

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГЕОКРИОЛОГИИ**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

**Научный руководитель:
Доктор геолого-минералогических наук,
профессор Л. С. Гарагуля**

Москва, 2014 г.

Содержание

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Исследования геокриологических условий на обустраиваемой территории нефтегазовых месторождений на севере Западной Сибири	8
2. Характеристика природных условий	
2.1 Орогидрография и климат.....	16
2.2 Геологическое строение и структурные особенности.....	21
2.3 Стратиграфо-генетические комплексы поверхностных отложений.....	26
2.4 Гидрологические и гидрогеологические условия.....	33
2.5 Ландшафты и типы местности.....	36
2.6 Инженерно-геокриологические условия.....	45
3. Техногенные изменения температурного режима	
3.1 Организация и регламент проведения мониторинга.....	59
3.2 Температурный режим грунтов на участках с техногенным изменением условий теплообмена.....	75
4. Влияние динамики надмерзлотных вод на геокриологические условия застроенной территории	
4.1 Динамика надмерзлотных вод в насыпных грунтах на территории освоения.....	94
4.2 Изменение температурного режима грунтов под влиянием динамики уровня надмерзлотных вод на участках сливающегося и несливающегося типа мерзлоты.....	106
4.3 Инженерно-геокриологические процессы, сопутствующие техногенному изменению теплового состояния грунтов.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
Приложение 1.....	149
Приложение 2	155
Приложение 3.....	160
Приложение 4.....	168
Приложение 5.....	174
Приложение 6.....	179

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. 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 факторов, изменяющих условия теплообмена на поверхности и массиве грунтовых оснований.

Основные 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 личный вклад автора

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.

Методика исследования

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.

Научная новизна исследования

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.

Практическая значимость 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».

Защищаемые положения

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.

Апробация результатов исследования

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 работы

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.

Благодарность

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.

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

Интенсивные геокриологические исследования в Западной Сибири приходится на вторую половину XX столетия. На сегодняшний день собрано большое количество разнообразной информации. Результаты исследований, значительные по объему и ценные по своему вкладу в развитие науки, приведены в работах В. В. Баулина, В. Т. Балобаева, С. Е. Гречищева, В. А. Кудрявцева, Е. С. Мельникова, А. В. Павлова, Н. Н. Романовского, В. Т. Трофимова и других. Издавались труды по региону в целом, сборники по инженерной геологии и многотомное издание Геокриологии СССР [6], в которых обобщен материал за предыдущий период исследований в области геокриологии. Изучены закономерности формирования слоя сезонного оттаивания (промерзания), распространения и свойств многолетнемерзлых пород, их мощность, температурный режим, состав, льдистость. Все эти закономерности направлены на научное обоснование проектов разработки новых углеводородных месторождений и обустройства их промышленной и социальной инфраструктуры.

Освоение нефтегазовых месторождений Западной Сибири проводится в течение последних пятидесяти лет, при этом новые месторождения открываются и вводятся в эксплуатацию в северных областях распространения многолетнемерзлых пород, характеризующихся сложными геокриологическими условиями. В этой связи изучение вопросов, связанных с сохранением геокриологической основы окружающей природной среды как опорной составляющей всего геотехнического комплекса месторождений, приобретает все большую актуальность. Прежде всего, именно с сохранением вечномерзлого состояния грунтов связано обеспечение устойчивости и надежной, безаварийной эксплуатации объектов добычи, подготовки и транспортировки углеводородного сырья.

Принципы использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований сооружений прорабатывались и используются в проектных организациях на

основе инженерно-геокриологических изысканий, при активном участии научно-исследовательских институтов (ВНИОСП, ВСЕГИНГЕО, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова, ПНИИИС, «Фундаментпроект» и др.), кафедр и лабораторий вузов (МГУ, МГСУ, СПбГУ, ТюмНГУ), специализирующихся в области инженерной геологии, геокриологии. По мере накопления опыта строительства и знаний о природе многолетнемерзлых пород (ММП) совершенствовались конструктивные решения, разрабатывались новые СНиПы (2.02.04-88, 11-02-96 и др.) и ГОСТы (5686-2010, 12248-94 и др.) возведения оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах.

В то же время, как показывает практика, геокриологическая среда является слишком сложной системой, чтобы в процессе проектирования дать адекватное описание взаимодействия всех ее частей на разных стадиях обустройства и эксплуатации месторождений. Несмотря на высокую степень научного обоснования проектов обустройства месторождений, в настоящее время отмечаются параметрические отказы оснований и фундаментов отдельных сооружений, сопровождающиеся их деформацией, которые вызваны изменением инженерно-геокриологической обстановки.

Немаловажную роль играет выбор принципа строительства на осваиваемой территории с использованием грунтов в качестве основания как в мерзлом, так и в оттаивающем или оттаявшем состоянии.

В процессе возведения объектов на территории криолитозоны, как отмечает Хрусталева Л.Н. (1971), в черте застройки происходит изменение свойств подстилающей поверхности (термического сопротивления, отражательной способности, влагопроницаемости и пр.), что приводит к нарушению условий теплообмена земли с атмосферой, существовавших до застройки территории [43]. Теплообмен в системе грунт – атмосфера начинает характеризоваться большим числом параметров с различной направленностью развития, таких как: изменение рельефа местности, поступление в грунт тепла от инженерных сооружений, перераспределение

снежных отложений на застроенной территории, осушение или увлажнение грунтов, образование искусственных покрытий, изменение режима грунтовых вод. Создается геотехническая система с новыми свойствами и границами. В этой системе происходит частичное или полное снятие растительного покрова, изменение условий снегонакопления, поверхностного обводнения и стока грунтовых вод, создаются различные отсыпки из фильтрующихся грунтов, сооружаются производственные корпуса и др. Согласно Булдовича С.Н. и др авторов (1998), это может приводить как к охлаждению, так и к отеплению грунтовой толщи [2].

Интенсивность процессов протаивания и промерзания пород и проявления инженерно-геокриологических процессов при нарушении природных условий определяется составом и свойствами отложений, а также термодинамическим состоянием мерзлых толщ, которое характеризуется годовыми теплооборотами, среднегодовой температурой пород и теплотой фазовых переходов воды (льда) в грунтах (Гарагуля Л.С., Пармузин С.Ю., 1982) [4]. Годовые теплообороты и среднегодовая температура пород определяют современный энергетический уровень теплообмена в пределах слоя годовых колебаний температур. Теплота фазовых переходов воды в сочетании со среднегодовой температурой, а также объемной льдистостью отложений характеризуют тепловую инерцию многолетнемерзлых пород (ММП), сформировавшихся на протяжении геологической истории на участке строительства.

Опыт обустройства 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.

На месторождении Медвежье установка комплексной подготовки газа (УКПГ, сдана в эксплуатацию в 1974 г.) и дожимная компрессорная станция

(ДКС, сдана в эксплуатацию в 1984 г.) расположены в зоне южной лесотундры, на вершине водораздельной гряды, и построены по II принципу. На момент исследования институтом ВСЕГИНГЕО (1985–1986 гг.) под сооружениями произошло новообразование мерзлых пород разной мощности. Ивлев А.Ю. считает, что вследствие нарушения режима эксплуатации грунтов основания и свайного фундамента, произошло образование проветриваемого подполья с активной циркуляцией наружного воздуха под цехами, что стали причиной возникновения новообразований мерзлых пород [16]. По результатам инструментальных наблюдений были выявлены участки как с положительными, так и отрицательными вертикальными перемещениями свайного основания: первые наблюдались на территории развития новообразования ММП, а вторые – от динамической нагрузки оборудования на талых грунтах с тиксотропными свойствами.

Изменение теплового воздействия за счет избыточного снегонакопления является типичным случаем при эксплуатации установок комплексной подготовки газа, что было отмечено сотрудниками Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Надым». Увеличение мощности снежного покрова до 1,0 м и более для плотных свайных полей и сгущенной сети трубопроводов к цехам и зданиям дожимной компрессорной станции (ДКС) приводит к повышению среднегодовых температур многолетнемерзлых пород, с последующим снижением несущей способности фундаментов и уменьшению сил, удерживающих сваи от выпучивания. В целом это может приводить к многолетнему оттаиванию грунтов оснований, т.е. к формированию тепловых таликов. Так, трубопроводная обвязка газоперекачивающего агрегата дожимной компрессорной станции № 9 на Медвежьем газоконденсатном месторождении, где снежный покров мощностью до 1,3 м вызвал развитие ореола оттаивания на участке. В 1978 г., до начала строительства сооружений, данный участок характеризовался наличием ММП сливающегося типа со среднегодовой температурой минус 2,0 °С.

Согласно «Надымгазпром: геотехмониторинг в криолитозоне» (авт. коллектив Осокин А.Б., Попов А.П., Смолов Г.К. и др (2001)) к 1993 г. глубина оттаивания составила 3,0–3,5 м, к 1998 г. достигла 4,5–5,0 м. При длине свай 9,5–12,0 м произошла осадка в пластично-мерзлые грунты с температурами минус 0,3 – минус 0,5 °С под воздействием динамической нагрузки [25].

Исследования, выполненные на Ямсовейском месторождении в конце 90-х годов XX века Булдовичем С.И., Афанасенко В.Е., Гарагулей Л.С., Оспенниковым Е.Н., выявили интенсивное протаивание насыпных грунтов при сходе снежного покрова в весенний период. Происходило резкое изменение теплофизических свойств в поверхности части разреза, сложенной песчаными грунтами выравнивающей насыпи [3].

Один из фактов зарубежного опыта управления геотемпературным режимом грунтов на застроенной территории с использованием СОУ отражен в работе Hauley D.W. (1981) [47]. В основании фундамента ramпы нижней станции канатной дороги, расположенной у подножья горы Хорскампхилл на Аляске, в процессе эксплуатации в период с 1961 по 1977 гг. произошло погружение кровли мерзлых грунтов. Это вызвало деформации столбчатого фундамента, возведенного на насыпных грунтах. В 1978 году после проведения изысканий были установлены сезонные охлаждающие устройства, подобные ранее использовавшимся при строительстве Трансаляскинского нефтепровода (Piyush Sabharwall (2009)) [49]. Данное решение позволило остановить процесс деградации, поднять кровлю мерзлых грунтов и прекратить подвижки фундамента.

Для прогнозирования ситуации на застроенных территориях помимо внешних природных условий (снег, температура и др.) большое влияние оказывает взаимодействие толщи грунта (мощностью до 15 м) со свайными основаниями сооружений. При этом верхняя часть разреза, сложена насыпными грунтами, образованными при инженерной подготовке территорий, мощность которых может достигать 5,0 м, что устанавливалось

проектной документацией и натурными наблюдениями. После окончания строительства начинает функционировать природно-техногенная система (ПТС), где помимо унаследованных природных факторов добавляются техногенные, такие как сооружение и его основание, насыпные грунты и коммуникации. При этом устойчивость оснований зависит от сравнительно быстрого и коренного изменения геокриологических условий территории. Наиболее значимы подобные преобразования на территории УКПГ, кустов эксплуатационных скважин, жилых поселков и промышленных зон месторождения.

Существующее разнообразие природной среды определяет проблему выделения элементарных образований. Как указывал Мельников Е.С. (1983), возможность выделения природно-территориальных комплексов в криолитозоне обуславливается корреляционной связью между различными факторами верхних граничных условий и составом грунтов, проявляющимися в типах годовых теплооборотов [19]. На освоенных участках новая функционирующая геотехническая система включает в себя унаследованные свойства природно-территориальных комплексов, которые в процессе эксплуатации постепенно перестраиваются.

Создаваемая геотехническая система с новыми свойствами и границами требует выделения внутри нее элементарных таксонов, со свойственным им индивидуальным набором инженерно-геокриологических параметров, одним из которых является температурный режим грунтов.

При выделении составных частей геотехнической системы в условиях криолитозоны необходимы не только данные, полученные в ходе инженерно-геокриологических изысканий, но и в процессе проведения геокриологического мониторинга, являющегося частью геотехнического мониторинга.

Во вновь создаваемой геотехнической системе процессы, сопровождающие изменение грунтового основания, и масштабы их проявления скрыты техногенными элементами. В таких условиях

нахождение корреляционных связей между состоянием грунтового основания и факторами, его определяющими, становится более обоснованным и своевременным лишь при использовании предшествующего опыта эксплуатации существующих геотехнических систем и при осуществлении постоянного контроля над объектами нефтегазового комплекса.

Основные особенности Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения – это расположение его в лесотундровой зоне (переходной), с высокой расчлененностью местности, которая приводит к разной степени дренированности существующих ландшафтов. Часто встречаются участки с погруженной кровлей ММП, которые находятся на площадях, зарезервированных под строительство (Рязанов, 2001).

По опыту обустройства других месторождений сеть геотехнического мониторинга закладывалась в проектные решения с самого начала освоения месторождения. Это позволило оценить изменения геокриологической среды еще на стадии строительства и в дальнейшем на стадии эксплуатации вести режимные наблюдения за деформациями оснований и температурным режимом грунтов.

На Заполярном месторождении с 2003 года эксплуатируются три наиболее крупных УКПГ в России по объемам подготовки газа из сеноманских отложений: на каждой установке перерабатывается до 35 млрд м³ газа в год. Строительство столь крупных УКПГ, согласно проектной документации, выполненной институтами ВНИПИгаздобыча и Фундаментпроект [54-58, 64], было реализовано на больших по площади (600×500 м и более) отсыпках из песчаного материала. При этом мощность отсыпок достигает до 5 м (УКПГ – 2В); на стадии строительства реализовывались 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 и поверхностного стока воды, что влияет на

температурный режим грунтов на обустроенной территории. При этом не всегда реализованные мероприятия по инженерной защите могли исключить воздействия грунтовых надмерзлотных вод на несущую способность оснований сооружений и зданий, а также развитие неблагоприятных геокриологических процессов.

Изучение геокриологических условий и опыта обустройства нефтегазовых месторождений на севере Западной Сибири позволяет определить актуальные задачи исследований на территории Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения:

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.

Глава 2. Характеристика природных условий

2.1 Орогидрография и климат

Месторождение расположено на севере Западно-Сибирской низменности, в междуречье нижних течений рек Таз и Пур, между $66^{\circ}52'$ и $67^{\circ}16'$ с.ш., $78^{\circ}56'$ и $80^{\circ}00'$ в.д. Площадь месторождения составляет 8 745 га, в длину 50 км, в ширину 30 км. В соответствии с физико-географическим районированием месторождение расположено в Нижнетазовской провинции лесотундровой зоны. Ближайшие крупные населенные пункты – п. Тазовский, п. Уренгой.

Согласно климатическому районированию России для строительства, рассматриваемый район находится в северной строительно-климатической зоне с суровыми условиями, в подрайоне 1 Г [38].

Ближайшие метеостанции находятся в п. Уренгой (в 105 км к югу от месторождения), в п. Тазовский (в 88 км к северу). В непосредственной близости к Заполярному НГКМ метеостанций нет. С 2002 года мерзлотная лаборатория ООО «Газпром добыча Ямбург» осуществляла наблюдения за температурой воздуха.

Климат района в значительной степени определяется его географическим положением в высоких широтах, близостью Арктического бассейна, влиянием арктических и атлантических циклонов, характером рельефа. На данной территории происходит частая смена воздушных масс, что придает погоде большую неустойчивость в течение всего года. На рис. 2.1.1 представлена повторяемость ветра по направлениям согласно данным метеостанции п. Тазовский.

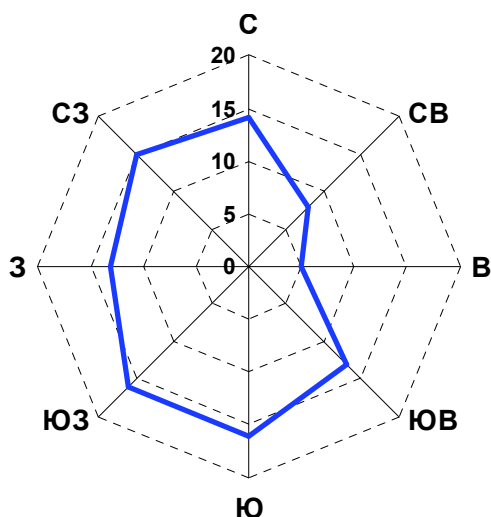


Рис. 2.1.1 Повторяемость ветра по направлениям в %

Зимой и осенью преобладают ветра южного направления (за счет циклонической деятельности), а летом – северного и северо-восточного, что обусловлено вторжением холодного арктического воздуха на нагретый материк, где атмосферное давление в это время понижено. Среднегодовая скорость ветра – 4,5 м/с (табл. 2.1.1). В целом наблюдаются резкие колебания температур воздуха от месяца к месяцу, от суток к суткам, в течение суток.

Таблица 2.1.1

Скорость ветра (м/с) (по метеостанции п. Уренгой за период 1970–2003 гг.)

Месяцы												Средняя скорость за год, м/с
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
4,3	4,2	4,3	4,9	5,2	5,1	4,2	3,9	4,5	4,6	4,3	4,1	4,5

Зима длинная (октябрь – май), суровая, самые холодные месяцы – январь и февраль. Самый теплый месяц – июль. На рис. 2.1.2 представлены среднегодовые значения температур воздуха за разные периоды по г. Салехард с 1937 по 1990 год [50], п. Тазовский с 1982 по 2012 год [51], п. Ямбург с 1986 по 2010 год и Заполярному НГКМ с 2002 по 2012 год.

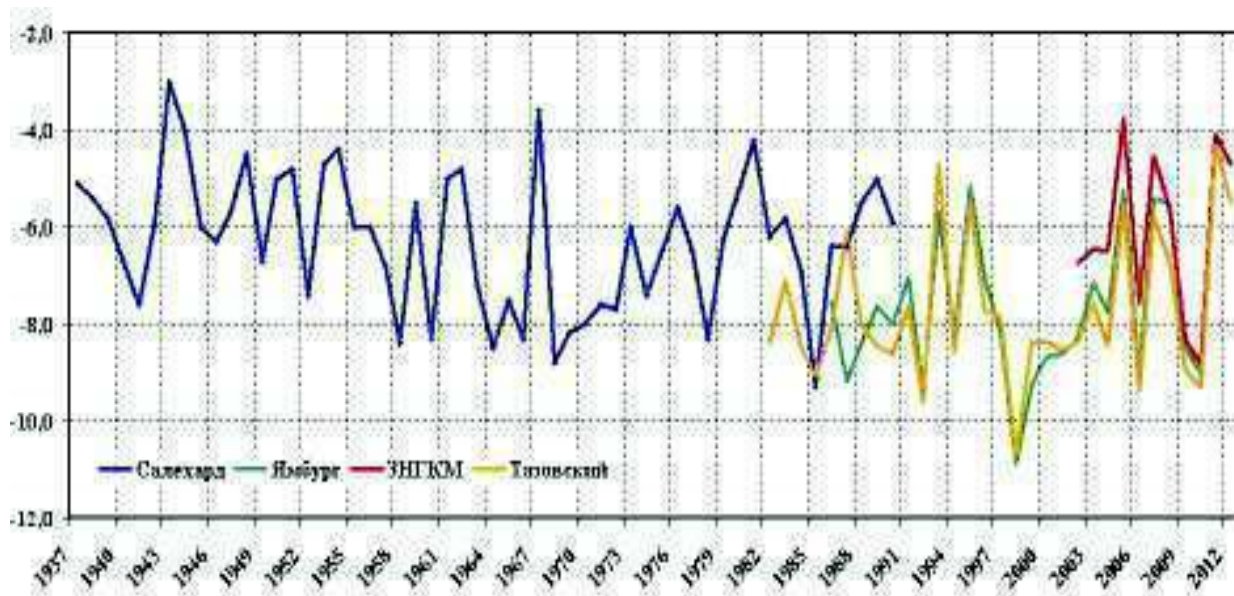


Рис. 2.1.2 Среднегодовые температуры

Для температурного режима территории характерны низкие температуры зимой и довольно высокие температуры для короткого

северного лета. Наименьшие среднемесячные температуры воздуха приходятся на январь – февраль; наибольшие — на июль. Распределение среднемесячных температур наблюдаемого периода на Заполярном НГКМ представлено в табл. 2.1.2.

Таблица 2.1.2

Среднемесячные температуры воздуха на ЗНГКМ (2002–2012 гг.)

Месяцы												Средняя годовая, °С
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-23,9	-24,6	-16,1	-9,7	-0,8	12,2	15,6	11,6	6,2	-4,0	-17,0	-23,9	-6,1

В формировании температурного режима многолетнемерзлых пород значительную роль играет зимний сезон. Для этого используют условный (метеорологический) год, за начало которого принимается дата начала промерзания, применительно к Заполярному месторождению — 1 октября. Оценка уровня охлаждения грунтов зимой и потерь запаса холода в летний период была получена по диаграмме распределения суммарных значений среднемесячных температур воздуха на зимний и летний периоды для ЗНГКМ (рис. 2.1.3).

Годовой радиационный баланс отрицательный с октября по март, достигает минимума в ноябре – декабре. Максимальная величина баланса наблюдается в июне (табл. 2.1.3).

Таблица 2.1.3

Среднеширотные значения суммарной радиации Вт/м² для п. Уренгой [18]

Месяцы			
VI	VII	VIII	IX
239,9	230,2	159,4	62,8

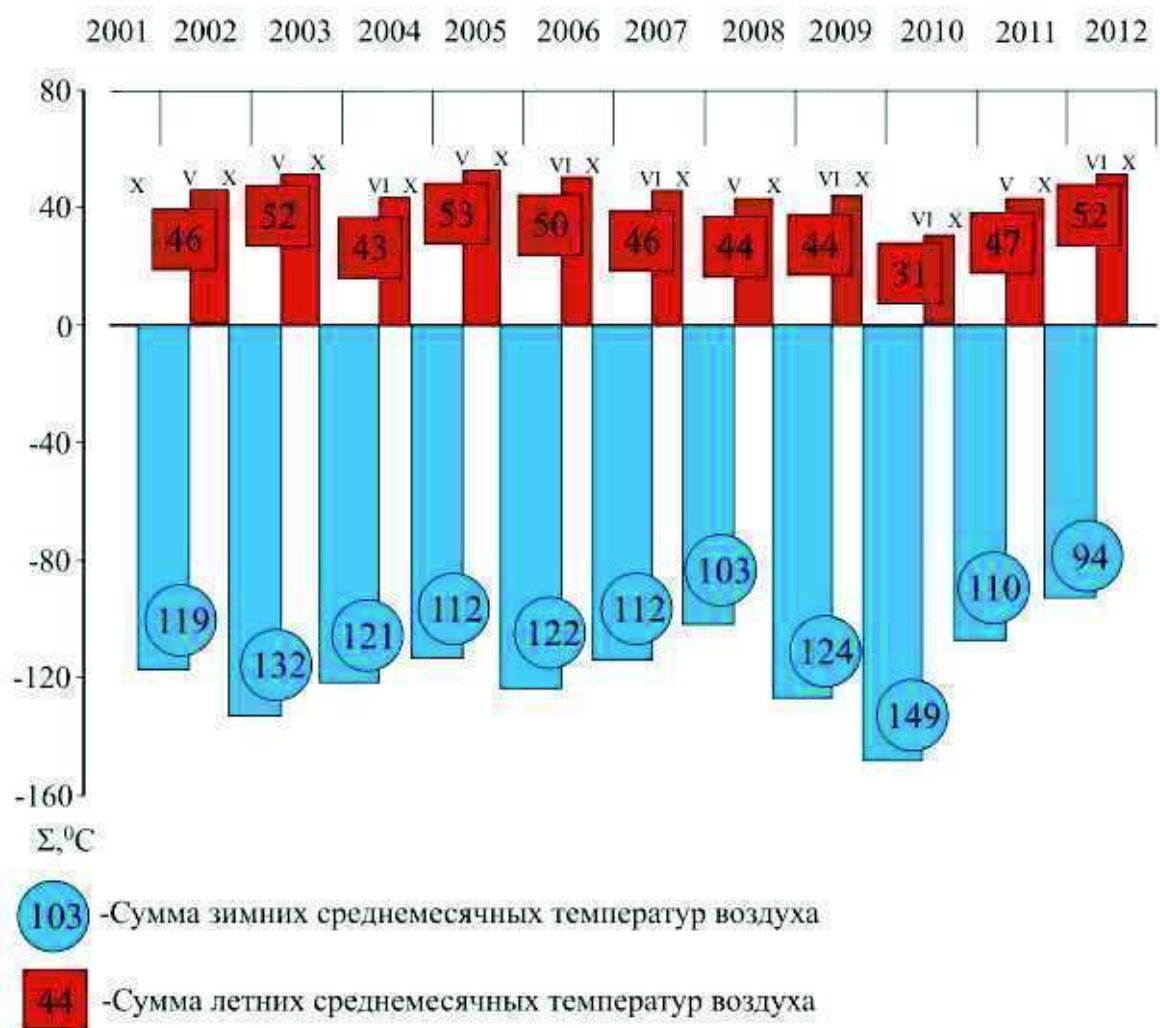


Рис. 2.1.3 Распределение зимних и летних суммарных значений среднемесячных температур воздуха на ЗНГКМ

Наличие многочисленных рек, озер и болот способствует сохранению большой влажности воздуха. Существенное влияние на территориальную дифференциацию климатических характеристик, особенно на распределение осадков и формирование микроклиматических особенностей (высота снежного покрова, увлажнение, дренированность и др.) оказывает перепад абсолютных высот поверхности рельефа от 3 до 65 м над уровнем моря.

Для п. Тазовский по данным архива сайта www.rp5.ru [51] (табл. 2.1.4) общее количество годовых осадков по району исследования составляют от 479 до 736 мм.

Таблица 2.1.4

Объемы жидких осадков по метеостанции п. Тазовский

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Количество жидких осадков, мм	186	346	246	182	316	266	249
Количество твердых осадков, мм	293	388	490	332	310	333	316
Сумма осадков, мм	479	734	736	514	626	599	665

Появление снежного покрова приходится обычно на начало — середину октября. Для территории Заполярного НГКМ характерны обильные снегопады с общими и низовыми метелями. Вскоре после образования устойчивого снежного покрова наступают морозы и устанавливается зимний режим. Высота покрова во многом зависит от подстилающей растительности и ветрового перераспределения, при этом в процессе снегонакопления плотность снега равномерно нарастает от 0,19–0,22 г/см³ в начале зимнего периода, до 0,40 г/см³ в конце зимы. Минимальные значения мощности приурочены к открытым поверхностям (0,10–0,20 м), максимальные — до 1,0 м — в понижениях рельефа и на участках с преобладанием кустарниковой растительности.

2.2 Геологическое строение и структурные особенности

Заполярное месторождение находится на территории левобережья реки Таз в нижнем ее течении на севере Западно-Сибирской равнины (рис. 2.2.1).

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 [42]. 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. Глубина расчленения рельефа составляет 15...30 м.

В геологическом строении Заполярного месторождения принимают участие породы мезозойско-кайнозойского осадочного чехла и палеозойского фундамента. Непосредственно на месторождении вскрыты отложения осадочного чехла до средней юры включительно на максимальной глубине 3935 м. Описание стратиграфии и литологического состава пород приведено на основании стратиграфической схемы мезозойско-кайнозойских отложений севера Западно-Сибирской равнины [33] и сводной стратиграфической колонки отложений на месторождении.

В пределах Заполярного месторождения распространены три отдела: палеоценовый, эоценовый и олигоценовый (рис. 2.2.2). Палеоценовый отдел представлен отложениями тибейсалинской свиты, которая подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты, датируемые инкерманским и качинским ярусами.

Нижняя подсвита тибейсалинской свиты сложена глинами алевритистыми, слюдистыми, иногда опоковидными. Верхняя подсвита сложена песками мелкозернистыми и среднезернистыми, полевошпатово-кварцевыми, с прослоями слабо каолинизированными. Толщина свиты изменяется от 180 до 200 м.

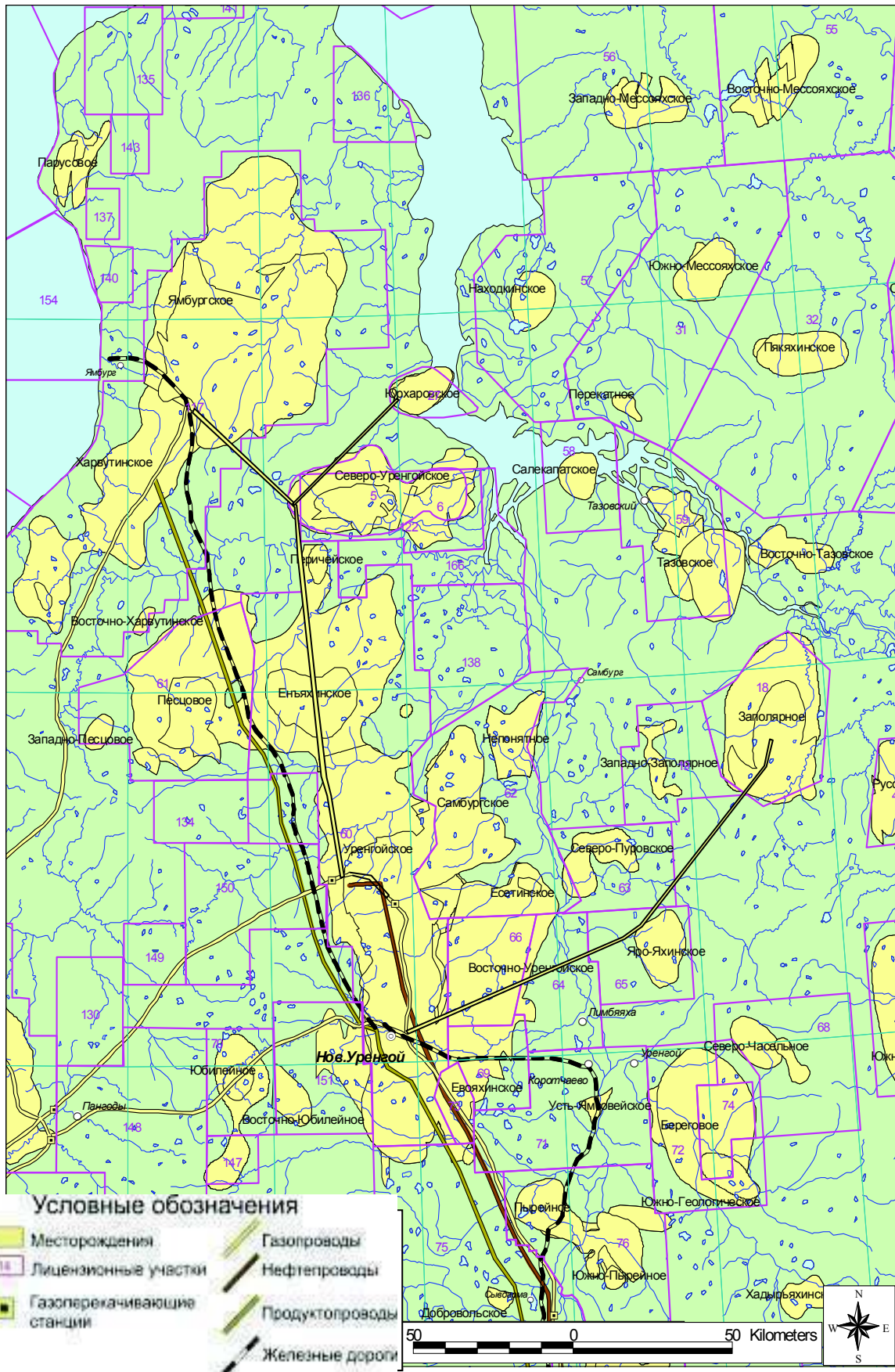


Рис. 2.2.1 Обзорная схема расположения Заполярного месторождения



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

-  Глина
-  Глина опоквидная
-  Песок
-  Естественный потенциал
-  Четвертичные отложения
-  Эоценовые отложения
-  Палеоценовые отложения

Рис. 2.2.2 Сводный литологический разрез четвертичных и палеогеновых отложений на Заполярном месторождении

Эоценовый отдел представлен отложениями люлинворской свиты, которая подразделяется на три подсвиты, сложена опоками и глинами опоковидными, диатомитами и диатомовыми глинами. Встречаются объединенные комплексы диатомовых водорослей, радиолярий и единичные песчаные фораминиферы. Толщина свиты от 50 до 150 м.

Олигоценый отдел относится к поверхностным отложениям и рассматривается в следующем разделе. Непосредственно на частично размытых отложениях люлинворской свиты залегают осадки четвертичного периода.

В тектоническом отношении Заполярное месторождение расположено в пределах Надым-Тазовской синеклизы, положительным структурным элементом первого порядка которой является Хадырьяхинская моноклираль (рис. 2.2.3). Последняя осложнена структурами второго порядка — Западно-Заполярным и Ярояхинским валами, Заполярным, Тазовским куполовидными поднятиями и разделяющими их Призаполярным прогибом и Ярояхинской котловиной.

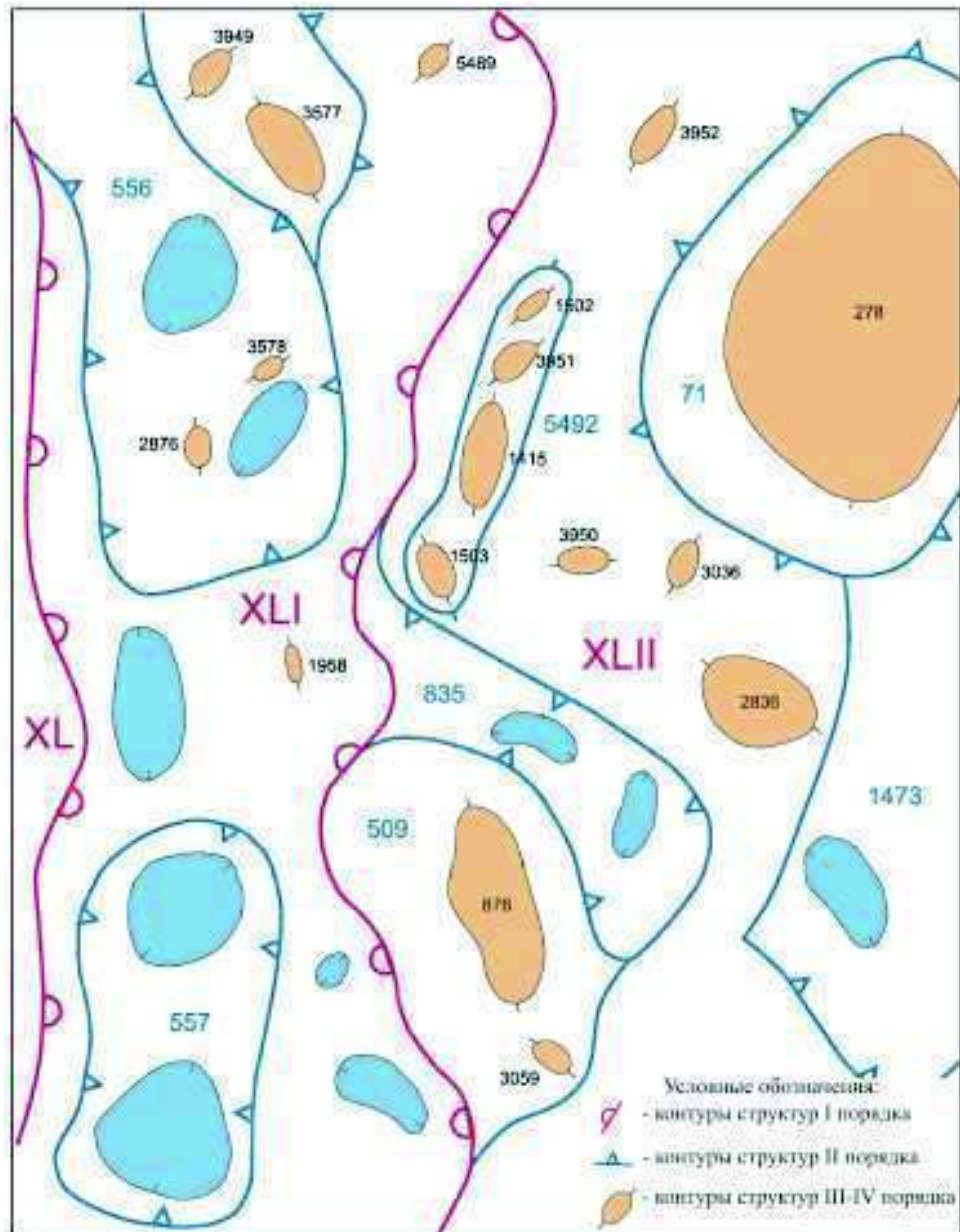


Рис. 2.2.3 Фрагмент тектонической карты мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы (под редакцией И.И. Нестерова, 1992 г.[41])

(Структуры I порядка: XL – Уренгойский мегавал, XLI – Нижнепурский мегапрогиб, XLII – Хадырьяхинская моноклираль; Структуры II порядка: 71 – Заполярное КП, 509 – Ярояхинский структурный мыс, 556 – Табьяхинский малый прогиб, 557 – Западно-Ярояхинская малая котловина, 835 – Восточно-Ярояхинская малая котловина, 1473 – Без названия структурный залив, 5492 – Западно-Заполярная крупная брахиантиклиналь; Структуры III-IV порядка: 278 – Заполярный крупный купол, 876 – Ярояхинское, 1415 – Западно-Заполярное, 1502 – Восточно-Самбургское, 1503 – Северо-Ярояхинское, 1958 – Северо-Пуровское, 2836 – Южно-Заполярное, 2876 – Тихое, 3036 – Малозаполярное, 3059 – Южно-Пякутинское, 3577 – Осеннее, 3578 – Дальнее, 3949 – Без названия, 3950 – Радужное, 3951 – Новосамбургское, 3952 – Вечернее, 5489 – Западно-Соколиное.)

2.3 Стратиграфо-генетические комплексы поверхностных отложений

В строении толщи Заполярного месторождения участвуют в основном новейшие, а среди них главным образом четвертичные отложения, в меньшей степени палеогеновые. Разрез по данным бурения ООО «НТФ КРИОС» на междуречье р. Малая и Большая Хе-Яха представлен на рис. 2.3.1.

Континентальные олигоценые отложения озерно-аллювиального генезиса слагают *некрасовскую серию* (1a P₃nk) [42]. Они вскрываются на глубине около 30 м на участках местных водоразделов и достигают мощности 32–58 м, состоят в основном из слоев серой супеси и песка. В нижней части данной толщи, залегая на эродированной поверхности глинистых морских отложений эоцена, наблюдаются включения гравия, мелкой гальки и плохоокатанной дресвы, также отмечаются чешуйки слюды (до 0,5 мм).

На палеогеновых отложениях с эрозионным несогласием залегают плейстоценовые и голоценовые отложения. Современный рельеф начал формироваться под влиянием трех важнейших факторов природной среды: трансгрессий и регрессий полярного бассейна, неотектонических колебаний, а также значительных общеклиматических изменений. После отступления моря в верхнем плейстоцене, когда последний раз местные водоразделы находились под водой, начал образовываться террасовый комплекс в речных долинах. Наиболее полные разрезы и максимальная мощность (до 80 м) четвертичных отложений соответствуют эрозионным врезам палеодолин, совпадающих в основном с современной конфигурацией речной сети [по данным гидрогеологических исследований водозаборов, проведенных компаниями «Севергеоразведка» и ГИДЕК в 1997 и 2005 гг. соответственно]. На водоразделах мощность этих отложений значительно сокращена (до 30 м).

Четвертичные отложения представлены однородными супесчано-суглинистыми породами с отдельными прослоями гравийно-галечникового материала и представляют собой полигенетическую толщу пород морского и прибрежно-морского генезиса (салехардские и казанцевские отложения), а также озерно-аллювиального, аллювиального, озерного, болотного и смешанного генезиса (ялбынинские, зырянские, каргинско-сартанские и

Абсолютная отметка устья: 41,60 м

Начало бурения: 18.08.2003 г

Окончание бурения: 30.08.2003 г



Рис. 2.3.1 Разрез четвертичных и части палеогеновых отложений на водоразделе (по данным ООО «НТФ КРИОС»)

современные отложения). Карта четвертичных отложений и схематический сводный разрез через месторождение представлены на рис. 2.3.2, 2.3.3, на основе материалов инженерно-геологических изысканий [53, 54, 55, 56, 58, 60].

Салехардская свита (m, gm П₂₋₄ sh) относится к наиболее древним из четвертичных отложений и залегает непосредственно на породах палеогена. Выходы ее на поверхность в пределах месторождения не отмечены, так как она перекрыта более поздними четвертичными отложениями или размыта. Общая мощность салехардской свиты, вскрытая при бурении параметрических геокриологических скважин на местных водоразделах, составляет около 17,5 м в северной части, при движении на юг к р. Нёлякояха уменьшается до 14,0 м, по данным бурения ООО «НТФ КРИОС». При этом мощность данных отложений на юге п-ова Ямал достигает 80–100 м, на п-ове Тазовском от 0 до 100–140 м, в низовьях р. Таз (п. Тазовский) – 65 м. Такие колебания мощности связаны, по мнению И.В. Попова (1969), с неотектоническими движениями и с вызываемыми ими эрозионными процессами [30].

Казанцевская свита (m, pm III₁ kz) представлена морскими и прибрежно-морскими отложениями, образованными при затоплении казанцевским морем в верхнем плейстоцене всех местных водоразделов, которые занимают большую часть территории месторождения. Согласно Г.И. Дубикову, эти осадки прибрежной опресненной мелководной зоны накапливались в условиях холодного климата [15]. При этом суглинки слагают всю верхнюю часть разреза, на междуречье рек Хэ-Яха и Русская это отмечено И.В. Поповым [30]. Абсолютные отметки поверхности равнины 40–60 м. Отложения этой свиты слагают уровень IV морской равнины (террасы) на территории Заполярного НГКМ, которые образуют междуречья с разной степенью расчлененности, при этом залегают на размытой поверхности салехардских пород. Мощность отложений на местных водоразделах достигает 14,0 м по данным параметрического бурения.

Ялбынинская свита (рп, Ia III₁₋₂ jab) представлена нерасчлененным комплексом прибрежно-морских и озерно-аллювиальных осадков, образованных в позднеказанцевское время, которые залегают на эродированной поверхности салехардских отложений. Рассматриваемые осадки накапливались в условиях подпора древних рек водами казанцевского моря. Данные отложения образуют уровень III надпойменной террасы с абсолютными отметками 30–40 м (Е. С. Мельников, С. Е. Гречищев, 2002). Они переработаны в верхнем 15-метровом слое и имеют в целом более песчаный состав и двухслойное строение: суглинки и супеси мощностью от первых метров до 10 и более метров подстилаются песками [20].

Зырянская свита (Ia III₂ zr) представлена континентальными отложениями озерно-аллювиального генезиса. Отложения этой свиты так же, как и ялбынинской свиты, слагают уровень III надпойменной террасы, представляя собой пологие и пологоволнистые равнины, с абсолютными отметками 15–30 м. Аллювиальные фации представлены песками, озерные – супесями и суглинками. Часто отложения зырянской свиты с поверхности перекрыты современными покровными суглинками и биогенными отложениями. Мощность свиты колеблется от 2–3 м до 10–12 м.

Каргинско-сартанские аллювиальные отложения II надпойменной террасы (a III₃₋₄ kr+sr) на рассматриваемой территории имеют ограниченное распространение вдоль долин рек Юредей-Яха, Большая и Малая Хе-Яха, выделяются как собственно аллювиальные отложения, так и переотложенные отложения *зырянской и ялбынинской свиты*. Абсолютные отметки достигают 25 м. Местами отложения II надпойменной террасы перекрыты современными болотными осадками различной мощности.

Аллювиальные отложения I надпойменной террасы и поймы (a IV) развиты в долинах рек Большая и Малая Хе-Яха, Юредей-Яха. Данные участки в пойме перемежаются останцами (гривами) более древних аллювиальных отложениях (a III₃₋₄). Мощность отложений около 3–5 м.

Озерно-болотные отложения (1, b III₁ – IV) в пределах рассматриваемого района встречаются практически на всех геоморфологических уровнях, наиболее широко на междуречных водораздельных участках, перекрывая породы *казанцевской свиты*. По В. Т. Трофимову, эти отложения на 95–99 % сложены торфом, степень разложения которого составляет от 10 до 30–40 %. Мощность изменчивая от 0,2–0,5 м до 4,0–5,0 м в центральных частях торфяных массивов, по данным И. В. Попова и инженерно-геологических изысканий.

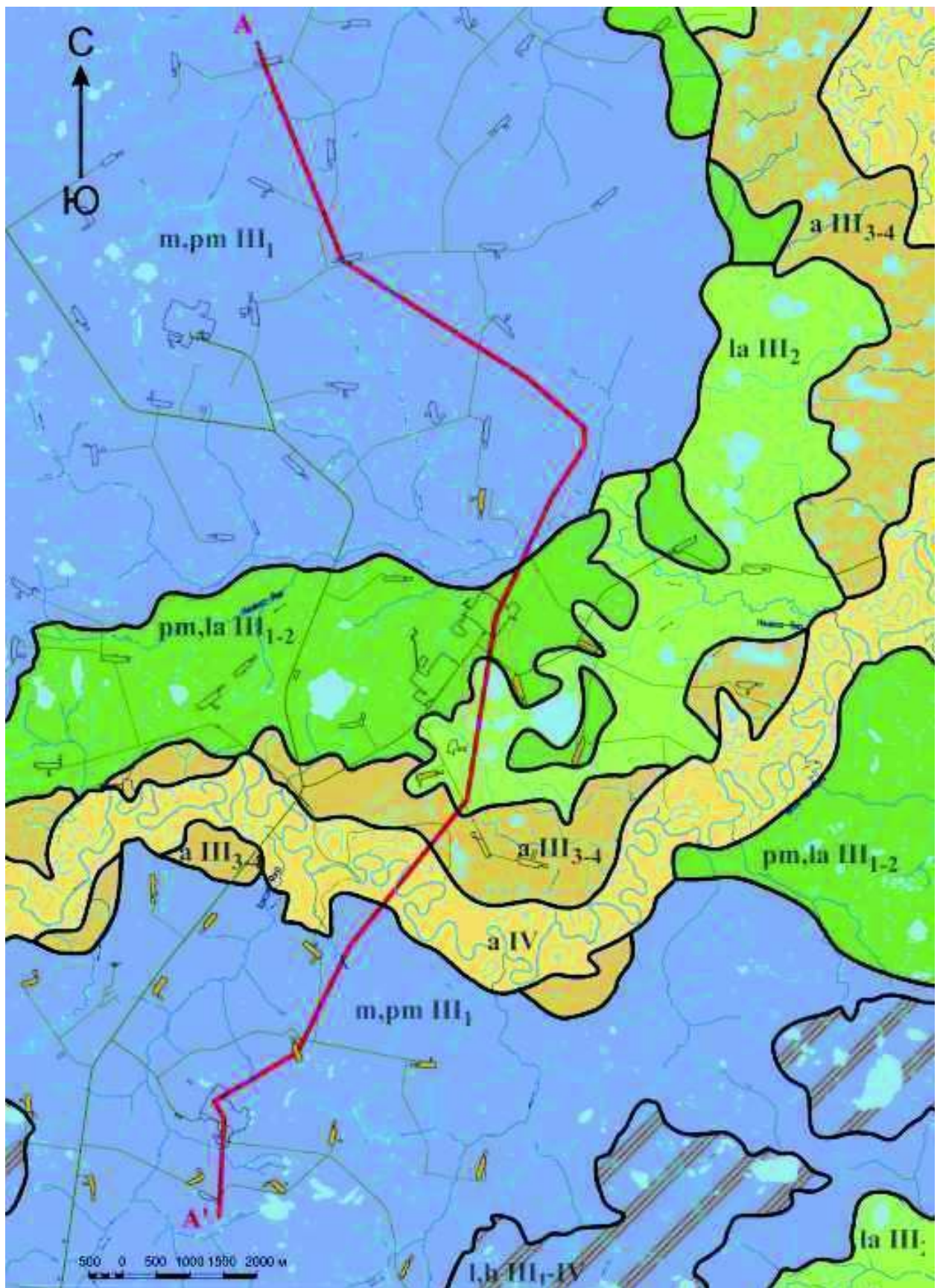


Рис. 2.3.2 Фрагмент карты четвертичных отложений Заполярного месторождения (условные обозначения на рис. 2.3.3)

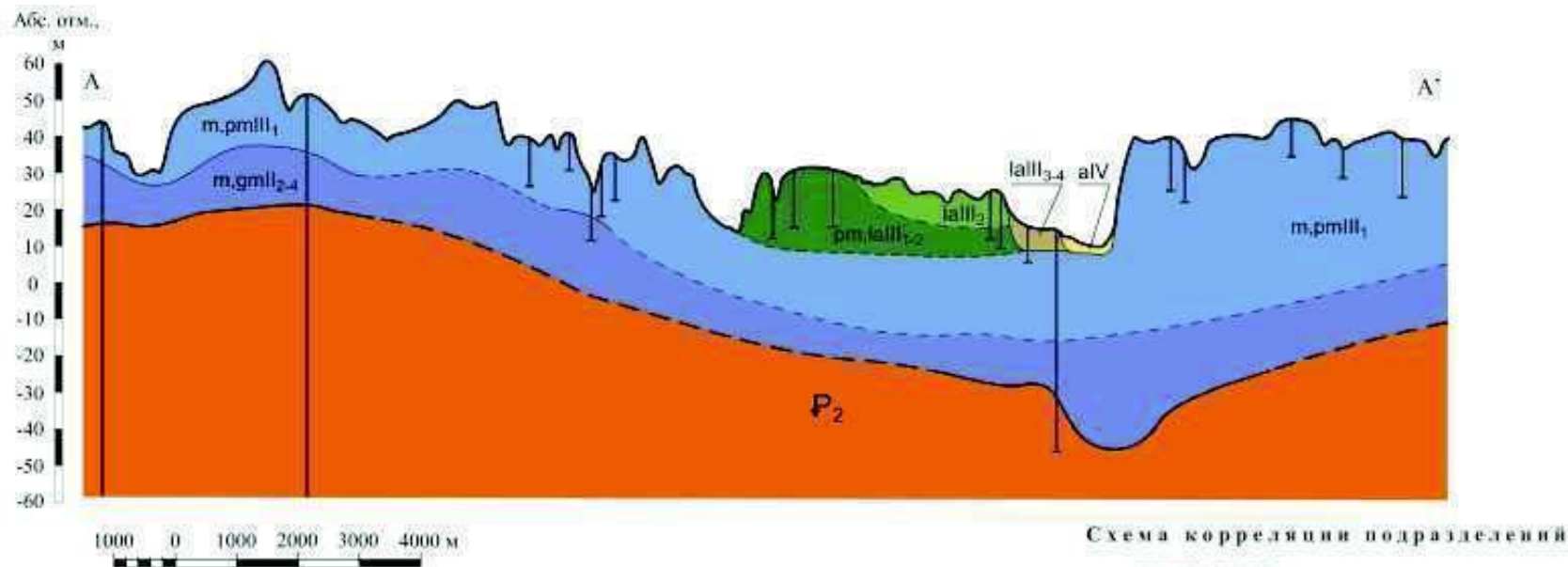


Схема корреляции подразделений

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- a IV** Аллювиальные отложения. Пески, супеси
- l, b III, IV** Озерно-болотные отложения. Торф (до 5 м)
- a III₃₋₄ kr+sr** Каргинский и сартанский горизонт. Аллювиальные отложения. Пески, супеси, суглинки
- la II₂ zr** Зырянский горизонт. Озерные отложения. Пески, супеси, суглинки
- pm/la III_{1,2} ab** Ялбынинский горизонт. Прибрежно-морские, озерные отложения. Пески, суглинки, супеси
- m.p.m III, kz** Казанцевский горизонт. Морские, прибрежно-морские отложения. Суглинки, глины, супеси, пески
- m.g.m II_{2,4} sh** Салехардский горизонт. Гляциально-морские отложения. Суглинки
- A — A'** Линия разреза
- Дороги

ОБЩАЯ ШКАЛА РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ

ПЕРИОДЫ	ОБЩАЯ ШКАЛА			РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ	
	Варскел	Рыдел	Засно	Малорозовка	Горизонты
ГОЛОЦЕН					Голоценовый
НЕОПЛЕЙСТОЦЕН	СРЕДНЕЕ	ВЕРАХНЕ	Средне-мелкое		Сартанский
					Каргинский
					Зырянский
Бокунский				Казанцевский (Ялбынинский)	
				Салехардский	

Рис. 2.3.3 Геологический разрез четвертичных отложений Заполярного месторождения по линии А – А'

2.4 Гидрологические и гидрогеологические условия

Речная сеть Заполярного месторождения принадлежит к бассейну реки Таз. Самые крупные из них – реки Большая Хе-Яха, Юредей-Яха и Неляко-Яха. Все они сильно меандрирующие, как правило, глубоко врезаны, с обрывистыми берегами. Реки полностью промерзают. Очищение ото льда происходит 4–10 июня. Ледоход длится 2–3 дня, сопровождается подъемом воды на 3,0–5,0 м от меженного уровня, средняя – 4,0 м (рис. 2.4.1). Ширина рек колеблется от 5,0 до 10,0 м. Глубина в межени невелика – 0,5–0,6 м.



Рис. 2.4.1 Река Большая Хе-Яха во время половодья

Характерной чертой гидрографической сети района является преобладание малых рек длиной менее 50 км и малых озер площадью зеркала менее 2 км². Русла рек достаточно врезаны: глубина долин небольших рек и ручьев составляет 10–20 м, а средних рек до 30–40 м. В целом гидрографическая сеть имеет унаследованный характер рельефа, существовавший в палеогеновый период. Изрезанность поверхности речной сетью определяет незначительную заболоченность территории. Общая заболоченность поверхности изменяется от 10 до 25 %. Наибольшей заболоченностью отличаются центральные части местных водоразделов.

Заозеренность месторождения 2–5 %, местами до 10 % и более, преимущественно приходится на участки водоразделов [66].

В гидрогеологическом плане Заполярное месторождение находится в краевой северо-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна, в составе которого по вертикали выделяются два гидрогеологических этажа.

Нижний этаж отделяется от верхнего турон-олигоценым водоупором большой толщины. На большей части территории Западно-Сибирского бассейна верхняя граница нижнего гидрогеологического этажа проходит по кровле покурской свиты верхнего мела.

Нижний гидрогеологический этаж, включающий зоны затрудненного и весьма затрудненного водообмена, охватывает интервал от верхнего мела (турон, около 1150 м) до юры (около 3400 м) [67].

Верхний этаж включает зону свободного водообмена, гидрогеологические особенности которого во многом обусловлены, а иногда и полностью определяются существующими мерзлотными условиями. В связи с этим здесь можно выделить следующие основные типы подземных вод: над-, межмерзлотные и воды таликовых зон.

Воды надмерзлотного типа залегают над кровлей ММП и заключены в четвертичных породах различного генезиса, слагающих междуречные равнины, надпойменные террасы и поймы. Они могут встречаться как в минеральных грунтах, так и в торфе. Глубина залегания и мощность водоносного горизонта надмерзлотных вод определяется величиной сезонно-талого слоя, которая изменяется от 0,4–0,6 м на торфяниках и до 2,5–3,0 м на дренированных песчаных участках, и зависит от степени расчлененности территории, а также удаленности от местного базиса эрозии. Надмерзлотные воды в основном безнапорные, но во время промерзания может возникать временный напор. Питание этого горизонта происходит за счет атмосферных осадков. С началом зимнего промерзания питание их прекращается, и в течение зимы надмерзлотные воды промерзают полностью. Летом воды

сезонно-талого слоя могут в сухие периоды временно исчезать, особенно на хорошо дренированных участках. Разгрузка этих вод происходит по оврагам, ложбинам и полосам стока в реки и озера. В период интенсивных дождей на сухих дренированных участках возможно появление грунтовых вод типа верховодки на глубине 0,2–0,3 м.

Водоносный горизонт СТС вследствие небольшой мощности и водообильности, кратковременного существования, а зачастую и загрязненности органическими веществами не имеет практического значения для целей водоснабжения. Воды СТС оказывают существенное влияние на процессы, протекающие в деятельном слое, и способствуют заболачиванию территории. С этими водами связано явление разжижения грунтов при воздействии на них динамических нагрузок.

На участках с заглубленным положением кровли ММП (3,5–10,0 м и более) водоносный горизонт надмерзлотных вод функционирует круглогодично, несмотря на отсутствие питания в зимний период. На участках, где кровля многолетнемерзлых грунтов значительно погружена, воды деятельного слоя и таликов гидравлически связаны и представляют собой единый водоносный горизонт.

По химическому составу воды в основном гидрокарбонатно-кальциевые, с общей минерализацией от 0,05–0,06 г/л, рН изменяется от 5,8 до 6,3. По отношению к бетону воды данного горизонта обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью [11, 37]. Воды, приуроченные к пескам и супесям, прозрачные, без запаха. Воды, развитые на торфяниках, могут содержать значительное количество органических веществ, за счет чего приобретают коричневый цвет и неприятный запах. Коррозионная активность грунтовых вод к свинцовой и алюминиевой оболочкам средняя.

2.5 Ландшафты и типы местности

Современный облик ландшафтов является продуктом последнего континентального этапа геологического развития Западно-Сибирской равнины. В каждый период геологической истории четвертичного времени рассматриваемая территория подвергалась эндогенному и экзогенному воздействию. Согласно данным Е.С. Мельникова для севера Западной Сибири, на территории Заполярного месторождения можно выделить следующие этапы формирования ландшафтов: казанцевский, зырянский, каргинско-сартанский, голоценовый.

В основу таксонометрической системы природно-территориальных комплексов севера Западной Сибири закладывалась систематизация как «сверху», так и «снизу» в процессе ландшафтного районирования территории, мелкомасштабного ландшафтного картирования, составление средне- и крупномасштабных карт и инженерно-геологических карт исследуемого региона. Последовательность выделения таксонометрических единиц от крупных к малым представлена в следующем ряду: страна – провинция – подпровинция – район – ландшафт – местность – урочище – фация [20]. Данное выделение ландшафтов позволяет учитывать разделение по составу пород и отвечает задачам ранжирования природно-территориальных комплексов, инженерно-геологического и геоэкологического картирования в разных масштабах.

Заполярное месторождение расположено на территории Пур-Тазовской провинции в пределах южнолесотундровой подпровинции, в равнинно-морском и озерно-аллювиальном южнолесотундровом пологувалистом слабозаболоченном районе. На территории месторождения выделены следующие ландшафты, в скобках обозначение на карте:

- верхнечетвертичная (казанцевская) IV морская равнина (IV m) с абсолютными отметками 40...70 м;

- верхнечетвертичная III прибрежно-морская и озерно-аллювиальная равнины (III рт, la) с абсолютными отметками 20...40 м;
- верхнечетвертичная II аллювиальная терраса (II а) с относительными превышениями 10...15 м;
- верхнечетвертичная (и современная) I аллювиальная терраса (I а) с относительными превышениями 6...14 м;
- современная пойма (O а) с относительными превышениями от 0 до 8 м.

В связи с тем что рассматриваемый участок представляет собой сложную в географическом и геологическом плане структуру с большим числом признаков, изменяющихся в пространстве и во времени, для дальнейшего, более дробного комплексного районирования территории месторождения вводится таксон – тип местности.

Тип местности опознаваем только по присущему ему (индивидуальному) набору признаков, но не по их простой сумме. Тип местности может обладать одним доминирующим признаком (например, старичное понижение) или малой группой из 2–3 взаимосвязанных признаков (например, высокая дренированная гряда, сложенная песчаными грунтами).

Необходимыми и достаточными условиями для выделения типа местности будут являться: 1) распознавание на местности, на топографической карте по морфологическим и морфометрическим параметрам (уклон, выпуклость и т.д.) и на аэрофотоснимках (границы тонов, полутонов, пятнистость изображения и т.д.); 2) обладание единообразного индивидуального набора основных признаков внутри выделяемого контура. Границы между типами местности можно провести по различию одного признака (смена литологии, уступ, граница леса и т.д.); по различию нескольких признаков (например, на границе высокой гряды происходит смена литологии, растительности, изменения уровня грунтовых вод и т.д.).

Для Заполярного месторождения характерны четыре типа местностей, которые детализируются в зависимости от глубины и густоты расчленения (табл. 2.5.1) [14], они расположены на пяти ландшафтах, которые были представлены выше. Каждая местность в свою очередь включает несколько групп урочищ.

Таблица 2.5.1

Типы местности на территории Заполярного месторождения

Озерные (А)	Мелкорасчлененные озерные (мелкокотловинные)	А1п – плоские
		А1в – волнистые
		А1х – холмистые
	Глубокорасчлененные озерные (глубококотловинные)	А2в – волнистые
А2х – холмистые		
Хасырейные (Б)		Б1п – плоские
Ложбинно-долинные (Г)	Умеренно расчлененные полосами и ложбинами стока	Г2п – плоские
		Г2в – волнистые
		Г2х – холмистые
	Дробно расчлененные логами и оврагами	Г3п – плоские
		Г3в – волнистые
		Г3х – холмистые
	Крупно расчлененные балками и долинами ручьев	Г4п – плоские
		Г4в – волнистые
		Г4х – холмистые
Гривистые (Е) – только поймах		Е1п – мелкогривистые
		Е2п – крупногривистые

Дальнейшее описание типов местности дается согласно Д. С. Дроздову на рис. 2.5.1. представлены контуры УКПГ попадающие в разные типы местности для карты масштаба 1:25000.

В структуре ландшафта поверхности **IV морской равнины (IV м)** выделены преимущественно местности двух типов – это ложбинно-долинные (Г) и озерные (А) местности, хасырейные местности (Б) занимают ограниченные площади. Каждая местность включает в себя несколько групп урочищ: лесные, эрозионные формы, болотные, торфяниковые, с преимущественным развитием форм многолетнего пучения, тундровые.

