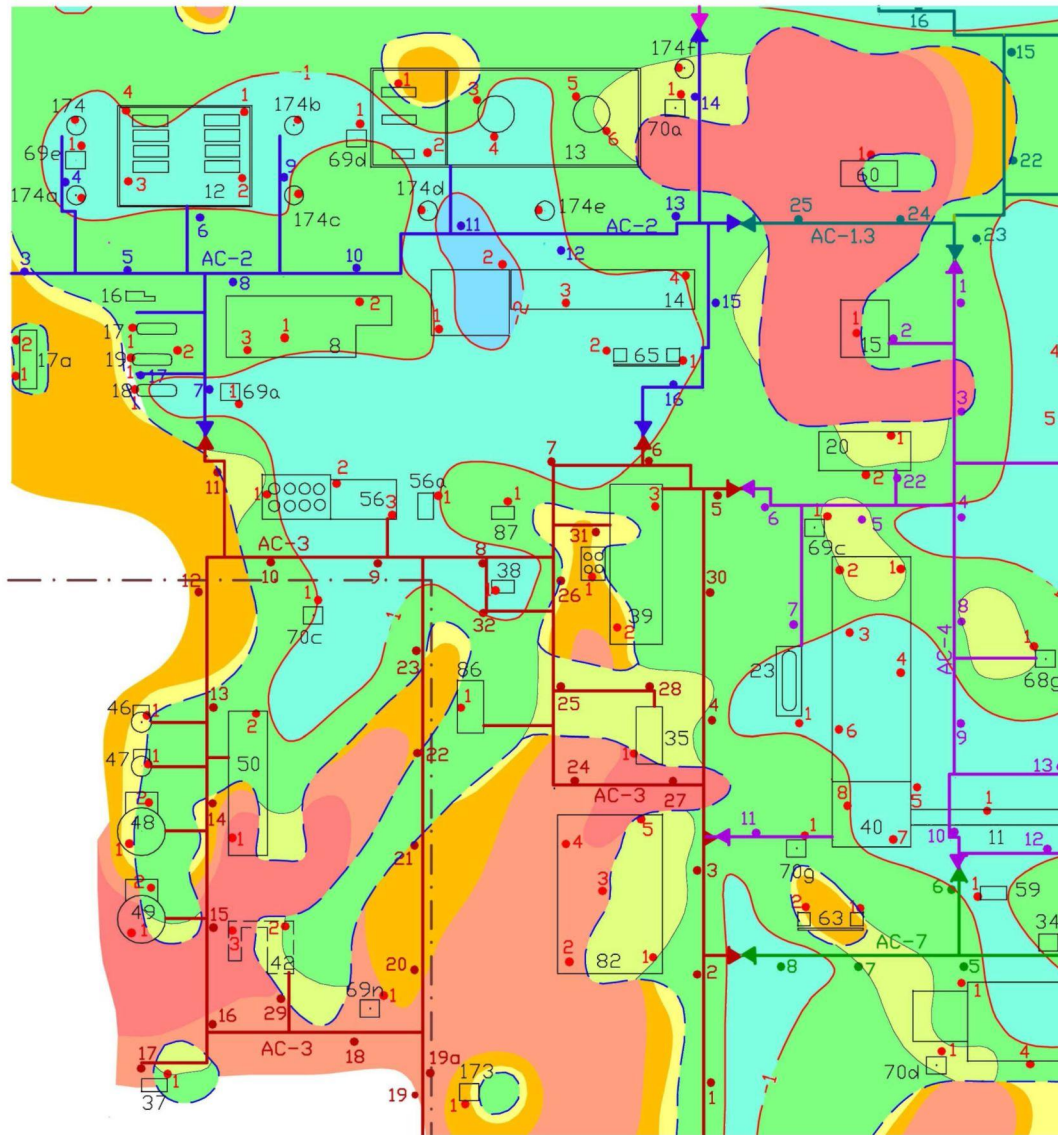


 — термоизоплета и ее значение
 — граница между типами ММГ
 — ограждения

Рис. 3 Фрагмент геотемпературной карты УКПГ на период изысканий (весна 2002 г.)



