



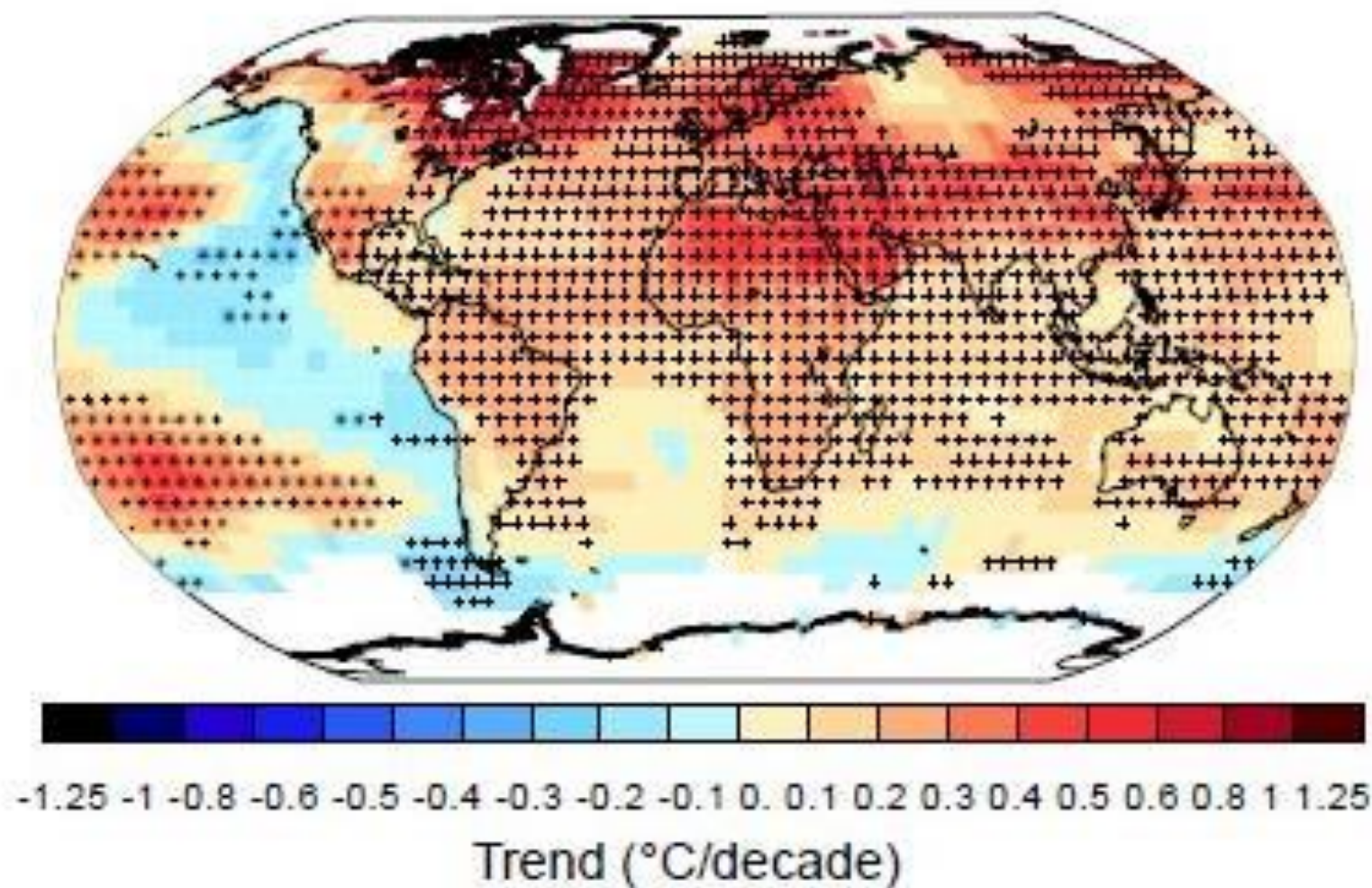
**Изменение мерзлотных условий при
строительном освоении территорий. Причины
деформаций зданий и сооружений. Управление
мерзлотной обстановкой**

Около 25% суши Земли и 65% территории России занимает криолитозона



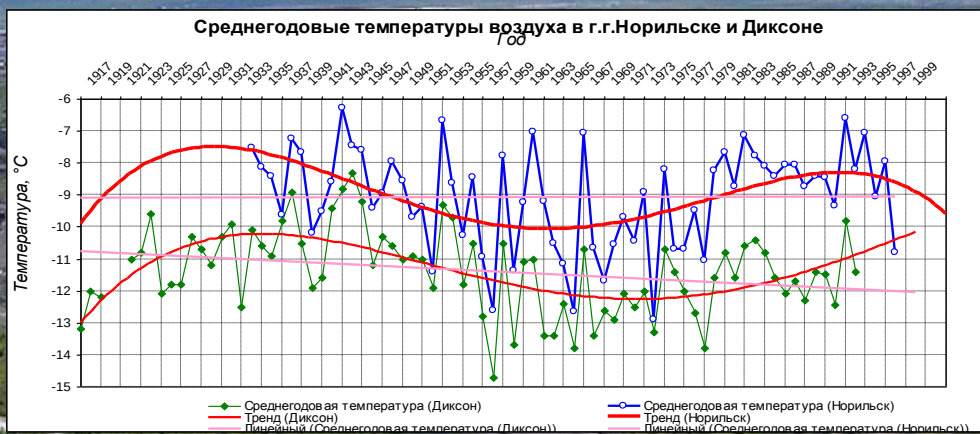
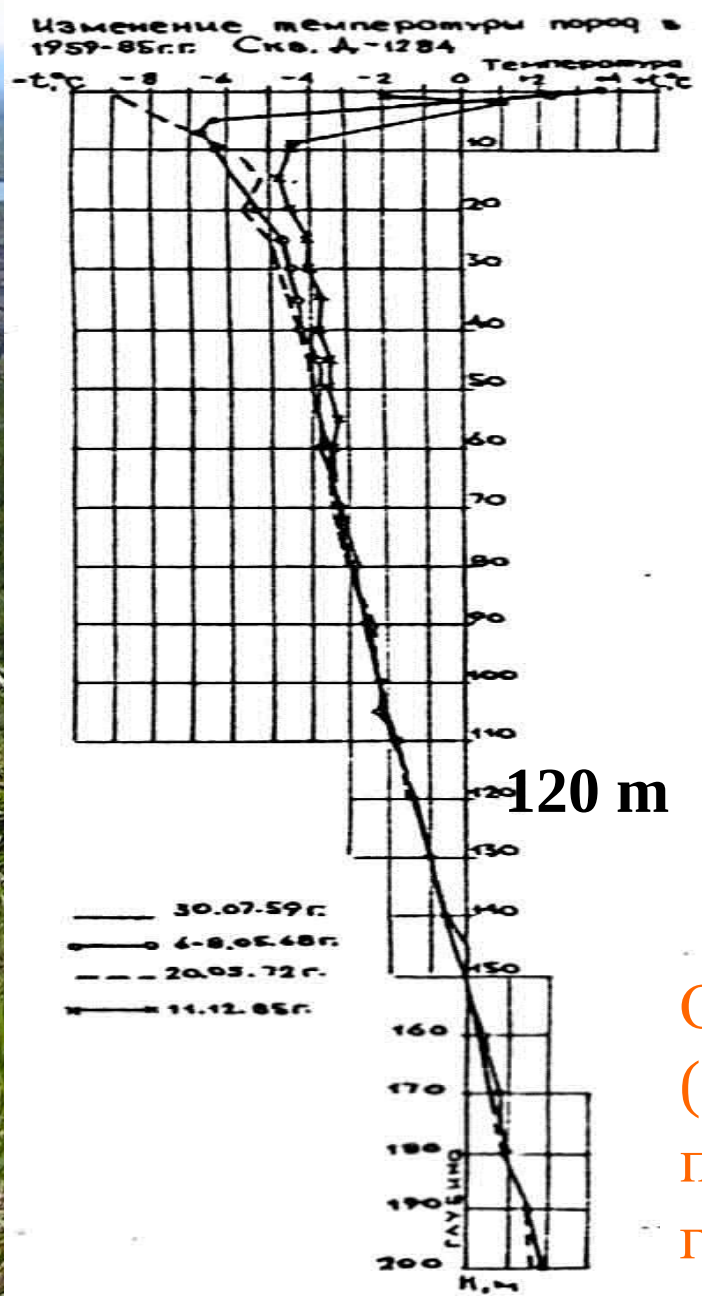
Многолетнемерзлые толщи неустойчивы
к климатическим воздействиям и к
техногенным влияниям .