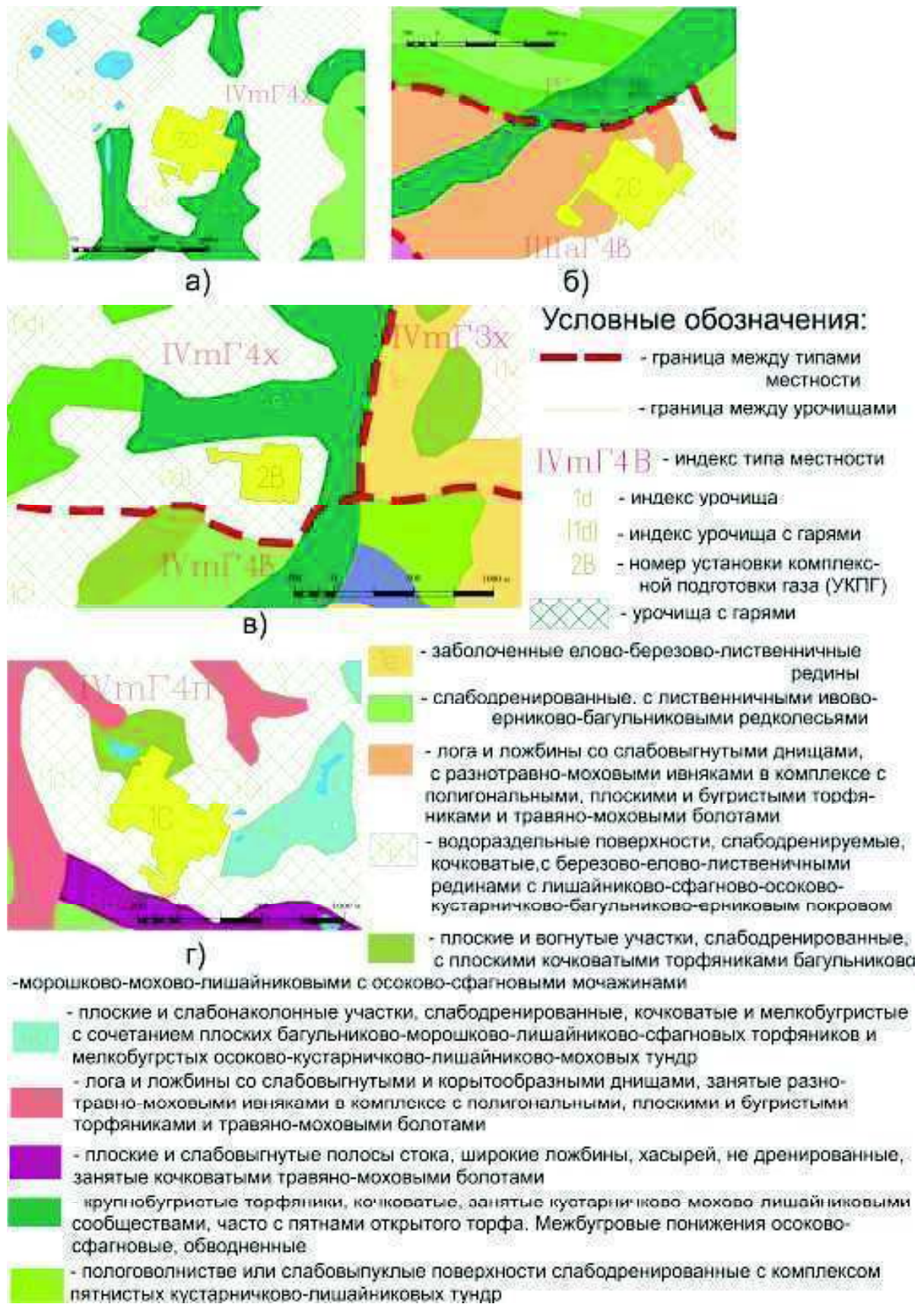


Рис. 2.5.1 Расположение УКПГ на типах местности и урочищах по Д. С. Дроздову [14]

Ложбинно-долинные местности (IVт Г) занимают приблизительно 80–85 % от площади ландшафта. Для местностей этого типа характерны холмистые и пологоволнистые поверхности, расчлененные густой древовидной эрозионной сетью – логами, балками, оврагами, долинами малых рек и ручьев. Глубина расчленения колеблется от 8–10 м в балках, до 25–38 м в глубоко врезанных логах и долинах ручьев на севере территории месторождения. Лога и овраги, как правило, имеют V-образный поперечный профиль и ширину днищ не превышающую 20–30 м. Для балок ширина днищ составляет 50–200 м.

Доминируют сухие березово-лиственничные редколесья, занимающие вершины и склоны холмов, а также сырые пятнисто-медальонные и мелкобугристые редколесья (1d). К субдоминантным относятся заболоченные елово-березово-лиственничные редины (урочище 1e). Значительно меньше распространены урочища торфяников (4а, 4v), эрозионных форм (2v и 6z).

Местности озерного типа (IVт А) занимают не более 15–20 % площади ландшафта IV морской равнины, расположены на плоских центральных участках водоразделов. Для местностей типа А характерно сочетание плоских и слабоволнистых участков.

Эрозионная сеть развита слабо, преобладают широкие (150–300 м) ложбины стока, врезанные на глубину 5–7 м. Плоские участки заняты озерами преимущественно округлой и овальной формы, глубина вреза озерных котловин до 10 м.

Для слабоволнистых участков характерно преобладание слабодренированных урочищ с лиственничными и еловыми рединами (1d, 1e), на плоских участках доминантными являются урочища кочковатых торфяников (4а) и торфяных бугров (4v).

Вокруг озер распространены хасыреи, днища которых заняты травяно-моховыми болотами (3b) и заболоченными лугами (2а).

Лесотундровые ландшафты III озерно-аллювиальной террасы (III Ia) (абс. отм. 30–40 м) распространены фрагментарно вдоль пойм крупных рек. Сложены они супесчано-суглинистыми отложениями зырянского возраста.

Рельеф пологоволнистый или плоский, в краевых частях террасы сильно эродированный. Эрозионная сеть представлена ложбинами, логами и редкими долинами ручьев. Глубина эрозионного вреза 10–25 м. Густота эрозионного расчленения 4–8 км на 4 км². Центральные и тыловые участки террасы практически плоские со слаборазвитой эрозионной сетью (0–2 км на 4 км площади) с глубиной вреза 5–10 м. Озерность террасы составляет 2–5 % от площади ландшафта. Озера небольшие (до 0,5 км²) глубиной 1–2 м. На торфяниках распространены мелкие термокарстовые озера глубиной 0,5–1 м диаметром 5–50 м. Широкое развитие на плоских поверхностях имеют низменные болота и торфяники.

В пределах ландшафта обособились местности двух типов: ложбинно-долинные (Г) и озерные (А).

Ложбинно-долинные местности (III Ia Г) занимают около 80 % площади ландшафта и приурочены к прибровочным участкам террасы. Для них характерен пологоволнистый рельеф, расчлененный ложбинами и логами.

Хорошо развитая эрозионная сеть обуславливает преобладание сухих участков с березово-лиственничными редколесьями (1b), выположенные участки заняты мелкобугристыми, пятнисто-медальонными елово-березово-лиственничными редидами (1d). К понижениям и плоским участкам приурочены кочковатые торфяники (4a). Лога и ложбины имеют сложное строение и неоднородны по структуре: в их пределах отмечаются фрагменты болот и торфяников, кустарничковых тундр и редин.

Озерные местности (III Ia А) занимают незначительные площади в центральных и тыловых частях террасы. Для них характерна большая

озерность и заболоченность. Доминирующими урочищами являются слабодренированные пятнисто-медальонные березово-лиственничные редины (1d) и плоские комплексные торфяники (4v), приуроченные к вышеописанным участкам. Днища озерных котловин и хасыреев нередко заняты травяно-моховыми болотами (3b). В хасыреях встречаются бугры пучения. Для всей террасы характерно сплошное развитие мерзлоты с понижением кровли мерзлоты в редколесьях и под травяно-моховыми болотами в хасыреях.

Из экзогенных процессов получили развитие овражная эрозия, сезонное пучение, новообразование ММП; локально распространены термокарст, солифлюкция, морозобойное растрескивание, заболачивание.

Ландшафты аллювиальных террас (I и II надпойменные террасы - I а, II а) распространены фрагментарно вдоль пойм крупных рек, полосами шириной от 100...200 м до 3 км. Относительные превышения II террасы составляют 10...15 м, I террасы – 6...9 м. Поверхности обеих террас плоские слабонаклонные к пойме, лишь местами возвышаются плосковершинные останцы ($h = 2,0-2,5$ м). Большая часть площади террас относится к озерному типу местности, который отличается большой озерностью и заболоченностью поверхности. На них доминируют урочища торфяников различных типов. Эрозионная сеть развита слабо. Встречаются лишь широкие заболоченные полосы стока и редкие долины ручьев.

Пологие слабодренированные и приподнятые участки заняты мелкобугристыми и пятнисто-медальонными тундрами (6v, 6e). Небольшие площади покрыты слабодренированными лиственничными редколесьями (1d).

Лишь краевые прибровочные участки террас относятся к местностям ложбинно-долинного типа, но они занимают незначительную площадь.

Для надпойменных террас характерно сплошное развитие мерзлоты, лишь в прибровочных участках на хорошо дренированных поверхностях отмечается понижение кровли мерзлоты до 6,0–10,0 м.

Пойменные ландшафты (О а) в пределах площади месторождения занимают около 5 %. Структура этих ландшафтов проста. Центральные и прирусловые участки поймы – это *мелкогрядистый тип местности (Оа Е)* с мелковолнистой грядистой поверхностью. Высота гряд составляет 2,0–2,5 м. Межгрядные понижения часто заболочены или заполнены старицами. Повсеместно здесь доминируют крупнотравные сомкнутые смешанные леса (урочище 1з).

Тыловые части пойм плоские, заболоченные, и для них характерны многочисленные старичные озера (рис. 2.5.2).



Рис. 2.5.2 Вид с воздуха на пойменные ландшафты

Территория Заполярного месторождения в совокупности очень разнообразна и сложна по геокриологическим условиям, генезису и составу пород, геоморфологическим уровням. Растительный мир представлен парцеллярно* (фр. *parcelle*, лат. *particula* – частица), в одних выделенных макро- или мезоучастках типа местности находится более мелкие, картина в целом мозаична.

2.6 Инженерно-геокриологические условия

Распространение, мощность и строение многолетнемерзлых пород

В пределах Заполярного месторождения толща многолетнемерзлых пород имеет сплошное распространение. Согласно схеме регионального районирования Западно-Сибирская территория относится к Пур-Тазовской северной области континентальной провинции [6].

Согласно данным ТюменНИИгипрогаз [65] и ВНИИГАЗ [23] глубина залегания подошвы ММП по Заполярному месторождению изменяется от 380 до 495 м, толща мерзлых пород распространяется в отложениях от четвертичного до верхнемелового возраста включительно. Причем мощность мерзлоты, согласно В.В. Баулину, в сводовой части структуры увеличена, по сравнению с крыльями [1]. Это может быть связано со снижением температуры над газовыми залежами, вызываемым пониженной теплопроводностью газоносных пород, и, возможно, с эффектом адиабатического расширения газа, сопровождающим современную миграцию газа из залежи [13].

Основными факторами, определяющими мощность и строение ММП, являются геоморфологическое строение и наличие водотоков. Наименьшие мощности ММП приурочены к долинам рек Большая и Малая Хэ-Яха, Юредейяха, наибольшие – к водораздельным участкам.

К пойменным участкам рек привязаны подрусловые несквозные талики, которые вытянуты по долинам рек. Максимальная глубина талых зон лежит в пределах 50–80 м от поверхности. Мощность талых зон повышается при движении вниз по течению рек. Сквозные талики на территории месторождения не встречаются.

Конфигурация и строение таликов в прирусловой части вдоль р. Большая Хэ-Яха представлена на рис. 2.6.1 и 2.6.2, по данным работ компаний «Севергеоразведка» и ГИДЕК в 1997 и 2005 гг. соответственно.

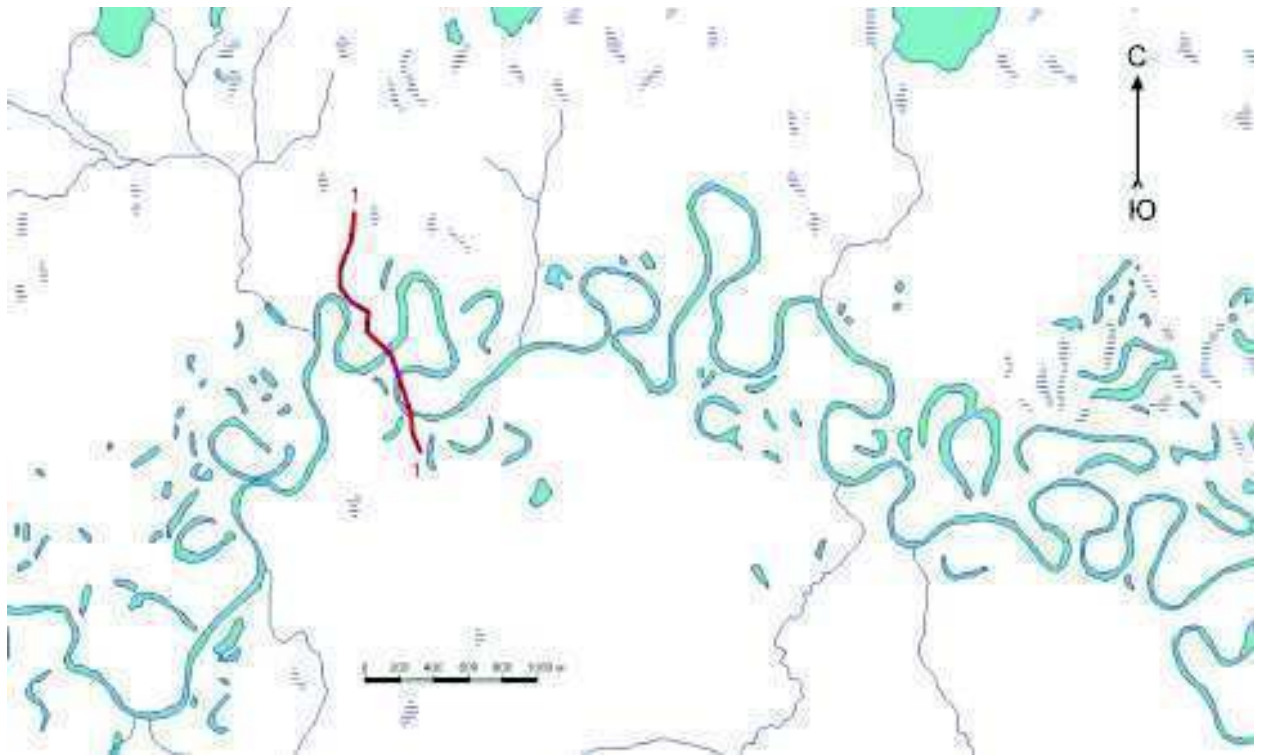


Рис. 2.6.1 Участок р. Большая Хе-Яха с указанием профиля

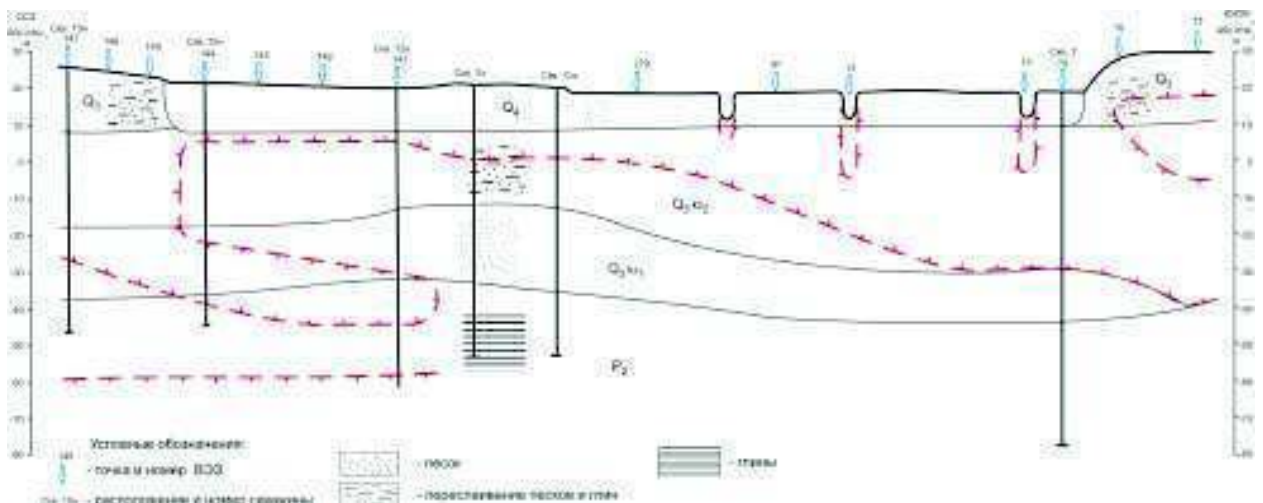


Рис. 2.6.2 Инженерно-геокриологический разрез по линии 1 – 1 по данным бурения и вертикального электротондирования

Температурный режим, сезонное протаивание и промерзание грунтов

Температура мерзлых грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд на территории Заполярного месторождения определялась во время изыскательских работ таких организаций, как ПНИИС, Фундаментпроект,

ВНИПИгаздобыча и др. Изменения значений температуры колебались от 0,0 до минус 4,5 °С, в зависимости от ландшафта, дренированности, состава пород и условий снегонакопления.

Температура грунтов определяет их физико-механические свойства и является объективным параметром оценки инженерно-геокриологических условий территории.

Самые низкие температуры (минус 3,5 – минус 4,5 °С) характерны для плоских торфяников, болотно-торфяных массивов.

Незалесенные водораздельные пространства и их склоны, бугры пучения, сложенные суглинисто-супесчанными грунтами, занятые мохово-кустарничковой тундрой, характеризуются температурами грунтов от минус 2,8 до минус 3,5 °С.

Водоразделы, покрытые зарослями крупных кустарников, и их склоны имеют температуру минус 2,4 – минус 2,8 °С.

В пределах долин малых водотоков существуют стабильные термические условия. Узкие подрусловые талики характеризуются температурами, вероятно, близкими к 0,0 °С; мерзлые борта долин имеют температуру грунтов минус 0,6 – минус 0,9 °С.

Температурный режим многолетнемерзлых пород ниже слоя годовых теплооборотов исследован по параметрическим скважинам (307-М, 310-М, 314-м) на IV морской равнине в северной части месторождения. Скважины были пробурены и оборудованы в 2003 году компанией ООО «КРИОС» в 40–60 м от ближайшей добывающей скважины на территории кустов газовых скважин, которые были введены в эксплуатацию в тот же год. Согласно расчетному температурному моделированию, выполненному ОАО «Фундаментпроект», влияние температуры добываемого газа на параметрическую скважину будет происходить на 5–10 год работы. Поэтому измерения температуры, выполненные в 2009 году, в параметрических скважинах можно принять за фоновые значения.

Измерения проводились с помощью цифровых термодатчиков DS18S20 с точностью измерения 0,1 °С. Месторасположение скважин и характер распределения температур приведены в табл. 2.6.1 и на рис. 2.6.3.

Наиболее теплые значения температур по разрезу приурочены к параметрической скважине 314-м, расположенной на краю широкого вреза ручья, с перепадом высот 25–30 м от высотной отметки устья скважины. Распределение температуры указывает на многолетнее повышение температуры грунтов вблизи этой скважины или определяет глубину влияния пересеченности рельефа на температурный режим ниже глубины годовых амплитуд. На глубине около 200 м показатели температуры достигают значений, характерных для других скважин (минус 1,2 – минус 1,3 °С).

Таблица 2.6.1

Распределение температуры в многолетнемерзлых породах ниже слоя годовых теплооборотов

№ скв., Абс. отм. устья, м	Дата замера	Температура пород (в °С) на глубине, м											
		15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	150	190
307-М 51,85	28.10.2009	-2,6	-2,4	-2,2	-2,0	-1,8	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-	-	-
310-М 43,60	29.10.2009	-2,1	-1,8	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-1,3	-	-	-	-	-
314-М 45,37	13.08.2009	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2

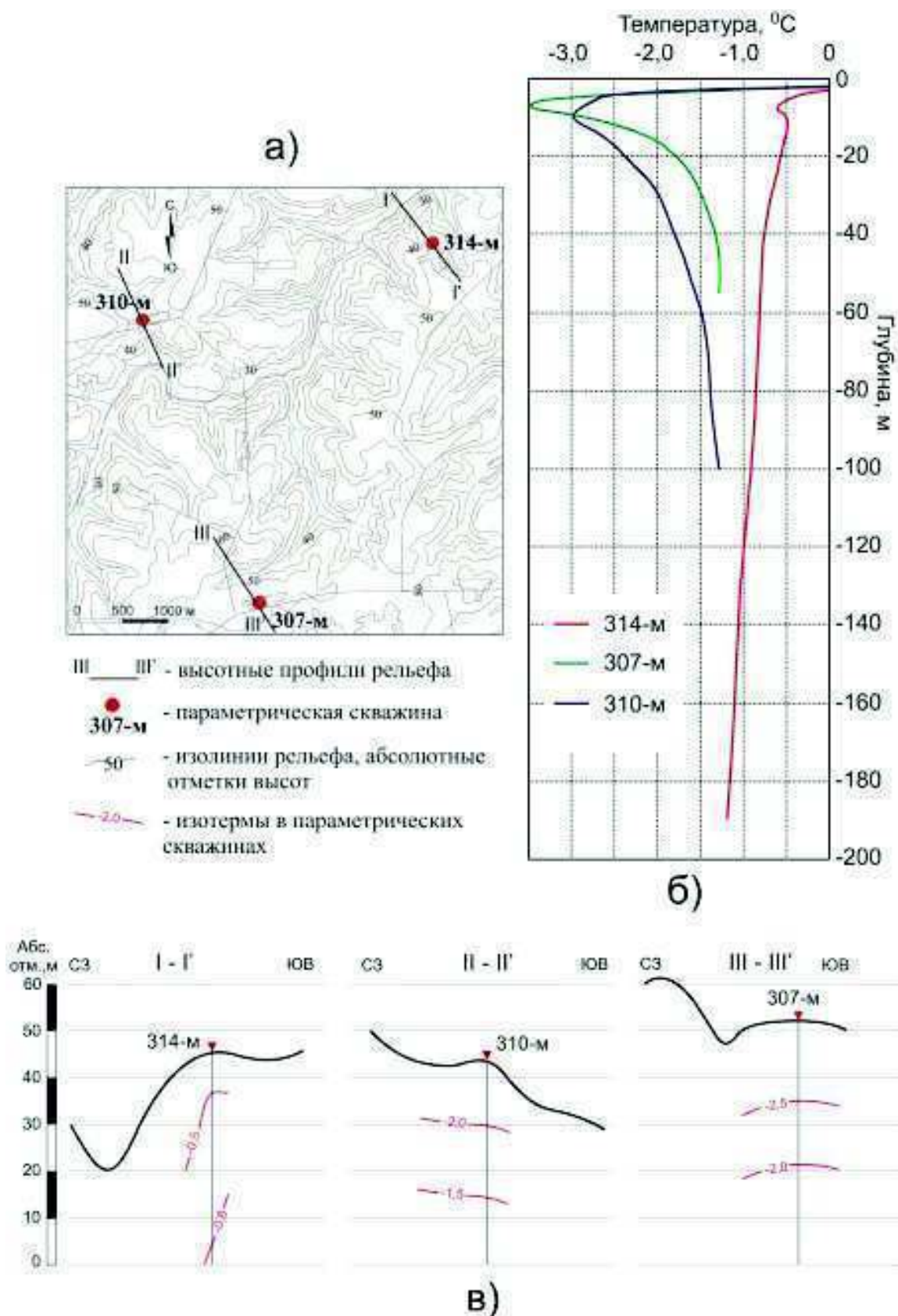


Рис. 2.6.3 Схема расположения параметрических скважин: а) относительное расположение скважин и профилей; б) значения температуры по глубине; в) профили и изотермы по значениям температур в скважинах.

Сезонное протаивание и промерзание грунтов. Сезонное оттаивание грунтов начинается в конце мая – начале июня и заканчивается в сентябре – октябре месяце. При оттаивании мерзлых грунтов глинистые приобретают мягкопластичную и текучую консистенцию, пески переходят в водонасыщенное или влажное состояние.

Глубина сезонно-талого слоя в природных условиях в целом изменяется от 0,5 до 2,2 м. На торфяниках с мощным моховым покровом СТС составляет 0,5–0,6 м. На крупных торфяных заболоченных массивах глубина оттаивания увеличивается до 0,7–0,8 м. Максимальные глубины сезонного оттаивания формируются на пятнах-медальонах и сильно расчлененных, преимущественно прибрежных участках озерно-аллювиальных террас и междуречных равнин, сложенных с поверхности песчано-супесчаными грунтами с хорошим стоком надмерзлотных вод.

Сезонное промерзание начинается с переходом среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в область отрицательных значений в конце сентября – начале октября. Глубина промерзания обусловлена в основном литологическим составом поверхностного слоя, его влажностью перед зимним периодом, а также режимом снегонакопления. На оголенных, приподнятых поверхностях, откуда снег сдувается ветром, промерзание идет быстрее, в обводненных понижениях – медленнее.

Своего максимума мощность СМС для территории с несливающимся типом многолетнемерзлых пород достигает на крутых оголенных склонах до 4,0 м. На плоских безлесных и редколесных участках глубина СМС составляет 1,5–2,5 м.

Физические свойства четвертичных отложений

Приповерхностные отложения казанцевского возраста представлены суглинками с переслаиванием супесей и песков, преимущественно пылеватого состава, и реже глинами, мощностью до 3 м морского и прибрежно-морского генезиса. На всю мощность отложений разрез представлен в основном суглинками и глинами. Гранулометрический состав

и водно-физические свойства грунтов, использовавшихся для моделирования температурного режима, по данным инженерно-геокриологических изысканий на площадке УКПГ-3С, выполненных ОАО «Фундаментпроект» согласно ГОСТ 25100-95 представлены в табл. 2.6.2 [56]. В грунтах преобладает слоистая и массивно-сетчатая криотекстура. Величина суммарной льдистости до глубины 1,0–3,0 м изменяется от 0,25 до 0,60 д.е., ниже по разрезу льдистость снижается и составляет 0,05–0,35 д.е. Супеси и пески имеют массивную, реже слоистую криотекстуру, при льдистости 0,05–0,25 д.е.

Отложения прибрежно-морские и озерно-аллювиальные ялбынинского и зырянского времени представляют собой комплекс III надпойменной террасы. Состав пород представлен в целом весьма широким набором от средних песков до глин. Гранулометрический состав и водно-физические свойства грунтов, использовавшихся для моделирования температурного режима, по данным инженерно-геокриологических изысканий на площадке УКПГ-2С, проведенных ОАО «Фундаментпроект» представлены в табл. 2.6.3 [55]. Суглинки, как правило, залегают до глубин 5 м, сильнольдистые, имеют слоистую или сетчатую криогенную текстуру, а влажность их достигает 40–55 %. В целом для разреза льдистость глинистых грунтов за счет ледяных включений с глубиной уменьшается. Зачастую приповерхностные грунты обогащены органическим веществом: средне- и сильнозоторфованы. Для песчаных пород, как правило, характерны массивные криогенные текстуры. Естественная влажность песков достигает 24 %; при протаивании пески находятся в водонасыщенном состоянии.

Комплекс отложений I и II надпойменных террас, поймы, русла рек, а также их притоков представлен в основном супесями и песками. Данные грунты используются как местный материал для проведения планировочных работ, отсыпки дорог, кустов и т.п. Гранулометрический состав песка представлен в табл. 2.6.4. Песок преимущественно мелкий с высокой долей пылеватой фракции, встречается также и сам пылеватый песок.

Таблица 2.6.2

Гранулометрический состав и водно-физические свойства казанцевских отложений, использованных для моделирования температурного режима грунтов [56]

Классификация					Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов. числитель - нормативное значение, знаменатель - минимальное и максимальное значения, () - количество определений																		
Тип грунта по ГОСТ 25100-95	По плотности сложенной для песков, по гран. составу и числу пластичности для глинистых грунтов	Разновидность			Суммарный гран. состав, %			Пластичность, д.е.			Влажность, %			Плотность, г/см ³					Коэффициент пористости e (e_m)	Степень влажности (льдонасыщения), S_r	Номер ИГЭ для моделирования температурного режима грунтов		
		по относит. содержанию органических веществ	по криогенному состоянию	по криогенной текстуре	песок 2 - 0,05 мм	пыль 0,05 - 0,005 мм	глина < 0,005 мм	граница текучести W_L	граница раскатывания W_p	число пластичности J_p	природная W_e мерзлого грунта без ледяных включений W_m	Суммарная мерзлого грунта W_{tot}	льдистость l , д.е. (консистенция L , д.е.)	частица грунта, ρ	влажного (мерзлого) грунта, ρ (ρ_m)	сухого грунта, ρ_d (ρ_{dm})	суммарная мерзлого грунта, ρ_{tot}	суммарная сухого мерзлого грунта, $\rho_{d,tot}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
Сулинки	тяжелые, пылеватые	с ОВ	СТС/СМС	слоисто-сетчатая	18 1-65 (58)	54 13-59 (58)	28 8-50 (58)	30 16-43 (317)	16 8-27 (317)	14 7-17 (317)	24 16-27 (140)	67 62-87 (22)	0,43	2,69 2,63-2,72 (18)	1,92 1,90-1,93 (4)	1,55	1,48 1,42-1,51 (6)	0,89	0,74	0,92	1		
				максимальная									<0,03								1,97 1,95-2,04 (4)	1,63	-
		без ОВ	ММГ	слоисто-сетчатая	19 3-40 (18)	50 37-68 (18)	31 18-41 (18)	30 27-32 (40)	16 12-19 (40)	14 13-16 (40)	21 16-23 (1407)	26 24-29 (339)	34 30-44 (253)	0,08	2,70 (6)	-	-	-	1,91 1,90-1,94 (28)	1,52	-	-	3
				0,20										1,82 1,77-1,88 (59)									1,36
		ТГ	-	19 3-40 (18)	50 37-68 (18)	31 18-41 (18)	30 27-32 (40)	16 12-19 (40)	14 13-16 (40)	22 17-26 (197)	-	0,43	2,70 (6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5

Таблица 2.6.3

Гранулометрический состав и водно-физические свойства ялбынинских и зырянских отложений, использованных для моделирования температурного режима грунтов [55]

Наименование грунта					Обобщенные показатели физико-механических свойств грунтов.																
Тип грунта по ГОСТ 25100-95	По плотности сложенной для песков, по гран. составу и числу пластичности для глинистых грунтов	Разновидность	Суммарный гран. состав, %			Пластичность, д.е.			Влажность, %		Плотность, г/см ³							Коэффициент пористости e (e_m)	Степень влажности (льдонасыщения), S_r	Номер ИГЭ для моделирования температурного режима грунтов	
			по отношению к содержанию органических веществ	по криогенному состоянию	по криогенной температуре по консистенции и степени влажности для ТГ	песок 2 - 0,05 мм	пыль 0,05 - 0,005 мм	глина < 0,005 мм	граница текучести W_L	граница раскатывания W_P	число пластичности J_P	природная W_e мерзлого грунта без ледяных включений W_m	Суммарная мерзлого грунта W_{tot}	льдистость i , д.е. (консистенция I_L , д.е.)	частиц грунта, ρ	влажного (мерзлого) грунта, ρ (ρ_m)	сухого грунта, ρ_d (ρ_{dm})				суммарная мерзлого грунта, ρ_{tot}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Суглинки	тяжелые, пылеватые	без ОБ	СТС	слоистая	-	-	-	$\frac{29}{23-39}$ (11)	$\frac{16}{13-22}$ (11)	$\frac{13}{7-17}$ (11)	$\frac{24}{19-26}$ (98)	$\frac{28}{27-37}$ (45)	0,07	-	-	$\frac{1,90}{1,83-1,97}$ (15)	1,48	-	-	6	
					ВМГ	$\frac{13}{6-68}$ (9)	$\frac{70}{23-74}$ (9)	$\frac{16}{9-21}$ (9)	$\frac{31}{23-41}$ (55)	$\frac{19}{13-26}$ (55)	$\frac{12}{7-17}$ (55)	$\frac{25}{19-26}$ (162)	$\frac{28}{27-37}$ (45)	0,07	$\frac{2,66}{2,60-2,68}$ (8)	-	-	$\frac{1,92}{1,84-1,97}$ (29)	1,51	-	-
	ТГ		$\frac{11}{3-15}$ (4)			$\frac{69}{61-78}$ (4)	$\frac{20}{10-24}$ (4)	$\frac{26}{25-28}$ (11)	$\frac{16}{14-19}$ (11)	$\frac{10}{7-13}$ (11)	$\frac{20}{16-23}$ (16)	-	0,41	2,66	1,95 (1)	1,63	-	-	-	0,63	0,84
			ВМГ		$\frac{70}{6-95}$ (26)	$\frac{28}{3-65}$ (26)	$\frac{2}{1-5}$ (26)	-	-	-	$\frac{21}{12-29}$ (167)	-	-	$\frac{2,62}{2,60-2,63}$ (3)	1,98 (39)	1,64	-	-	-	0,60	0,92

Результат определения гранулометрического состава песка

Наименование грунта	Гранулометрический состав (%)						
	Диаметр частиц, мм						
	1–0,5	0,5– 0,25	0,25– 0,1	0,1– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	< 0,005
Песок мелкий	2,2	25,4	54,7	11,3	2,6	1,9	1,9

Торф, как в мерзлом, так и в талом состоянии, характеризуется высокими значениями влажности ($>100\%$), иногда достигая 1000% в сезонноталом слое, и низкими значениями плотности $0,85\text{--}1,00\text{ г/см}^3$. По степени разложения торф обладает средней степенью разложения. Торфяники, особенно на участках, где их мощность составляет более $1,0\text{ м}$, отличаются повышенной льдистостью, которая обычно выше $0,40\text{--}0,60\text{ д.е.}$ и имеет атакситовую криотекстуру, в отдельных случаях близкую к состоянию чистого льда.

Геокриологические процессы

В пределах Заполярного месторождения наиболее широко встречаются следующие *криогенные* процессы (разделение на группы процессов дано согласно систематизации экзогенных геологических процессов в криолитозоне, «Основы геокриологии...», [27]): морозное пучение дисперсных грунтов (в основном сезонного характера), термокарст, морозобойное растрескивание.

Процесс сезонного пучения затрагивает все типы поверхностных отложений в той или иной форме, если минеральный грунт имеет предзимнюю влажность от 30% и выше. Образуются как минеральные, так и торфо-минеральные бугры пучения высотой до $0,3\text{ м}$. Многолетние бугры пучения сложены сильно льдистыми грунтами с прослоями их чистого льда. Площадное пучение приурочено к торфяникам, занимающим центральные части водораздела, а также встречающимся в долинах ручьев и временных водотоков.

Процесс термокарста приводит к образованию просядочных и провальных форм рельефа, таких как озера, заболоченные ложбины и замкнутые котловины.

Морозобойное растрескивание характерно для торфо-минеральных или торфяных поверхностей, которые подвержены выдуванию снежного покрова в зимний период.

Гравитационные процессы представлены солифлюкцией тонкодисперсных грунтов сезонноталого слоя на склонах долин с образованием мелких террас, ориентированных параллельно подошве склона.

К *термогидрогенным процессам* относятся заболачивание термокарстовых озер, а также переувлажнение слабодренированных поверхностей. Термоабразией подвергаются берега крупных озер и рек в период паводка.



Рис. 2.6.4 Участок, подвергшийся переувлажнению за счет нарушения стока поверхностных вод

Эоловым процессам подвергаются техногенные отсыпки из песчаного материала: насыпи кустовых площадок газодобывающих скважин, откосы дорог, факельные амбары и др.



Рис. 2.6.5 Факельный амбар куста газовых скважин, подвергшийся эоловому процессу

Выводы

Территория Заполярного месторождения находится на севере Западно-Сибирской низменности в междуречье нижних течений рек Таз и Пур, в суровых природно-климатических условиях в области сплошного распространения ММП.

Рельеф представляет собой пологоволнистую равнину с абсолютными отметками 10–40 м в долинах рек и 50–65 м на водоразделах, с общим наклоном к северо-востоку и долине реки Таз. Поверхность сильно изрезана долинами малых рек и овражно-балочной сетью.

Гидрографическая сеть района характеризуется достаточно густой речной сетью, глубоко врезанной и с обрывистыми берегами, преобладанием малых рек длиной менее 50 км и малых озер с площадью зеркала менее 2 км². Относительно высоко заболочены центральные части местных водоразделов.

Климат зависит от влияния арктических воздушных масс, среднегодовая температура воздуха составляет минус 6,1 °С, скорость ветра – 4,5 м/с, среднее количество осадков в год по метеостанции п. Тазовский – 621 мм.

Геологический разрез верхнего горизонта (10–15 м.) представлен четвертичными отложениями морского, прибрежно-морского генезиса на водоразделах и озерно-аллювиального – в долинах рек. Озерно-болотные отложения развиты на всех геоморфологических уровнях.

В гидрогеологическом плане на Заполярном месторождении существует два этажа: нижний – лежит под многолетнемерзлыми породами и включает зоны затрудненного и весьма затрудненного водообмена в интервале глубин от 1150 м до 3400 м; верхний – со свободным водообменом, залегает на кровле ММП и заключен в четвертичных породах различного генезиса.

На территории месторождения выделяются следующие ландшафты: верхнечетвертичная IV морская равнина; III прибрежно-морская и озерно-аллювиальная равнины; II аллювиальная терраса; верхнечетвертичная (и современная) I аллювиальная терраса, а также современная пойма.

Толща ММП имеет сплошное распространение. Глубина залегания подошвы ММП составляет 380–495 м. В долинах рек распространены подрусловые талики глубиной до 80 м. Строение и конфигурация таликов может быть достаточно сложной, с чередованием талых и мерзлых пород. Водораздельные территории характеризуются широким распространением участков с несливающимся типом многолетнемерзлых пород с погружением кровли до 12 м.

Температурный режим мерзлых пород на глубине нулевых годовых амплитуд имеет широкий диапазон от 0,0 до минус 4,5 °С в зависимости от растительности, дренированности поверхности, состава пород и условий снегонакопления. В средней части мерзлой толщи пород (на глубинах около 200 м) значения температур находятся вблизи минус 1,2 – минус 1,3 °С.

Водораздельные поверхности сложены сильнопучинистым грунтом – суглинками с переслаиванием супесей и песков, преимущественно пылеватого состава, и реже глинами с влажностью от 18 до 35 %. В долинах состав пород характеризуется широким набором от средних песков до глин.

В целом по разрезу льдистость пород с глубиной уменьшается. Криотекстура для песчаных пород массивная, для глинистых – массивная, сетчатая или слоистая, что определяет диапазон изменения суммарной льдистости. Все четвертичные отложения не засоленные. Широко встречается обогащение приповерхностных грунтов органическим веществом.

Характерными мерзлотно-геологическими процессами является морозное пучение, заболачивание, термокарст. Также встречаются солифлюкция, морозобойное растрескивание.

Вышеприведенный материал показывает, что природно-климатические, а также инженерно-геокриологические условия территории Заполярного месторождения довольно сложны и разнообразны. Основные рекомендации заключаются в использовании грунтов на участках освоения по первому принципу строительства с применением метода предварительного охлаждения пластичномерзлых и промораживания талых грунтов на участках с несливающимся типом мерзлых пород. Необходимо проводить мероприятия, направленные на снижение неблагоприятных воздействий на уже существующих объектах Заполярного месторождения при развитии различного рода инженерно-геологических процессов, а также учитывать эти процессы при проектировании сооружений.

Глава 3. Техногенные изменения температурного режима

3.1 Организация и регламент проведения мониторинга

Мониторинг за геокриологической средой на застроенной территории Заполярного НГКМ проводился начиная с 2000 года. Его базовой, интеллектуальной и методологической основой является научная и методическая литература, материалы и разработки по изучению природных условий освоения северных регионов Западной Сибири. Все вышеперечисленное было опубликовано в 50-80-е годы институтом мерзлотоведения АН СССР, МГУ им. М. В. Ломоносова, ВСЕГИНГЕО, ПНИИИС, «Фундаментпроект», НИИОСП им. Н. М. Герсевича и др., обсуждалось на конференциях и совещаниях по региональному изучению и прогнозу геокриологических условий [5, 15, 18, 21, 22, 28, 29, 34, 35, 46 и др.]. При организации мониторинга использовался опыт многолетних, режимных наблюдений на мерзлотных станциях в районе Нового Уренгоя, Ямбурга, п-ве Ямал.

Заполярное месторождение относится к числу сложных территорий по геокриологическим условиям, с высокотемпературными многолетнемерзлыми грунтами, с понижением кровли ММП на водоразделах и дренируемых участках до 10–12 м, а под небольшими реками – до 70–80 м. Грунтовая толща характеризуется мозаичным замещением в плане и по разрезу твердомерзлых-пластичномерзлых-талых грунтов разного состава.

Для определения границ и местоположения инженерно-геологических элементов на площадках под освоение месторождения в ходе проведения инженерных изысканий (институтами Фундаментпроект 1996–2007 гг.; ВНИПИгаздобыча с 90-х по настоящее время и другие) были выполнены исследования по трассам и профилям: высотная привязка местности, большой объем буровых работ, термометрические наблюдения, определение физико-механических свойств грунтов. Однако уже на стадии строительства можно получить дополнительную инженерно-геокриологическую информацию – в результате опытных испытаний, а также наблюдения за

температурой пород, подтоплением территории и динамикой уровня грунтовых вод в котлованах и выемках, за проходкой скважин под сваи. Автором в составе мерзлотной лаборатории на Заполярном месторождении анализировались и обобщались полученные данные.

Типизация геотехнических систем была выполнена сотрудниками мерзлотной лаборатории при участии автора. 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 (см. таблица 3.1.1), а также по видам термостабилизации, используемой на сооружениях.

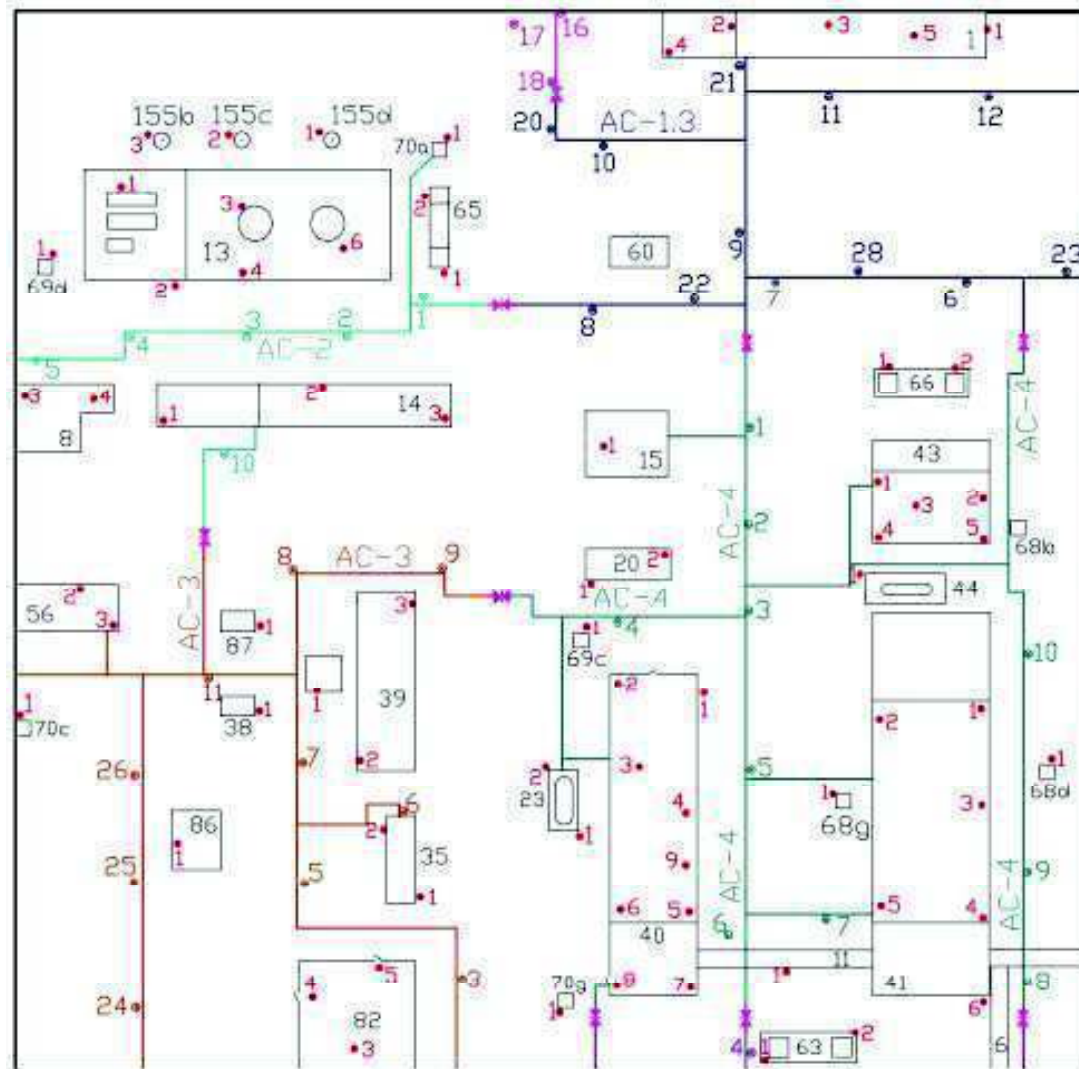
При выполнении режимных геотемпературных замеров с увеличением срока эксплуатации грунтовых оснований выявление закономерностей и отображение распределения температуры грунта постепенно усложняется. Наблюдательная сеть термоскважин учитывала функциональное назначение и расположение фундаментов сооружений (рис. 3.1.1). В самом начале эксплуатации геокриологические условия грунтовых оснований площадок, в интервале глубин от 2 до 10 метров, соответствуют природным. Закономерность изменения геотемпературного состояния оснований в период эксплуатации отслеживалась по информации, получаемой в процессе мониторинга при каждом цикле термометрических наблюдений в весенний и осенний период.

Одним из параметров температурного режима грунтов является температура на подошве слоя годовых теплооборотов (T_H), а также сама мощность слоя годовых колебаний температуры грунтов (H). При этом для сооружений, согласно проектной документации, во время эксплуатации надежность работы свай по величине расчетной нагрузки ($F_{u,r}$) должна определяться расчетной температурой ($T_{e,r}$), средней по длине сваи в интервале глубин от 2 м до глубины заложения сваи. В связи с тем, что большая часть оснований






Таблица 3.1.1

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		Подполья и СОУ	Подполья	По периметру сооружения СОУ	Одиночное СОУ
1 С	$\frac{40}{\text{до } 9,0}$	1х	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

- | | | |
|---|---|--|
|  | — | контур площадочных сооружений и их номер позиции |
|  | — | осветительная мачта и ее номер позиции |
|  | — | эстакады внутриплощадочных сетей их нумерация и граница |
|  | — | наблюдательная термоскважина на эстакаде и ее номер |
|  | — | наблюдательная термоскважина на площадочных сооружениях и ее номер |

- поз. 1-здание переключющей аппаратуры (ЗПА)
 поз. 8-площадка емкостей хлорного кольца
 поз. 13-площадка расходных емкостей ТЗГ
 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 ТЗГ
 поз. 43-здание агневых регенераторов ТЗГ
 поз. 44-дренажная емкость объемом 40 м³ для ТЗГ
 поз. 56-компрессорная схатого воздуха
 поз. 68, 69 и 70-проектные мачты, молниеотводы
 поз. 82-ремонтно-механический цех
 поз. 86-блочное устройство хранения материалов

Рис. 3.1.1 Фрагмент схемы расположения термометрических скважин на площадке УКПГ

имеет глубину заложения свай 10 метров, при проведении термометрических наблюдений определялось среднее интегральное значение температуры грунта в интервале глубин от 2 до 10 м (T_{cp2-10}), особенно в осенний период при максимальных температурах в грунте.

При анализе температур в скважинах, в которых значения температур определялись ежемесячно, была отмечена близость значений T_H и T_{cp2-10} в осенний период (ноябрь), что позволяет принимать $T_H \approx T_{cp2-10}$, измеренного осенью, для дальнейшего анализа результатов мониторинга и оценки температурного режима.

Методы термостабилизации грунтов

Геокриологические условия на территории под строительство установок комплексной подготовки газа (УКПГ) на Заполярном месторождении характеризуются распространением многолетнемерзлых грунтов сливающегося и несливающегося типа (см. табл. 3.1.1).

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 применяли три варианта охлаждения или промораживания толщи грунтов: 1) с помощью сезонно-охлаждающих устройств; 2) проветриваемых подполий; 3) проветриваемых подполий совместно с СОУ. Выбор метода термостабилизации определялся в зависимости от инженерно-геокриологических условий, определенных на стадии изысканий и с учетом характеристик возводимых сооружений. Пример распределения систем термостабилизации на одной из площадок УКПГ представлен на рис. 3.1.2.

Большая часть сооружений находится под влиянием системы термостабилизации грунтов – для обеспечения проектных значений температур грунтов свайных оснований во время эксплуатации УКПГ. Лишь некоторые сооружения и части промышленных эстакад коммуникаций не

оборудованы СОУ, т.к. несущая способность оснований, расположенных на данных участках, обеспечивалась существующими на момент изысканий инженерно-геокриологическими условиями.

СОУ устанавливались как одиночно (вблизи оснований мачт, эстакад), так и группами (под сооружениями), выбор количества и расположение установок определялись проектными решениями, которые обеспечивали несущую способность основания от веса конструкций на основе прогнозного моделирования развития геотемпературной обстановки после завершения стадии строительства.

Для определения влияния снежного покрова на температурный режим грунтов в зависимости от динамики распределения снега по мощности и занимаемой площади в течение всего зимнего периода проводилась площадная снегомерная съемка (рис. 3.1.3) в начале зимнего периода – декабрь – и в конце весеннего – март-апрель, когда мощность снежных отложений максимальна.



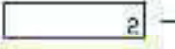









- УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**
-  — площадочное сооружение без использования термостабилизации
 -  — расположение СОВ по контуру площадочного сооружения
 -  — расположение СОВ внутри границ площадочного сооружения
 -  — эстакады внутриплощадочных сетей без использования СОВ
 -  — эстакады внутриплощадочных сетей с использованием СОВ
 -  — скважины инженерно-геологической в период изысканий
- ММГ сливающегося типа**
- Градации среднеинтегрального значения температуры грантов в интервале глубины 2-10 м. Тем. °С
-  — до -1.0
 -  — -1.0 — -2.0
 -  — -2.0 — -3.0
 -  — ММГ несливающегося типа
 -  — глубина залегания кровли ММГ, м
 -  — термоизоплета и ее значение
 -  — граница между типами ММГ

Рис. 3.1.2 Фрагмент схемы сооружений с системой термостабилизации по территории УКПГ в зависимости от начальных инженерно-геокриологических условий и условий эксплуатации

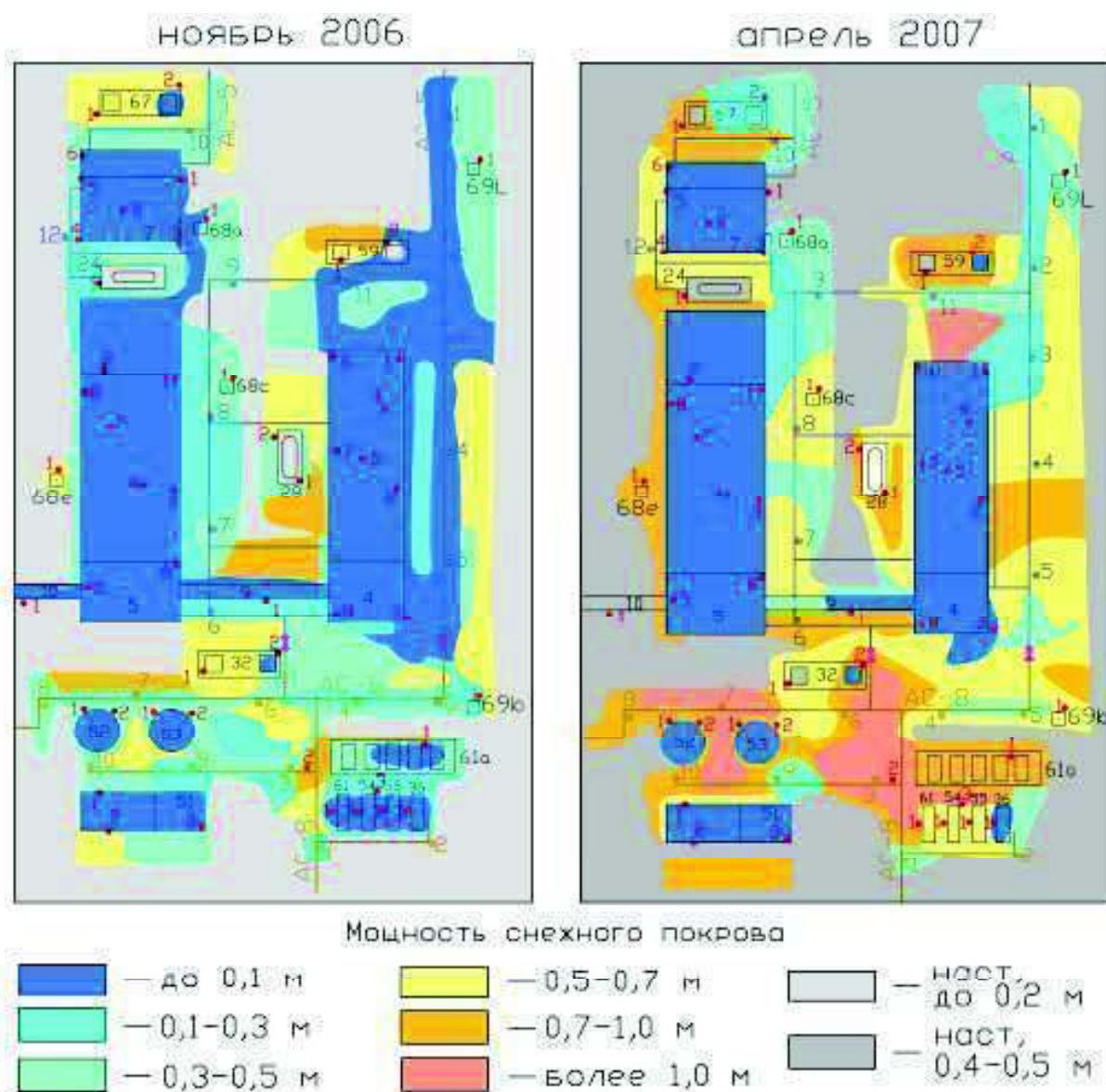


Рис. 3.1.3 Фрагмент карты распределения снежных отложений по площадке УКПГ в начале и конце зимнего периода

Мониторинг снежных отложений позволял более корректно оценивать влияние мощности снежных отложений на распределение температурного режима в грунтовой толще на территории УКПГ в весенний период, а также учитывать темпы и уровень охлаждения поверхности грунта. В проветриваемых подпольях в течение зимнего периода существовал снежный покров высотой не более 0,1 м. На прилегающих к зданию участках снежный покров выдувался к концу марта–апреля, и высота снега составляла 0,1–0,3 м, что благоприятно сказывалось на температурном режиме грунтов и обеспечивало несущую способность для фундаментов сооружений. Там, где высота снежных отложений превышала 0,70 м, СОУ заносилось снегом и

происходил дефицит охлаждения грунтов. Это приводило к постепенному повышению температуры грунтов и даже к возникновению термокарстовых просадок.

В течение зимы 2007–2008 гг. и 2008–2009 гг. проводились наблюдения за температурным режимом на поверхности грунта в зависимости от высоты снежного покрова и температуры воздуха в черте застройки на одной и той же площадке. Результаты представлены на рис. 3.1.4, 3.1.5.

Полученные данные позволяют количественно определить влияние различной высоты снега на температуру на поверхности грунта при его промерзании. Так, когда мощность снега составляла около 0,4 м (рис. 3.1.5) и сезонные колебания температуры воздуха отмечались в интервале от минус 5,3 до минус 35,2 °С, колебания температуры на поверхности грунта составляли от 2,1 до 6,1 °С. При толщине снежного покрова 0,6 м и температуре воздуха минус 45,0 °С на поверхности грунта была зафиксирована температура минус 6,6 °С, т.е. практически такая же, как при 0,4 м слое снега и температуре окружающего воздуха минус 35 °С.

Наибольшая скорость промерзания грунта и его охлаждения наблюдается в начале зимы (до февраля) при низкой температуре воздуха, когда мощность снежного покрова на застроенной территории на большинстве участков не велика (для Заполярного месторождения – до 0,4 м) и его теплоизолирующий эффект низок, по сравнению с последующим периодом (февраль – апрель).

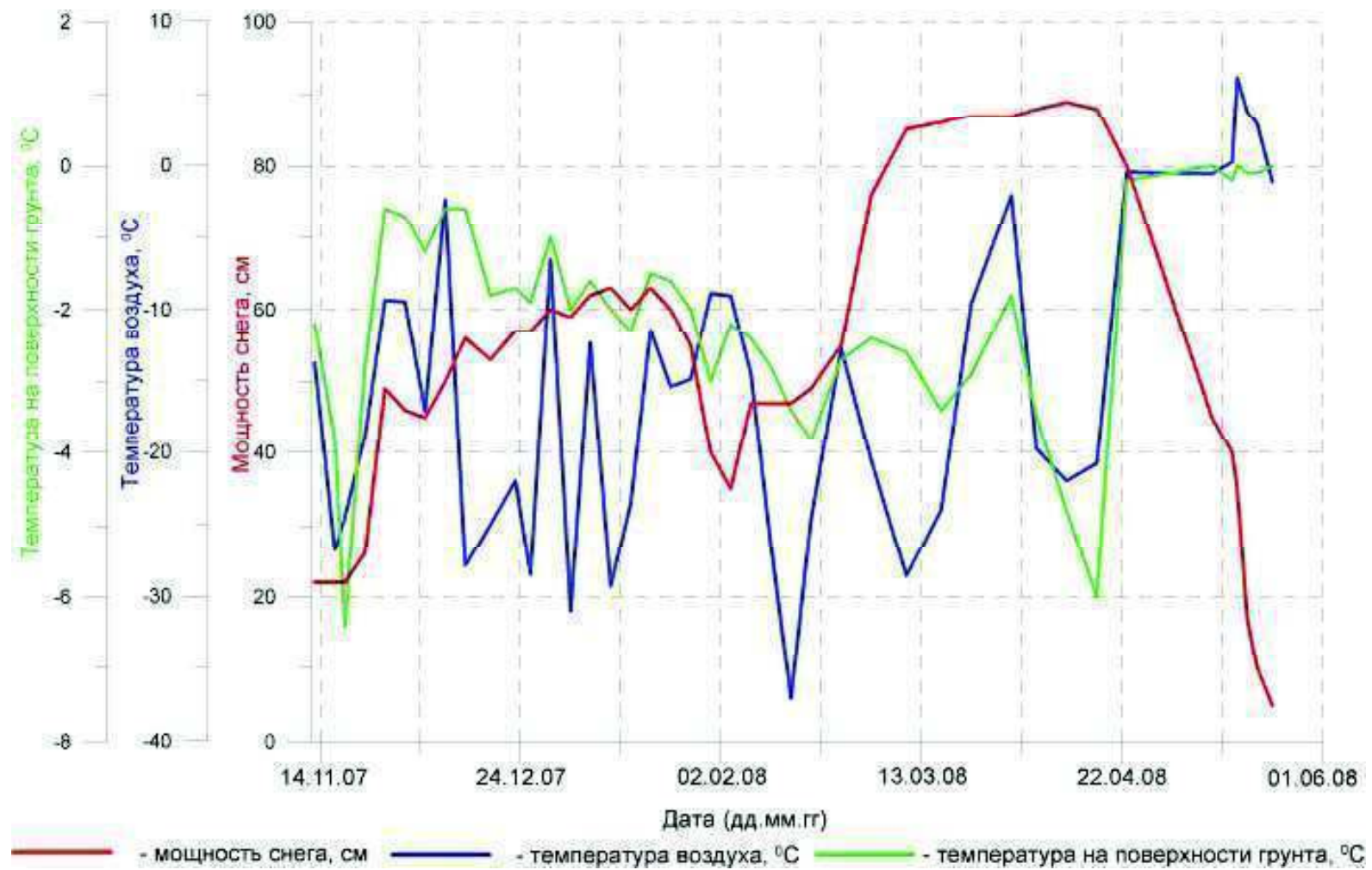


Рис. 3.1.4 Изменение температуры на поверхности грунта в зависимости от мощности снежных отложений и температуры воздуха в зимний период 2007–2008 гг.

