



**Сборник докладов  
Шестой конференции геокриологов России  
«Мониторинг в криолитозоне»**

с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов

**МГУ имени М.В. Ломоносова  
14 - 17 июня 2022**

*Пленарные доклады*

*Доклады по секциям:*

*Секция 1. Газы и газогидраты в криолитозоне*

*Секция 2. Геокриологическая съемка и картирование*

*Секция 3. Геокриологический мониторинг*

*Секция 4. Геофизические исследования в криолитозоне*

*Секция 5. Динамическая геокриология*

*Секция 6. Изменения климата и реакция криолитозоны*

*Секция 7. Инженерная геокриология и инженерные изыскания в криолитозоне*

*Секция 8. История, методология и образование в геокриологии*

*Секция 9. Литогенетическая геокриология*

*Секция 10. Основания и фундаменты зданий и инженерных сооружений в условиях изменения климата*

*Секция 11. Физико-химия, теплофизика и механика мерзлых грунтов*

*Секция 12. Региональная и историческая геокриология*

*Секция 13. Экологические и биологические проблемы криолитозоны*

Москва  
КДУ  
2022

УДК (551.34+551.345+556.12+528.9)  
ББК 26.36  
М34

**Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России**  
М34 **«Мониторинг в криолитозоне»** с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14 - 17 июня 2022 г. : сборник статей, [электронное издание сетевого распространения] / Под редакцией Р.Г. Мотенко. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2022. – 1130 с. табл., ил. – URL: <https://bookonline.ru/node/44945> – doi: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1231-0-2022-1130.

ISBN 978-5-7913-1231-0

Всероссийская конференция геокриологов с международным участием проводится в целях представления последних результатов и координации научных исследований, обобщения опыта изысканий, проектирования и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в криолитозоне, определения приоритетов и разработки совместного плана действий для власти, науки и бизнеса в сфере мониторинга и изменений в криосфере, строительства и освоения Арктики. Рассматриваются проблемы по следующим научным направлениям: газы и газогидраты в криолитозоне; геокриологическая съемка и картирование; геокриологический мониторинг; геофизические исследования в криолитозоне; динамическая геокриология; изменения климата и реакция криолитозоны; инженерная геокриология и инженерные изыскания в криолитозоне; история, методология и образование в геокриологии; литогенетическая геокриология; основания и фундаменты зданий и инженерных сооружений в условиях изменения климата; физико-химия, теплофизика и механика мерзлых грунтов; региональная и историческая геокриология; экологические и биологические проблемы криолитозоны.

УДК (551.34+551.345+556.12+528.9)  
ББК 26.36

Электронное издание сетевого распространения.  
Технический редактор Лисицына О.М.  
Компьютерная верстка Шевчик Ф.А., Зубкова А.В., Черняк Ю.В.  
Опубликовано 08.06.2022.  
Издательство «КДУ»: 8(495) 638-57-34. [www.kdu.ru](http://www.kdu.ru)

ISBN 978-5-7913-1231-0

© Коллектив авторов, 2022  
© Издательство «КДУ», 2022

**ПРОГРАММНЫЙ ОРГКОМИТЕТ**  
**Шестой конференции геокриологов России**  
**«Мониторинг в криолитозоне»**

**Сопредседатели**

*Мельников Владимир Павлович* - академик РАН

*Брушков Анатолий Викторович* - заведующий кафедрой геокриологии геологического ф-та МГУ

*Железняк Михаил Николаевич* – директор Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

*Садуртдинов Марат Ринатович* – директор Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН

*Мажаров Александр Викторович* - заместитель Губернатора Ямало-Ненецкого автономного округа, директор департамента внешних связей

*Сидорова Наталья Александровна* - заместитель Губернатора Ненецкого автономного округа