1981-2012



Изменение температуры на Земном шаре (по данным Всемирной метеорологической организации)

Города на Крайнем Севере – «техногенные прессы» на многолетнемерзлые толщи



Ход температуры наружного воздуха в городах Диксоне и Норильске: отсутствуют тренды к потеплению климата в регионе.

Однако, замеры в глубокой скважине (1959-1985 гг.) в центре г. Норильска показывают повышение температуры грунтов на глубине 20-60 м на 0,5-1,0°С

Мерзлота может деградировать как под влиянием глобального (или регионального) потепления климата, так и вследствие мощных техногенных воздействий в промышленных центрах криолитозоны



**При развитии деградиционных тенденций
увеличивается количество и интенсивность
опасных криогенных процессов**



Термоабразия

Термокарст



Термоэрозия

Опасные перемещения мерзлых отвалов (техногенные каменные глетчеры)



И другие.....

ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ. Более 75% всех зданий и сооружений в криолитозоне построено и эксплуатируется по принципу 1 СНиП (с сохранением мерзлоты), т.е. при деградации происходит снижение несущей способности замороженных фундаментов



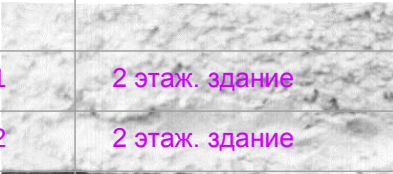
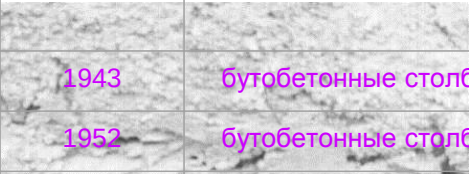
В настоящее время деформировано почти 60% зданий и сооружений в городах Игарке, Хатанге, Диксоне, фактически 100% в национальных поселках Таймырского округа, около 40% в Воркуте. К началу XXI века около 250 крупных сооружений в городах Норильского промрайона имели существенные деформации, связанные с ухудшением мерзлотных условий; около 100 объектов находились в аварийном состоянии, 35 девяти- и пятиэтажных дома, возведенных в 1960-1980-е годы, были снесены или подлежат сносу



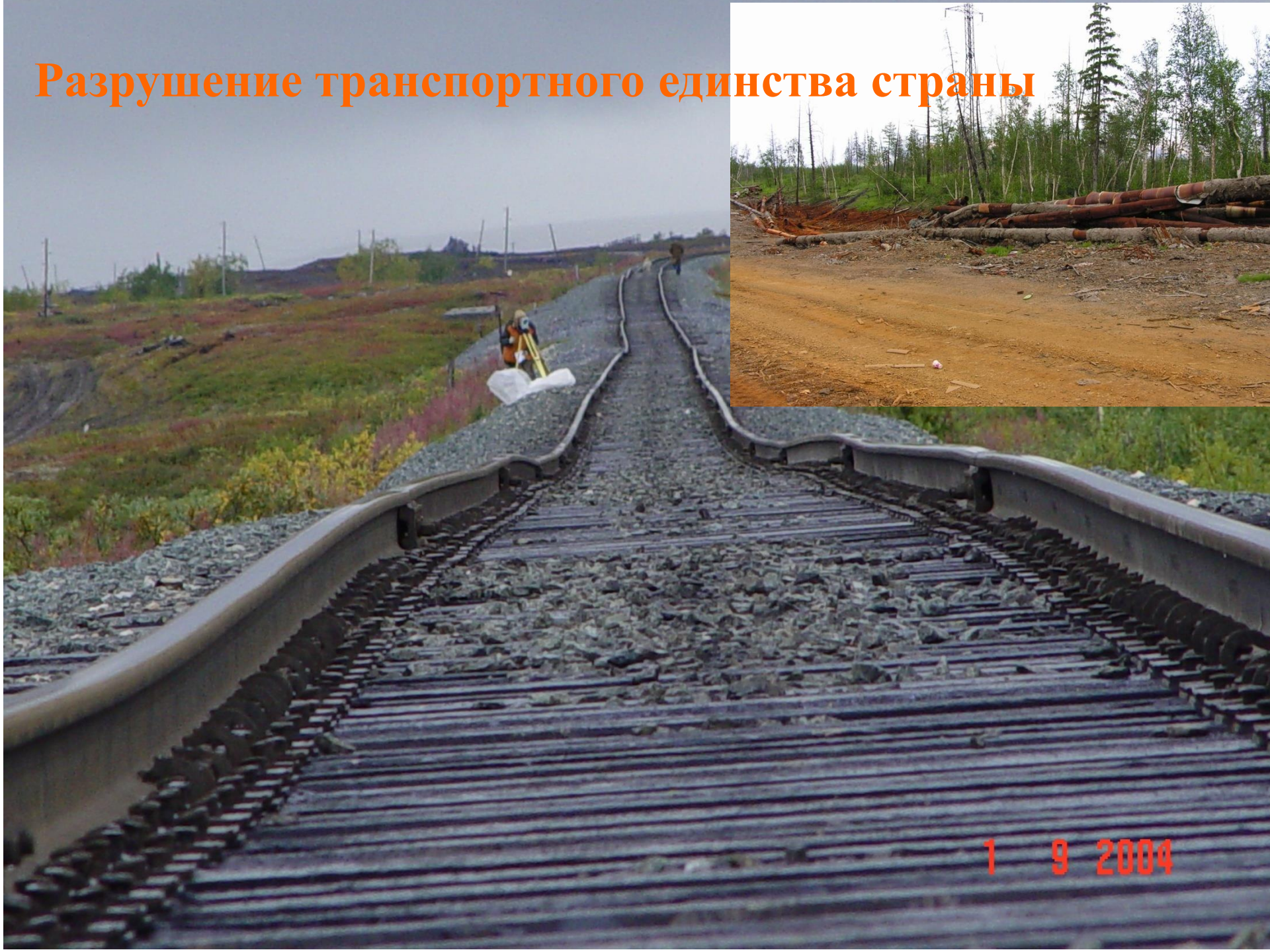
Деформации при отеплении мерзлоты (даже без ее протаивания)