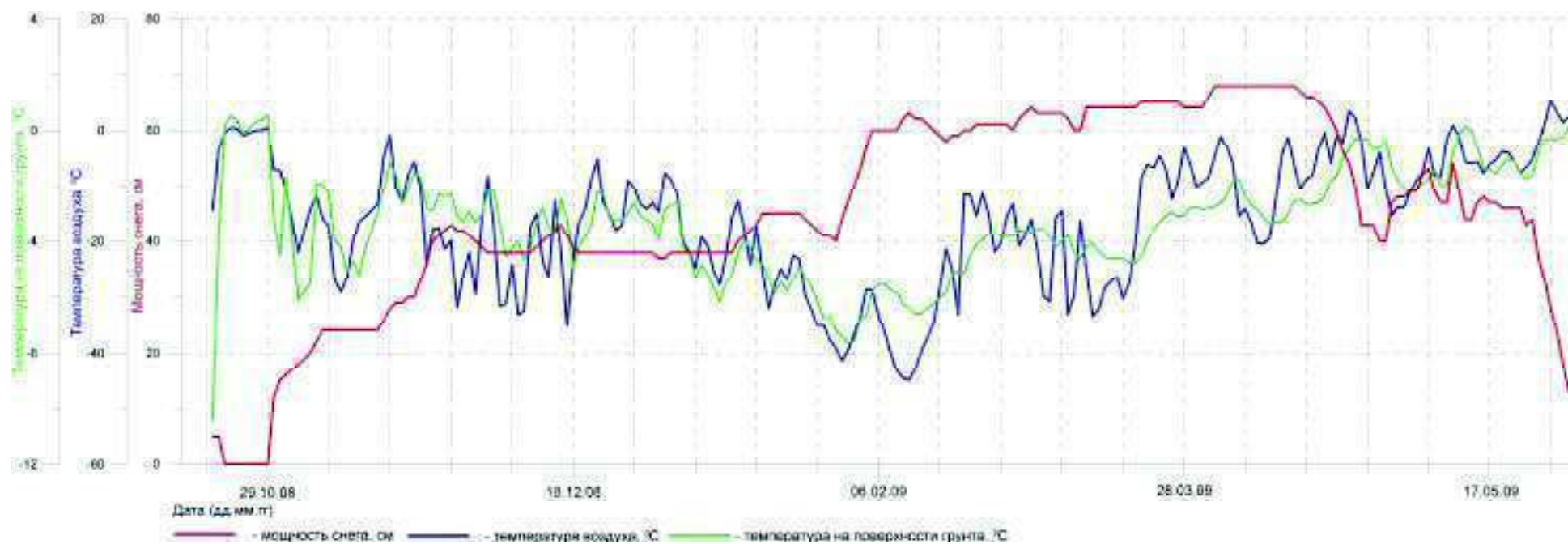


Рис. 3.1.5 Изменение температуры на поверхности грунта в зависимости от мощности снежных отложений и температуры воздуха в зимний период 2008–2009 гг.

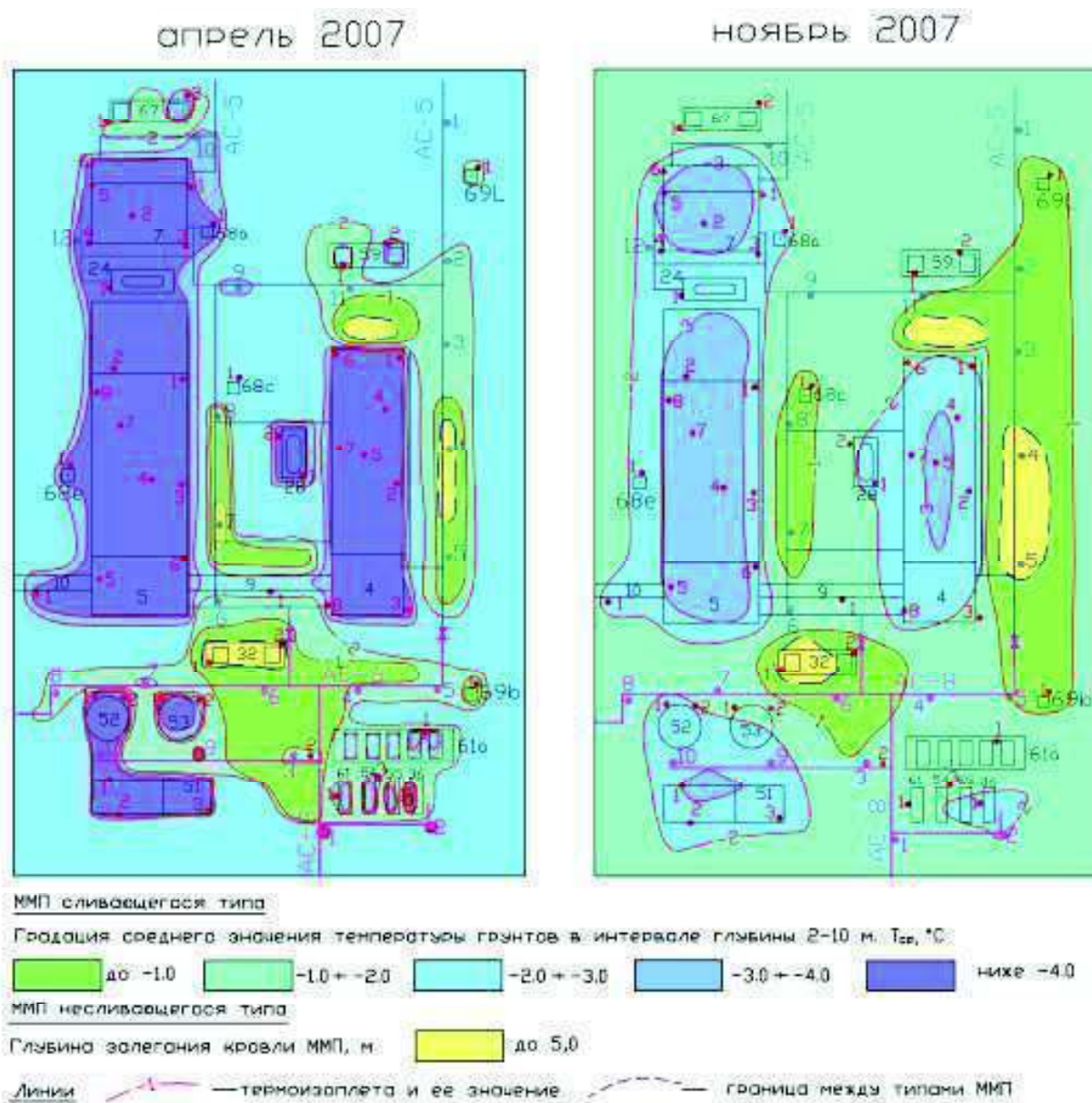


Рис. 3.1.6 Фрагмент карты распределения интегральной температуры в грунте в интервале глубин от 2 до 10 м по площадке УКПГ в весеннем и осеннем цикле наблюдений

Температурные наблюдения в грунтовой толще проводились в весенний и осенний периоды (рис. 3.1.6). По результатам наблюдений отстраивались карты распределения значения интегральной температуры грунта в интервале глубин от 2 до 10 м по территории УКПГ, с учетом данных по площадной снегомерной съемке. Наименьшие значения температуры грунтов наблюдались в основаниях сооружений использующих в качестве термостабилизации проветриваемые подполья и СОУ. Для них

интегральная температура весной (апрель–май) составляла менее минус 4 °С, а в осенний – в интервале от минус 3 °С–минус 4 °С, что являлось наименьшей температурой грунтов на территории УКПГ. В осенний период на территории, где температура грунтов находилась в интервале от минус 1 °С–минус 2 °С, производили уборку снега (дороги и прилегающая области), или высота снежного покрова не превышала 0,5 м к концу зимнего сезона. Наиболее «теплые» грунты с температурой 0–минус 1 °С в весенний и осенний период приурочены к участкам, где происходило значительное снегонакопление к концу зимы (от 0,7 м и более), которое затрудняло теплообмен, что подтверждалось как термометрическими наблюдениями, так и площадной снегомерной съемкой.

Организация и проведение исследований грунтов слоя сезонного оттаивания [10] при термометрических наблюдениях дополнялась прямыми определениями глубины СТС грунтов на постах наблюдения за режимом надмерзлотных вод. Это позволяло создавать карты залегания глубины сезонноталого слоя и кровли ММП по территории УКПГ на осенний период (рис. 3.1.7). Под крупными сооружениями глубина СТС находилась в интервалах 1,2–1,6 м; под «малыми» в плане объектами и краевые участки крупных цехов имели глубину СТС 1,6–2,0 м; большая часть площадки без учета сооружений с проветриваемыми подпольями обладала глубиной сезонноталого слоя 2,0–2,4 м.

Визуализация распределения глубины залегания кровли ММП позволила при сравнении с данными предыдущих наблюдений, выделять участки, где уже начался процесс погружения кровли мерзлых пород. Объекты УКПГ, для которых грунтовые условия характеризовались высокими значениям СТС (2,4–2,8 м), а также наличием погруженной кровлей мерзлоты, наиболее часто подвергались процессу пучения свайных оснований.

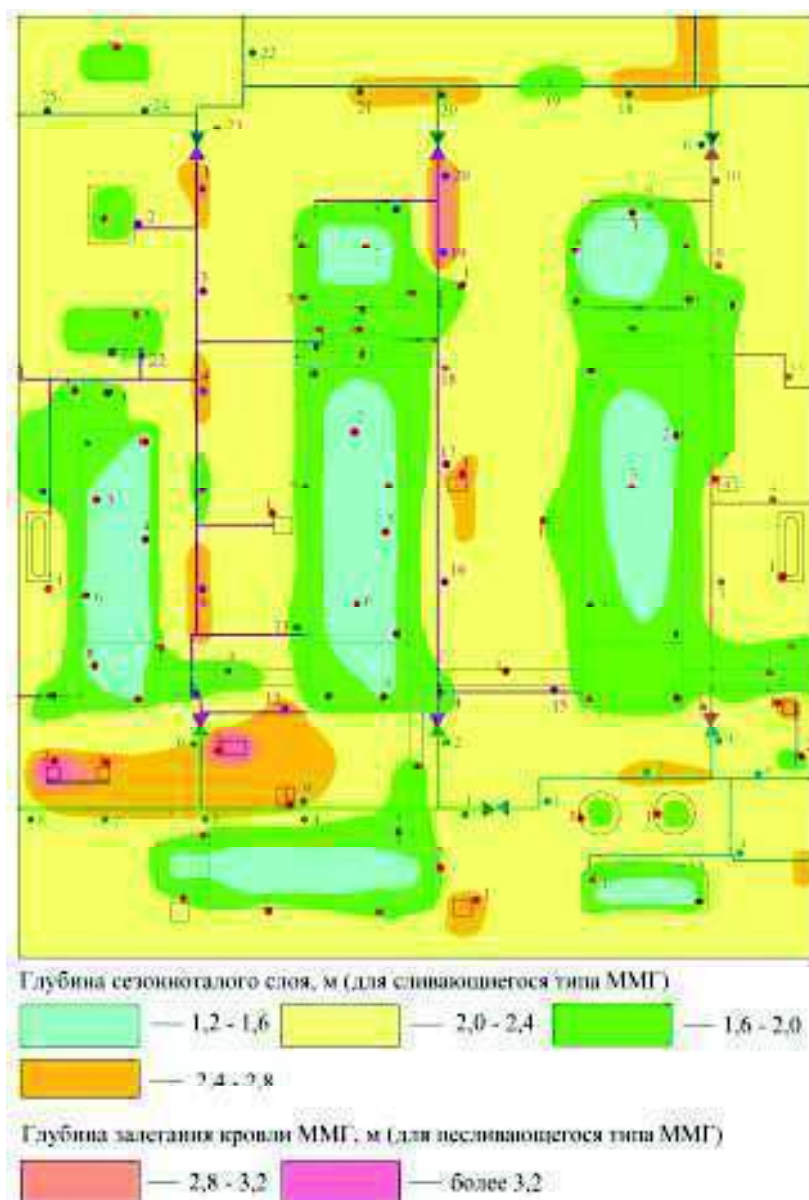


Рис. 3.1.7 Фрагмент карты мощности СТС и глубины залегания кровли ММГ

Предзимние мощности слоя сезонного оттаивания и водонасыщенного горизонта, режим надмерзлотных вод, дата начала и скорости промерзания сезонно-талого слоя не совпадают из года в год. Для получения значений по динамике промерзания СТС и уровня надмерзлотных вод проводилось зондирование глубин промерзания и периодическое определение уровня грунтовых вод. При выборе конструкции поста режимных наблюдений учитывались:

- возможность прямого опробования грунтов сезонно-талого слоя до кровли мерзлоты самыми достоверными, простыми и доступными

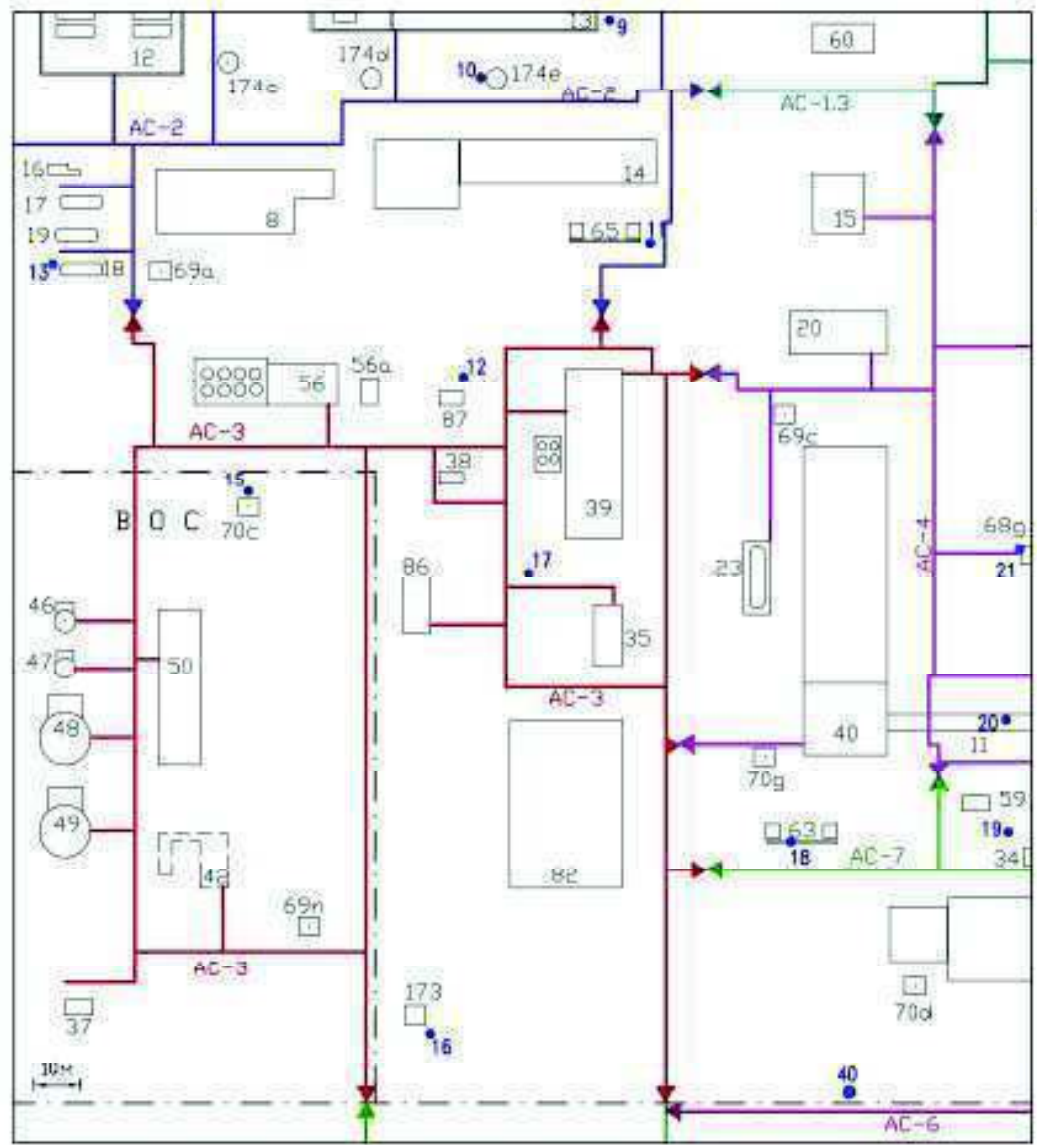
средствами в период активного промерзания верхних слоев грунтового основания, с помощью ручного бурения и мерной рейки;

- оборудования поста наблюдений вне опор фундаментов, без вмешательства в профилактические работы по эксплуатационному обслуживанию грунтового основания территорий УКПГ;

- проведения режимных наблюдений в последующие годы для выделения участков с неблагоприятным развитием мерзлотных процессов.

Количество и расположение постов наблюдений за глубиной сезонного оттаивания (промерзания) и уровнем грунтовых вод выбрано таким образом, чтобы получаемые данные позволяли выделить участки с определенным интервалом значений характеристик (рис. 3.1.8).

В процессе совершенствования и отработки методики проведения геокриологического мониторинга сформировался видовой набор крупномасштабных, площадных съемок. Ключевой задачей площадной съемки являлось картографическое отображение геокриологических факторов по территории УКПГ и их взаимодействие с фундаментами и основаниями инженерных объектов.



У С Л О В Н Ы Е О Б О З Н А Ч Е Н И Я

-  — КОНТАР ПЛОЩАДОЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ НОМЕР ПОЗИЦИИ
-  — ЭСТАКАДЫ ВНУТРИПЛОЩАДОЧНЫХ СЕТЕЙ ИХ НУМЕРОЦИЯ И ГРАНИЦО
-  — ОГРАЖДЕНИЯ
-  — НАБЛЮДЕТЕЛЬНАЯ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКАЯ СКВАЖИНО И ЕЕ НОМЕР

Рис. 3.1.8 Фрагмент схемы расположения пьезометрических скважин на площадке УКПГ

3.2 Температурный режим грунтов на участках с техногенным изменением условий теплообмена

Использование одиночных сезонных охлаждающих устройств

Одиночное охлаждающее устройство эффективно понижает температуру грунта и промораживает близлежащий грунт вокруг установки в зависимости от ее конструкции и грунтовых условий [31]. Рассмотрим работу охлаждающего устройства в условиях с *несливающимся типом ММП*. СОУ конструкции ОАО «Фундаментпроект» – стабилизатор пластично-мерзлых грунтов (СПМГ) – обладает следующими характеристиками: состояние теплоносителя хладон (R22) двухфазное; диаметр испарительной трубки – 38 мм; хладопроизводительность от 16 Вт на погонный метр испарителя, который заглублен в грунт на 6,0 или 7,0 м в зависимости от проекта свайного основания. Охлаждающие устройства находились на удалении 0,3, 0,5 и 1,0 м от термоскважин (глубина погружения кровли мерзлых грунтов 4,9 м, 3,9 м, 3,8 м соответственно). СОУ устанавливались вблизи свайных оснований эстакад. Период наблюдений – с момента установки летом – осенью 2002 года до осени 2011 года (рис. 3.2.1 – 3.2.3). Во всех случаях температура грунта по разрезу до начала работы охлаждающих устройств была около 0,0 °С и кровля многолетнемерзлых грунтов была заглублена. Значения температуры грунта по глубине определены на момент изысканий в 2002 году, остальные значения получены в осенний период, при максимальных температурах грунта после одного, трех, пяти и восьми сезонов эксплуатации СОУ. Вблизи термоскважин в конце зимнего периода мощность снежных отложений изменялась в диапазоне от 0,1 м до 1,0 м и более в зависимости от количества твердых осадков, выпавших в год наблюдения, и их ветрового перераспределения (табл. 3.2.1).

Мощность снега вблизи термоскважин и СОУ на конец зимнего сезона в период с 2006–2010 гг.

Расстояние до СОУ, м	Год наблюдения				
	Мощность снега (интервал), м				
	2006	2007	2008	2009	2010
0,3	0,7–1,0	0,3–0,5	0,5–0,7	0,5–0,7	0,7–1,0
0,5	0,7–1,0	0,5–0,7	0,5–0,7	0,5–0,7	0,1–0,3
1,0	0,3–0,5	0,1–0,3	0,3–0,5	0,3–0,5	0,3–0,5

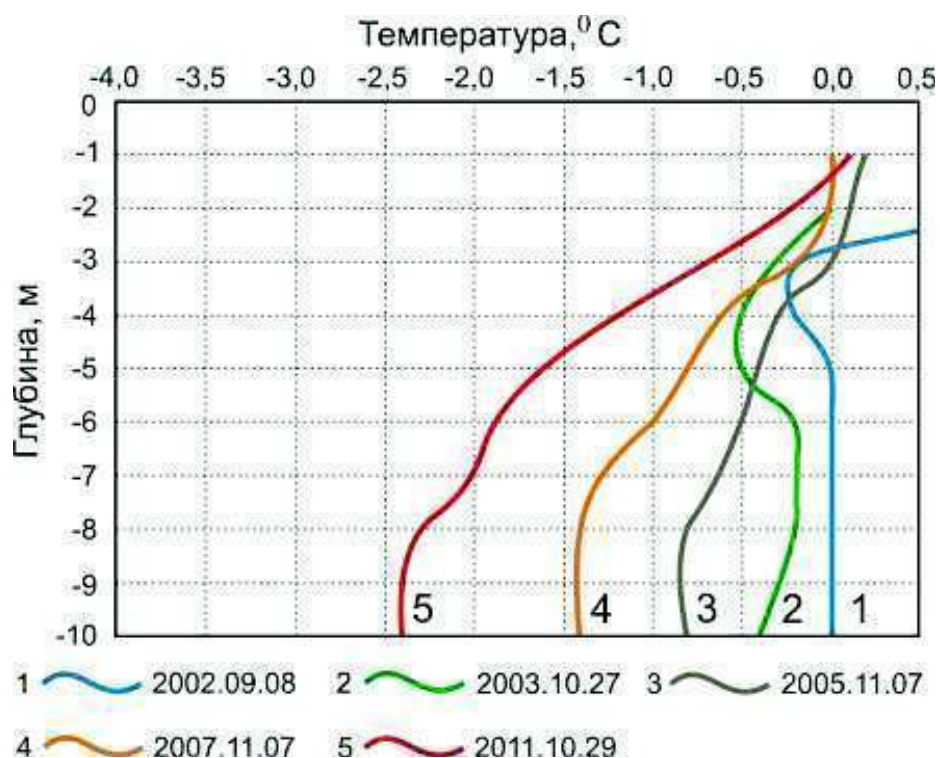


Рис. 3.2.1 Изменение значений температуры по глубине на расстоянии 0,3 м от одиночной СОУ конструкции ОАО «Фундаментпроект» (СПМГ 38-8000, испаритель заглублен в грунт на 7,0 м)

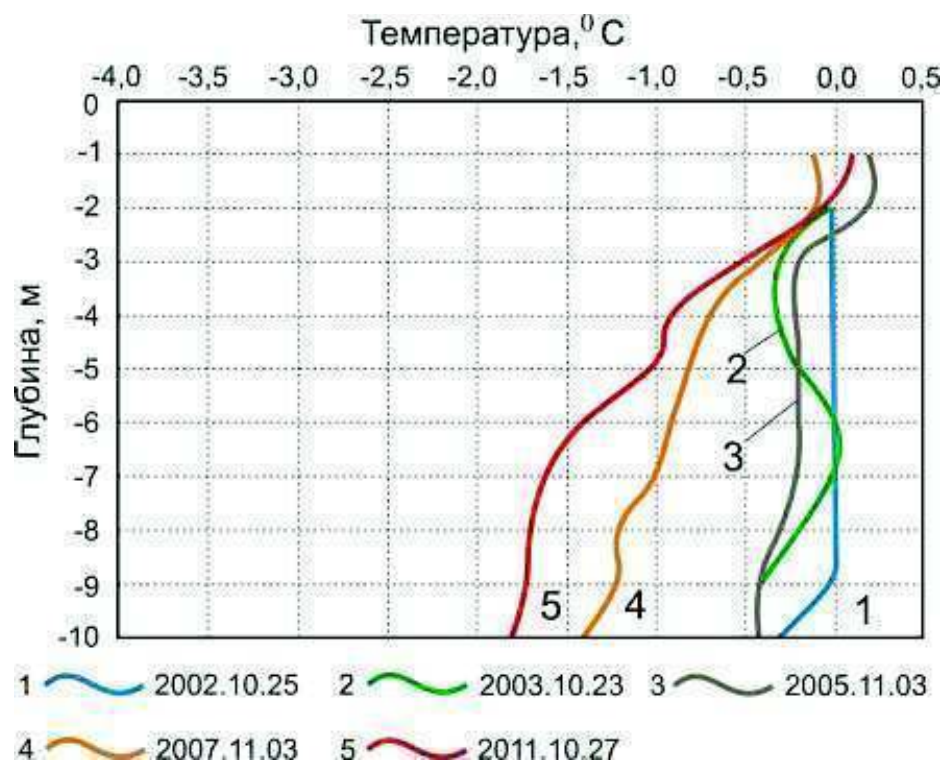


Рис. 3.2.2 Изменение значений температуры по глубине на расстоянии 0,5 м от одиночной СОУ конструкции ОАО «Фундаментпроект» (СПМГ 38-7000, испаритель заглублен в грунт на 6,0 м)

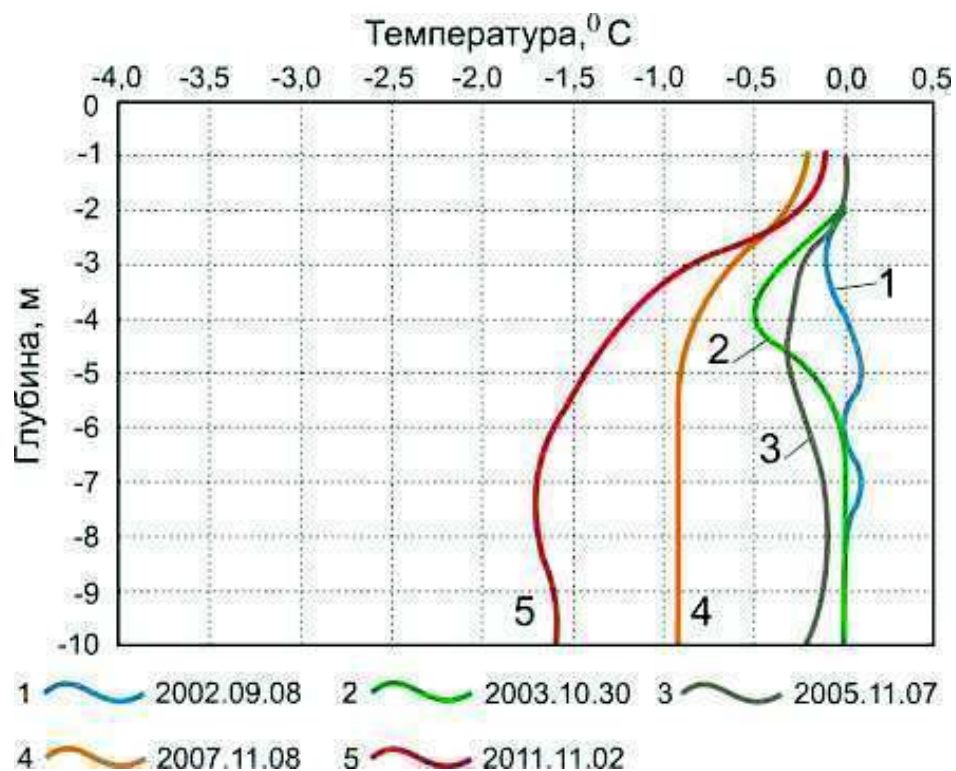


Рис. 3.2.3 Изменение значений температуры по глубине на расстоянии 1,0 м от одиночной СОУ конструкции ОАО «Фундаментпроект» (СПМГ 38-8000, испаритель заглублен в грунт на 7,0 м)

В ходе наблюдений за температурным режимом вблизи СОУ на удалении 0,3 м установлено, что к концу летнего периода, после первого сезона эксплуатации мерзлый грунт сохраняется. Среднеинтегральная температура грунта по глубине с 2 до 10 м на восьмой год эксплуатации на расстоянии 0,3 м от СОУ понижается с 0,0 °С до минус 1,7 °С; на расстоянии 0,5 м – с 0,0 °С до минус 1,2 °С; на расстоянии 1,0 м – с 0,0 °С до минус 1,3 °С, при средней высоте снежного покрова 0,5–0,7 м к концу зимнего периода. Это позволило обеспечить несущую способность фундамента эстакады на участках с заглубленной кровлей, где устанавливались СОУ.

После промораживания талого грунта понижение температуры в окружающем СОУ массиве ускоряется, так как теплота фазового перехода «вода – лед» резко уменьшается. Подтверждением являются натурные наблюдения за температурным режимом грунтов.

В процессе использования СОУ выявлено, что если в «пятне застройки» одного сооружения находятся как талые грунты над заглубленной кровлей ММГ, так и высокотемпературные мерзлые грунты сливального типа, то проектные значения температуры основания для части фундамента, находящегося в высокотемпературных мерзлых грунтах, достигались за относительно короткий промежуток времени (иногда один зимний сезон). На рис. 3.2.4 представлено изменение температурного режима грунта на удалении 0,4 м от СОУ, установленной на участке со сливающимся типом ММП. Уже на третий год эксплуатации в конце летнего периода среднеинтегральная температура грунта по глубине с 2 до 10 м составила минус 1,0 °С, а на восьмой год эксплуатации СОУ понижается до минус 1,6 °С.

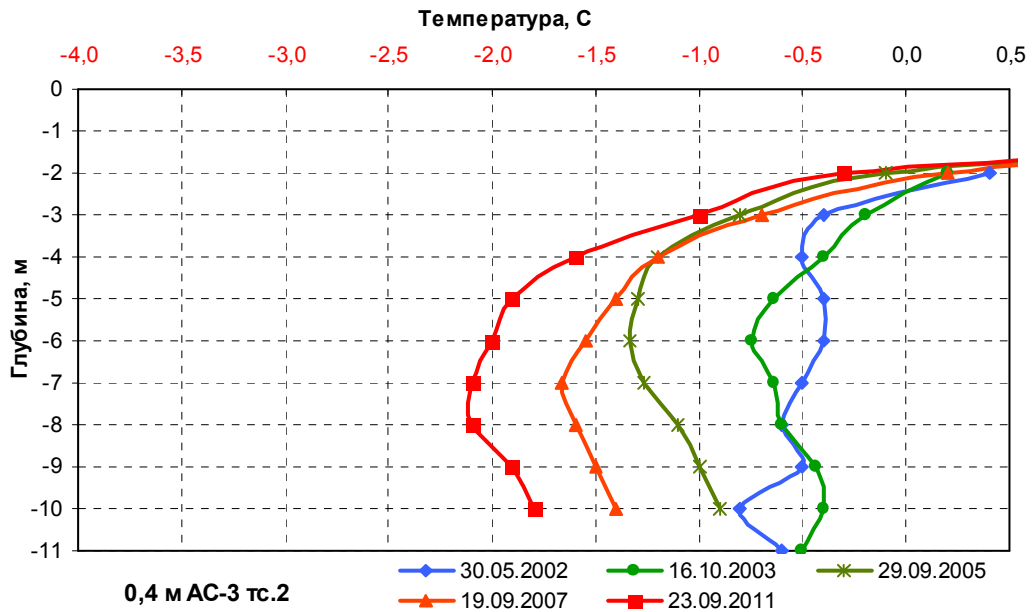


Рис. 3.2.4 Изменение значений температуры по глубине на расстоянии 0,4 м от одиночной СОУ конструкции ОАО «Фундаментпроект» (СПМГ 38-8000, испаритель заглублен в грунт на 7,0 м)

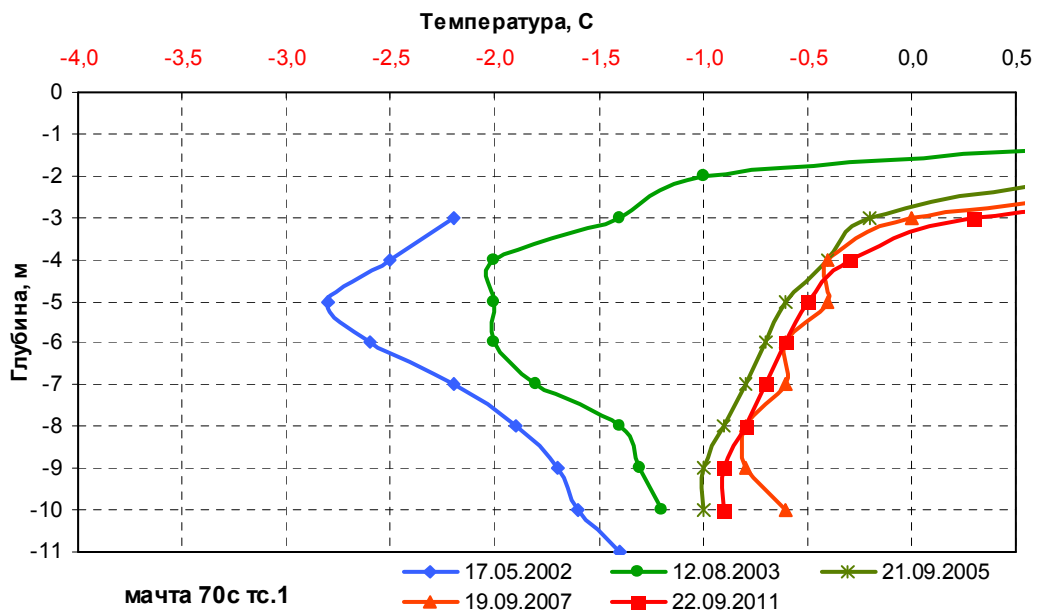


Рис. 3.2.5 Изменение значений температуры по глубине вблизи свайного основания мачты вследствие избыточного снегонакопления

Однако не всегда температурный режим грунтов на территории со сливающимся типом ММП, который был до момента строительства и принимался достаточным для обеспечения несущей способности грунтов без

использования СОУ, сохранялся во время эксплуатации. Иногда происходило нежелательное повышение температуры грунтов из-за избыточной мощности снежных отложений, в связи с отсутствием возможности механической уборки снега (рис. 3.2.5). При этом есть наблюдения, когда происходит постепенное понижение температуры грунтов благодаря мероприятиям по зачистке от снега прилегающей к сооружению территории, например очистка дорожного покрытия или пространства между эстакадами (рис. 3.2.6). На третий год эксплуатации объекта полностью промерз талый прослой на участке с несливающимся типом мерзлоты, а уже в 2010–2011 гг. в интервале глубин 4–8 м сохранились температуры ниже минус 2,0 °С.

Сооружения с проветриваемыми подпольями и охлаждающими устройствами

Проветриваемые подполья без СОУ на Заполярном месторождении используются в ограниченном количестве, только для объектов на грунтах со *сливающимся типом ММП*, которые обладают достаточной несущей способностью при использовании их в качестве оснований (по данным изысканий). Задача вентилируемых подполий – консервация существующих инженерно-геокриологических условий в контуре сооружения [62]. Рассмотрим температурный режим основания цеха (линейные размеры 15×18 м) с проветриваемым подпольем без использования СОУ с расчетной среднегодовой температурой мерзлого грунта ($T_{e,r}$) по рабочей длине свай от 3,0 до 10,0 м равной минус 0,7 °С (рис. 3.2.7, 3.2.8).

После первого зимнего сезона (весна 2003 г.) волна охлаждения достигла глубины 5 м (кривая №2, рис. 3.2.7), однако к концу летнего периода запас холода полностью израсходовался на прогревание (кривая №2, рис. 3.2.8). Только к весне 2005 г. (после трех зимних сезонов) в грунтовой толще смог накопиться необходимый запас холода. При дальнейшей эксплуатации грунтовую толщу по температурному режиму весной и осенью можно условно разбить на две части по диапазонам температур.

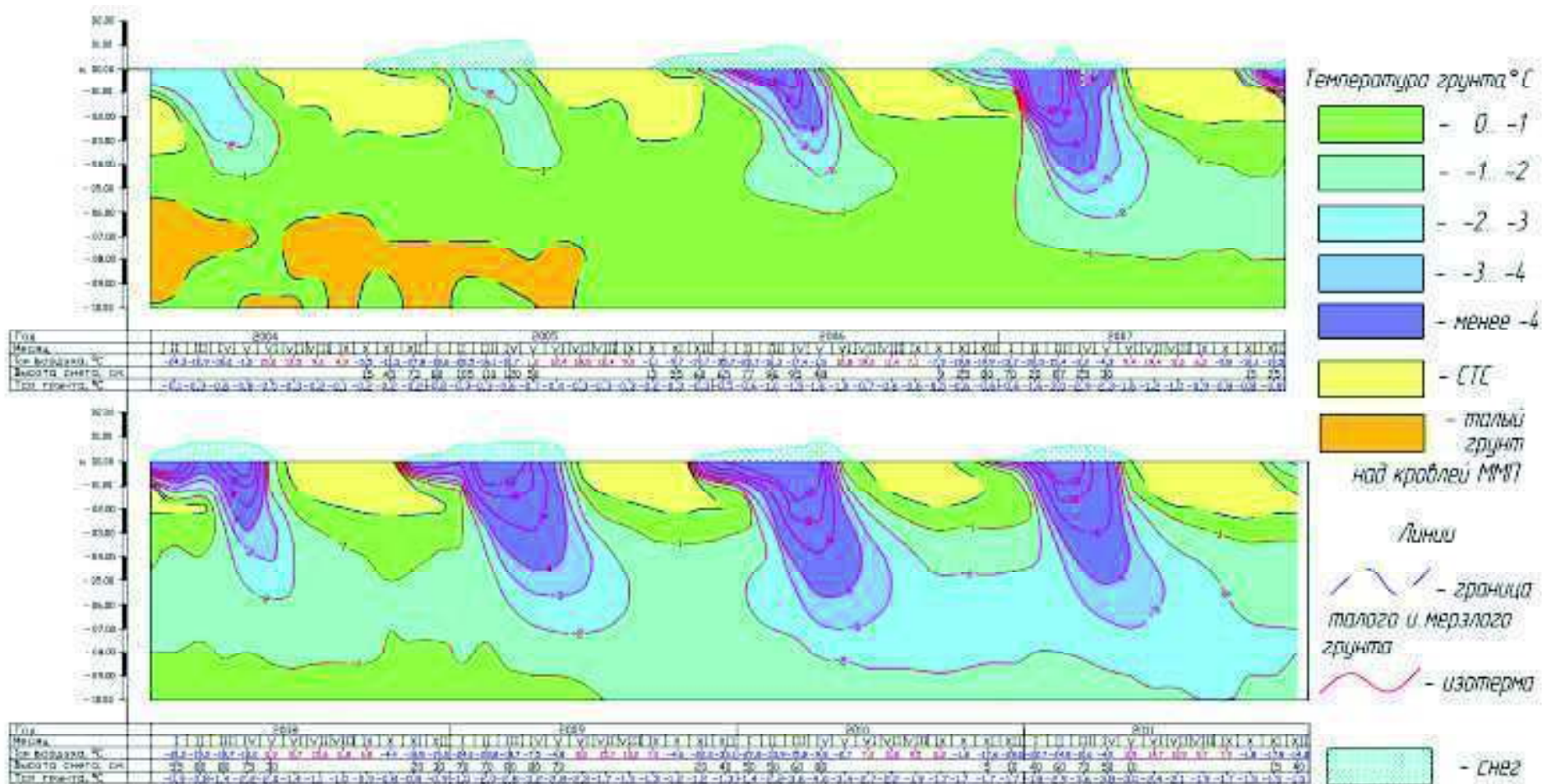


Рис. 3.2.6 График термоизоплет в термоскважине на удалении 1,0–2,0 м от дороги по данным, полученным в период с 2004 по 2011 гг.

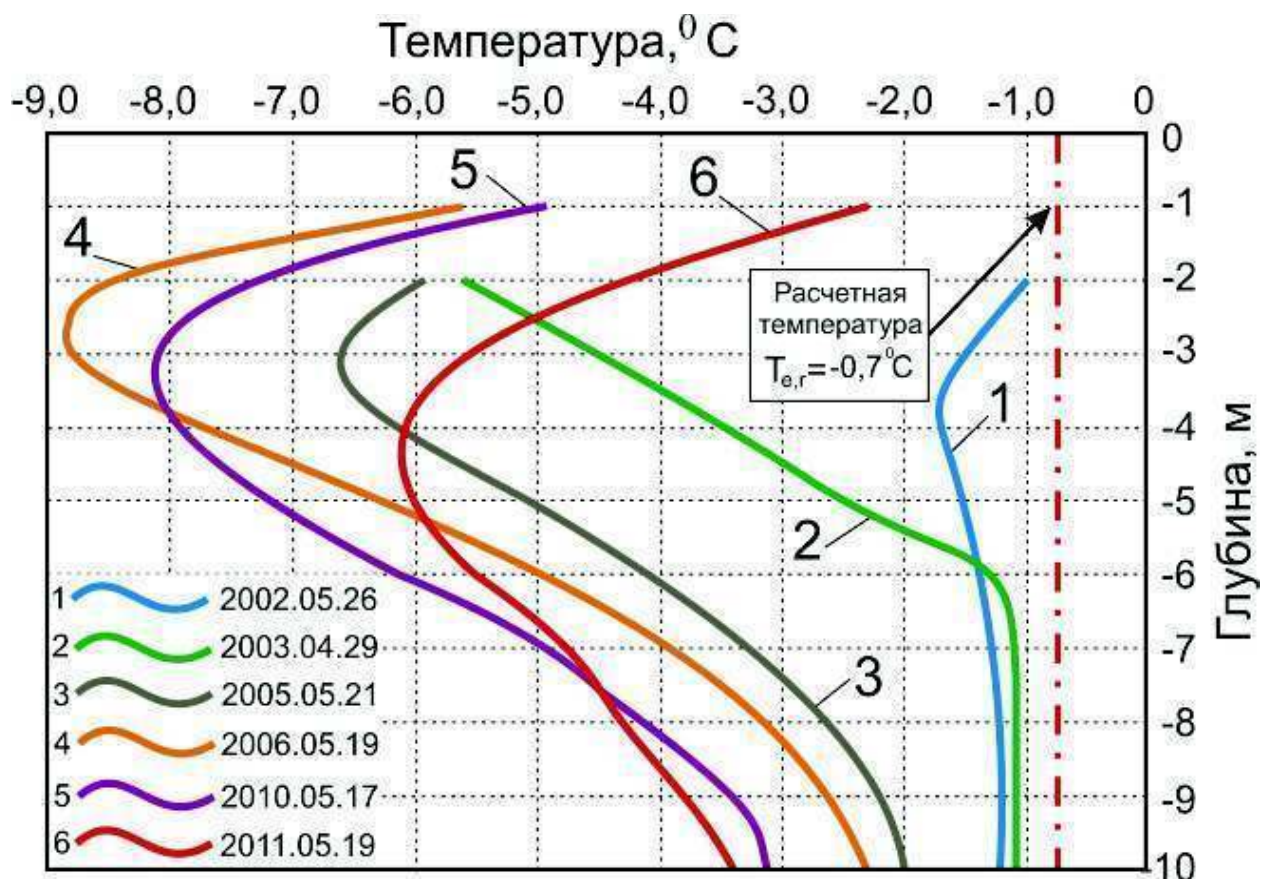


Рис. 3.2.7 Распределение температуры в весенний период в грунте под проветриваемым подпольем, оборудованном осенью 2003 г. (замер 26.05.2002 на стадии изысканий)

Для весеннего периода в верхней части на глубине от двух до трех метров отмечаются наименьшие значения температуры в интервале от минус 8,8 °C до минус 4,2 °C, т.е. ширина диапазона составляет 4,6 °C. В нижней части начиная с глубины семь метров ширина диапазона колебаний температуры сужается с 1,7 °C до 1,4 °C на глубине 10 м, а значения температур находятся в интервале от минус 4,9 °C до минус 2,0 °C. В целом в весенний период существует большой градиент температуры в интервале глубин с 2 до 10 м для сооружений, которые используют только вентилируемые подполья в качестве мероприятий по термостабилизации грунтов.

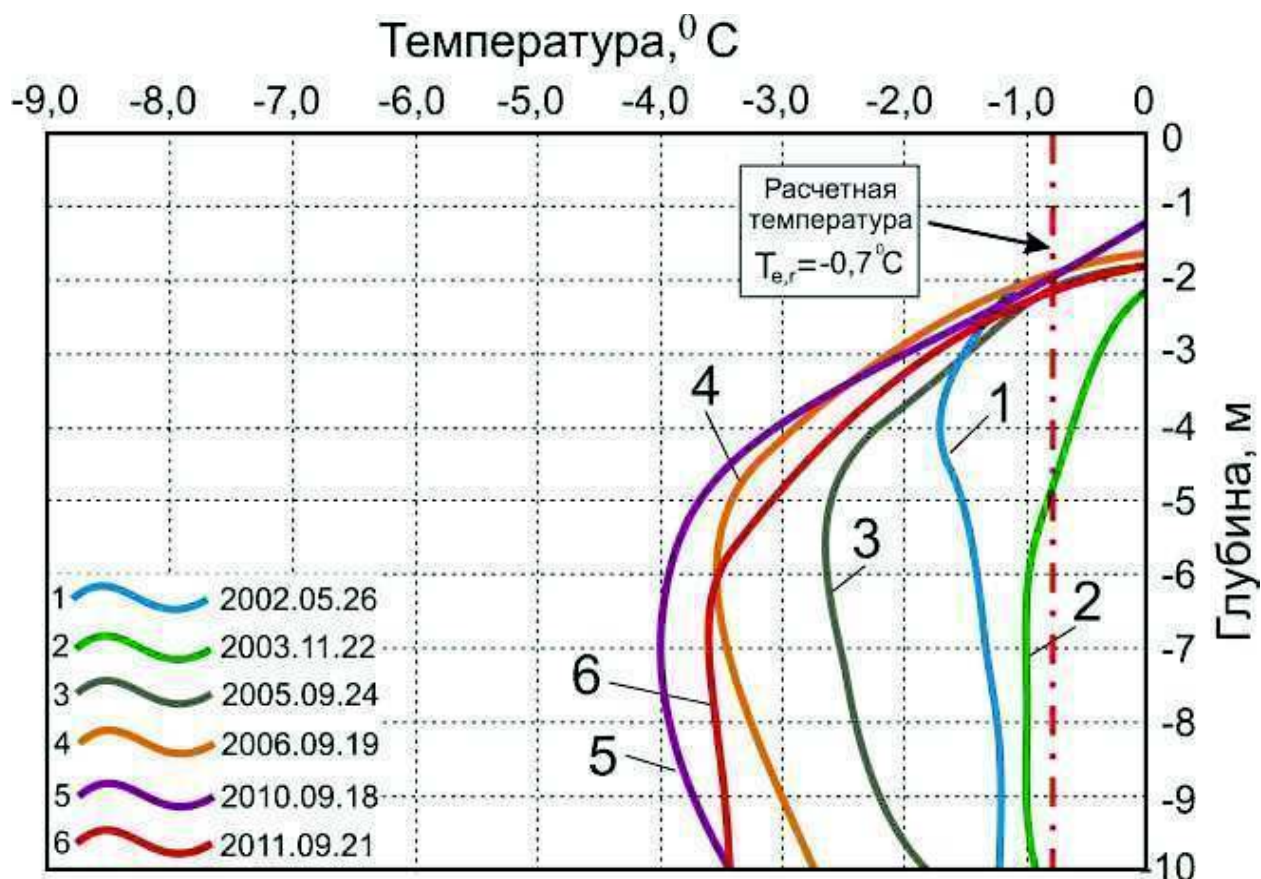


Рис. 3.2.8 Распределение температуры в осенний период в грунте под проветриваемым подпольем, оборудованном осенью 2003 г. (замер 26.05.2002 на стадии изысканий)

Осенью градиент температуры грунта по разрезу уменьшается, в интервале глубин 2–4 м разница между минимальными и максимальными значениями температуры составляет 0,6–0,8 °C, за шесть лет эксплуатации с 2005 по 2011 гг. Для интервала глубин 7–10 м разница значений температуры составляет 1,5–1,6 °C.

Плюс данного метода термостабилизации – наличие только одного фронта промерзания, движение которого направлено от дневной поверхности вглубь грунта.

Однако данный метод охлаждения более продолжителен по времени реализации климатического потенциала для охлаждения грунтовой толщи основания, чем использование проветриваемого подполья совместно с СОУ.

Для сооружений, возводимых на территории УКПГ и располагающихся на участках с *несливающимся типом ММП*, применяются СОУ совместно с проветриваемым подпольем. При этом количество СОУ может достигать нескольких сотен, а площадь подполий составлять до 2 100 м². В целом реализация подобного решения имеет положительный опыт эксплуатации.

Грунты оснований сооружений с проветриваемым подпольем и СОУ, которые введены в эксплуатацию в период с 2001 по 2003 гг., характеризуются на настоящий момент следующими температурами. Минимальные значения средней температуры в интервале глубин от 2 до 10 м – минус 7 – минус 10 °С в марте – апреле, максимальные значения – минус 2,5 – минус 3,5 °С – достигаются в ноябре. Изменение температуры грунтов по разрезу и во времени фиксировались при ежемесячных наблюдениях в термоскважинах, расположенных в проветриваемых подпольях. Пример температурного режима под цехом осушки газа с линейными размерами 18×66 м, на удалении 1,2 м от СОУ представлен на рис. 3.2.9. Кровля мерзлых грунтов на момент изысканий находилась на отметке 5,2 м (апрель 2002 г.), а через год на стадии строительства уже на глубине 7,0 м по данным термометрии с учетом высоты насыпи (ноябрь 2003 г.).

Расчетная температура грунтов под цехом сформировалась в конце первого зимнего периода работы СОУ (2003–2004 гг.) с промерзанием талого слоя в интервале 5–7 м. Потенциал охлаждения грунтов основания был достигнут через четыре сезона работы СОУ совместно с проветриваемым подпольем (после зимнего периода 2006–2007 гг.). Дальнейшие колебания температуры грунтов обусловлены исключительно внешними факторами – изменениями температуры воздуха.

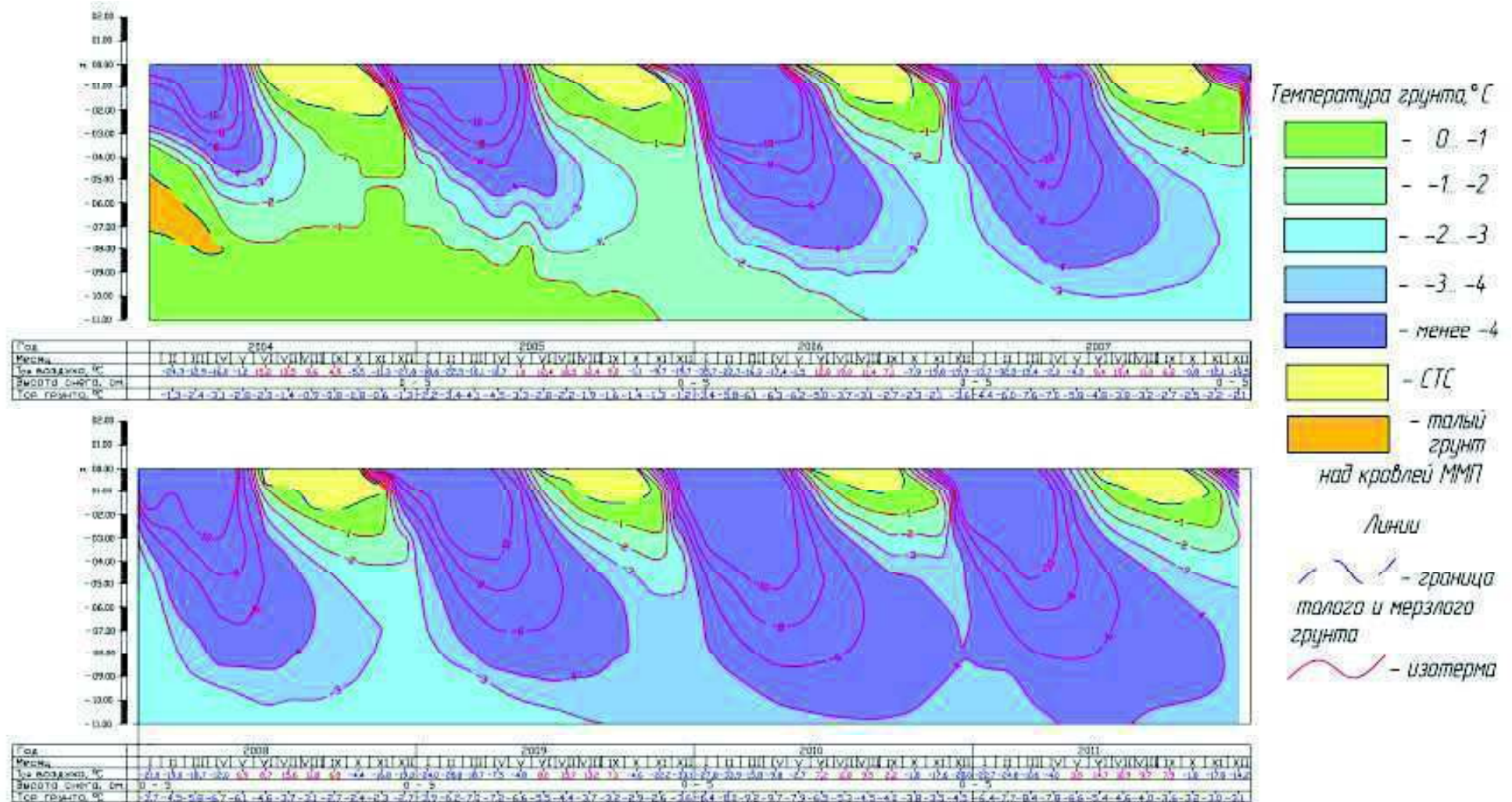


Рис. 3.2.9 Изменение температуры грунтов в основании цеха осушки газа с проветриваемым подпольем высотой 1,6–2,0 м и на удалении 1,2 м от сезонно охлаждающего устройства в период с 2004 по 2011 гг.

Рассмотрим изменение температурного режима грунтов основания на участке с заглубленной кровлей ММП (рис. 3.2.10, 3.2.11), где было применено, как оказалось впоследствии, избыточное количество сезонных охлаждающих устройств.

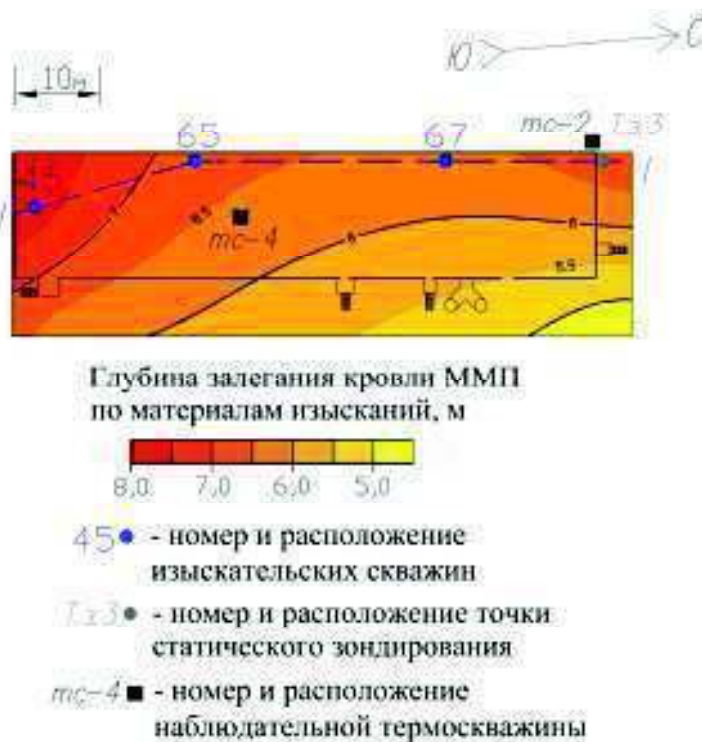


Рис. 3.2.10 План сооружения и глубины кровли ММП под ним по данным изысканий

В проекте для достижения несущей способности свайного основания использовалось около 400 СОУ, однако погружение происходило не перед началом зимнего периода, а в течение февраля, после окончания погружения свайного основания. По завершении строительства надфундаментных конструкций, но до начала эксплуатации сооружения, после второго зимнего сезона в температурном режиме грунтов появилась хорошо выраженная пространственная неоднородность. Центральная часть основания охлаждалась интенсивней по сравнению с краевой в связи с более высоким значением модуля вентиляции [48], что подтверждалось замерами температуры грунтов. Интенсивному ветровому обдуву СОУ в подполье способствовало расположение сооружения в краевой части площадки.

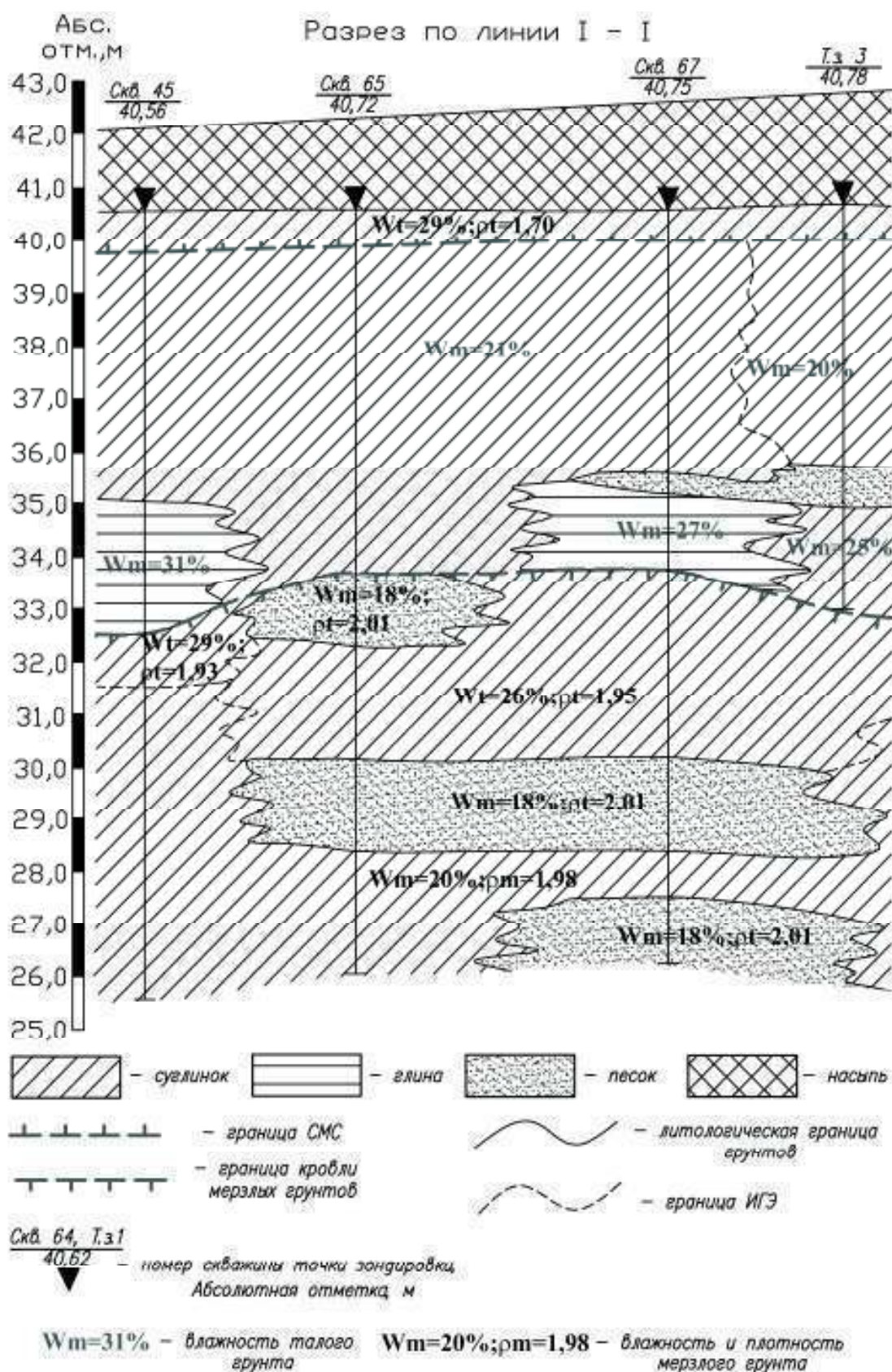


Рис. 3.2.11 Инженерно-геокриологический разрез под сооружением с проветриваемым подпольем и использованием СОУ на участке с заглубленной кровлей ММП

На рис. 3.2.12 представлены графики распределения температуры по глубине в термоскважинах, которые были расположены в центральной и краевой частях проветриваемого подполья с СОУ.