У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я

 — контур площадочных сооружений и их номер позиции





 — эстакады внутриплощадочных сетей их нумерация и граница

•2 — наблюдательная термоскважина на площадочных сооружениях и ее номер

•4 — наблюдательная термоскважина на эстакаде, ее номер (соответствующего цвета)

ММГ сливающегося типа

Средняя интегральная температура грунтов в интервале глубины 2-10 м, Т_{ср}, °С

	— новообразования
	— до -1,0
	— -1,0 + -2,0
	— -2,0 + -3,0

ММГ несливающегося типа

Глубина залегания кровли ММГ, м

	— до 5,0
	— 5,0 + 8,0
	— 8,0 + 10,0
	— 10 и более

 — термоизоплета и ее значение

 — граница между типами ММГ

 — ограждения

Рис. 4 Фрагмент геотемпературной карты УКПГ на осень 2004 г. (через год после начала эксплуатации)

Решена тепловая задача влияния глубины залегания уровня надмерзлотных вод в возведенных насыпях на температурный режим грунтов оснований на глубине годовых нулевых амплитуд (10–11 м) с использованием программы HEAT (Л.Н. Хрусталева). Температурный режим воздуха принят периодически установившимся на весь период прогноза, без учета изменения климата. Высота снежного покрова принята равной 0,50 и 0,75 м. По результатам анализа геокриологического строения мерзлых толщ по глубине залегания, наличия сливающихся и несливающихся типов ММП, среднегодовых температур грунтов ($-0,3$ °С; $-0,5$ °С; $-1,0$ °С и $-1,5$ °С), их состава, льдистости, влажности выбраны четыре типа разреза с насыпью высотой 1,0 и 2,0 м для каждой грунтовой толщи. Разрезы Ia и Ib сложены суглинками с прослоями песков и глин. Разрезы IIa и IIб – суглинки с прослоями песков и глин, которые с глубины 6,0 м подстилаются мелкими песками. Теплофизические характеристики грунтов по разрезам приведены по СНиП 2.02.04-88, с учетом лабораторных исследований физико-механических свойств. Различная глубина залегания уровня надмерзлотных вод в летний и зимний периоды принята по данным режимных наблюдений. Глубина уровня надмерзлотных вод задана границей влажности песка. В ходе решения задачи выявлено, что повышение температуры грунта по сравнению с природными условиями произойдет при глубине залегания УГВ 0,3 м или 0,5 м в летний и предзимний периоды и не зависит от высоты насыпи. Высокое положение УГВ в сезонноталом слое влияет на увеличение годового теплооборота в грунтах, что сказывается на повышении их среднегодовой температуры и увеличении глубины сезонного оттаивания.

Уровень надмерзлотных вод при высоте снега в 0,75 м для начальных условий с несливающимся типом мерзлоты (разрез типа Ia и IIa) определит динамику дальнейшего погружения кровли, таким образом, мерзлотно-грунтовые условия для сооружений, построенных по I принципу и попадающие в эту область, ухудшатся. При высоте снега 0,50 м происходит либо консервация температурного режима грунта, существовавшего в естественных условиях и без существенного изменения положения границ мерзлых грунтов по разрезу, либо начнется процесс аградации мерзлоты с переходом в сливающийся тип. Разница между минимальной и максимальной возможной температурой грунтов на глубине 10 м на 30-й год для любой из принятой в расчете начальной температуры грунта ($t_{cp} = -0,5; -1,0; -1,5$ °С) в зависимости от положения надмерзлотных вод в летний и зимний периоды следующая: 1) для насыпи высотой 1,0 м она достигает $0,6-0,7$ °С для инженерно-геокриологического разреза типа Ib (высота снега 0,50 и 0,75 м) и $0,5-0,6$ °С для инженерно-геокриологического разреза типа IIб (при высоте снега 0,50 м); 2) для насыпи высотой 2,0 м разница достигает $0,8-0,9$ °С для разреза типа Ib (высота снега 0,50 м) и $0,7-0,8$ °С для разреза типа IIб (высота снега 0,5 м).

Сравнивались прогнозные результаты по температурному режиму грунтов с натурными наблюдениями, полученными в процессе проведения

мониторинга за УГВ, высотой снежного покрова и термометрическими наблюдениями (Табл. 2, 3). Получена хорошая сходимость натуральных и расчетных характеристик.

Определено, что наиболее благоприятные условия для понижения температуры грунтов под насыпью относительно начального температурного режима возникают, когда в теле насыпи в летний и зимний периоды отсутствует водонасыщенный слой грунта. При проектировании мероприятий по инженерной защите больших по площади насыпей глубину водоотводных лотков и канав следует устанавливать ниже 0,7 м. Неоднородность по составу и льдистость грунтов, большая изменчивость температурного режима и влажности грунтов сезоноталого слоя обуславливают развитие геокриологических процессов.