6 24'00

Криогенное выветривание (морозная деструкция) подземных конструкций

N	Объект	Год пост- ройки	Тип фундамента	Прочность по натурным	от проек данным	ной % Оценка на глуб.
				надземная часть	на глуб. 0,5 м.	0,5 м
1	2 этаж. здание	1943	бутобетонные столбы	60-70		
2	2 этаж. здание	1952	бутобетонные столбы	60-70		
3	3 этаж. здание	1959	железобетонные столбы	70-80		
4	2 этаж. здание	1963	железобетонные круглые сваи	70-80		30-40
5	4 этаж. здание	1964	железобетонные круглые сваи	100		65-75
6	2 этаж. здание	1965	железобетонные квадратные сваи	80-90		25-35
7	5 этаж. здание	1966	железобетонные круглые сваи	100		50-60
8	5 этаж. здание	1968	железобетонные квадратные сваи	80-85		50-60
9	5 этаж. здание	1971	железобетонные квадратные сваи	70-80	20 (местами)	30-40
10	5 этаж. здание	1973	железобетонные квадратные сваи	90-100	65	65-75
11	3 этаж. здание	1976	железобетонные квадратные сваи	80	30 (местами)	50-60
12	5 этаж. здание	1978	железобетонные квадратные сваи	90-100		60-70
13	4 этаж. здание	1979	железобетонные квадратные сваи	100		90-100
14	5 этаж. здание	1980	железобетонные квадратные сваи	100		90-100

Разрушение транспортного единства страны



1 9 2004

Разрушение портовых сооружений, изменение конфигурации береговой линии



Выход в окружающую среду десятков (сотен?) миллионов тонн накопившихся и законсервированных в ныне мерзлом состоянии опасных (токсичных, радиоактивных, содержащих тяжелые металлы и т.п.) загрязнителей

Например, только заводами г. Норильска ежегодно в хвостохранилища складировается около 15 млн тонн отходов рудообогатения и металлургии



Повышение температуры воды в северных реках – повышение температуры мерзлоты на шельфе - нарастание трудностей (аварии на скважинах, затраты, надежность эксплуатации и т.п.) при добыче нефти и газа



Разрушение (протаивание) могильников чревато выходом опасных вирусов и бактерий, ныне законсервированных в многолетнемерзлых толщах



Вирусы и
бактерии



Преобразование криогенного рельефа, в том числе изменение морфометрических отметок, чревато разрушением геодезической сети. Это также осложнит пути миграции птиц, северных оленей и т.п.



Увеличение замутненности речных и озерных вод за счет активизации поступления грунтового материала (процессы денудации, в том числе термоэрозия и т.п.) в криолитозоне вызовет гибель рыбной популяции и повысит смертность туземного населения



При протаивании ныне мерзлых голоценовых торфяников возможно повышение содержания парниковых газов в атмосфере

CH_4 CO_2

12 7 2005

Изменение температуры и засоленности северных морей (за счет увеличения стока рек, текущих с юга) вызовет изменение морских течений (в том числе Гольфстрима), а также изменение характера перемещений циклонов в Северном полушарии при отступании к полюсу среднемноголетней кромки паковых льдов





**Вытаивание подземных льдов и последующее
дренирование воды повысит уровень Мирового океана**

8.2.1983

Деформации инфраструктуры в Арктике

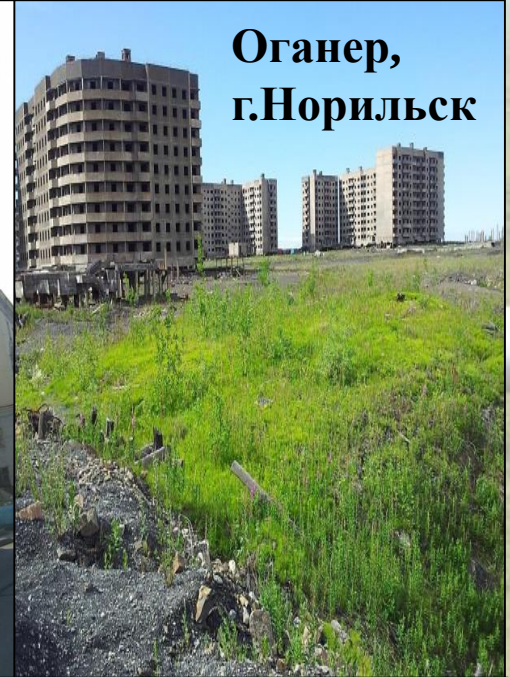
«Мертвая дорога»,
район Пангоды



г. Норильск



Оганер,
г.Норильск



г. Игарка



г. Певек



Деформации на урбанизированных территориях криолитозоны



Деформации зданий



Деформации
при развитии
морозного
пучения



Снесенны
й
аварийный
жилой дом



Деформации объектов линейной инфраструктуры



Оценка уровня деформированности зданий и сооружений в криолитозоне России

Деформировано (оценка на начало XX века)

Якутск – 48% (без учета «старых деревяшек»)

Вилуйск – около 70%

Тикси – 22 %

Воркута – 80 %

Чита – 60 %

Небольшие города Бурятии – 50-70% (без учета «старых деревяшек»)

Дудинка – 35 % (без учета «старых деревяшек»)

Норильск – около 25 %

Игарка – около 60% (при почти 100% деформированности старого деревянного фонда)

Амдерма – 50 %

Диксон – 35 % (без учета «старых деревяшек»)

Певек – 50 %

Городские поселения Магаданской области – 40-55 %

Национальные пос. Крайнего Севера – почти 100%

Малые грунтовые плотины с мерзлыми противифльтрационными ядрами – практически 100%