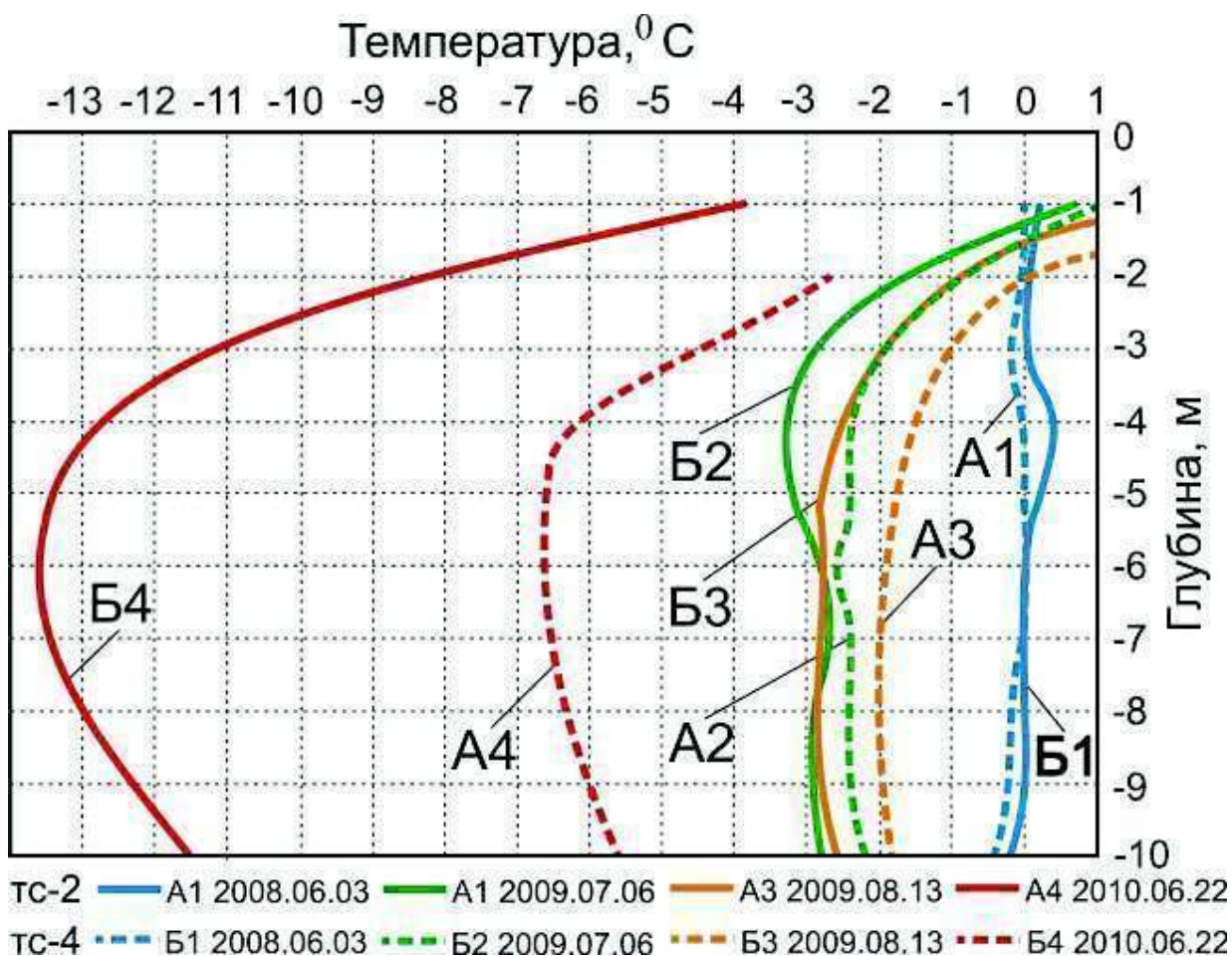


Рис. 3.2.12 Данные температуры грунтов, полученные в течение 2008–2010 гг. для сооружения с проветриваемым подпольем и СОУ (сваи и термостабилизаторы установлены в январе – феврале 2008 года): А) термоскважина (тс.2) расположена в краевой части здания на расстоянии 0,65 и 0,95 м от двух СОУ; Б) термоскважина (тс.4) расположена вблизи продольной оси основания на расстоянии 1,3 и 1,5 м от двух СОУ

В весенний период (июнь 2010 г.) после двух полных сезонов промораживания грунтов разница температуры под краевой и центральной частью сооружения на глубине 6,0–7,0 м достигала 7,0 °C в отрицательном диапазоне. А при удалении от контура сооружения на 10 м вокруг здания

кровля мерзлых грунтов была погружена на глубину 8,0–10,0 м от поверхности насыпи (по данным термометрии) и с температурами по разрезу, близкими к 0,0 °С. Разница значений температуры грунтов на одной и той же глубине между центральной частью здания и на удалении 10 м от края здания достигала 10,0–15,0 °С в отрицательном диапазоне и более в весенний период. Осенью температура грунтов под сооружениями с совместным использованием вентилируемого подполья и СОУ по сравнению с температурой на прилегающей территории без мероприятий по термостабилизации снижалась до 6,0–8,0 °С (рис. 3.2.13).

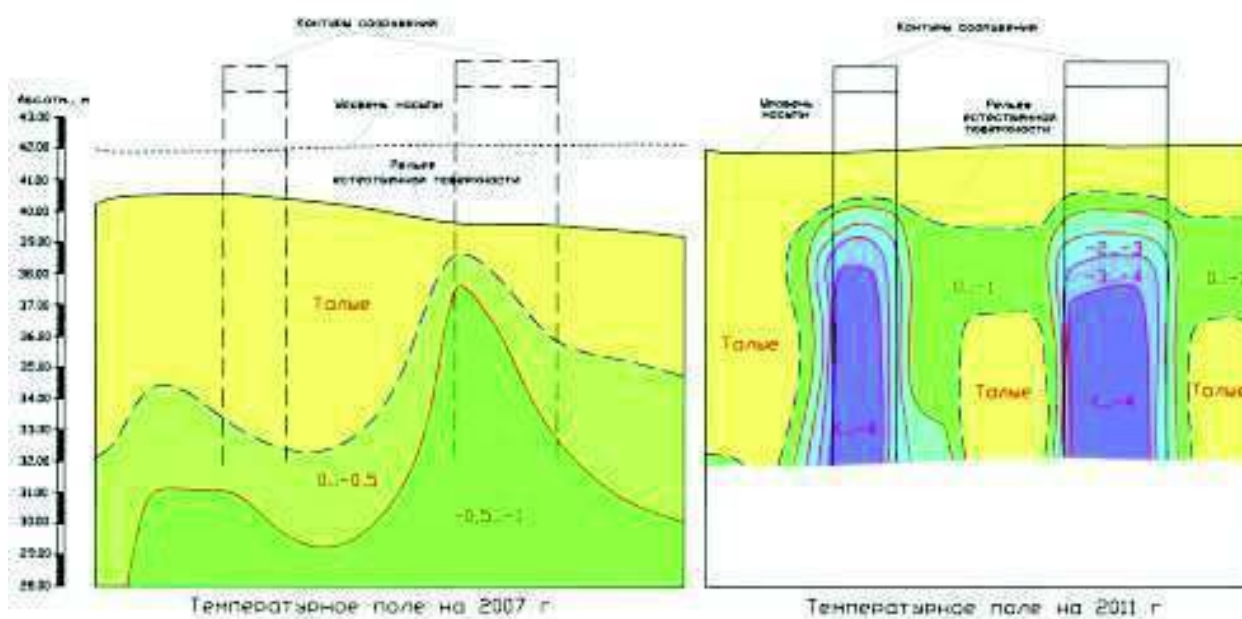
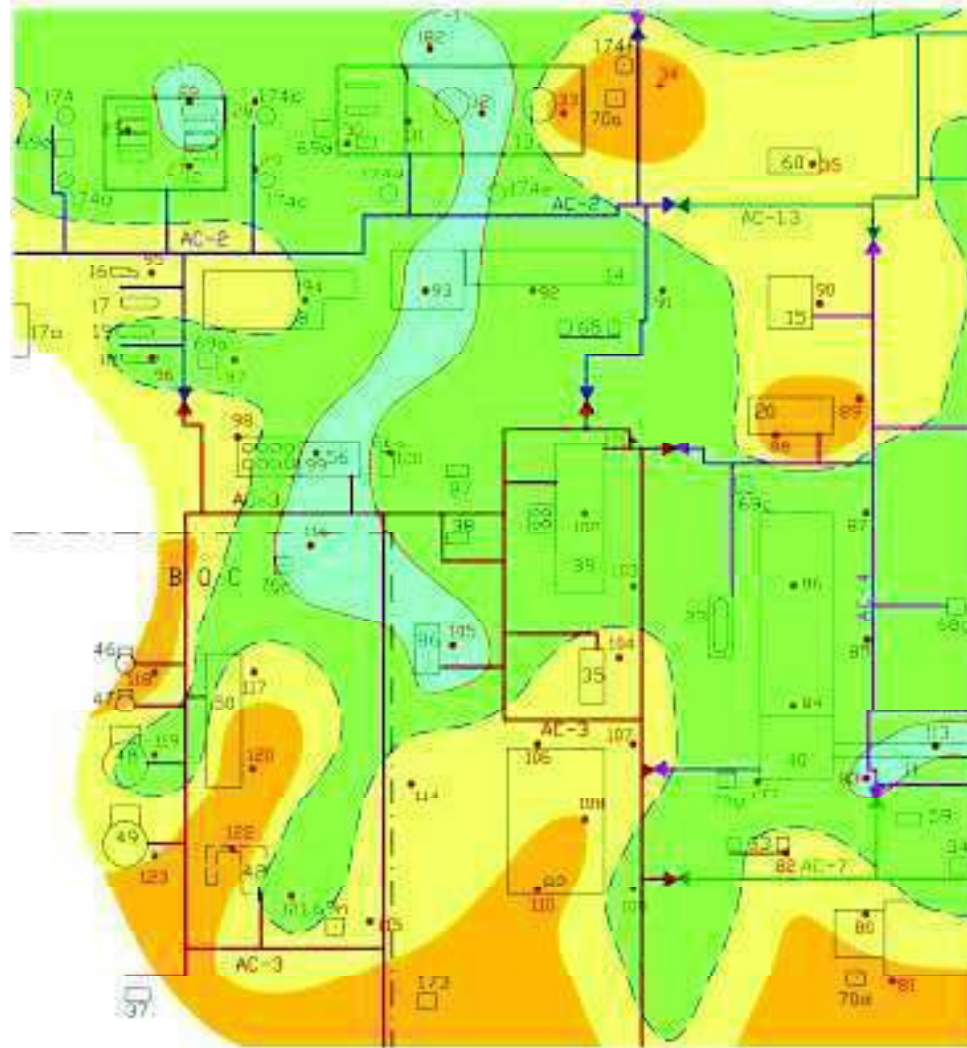


Рис. 3.2.13 Фрагмент геотемпературного разреза под сооружениями и прилегающей территорией на участке с погруженной кровлей мерзлоты в 2007 г (во время изысканий) и в 2011 г осенью (во время эксплуатации).

Рис. 3.2.14 иллюстрирует мерзлотные условия, существовавшие на стадии изысканий весной 2002 года, которые подверглись коренным преобразованиям за короткий промежуток времени после возведения и начала эксплуатации установки комплексной подготовки газа уже к осени 2004 года (см. рис. 3.2.15). Преобразование мерзлотных условий произошло в основном под цехами и сооружениями, оборудованными проветриваемыми



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— контур площадных сооружений и их номер позиции

— остатки внутриплощадочных сетей их номерация и границы

— скважина инженерно-геологическая в период изысканий

ММГ сливающегося типа

Средняя интегральная температура грунтов в интервале глубины 2-10 м, $T_{\text{ж}}, ^\circ\text{C}$

— до -1,0
 — -1,0 + -2,0

ММГ несляющегося типа

Глубина залегания кровли ММГ, м

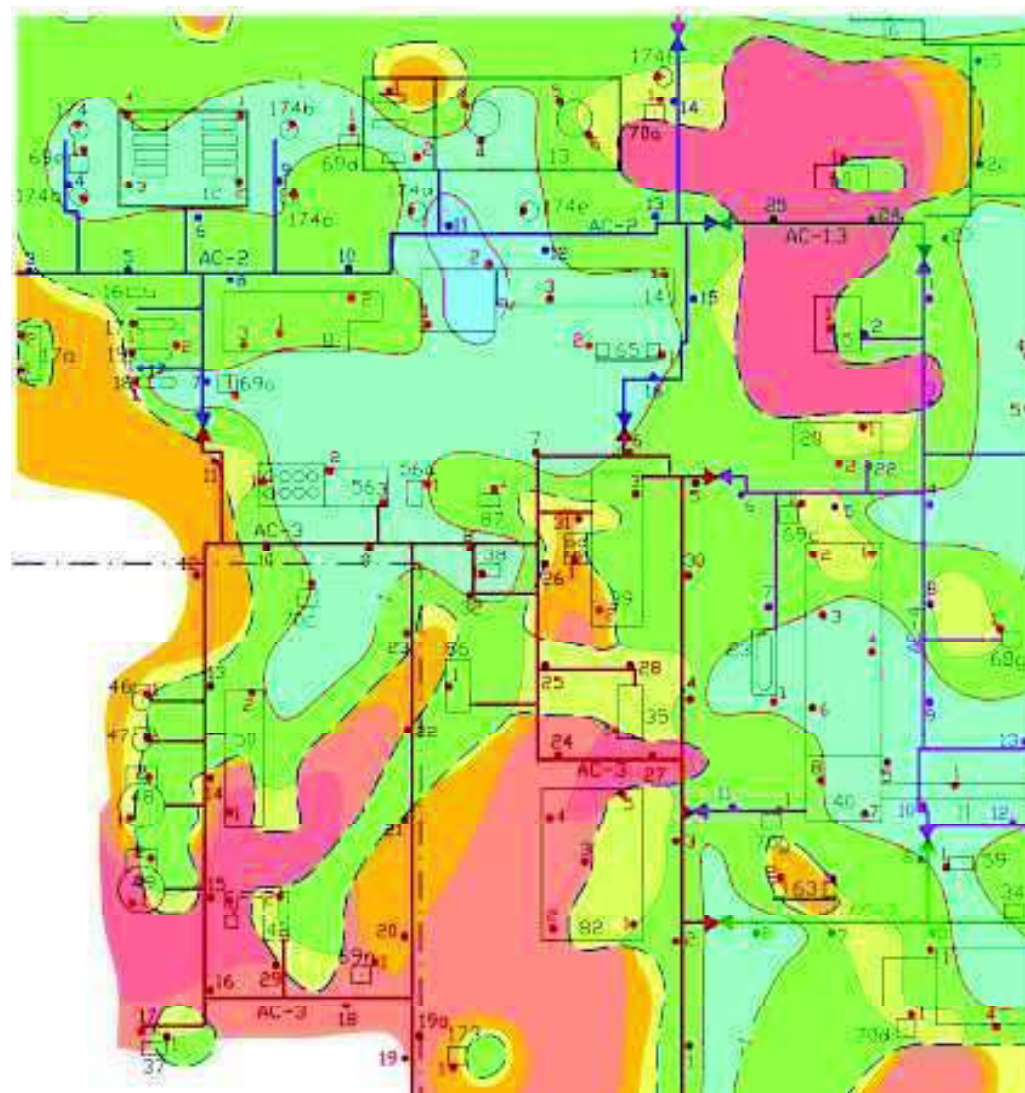
— до 5,0
 — 5,0 + 8,0

— термизооплета и ее значение

— граница нехлз-типаи ММГ

— дренажи

Рис. 3.2.14 Фрагмент геотемпературной карты УКПГ на период изысканий (весна 2002 г.)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



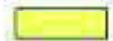




-  — контур площадочных сооружений и их номер позиции
 -  — эстакады внутриплощадочных сетей их нумерация и граница
 -  — наблюдательная термоскважина на площадочных сооружениях и ее номер
 -  — наблюдательная термоскважина на эстакадах, ее номер (соответствующего цвета)
- ММГ глинистого типа
- Средняя интегральная температура грантов в интервале глины 2-10 м. Тем. °С
-  — новообразования
 -  — до -1,0
 -  — -1,0 + -2,0
 -  — -2,0 + -3,0
- ММГ неглинистого типа
- Глубина залегания кровли ММГ, м
-  — до 5,0
 -  — 5,0 + 8,0
 -  — 8,0 + 10,0
 -  — 10 и более
-  — термодизоплета и ее значение
 -  — граница между типами ММГ
 -  — ограждения

Рис. 3.2.15 Фрагмент геотемпературной карты УКПГ на осень 2004 г. (через год после начала эксплуатации)

подполями и СОУ. Произошло новообразование мерзлых толщ на участках с несливающимся типом ММГ (поз. 20, 82 и др.) и понижение температуры на территории со сливающимся типом ММГ (поз. 14, 40 и др.), а также на участках эстакад коммуникаций с использованием СОУ. Однако сохранились территории с погруженной кровлей мерзлых пород, существовавшие в естественных условиях. При этом глубина погружения кровли увеличилась на 2–3 м в связи созданием планировочной насыпи и становилась на отметках более 10 м от поверхности грунта. При дальнейшей эксплуатации УКПГ площадь подобных участков сокращалась под воздействием различных мероприятий по термостабилизации грунтов.

Выводы

На участках освоения месторождения со сложными геокриологическими условиями с различными сооружениями и способами термостабилизации привели к формированию сложного и многомерного температурного поля, разница температуры грунтов которого 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 с природно-техногенной динамикой, которая сопровождается понижением кровли ММГ.

Происходит кардинальное изменение температуры грунтов, которая существовала на площадках УКПГ до момента строительства в зависимости от естественных природных условий. Столь быстрое и значительное изменение температурного режима может повлечь за собой развитие различных неблагоприятных геокриологических процессов.

Использование одиночных СОУ вблизи свайных оснований эстакад, опор осветительных мачт и молниеотводов благоприятно сказывается на температурном режиме грунтов как на территории со сливающимся типом ММГ, так и на участках с погруженной кровлей мерзлых пород. Эксплуатация СОУ в течение одного зимнего сезона позволяет достичь таких отрицательных значений температуры грунта, которые обеспечивают

мерзлое состояние и надежную работу основания в последующий летний период, а также сохраняют несущую способность основания сооружения в условиях избыточного снегонакопления.

Использование проветриваемого подполья без СОУ позволяет сохранить значение температуры грунтов, которые были в природных условиях до начала строительства. Дальнейшая эксплуатация подполья позволяет понизить температуру грунтов оснований.

Совместное применение проветриваемого подполья и сезонных охлаждающих устройств позволяет достичь проектных значений температуры 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 температуры воздуха и высоты снежного покрова.

Глава 4. Влияние динамики надмерзлотных вод на температурный режим и глубину сезонного оттаивания/промерзания грунтов

4.1 Динамика надмерзлотных вод в насыпных грунтах на территории освоения

Для выравнивания неровностей рельефа и сохранения многолетнемерзлых пород в мерзлом состоянии на участке строительства используется планировочная отсыпка из местного материала. Расчет мощности насыпи основан на обеспечении планировки площадки УКПГ (для разных площадок изменяется от 0,5 до 4,0–5,0 м) и создании дополнительного термического сопротивления на поверхности почвы, исключающего глубокое сезонное оттаивание естественных грунтов. В проектных расчетах грунтовых оснований насыпной слой рассматривается как элемент с однородными, выдержанными физическими (плотность, влажность и др.) и теплофизическими (теплопроводность, теплоемкость и др.) свойствами. В процессе эксплуатации, при проведении наблюдений за уровнем надмерзлотных вод, установлено, что в период осенне-зимнего промерзания в теле насыпи сохраняются значительные объемы надмерзлотных вод.

Методика исследования

Гидрогеологическая съемка надмерзлотных грунтовых вод сезонно-талого слоя включала в себя:

1) составление схемы микрорайонирования участка по мощности песчаной отсыпки и соответствующей ей глубине залегания кровли покровного суглинка, а также по расположению сооружений и конструктивных особенностей их основания. При этом учитывались: мощность снежных отложений по площадке УКПГ, распределение температуры пород, глубина сезонного оттаивания;

2) определение глубины СТС как с помощью температурных наблюдений по сети термометрических скважин [10], так и щупом, непосредственно в гидрогеологических (пьезометрических) скважинах;

3) определение уровня грунтовых вод с помощью мерной рейки.

На основе районирования мерзлотно-грунтовых условий, мощности насыпи и местонахождения сооружений по территории УКПГ определялось количество и расположение гидрогеологических скважин (см. рис. 3.1.8). В конечном итоге данные, полученные в результате наблюдений в гидрогеологических скважинах, должны описывать режим уровня грунтовых вод (УГВ) в различных геотехнических условиях площадки УКПГ.

Для наблюдения за уровнем грунтовых вод использовались гидрогеологические (пьезометрические) скважины, которые были пробурены ручным шнеком на глубину около 1,0 м в песчаном грунте отсыпки. На территории площадки УКПГ находится 40 гидрогеологических скважин. Каждая из них открыта в нижней части и обсажена в приповерхностном слое грунта на 0,5–0,8 м, а сверху накрыта защитной крышкой (рис. 4.1.1).

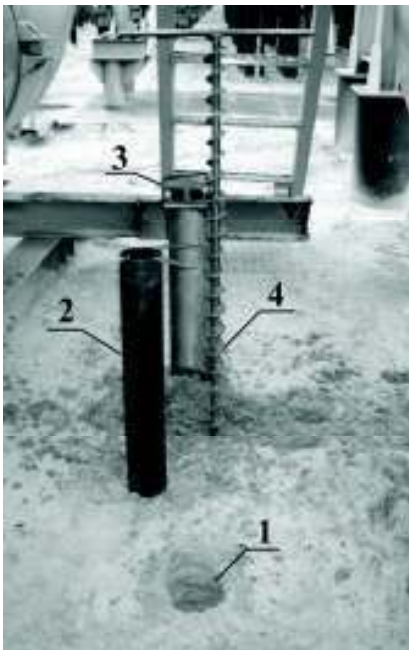


Рис. 4.1.1 Оборудование пьезометрической скважины

1 – скважина; 2 – обсадная труба; 3 – крышка; 4 – ручной шнек

Во время осенне-зимнего сезона стенки скважин выше горизонта водонасыщения не осыпаются, что позволяет осуществить прямое опробование грунтов по глубине промерзания, определить уровень грунтовых вод, глубину залегания водоупора и мощности талого слоя. При возникновении криогенного напора происходит повышение УГВ, которое также фиксируется в гидрогеологической скважине. Когда между измерениями наблюдается снижение уровня воды ниже забоя скважины, гидрогеологическая скважина углубляется с помощью ручного шнека до фиксирования нового уровня грунтовых вод (рис. 4.1.2.).

В течение октября – декабря проводился периодический замер уровня надмерзлотных вод в теле отсыпки, с интервалом 7–14 суток. После начала сезонного промерзания грунтов отсыпки осуществлялись замеры глубины промерзания СТС. С конца ноября, когда изменения положения уровня грунтовых вод незначительны (менее 5 см между интервалами измерений) или при достижении фронта промерзания уровня надмерзлотных вод, определялась мощность водонасыщенного песка, которая фиксировалась с конца ноября и в декабре для большей части изучаемой территории.

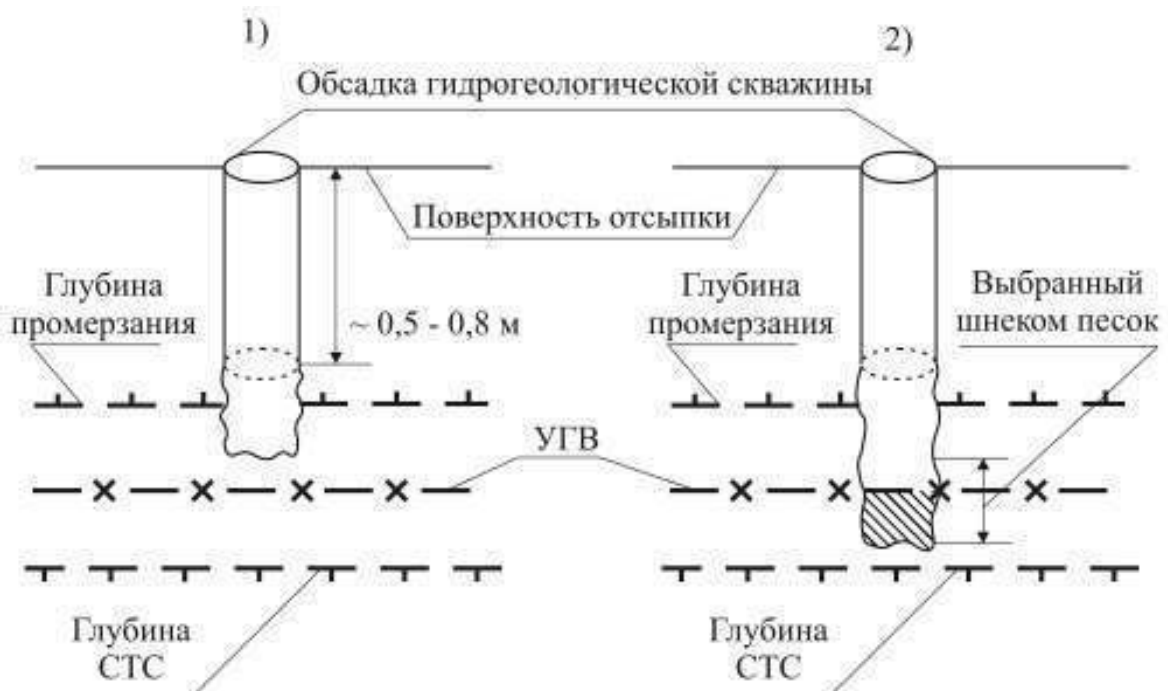


Рис. 4.1.2 Определение уровня грунтовых вод: 1) до углубления шнеком; 2) после углубления шнеком

По полученным данным об уровнях воды в скважинах были составлены карты мощности водонасыщенного песка (рис. 4.1.3), где в качестве водоупорной границы принималась кровля толщи мерзлых грунтов. Если глубина сезонно-талого слоя превышала мощность отсыпки, то за водоупор принималась поверхность естественного рельефа, сложенного суглинком. Данные по глубине слоя сезонного оттаивания и расположению кровли ММП получены по результатам осенней площадной геотемпературной съемки, а также зондировки щупом в гидрогеологических скважинах и дополнительных точках.

Предложенная методика наблюдений за УГВ позволяет расположить пьезометрические скважины уже на эксплуатирующихся объектах или на стадии строительства в непосредственной близости от оснований и фундаментов сооружений. Оборудование пьезометрических скважин требует минимальных затрат при их создании и эксплуатации по сравнению с обычной конструкцией гидрогеологической скважины, которая будет подвержена кольматации фильтра и требовать промывки, а при эксплуатации объекта может произойти повышение кровли толщи мерзлых пород, что выведет скважины из работы.

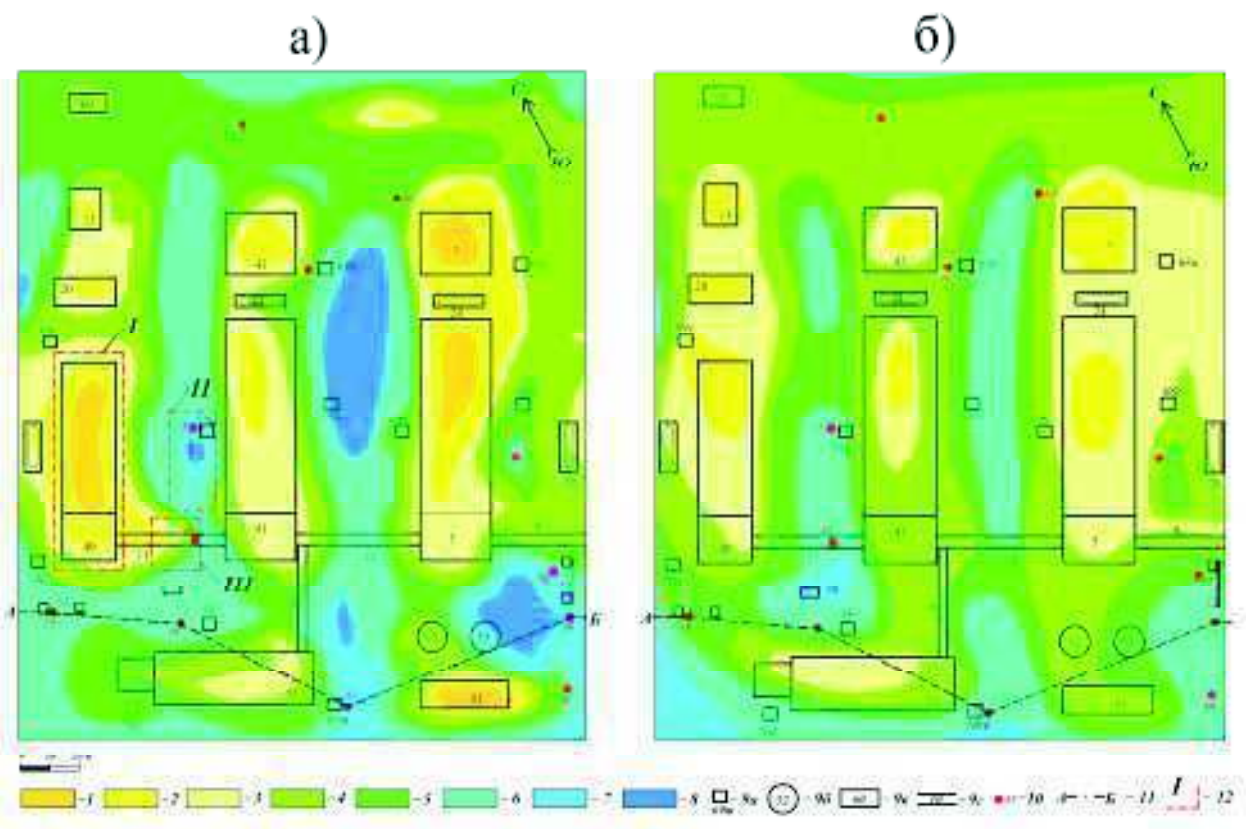


Рис. 4.1.3 Фрагмент карты мощности водонасыщенного слоя: а) ноябрь 2007 г.; б) ноябрь 2008 г.

Мощности водонасыщенного песка: 1–0 м; 2 – 0–0,25 м; 3 – 0,25–0,50 м; 4 – 0,50–0,75 м; 5 – 0,75–1,00 м; 6 – 1,00–1,25 м; 7 – 1,25–1,50 м; 8 – 1,50–1,75 м.

Прочие обозначения: 9а – мачты, 9б – емкости, 9в – сооружения, 9г – переходные галереи и их номера; 10 – номер гидрогеологической скважины; 11 – линия разреза; 12 – контуры зон распределения воды.

Под сооружениями вне зависимости от количества осадков в предзимний сезон влажность насыпных грунтов составляет 7–10 % (на рис. 4.1.3 участки 1, 2, 3). Над кровлей ММГ мощность водонасыщенных песков составляет диапазон от 0 до 0,5 м. Между зданиями, где глубина СТС находится на отметках около 2,4–2,8 м, мощность водонасыщенного песка изменяется от 0,5–0,75 м до 1,5–1,75 м.

Результаты

Состав грунтов один из факторов, определяющих водонасыщение и особенности водно-фильтрационных свойств насыпей. Для Заполярного месторождения это пылеватые и мелкие пески. Коэффициент фильтрации песков в насыпи, полученным в ходе опытно-фильтрационных работ автора и Рязанова А.В. [57], обладает следующим диапазоном значений $K_{\phi}=0,002–0,009$ м/с.

Режимные наблюдения показали, что единственным источником питания надмерзлотных вод являются дождевые воды. Так как площадка УКПГ находится на местном водоразделе, то исключается подпитка насыпи за счет поверхностных вод со смежных территорий. Зачистка и вывоз снежного покрова в зимний период за пределы площадки приводит к существенному снижению объему талых вод. Образовавшиеся в этот период талые воды стекают за пределы площадки по мерзлой поверхности насыпи. В случае растепления на отдельных участках вода просачивается и замерзает в приповерхностном песчаном слое, образуя новую водоупорную поверхность. Эти наблюдения позволяют сделать вывод, что в период весеннего снеготаяния вода практически не участвует в формировании надмерзлотных вод в теле насыпи.

Сток надмерзлотных грунтовых вод за пределы площадок продолжается в течение 1,5–2 месяцев после наступления устойчивых заморозков, до этого момента (в летний период и начало осеннего) он осуществляется с помощью водоотводных лотков глубиной 0,5–0,7 м. В октябре – декабре из-за различий в глубине сезонно-талого слоя и темпов

промерзания насыпи накопленная в теле насыпи вода продолжает перераспределяться внутри тела отсыпки на площадке УКПГ. В этот период формируются следующие зоны распределения воды в теле отсыпки (рис. 4.1.3):

I – без водонасыщения (под крупными сооружениями);

II – зона транзита надмерзлотных вод;

III – с застойным режимом и частичной аккумуляцией воды.

В III зоне могут происходить следующие явления: а) образование напора к концу декабря для локальных объемов воды, расположенных между сооружениями; б) безнапорный режим надмерзлотных вод для больших объемов воды, которые полностью не промерзают в течение зимнего периода.

Наблюдения 2007–2008 гг. позволили выделить и ограничить области с максимальной мощностью водонасыщенного песка (аккумуляции надмерзлотных вод), транзитные зоны, а также участки с наименьшим водонасыщением.

По линии А – Б (на рис. 4.1.3) представлен криогидрогеологический профиль, разрез по этому профилю изображен на рис. 4.1.4, где отражена мощность водонасыщенного слоя песка на температурное поле после зимнего периода 2007–2008 гг. и 2008–2009 гг., а также высота снежного покрова на конец зимнего периода.

По разрезу наиболее высокотемпературные массивы мерзлых пород после зимы приурочены к областям, где мощность водонасыщенных песков составляла от 1,0 м и более, а мощность снежного покрова превышала 0,70 м. Наибольшее влияние водонасыщения отмечается в районе гидрогеологической скважины №33. По данным замеров температуры, в ближайшей термоскважине глубиной 10 м в мае 2008 г. температура была в интервале от минус 0,1 до минус 0,6 °С, а через год значения температуры составляли от 0 до минус 0,4 °С с непромерзшим водонасыщенным слоем на глубине около 1,6–3,2 м от поверхности грунта.

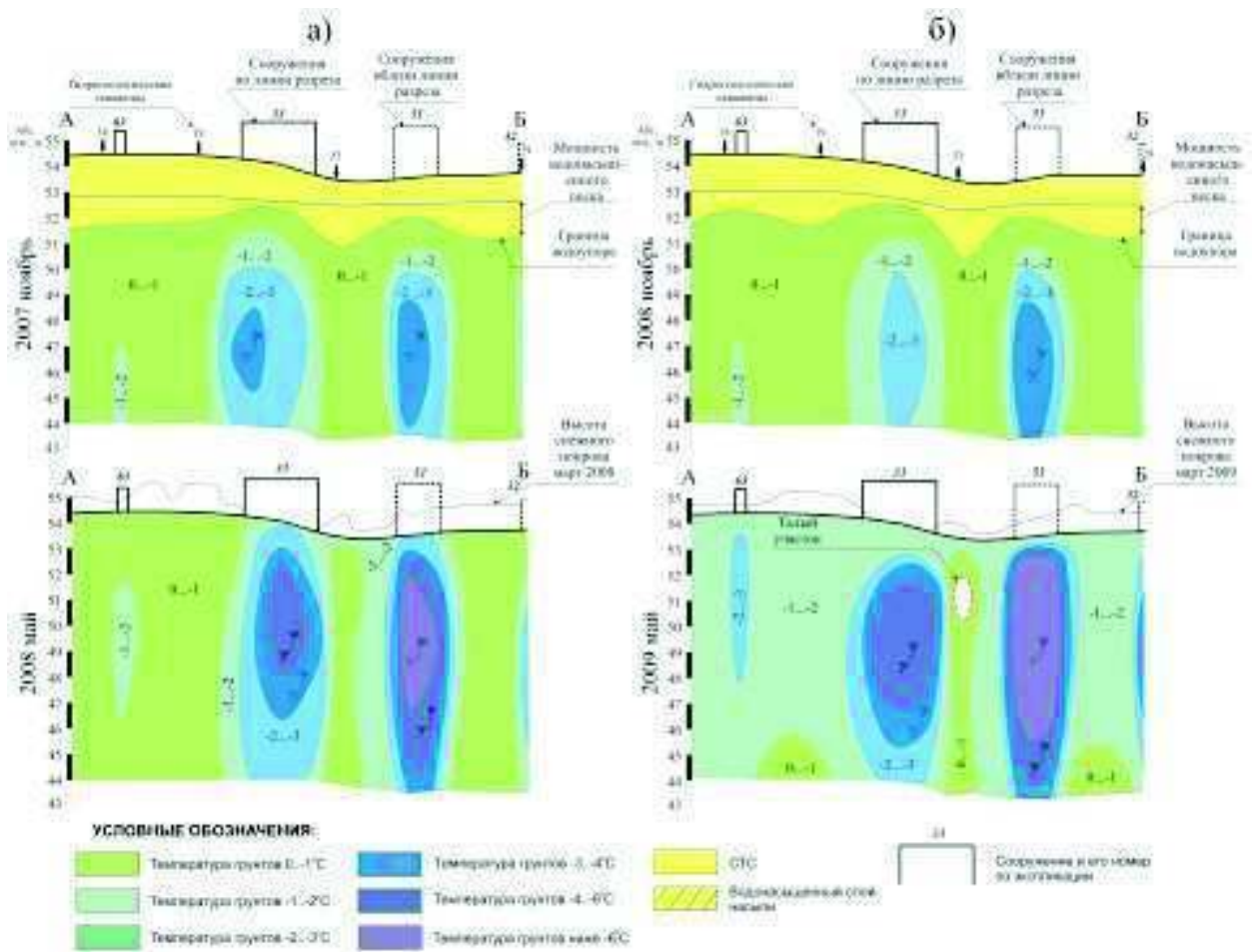


Рис. 4.1.4 Криогидрогеологический разрез по линии А – Б: а) осень 2007 – весна 2008 гг.; б) осень 2008 – весна 2009 гг.

В табл. 4.1.1 и на рис. 4.1.5 представлены наблюдаемые характеристики в зоне транзита надмерзлотных вод в скважине №2, находящейся в 150 м на северо-запад от центра трансформаторной подстанции поз. 60 (рис. 4.1.3). В данной точке происходит постепенное снижение мощности водонасыщенного песка в течение осенне-зимнего периода. Понижение и сохранение небольшой мощности снега на данной скважине связано с близким (около 0,5 м) расположением к шаровому крану для трубы диаметром 1000 мм, вокруг которого происходит выдувание снега в течение всего зимнего периода. Это приводит к быстрому увеличению глубины сезонного промерзания при снижении температуры воздуха и к промерзанию на 1,25 м к 12 декабря 2007 г. и на 1,65 м к 12 декабря 2008 г.

Наблюдения на гидрогеологической скважине № 2 в 2007–2008 гг.

Замеряемый параметр	Год	Дата замеров										
		24.IX	29.IX	15.X	22.X	29.X	08.XI	11.XI	22.XI	28.XI	09.XII	12.XII
Температура воздуха, °С	2007	+7,4	+0,1	-0,6	-11	-0,6	-17,4	-10,9	-22,0	-7,6	-2,4	-5,6
	2008	+7,0	+1,0	-5,0	-0,5	+0,5	-17,1	-26,6	-5,7	-19,9	-33,0	-15,0
Мощность снежного покрова, м	2007								0,05	0,10		0,05
	2008							0,20	0,02		0,01	0,02
Глубина сезонного промерзания, м	2007								0,75	1,35		1,25
	2008				0,89	0,88		1,12	1,30		1,50	1,65
УГВ от поверхности отсыпки, м	2007	0,97	0,88			1,10	0,98		1,33	1,39		1,52
	2008	0,75		1,00	1,16	1,49		1,46	1,63		1,81	1,92
Глубина водоупорного слоя от поверхности отсыпки, м	2007	2,05										
	2008	1,95										

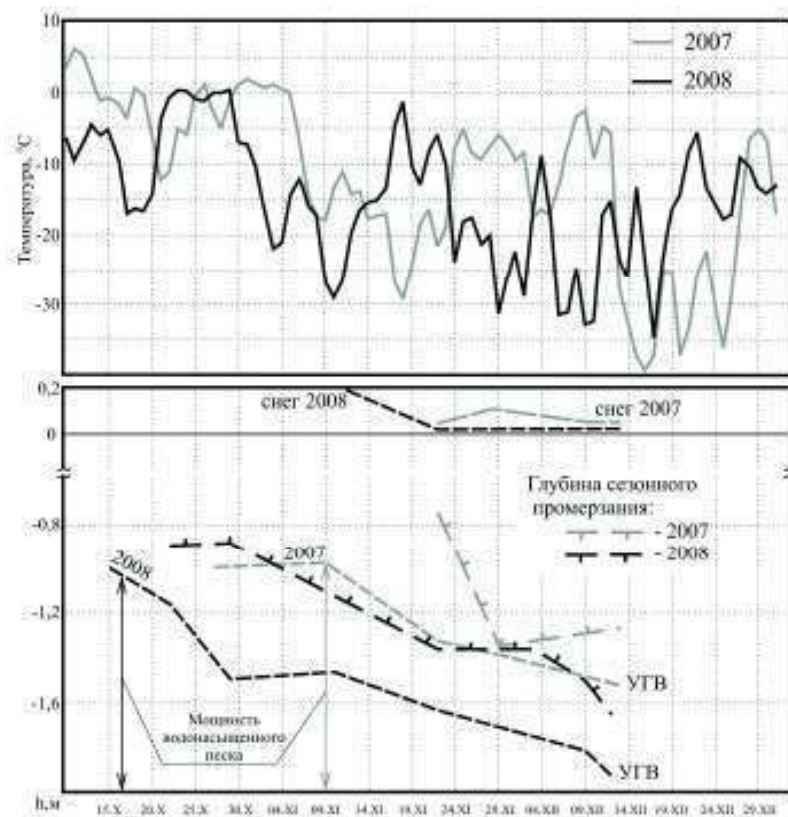


Рис. 4.1.5 Изменение глубины сезонного промерзания пород и уровня грунтовых вод в гидрогеологической скважине № 2 с учетом средней суточной температуры воздуха с 10 октября по 31 декабря 2007 г. и с 10 октября по 31 декабря 2008 г.

В табл. 4.1.2 и на рис. 4.1.6 представлен режим надмерзлотных вод в скважине №24, расположенной в 145 м на северо-восток от центра сооружения №60 (рис. 4.1.3), для зоны с частичной аккумуляцией воды в завершающий период наблюдения, с последующим образованием напора на 10 декабря 2008 года. Влияние снежного покрова на глубину промерзания здесь очевидно. Так, она составляет 0,82 м на 13 декабря 2007 г. и 0,90 м на 25 ноября 2008 г. при мощности снега 0,38 м и 0,30 м соответственно.

Таблица 4.1.2

Наблюдения на гидрогеологической скважине № 24 в 2007–2008 гг.

Замеряемый параметр	Год	Дата замеров										
		15.X	22.X	27.X	29.X	08.XI	11.XI	21.XI	25.XI	29.XI	10.XII	13.XII
Температура воздуха, °С	2007	-0,6	-11	-2,6	-0,6	-17,4	-10,9	-16,1	-4,8	-5,8	-9,6	-27,9
	2008	-5,0	-0,5	0,0	0,5	-17,1	-26,6	-8,0	-17,9	-31,8	-32,4	-23,6
Мощность снежного покрова, м	2007					0,10		0,15		0,23		0,38
	2008						0,12		0,30		0,30	
Глубина сезонного промерзания, м	2007									0,58		0,82
	2008						0,60		0,90			
УГВ от поверхности отсыпки, м	2007			0,70		0,60		0,91		0,95		0,92
	2008	0,79	1,01		0,78		1,09		1,04		0,75 лед	
Глубина водоупорного слоя от поверхности отсыпки, м	2007	2,40										
	2008	2,40										

Образование и распределение водонасыщения в песчаном материале отсыпки в осенне-зимний период на территории УКПГ (помимо различия в глубинах СТС и мощности песка) также связано с накоплением снежного покрова на пространствах между сооружениями и под эстакадами. В итоге из-за различий в мощности снега (выдувов, надувов) скорость промерзания талого слоя на этих участках неравномерна, что приводит к образованию замкнутых объемов водонасыщенного песка под крупными надувами снега. Надувы достигают размеров в плане от 4–5 м² и более, при этом они образуются уже к середине – концу декабря. Описываемые участки можно разделить на два типа.

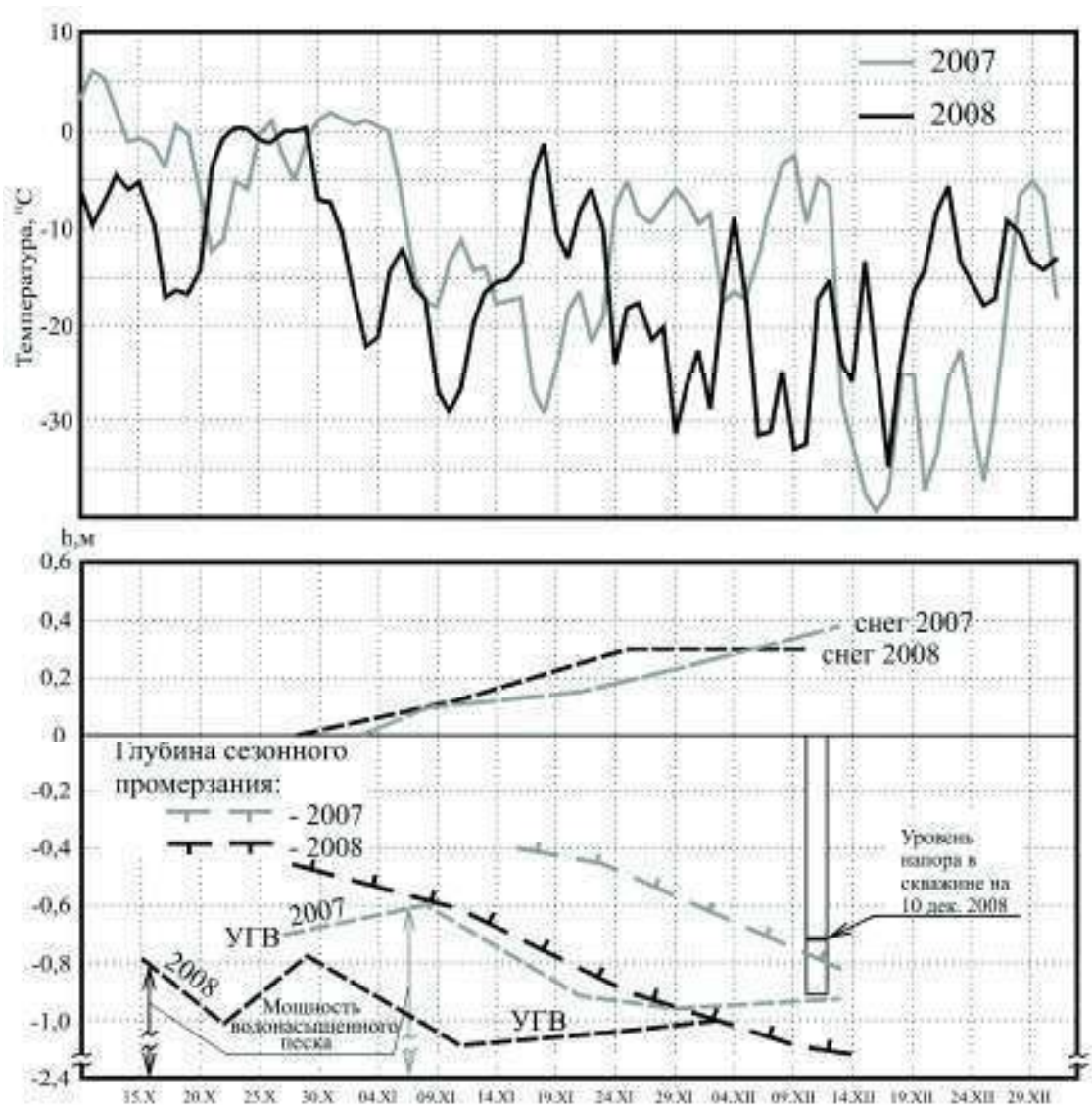


Рис. 4.1.6 Изменение глубины сезонного промерзания пород и уровня грунтовых вод в гидрогеологической скважине № 24 с учетом средней суточной температуры воздуха с 10 октября по 31 декабря 2007 г. и с 10 октября по 31 декабря 2008 г.

К первому отнесем участки с застойным режимом надмерзлотных вод при УГВ на глубинах 0,50–0,70 м и менее, с мощностью снега над ними более 0,40 м, на которых образуются сезонные бугры пучения площадью до 40 м² (рис. 4.1.7). Подобные области находятся на территории между крупными корпусами и зачищаемыми от снега дорогами, вне оснований крупных сооружений. Осмотр бугров пучения в весенний период показал, что мощность ледяного ядра составляет не более 0,50 м.

Второй тип – это территории, на которых УГВ находится ниже 0,70 м от поверхности насыпи (см. рис. 4.1.5). При промерзании не происходит формирования локальных бугров пучения вне зависимости от мощности снежного покрова, а возможно только развитие площадного пучения, не превышающего значений 0,10 м, которому подвергается большая часть насыпи вне территории, занятой под сооружения с проветриваемым подпольем.



Рис. 4.1.7 Бугор пучения на участке локального заземления надмерзлотных вод после схода снежного покрова в июне

Выводы

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.

Предложенная методика мониторинга уровней грунтовых и надмерзлотных вод в толще отсыпки из песчаного материала позволяет качественно оценить изменение теплофизических свойств грунтов в геотехнических системах на основе зависимости коэффициента

теплопроводности и объемной теплоты фазовых переходов от влажности при промерзании и оттаивании грунтов.

При анализе данных, полученных при наблюдении за режимом надмерзлотных вод, установлено, что наличие водоотводных лотков глубиной 0,5–0,7 м не позволяет полностью дренировать воду в теле насыпи, особенно в центральной ее части. 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). При проектировании мероприятий по инженерной защите больших по площади насыпей глубину водоотводных лотков и канав следует устанавливать ниже 0,7 м.

4.2 Изменение температурного режима грунтов под влиянием динамики уровня надмерзлотных вод на участках сливающегося и несливающегося типа мерзлоты

В данном разделе проведено исследование влияния глубины залегания уровня надмерзлотных вод в возведенных насыпях на температурный режим грунтов оснований на глубине годовых нулевых амплитуд (10–11 м). Рассмотрены территории с расположенными на них эстакадами, мачтами, а также незастроенные участки, которые находились за пределами области влияния сооружений с проветриваемыми подпольями.

Расчет теплового поля подстилающих грунтов произведен с использованием программы HEAT [45], разработанной на кафедре геокриологии под руководством профессора Л. Н. Хрусталева. Основная функция программы – решение нестационарного нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности методом конечных разностей. Результат решения – температурное поле пород в заданные моменты времени в заданных точках пространства. Решена одномерная задача, так как расчетная область имеет горизонтальную поверхность и постоянные теплофизические свойства грунта, боковое влияние от сооружений на температурное поле расчетной области не учитывалось.

Граничные условия

При решении задачи *на верхней границе* были заданы граничные условия 3-го рода – среднемесячные значения температуры воздуха согласно табл. 2.1.2 (Глава 2.1) с учетом радиационной поправки на инсоляцию поверхности насыпи в летние месяцы. *На нижней и боковой границе* – граничные условия 2-го рода (на глубине 30 м теплоток равен 0 Вт/м²). Температурный режим периодически установившийся на весь период прогноза, без учета изменения климата.

Температура дневной поверхности насыпи в n-ом летнем месяце для поверхности насыпи рассчитывалась по формуле [17]:

$$T_{S,n} = T_{air,n} + \Delta T_{R,n}$$

где $T_{air,n}$ – температура воздуха в n -ом летнем месяце ($^{\circ}C$), соответствует данным табл. 2.1.2; $\Delta T_{R,n}$ – поправка к температуре воздуха для n -го летнего месяца на инсоляцию поверхности насыпи ($^{\circ}C$), вычисляется по формуле [17]:

$$\Delta T_{R,n} = (K_n \cdot R_n - P_n) / \alpha_n$$

где K_n – эмпирический коэффициент, учитывающий экспозицию поверхности насыпи, принимается равным единице для горизонтальной поверхности.

R_n – радиационный баланс дневной поверхности в n -ый месяц ($Вт/м^2$), определяется по формуле [17]:

$$R_n = 0,71 \cdot Q_n - 46,5 \quad \text{при } 0,16 < A \leq 0,35$$

где A – альbedo поверхности насыпи.

P_n – затраты тепла на турбулентный теплообмен между поверхностью грунта и атмосферой в n -ый месяц ($Вт/м^2$), определяются по формуле [17]:

$$P_n = 0,57 \cdot Q_n - 69,8$$

где Q_n – суммарная солнечная радиация в n -ый месяц ($Вт/м^2$), табл. 2.1.3 (Глава 2.1).

α_n – коэффициент турбулентного теплообмена между атмосферным воздухом и дневной поверхностью ($Вт/м^2 \cdot c$) для n -го летнего месяца определяется по формуле [17]:

$$\alpha_n = 2,44 \cdot v_B + 2,33 \quad \text{при скорости ветра } (v_B, \text{ м/с}) \text{ меньше } 4 \text{ м/с}$$

$$\alpha_n = 3,7 \cdot v_B - 1,16 \quad \text{при скорости ветра } (v_B, \text{ м/с}) \text{ больше } 4 \text{ м/с.}$$

Скорость ветра для района п. Уренгой приведена в табл. 2.1.1 (Глава 2.1).

Полученные поправки к температуре воздуха ($\Delta T_{R,n}$, $^{\circ}C$) для летних месяцев на инсоляцию поверхности насыпи приведены в табл. 4.2.1, а значения температуры дневной поверхности насыпи с учетом поправки в течение года даны в табл. 4.2.2.

Таблица 4.2.1

Значения радиационной поправки к температуре воздуха ($\Delta T_{R,n}$, °C) на инсоляцию поверхности земляного полотна и значения температуры дневной поверхности насыпи с учетом поправки, (°C)

Месяцы	VI	VII	VIII	IX
Величина поправки, °C	3,2	3,9	3,9	2,1

Таблица 4.2.2

Значения температуры дневной поверхности насыпи в течение года с учетом радиационной поправки, (°C)

Месяцы												Средняя годовая, °C
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-23,9	-24,6	-16,1	-9,7	-0,8	15,4	19,5	15,5	8,3	-4,0	-17,0	-23,9	-5,1

Влияние на теплообмен теплоизолирующих покровов (величина, обратная термическому сопротивлению [$\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$]) определяется в задаче через термическое сопротивление снега по соответствующей высоте и плотности снега.

Распределение и характер снегонакопления на территории УКПГ изучены в ходе проведения площадных снегомерных съемок и ежемесячных наблюдений начиная с 2006 года. Выбрано два характерных типа участков с различной высотой снежного покрова, на которых не производилось уплотнение или уборка снега.

Первый тип – участки, где высота снежного покрова не превышает 0,50 м в течение зимнего периода (продуваемые участки между дорогами и под эстакадами). Второй тип – участки, на которых высота снежного покрова не превышала 0,75 м, характерны для территории, где происходит снегозадержание за счет конструктивных особенностей сооружений, их расположения. Следует отметить более высокую плотность снежных отложений на территории УКПГ, чем в естественных условиях. Это связано с

перераспределением снежного покрова в пределах застроенной территории под влиянием ветрового режима в течение зимнего периода.

Месячные значения высоты снега и его плотности представлены в табл. 4.2.3.

Таблица 4.2.3

Характеристики снежного покрова на застроенной территории УКПГ

Тип	Характеристики	Месяцы						
		XI	XII	I	II	III	IV	V
1 тип	Высота снега, м	0,15	0,30	0,35	0,50	0,45	0,50	0,20
	Плотность снега, г/см ³	0,25	0,35	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55
2 тип	Высота снега, м	0,20	0,50	0,60	0,70	0,65	0,75	0,35
	Плотность снега, г/см ³	0,30	0,40	0,45	0,48	0,51	0,55	0,60

Характеристика области исследования

Типовые разрезы для моделирования. В результате анализа геокриологического строения мерзлых толщ по глубине залегания, наличия сливающихся и несливающихся типов ММП [55, 56], среднегодовых температур грунтов, их состава, льдистости, влажности выбраны 4 типа разреза с насыпью высотой 1,0 и 2,0 м для каждой грунтовой толщи (рис. 4.2.1).

- разрез № Ia – суглинки с прослоями песков и глин, кровля ММП заглублена до 7,0 м, СМС составляет 1,0 м (табл. 4.2.4). Данный разрез выбран для расчетов как потенциально наиболее опасный и, возможно, наиболее динамично изменяющийся под влиянием внешних факторов, что неблагоприятно для оснований, расположенных в подобных условиях;

- разрез № Ib – суглинки с прослоями песков и глин; сливающийся тип ММП, СТС 1,8 м. Представленный разрез выбран как наиболее характерный на площадке (табл. 4.2.5).

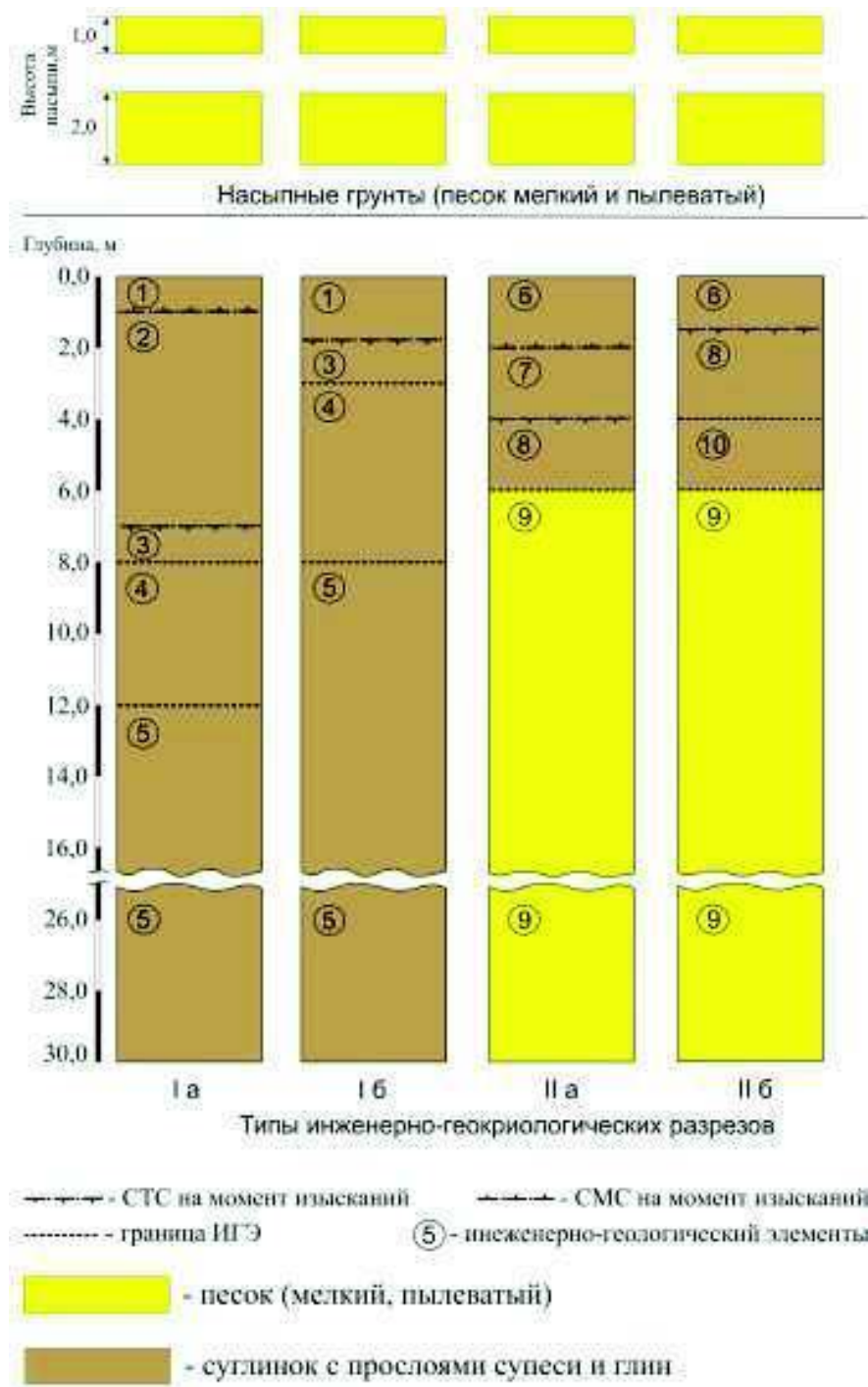


Рис. 4.2.1 Инженерно-геологические разрезы для расчетной области

- типовой разрез № IIа – суглинки с прослоями песков и глин, которые с глубины 6,0 м подстилаются мелкими песками; кровля ММП заглублена до 4,0 м; СМС составляет 2,0 м (табл. 4.2.6).

- типовой разрез № IIб – суглинки с прослоями песков и глин, которые с глубины 6,0 м подстилаются мелкими песками; сливающийся тип ММП, СТС 1,5 м (табл. 4.2.7).

Теплофизические характеристики грунтов по разрезам приведены по СНиП 2.02.04-88, с учетом лабораторных исследований физико-механических свойств [36, 57, 58].

Таблица 4.2.4

Теплофизические характеристики грунтов для типового разреза № Ia

Интервал, м	ИГЭ	Состав грунта	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·ч·°С		Объемная теплоемкость грунта, Вт/м ³ ·°С		Объемная теплота фазовых переходов, Вт/м ³	Темпера- тура фазового перехода, °С
			талого	мерзлого	талого	мерзлого		
0 – 1	1	Суглинок	1,52	1,62	893,2	632,7	21660	-0,2
1 – 5	2	Суглинок	1,35	1,52	792,0	599,5	31713	-0,2
5 – 8	3	Суглинок	1,80	1,57	881,0	637,6	22766	-0,2
8 – 12	4	Суглинок	1,47	1,64	847,8	625,7	17670	-0,2
12 – 30	5	Суглинок	1,40	1,59	815,3	505,2	15765	-0,2

Таблица 4.2.5

Теплофизические характеристики грунтов для типового разреза № Ib

Интервал, м	ИГЭ	Состав грунта	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·ч·°С		Объемная теплоемкость грунта, Вт/м ³ ·°С		Объемная теплота фазовых переходов, Вт/м ³	Темпера- тура фазового перехода, °С
			талого	мерзлого	талого	мерзлого		
0 – 2	1	Суглинок	1,52	1,62	893,2	632,7	21660	-0,2
2 – 3	3	Суглинок	1,80	1,57	881,0	637,6	22766	-0,2
3 – 8	4	Суглинок	1,47	1,64	847,8	625,7	17670	-0,2
8 – 30	5	Суглинок	1,40	1,59	815,3	505,2	15765	-0,2

Таблица 4.2.6

Теплофизические характеристики грунтов для типового разреза № IIa

Интервал, м	ИГЭ	Состав грунта	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·ч·°С		Объемная теплоемкость грунта, Вт/м ³ ·°С		Объемная теплота фазовых переходов, Вт/м ³	Темпера- тура фазового перехода, °С
			талого	мерзлого	талого	мерзлого		
0 – 2	6	Суглинок	1,49	1,64	826,0	609,0	24775	-0,2
2 – 4	7	Суглинок	1,37	1,55	794,0	605,0	30320	-0,2
4 – 6	8	Суглинок	1,52	1,67	884,0	621,0	30130	-0,2
6 – 30	9	Песок мелкий	2,33	2,53	821,0	619,0	25930	0,0

Теплофизические характеристики грунтов для типового разреза № Пб

Интервал, м	ИГЭ	Состав грунта	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·ч·°С		Объемная теплоемкость грунта, Вт/м ³ ·°С		Объемная теплота фазовых переходов, Вт/м ³	Темпера- тура фазового перехода, °С
			талого	мерзлого	талого	мерзлого		
0 – 1,5	6	Суглинок	1,49	1,64	826,0	609,0	24 775	-0,2
1,5 – 4	8	Суглинок	1,52	1,67	884,0	621,0	30 130	-0,2
4 – 6	10	Суглинок	1,43	1,60	825,0	615,0	21 065	-0,2
6 – 30	9	Песок мелкий	2,33	2,53	821,0	619,0	25 930	0,0

Характеристика насыпных грунтов. Работы по созданию насыпи на площадке под УКПГ-3С (типовой разрез Ia, Ib) начались в апреле 2002 года и закончились в апреле 2003 года; под УКПГ-2С (типовой разрез IIa, IIb) начались в апреле 1999 года и закончились в ноябре 2001 года. Отсыпка производилась песчаным грунтом из заготовленных буртов гидронамывных карьеров и осуществлялась на ненарушенный почвенно-растительный покров и мерзлые грунты основания. Расчет проводился для насыпи мощностью 1,0 м и 2,0 м, т.е. минимальной и типичной для данных площадок.