**Члены Программного оргкомитета:**

Алексеев А.Г., Алексеева О. И., Ашпиз Е.С., Богданов М.И., Васильчук Ю.К., Власов А.Н., Гальченко В. Ф., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Жданеев О. В., Заболотник С. .И., Игнатов С.Г., Кекелев А. И., Комаров И.А., Котов П.И., Кроник Я.А., Кошурников А.В., Кузнецов М. Е., Маслаков А.А., Мотенко Р.Г., Оспенников Е.Н., Осипов В.И., Остарков Н.А., Попова А. А., Разбегин В.Н., Ривкин Ф. М., Рязанов А.А., Сергеев Д.О., Складнев Д.А., Соболев П.С., Стрелецкая И.Д.,Трофимов В.Т., Устинова Е.В., Федосеев С. М., Фролов А.М., Чеверев В.Г., Хрусталеv Л.Н.,Хилимонюк В.З.,Черкасов А.М., Чувилин Е.М., Якушев В.С.

**- ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Кафедра геокриологии геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Научный совет по криологии Земли РАН

Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН

Кафедра криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

Правительство Ямало-Ненецкого автономного округа

Администрация Ненецкого автономного округа

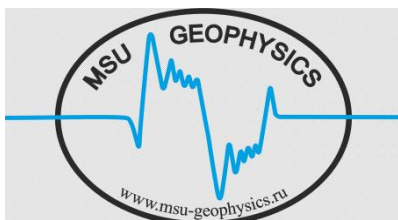
ФАНУ «Востокгосплан» Минвостокразвития РФ

ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго РФ

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПОНСОРЫ

Научный журнал РАН **ГЕОЭКОЛОГИЯ. Инженерная геология Гидрогеология. Геокриология**  
Научно-практический журнал **Инженерные изыскания**  
Научно-практический журнал **Геотехника**  
Научный журнал **Инженерная геология**  
Научный журнал **GeoРиск**  
Научный электронный журнал [Арктика и Антарктика](#)  
Научно-технический журнал **ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ**

## СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:



**ПАО ГКМ Норильский никель**  
**ООО «Научно-производственное предприятие МГУ»**  
**ООО "МГУ - геофизика"**  
**Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН**

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СЕВЕРНОГО ШИРОТНОГО ХОДА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

**Ашпиз Е.С.**

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), г. Москва, ул. Образцова 9,  
стр. 9, Россия; *geonika@inbox.ru*

Приведена характеристика Северного широтного хода. Рассмотрен опыт эксплуатации и причины деформаций железнодорожных насыпей на основаниях из многолетнемерзлых грунтов. Приведены принципы и примеры проектирования земляного полотна в условиях Северного широтного хода при его строительстве.

## DESIGN OF THE ROADBED OF THE NORTHERN LATITUDINAL RAILWAY IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

**Ashpiz E.S.**

Russian University of Transport RUT (MIIT), Moscow, Obraztsova str. 9, bld. 9,  
Russia; *geonika@inbox.ru*

The characteristic of the Northern Latitudinal Railway is given. The experience of operation and the causes of deformations of railway embankments on the bases of permafrost soils are considered. The principles and examples of the design of the roadbed in the conditions of the Northern Latitudinal Railway during its construction and one are given.

### **Введение**

Строительство железных дорог в Арктической зоне, богатой полезными ископаемыми, является одной из приоритетных задач, определяющих развитие транспортной системы России на период до 2030 года. Планируется в направлении с запада на восток на широте полярного круга строительство магистрали, которая получила общее название Северный широтный ход (далее СШХ), проходящей по Южной границе зоны распространения многолетнемерзлых грунтов (далее ММГ). Одним из пионерных участков СШХ является железнодорожная линия Обская – Салехард – Надым протяженностью 356 километров.

Как показывает опыт эксплуатации железных дорог в зоне распространения ММГ возникают проблемы с обеспечением надежности земляного полотна, связанные с их многолетним оттаиванием, что приводит к осадкам насыпей на протаивающем основании, которые протекают крайне неравномерно, вызывая значительные расстройства рельсовой колеи, требующие необходимости частых выправок и подъемов пути, и, как правило, ограничений скорости движения поездов. На рисунке 1 представлен характерный участок с просадками на эксплуатируемом пути линии Чум – Лабытнанги, прилегающей к СШХ.