(По данным Я. Кроника (2001, 2006, 2011), В. Церната (2006), Л. Хрусталева (2000, 2006, 2011), В. Гребенца (2000, 2009), В. Гурьянова (2007), Д. Шестернёва (2007), Н. Кутвицкой (2000, 2006))

Этапность в создании нормативных технических документов при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений

- ▣ «Временные рекомендации...» – 1956
- ▣ СНиП – 1966
- ▣ СНиП II-18-76
- ▣ СНиП 2.02.04-88
- ▣ СП 25.13330.2012

Два принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований для фундаментов



Принцип I

Многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения



Принцип II

Многолетнемерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением оттаивания в период эксплуатации)

Принцип I следует применять, если грунты основания можно сохранить при строительстве и эксплуатации объекта в постоянно мерзлом состоянии при экономически целесообразных затратах на мероприятия, обеспечивающие сохранение такого состояния. На участках с твердомерзлыми грунтами, а также при повышенной сейсмичности практически всегда применяется принцип I.

При строительстве на пластичномерзлых грунтах по принципу I необходимо применять специальные мероприятия по предпостроечному охлаждению и промораживанию грунтового основания с устройством специальных систем, поддерживающих отрицательные значения температуры в основании весь период эксплуатации объекта.

Принцип II следует применять при наличии в основании скальных или других малосжимаемых грунтов, деформации которых при оттаивании не превышают предельно допустимых значений для проектируемого сооружения. Принцип II применяется также при несплошном распространении многолетнемерзлых грунтов и в тех случаях, когда по технологическим или конструктивным особенностям сооружения при сохранении мерзлого состояния основания не обеспечивается требуемый уровень надежности строительства и эксплуатации объекта.





Фундаменты

```
graph TD; A[Фундаменты] --> B[Поверхностные]; A --> C[Заглубленные]; C --> D[Столбчатые]; C --> E[Ленточные]; C --> F[Свайные];
```

Поверхностные

Заглубленные

Столбчатые

Ленточные

Свайные









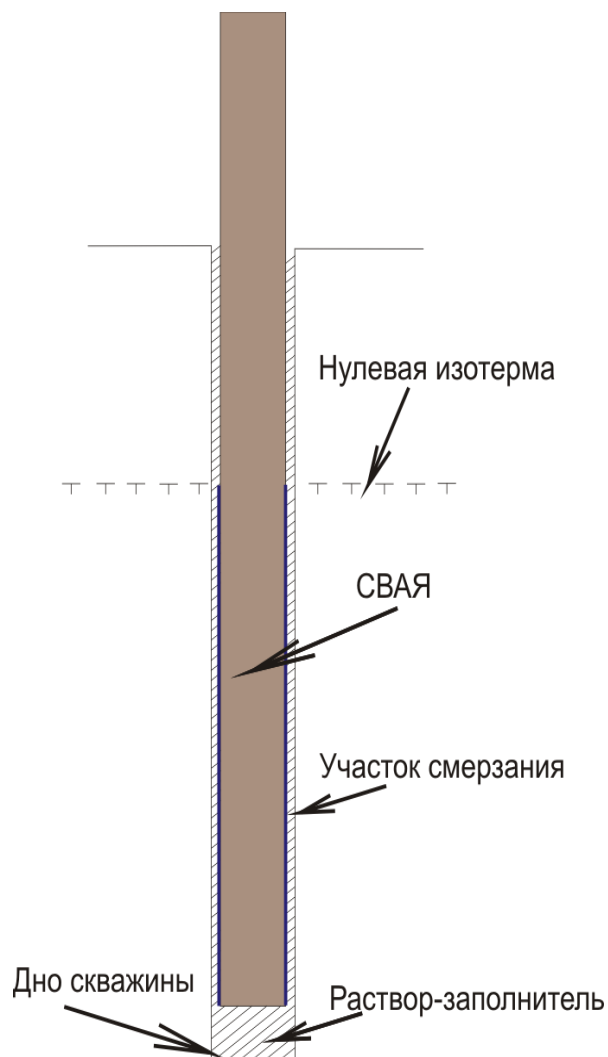
10/07/2006



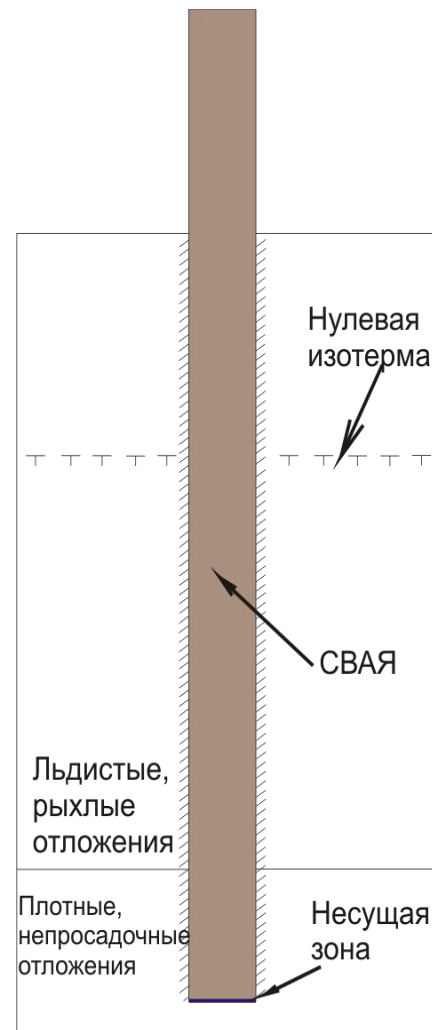


По способу обеспечения несущей способности сваи делятся:

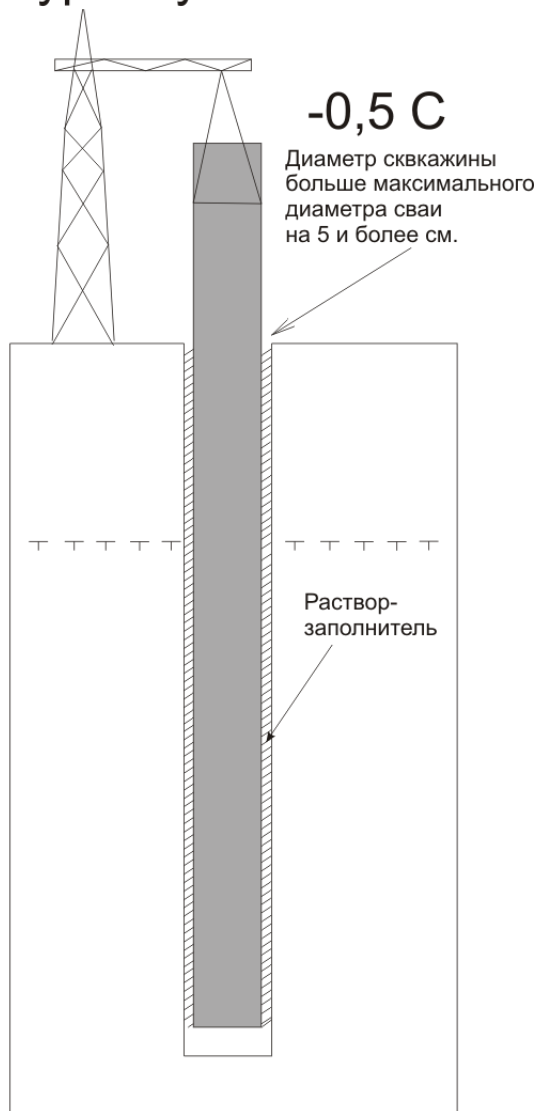
Висячая свая



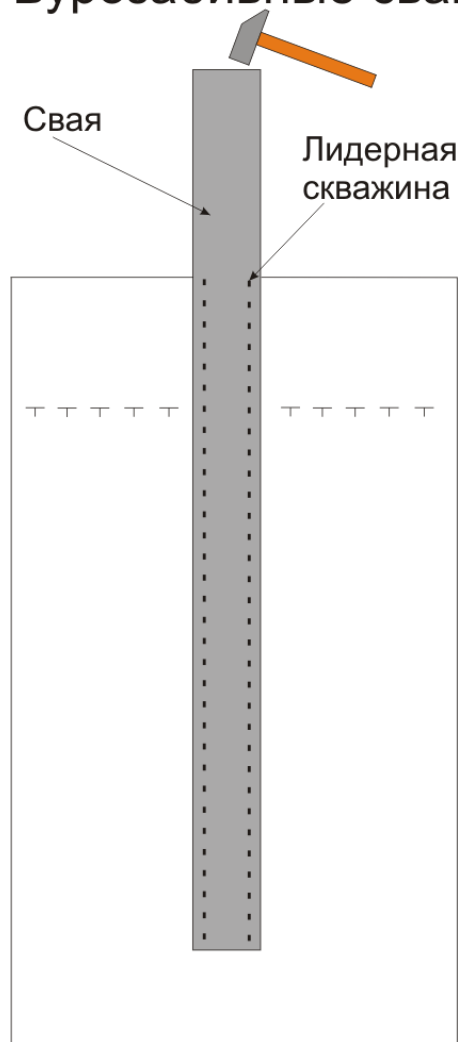
Свая-стойка



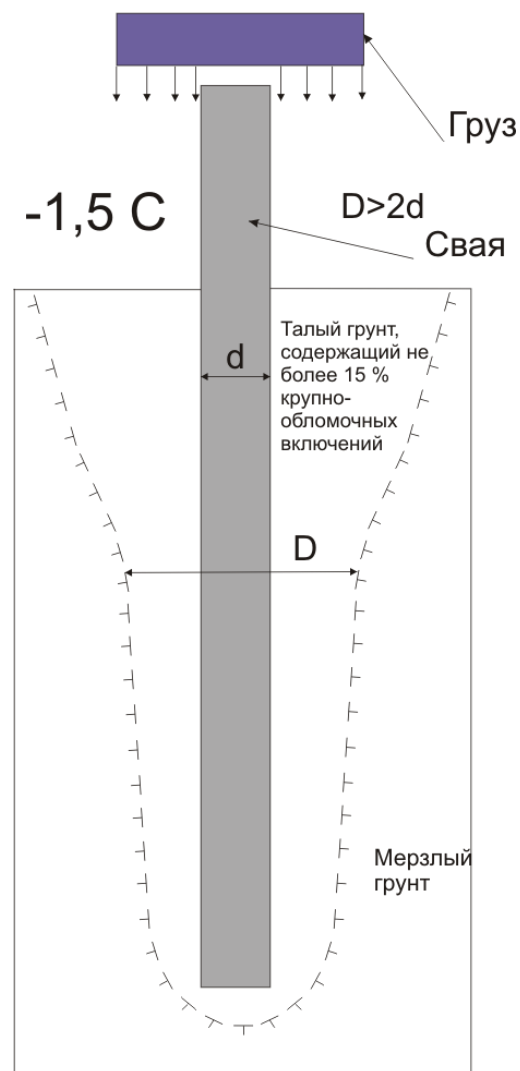
Буроопускные сваи



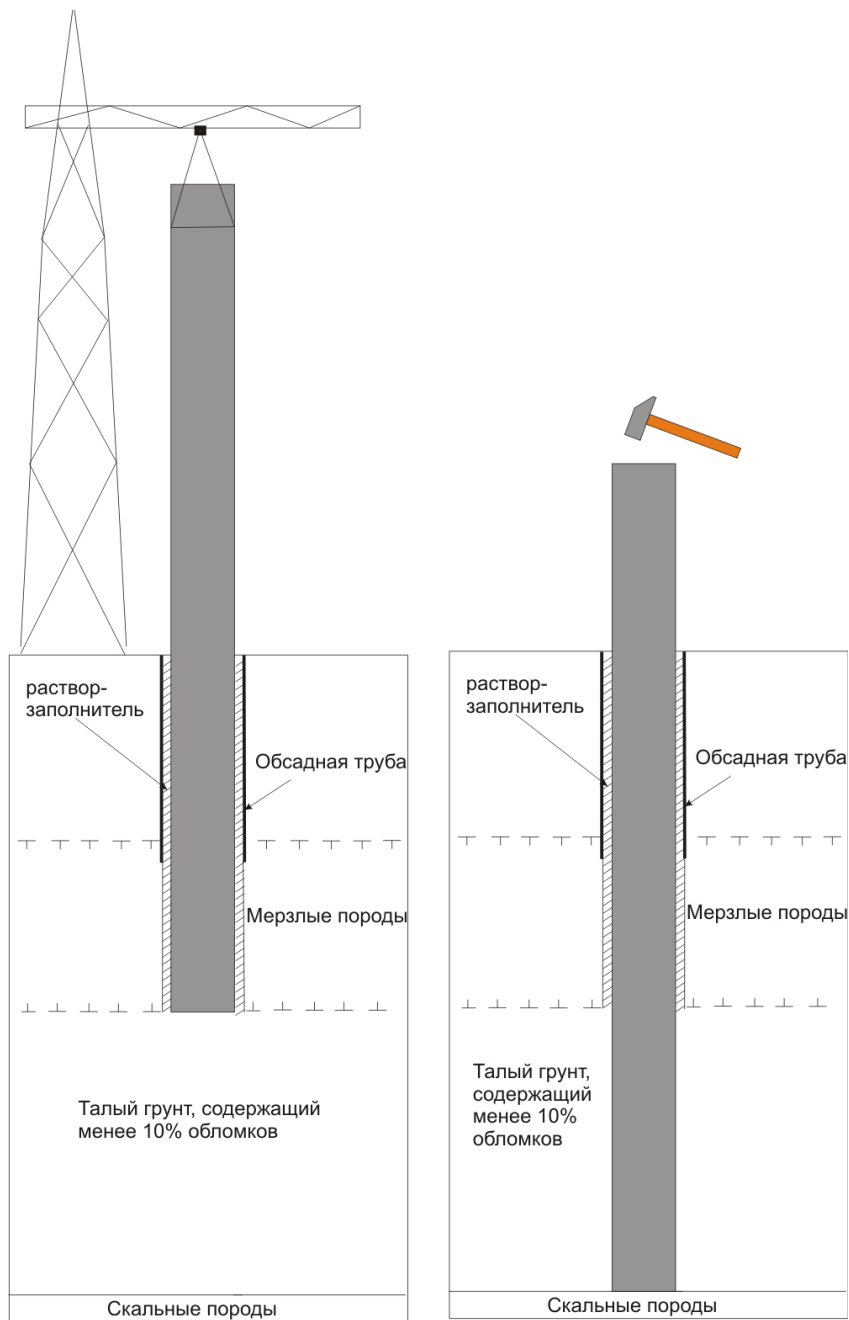
Бурозабивные сваи



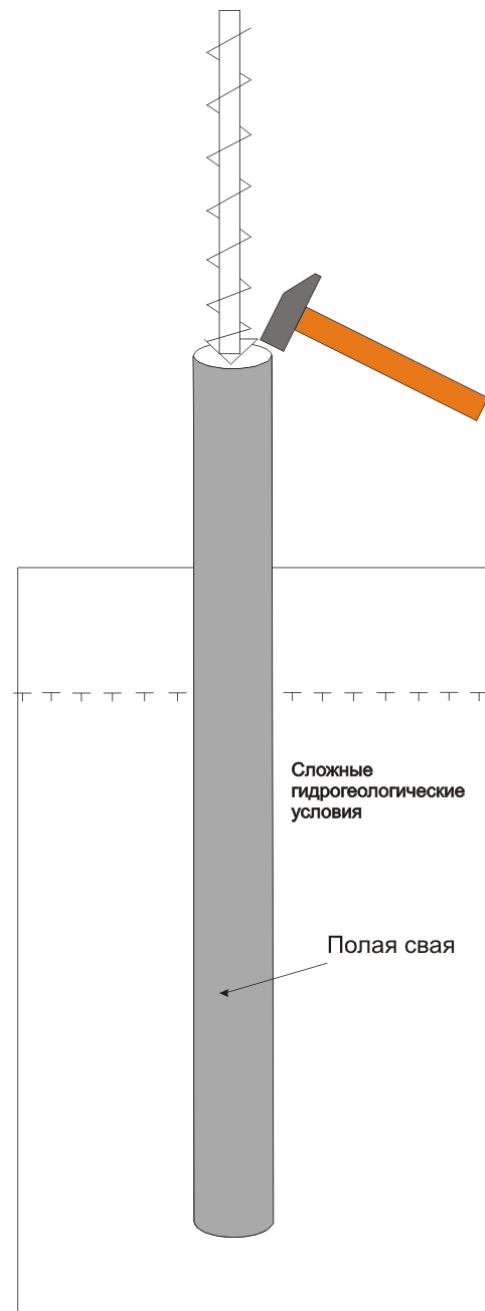