Таблица 4.2.8

Физические и теплофизические свойства песка в насыпи [50, 51]

Наименование грунта	Суммарная влажность грунта, W _{tot} , %	Плотность сухого грунта, ρ _d , г/см ³	Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·ч·°С		Объемная теплоемкость грунта, Вт/м ³ ·°С		Объемная теплота фазовых переходов, Вт/м ³	Темпера- тура фазового перехода, °С
			талого	мерзлого	талого	мерзлого		
Песок мелкий	10	1,54	1,56	1,70	523,2	410,4	15610	0,0
Песок мелкий	20	1,54	1,99	2,34	707,9	523,4	30875	0,0

Начало расчетов для грунтов типовых разрезов Ia и Ib производилось с 15 мая 2002 года; для грунтов типовых разрезов IIa и IIb – с 15 мая 1999 года, поскольку эти даты были ближайшими ко времени проведения термометрических наблюдений в скважинах в ходе инженерно-

геологических изысканий. Физические и теплофизические свойства песка в насыпи представлены в табл. 4.2.8.

Глубина залегания уровня надмерзлотных вод в насыпи

При решении задач учтена различная глубина залегания уровня надмерзлотных вод в летний и зимний периоды исходя из условий дренажа и аккумуляции надмерзлотных вод в различных частях насыпи. Также учитывались данные наблюдений в гидрогеологических скважинах, полученные во время мониторинга УГВ на площадках УКПГ в осенне-зимний период 2006–2011 гг. Глубина уровня надмерзлотных вод задана границей влажности песка. Над границей песок принят при влажности 10 % (по данным полевых опробований), ниже – 20 %, влажность полного водонасыщения.

Для отсыпки в 1,0 м рассмотрено 6 вариантов глубины залегания УГВ, которые представлены в табл. 4.2.9.

Таблица 4.2.9

Положение уровня надмерзлотных вод в насыпи высотой 1,0 м

Номер варианта	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
УГВ летом, м	1,0	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3
УГВ зимой, м	1,0	0,5	1,0	0,3	0,5	1,0

Для отсыпки в 2,0 м рассматривалось 10 вариантов расположения УГВ, представленных в табл. 4.2.10.

Таблица 4.2.10

Положение уровня надмерзлотных вод в насыпи высотой 2,0 м

Номер варианта	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
УГВ летом, м	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
УГВ зимой, м	2,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0

На примыкающих к краевым частям насыпи участках уровень надмерзлотных вод как в летний, так и зимний периоды низкий, вблизи границы водоупора, пример: варианты 1-1, 2-1, 2-3, 2-6. Подобный режим характерен и для зон транзита (см. Главу 4.1).

Территории, где происходит аккумуляция осадков в летний период и плохая разгрузка в начале зимнего сезона за счет низкого коэффициента фильтрации грунтов, особенностей расположения водоупорных границ, где сохраняется высокий уровень надмерзлотных вод, описываются следующими вариантами режима УГВ: 1-4, 1-5, 2-4, 2-7, 2-8.

Остальные варианты рассматривают промежуточные режимы УГВ, с относительно благоприятным оттоком надмерзлотных вод в зимний период из тела насыпи, при различных вариантах режима в летний период. В результате моделирования рассматриваются все представленные режимы надмерзлотных вод в таблице 4.29 и 4.2.10 для определения влияния на температурный режим грунтов.

Характеристика температуры грунтов

Среднегодовая температура грунтов на соответствующий начальный момент прогноза задавалась по данным, полученным во время проведения инженерно-геологических изысканий на территории, которая была зарезервирована под застройку. Рассмотрены четыре варианта температуры грунтов на глубине 10 м. Для типового разрез № 1а и 2а с погруженной кровлей ММП принята температура минус 0,3 °С; для разрезов № 1б и 2б – минус 0,5 °С, минус 1,0 °С, минус 1,5 °С. Насыпные пески изначально талые, с температурой по всей высоте насыпи, равной плюс 2,0 °С.

Принятые значения температуры грунтов характерны для большей части участков. Они установлены при проведении термометрических исследований во время изысканий, выполненных институтом «Фундаментпроект» в 1999 и 2002 гг.

В задачах не учтены миграция влаги и конвективный теплообмен в грунтах. Расчетный срок составлял 30 лет. Показатели расчетных температур

грунтов после создания отсыпки с известным режимом УГВ в насыпи и глубина СТС/СМС фиксировалась на 15 октября для 5, 10, 20-го и 30-х годов после устройства насыпи. Номера решений, в зависимости от варианта УГВ в насыпи, типа грунтовой толщи, начальной температуры на глубине 10 м, мощности снежных отложений, представлены в табл. 4.2.11. Результаты представлены графически в Приложениях 1-6.

Результаты прогнозного моделирования

Для всех участков с *несливающимся* типом мерзлоты (с температурой грунта на глубине 10 м минус 0,3 °С) вне зависимости от типа инженерно-геологического разреза, высоты насыпи, снежного покрова, режима УГВ согласно результатам расчета на 30-й год температура грунта равна минус 0,2 °С, т.е. она практически не изменяется (рис. 4.2.2).

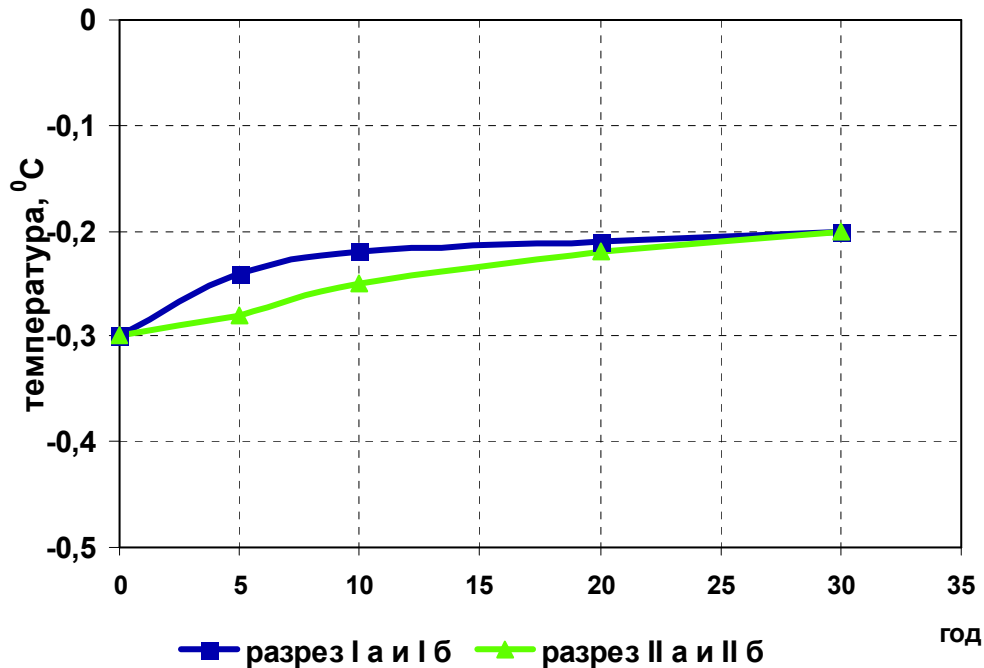


Рис. 4.2.2 Изменение температуры на глубине 10 м для участков с *несливающимся* типом мерзлоты

Результаты решения вариантов задач для участков с *несливающимся* типом мерзлоты: №№ 1-22, 129, 131, 141-143, 145, 146 (см. табл. 4.2.11) – отличаются темпом новообразования мерзлых пород. Наилучший режим УГВ для промерзания грунтовой толщи – отсутствие водонасыщенного слоя в насыпи как в летний, так и в зимний период.

На тех участках, где насыпь отсыпалась на сезонномерзлый грунт мощностью 2,0 м (апрель 1999 г, задача №144), который полностью не оттаивал в первый летний сезон и сохранялся в интервале глубин 3,1–4,0 м с учетом высоты насыпи. В дальнейшем СТС переходит в СМС, но до 10-го

года сохраняется талый прослой между подошвой СМС и «законсервированной» частью СМС, ранее существовавший на несливающейся мерзлоте. Полное смыкание мерзлых толщ происходит к 20-му году эксплуатации (рис. 4.2.3).

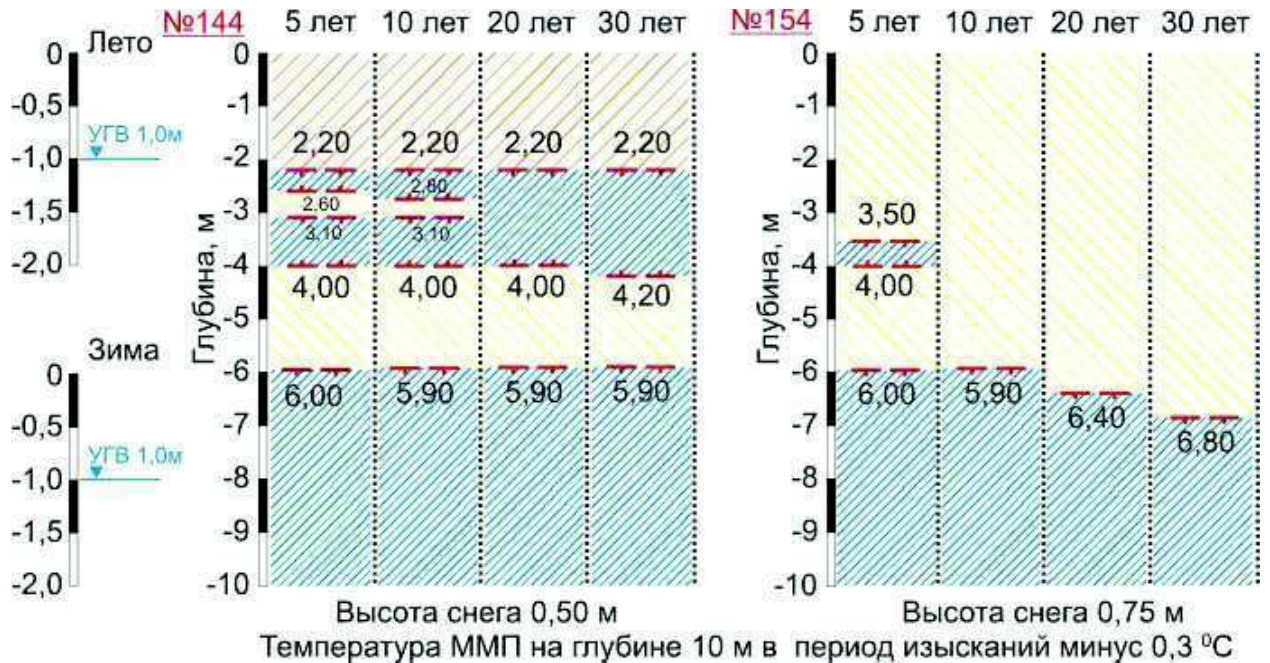


Рис. 4.2.3 Трехслойная толща ММГ при промерзании (задачи № 144 и 154)

При высоте снежного покрова 0,75 м происходит оттаивание погребенной части СМС (см. рис. 4.2.3, задача № 154). На 5-й год существования насыпи еще сохраняется мерзлый слой (мощностью 0,5 м), который к 10-му году полностью протаивает, и происходит погружение кровли ММГ до отметки 6,80 м с учетом высоты насыпи.

Для участков со сливающимся типом мерзлых пород в задачах с инженерно-геологическим разрезом по типу Iб и высотой насыпи 1,0 и 2,0 м и снега 0,50 м при всех вариантах УГВ происходит понижение температуры в разрезе по сравнению с начальными условиями. Исключения составляют решения №№ 58-62, 115-118. При данных условиях (высоте снега и УГВ) температура на глубине 10 м стремится к значению минус 1,4 °С, что соответствует начальной температуре грунтов. Минимальная температура на глубине 10 м на 30-й год существования насыпи высотой 2,0 м для инженерно-геологического разреза по типу Iб будет минус 2,3 °С (задачи

№№ 69, 89, 90, 109, 110), а максимальная – для высоты насыпи 1,0 м – минус 1,2 °С (задачи №№ 42,43). Глубина СТС для грунтов с температурой на глубине 10 м от минус 0,5 до минус 1,5 °С в насыпи высотой 1,0 м находится в интервале от 1,9 до 2,1 м, а для насыпи в 2,0 м – от 1,8 до 2,3 м, т.е. начальные значения температуры грунта не влияют на значения СТС в 30-й год эксплуатации.

При высоте снежных отложений 0,75 м для участков *со сливающимся типом* мерзлых пород в задачах при низком УГВ в летний и зимний периоды с инженерно-геологическим разрезом по типу Iб наиболее благоприятная обстановка для сохранения отрицательных значений температуры грунта в интервале от минус 0,5 до минус 1,0 °С на 30-й год существования насыпи только в задачах №№ 39, 51 (УГВ на уровне 1,0 м в летний и зимний период). В остальных случаях происходит растепление грунтовой толщи, которое сопровождается погружением кровли ММП и переходом в несливающийся тип мерзлоты. Наибольшее погружение кровли до глубины 7,5 м произойдет в задаче № 85 (рис. 4.2.4) при высоте насыпи 2,0 м, начальной температуре грунта минус 0,5 °С и УГВ в 0,5 м в летний и зимний периоды.

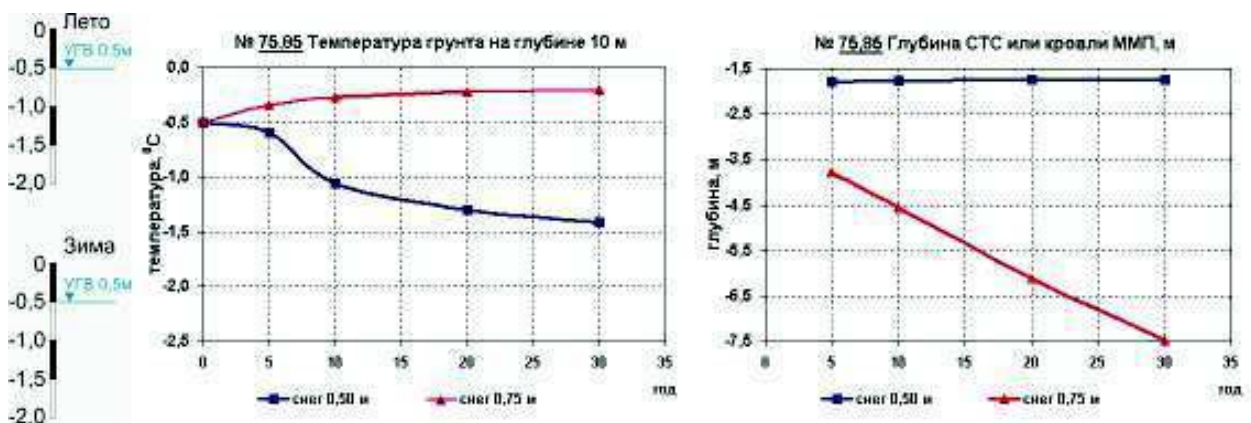


Рис. 4.2.4 Изменение температуры на глубине 10 м для инженерно-геокриологического разреза по типу Iб и изменения положения кровли ММП (задача № 75 и 85)

В инженерно-геологическом разрезе по типу IIб *со сливающимся типом* мерзлоты, для высоты насыпи 1,0 м, с начальной температурой на

глубине 10 м от минус 0,5 до минус 1,5 °С и высотой снега 0,50 м и 0,75 м для всех вариантов УГВ происходит повышение температуры по сравнению с естественными условиями, а также понижение кровли ММП (задачи №№ 162–196). Лишь в случае «сухой насыпи» (задача № 161) в летний и зимний период температура грунта понижается и на 30-й год существования насыпи будет минус 0,7 °С. Для остальных задач (№№ 162-196) среднегодовая температура грунта стремится к значению минус 0,2 °С, а кровля ММП находится в интервале от 3,0 (при высоте снега 0,50 м) до 7,9 м (при высоте 0,75 м), в зависимости от режима УГВ. Таким образом, толща мерзлых по результатам решения задач перейдет в несливающийся тип мерзлоты на 30-й год существования насыпи.

При высоте насыпи 2,0 м в инженерно-геологическом разрезе по типу Пб со *сливающимся* типом мерзлоты и высоте снега 0,50 и 0,75 м наиболее благоприятные условия для сохранения отрицательных значений температуры грунтов в задачах №№ 197-202, 217, 219, когда УГВ в летний период и зимний периоды опускается ниже 1,0 м (см. табл. 4.2.11). Минимальные значения температуры на глубине 10 м на 30-й год для этих задач находятся в интервале значений от минус 0,4 °С до минус 0,9 °С.

В остальных задачах (№№ 203-216, 218, 220-256) происходит повышение температуры грунтов (стремится к значению минус 0,2 °С) по сравнению с начальными условиями. Глубина СТС при высоте снега 0,50 м находится в интервале от 2,2 до 3,7 м, а при высоте снега в 0,75 м – положение кровли ММП в интервале от 2,8 до 6,3 м.

Сводная таблица 4.2.12 представлены значения максимальной и минимальной температуры грунтов на глубине 10 м для сливающегося типа ММП (на момент изысканий) при всех вариантах УГВ. Таблица учитывает тип инженерно-геологического разреза по значению высоты насыпи, температуры ММП на стадии изыскания и высоты снежного покрова во время эксплуатации.

Максимальная разница температуры грунтов в разрезе типа *Иб* для отсыпки высотой 1,0 м достигает 0,6–0,7 °С, для отсыпки высотой 2,0 м – 0,8–0,9 °С, при любых температурах ММП в начальный период и высоты снега 0,50 м. Для высоты снега 0,75 м и отсыпки в 1,0 м разница составляет 0,7 °С, для остальных вариантов минимальные и максимальные значения равны и составляют минус 0,2 °С.

Максимальная разница температуры грунтов в разрезе типа *Пб* для отсыпки высотой 1,0 м достигает 0,5–0,6 °С, для отсыпки высотой 2,0 м – 0,7–0,8 °С, при любых температурах ММП в начальный период и для высоты снега 0,50 м. Для высоты снега 0,75 м для всех вариантов минимальные и максимальные значения равны и составляют минус 0,2 °С.

Для сравнения прогнозных результатов по температурному режиму грунтов с натурными наблюдениями, полученными в процессе проведения мониторинга за УГВ, высотой снежного покрова и термометрическими наблюдениями, были выбраны два участка.

Первый, представлен в таблице 4.2.13, где на этапе изысканий существовал несливающийся тип ММП, который в процессе эксплуатации стал сливающимся. На 5-й год толща уже преобразовалась в сливающийся тип ММГ с температурой на глубине 10-и метров равной минус 0,7 °С в осенний период (середина сентября). На 10-й год температура грунта понизилась и достигла значений минус 2,1 °С. При этом глубина сезонноталого слоя находилась в интервале 2,4–2,7 м в зависимости от года наблюдений. Отличие от расчетных значений на 5-й год составляет плюс 0,1 °С, на 10-й – 0,9 °С (фактические данные ниже). Столь значительное отличие на 10-й год можно объяснить значительной перестройкой мерзлотно-грунтовых условий на прилегающей территории, а также большей на 0,4 м высоты насыпных грунтов, чем в расчетной области.

Второй участок (табл. 4.2.14) представляет переход из сливающегося типа ММГ в несливающийся, на участке, где высота насыпи составляет 1,2 м

Таблица 4.2.12

Максимальные и минимальные значения температуры грунта (°С) на глубине 10 м на 30–й год существования отсыпки
для всех вариантов расположения УГВ

Тип грунтового разреза	Высота насыпи, м	Темпера- тура ММП, °С	Высота снега, 0,50 м			Высота снега, 0,75 м		
			Начальная температура			Начальная температура		
			-0,5	-1,0	-1,5	-0,5	-1,0	-1,5
Iб	1,0	Min	-1,9	-1,9	-1,9	-0,9	-0,9	-1,0
		Max	-1,2	-1,2	-1,3	-0,2	-0,2	-0,3
	2,0	Min	-2,3	-2,3	-2,3	-0,2	-0,2	-0,2
		Max	-1,4	-1,4	-1,5	-0,2	-0,2	-0,2
IIб	1,0	Min	-0,7	-0,8	-0,8	-0,2	-0,2	-0,2
		Max	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
	2,0	Min	-0,9	-1,0	-1,0	-0,2	-0,2	-0,2
		Max	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2

Таблица 4.2.13

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			Летом		Зимой				5 лет		10 лет	
			Пр.*	Факт	Пр.*	Факт	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 4.2.14

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			Летом		Зимой				5 лет		10 лет	
			Пр.*	Факт	Пр.*	Факт	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

по натурным наблюдениям. За счет избыточного снегонакопления к пятому году существования отсыпки температура грунтов на отметке 10-и метров стала минус 0,8 °С, а положение кровли мерзлых грунтов опустилось до отметки 3,5 м. На 10-й год температура возросла до минус 0,7 °С, а глубина кровли ММГ опустилась до 4,0 м. Отличие прогнозных значений от фактических минимальное и составляет всего 0,1 °С.

Показанные примеры свидетельствуют, что представленная модель позволяет прогнозировать температурный режим на насыпных грунтах, достаточно точно в первые десять лет существования насыпи, при наличии соответствующих данных по мерзлотно-грунтовым условиям на стадии изысканий, а также режиму надмерзлотных вод и высоте снежных отложений в процессе эксплуатации.

Выводы

Повышение температуры грунта по сравнению с природными условиями произойдет при глубине залегания УГВ 0,3 м или 0,5 м в летний период 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, что 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:

– для насыпи высотой 1,0 м она достигает 0,6–0,7 °С для инженерно-геокриологического разреза типа Iб (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);

– для высоты насыпи 2,0 м разница достигает 0,8–0,9 °С для разреза типа Iб (высота снега 0,50 м) и 0,7–0,8 °С для разреза типа IIб (высота снега 0,5 м).

Определено, что наиболее благоприятные условия для понижения температуры грунтов под насыпью относительно начального температурного режима существуют, когда в теле насыпи в летний и зимний периоды отсутствует водонасыщенный слой грунта.

4.3 Инженерно-геокриологические процессы, сопутствующие техногенному изменению температурного режима грунтов

На территории УКПГ техногенные изменения теплообмена на поверхности грунтов приводят к развитию таких инженерно-геокриологических процессов, как пучение, тепловые осадки грунтов и другие.

Основной фактор изменения теплообмена – неравномерное перераспределение снежного покрова под влиянием ветра в условиях застройки и тепловыделения в грунт от насосных станций (см. Глава 3.1).

Динамика температуры на поверхности грунта и скорость его промерзания показывают, что условия для *морозного пучения* возникают в январе-феврале, когда замедляется движение фронта промерзания и возникают условия для миграции влаги и льдовыделения.

При возникновении замкнутых водонасыщенных объемов грунтов, расположенных между сооружениями и дорогами, создаются условия для формирования сезонных инъекционных бугров пучения.

На участках с небольшой высотой насыпи (до 1,5 м), подстилаемые суглинистыми породами, существуют условия для миграционного пучения грунтов при промерзании сезонноталого слоя.

Установлена зависимость формирования сезонных бугров пучения площадью до 40 м² при глубине залегания надмерзлотных вод менее 0,70 м от поверхности насыпи.

Проявление площадного пучения характерно для большей части насыпи без зданий с проветриваемым подпольем при расположении УГВ ниже 0,70 м от поверхности насыпи.

Влияние мощности снежных отложений на развитие процесса сезонного пучения (суммарно с влиянием уровня надмерзлотных вод в осенне-зимний период) представлено в главе 4.2. В ходе исследования и натуральных наблюдений установлено, что сезонные бугры пучения,

образующиеся на одном и том же месте, можно разделить на два типа по условию образования инъекционные и миграционные (рис. 4.3.1).

Первый тип (инъекционный) сезонных бугров пучения приурочен к участкам с большой глубиной сезонноталого слоя или на участках с погруженной кровлей ММГ:

1а) обладает литологическим водоупором под насыпью на глубине более 2,0 м;

1б) с криогенным водоупором.

Второй тип (миграционный) сезонных бугров пучения. Для них необходимо наличие водоупора в виде литологической границы на глубине менее 1,6 м от поверхности насыпи.

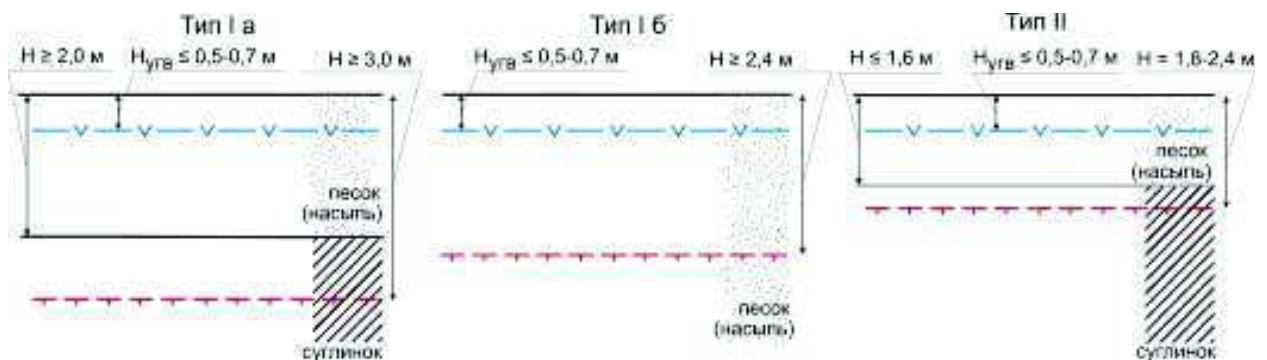


Рис. 4.3.1 Мерзлотно-грунтовые условия для образования сезонных бугров пучения в осенний период (октябрь)

В буграх пучения инъекционного типа в верхней части бугра могут образовываться характерные трещины грунта глубиной до 0,1 м и более [7]. С их помощью происходит разгрузка надмерзлотных вод и снятие напряжений в грунте, причем морфология растрескивания наблюдается сразу после схода снежного покрова (май – июнь). Высота бугра достигает 0,8 м от уровня насыпи (рис. 4.3.2) и они выше миграционных бугров пучения, высота которых не превышает 0,15 м (рис. 4.3.3).

Основной причиной возникновения бугров обоих типов является образование в зимний период защемленных объемов воды, за счет разной скорости и глубины промерзания грунта по территории УКПГ, что

определяется расположением дорог, сооружений и эстакад. Также этому способствует перераспределение снежных отложений в начальный период зимы.



Рис. 4.3.2 Инъекционный бугор пучения (тип Ib) в июне и в сентябре



Рис. 4.3.3 Миграционный бугор пучения (тип II) в июне

Опережающее промерзание под дорогами и сооружениями формирует области с непромерзшим объемом водонасыщенного песка и покровного суглинка, которые впоследствии могут образовывать сезонные бугры пучения различного генезиса. Подобная схема представлена на рис. 4.3.4.

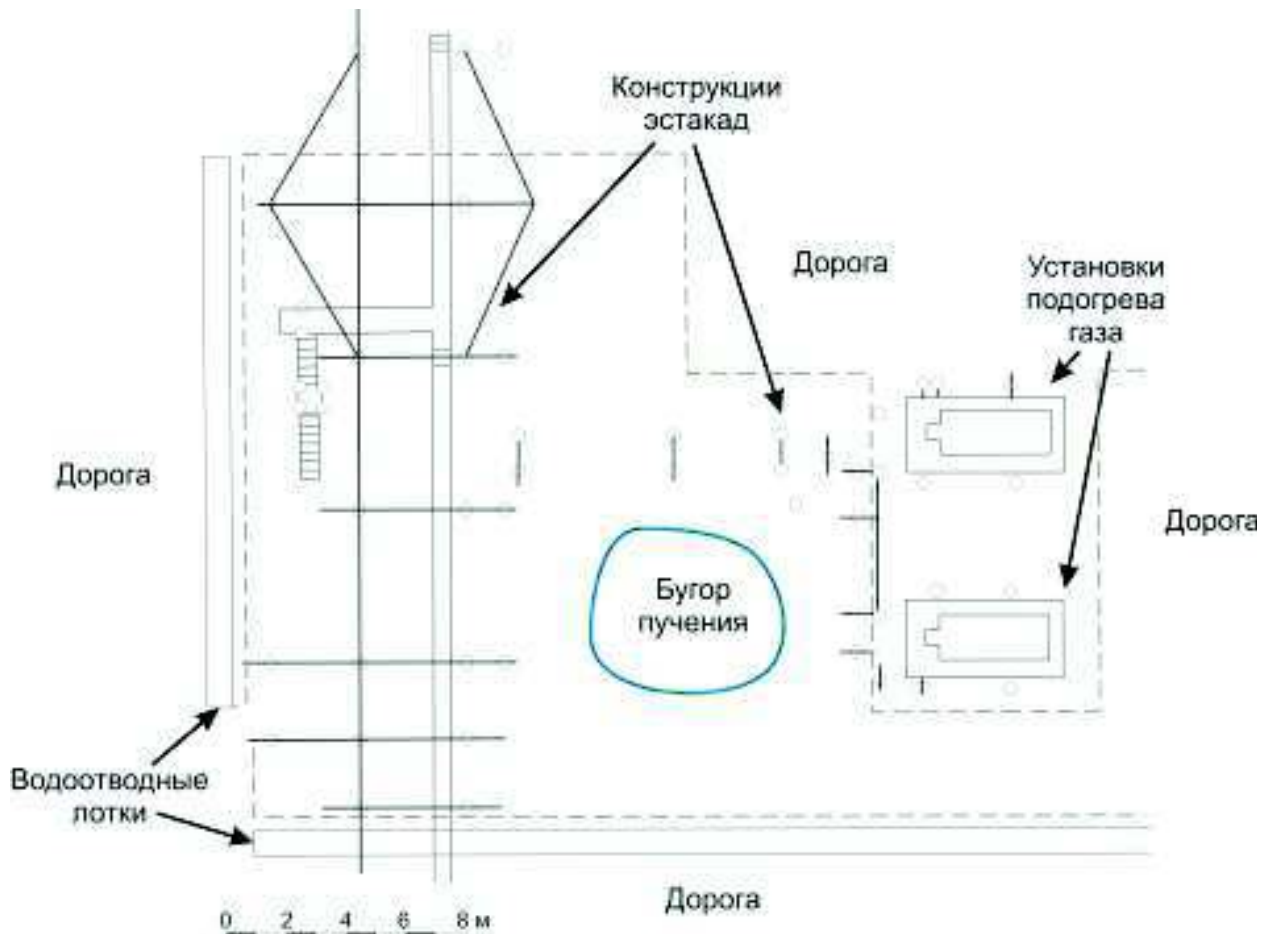


Рис. 4.3.4 Образование замкнутой области водонасыщенного песка с контуром образовавшегося сезонного бугра пучения

Рассмотрим процесс пучения под влиянием использования сезонных охлаждающих устройств на участках с несливающимся типом мерзлых грунтов. Промерзание талых грунтов при использовании СОУ и проветриваемых подполий сопровождалось пучением грунта при первом и втором цикле промораживания. Пучение было направленно не только вертикально в сторону от фронта промерзания, продвигающегося от поверхности грунта, но и фронта промерзания от работающих СОУ в горизонтальном направлении, т.е. происходило в объеме грунтового основания под влиянием двух фронтов (рис. 4.3.5).

Вокруг СОУ форма промерзающих грунтов близка к цилиндрической. В процессе промерзания «мерзлые цилиндры» постепенно смыкаются, образуя под сооружением в первом или даже втором зимнем сезоне

эксплуатации замкнутые объемы талого грунта (рис. 4.3.5 б), которые затем промерзают.

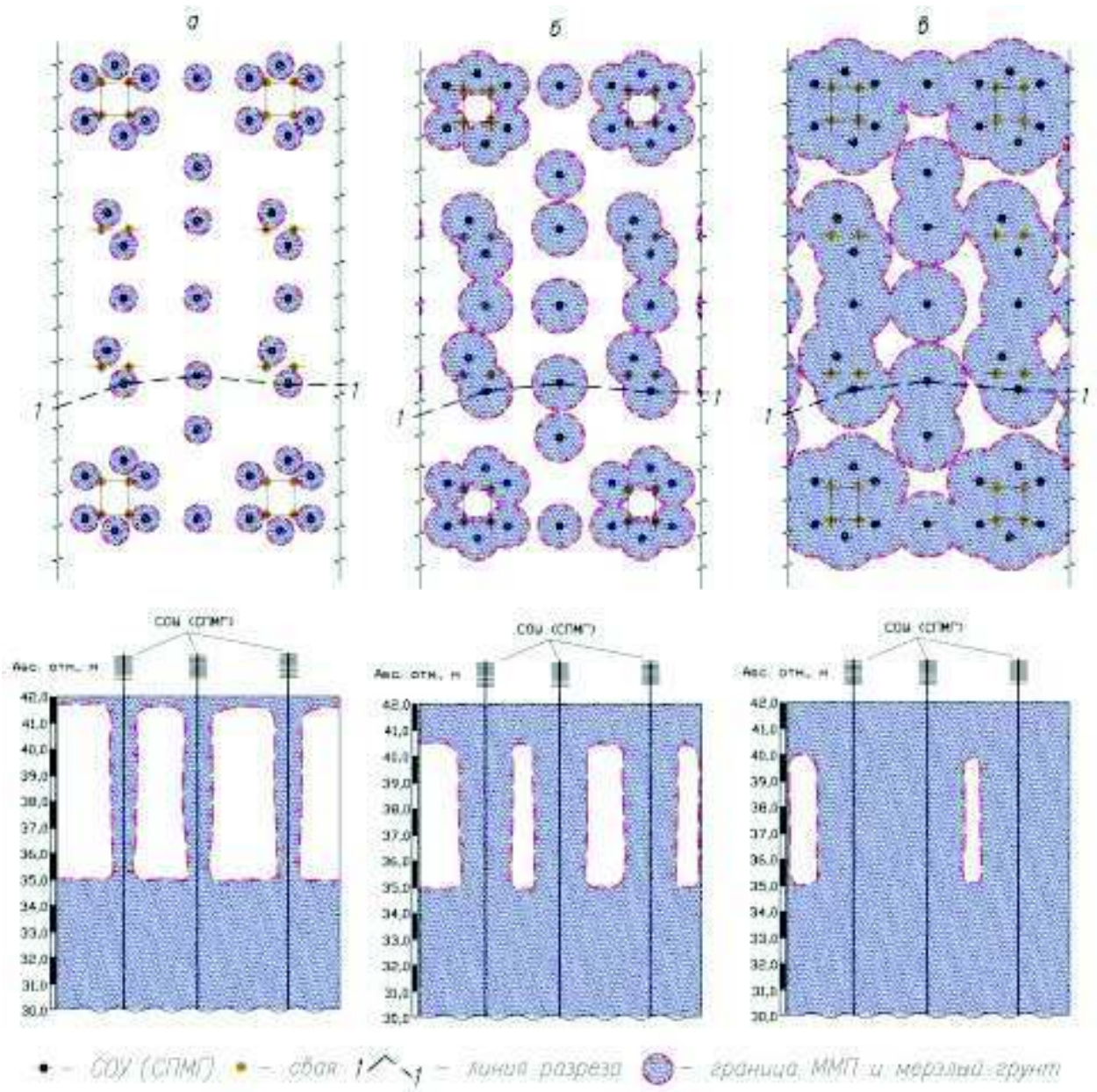


Рис. 4.3.5 Промерзание с поверхности грунта и вокруг СОУ под проветриваемым подпольем сооружения (поперечная часть сооружения, разрез в плане проходит по глубине 5 м от поверхности грунта): а) ноябрь – декабрь; б) декабрь – январь; в) январь – февраль

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 [12], направленные от центральной оси здания (в этой области фиксируются минимальные значения температуры), действующие на свайное основание. Все эти факторы привели к отклонению от вертикали свай (диаметр свай составлял 219 и 273 мм) и разрывам по сварным швам в ростверках (рис. 4.3.6).

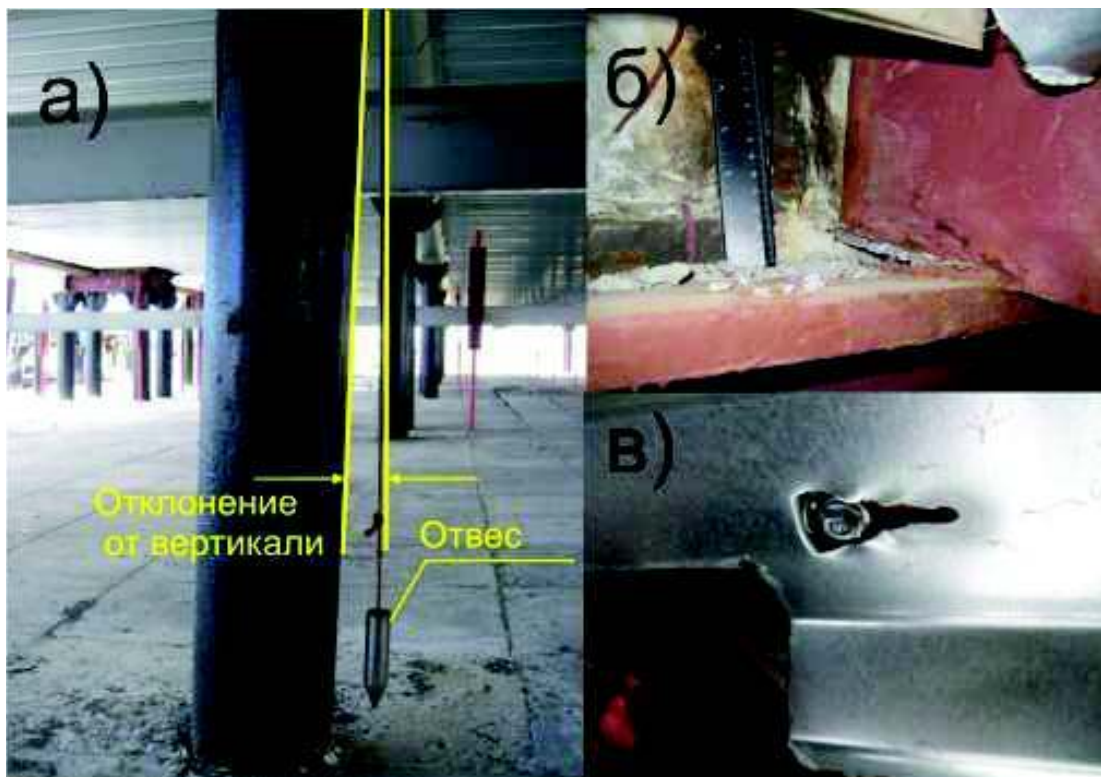


Рис. 4.3.6 Признаки движения и напряженного состояния конструкций при пучении грунтов свайного основания: а) отклонение от вертикали свай; б) разрыв сварных швов в ростверке; в) след подвижки основания крепи профнастила

Отсутствие аналитических решений для расчета пучения под воздействием двух перпендикулярных фронтов промерзания не дает возможности в полной мере спрогнозировать поведение грунтов в основании сооружений при использовании проветриваемых подполий и СОУ. При

оценке подобной ситуации на вновь вводимых объектах следует уделять внимание изучению уже имеющегося опыта эксплуатации подобных объектов, а также проведению геокриологического мониторинга оснований сооружений.

Еще одним криогенным процессом, наблюдаемым на насыпных грунтах, – *наледообразование*. Источником питания наледей являются воды сезонноталого слоя и несквозных таликов. Территориально наледи формируются на двух участках: 1) вблизи тепловыделяющих заглубленных в грунт сооружений (насосные станции); 2) вдоль водоотводных лотков, – при возникновении подходящих условий во время сезонного промерзания и развития гидростатического и гидродинамического давлений.

Согласно классификаций наледей по площади и объему Толстихина О.Н. [27], они относятся к очень малым (площадь до 1000 м^2 , объем до 2000 м^3). Таяние наледей на территории УКПГ происходит на 3–7 дней позже, чем снежного покрова, в зависимости от объема льда и установившейся положительной температуры воздуха. Площадь, занимаемая наледью в весенний период, хорошо фиксируется на насыпных грунтах или искусственных покрытиях, которые приобретают характерный ржавый цвет, т.к. воды сезонноталого слоя обогащены железом и органикой (рис. 4.3.7; 4.3.8).



Рис. 4.3.7 След ржавого цвета от наледи вблизи водоотводных лотков (май)



Рис. 4.3.8 След ржавого цвета от наледи вблизи насосной станции (май)

Избыточное обводнение. Этот процесс развивался на участках, где осуществлялся перехват или подпор надмерзлотных вод за счет расположения в полосе стока относительно протяженных в плане сооружений (эстакад с СОУ, здания с проветриваемыми подпольями). Происходило увеличение мощности водонасыщенных грунтов насыпи, уровень грунтовых вод находился близко к дневной поверхности (менее 0,5 м). Для этих участков также характерно повышенная снегозаносимость (высота снега около 1,0 м и более), что в период снеготаяния дополнительно увеличивало влажность грунта и в дальнейшем приводило к формированию временных водоемов (глубиной до 0,5 м) на поверхности насыпи. В дальнейшем на этой территории начинали развиваться травяно-моховые растительные ассоциации, иногда с кустарниками ивняка (рис. 4.3.9).

Температура мерзлых грунтов на подобных участках становилась высокой (не ниже минус 1,0 °С) относительно окружающей территории, иногда наблюдалось погружение кровли ММГ до глубины 5,0 м, по данным термометрии.



Рис. 4.3.9 Участок насыпи, подвергшийся избыточному обводнению

Еще один распространенный процесс, проявляющийся при изменении температурного режима на застроенной территории – *тепловая осадка* оттаивающих льдистых грунтов, сопровождающаяся неглубокими термокарстовыми просадками поверхности. Основными причинами их развития на месторождении являются избыточное снегонакопление и тепловыделение от насосных станций без достаточной конструкции теплоизоляции.

Пример оттаивания во времени грунтов основания под влиянием избыточной мощности снежных отложений вдоль технологической эстакады представлен на рис. 4.3.10. По проекту данная эстакада не оборудовалась СОУ в связи с благоприятными инженерно-геологическими условиями: температура грунтов на глубине 10 м до момента строительства была равна минус 1,5 °С. Конструктивные особенности эстакады не позволяют технологически проводить мероприятия по удалению снежного покрова, рекомендованные проектом. В течение всего периода эксплуатации ежегодно

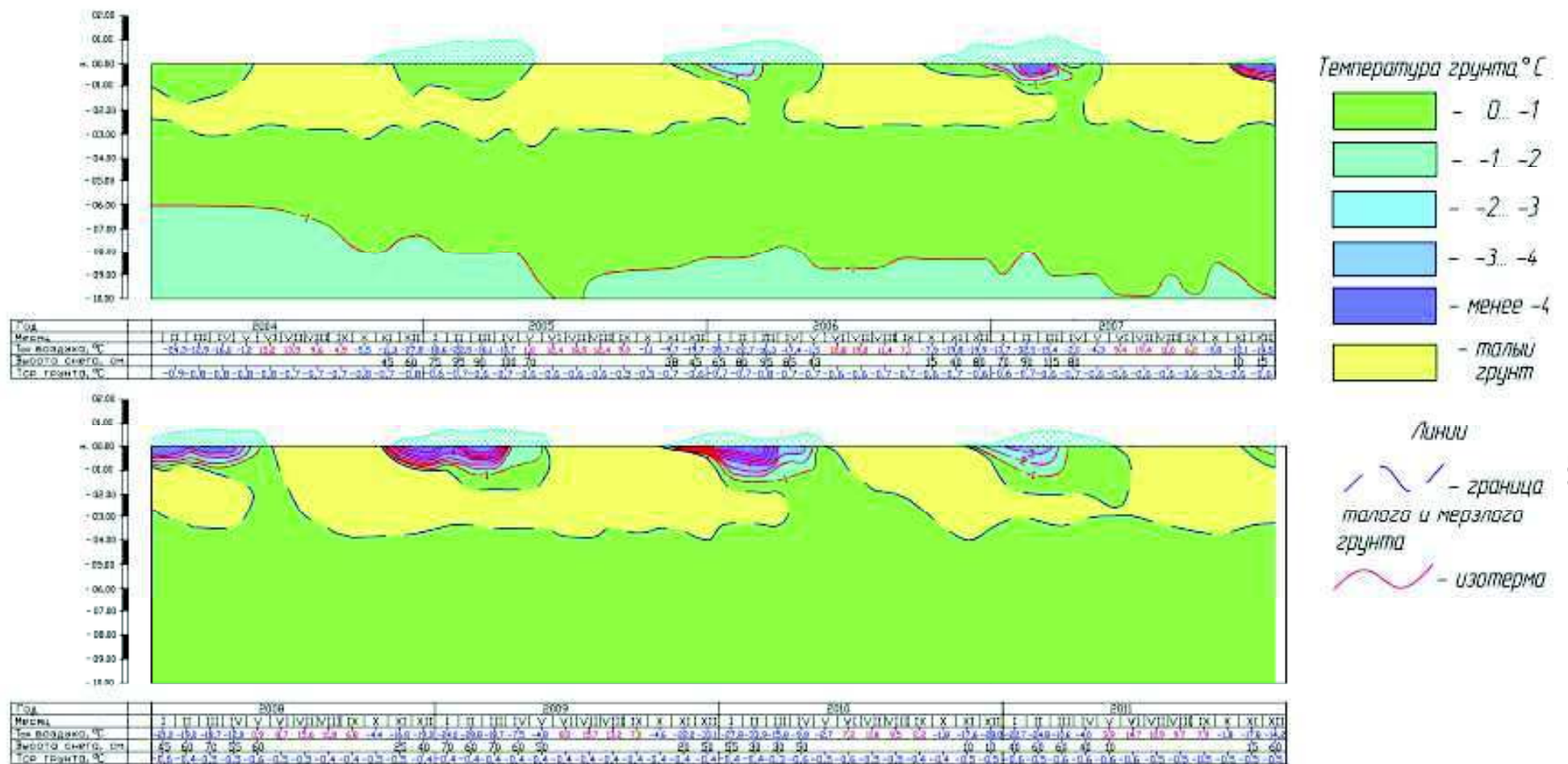


Рис. 4.3.10 Изменение температуры грунтов в термоскважине, расположенной в основании эстакады заносимой снегом без использования СОУ

формировался снежный занос высотой до 1,2 м, что привело к постепенному повышению среднегодовой температуры грунтов (на 5-й год существования эстакады в 2007 году температура мерзлого грунта стала выше минус 1°С) и понижению кровли ММП до отметок 3,5–3,8 м. по обе стороны от эстакады на расстоянии 7–10 м от наблюдательной термоскважины и образованию несливающегося типа мерзлых пород. На 11-й год эксплуатации наблюдается относительная стабилизация значения температуры грунта на глубине 10 м в интервале от минус 0,7 °С до минус 0,9 °С, которая зависит от качества уборки снежных отложений на прилегающей территории и температуры воздуха в зимний период. За десятилетний период существования эстакады тепловая осадка, за счет вытаивания льда составила 0,15–0,20 м. В целом на данном участке сформировались благоприятные условия для пучения свайных оснований.

Образование термокарстовых просадок под тепловыделяющими конструкциями характерно для существующих насосных станций, в которых приемный бункер (объемом около 5 м³) заглублен в грунт до отметки 4,5 м от поверхности грунта (рис. 4.3.11). Предусмотренное проектом использование СОУ для термостабилизации грунта оказалось недостаточным, вследствие чего произошло оттаивание до глубины 7,0 м вокруг сооружения на расстоянии 5–6 м (табл. 4.3.1).

Процесс оттаивания грунта сопровождался просадками (до 0,5 м), разрушением отмосток, перекосом лестничных маршей. Это потребовало проведения дополнительной отсыпки на вокруг сооружения и выполнения аварийно-восстановительных работ на конструкциях насосной. По территории УКПГ подобные сооружения расположены точечно, и область воздействия данного процесса затрагивает участок радиусом 10–12 м, в котором зачастую оказываются основания эстакад коммуникаций.

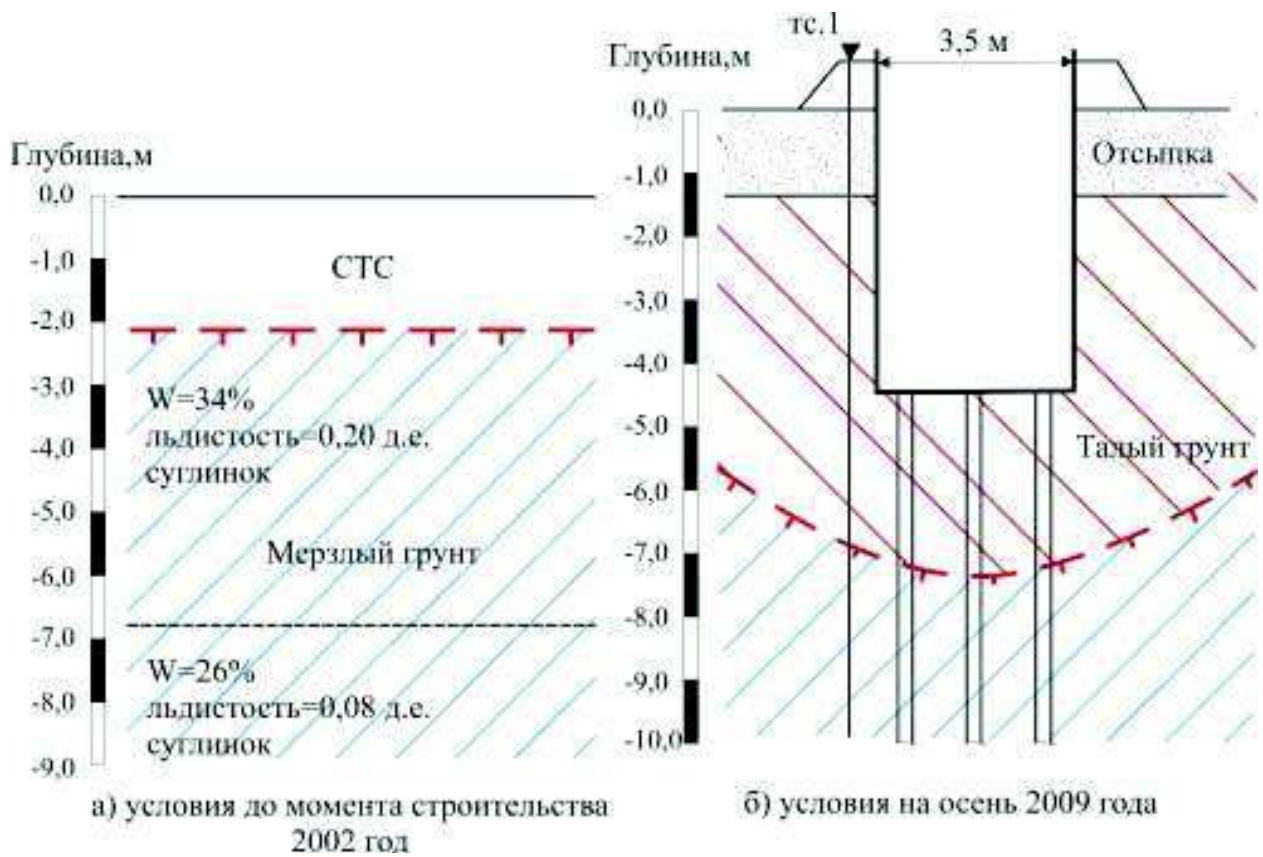


Рис. 4.3.11 Оттаивание грунтов оснований под тепловыделяющей насосной станцией

Таблица 4.3.1

Изменение температуры грунтов при тепловыделении от насосной станции
(по данным термоскважины тс. 1)

Глубина, м										Дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
9,2	7,9	5,4	2,6	0,1	-0,3	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	22.09.2005
9,0	8,8	7,0	8,4	2,2	0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,6	18.09.2006
7,4	6,4	4,0	1,4	0,0	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,8	20.09.2007
7,7	7,1	4,4	2,2	0,3	-0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,7	18.09.2008
8,4	7,6	4,6	2,5	1,0	0,0	0,0	-0,5	-0,4	-0,5	17.09.2009
4,3	4,0	2,3	1,4	0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	20.09.2010

Выводы

Развитие процесса термокарста, образования сезонных пучинистых форм рельефа, проявление наледей и избыточного обводнения связаны с перераспределением снежного покрова на застроенной территории объекта, с режимом вод сезонноталого слоя насыпи и составом и льдистости мерзлых грунтов.

Использование избыточного количества СОУ может создавать условия для пучения во всем объеме грунтового основания сооружения, приводящего к искривлению несущих свай фундамента.

Образование термокарстовых просадок при наличии льдистых грунтов на застроенной территории могут быть связаны с недостаточной теплоизоляции тепловыделяющих сооружений (КНС, дренажные емкости и т.п.). Если понизить температуру транспортируемой и перекачиваемой жидкости нельзя, то при проектировании объектов на территории УКПГ следует максимально использовать надземную прокладку. В тех случаях, когда в связи с технологической необходимостью это реализовать невозможно, подобные сооружения необходимо выполнять в каре, защищенном от жидких и твердых атмосферных осадков, при этом каре 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

I. Выявлены и натурно доказаны закономерности изменения температурного режима на застроенной территории в процессе эксплуатации.

– В условиях Заполярного месторождения для сохранения несущей способности основания эстакад использование охлаждающих устройств позволяет понижать температуру грунтов на глубине 10 м в течение восьми лет с 0 до минус 2,3 °С на расстоянии 0,3 м от СОУ и до минус 1,6 °С на расстоянии 1,0 м.

– Термостабилизация грунтов под цехами (площадью до 2 100 м²) осуществляется при условии использования либо проветриваемого подполья, либо проветриваемого подполья совместно с СОУ.

– Экспериментально выявлено, что для эффективного промораживания сезонно-талого слоя и охлаждения грунтов до проектных значений температуры в основании требуется зачистка снега на территории с плотной застройкой. Допускается сохранение снежного покрова высотой до 0,4 м.

– Преобразование температурного режима происходит на естественных высокотемпературных мерзлых грунтах, 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.

II. Получены основные характеристики температурного режима в зависимости от влияния уровня надмерзлотных вод и мощности водонасыщенного слоя в насыпи.

– Доказано, что отсутствие в теле насыпи водонасыщенного грунта в летний и зимний периоды является наиболее благоприятным условием для понижения температуры грунтов, а неблагоприятным оказывается глубина надмерзлотных вод в интервале 0,3–0,5 м от поверхности грунта.

– Определено, что высота снежного покрова в 0,75 м препятствует охлаждению грунтов при всех вариантах УГВ. Температура грунта на глубине 10 м в этом случае стремится к значению минус 0,2 °С, вне зависимости от высоты насыпи и типа грунтовой толщи.

– Установлено, что разница температуры грунтов на глубине 10 м на 30-й год находится в интервале от 0,5 до 0,7 °С для насыпи высотой 1,0 м, а для насыпи высотой 2,0 м – в интервале 0,7–0,9 °С, в зависимости от положения надмерзлотных вод в летний и зимний периоды.

III. В ходе полевых работ были проведены режимные наблюдения за уровнем надмерзлотных вод в насыпных песчаных грунтах. Динамика уровня надмерзлотных вод и мощность водонасыщенного слоя зависят от природных условий (рельеф, состав грунта, скорость промерзания и др.) и мощности насыпи, расположения инженерных объектов, глубины СТС.

– Установлено, что наличие дренажной системы не позволяет в предзимний сезон полностью отвести воду из насыпи, особенно в центральной части. Выявлено, что в октябре-декабре при промерзании отсыпки из песчаного материала продолжается перераспределение надмерзлотных вод по площади и разрезу вследствие различий глубины СТС и скорости промораживания грунта, зависящей от высоты снежного покрова.

– Использование избыточного количества СОУ в проветриваемом подполье при промерзании талого грунта на участках с несливающимся типом мерзлых пород приводит к распучиванию водонасыщенных грунтов в закрытых системах.

– Получены данные, которые позволяют выделить участки с различным типом пучения (инъекционный и миграционный). Выявлено, что благоприятным условием для образования сезонных бугров пучения являются надувы снега, которые формируются к середине декабря с высотой снежных отложений от 0,5 м и более.

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

Литература

- 1 Баулин В.В. Геолого-тектонические и палеогеографические закономерности формирования многолетнемерзлых пород молодых платформ (На примере Западной Сибири), Автореф. докт. дисс. М.: МГУ, 1979. 44 с.
- 2 Булдович С.И., Гарагуля Л.С., Оспенников Е.Н. Опыт проведения инженерно-геокриологического мониторинга на Ямсовейском газоконденсатном месторождении на севере Западной Сибири // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. - 1998. - №6 – с.33 – 40
- 3 Булдович С.И., Афанасенко В.Е., Гарагуля Л.С., Оспенников Е.Н. Феномен влияния условий обводнения на геокриологические условия промышленных площадок Западной Сибири // Материалы Международной конференции «Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты». Пущино: 2002. с.103 – 104
- 4 Гарагуля Л.С., Пармузин С.Ю. Методика оценки мерзлотной обстановки для ранних стадий проектирования наземных сооружений // Инженерная геология. – 1982. - №4 – с.98 – 107
- 5 Геокриологические исследования. Труды ВСЕГИНГЕО выпуск 87. М.: 1975. 144 с.
- 6 Геокриология СССР. Западная Сибирь // Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
- 7 Геворкян С.Г., Корейша М.М. 1992. Взрывы бугров пучения // Материалы гляциологических исследований, вып.77, с. 120–129.
- 8 ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация. М.: Госкомитет по делам строительства, 1995. 30 с.
- 9 ГОСТ 25358-82 Грунты. Метод полевого определения температуры. М.: Госком СССР по делам строительства, 1982. 14 с.

- 10 ГОСТ 26262-84 Грунты. Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания. М.: Госкомитет СССР по делам строительства, 1984. 6 с.
- 11 ГОСТ 9.602-89 Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. М.: Госком СССР по стандартам, 1989.
- 12 Гречищев С.Е., Шешин Ю.Б. Развитие некоторых криогенных физико-геологических процессов в основании северных аэродромов // Сб. науч. тр./ВНИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова, НТБ Геотехника; Под ред. Ю.К. Зарецкого. М.: Стройиздат, 1990.- 272 с.
- 13 Кругликов Н.М., Нелюбим В.В., Яковлев О.Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного межбассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л.: Недра, 1985. 279 с.
- 14 Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: дисс. д-ра геол.-мин. наук: 25.00.36 / Дроздов Дмитрий Степанович. – Тюмень, 2004. – 409 с.
- 15 Дубиков Г.И. Инженерно-геологическое значение исследования криогенного строения многолетнемерзлых пород Западной Сибири // Материалы науч.-техн. Конференции ПНИИИСа. М.: 1965.
- 16 Ивлев А.Ю. Изучение динамики температурного режима грунтов для оценки устойчивости оснований газовых промыслов в криолитозоне Западной Сибири // Методы изучения термического режима грунтов криолитозоны. Сб. науч. трудов ВСЕГИНГЕО. – М., 1989. с.66 - 73
- 17 Инженерная геокриология. Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1991, 438 с
- 18 Кудрявцев В.А. и др. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. М.: Наука, 1974. 431 с.
- 19 Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г и др. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. Новосибирск.: Наука. Сиб. отд.-ние, 1983. 165 с.

- 20 Мельников Е.С. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов // Под ред. Е.С. Мельникова (ч. I, III) и С.Е. Гречищева (ч. II, III, IV). М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
- 21 Мерзлотоведение (краткий курс). Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во МГУ. 1981. 240 с.
- 22 Мерзлотные исследования. Сборник статей. Выпуск 15. Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во МГУ. 1976. 256 с.
- 23 Методика контроля технического состояния эксплуатационных скважин // ОАО «Газпром», ООО ВНИИГАЗ. – М.: 2001. 69с.
- 24 Методика мерзлотной съемки. Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: МГУ. 1979. 358 с.
- 25 Надымгазпром: геотехномониторинг в криолитозоне. Авт. коллектив Ремизов В.В., Кононов В.И., Березняков А.Л., Глухенький А.Г., Демин В.М., Михайлов Н.В., Осокин А.Б., Попов А.П., Решетников П.Л., Смолов Г.К.. М.: ИРЦ Газпром, 2001. Илл. 106. Табл. 5. Прил.1. 148 с
- 26 Общая геокриология. Учебник. М.: МГУ, 2002. 682 с.
- 27 Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология // Под ред. Э.Д.Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с.
- 28 Особенности производства инженерно-геологических изысканий. Мерзлотно-геологическое районирование // Материалы секции оснований и фундаментов, том VI вып. 4. V Всесоюзное совещание-семинар по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях Тюмень октябрь 1968 года. Красноярск: Красноярский ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ, 1968. 124 с.
- 29 Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. Криолитология. М.: Изд-во МГУ, 1985. 239 с.
- 30 Попов И.В. Инженерная геология СССР. Урал, Западная Сибирь. Ч. III. М.: МГУ. 1969. 386 с.