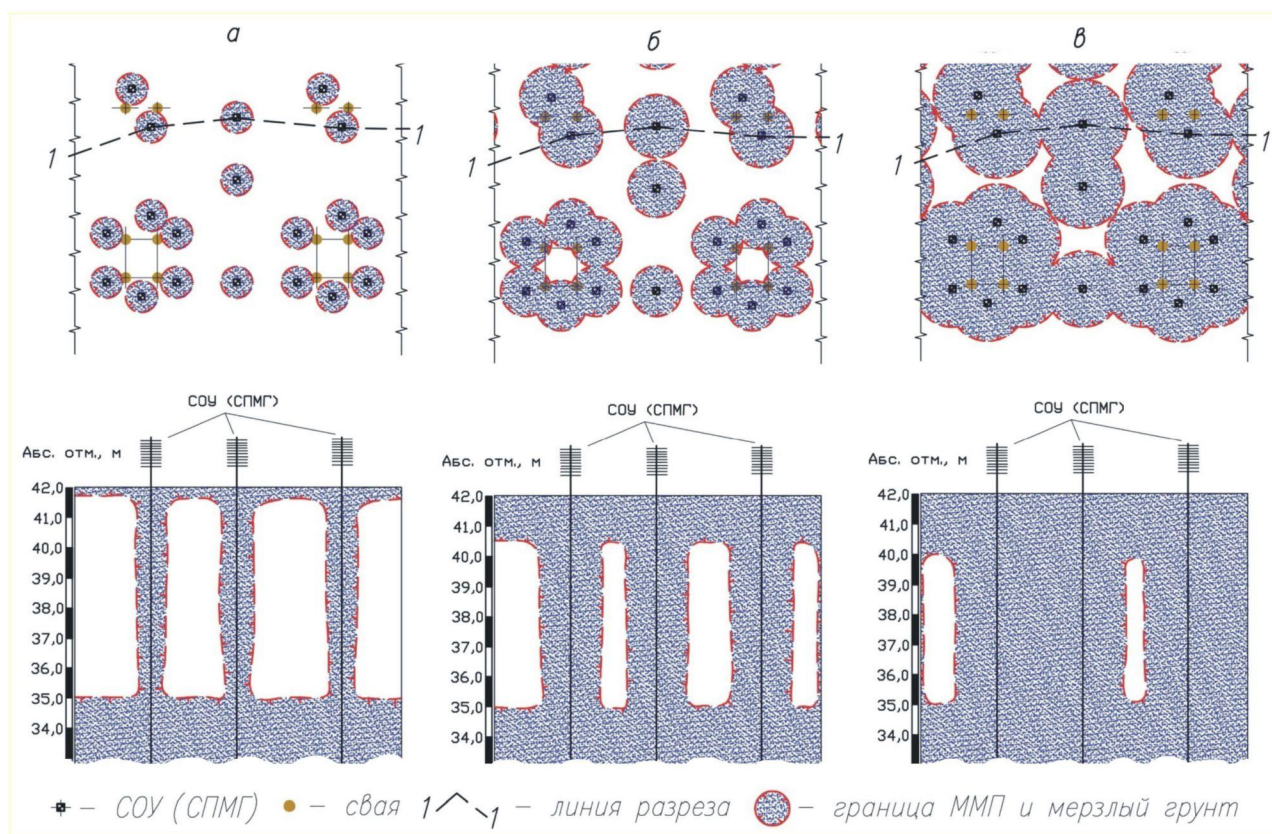


Рис. 4 Промерзание с поверхности грунта и вокруг СОУ под проветриваемым подпольем сооружения (поперечная часть сооружения, разрез в плане проходит по глубине 5 м от поверхности грунта): а) ноябрь – декабрь; б) декабрь – январь; в) январь – февраль

Использование избыточного количества СОУ приводит к пучению во всем объеме грунтового основания сооружения, вследствие чего происходит искривление несущих свай фундамента (Рис. 4).