Исследования, выполненные многими учеными в нашей стране и за рубежом [1, 5-7, 11, 13], показывают, что причиной деградации ММГ в основании насыпей является нарушение естественных условий теплообмена между атмосферой и грунтовым массивом, выражающихся в:

- замене в зоне сезонного оттаивания-промерзания слоя торфа или переувлажненного суглинка на дренирующий маловлажный грунт;
- уменьшении испарения и увеличении инфильтрации тепловых атмосферных осадков через оголенные поверхности контура насыпи в сравнении с естественными маревыми ландшафтами;

- увеличении поглощения солнечной радиации поверхностями контура насыпи в сравнении с естественными маревыми ландшафтами;
- увеличении толщину отложений снега по контуру насыпи, особенно у подошвы, относительно естественных условий;
- ухудшении условий стока поверхностных вод вблизи насыпей, приводящему к отепляющему влиянию углублений поверхности, заполненных водой и фильтрующихся через насыпь потоков.



Рисунок 1 – Участок с просадками пути на линии Чум – Лабитнанги

Особенностью зоны прохождения СШХ являются сложные природные условия, а именно:

климатические, характеризующиеся продолжительной зимой с низкими температурами воздуха, большими скоростями ветра с длительными метелями и значительным объемом снегопереноса;

инженерно-геологические, вызванные наличием в основании ММГ с температурой на глубине нулевых амплитуд не ниже  $-1^{\circ}\text{C}$ , чередующихся с болотами и тальми глинистыми и пылеватыми грунтами повышенной влажности.

Другой важной особенностью является то обстоятельство, что на данных линиях предусматривается быстрый рост грузопотока с освоением его тяжелыми поездами, имеющими расчетный вес поезда более 6000 т и осевую нагрузку в 25 т, и это вызывает необходимость применения более жестких норм по допускаемым деформациям основания.

Таким образом, при проектировании земляного полотна СШХ с одной стороны надо учитывать тенденцию глобального потепления климата, которая ведет к деградации ММГ и увеличению доли талых слабых оснований, а с другой стороны необходимость повышения надежности оснований в условиях интенсивного движения поездов.

### **1. Оценка условий линии Обская – Салехард – Надым и выбор принципа проектирования**

Планируемая загрузка линии Обская – Салехард – Надым должна составить 23,9 млн. т в год, что в соответствии с нормами СП 119.13330.2017 [8] относит её к линиям II категории, для которых допускаемая остаточная осадка насыпи согласно норм СП 238.1326000.2015 [9] должна приниматься 400 мм за весь срок до капитального ремонта (30 лет для данной линии) или максимум 150 мм за год, а величина допускаемого пучения составляет 20 мм.

По результатам инженерно-геологических изысканий в основании на глубину 15 м участки с ММГ чередуются с участками со сквозными таликами. Положение верхней границы ММГ также сильно изменчиво в пределах небольших по протяжению участков и колеблется по глубине от дневной поверхности от 2 м до 10 м, а температура этих грунтов составляет от  $-0,3^{\circ}\text{C}$  до  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , что указывает на очень нестабильные мерзлотные условия, особенно в условиях зафиксированного в последние годы повышения среднегодовых температур.

Для выделения характерных конструктивных решений насыпей был проведен анализ грунтовых условий оснований, по которому они были разделены на следующие группы:

1 группа – прочные основания без наличия ММГ, представленные непучинистыми или слабопучинистыми глинистыми грунтами полутвердой консистенции;

2 группа – недостаточно прочные основания без наличия ММГ, представленные пучинистыми суглинками пластичной консистенции;

3 группа – слабые основания и болота без наличия ММГ, представленные сильнопучинистыми суглинками текучей консистенции и торфами;

4 группа – основания, сложенные слабльдистыми ММГ, имеющими при оттаивании относительную осадку ( $\delta$ ) 0,1 и менее;

5 группа – основания, сложенные льдистыми ММГ, имеющими при оттаивании относительную осадку ( $\delta$ ) более 0,1.