- 31 Расчеты мелиорации грунтов в криолитозоне. Методические разработки по курсу «Основы геотехники в криолитозоне» // Под ред. Л.Н.Хрусталева. М.: Изд-во МГУ, 1992. 52 с.
- 32 Рязанов А.В. Динамика инженерно-геокриологических условий при возведении планировочных насыпей (на примере Заполярного газонефтеконденсатного месторождения) // дисс. канд. геол.-мин. наук – М.; 2001. 143с.
- 33 Региональные стратиграфические схемы мезозойских отложений Западно-Сибирской равнины // V Межведомственное региональное стратиграфическое совещание. Тюмень, 1991.
- 34 Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах // НИИОСП им. Герсеванова Госстроя СССР. М.:Стройиздат, 1980. 303 с.
- 35 Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах // НИИОСП им. Герсеванова Госстроя СССР. М.:Стройиздат, 1979. 39 с.
- 36 СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М., ЦИТП Госстроя СССР, 1990, 56 с.
- 37 СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. М.:1985.
- 38 СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.; 2000. 65 с.
- 39 СТО Газпром 2-3.1-071-2006 «Регламент организации работ по геотехническому мониторингу объектов газового комплекса в криолитозоне»
- 40 СТО Газпром 2-3.1-072-2006 «Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне»
- 41 Тектоническая карта мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы. Под ред. Нестерова И.И. и др., 1992.

- 42 Трофимов В.Т., Бадун Ю.Б., Дубиков Г.И. Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. М.; Изд-во МГУ, 1980. 246 с.
- 43 Хрусталева Л.Н. Температурный режим вечноммерзлых грунтов на застроенной территории. М.; Наука, 1971. 167 с.
- 44 Хрусталева Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне. М.; 2005. 541 с.
- 45 Хрусталева Л.Н., Емельянов М.В., Пустовойт Г.П., Яковлев С.В. Программа расчета теплового взаимодействия инженерных сооружений с вечноммерзлыми грунтами «WARM». Свидетельство № 940281. М.: РосАПО, 1994
- 46 Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высш. школа, 1973. 446 с.
- 47 Hayley D.W. Application of heat pipes to design of shallow foundations on permafrost / Proceedings of the fourth (4th) Canadian permafrost. Calgary, Alberta. Canada. 1981. p. 535-544
- 48 Zarling J.P., Hansen P., Kosizek L. Design and performance experience of foundations stabilized with thermosyphons / Proceedings of the fifth Canadian permafrost. Collection Nordicana No54, University Laval, Canada. 1990. p 365-370
- 49 Piyush Sabharwall. Engineering design elements of a two-phase thermosyphon to transfer NGNP thermal energy to a hydrogen plant / Idaho National Laboratory, USA. 2009. 125 p.
- 50 Миротвой центр данных по метеорологии. Электронный ресурс. / Архив среднемесячных значений температуры воздуха. Режим доступа <http://www.meteo.ru/mcd/meteo/tdata.dat>, свободный.
- 51 ООО «Расписание погоды». Электронный ресурс. / Архив погоды в Тазовском. Режим доступа http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Тазовском, свободный

- 52 ООО «Старый дом». Электронный ресурс. / Программа TermoStab Universal. Режим доступа <http://ouoldhome.ru/index.php/termostab>, свободный.

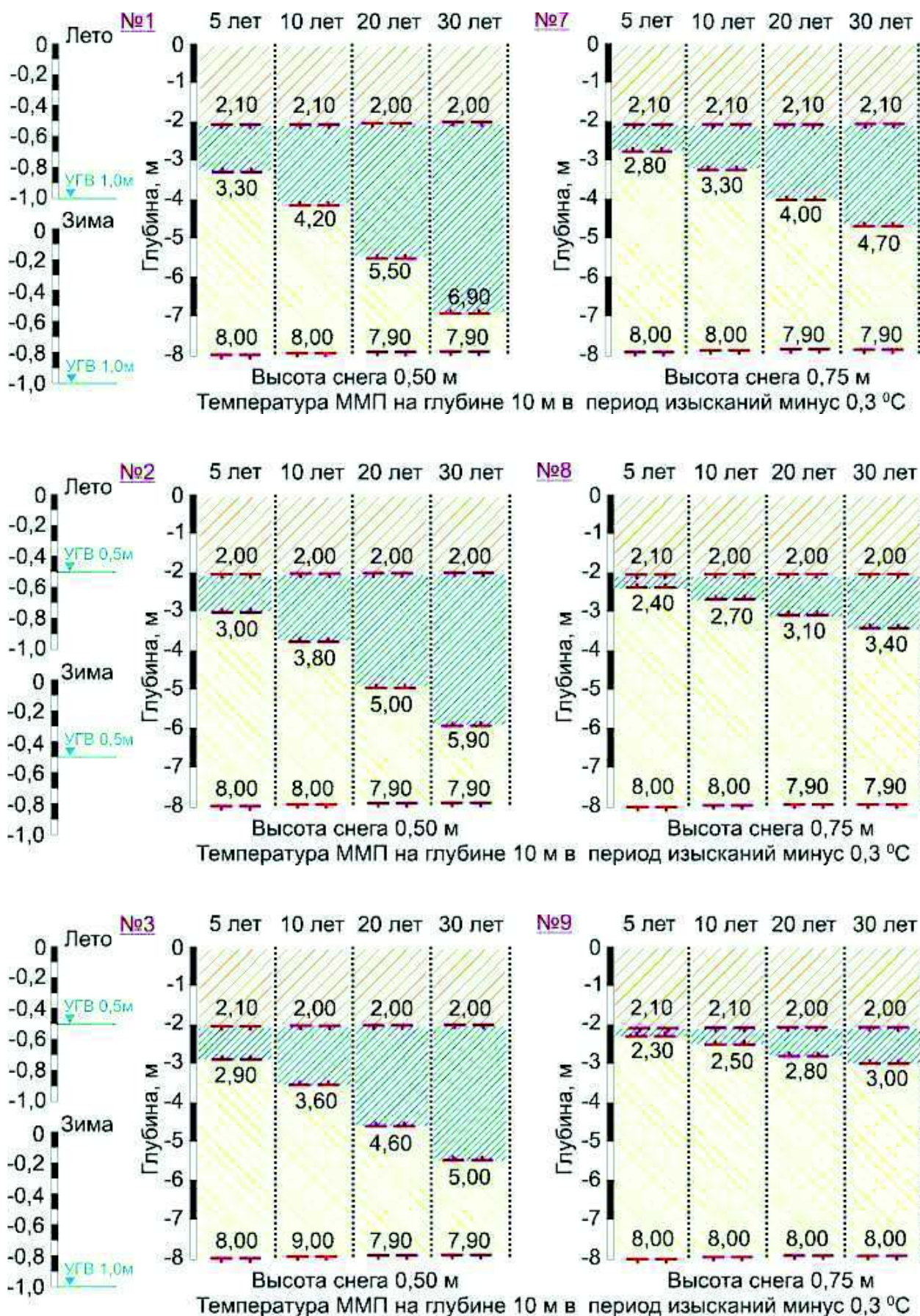
Фондовая литература

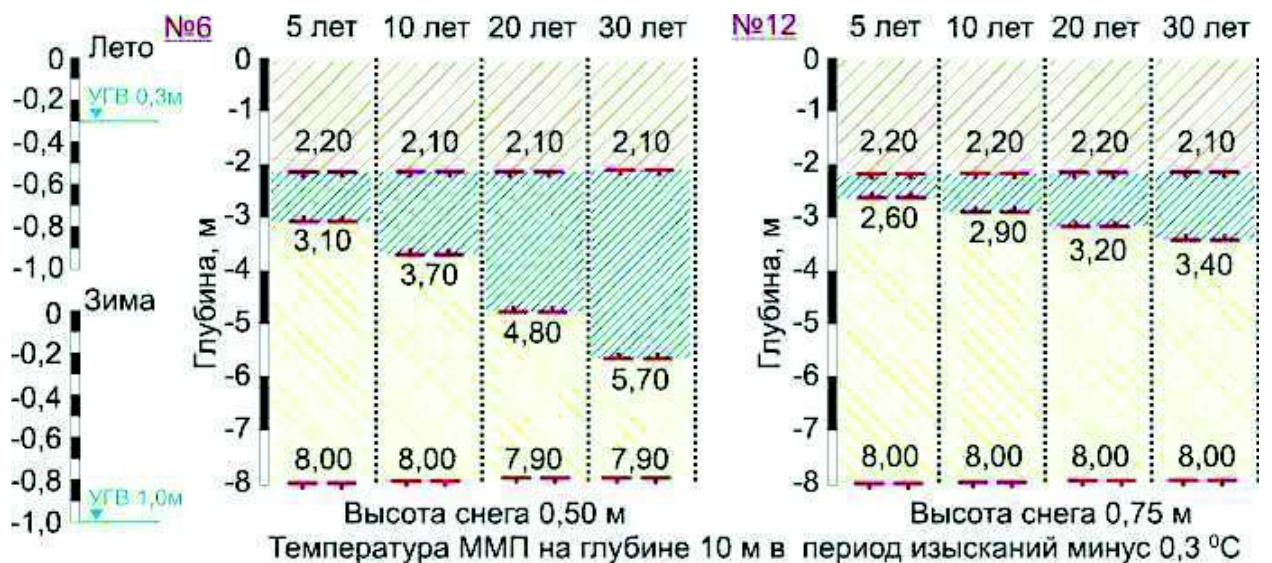
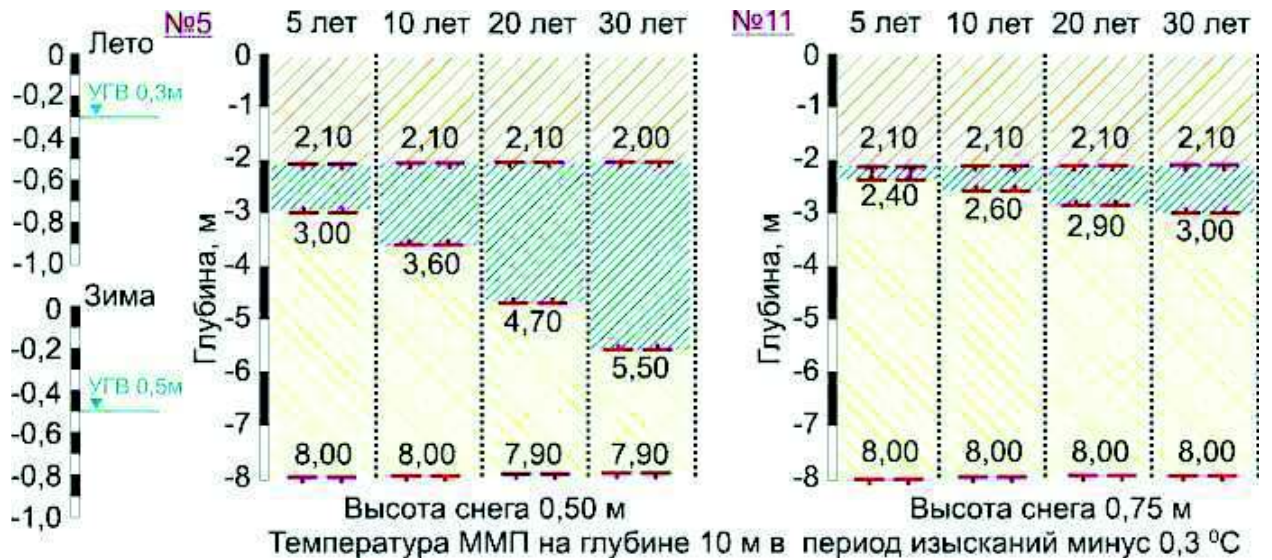
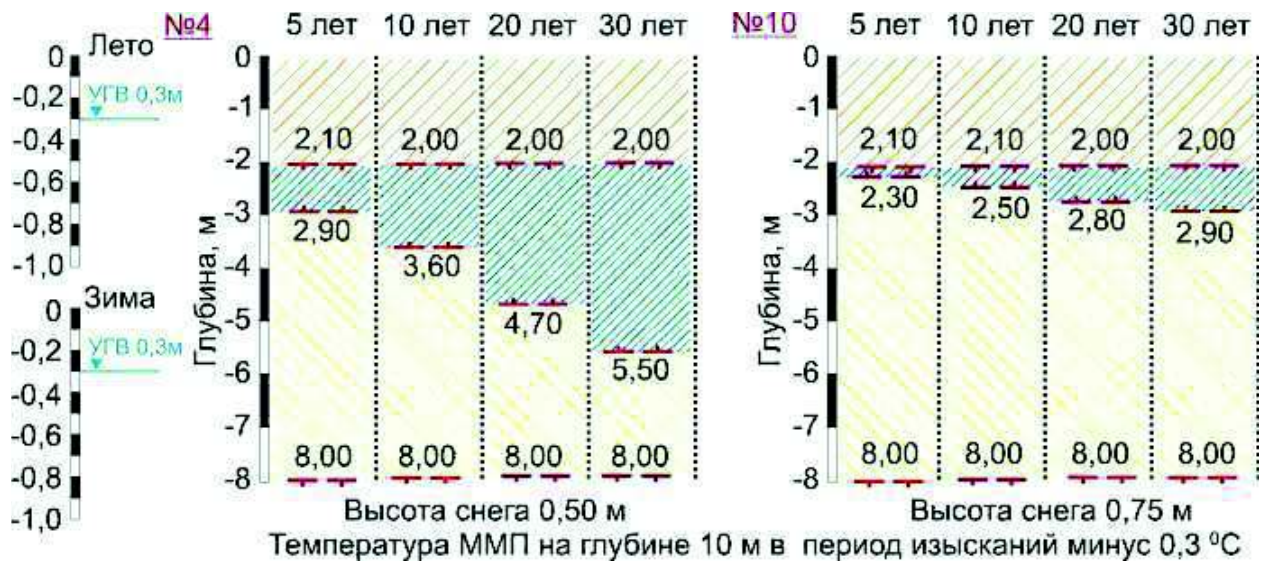
- 53 Отчет о мерзлотных инженерно-геологических изысканиях на площадке КОС промбазы на полное развитие Заполярного ГНКМ. М.: ФГУП Фундаментпроект, 1999.
- 54 Отчет о мерзлотных инженерно-геологических изысканиях на площадках строительства УКПГ-1С Заполярного НГКМ. Стадия – рабочая документация. М.: ФГУП Фундаментпроект, 1995.
- 55 Отчет. Об инженерно-геокриологических изысканиях на площадке УКПГ-2С Заполярного ГНКМ. Стадия – рабочая документация. М.: ФГУП Фундаментпроект, 1999.
- 56 Отчет о мерзлотных инженерно-геологических изысканиях. Заполярное ГНКМ. Стадия – рабочая документация. УКПГ-3С М.: ФГУП Фундаментпроект, 2002.
- 57 Отчет. Исследование физико-механических и теплофизических свойств мерзлых грунтов оснований площадки УКПГ-1В Заполярного НГКМ (стадия РД). М.: ФГУП Фундаментпроект, 2007.
- 58 Отчет. Исследование физико-механических и теплофизических свойств мерзлых грунтов оснований площадки УКПГ-2В Заполярного НГКМ (стадия РД). М.: ФГУП Фундаментпроект, 2007.
- 59 Отчет. Мерзлотные инженерно-геологические изыскания на площадке УКПГ-2В ЗНГКМ. Стадия – рабочая документация. М.: ФГУП Фундаментпроект, 2007.
- 60 Отчет о дополнительных мерзлотных инженерно-геологических изысканиях. Площадка нефтебазы и базы метанола Заполярного НГКМ. М.: ФГУП Фундаментпроект, 2005.

- 61 Отчет по научно-техническому сопровождению проектирования и строительства оснований и фундаментов Заполярного ГНКМ. Раздел 5. Экспериментальная проверка и внедрение новых технических решений и способов устройства оснований и фундаментов на объектах ЗГНКМ. Этапы 5.1, 5.2 Создание и отработка на опытном полигоне новых технических решений и способов устройства оснований и фундаментов. М.: ФГУП Фундаментпроект, 2004
- 62 Отчет по научно-техническому сопровождению проектирования и строительства оснований и фундаментов Заполярного ГНКМ. Раздел 5. Экспериментальная проверка и внедрение новых технических решений и способов устройства оснований и фундаментов на объектах ЗГНКМ. Этапы 5.3, 5.4 Анализ технических решений оснований и фундаментов и их реализации при строительстве УКПГ-1С, УКПГ-2С, УКПГ-3С ЗГНКМ. М.: ФГУП Фундаментпроект, 2004
- 63 Выполнение мерзлотных инженерно-геологических и геофизических изысканий, составление прогноза влияния техногенных нагрузок на состояние геологической среды по площадкам УКПГ-1В и УКПГ-2В Заполярного ГНКМ и зона влияния. Книга 1 – 4. М.: ФГУП Фундаментпроект, 2007.
- 64 Расширение обустройства сеноманской залежи Заполярного НГКМ. Комплексные инженерные изыскания на стадии проект. Технический отчет по инженерным изысканиям. Книга 1.1. Саратов: ОАО ВНИПИгаздобыча, 2008.
- 65 Подсчет запасов нефти, газа и конденсата Заполярного месторождения Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области по состоянию на 1.04.1987 [Текст]: Отчет о НИР // Главтюменьгеология; руководители Панов С.Ф., Ахияров В.Х. – г. Тюмень, 1987.

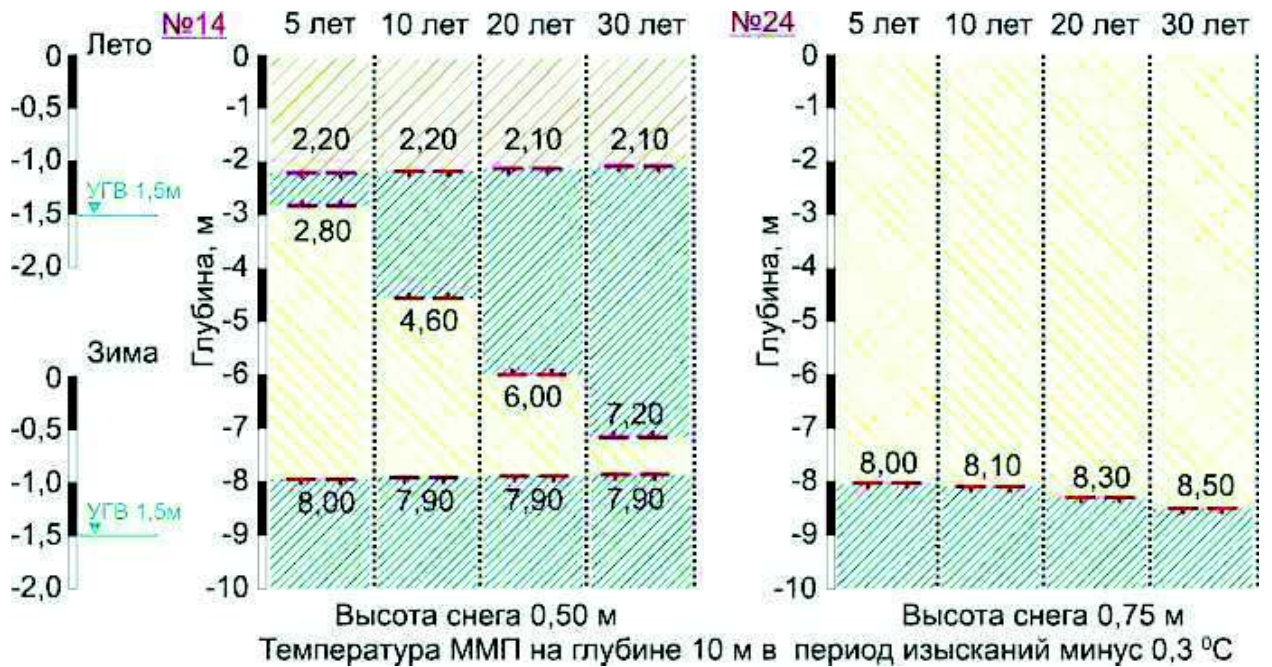
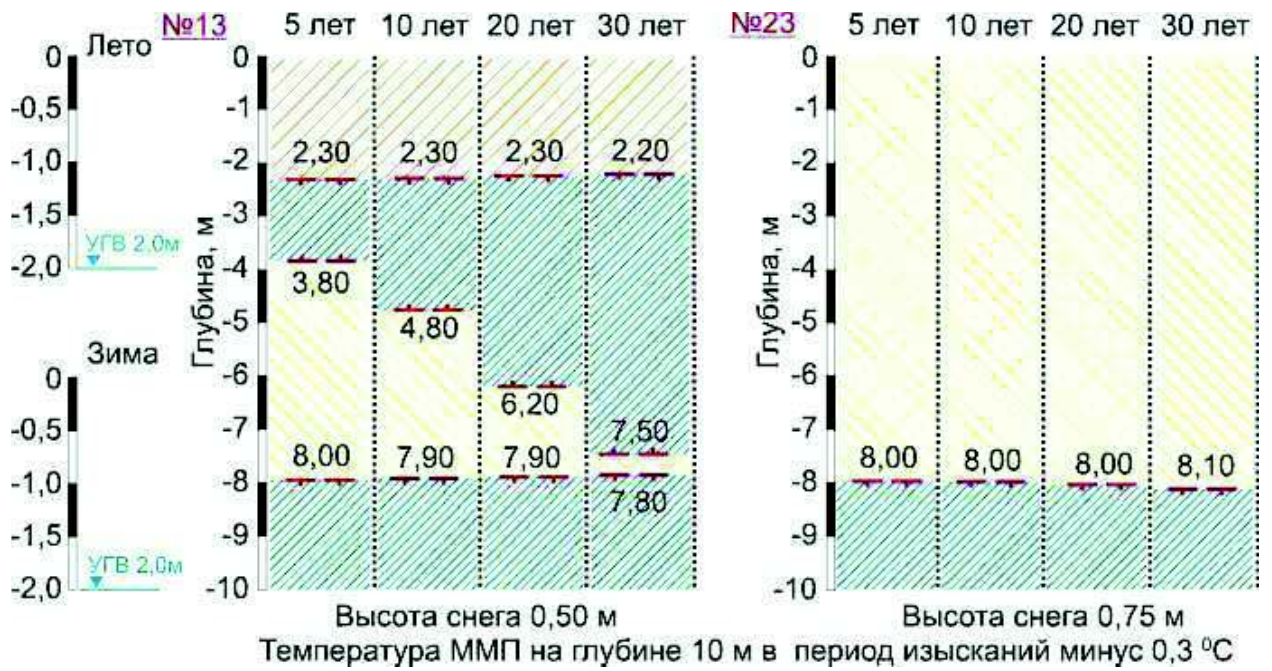
- 66 Обустройство газоконденсатных залежей Заполярного НГКМ. Рыбохозяйственный раздел.// УрО РАН. Институт экологии растений и животных. Екатеринбург, 2007. 43 с.
- 67 Уточнение постоянно действующих геолого-технологических моделей нижнемеловых залежей Ямбургского и Заполярного нефтегазоконденсатных месторождений по данным эксплуатационного бурения. Отчет о НИР // ООО «ТюменНИИгипрогаз», 2009. 159 с

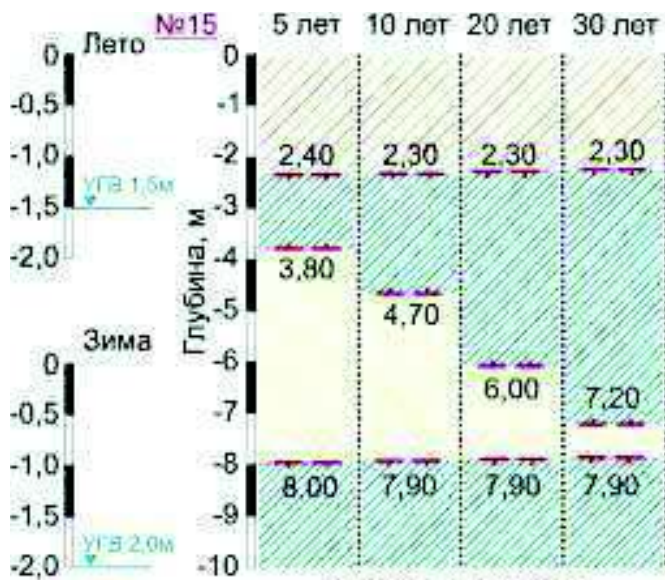
Высота насыпи 1,0 м, тип разреза I а, задачи №№ 1-32





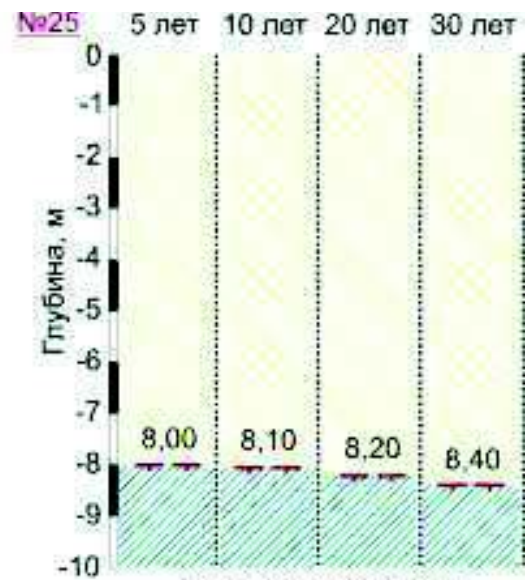
Высота насыпи 2,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза I а





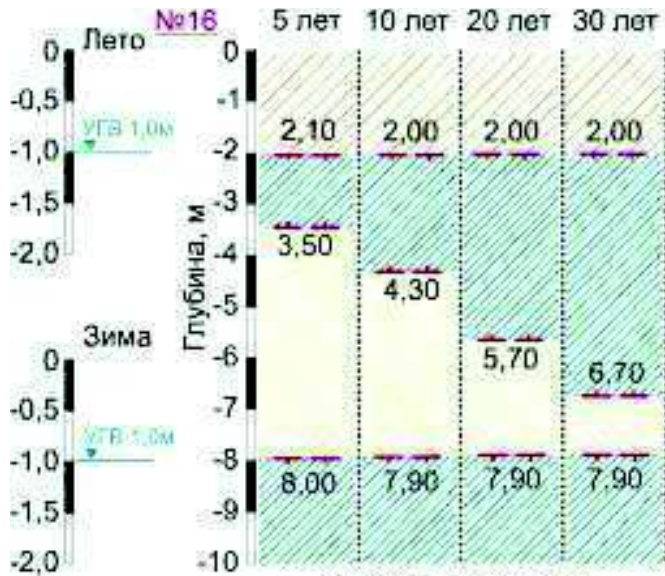
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



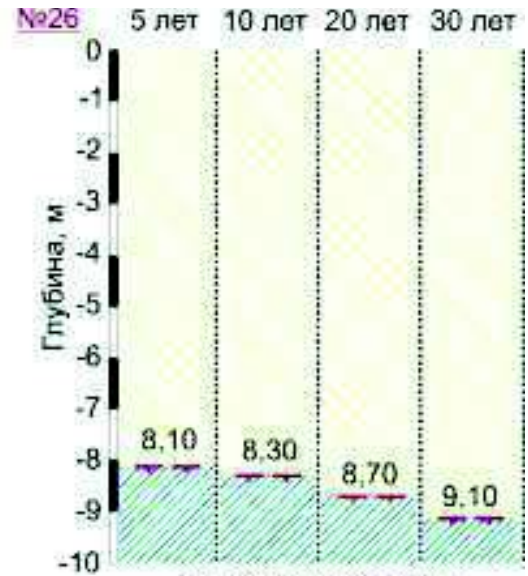
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



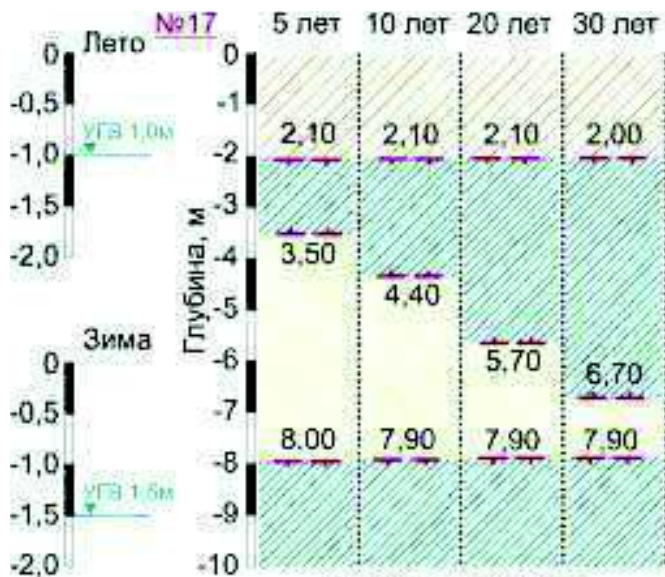
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



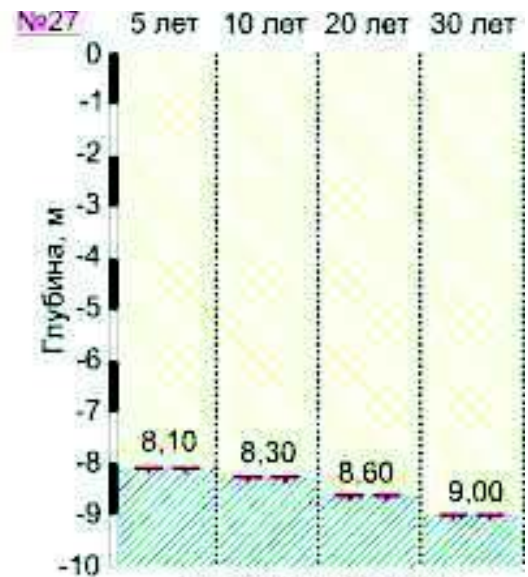
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



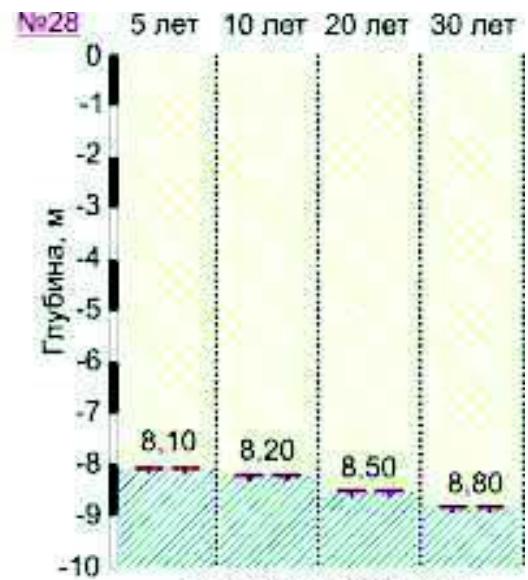
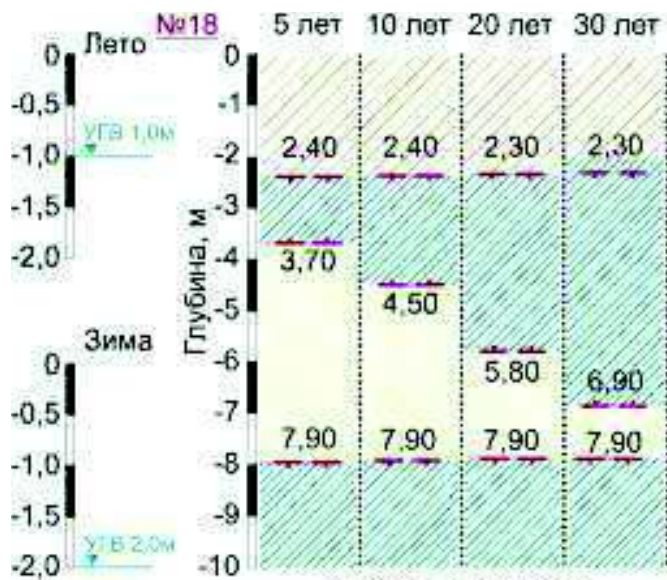
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С

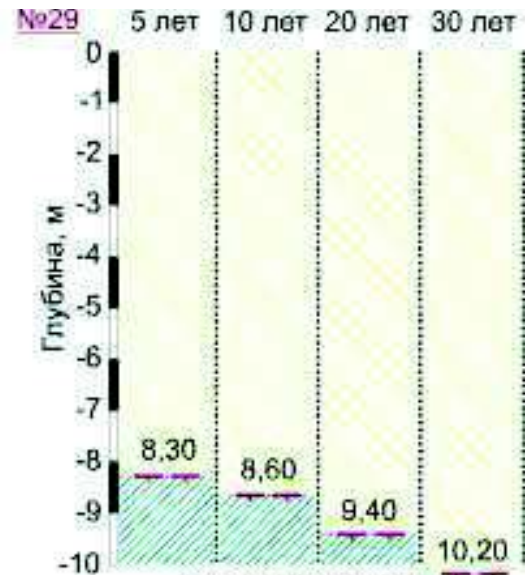
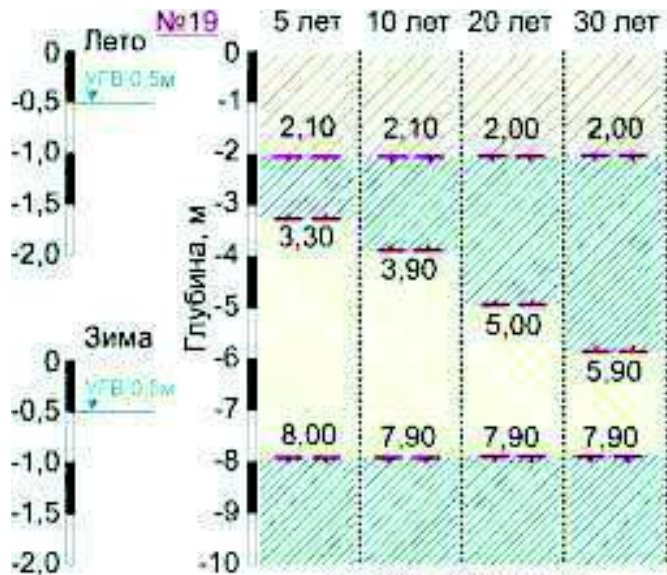


Высота снега 0,75 м

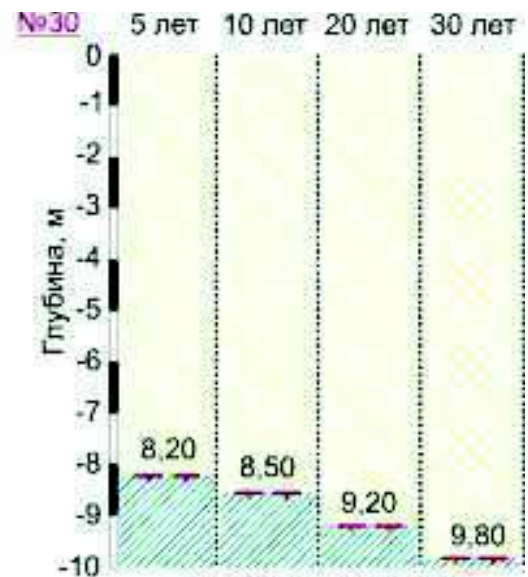
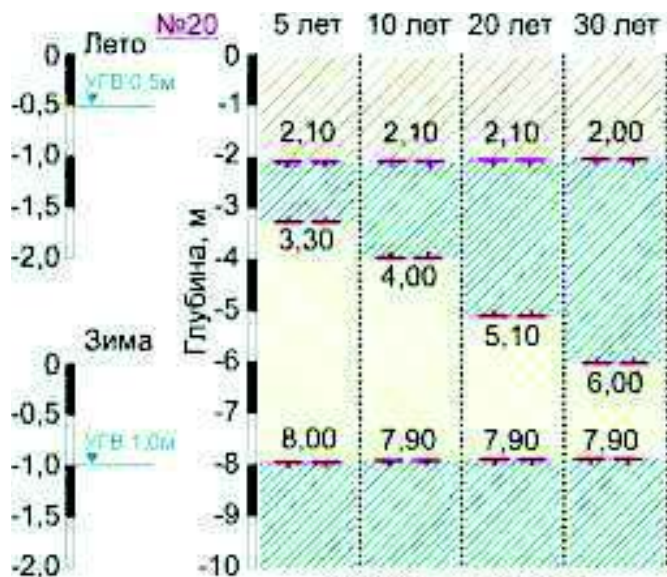
Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



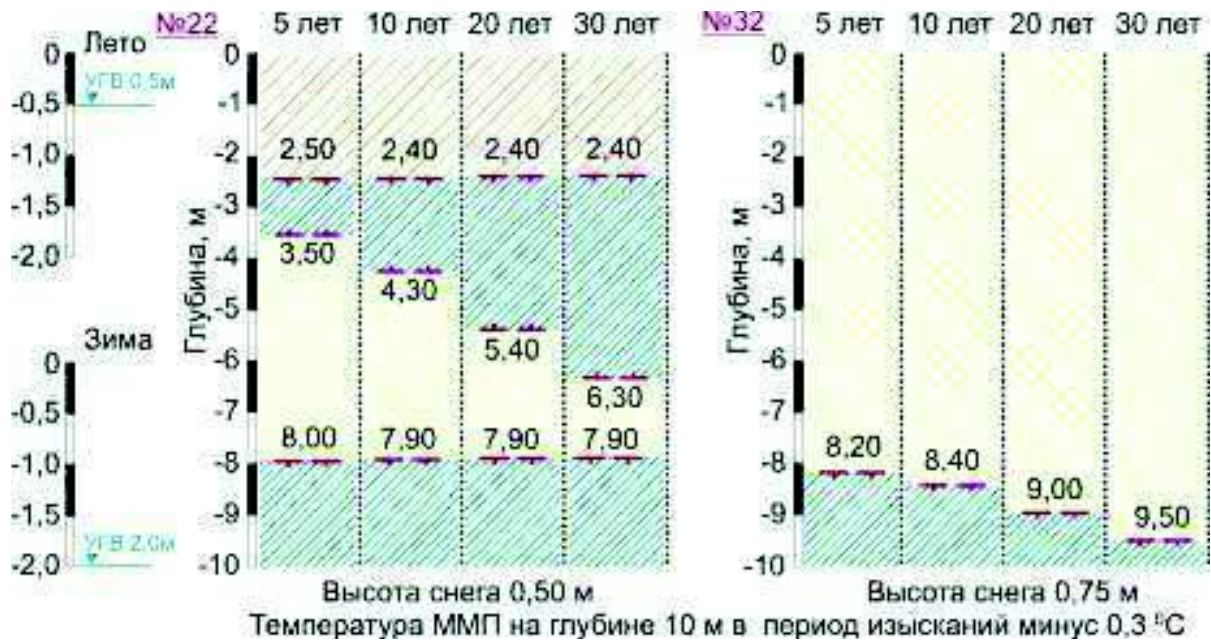
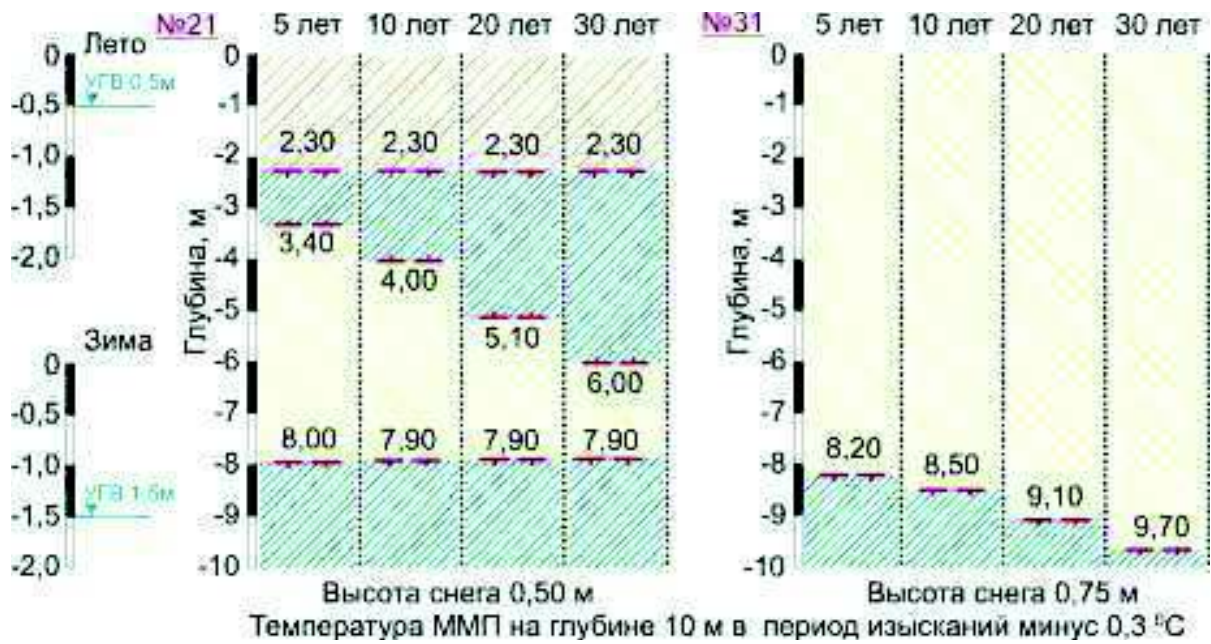
Высота снега 0,50 м
Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



Высота снега 0,50 м
Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С

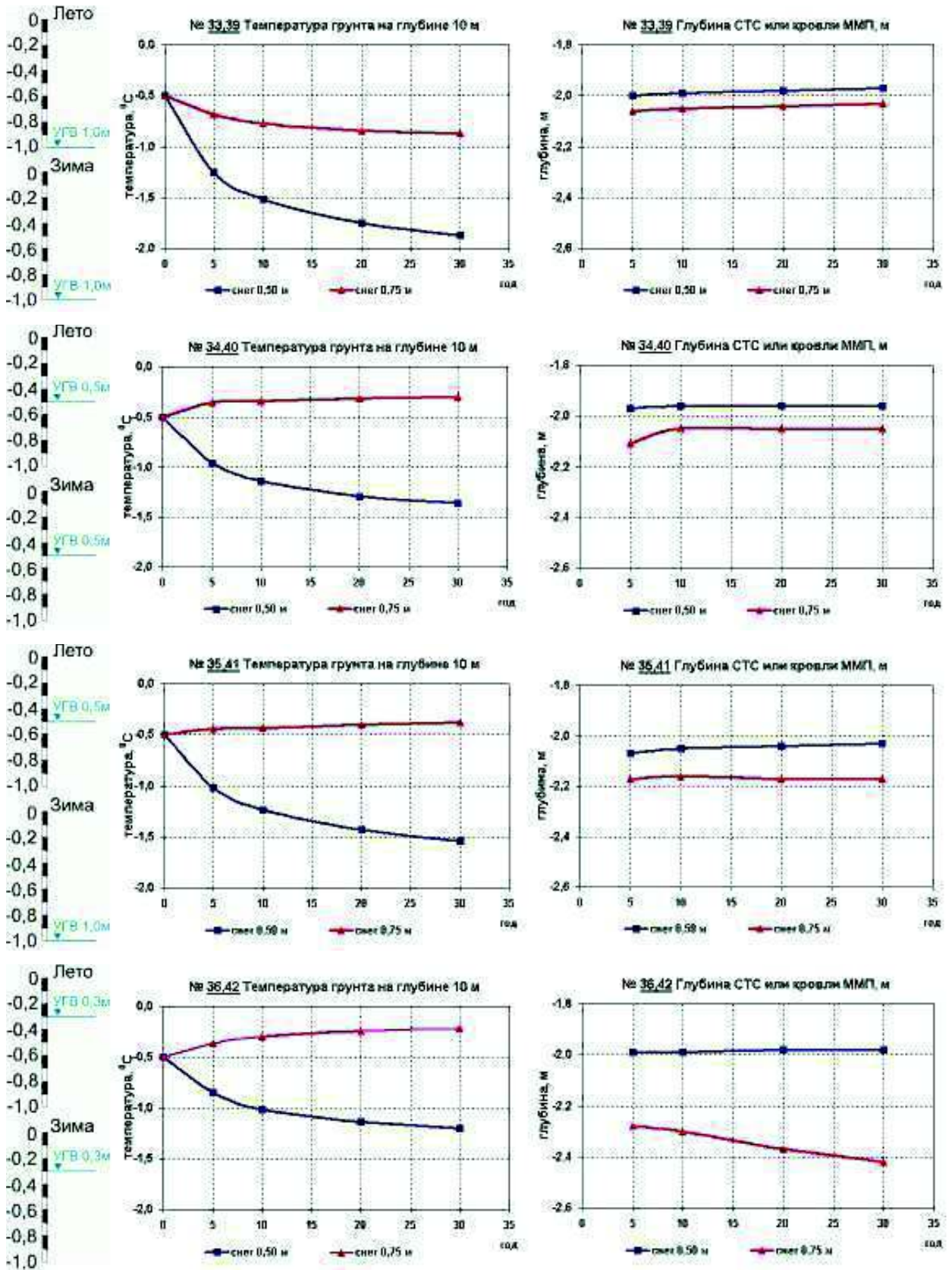


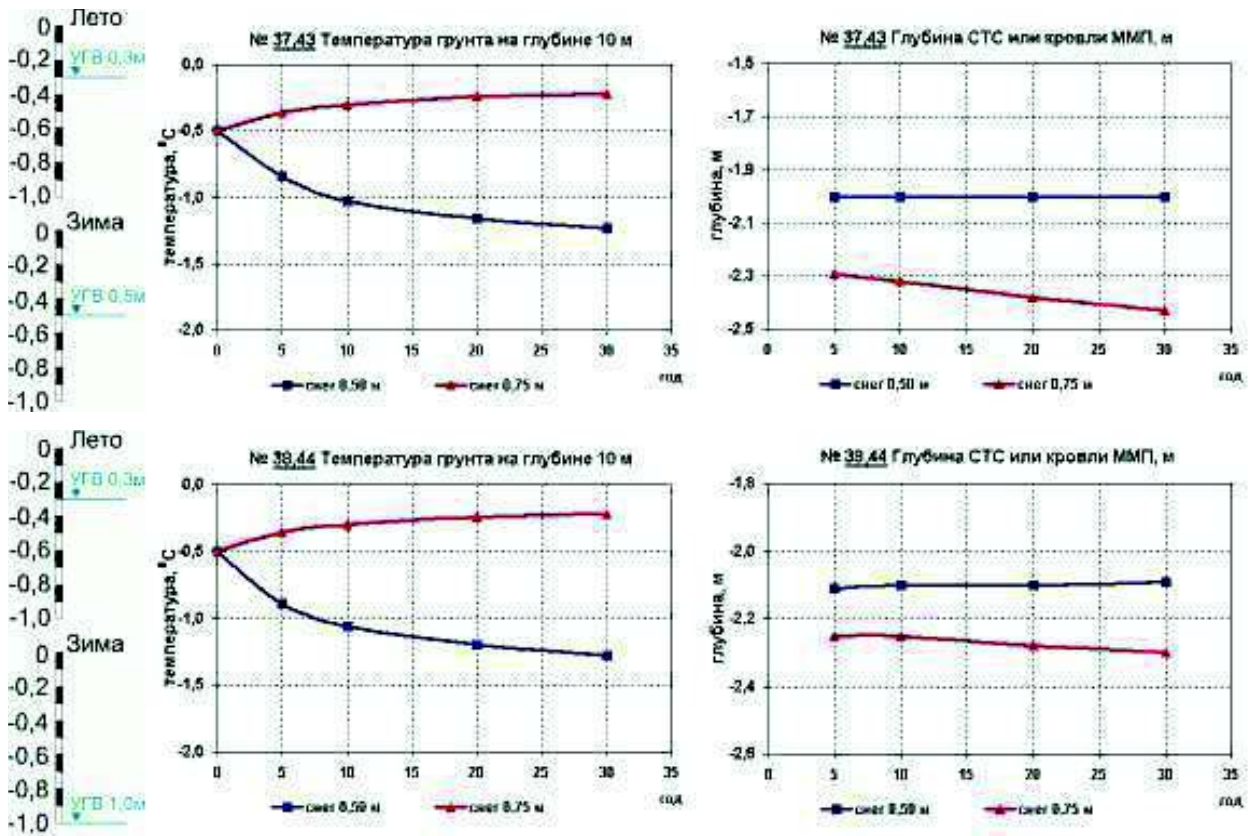
Высота снега 0,50 м
Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



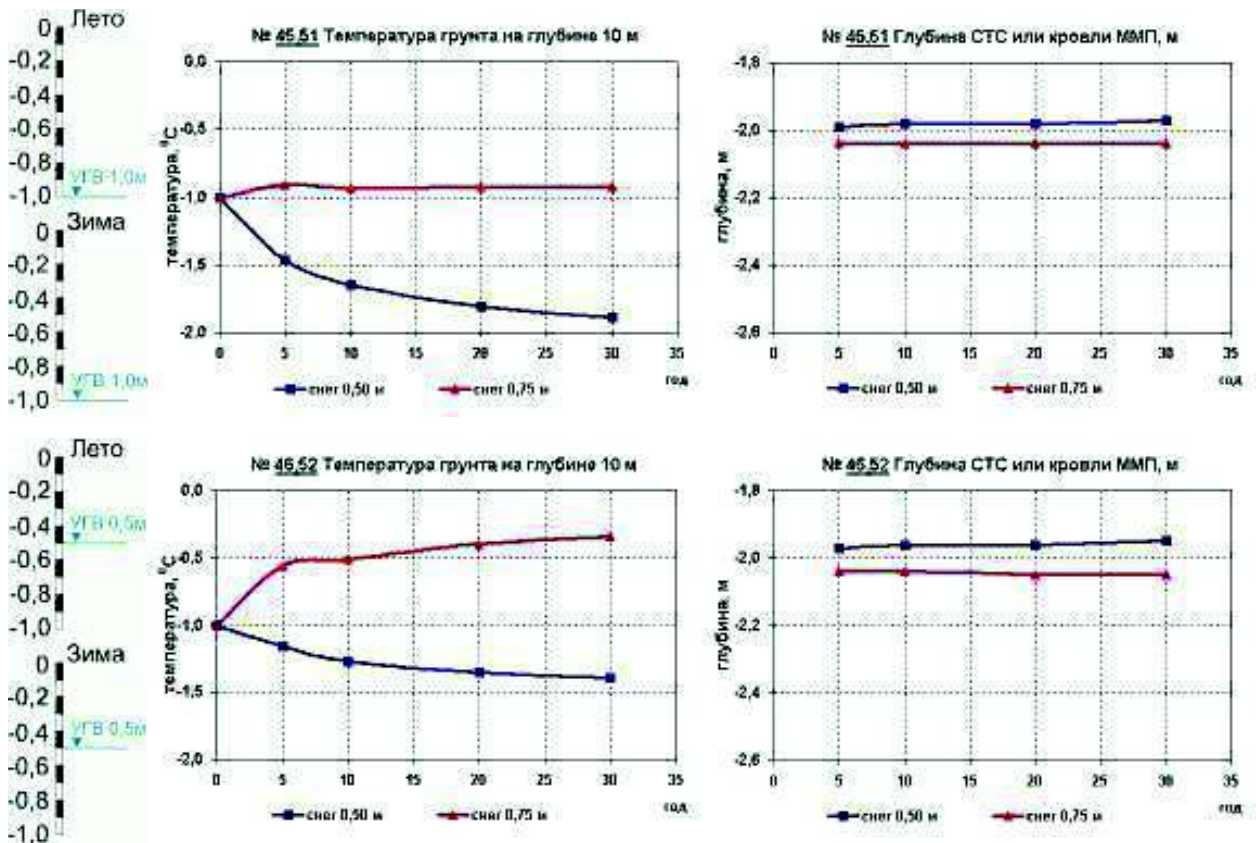
Высота насыпи 1,0 м, тип разреза I б, задачи №№ 33-68

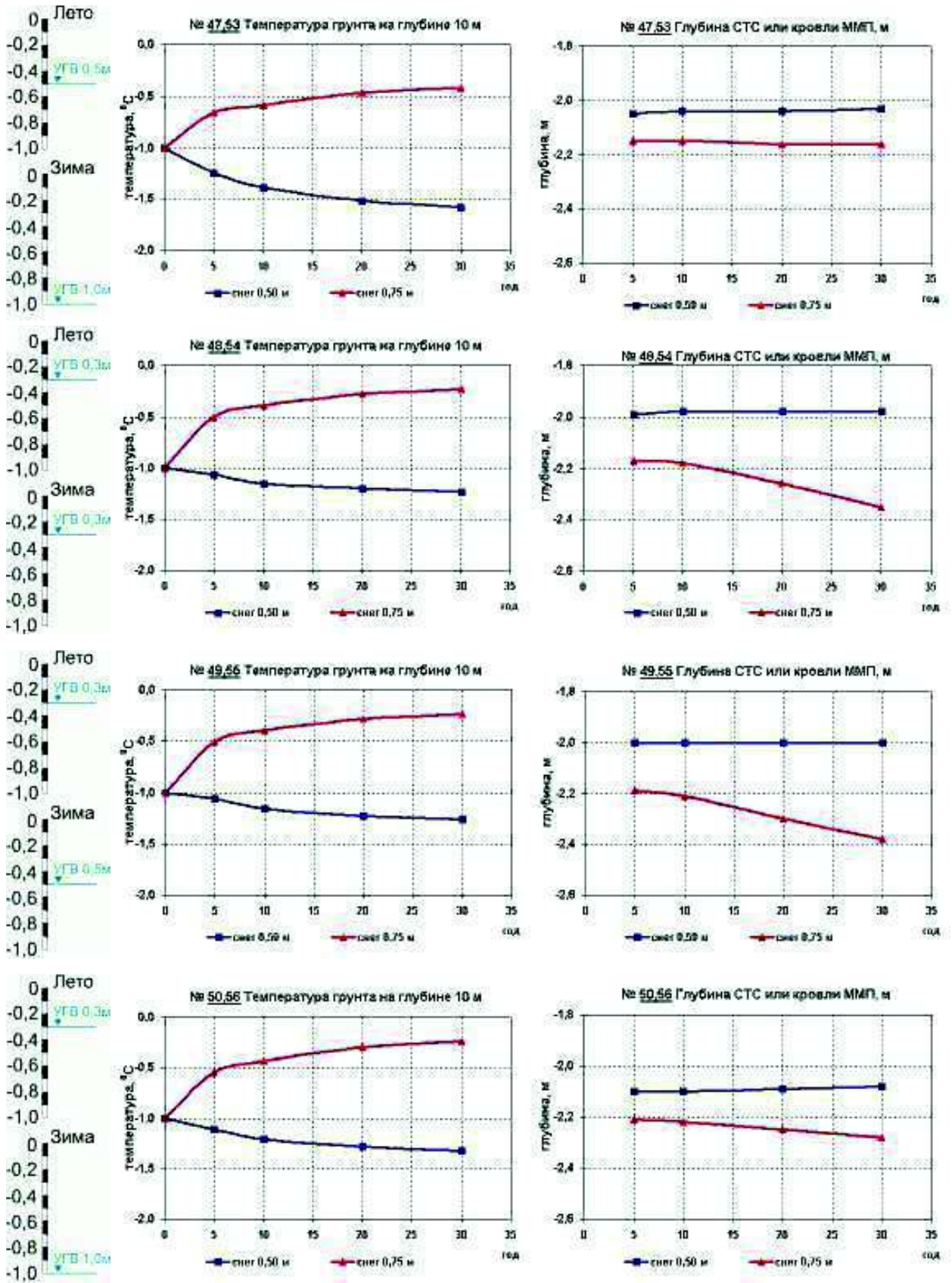
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 0,5 °С



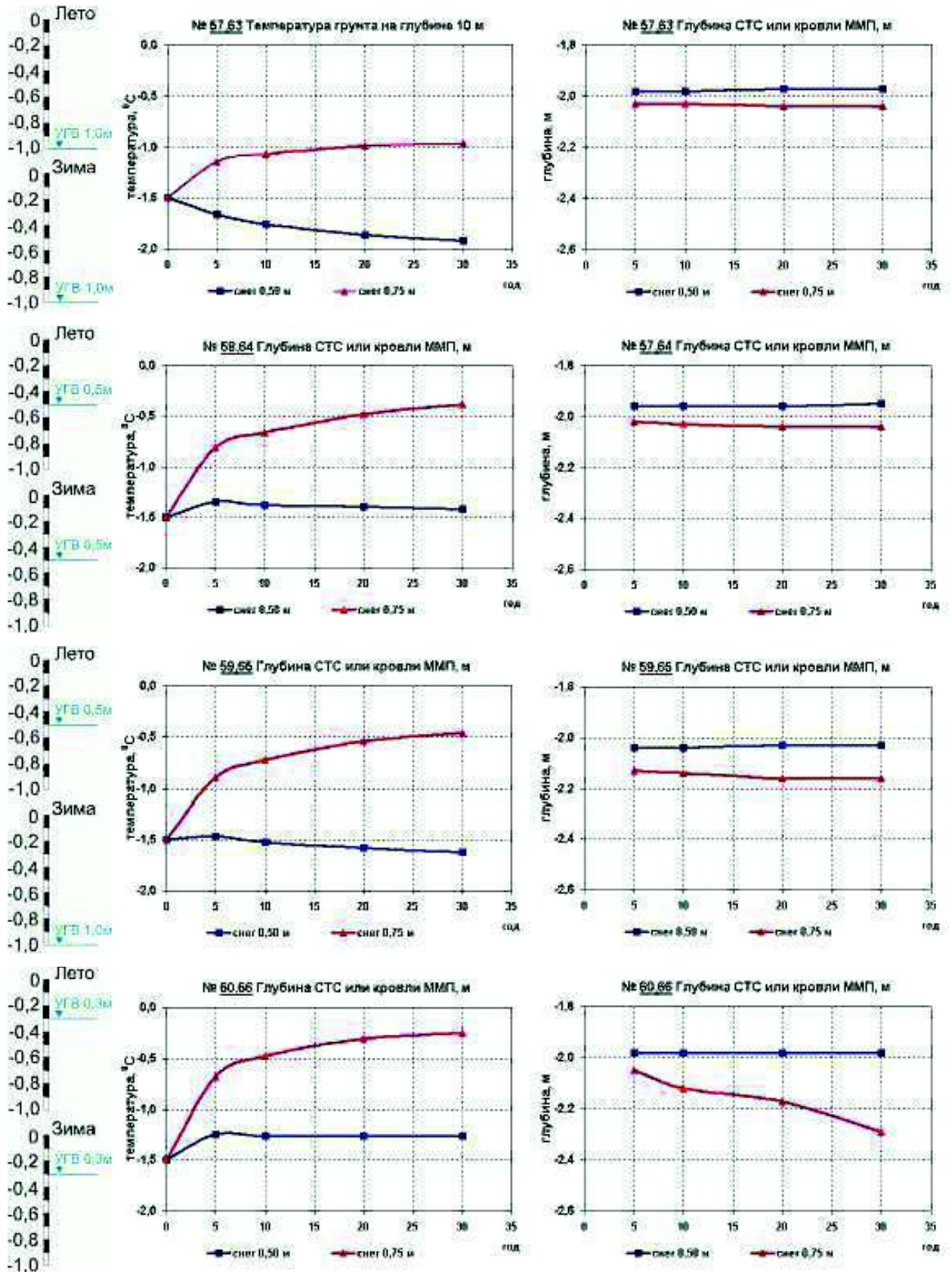


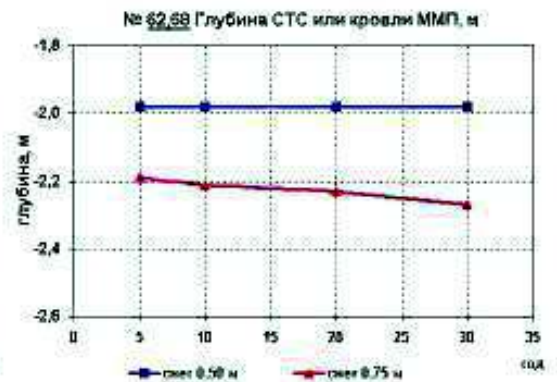
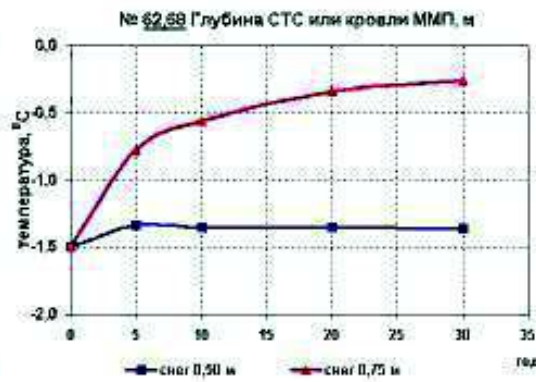
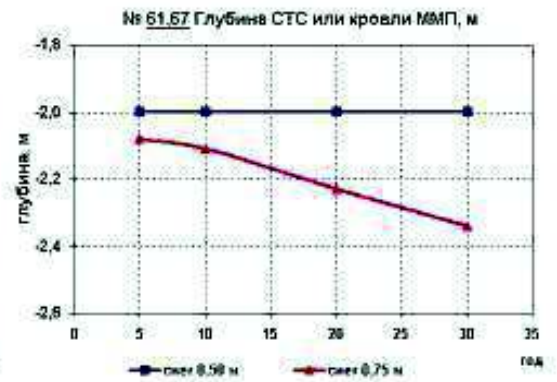
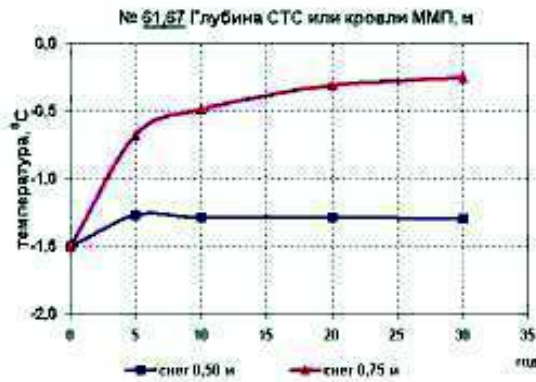
Высота насыпи 1,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза I б
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,0 °С