Таблица 2

Данные прогнозных и натуральных наблюдений на 5-й и 10-й год наблюдений для грунтового разреза типа Іб
(переход участков с погруженной кровлей ММГ в сливающейся тип ММГ)

Данные изысканий			Высота насыпи, м		Уровень грунтовых вод, м				Высота снега, м		Температура грунта на глубине 10 м, °С			
№№ скв	Температура ММП, °С	Глубина залегания кровли ММП, м	Пр.*	Факт	Летом		Зимой		Пр.*	Факт	5 лет		10 лет	
					Пр.*	Факт	Пр.*	Факт			Пр.*	Факт	Пр.*	Факт
33	-0,2	6,8	2,0	2,4	0,5	0,6–0,7	1,5	1,2–1,5	0,5	0,5–0,7	-0,8	-0,7	-1,2	-2,1

*Пр. – прогнозная величина

Таблица 3

Данные прогнозных и натуральных наблюдений на 5-й и 10-й год наблюдений для грунтового разреза типа Іб
(переход участков со сливающимся типом ММГ в ММГ несливающегося типа)

Данные изысканий			Высота насыпи, м		Уровень грунтовых вод, м				Высота снега, м		Температура грунта на глубине 10 м, °С / положение кровли ММГ, м			
№№ скв	Температура ММП, °С	Глубина СТС, м	Пр.*	Факт	Летом		Зимой		Пр.*	Факт	5 лет		10 лет	
					Пр.*	Факт	Пр.*	Факт			Пр.*	Факт	Пр.*	Факт
116	-1,4	1,6	1,0	1,2	0,5	0,5–0,6	1,0	1,0–1,3	0,75	0,7–1,0	-0,9	-0,8 / 3,5	-0,7	-0,7 / 4,0

*Пр. – прогнозная величина

Скорость промерзания вблизи СОУ неравномерна из-за различий в составе, влажности грунта, а также различной интенсивности охлаждения испарительной части СОУ, в зависимости от места расположения под проветриваемым подпольем. Неоднородность в распределении температурного поля под вновь построенным сооружением резко увеличивается. В связи с этим возникают дополнительные горизонтальные напряжения в верхней части грунта, направленные от центральной оси здания, действующие на свайное основание. Все эти факторы привели к отклонению от вертикали свай (диаметром 219 и 273 мм) и разрывам по сварным швам в ростверках (Рис. 5).

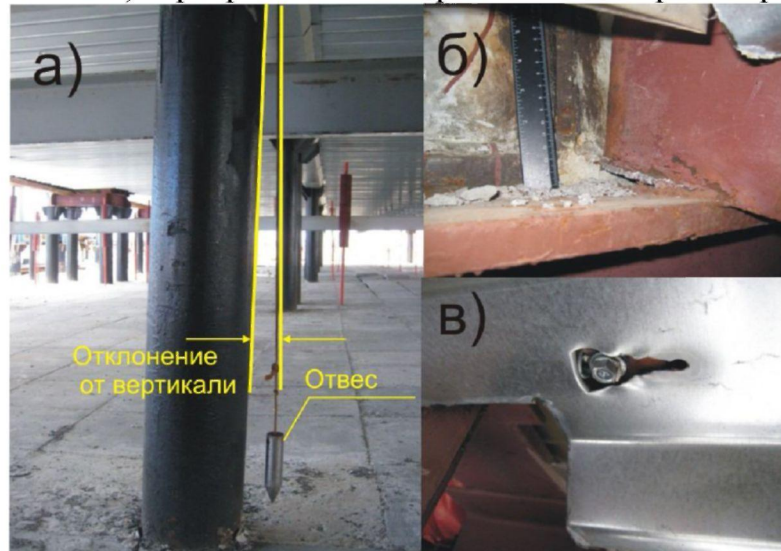


Рис. 5 Признаки движения и напряженного состояния конструкций при пучении грунтов свайного основания: а) отклонение от вертикали свай; б) разрыв сварных швов в ростверке; в) след подвижки основания крепи профнастила

Образование термокарстовых просадок на застроенной территории может быть связано с недостаточной теплоизоляцией тепловыделяющих сооружений (КНС, дренажные емкости и т.п.). Как показали наблюдения, под насосной станцией кровля ММГ опустилась до глубины 7,0 м, а тепловая просадка составила до 0,50 м.

Если понизить температуру транспортируемой и перекачиваемой жидкости невозможно, то подобные сооружения необходимо создавать в каре, защищенном от жидких и твердых атмосферных осадков. Каре при этом заглубляется в грунт. Между сооружением и стенками каре должен быть воздушный зазор (от 0,5 м и более) – данная схема успешно использовалась для производственных емкостей объемом 20 м³. При таком исполнении конструкций поступление тепла в грунт от сооружения минимизировалось.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

По результатам проведенных теоретических исследований и натурных наблюдений сделаны следующие выводы:

1. На участках освоения месторождения со сложными геокриологическими условиями с различными сооружениями и способами термостабилизации, которые привели к формированию сложного и многомерного температурного поля, разница температуры грунтов на расстоянии 10 м достигает 15,0 °С. Происходит промерзание талого прослоя на участках с несливающимся типом ММГ. На территории за пределами контуров сооружений режим более нерегулярный, он зависит от природно-техногенной динамики теплообмена на поверхности грунта. Преобразование температурного режима происходит на мерзлых грунтах со значениями температуры близкой к нулю, что приводит к коренным изменениям условий в массиве грунта. При эксплуатации объектов, где реализованы мероприятия по термостабилизации, процесс изменения температурного режима грунтов однонаправлен, в отличие от незастроенных участков, где он разнонаправлен в зависимости от существующих верхних граничных условий, и теплообмена в сезонноталом слое пород при разном режиме надмерзлотных вод.