Анализ геологических условий продольного профиля трассы линии показал, что наибольшее протяжение на участках талых грунтов имеют основания с недостаточно прочными грунтами, а на участках с ММГ на льдистых грунтах (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение оснований трассы по группам

Группа основания	1	2	3	4	5
Протяжение, %	11,1	42,9	9,8	5,5	30,7

Таким образом, 2/3 протяжения трассы оказалось на талых грунтах и только на 1/3 имеют распространение ММГ, причем основная их часть в основании содержит льдистые грунты с значительной относительной осадкой при их оттаивании. Исходя из такого распределения оснований может быть предложен следующий алгоритм проектирования земляного полотна.

Для участков 1-3 групп, где в основании ММГ отсутствуют, проектирование ведется как для обычных условий без выполнения прогнозных теплотехнических расчетов изменения температуры грунтов, при этом:

- участки 1 группы, расположенные на талых прочных основаниях, проектируются типовыми решениями без их расчетного обоснования по условию деформативности основания;

- участки 2 группы, имеющие в основании талые пучинистые грунты, при высоте насыпи меньше критической, когда глубина сезонного промерзания входит в грунты основания под насыпью, проверяются теплотехническим расчетом по условию не превышения величины допустимого пучения в 20 мм. Согласно выполненным теплотехническим расчетам при отсыпке насыпей из мелких и пылеватых песков, критическая высота насыпи при которой основание не имеет сезонного промерзания составила для условий Салехарда 2,0 м, а для условий Надыма 2,2 м. При превышении на низких насыпях величины пучения может быть рекомендована укладка под основной площадкой насыпи теплоизолирующего покрытия из плит экструдированного пенополистирола, толщина которого определяется теплотехническим расчетом;

- участки 3 группы, имеющие в основании талые сильнопучинистые грунты, в виде суглинков текучей консистенции или торфов, при высоте насыпи меньше критической, когда глубина сезонного промерзания входит в грунты основания под насыпью, проверяются теплотехническим расчетом по условию не превышения величины допустимого пучения. Кроме того, все без исключения насыпи проверяются по условию несущей способности слабого основания и норм по величине осадок и если одно из этих условий не выполняется, то производится замена слабого грунта основания на дренирующий на величину  $h_3$ . Проведенные расчеты показали, что толщина замены грунта, как правило, не превышала 2 м.

Для участков 4 и 5 групп, где в основании расположены ММГ выполняется прогнозный теплотехнический расчет изменения температуры грунтов на период до капитального ремонта (30 лет), на основе которого оценивается возможность деградации верхней границы ММГ и рассчитывается величина остаточной осадки из-за оттаивания, на основе которой определяется принцип использования грунтов основания: I принцип с недопущением многолетнего оттаивания за счет применения специальных охлаждающих решений или II принцип, при котором учитывается, что грунты в эксплуатации окажутся в оттаявшем состоянии.

## **2. Прогнозная оценка мерзлотных условий по сооружения насыпей линии Обская – Салехард – Надым**

Оценка мерзлотных условий по трассе выполнялась численным моделированием теплового режима насыпи с основанием в программном комплексе Frost 3D [3]. Расчеты, учитывая протяженность земляного полотна, выполнялись в плоской (2-х мерной) постановке. На верхней границе расчетной области по данным метеостанций в г. Салехард и г. Надым задавались среднемесячные температуры воздуха ( $t_v$ ) и скорости ветра ( $V$ ), а также среднедекадные толщины снежного покрова  $h_{сн}$ .