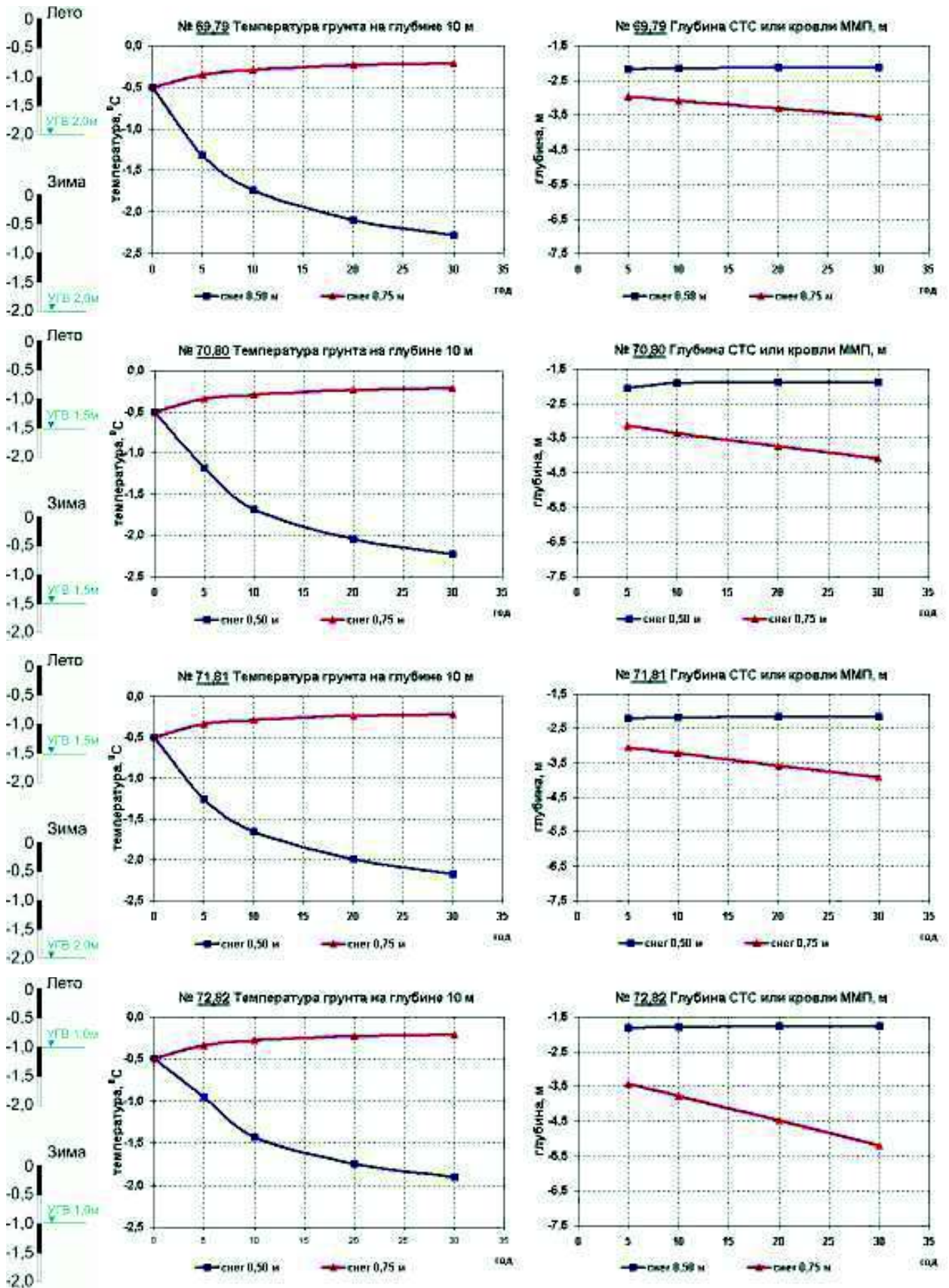
Высота насыпи 1,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза I б
 Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,5 °С

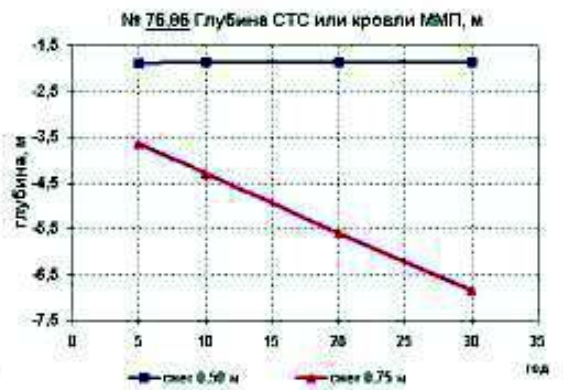
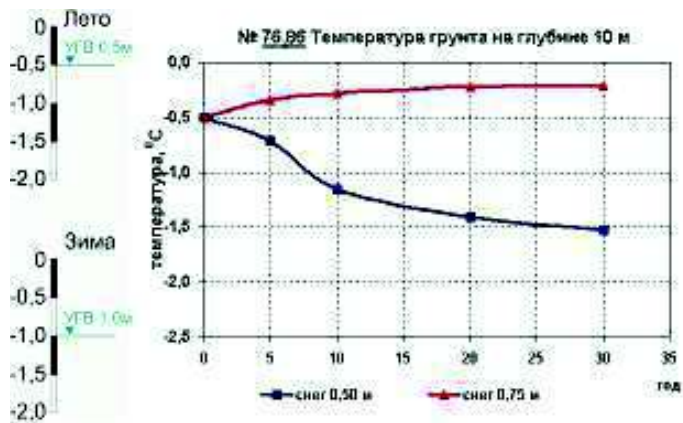
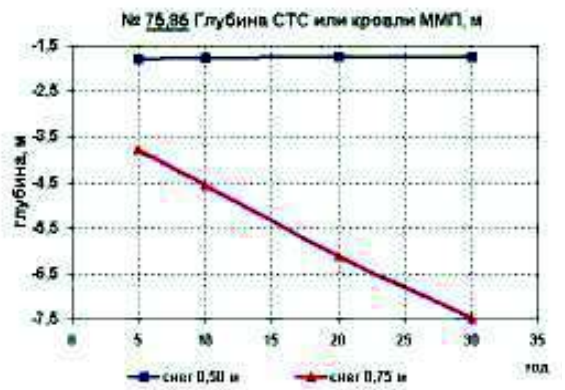
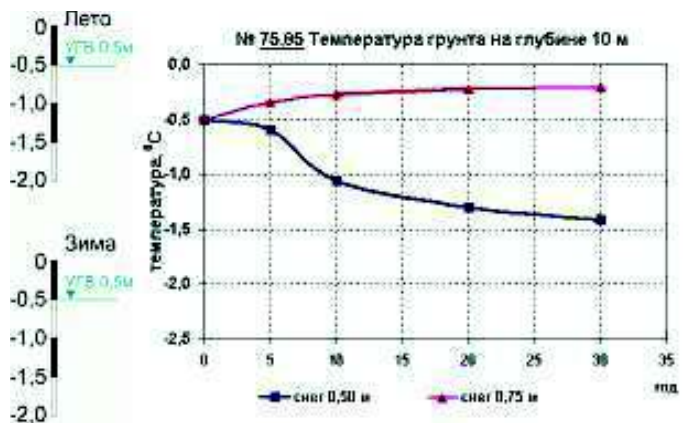
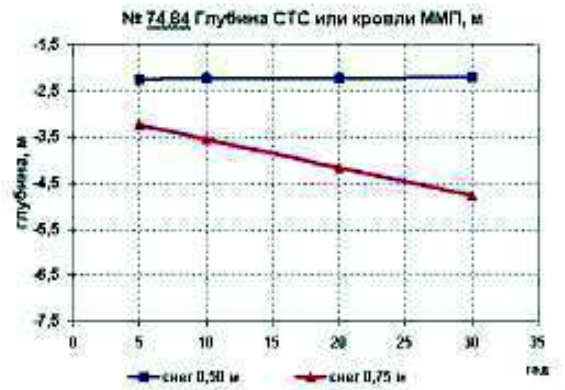
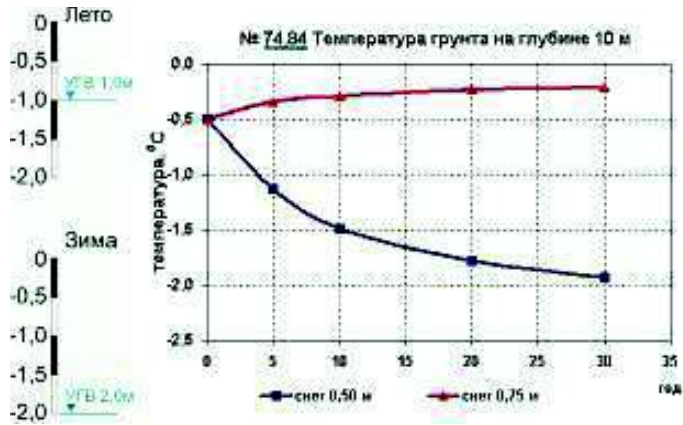
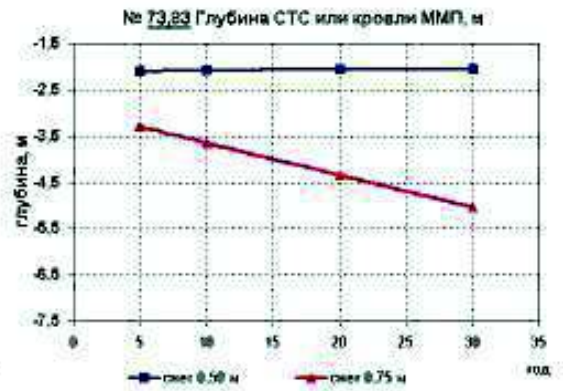
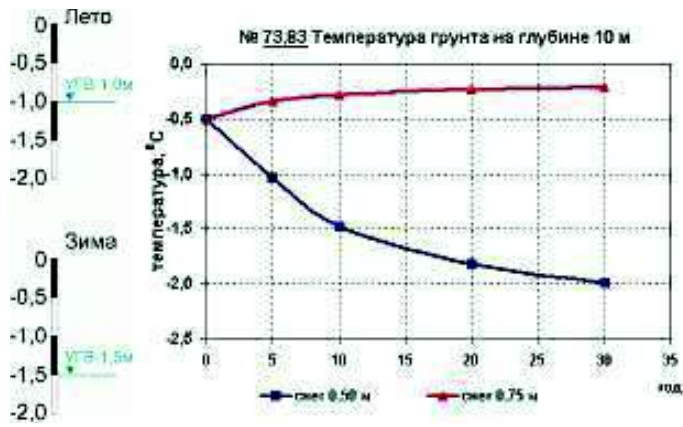


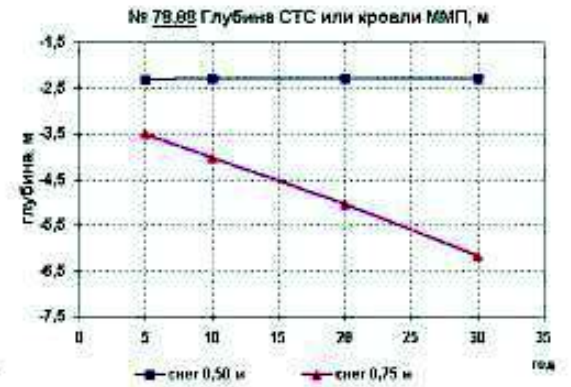
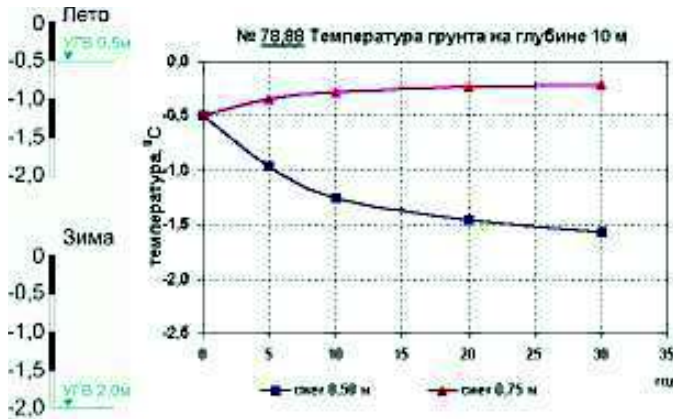
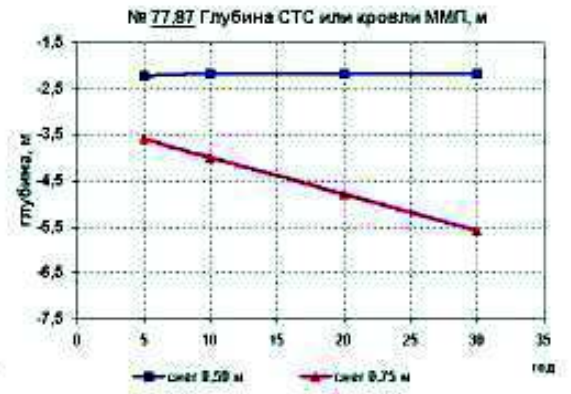
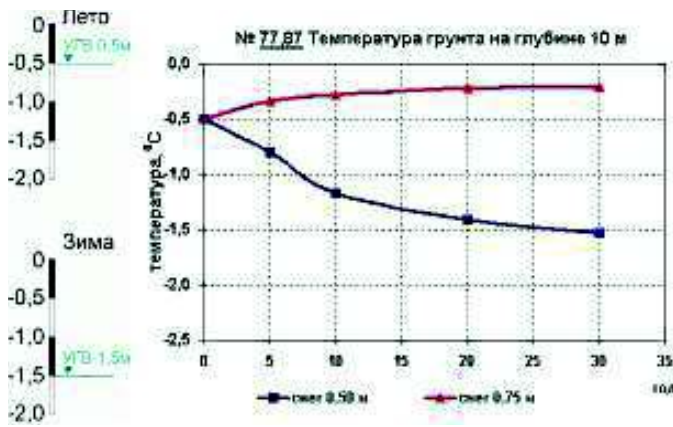


Высота насыпи 2,0 м, тип разреза I б, задачи №№ 69-128

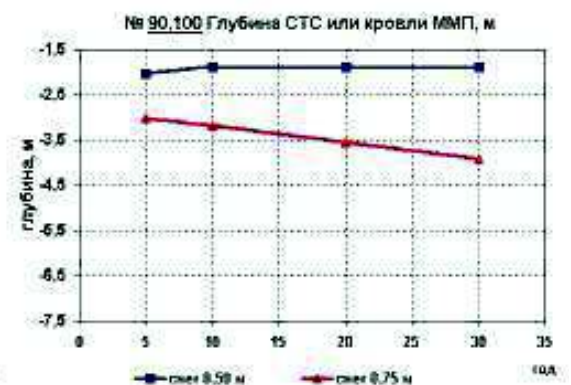
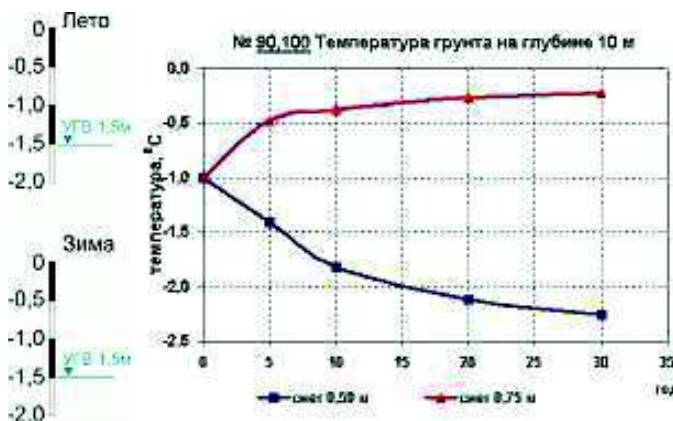
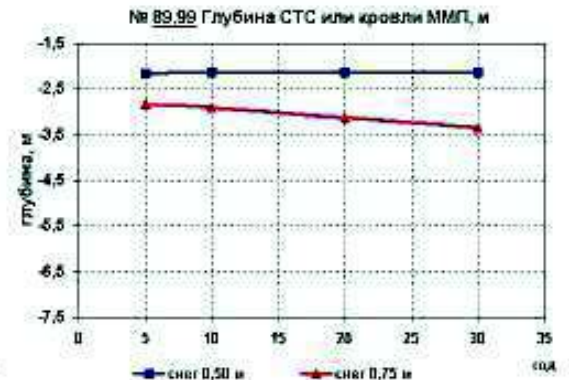
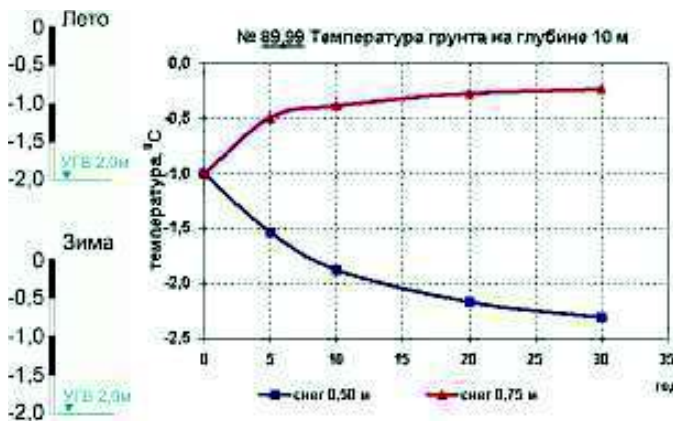
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 0,5 °С

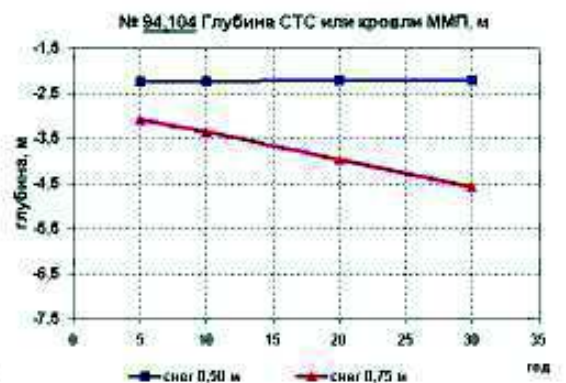
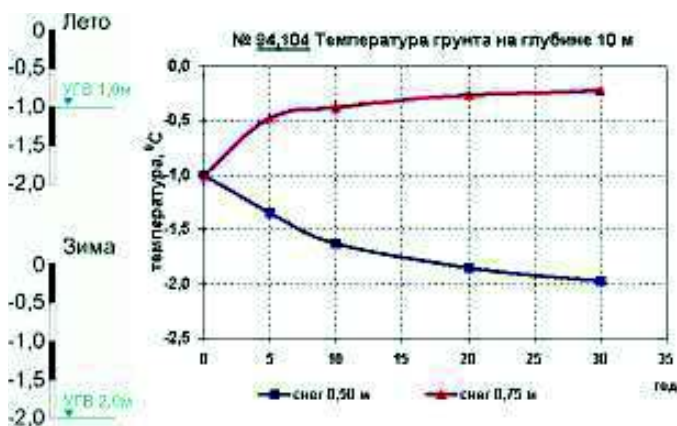
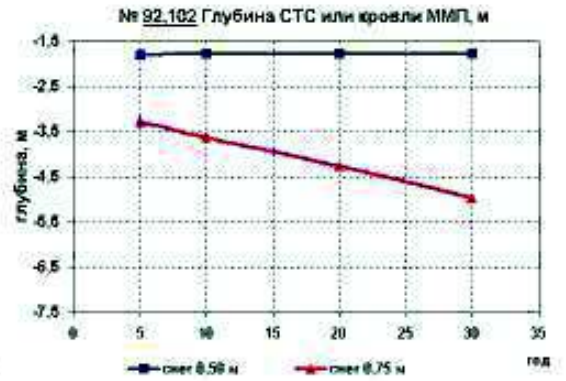
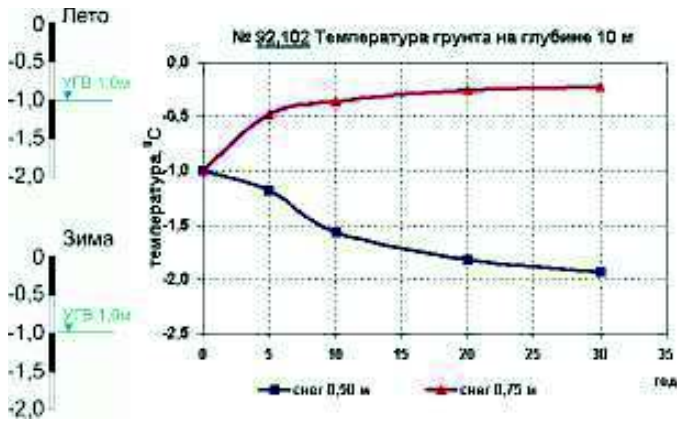
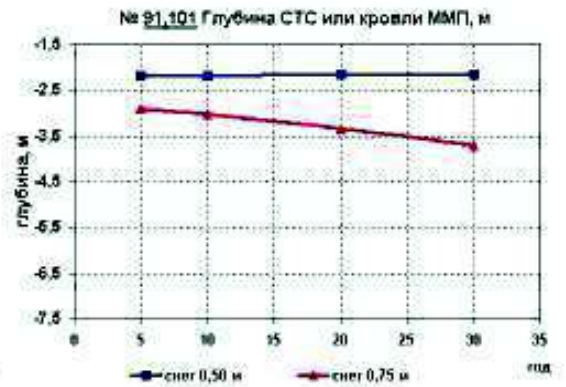
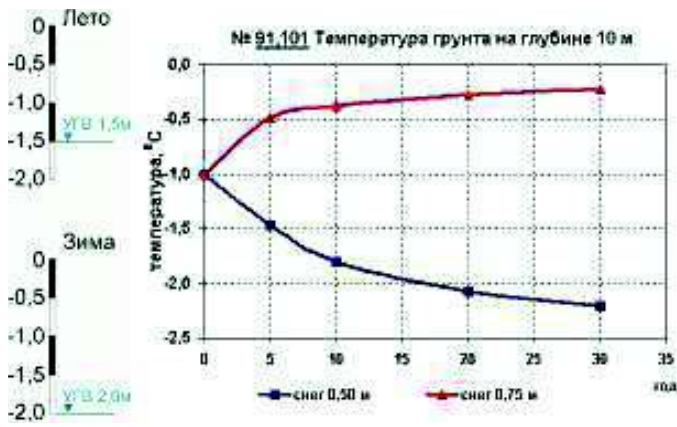


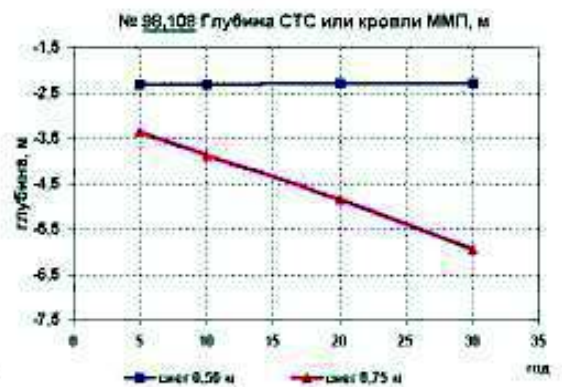
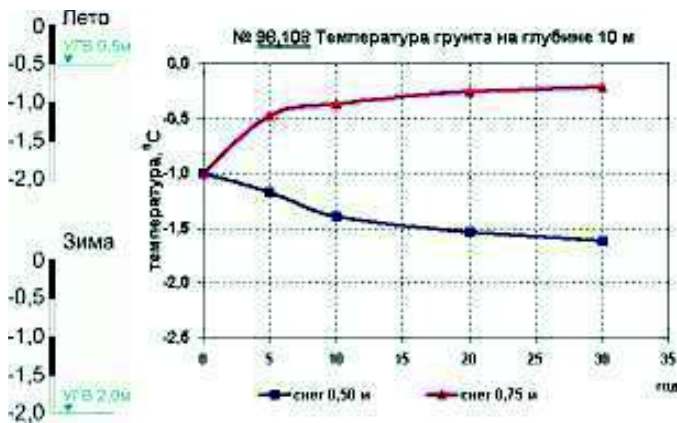
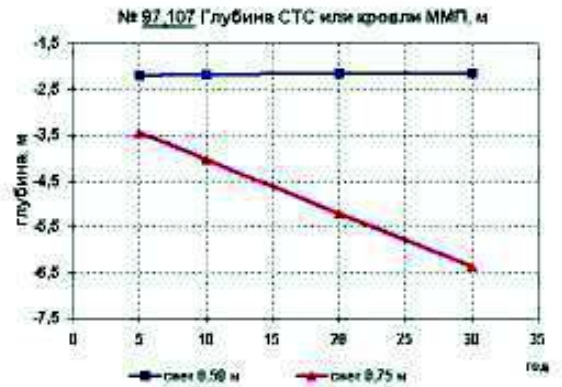
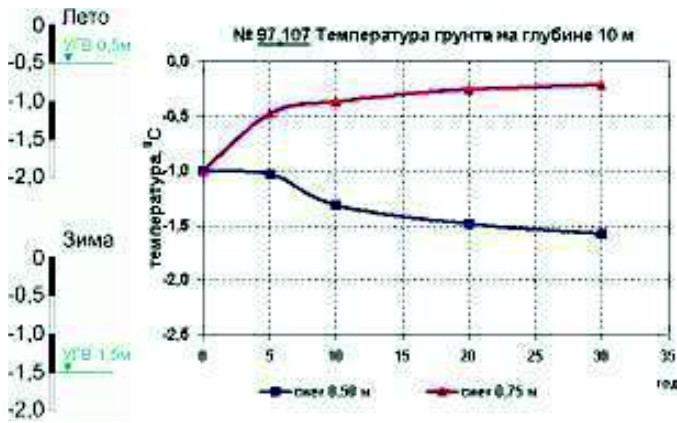
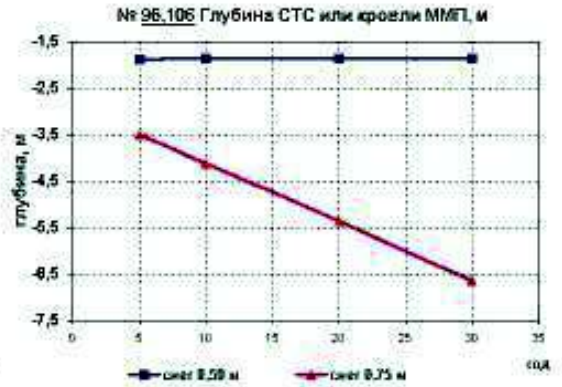
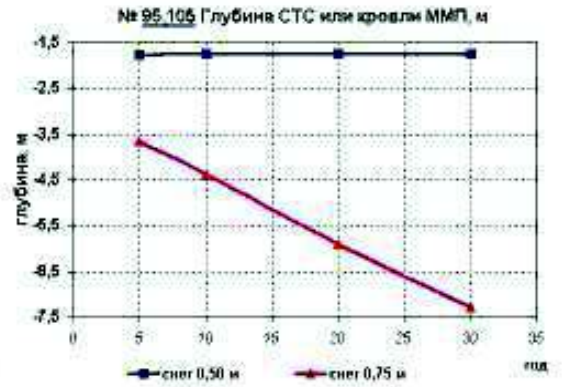
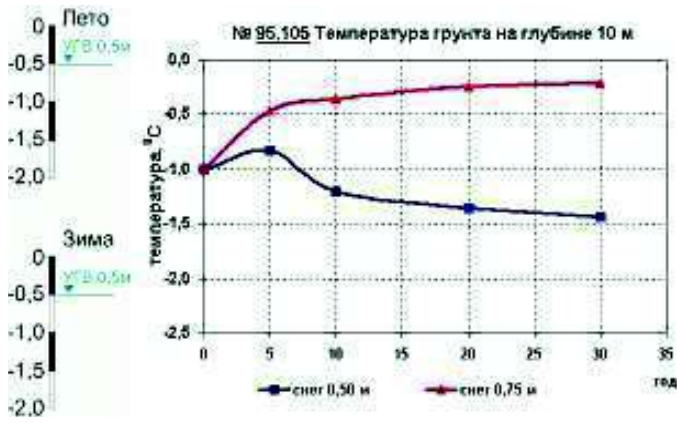




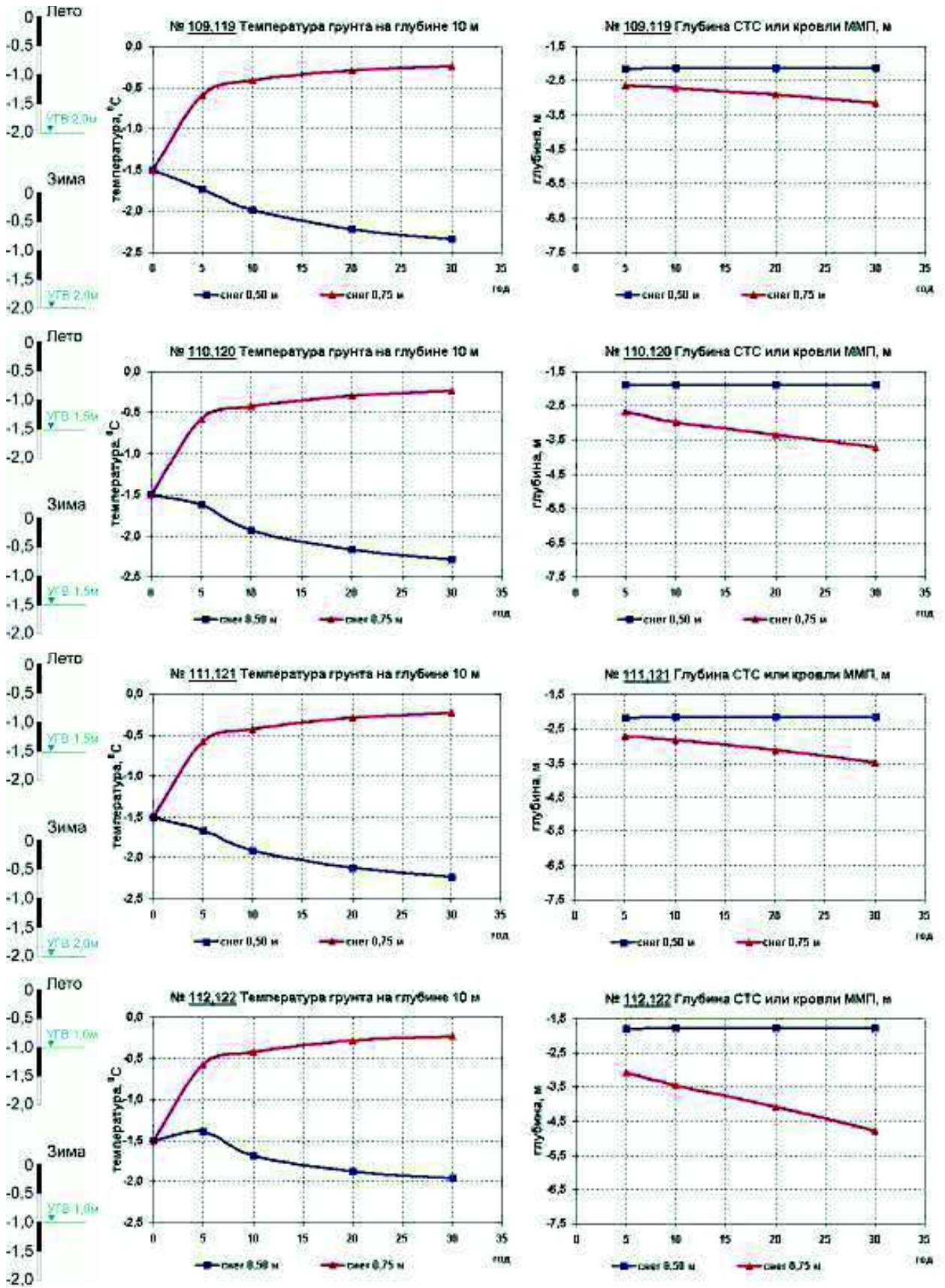
Высота насыпи 2,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза I б
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,0 °С

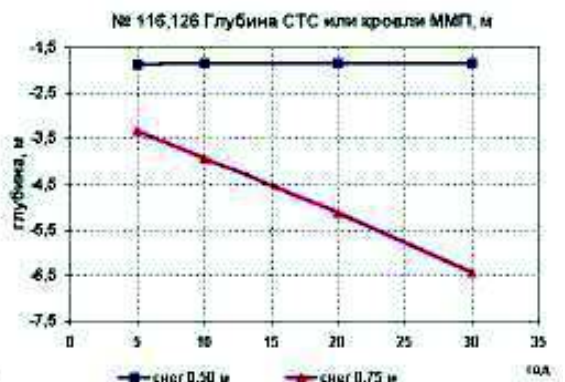
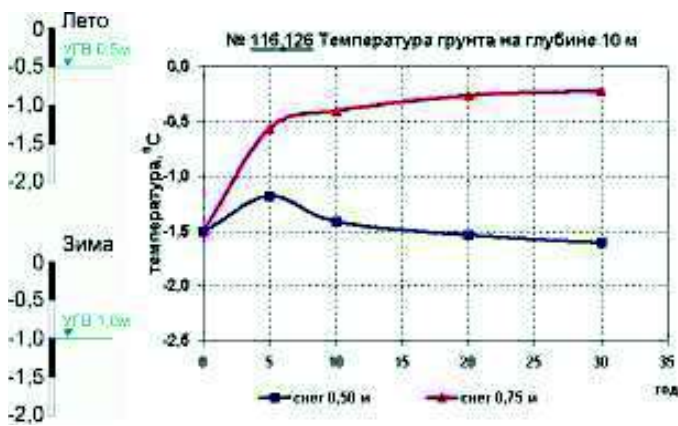
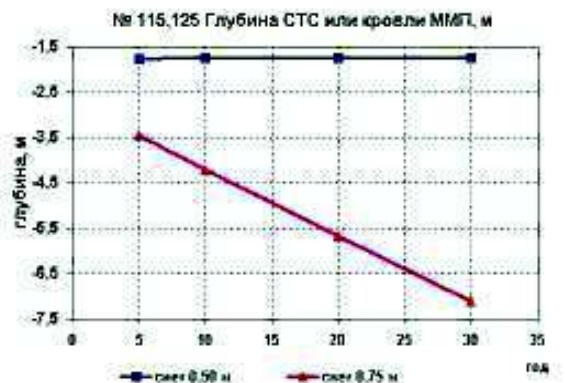
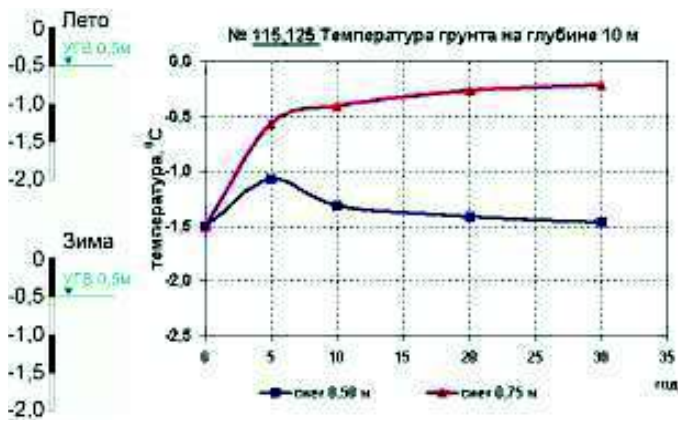
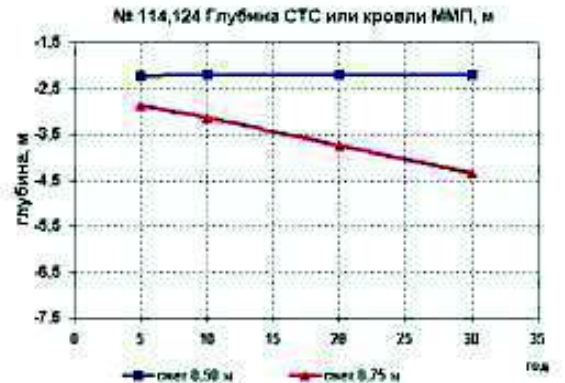
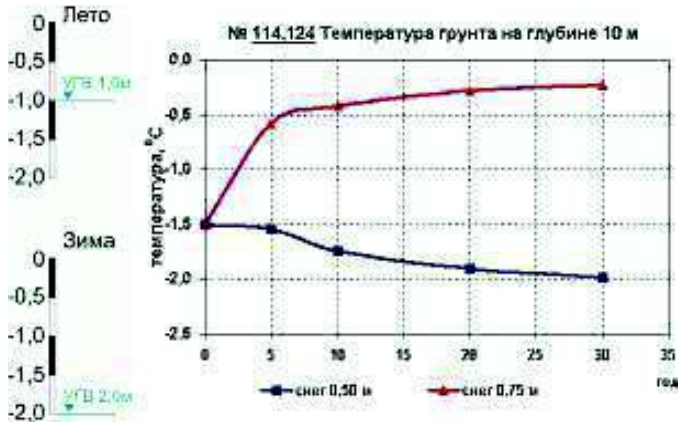
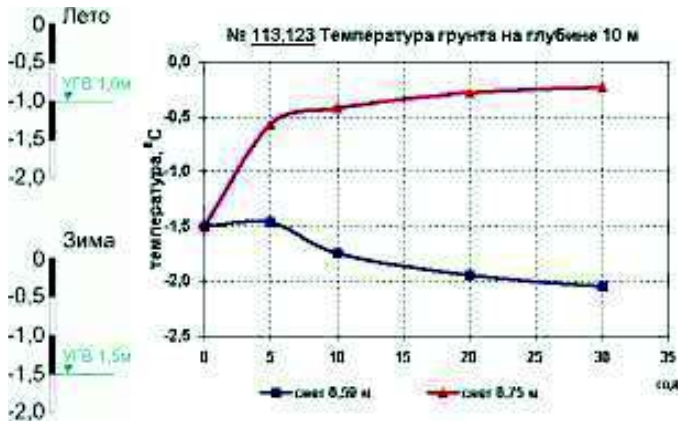


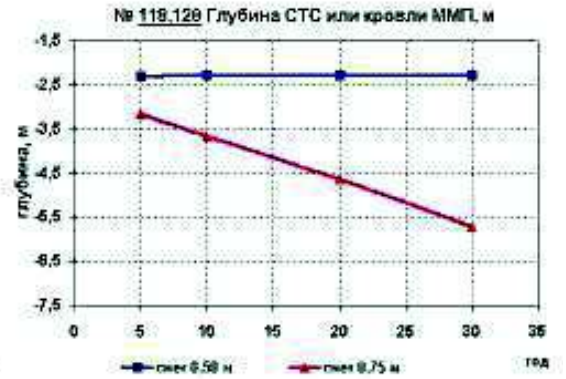
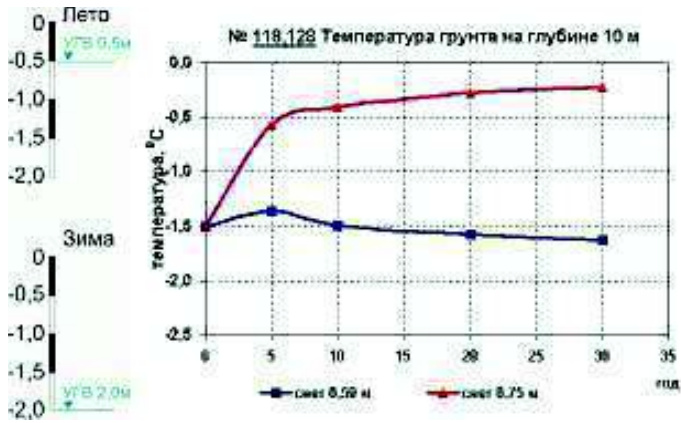
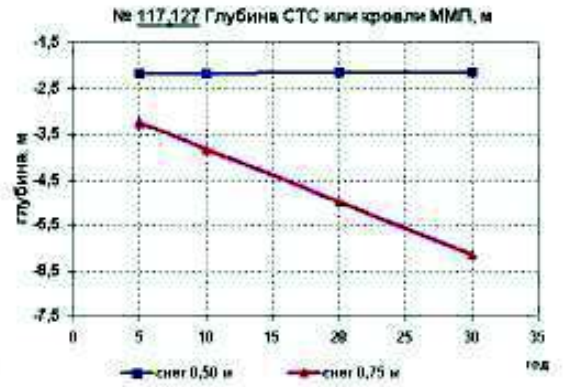
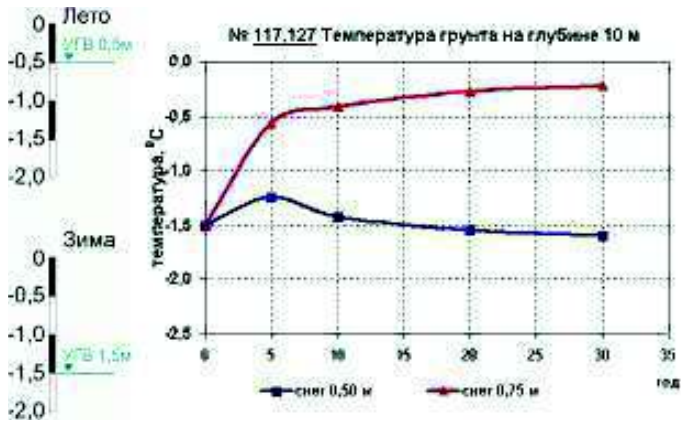




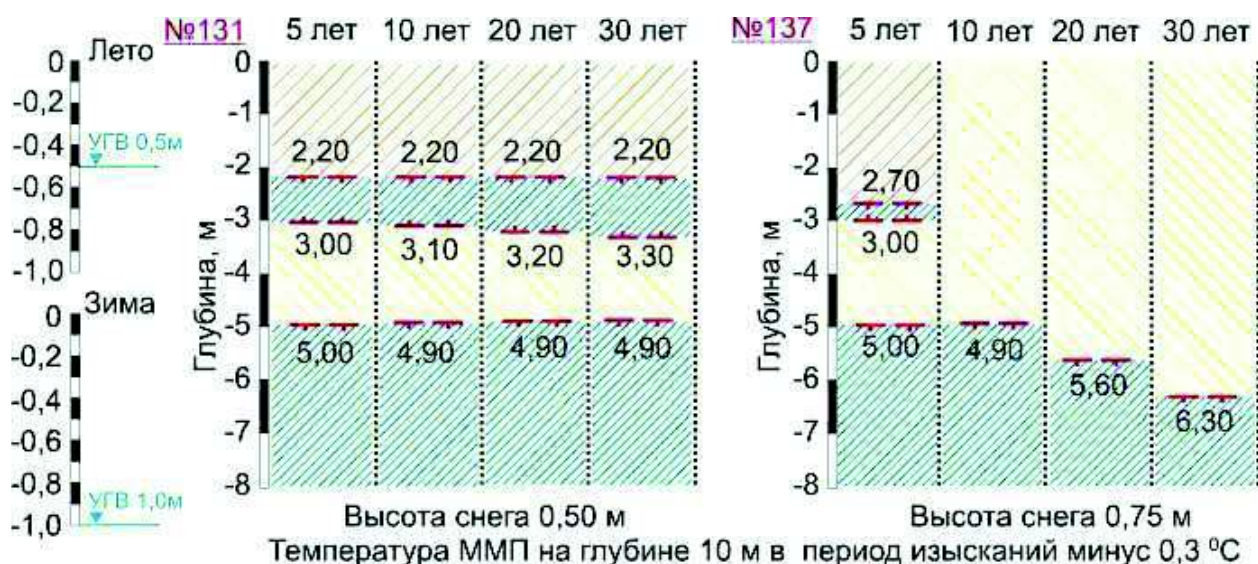
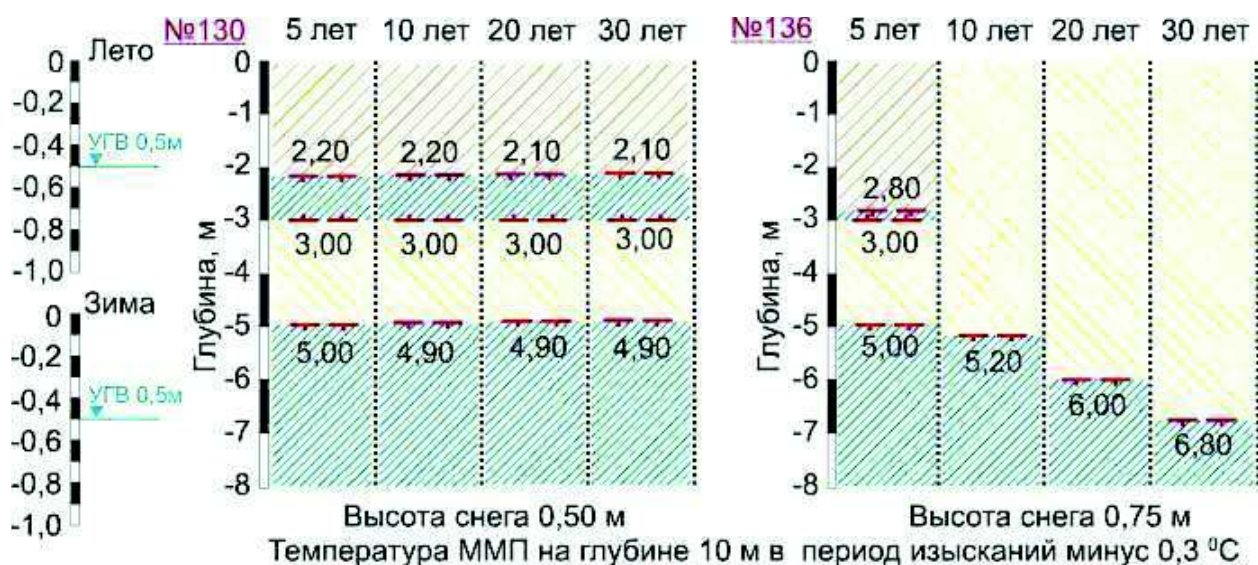
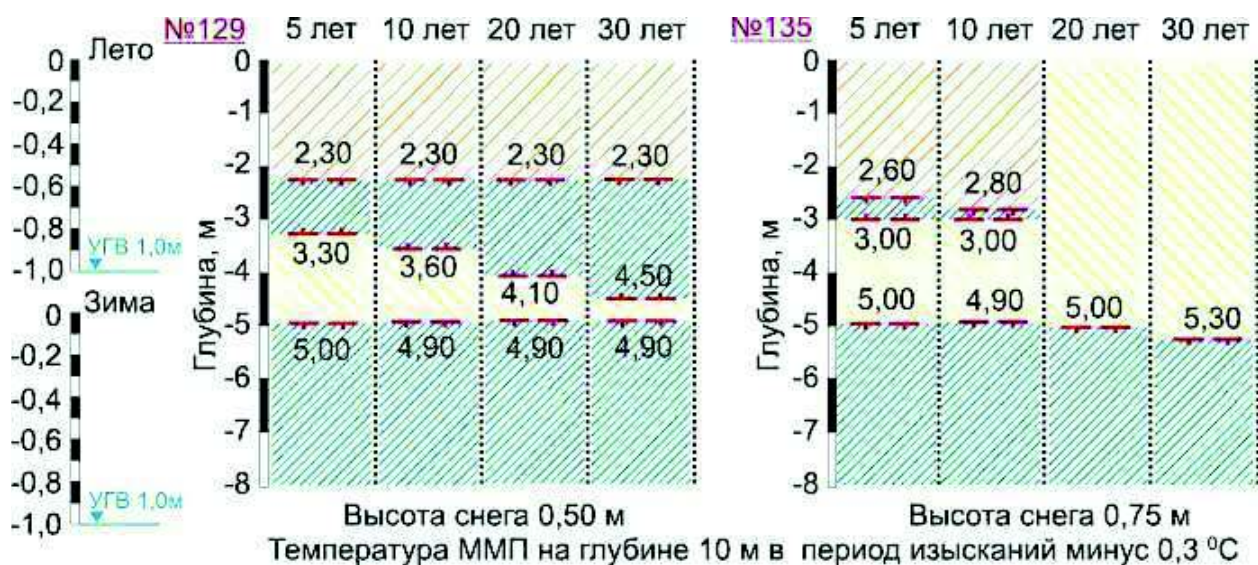
Высота насыпи 2,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза I б
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,5 °С

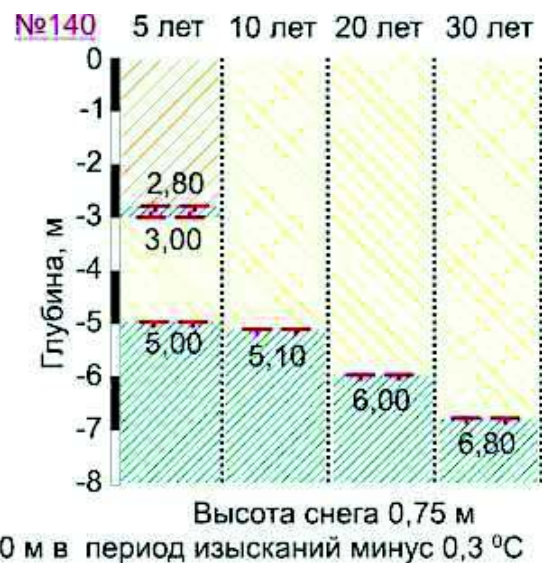
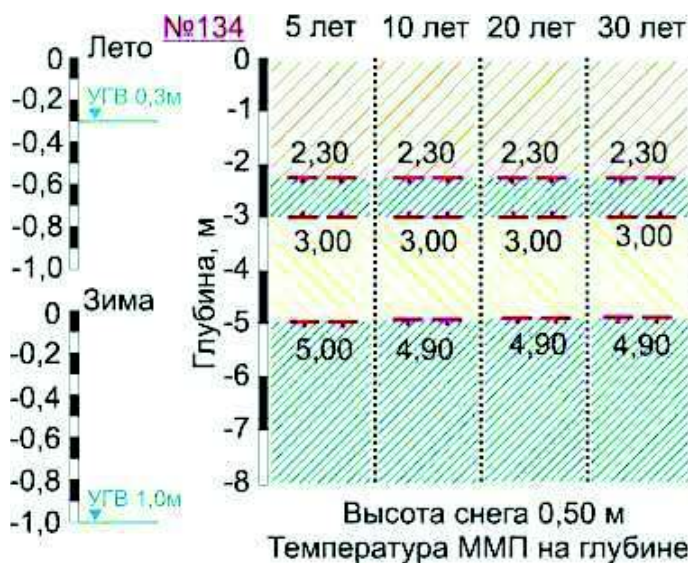
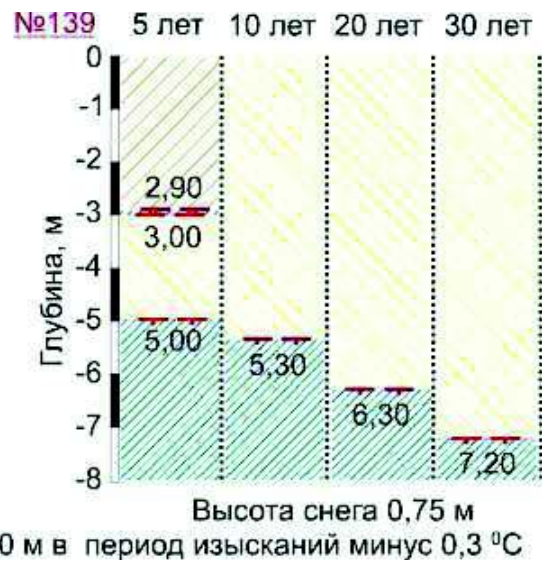
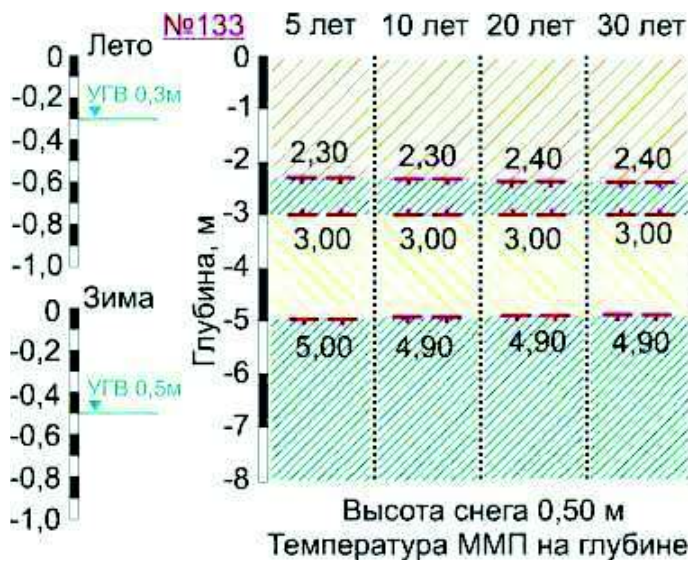
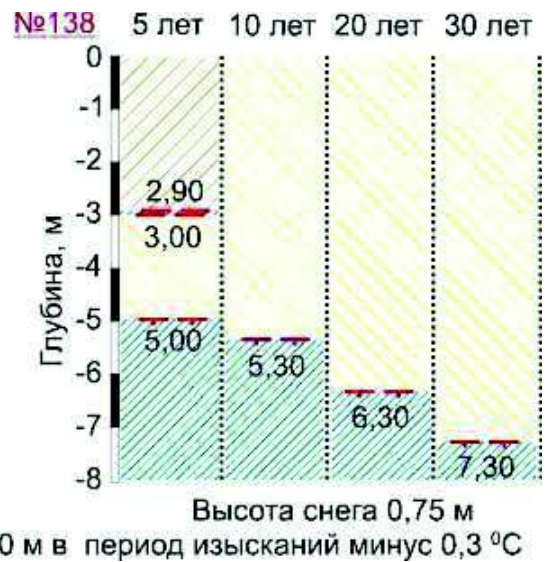
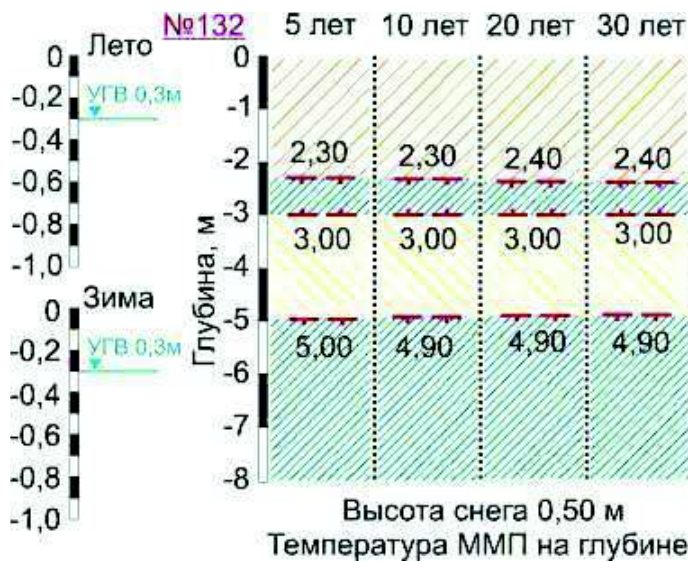




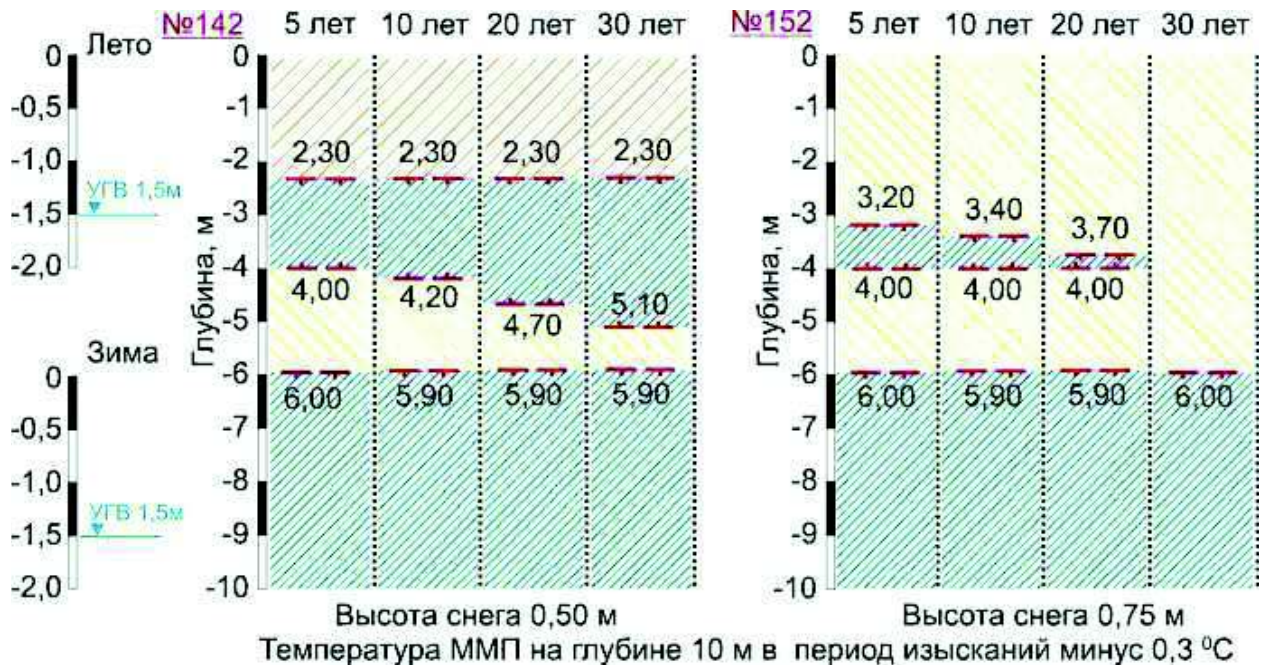
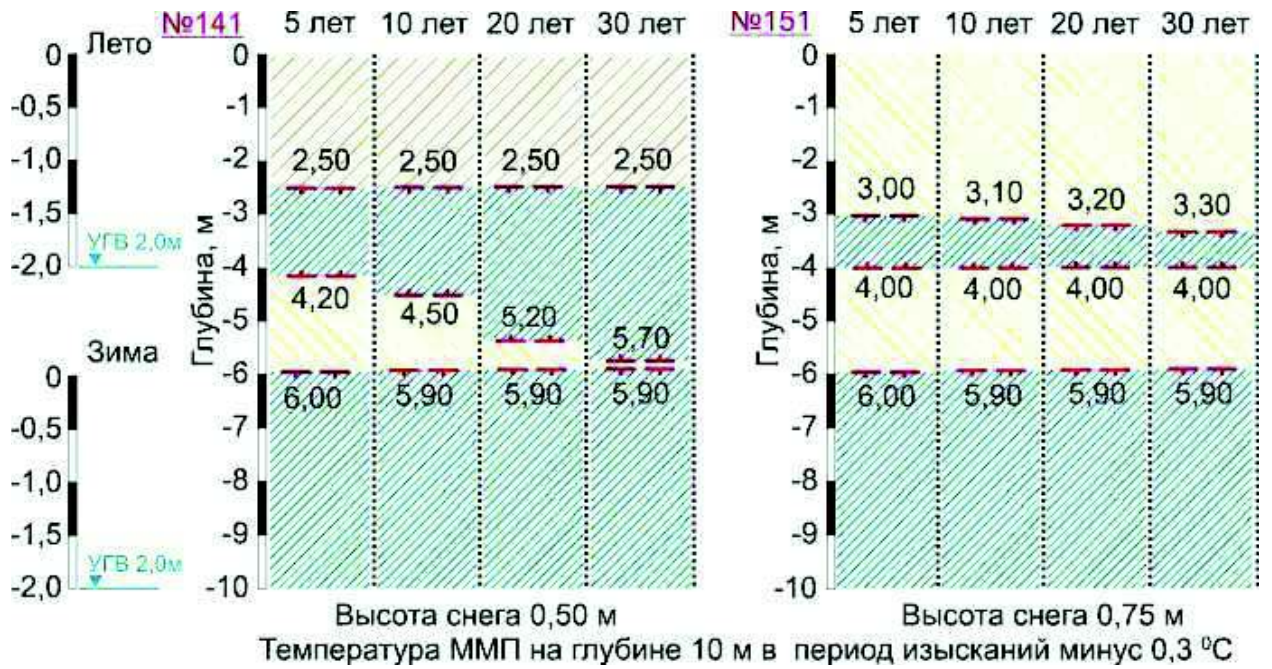


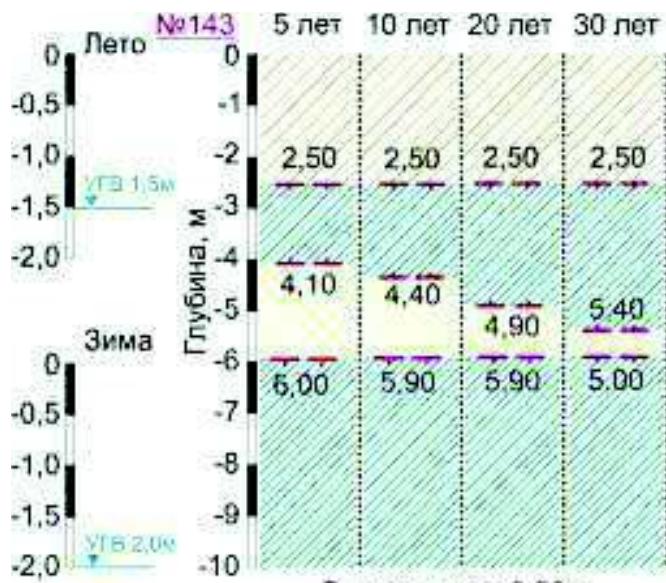
Высота насыпи 1,0 м, тип разреза II а, задачи №№ 129-160