Столь быстрое и значительное изменение температурного режима может повлечь за собой различные неблагоприятные геокриологические процессов.

2. Установлено, что наличие дренажной системы не позволяет полностью отвести воду в предзимний сезон из насыпных песчаных грунтов, особенно в центральной части насыпи.

Выявлено, что перераспределение надмерзлотных вод по площади и разрезу происходит вследствие различной скорости промерзания насыпных грунтов в зависимости от высоты снежного покрова на территории УКПГ, разницы в глубине залегания и площади распространения литологических водоупоров и положения кровли мерзлых грунтов.

Уровень надмерзлотных вод в центральной части насыпи изменяется в интервале 0,3–0,5 м в низких насыпях (до 1,0 м) и от 0,5 до 1,0 м и более для высоких (1,5–2,0 м). При залегании уровня надмерзлотных вод вблизи дневной поверхности на участках со сливающимся типом мерзлых толщ происходит повышение среднегодовой температуры и увеличение глубины оттаивания, а на участках с несливающимся типом фиксируется либо новообразование ММГ (при высоте снега менее 0,5 м), либо понижение кровли мерзлых пород.

3. Посредством наблюдений и анализа данных по распределению надмерзлотных вод в предзимний период выделяются участки с инъекционным и миграционным сезонным пучением. Основная причина возникновения бугров пучения – образование зимой заземленных объемов воды за счет опережающего промерзания грунтов под дорогами, сооружениями и эстакадами. Также этому способствует перераспределение снежных отложений в начальный период зимы.

Установлена зависимость формирования сезонных бугров пучения площадью до 40 м² от расположения УГВ на глубине 0,5–0,7 м и менее.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кистанов, О. Г. Мониторинг надмерзлотных вод в насыпных песчаных грунтах Заполярного месторождения, Пур-Тазовское междуречье / О. Г. Кистанов, В. Н. Матковский, В. Б. Стебунов // Криосфера Земли – 2011 – № 3 – с. 43–50.
2. Кистанов, О. Г. Некоторые факторы, влияющие на температурный режим мерзлых грунтов на застроенной территории / О. Г. Кистанов // Инженерные изыскания – 2013 – № 9 – с. 60–65.
3. Кистанов, О. Г. Различия бугров пучения в песчаных отсыпках / О. Г. Кистанов // Сборник тезисов Десятой международной конференции по мерзлотоведению. Салехард. Россия. – 2012 – Том 5 – с. 141–142.
4. Кистанов, О. Г. Геокриологические процессы и явления на инженерных объектах Заполярного НГКМ / О. Г. Кистанов, Д. В. Лукин // Сборник тезисов Десятой международной конференции по мерзлотоведению. Салехард. Россия. – 2012 – Том 5 – с. 183–184.
5. Кистанов, О. Г. Геотехнический мониторинг площадок УКПГ Заполярного месторождения / О. Г. Кистанов // Проблемы развития газовой промышленности Сибири: Сборник тезисов докладов XVI научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ТюменНИИгипрогаза – Тюмень: ООО «ТюменНИИгипрогаз» – 2010 – с. 230–231.
6. Кистанов, О. Г. Некоторые вопросы проектирования инженерных сооружений газопромыслового комплекса в условиях севера Западной Сибири на примере Заполярного НГКМ / Кистанов О. Г., Лукин Д. В., Матковский В. Н., Пульников Е. А. // Материалы Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной 20-летию создания ООО НПО «Фундаментстройаркос» – Тюмень – 2011 – с. 185–187.
7. Кистанов, О. Г. Закономерности формирования температурного режима грунтов на промышленных площадках в условиях Заполярного месторождения / Кистанов О. Г., Лукин Д. В., Матковский В. Н., Пульников Е. А. // Материалы Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной 20-летию создания ООО НПО «Фундаментстройаркос» – Тюмень – 2011 – с. 238–240.