Учитывая сложность задания в модели всех факторов теплового процесса взаимодействия грунтового массива с атмосферой и значительную изменчивость местных условий (солнечной радиации, инфильтрации поверхностной воды, растительного и снежного покровов), определяющих большой разброс положения верхней границы ММГ и их температур по протяжению на момент изысканий, было принято решение на первом этапе провести калибровку параметров теплового процесса на верхней поверхности грунта для полевых условий до сооружения насыпи, которая выполнялась в одномерной постановке в периоде 1000 лет до подбора положения границы ММГ и их температуры, так чтобы они совпадали с значениями, полученными в ходе изысканий.

На втором этапе выполнялось моделирование теплового процесса после сооружения насыпи с глубиной прогноза по времени в 30 лет, определенном сроком до первого капитального ремонта, ограничивающим величины допустимых деформаций насыпи. При этом учитывалось глобальное потепление климата, которое для участка строительства, находящегося в Западной Сибири, было принято согласно доклада Росгидромета [4] как повышение среднегодовой температуры воздуха за десятилетний период на 0,33 °С, которое между сезонами внутри года разделяется следующим образом: зимние месяцы + 0,13 °С за 10 лет, весенние месяцы – + 0,74 °С за 10 лет, летние месяцы – +0,23 °С за 10 лет и осенние месяцы – + 0,24 °С за 10 лет. При таком учете потепления среднегодовая температура воздуха по Салехарду на конец расчетного сезона была повышена с -7,0 °С до - 6,0 °С, а по Надыму с -5,5 °С до - 4,5 °С.

Другим важным фактором, который существенно изменяет тепловое взаимодействие атмосферы с основанием насыпи в условиях метелевого снеготранспорта является накопление снега у подошвы насыпей. На рисунке 2 показано распределение

толщины снежного покрова на конец зимнего сезона, наблюдавшееся у насыпи высотой 3 м на 24 км линии Чум – Лабытнанги, имеющей откосы стандартной крутизны 1:1,5, а в таблице 2 приведены характеристики снежного покрова по откосу насыпи такой же высоты, но с пологими откосами крутизной откоса 1:4, замеренные на линии Обская - Бованенково.

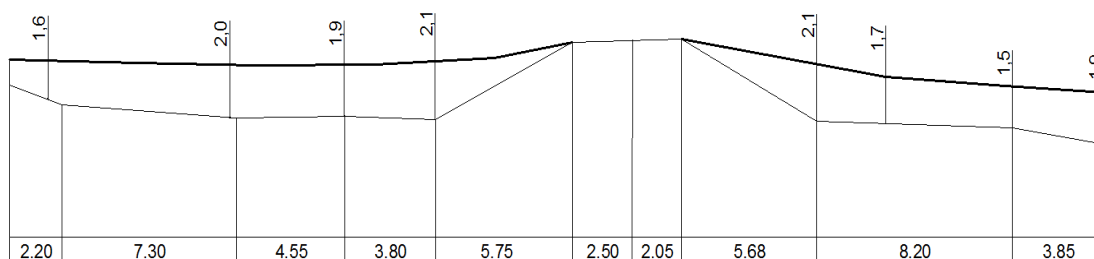


Рисунок 2 – Распределение снежного покрова на конец зимы на линии Чум – Лабытнанги

Как видно из приведенных данных снежный покров практически полностью выравнивает дневную поверхность вблизи насыпи, увеличивая у подошвы насыпи толщину снега до 2 м относительно 0,2-0,4 м на ровной поверхности. Такое распределение снежного покрова по поперечному профилю насыпи приводит к тому, что в основании в этих условиях начинается деградация многолетней мерзлоты под нижней частью откоса и под прилегающей к подошве насыпи поверхностью земли.

Таблица 2 – Изменение характеристик снежного покрова на конец зимы по откосу насыпи с пологими откосами

Параметр снежного покрова	Точка поперечного сечения				
	Верх откоса	Середина откоса	Подошва насыпи	Поле 5 м от подошвы	Естественные условия
Толщина, м	0,31	0,75	1,23	0,51	0,21
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	360	470	550	420	310
Термическое сопротивление, м <sup>2</sup> °C/Вт	0,784	1,515	2,159	1,167	0,634

Экспериментальное подтверждение такого развития процесса деградации мерзлоты после сооружения земляного полотна было получено МИИТом в сентябре 2012 года в ходе обследования деформирующихся насыпей линии Чум – Лабытнанги [10]. Аналогичные результаты влияния снежного покрова на деградацию ММГ у автодорожной насыпи были получены в арктической зоне Канады [12].