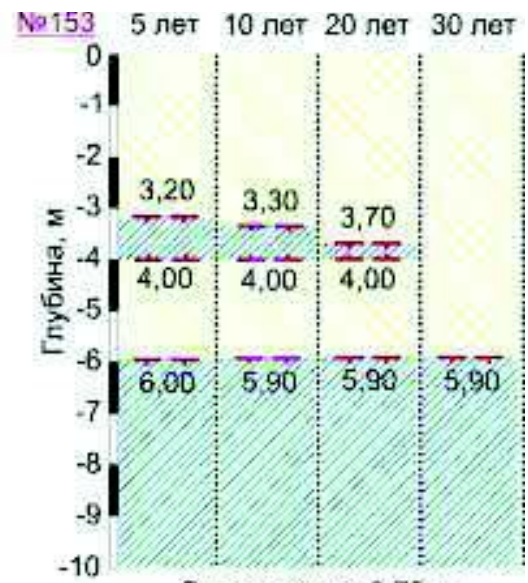
Высота насыпи 2,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза II а





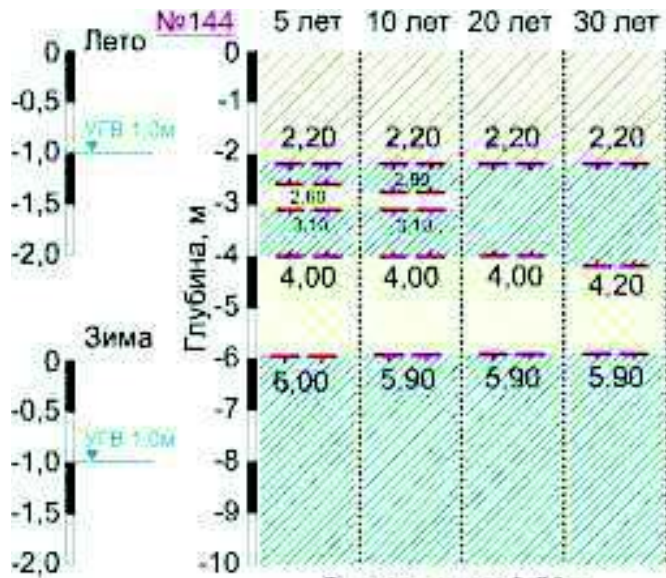
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



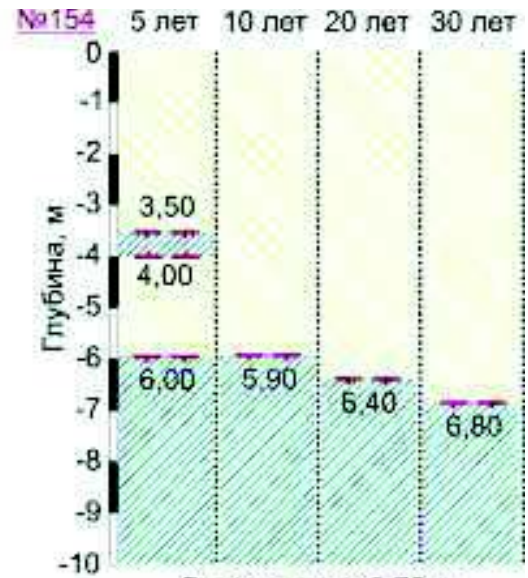
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



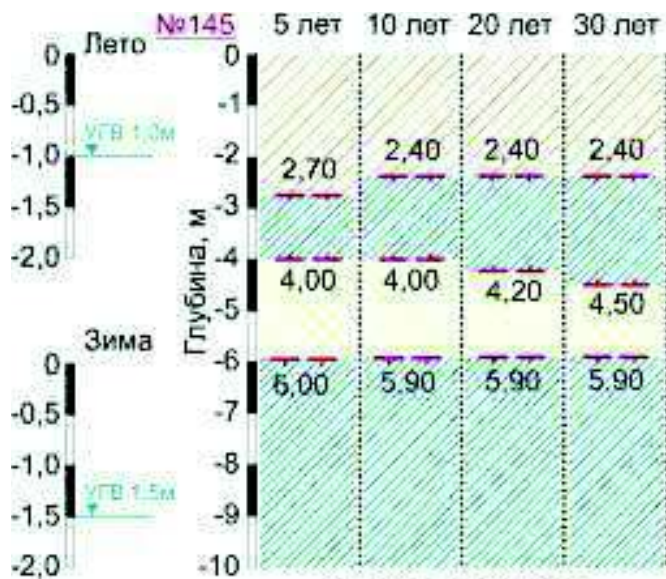
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



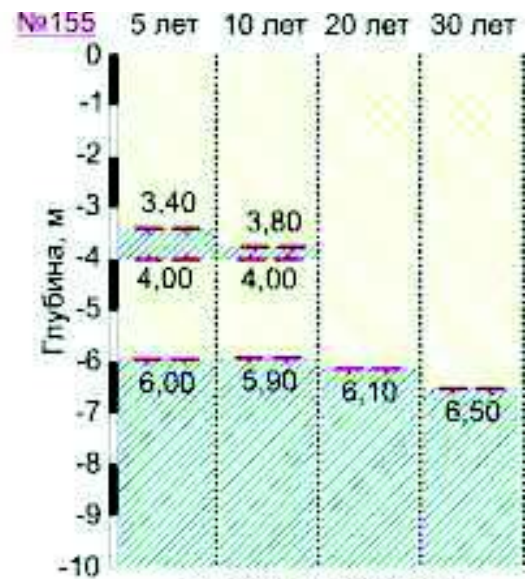
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



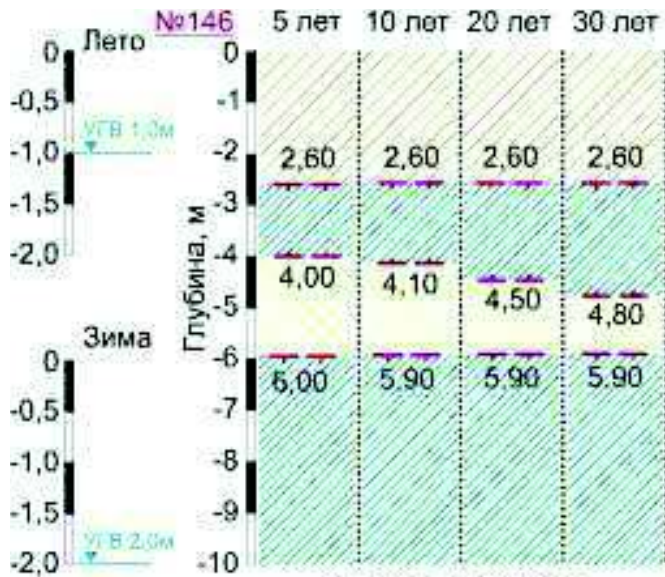
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



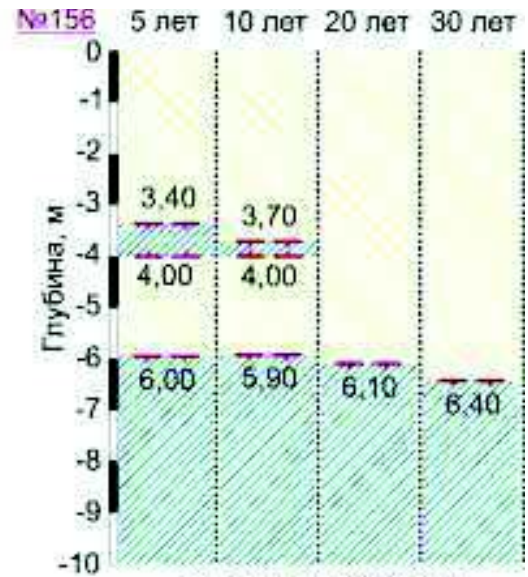
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



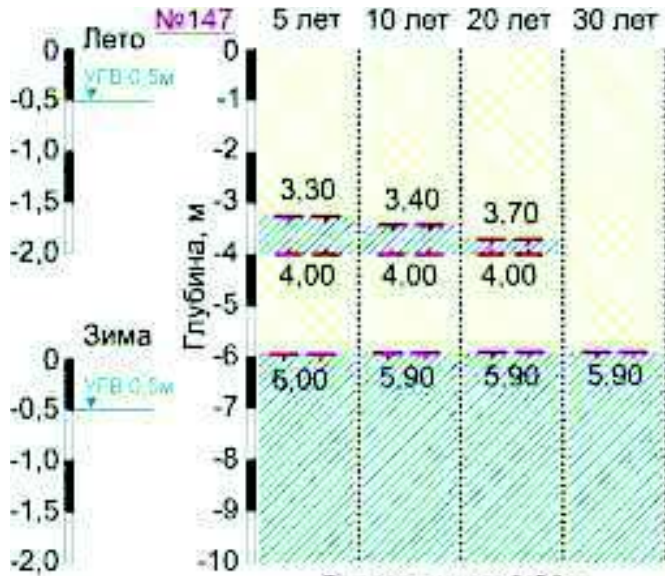
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



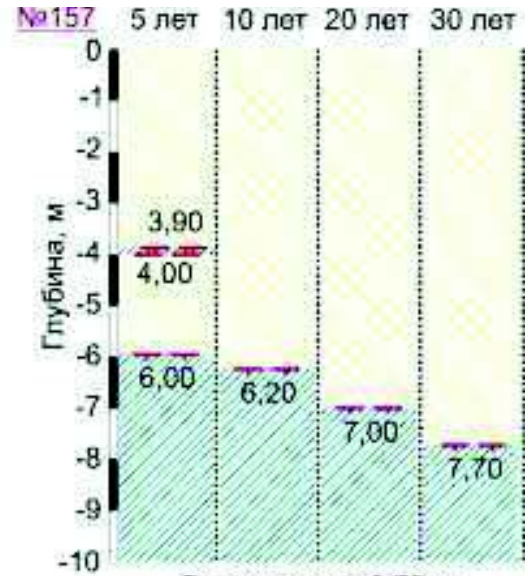
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



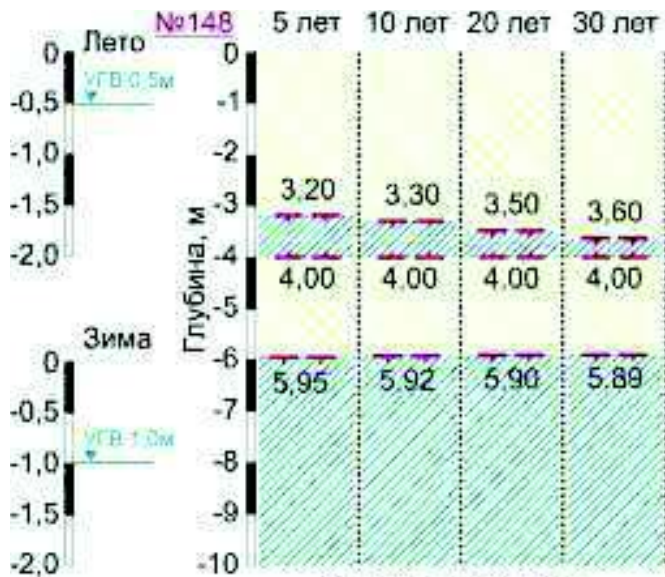
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



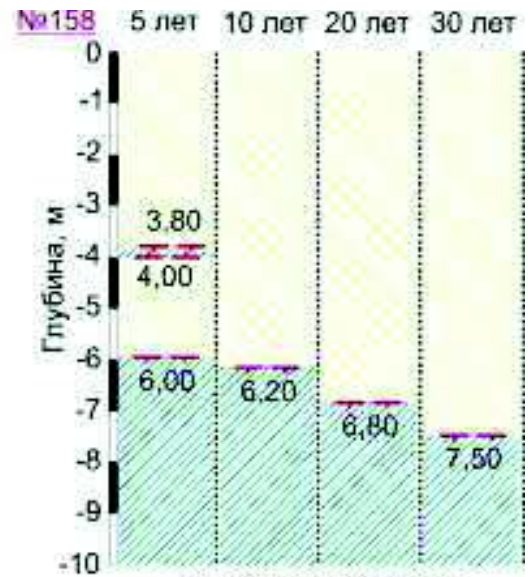
Высота снега 0,75 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



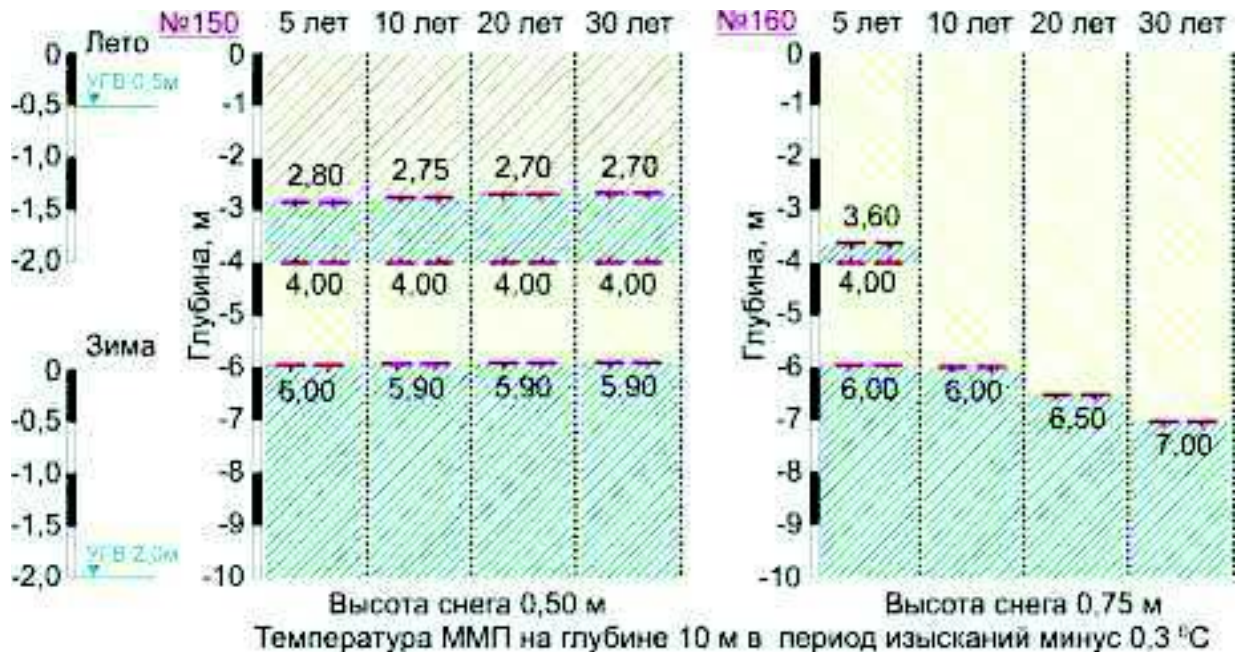
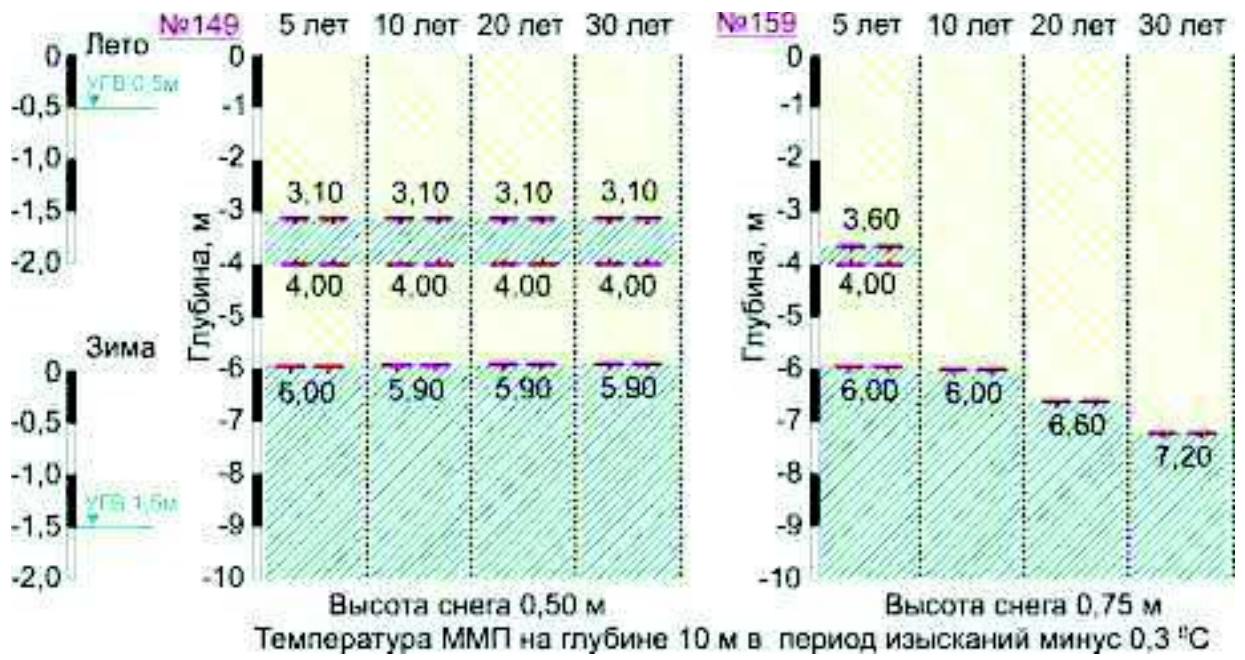
Высота снега 0,50 м

Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



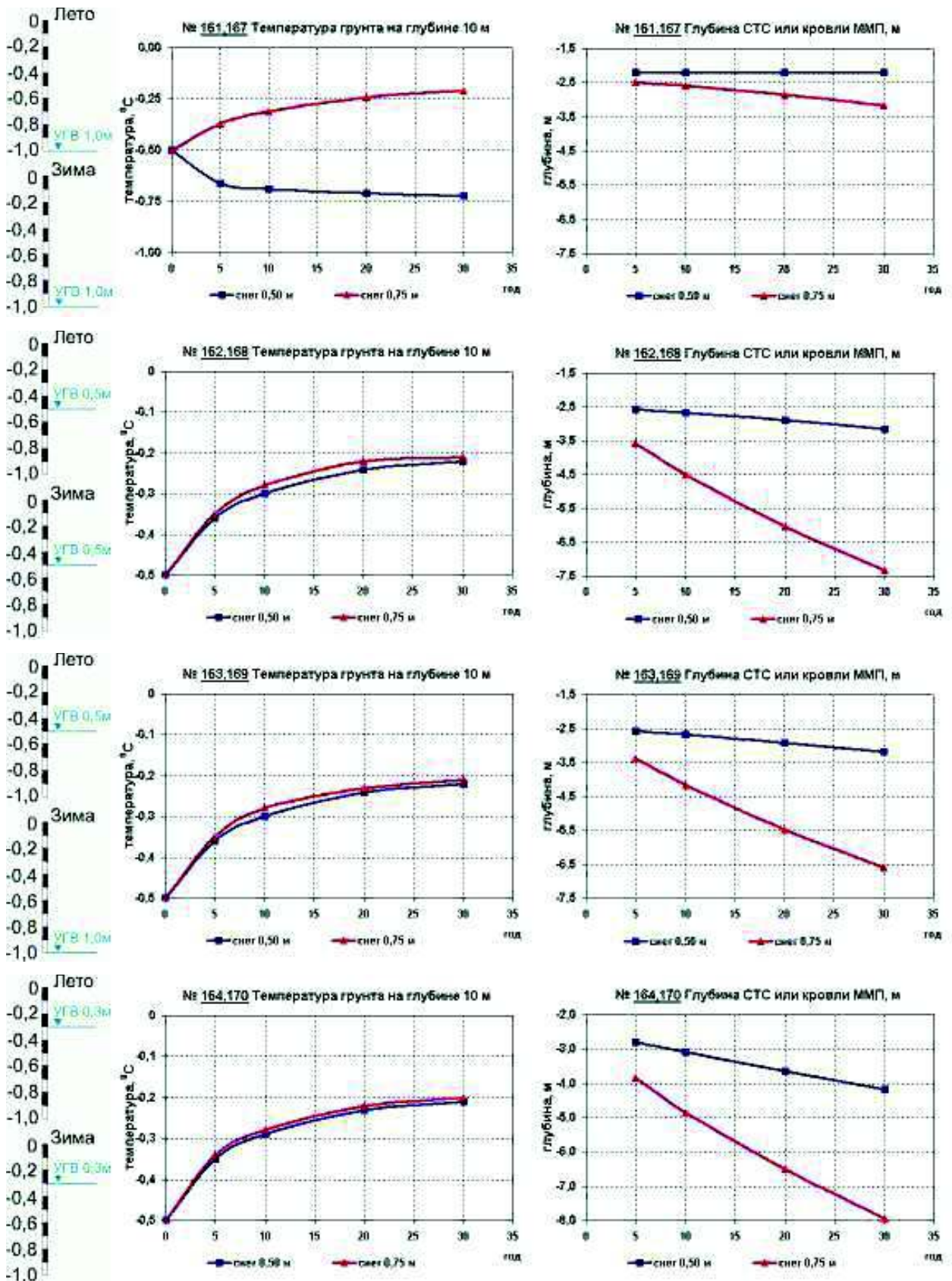
Высота снега 0,75 м

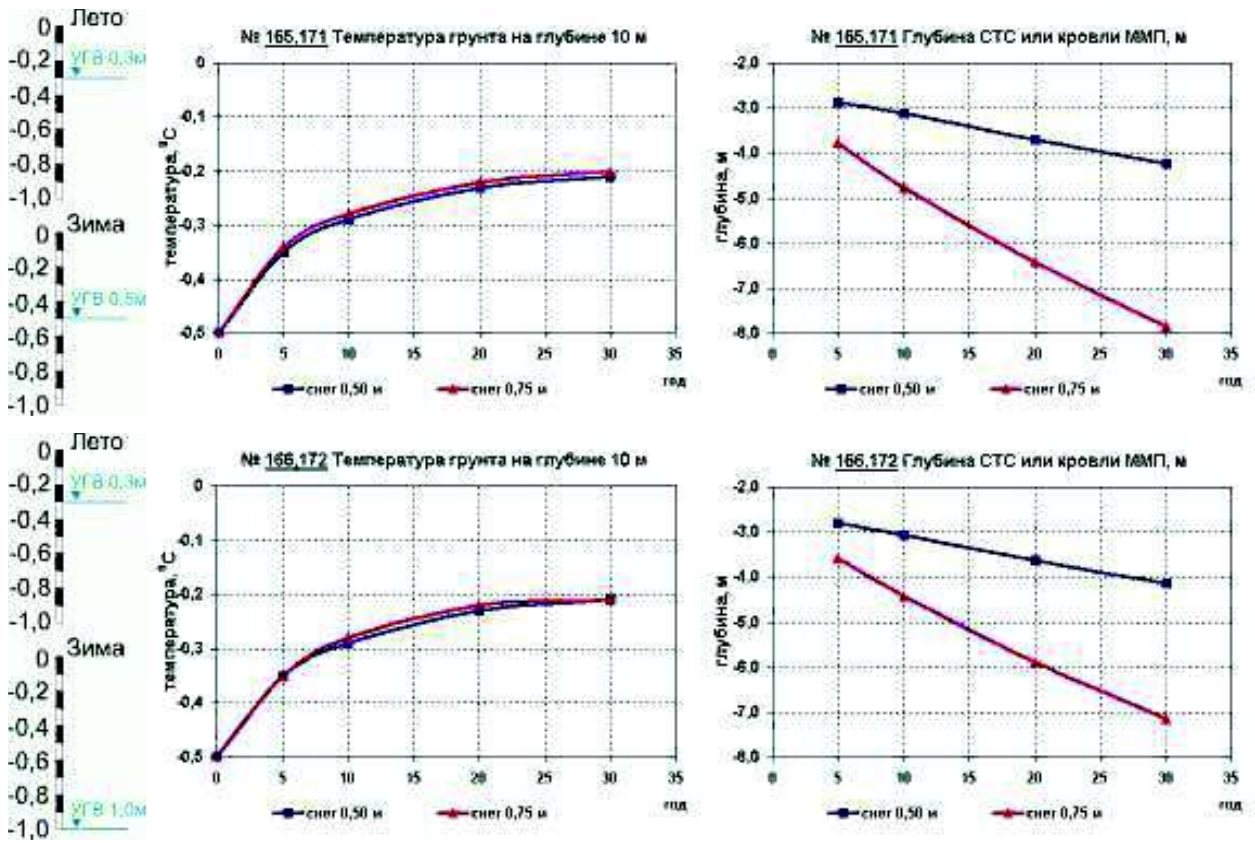
Температура ММП на глубине 10 м в период изысканий минус 0,3 °С



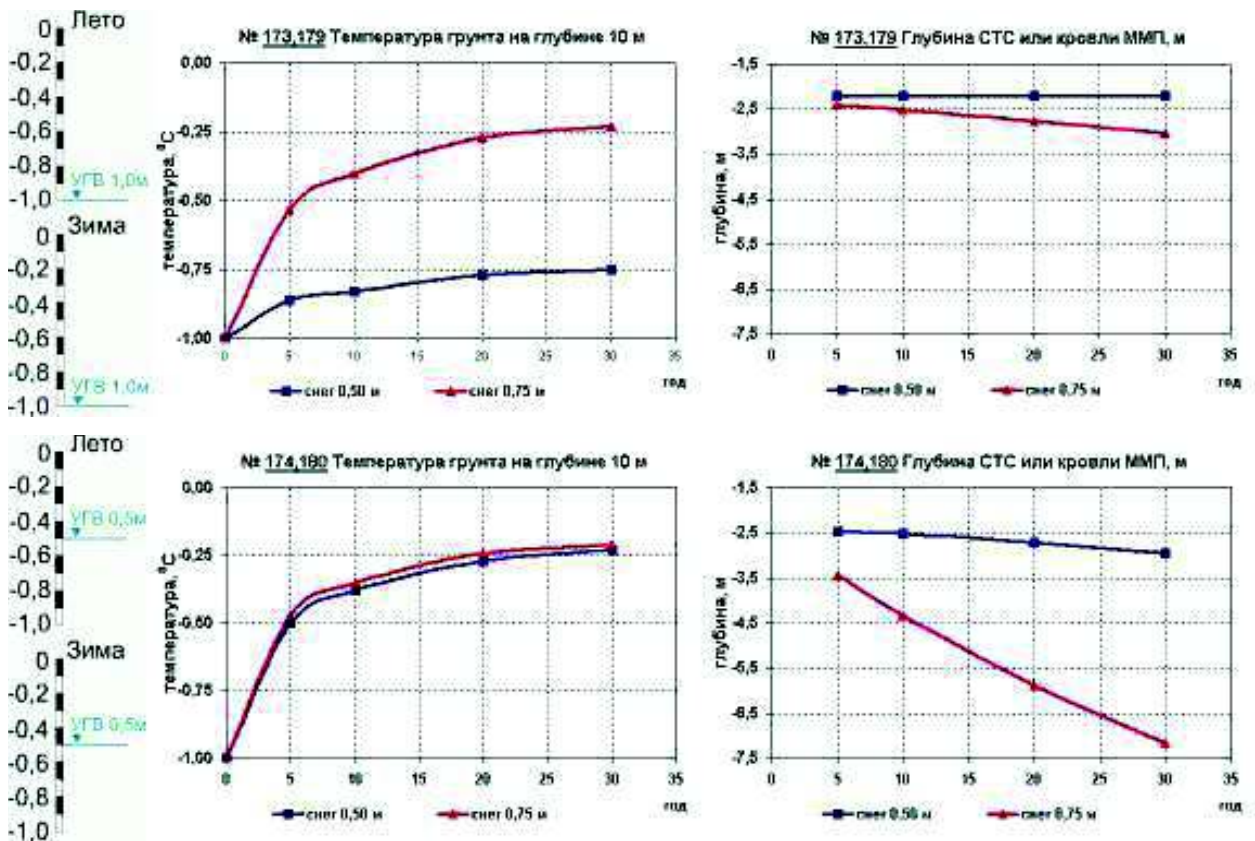
Высота насыпи 1,0 м, тип разреза II б, задачи №№ 161-196

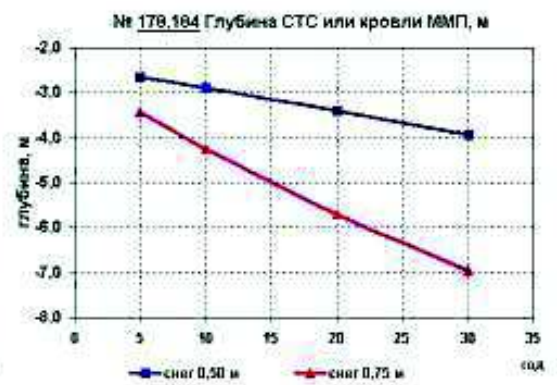
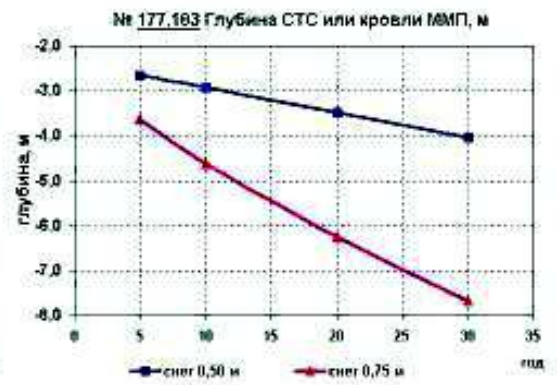
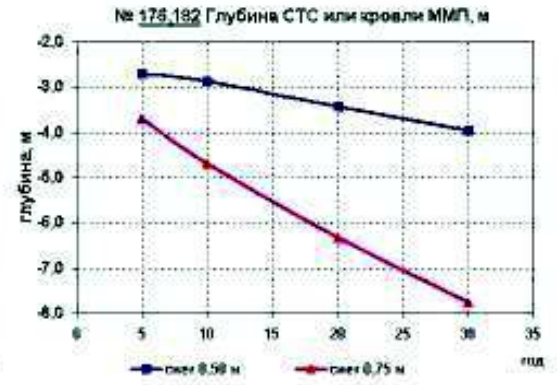
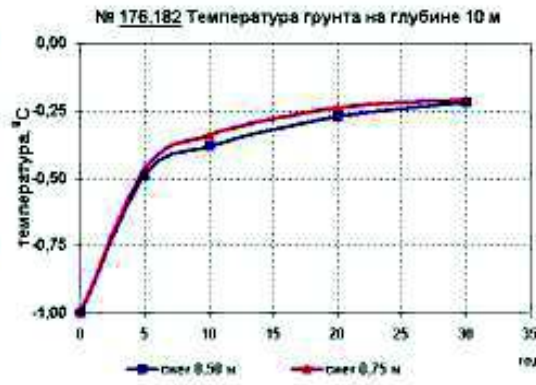
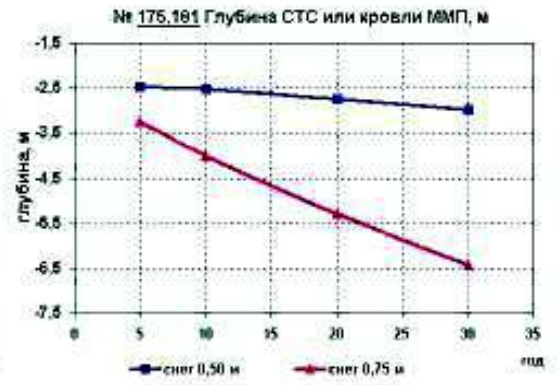
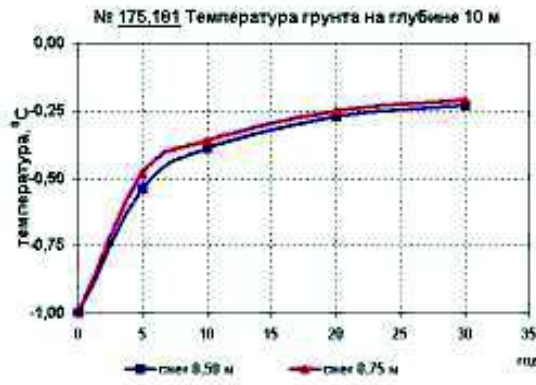
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 0,5 °С



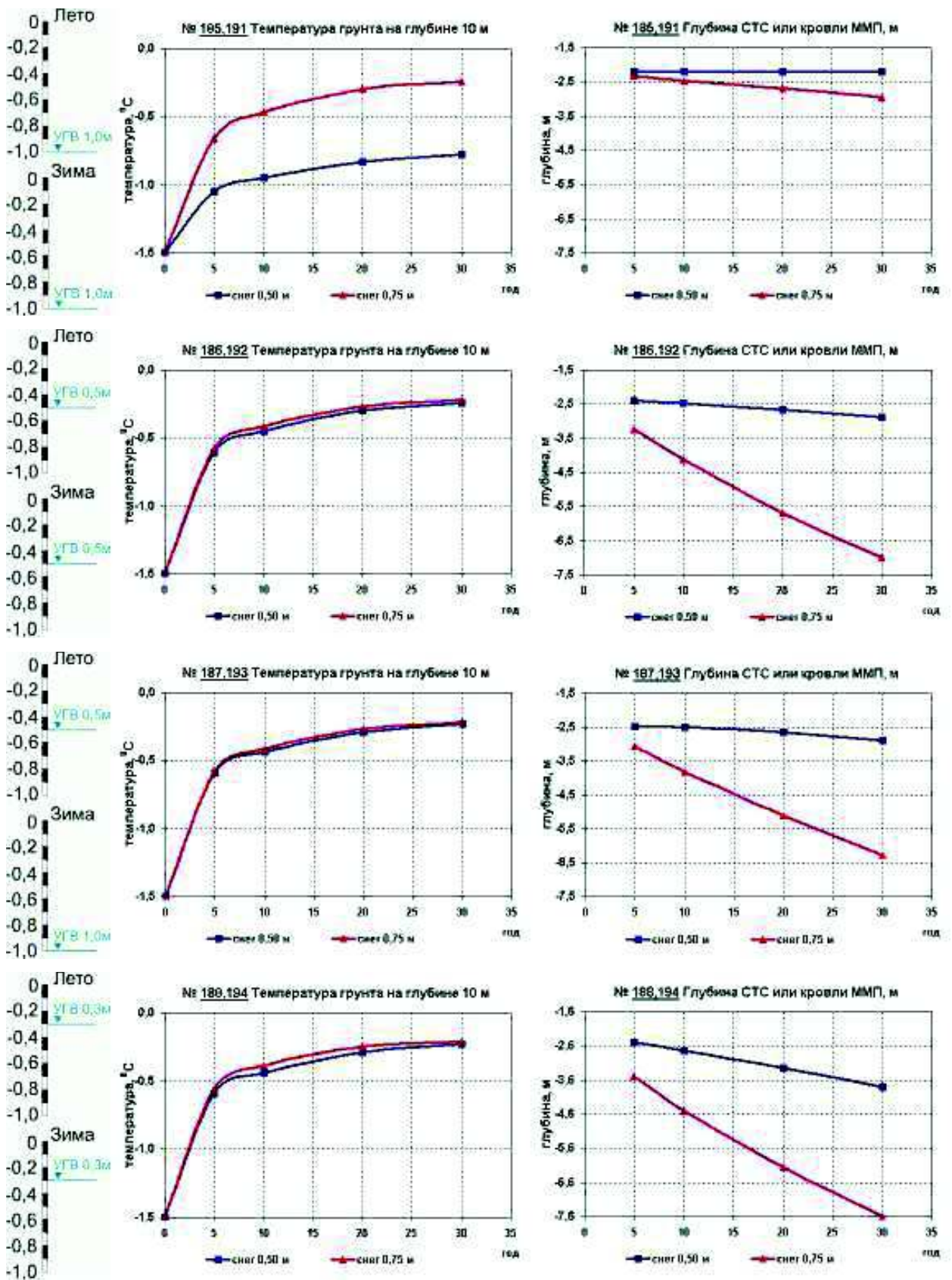


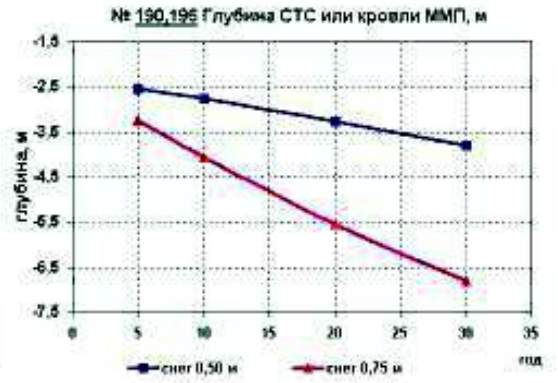
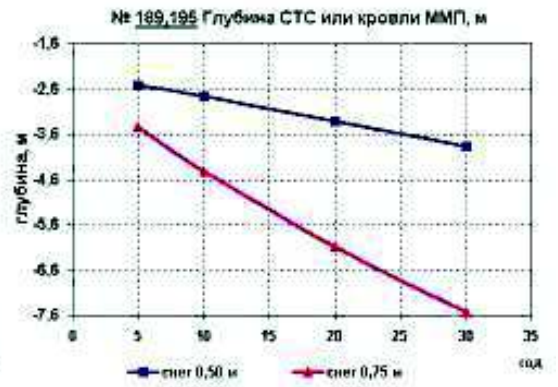
Высота насыпи 1,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза II б
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,0 °С





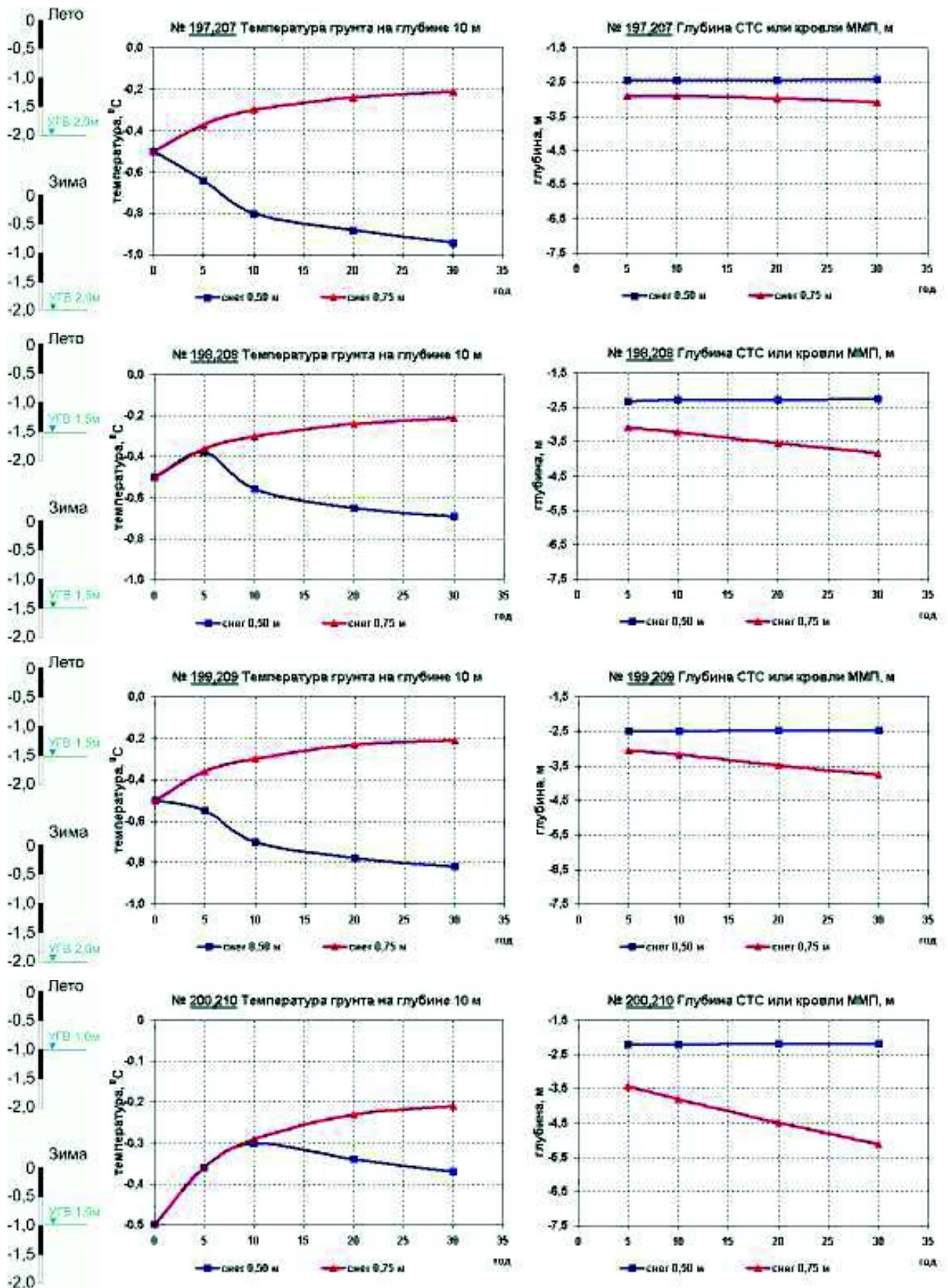
Высота насыпи 1,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза II б
 Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,5 °С

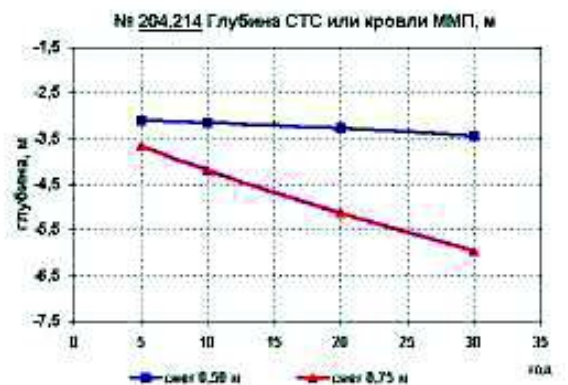
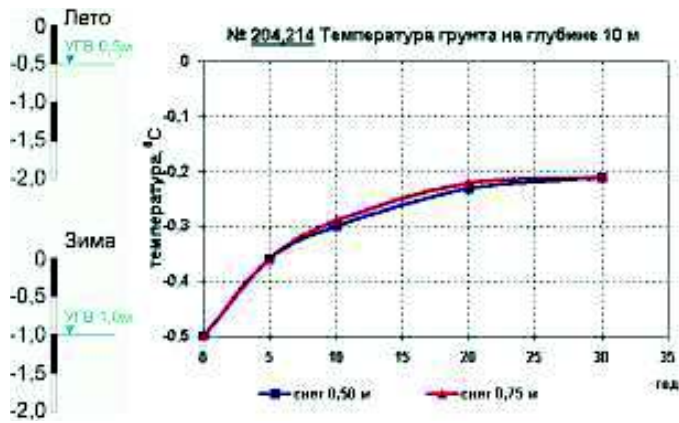
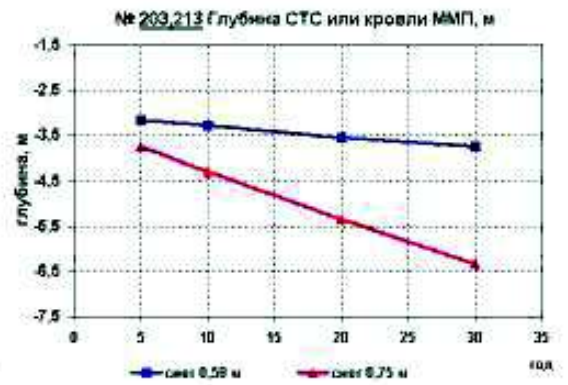
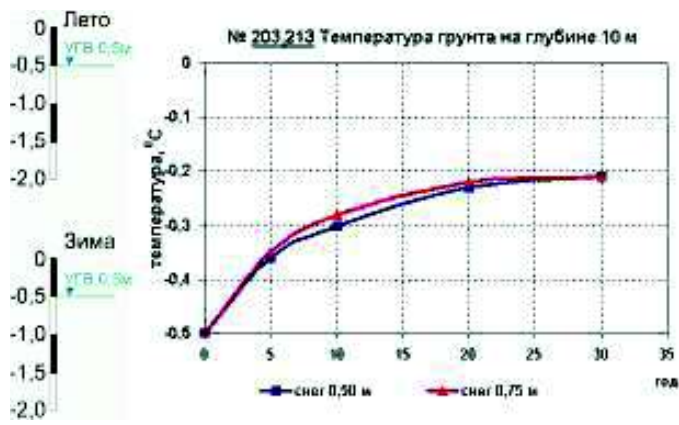
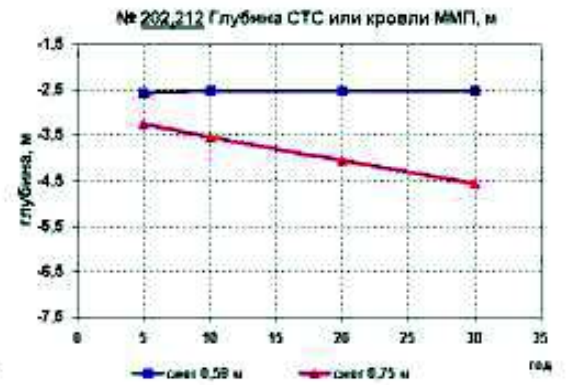
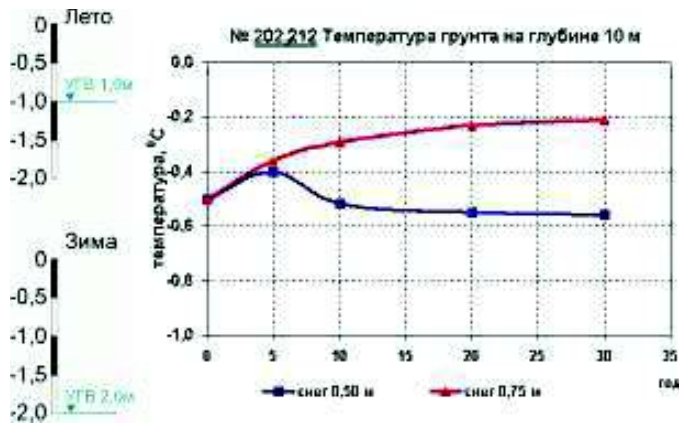
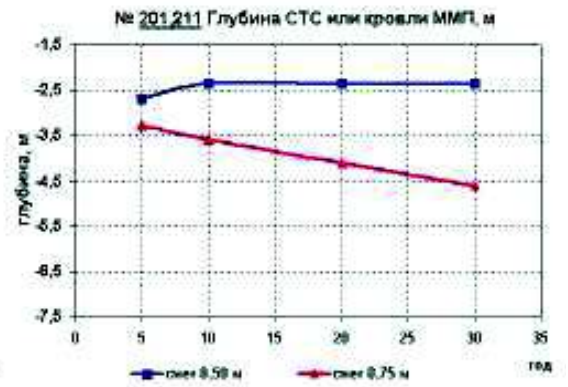


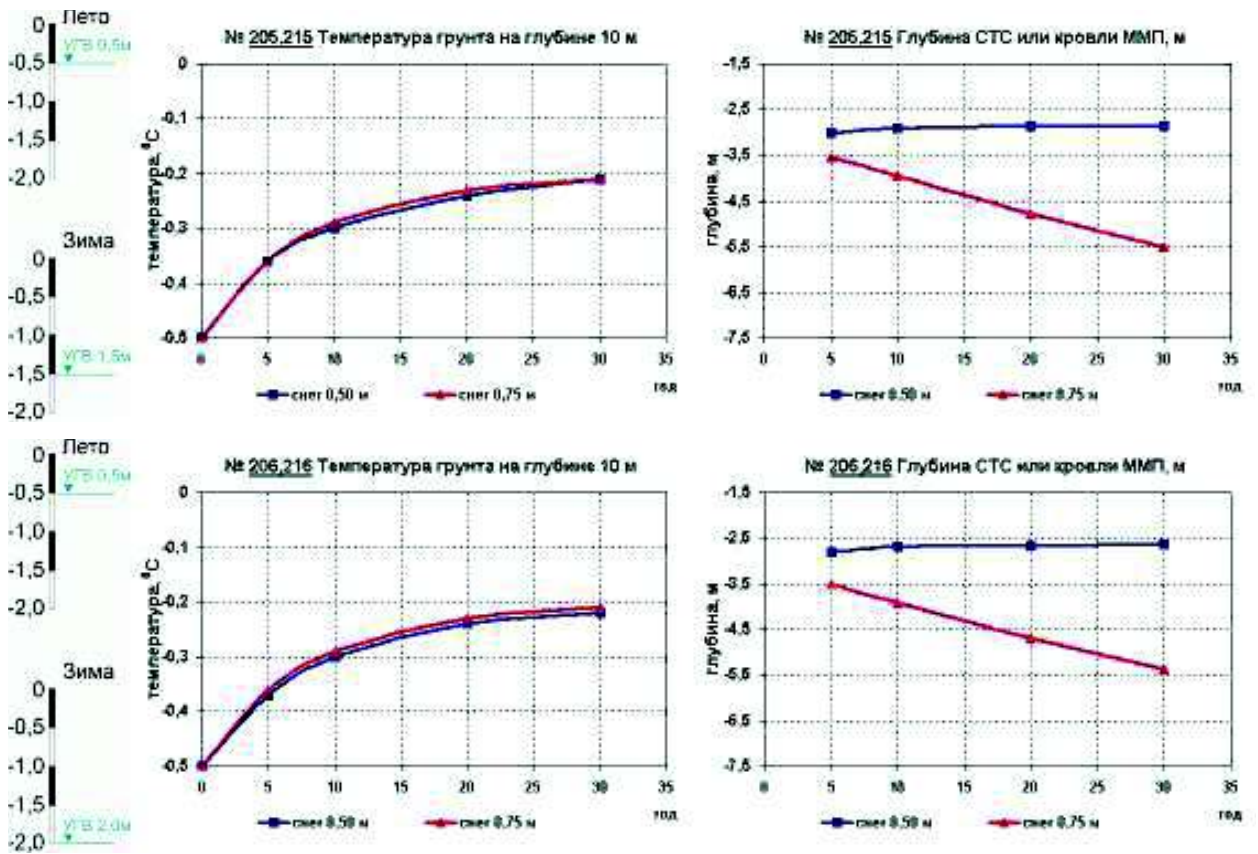


Высота насыпи 2,0 м, тип разреза II б, задачи 197-256

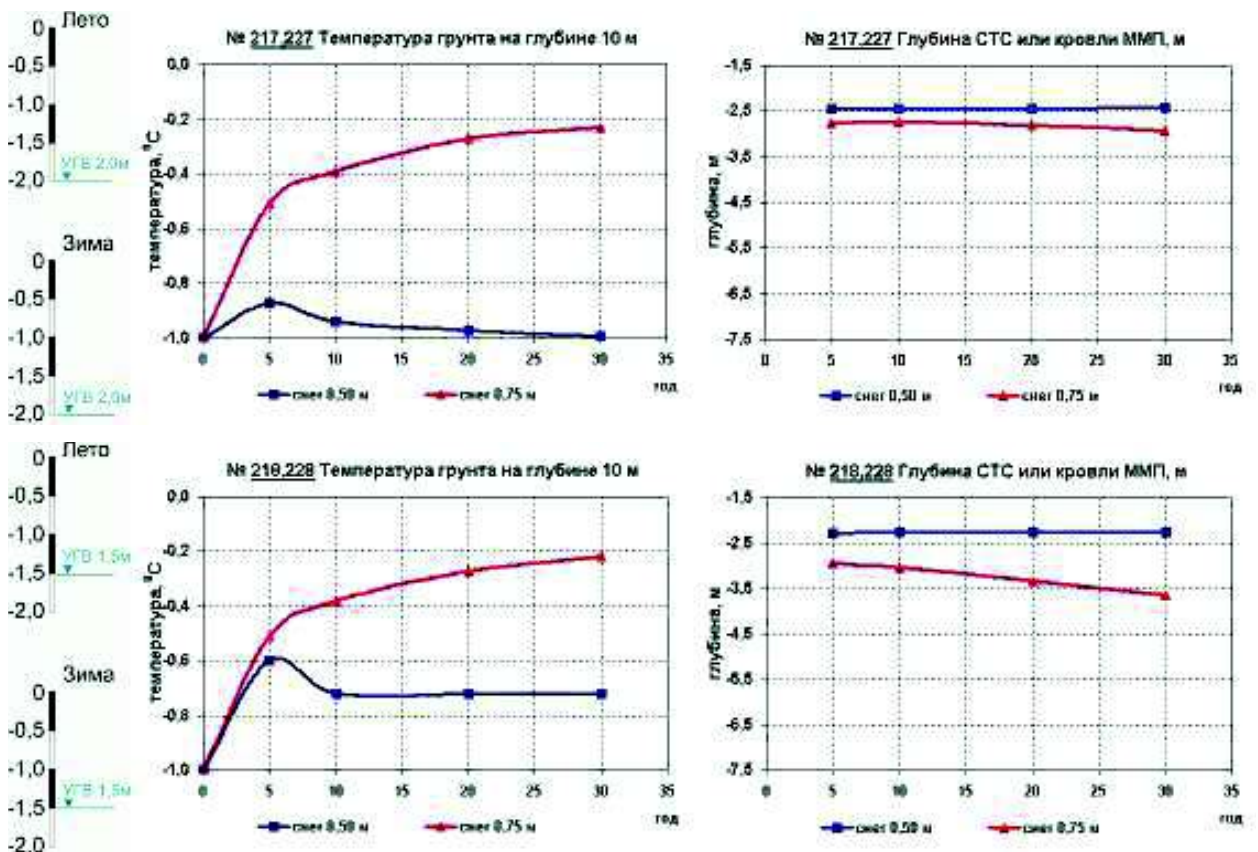
Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 0,5 °С

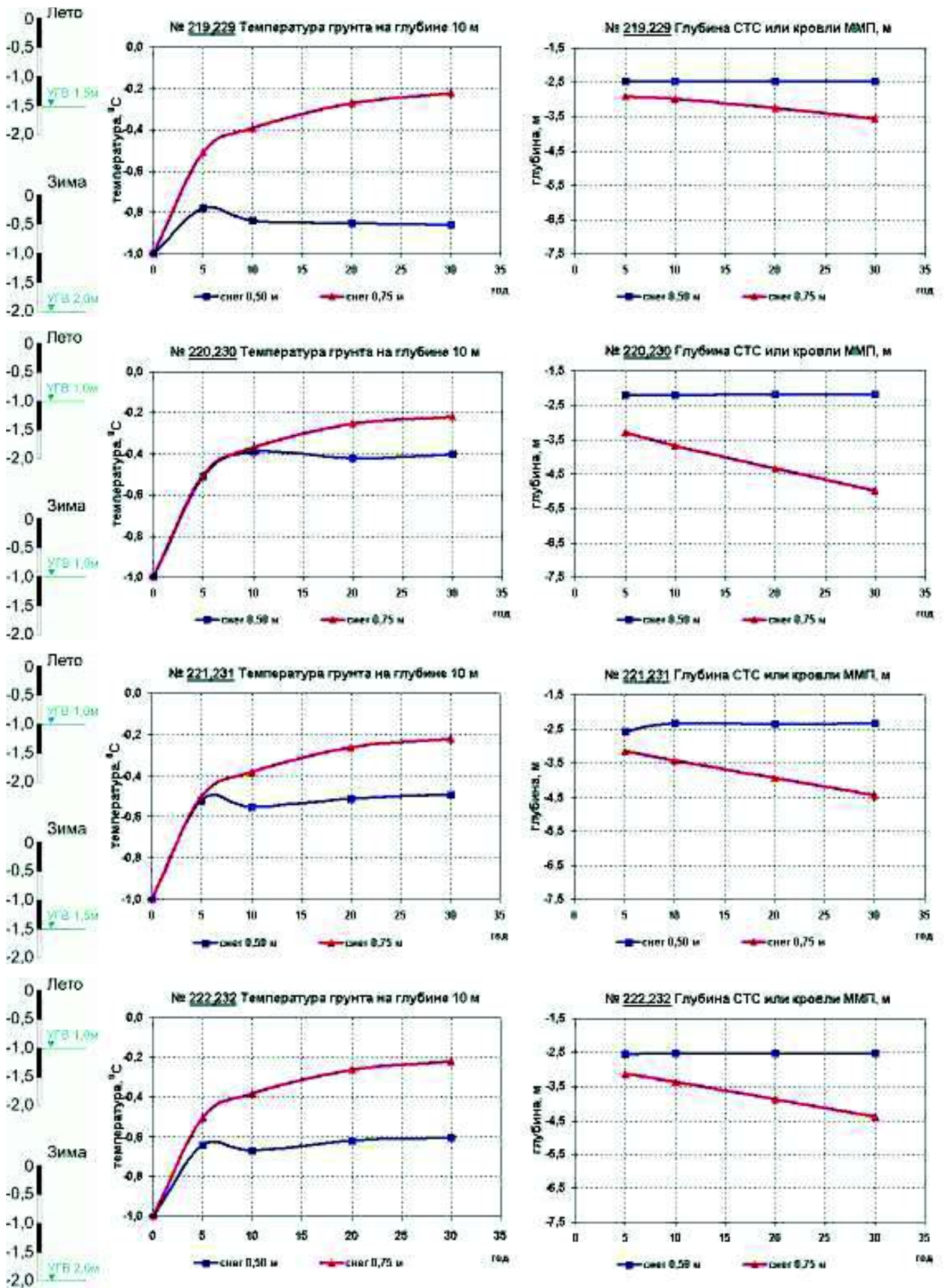


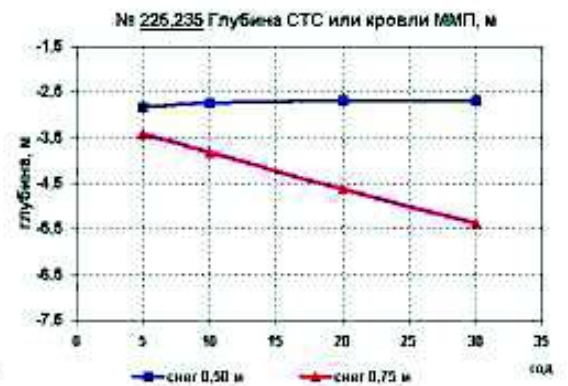
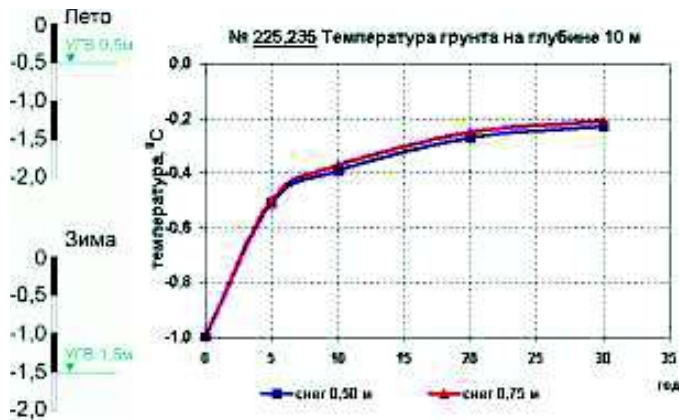
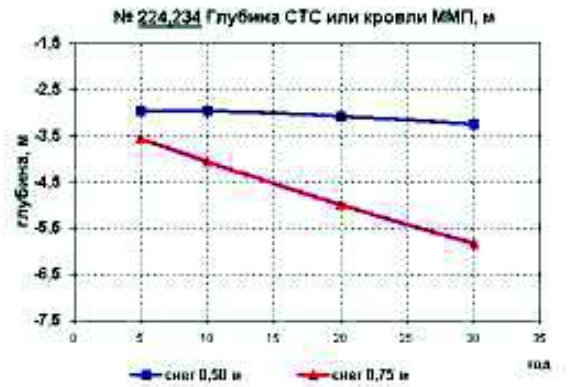
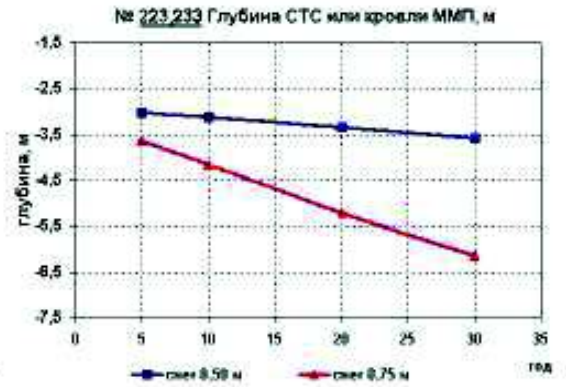
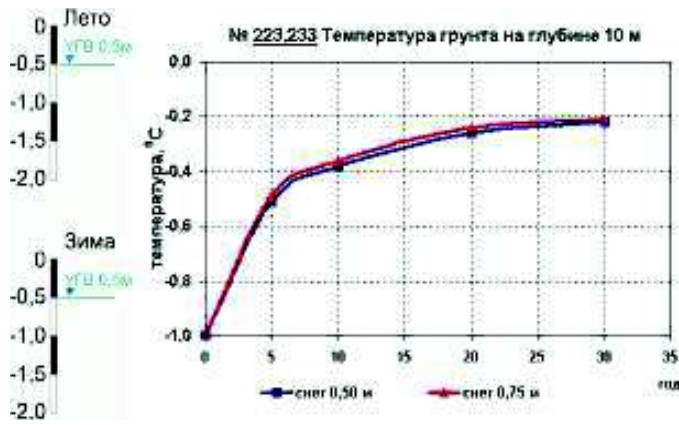




Высота насыпи 2,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза II б
 Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,0 °C







Высота насыпи 2,0 м, тип инженерно-геокриологического разреза II б

Среднегодовая температура грунта на момент изысканий минус 1,5 °С