Моделирование изменения температурного режима после строительства насыпей с учетом приведенных условий для насыпей разной высоты для перегона Обская – Салехард показало, что во всех случаях без применения специальных охлаждающих мероприятий происходит деградация ММГ в основании. В таблице 3 показано изменение во времени положения верхней границе ММГ по оси пути для разных вариантов насыпей, а на рисунке 3 температурный режим по поперечному сечению на 30 год после сооружения насыпи высотой 3,7 м.

Результаты расчетов тепловой осадки в результате оттаивания ММГ в основании за период 30 лет показывают, что для участков с льдистыми грунтами (величина относительной осадки при оттаивании более 0,1 – участки 5 группы) её значения превосходят допустимую величину в 400 мм, а для участков со слабольдистыми грунтами (величина относительной осадки при оттаивании менее 0,1 – участки 4

группы) оказываются меньше допустимой величины. В этих условиях для проектирования на участках с льдистыми грунтами может быть предложено в качестве основного решения для исключения длительных осадок при их оттаивании предусматривать I принцип строительства на ММГ, т.е. недопущение как в период строительства, так и эксплуатации деградации вечной мерзлоты с помощью применения специальных охлаждающих конструкций [2], а для участков с малольдистыми грунтами - предусматривать II принцип строительства на ММГ, допуская в эксплуатации оттаивание и осадки.

Таблица 3 – Глубина верхней границы ММГ по оси пути

№ п/п	Высота насыпи, м	Глубина верхней границы ММГ от поверхности основания, м		
		Исходное	Через 3 года	Через 30 лет
1	3,2	-10,6	-10,6	-11,1
2	10,8	-3,5	-3,9	-5
3	3,7	-2	-2,7	-6,1

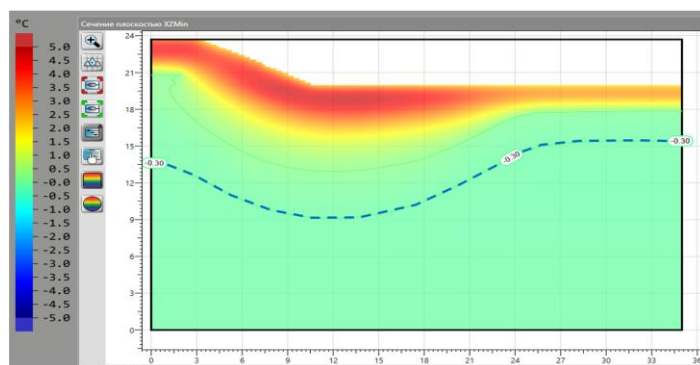


Рисунок 3 – Температурное поле через 30 лет в основании насыпи высотой 3,7 м

### 3. Проектные решения по сохранению ММГ в основании

В настоящее время отработаны и прошли проверку основные мероприятия по стабилизации ММГ в условиях арктической части криолитозоны, к которым можно отнести в России применение сезонных охлаждающих установок (СОУ) совместно с боковыми бермами и пологими откосами насыпи, а также теплоизоляцию откосов. Варианты этих решений мероприятий были промоделированы с помощью численного метода для условий строительства насыпей на линии Обская – Надым. Результаты прогноза изменения положения верхней границы ММГ на 30 летний срок показали эффективность применения вариантов с установкой СОУ по бермам для насыпей высотой до 6 м (рисунок 4а) и теплоизоляции плитами экструдированного пенополистирола толщиной 10 см (рисунок 4б) для более высоких насыпей. На рисунке 5 в качестве примера для насыпи высотой 6 м приведены результаты моделирования. Как видно из рисунка, при сооружении насыпи без охлаждающих конструкций за 30 лет после эксплуатации произошло опускание верхней границы ММГ под всем контуром насыпи (см. рис. 5б). Величина оттаивания ММГ по оси насыпи составила 4,2 м, а осадка при этом прогнозируется на 0,67 м, что превышает допускаемую норму, в варианте с охлаждающими конструкциями (см. рис. 5в) произошло наоборот поднятие верхней границы ММГ и она через 30 лет вошла в грунт насыпи.

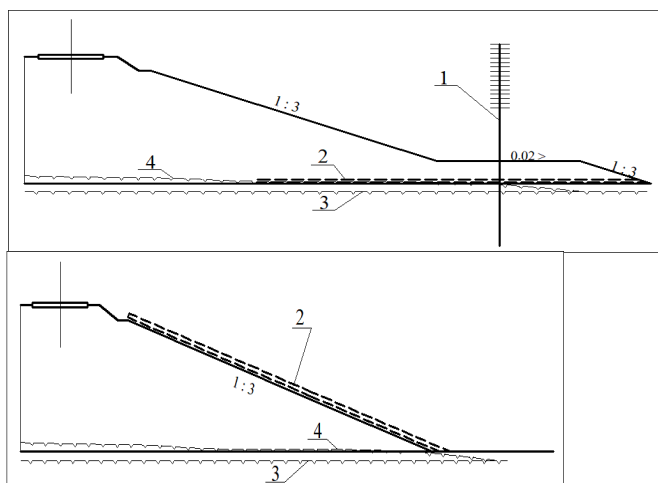


Рисунок 4. Стабилизация границы ММГ 1- СОУ; 2 – теплоизолятор; 3, 4 – положение верхней границы ММГ до и после сооружения насыпи.

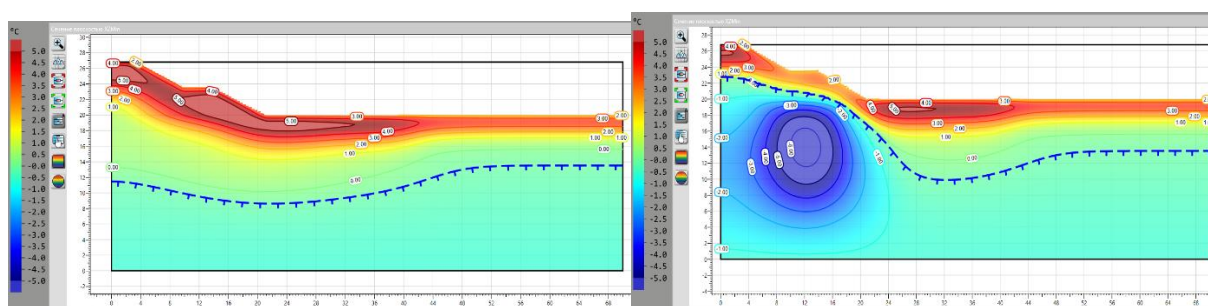


Рисунок 5 – Результаты численного моделирования для насыпи высотой 6 м:

а) прогнозируемое состояние через 30 лет после строительства без охлаждающих конструкций; б) прогнозируемое состояние через 30 лет после строительства с установленными на берме СОУ и уложенным теплоизолятором по площадке бермы;

— — — — — - положение верхней границы ММГ

### Заключение

На современном этапе накоплен положительный опыт проектирования нового и стабилизации деформирующегося земляного полотна в условиях распространения ММГ. При этом основными принципами являются следующие:

- основа проектирования – достаточная информация об инженерно-геологических и мерзлотных условиях прохождения трассы линии;
- проектные решения принимаются, исходя из прогноза изменения мерзлотных условий после сооружения на перспективу не менее 50 лет;
- прогноз температурного режима выполняется с учетом всех составляющих теплообмена между атмосферой и грунтовым массивом. Особо должно учитываться изменения характеристик поверхностных покровов (мха, снега) и условий поверхностного стока;
- план и профиль линии при сложных инженерно-геологических условиях проектируется в комплексе с земляным полотном;
- сравнение вариантов решений земляного полотна производится по стоимости всего жизненного цикла железной дороги;

- для участков, расположенных на льдистых грунтах, предпочтение отдается I принципу использования грунтов основания (не допускать их оттаивание в период эксплуатации), что обеспечивается выполнением специальных охлаждающих мероприятий;

- особенное внимание при проектировании уделяется надежному водоотведению от земляного полотна.

#### **Литература**

1. Ашпиз Е.С. Опыт проектирования земляного полотна железных дорог России, расположенных в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов В сб. трудов Пятой конференции геокриологов России «Геотехника в криолитозоне», Москва 14 - 17 июня 2016. Издательство МГУ, том 1. – С. 162-168.

2. Ашпиз Е.С., Хрусталева Л.Н. Предотвращение деградации многолетнемерзлых грунтов в основании насыпей железных дорог / Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 5, С. 38–43.

3. Гордийчук В.В. Программный комплекс для инженерных расчетов в строительстве «Frost 3D» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20196113122 от 24.01.2019 г.

4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год / Росгидрометео. – Москва, 2017 – 70 с.

5. Дыдышко П.И. Деформации насыпей на мари, их устранение и предупреждение / Железнодорожный транспорт. Серия Путь и путевое хозяйство, 1991. Вып. 4. С. 17-32.

6. Жданова С.М., Пиотрович А.А. (2015). Функционально-системный принцип проектирования земляного полотна на высокотемпературной вечной мерзлоте // В сб. Современные методы проектирования транспортных магистралей как элементов природно-технической системы. Материалы научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля наук РСФСР доктора технических наук, профессора А.К. Дюнина, Новосибирск, 2015. С. 72-77.

7. Кондратьев В.Г. Вековая, но не вечная проблема железных дорог на вечной мерзлоте / Транспорт Российской Федерации, 2008 №3-4 (16-17). – С. 34-38.

8. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95.

9. СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь

10. Ashpiz E.S. The problems of the railway subgrade construction in the subarctic part of the Russian cryolithozone and the ways of their solution. Lecture Notes in Civil Engineering, p. 295–302.

11. Hayley D.W. (1988). Maintenance of a railway grade over permafrost in Canada / V International Conference on Permafrost in Trondheim, Norway, August 1988 / Journal Frost I Jord, 1988, Nr. 27, vol. 3, p.43-48.

12. Lanouette F., Doré G., Fortier D., Lemieux C. (2015). Influence of snow cover on the ground thermal regime along an embankment built on permafrost: In-situ measurements // 7th Canadian Conference on Permafrost and 68th Canadian Geotechnical Conference on Geotechnics, September 20-23, Quebec, Canada.

13. Zhizhong Sun, Wei Ma, Shujuan Zhang, Zhi Wen and Guilong Wu (2019). Embankment Stability of the Qinghai-Tibet Railway in Permafrost Regions / Journal of Cold Regions Engineering, March 2018, vol. 32, issue 1, p.

## **О ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ТЕПЛООБМЕНА ГРУНТА С ВОЗДУХОМ С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ММГ**

**Грибовский Г.В., Кушнарёв А.Г.**

ООО «НТЦ «Симмэйкерс», Москва, Россия; [info@simmakers.ru](mailto:info@simmakers.ru)

В работе рассмотрены методики по учёту дополнительного теплового влияния солнечной радиации на грунт, которые представлены в СП 447.1325800 и СП 498.1325800. Эти методики необходимы для уточнения теплообмена грунта с воздухом при теплотехнических расчётах. Рассмотрена методика по расчёту радиационного баланса поверхности грунтов в зависимости от суммарной солнечной радиации. Проведен анализ методик по расчёту поправки к температурам воздуха. Показана необходимость согласования и стандартизации расчёта параметров теплообмена грунта с воздухом в