Опускные сваи



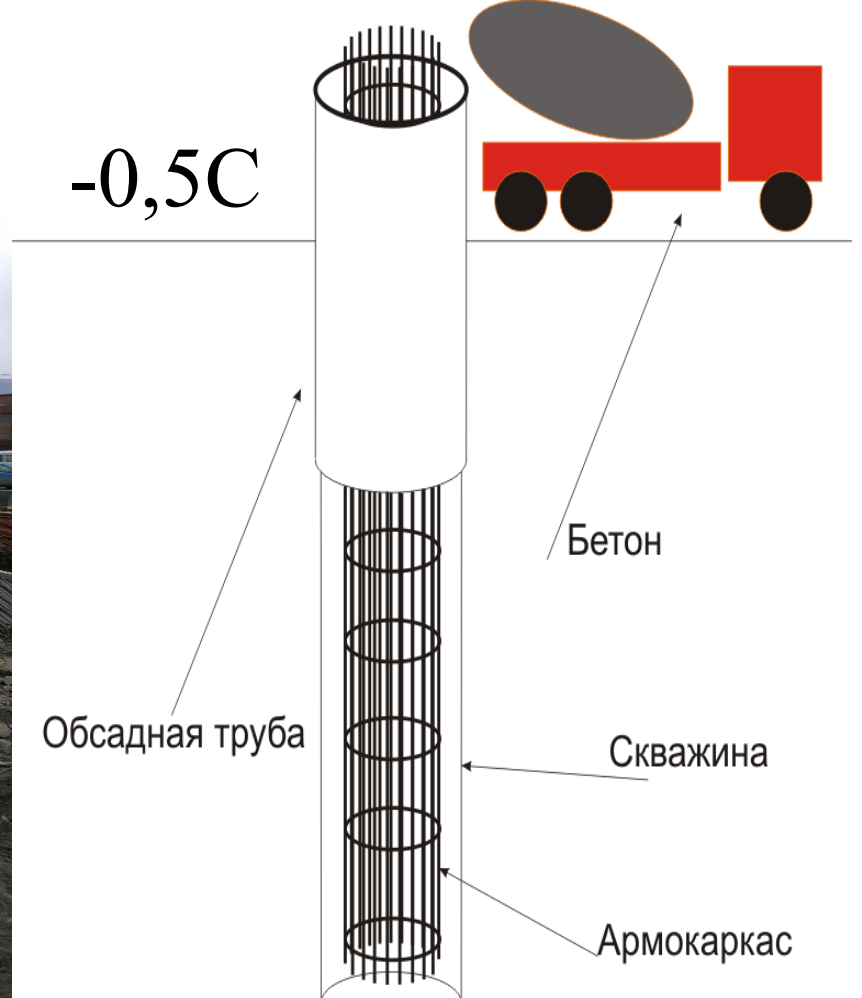
Буродобивные сваи



Бурообсадные сваи

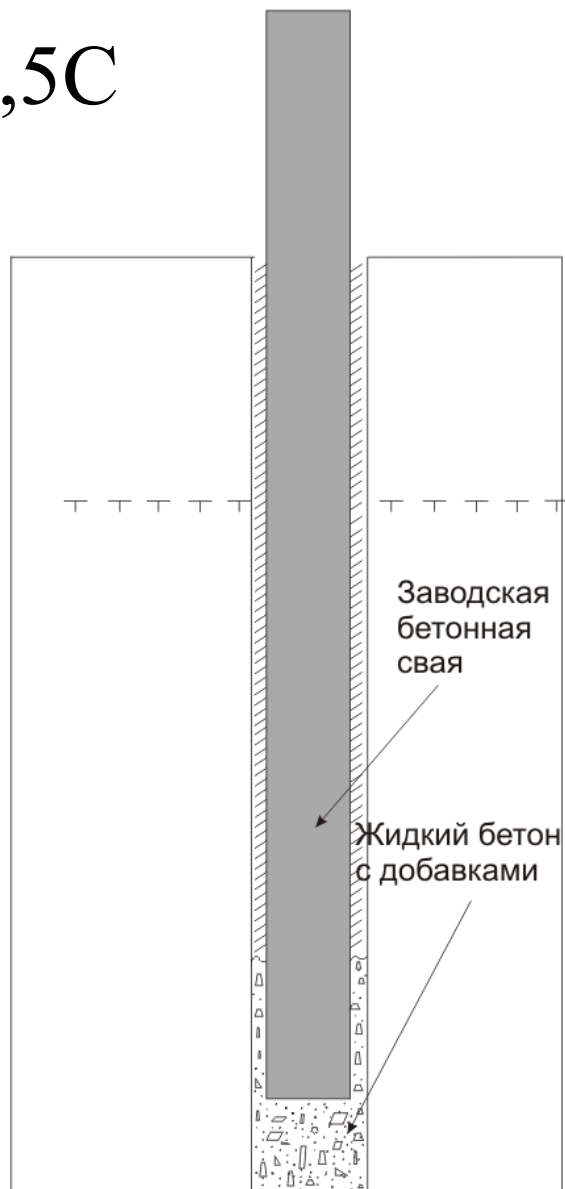


Буронабивные



Комбинированные сваи

-0,5С



Разновидность свай по форме поперечного сечения:



Круглые



Квадратные



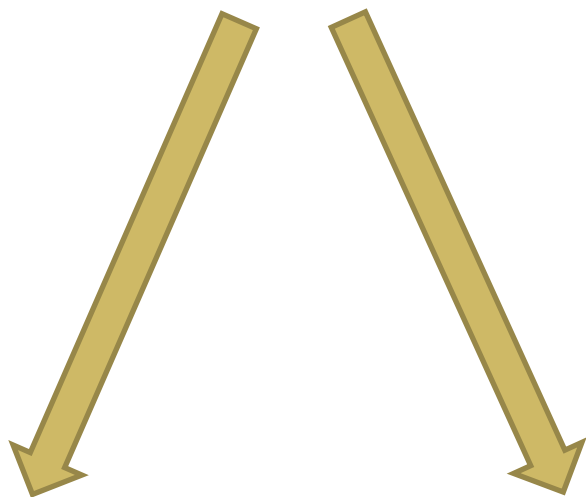
С фаской



Трапециадальные

Устройство скважин: протаивание и бурение

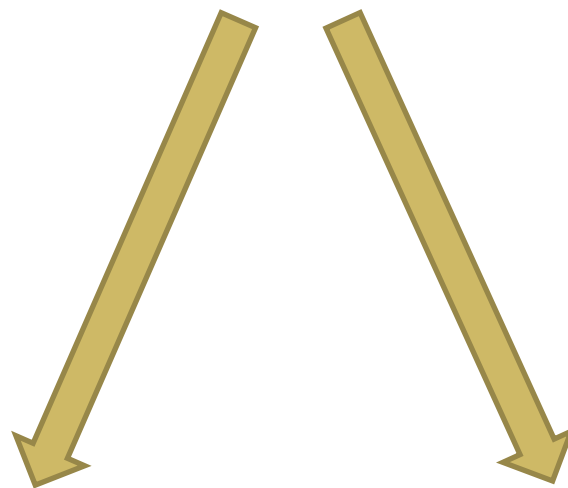
Бурение



Канатно-ударное

Вращательное

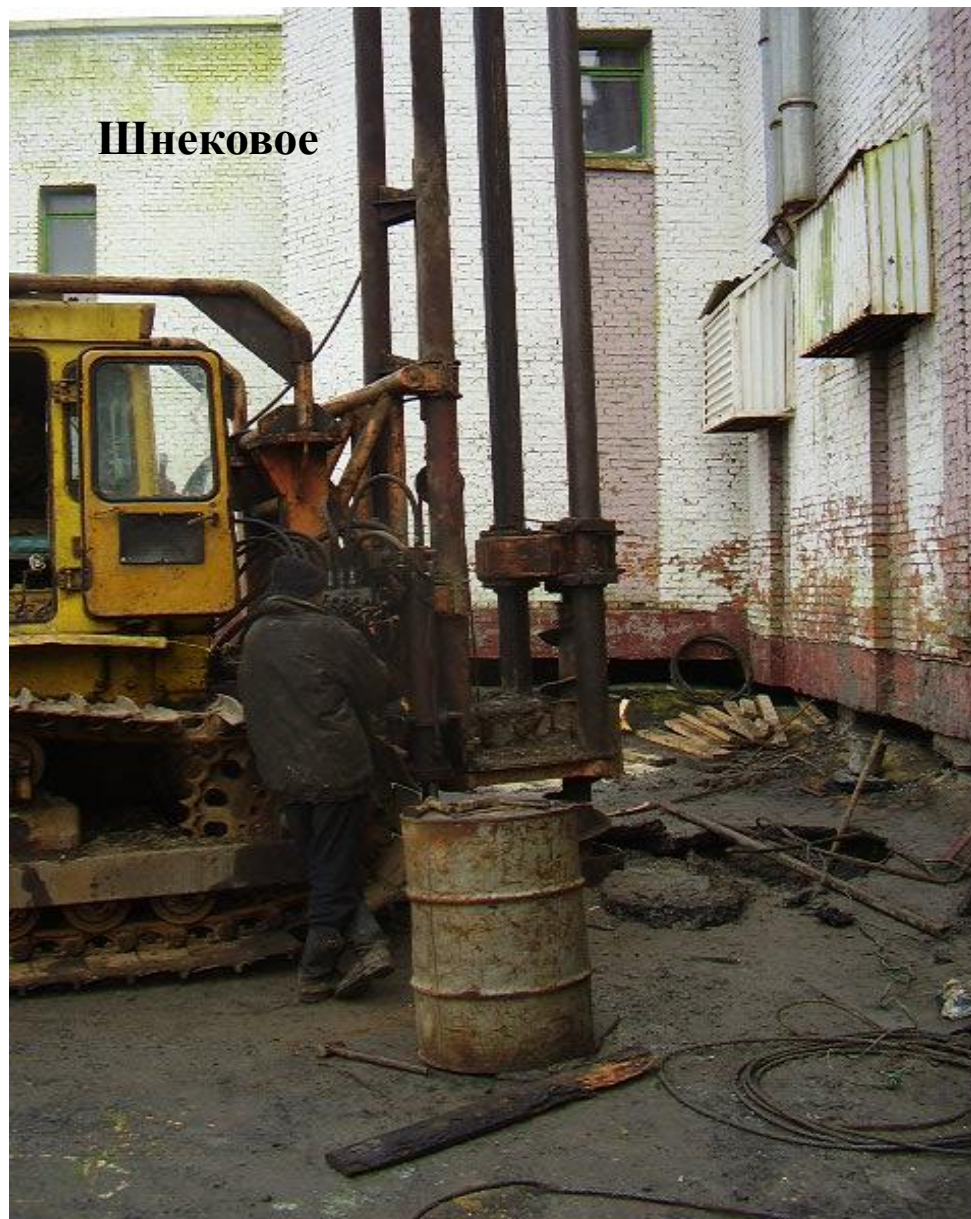
Протаивание



Паром (Поинт)

Водой

Шнековое



Колонковое





Рабочий орган с наплавлением



Желонка с обратным клапаном на дне



Желонка типа «бочки»



Использование
«грязеустойчивых»
промышленных
насосов

Нарезка обсадных труб



Для опускания обсадной трубы на нужную глубину используют «обсадник»



Долото для ударов по «обсаднику»

Основные причины деформаций



**Изменение
мерзлотно-
грунтовых
условий
оснований**



**Активизация
опасных
криогенных
процессов**

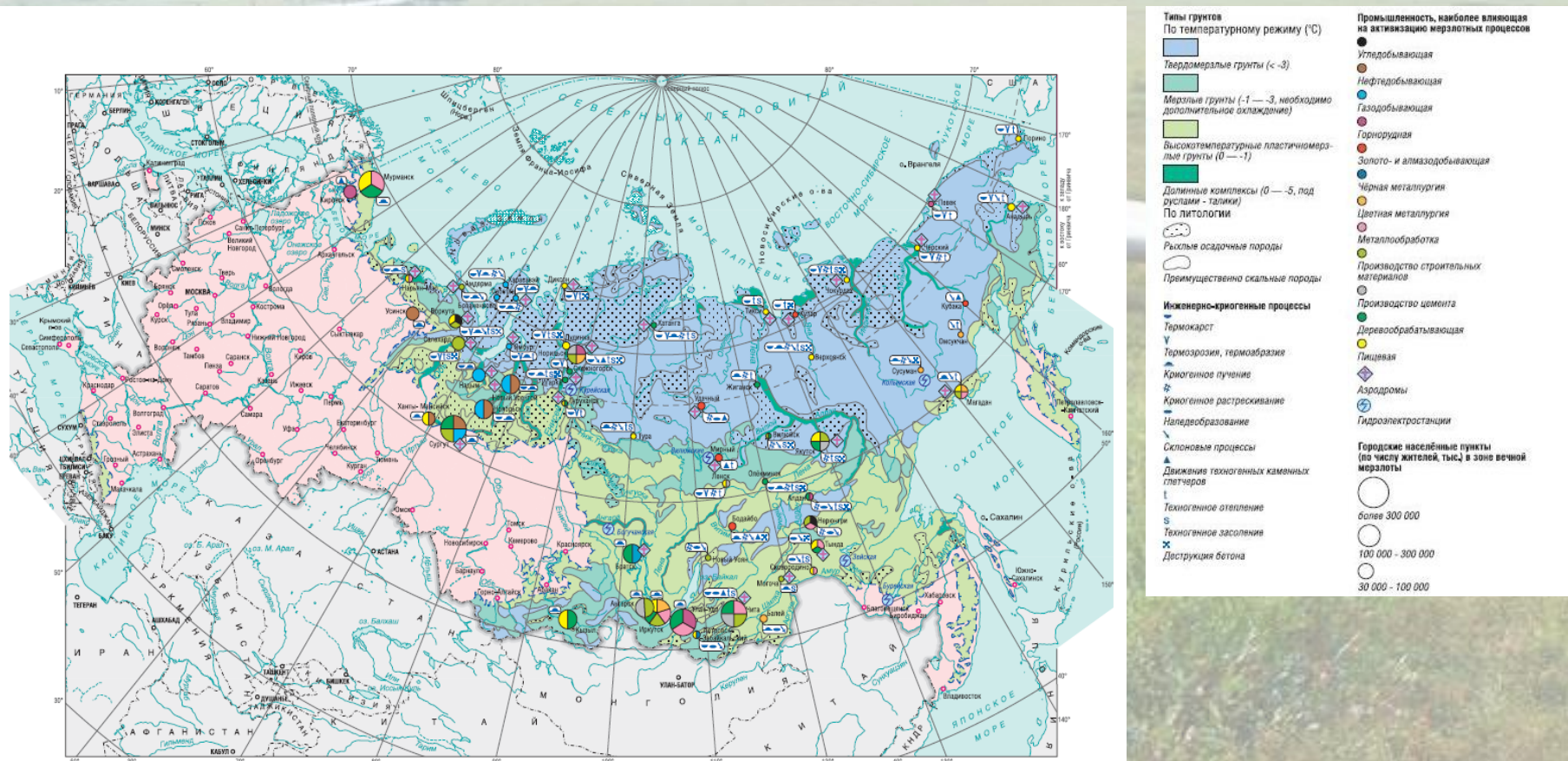


**Социально-
экономико-
географические
причины**



**Стихийно-
разрушитель-
ные процессы
(землетрясения,
вулканизм и др.)**

Карта активизации инженерно-криогенных процессов на урбанизированных территориях



Активизация инженерно-криогенных процессов на урбанизированных территориях

Масштаб 1 : 30 000 000

Гребенец В. И.

Инженерно-криогенные процессы (ИКГ)

Классификации:

- 1) наличие природного аналога;
- 2) возможность возникновения;
- 3) интенсивность протекания;
- 4) обратимость;
- 5) управляемость;
- 6) направление воздействия

Группа процессов, связанных с дополнительным охлаждением оснований

Многолетнее пучение – деформации - неравномерность!!!

Сезонное пучение

I принцип: $Fr = u \sum R_{af, i} h_i$
II принцип: $Fr = u \sum f_i h_i$

Перераспределение снега, увеличение
глубины СТС



Трещины в фундаментах,
деформации элементов
сооружений, разрушение
покрытий, нарушение
противофильтрационной
устойчивости, вертикальные
перемещения



Теплоизолирующие
материалы, отвод вод,
замена грунтов, прогрев,
засоление, применение
антифрикционных
покрытий

Морозобойное растрескивание

Удаление снежного и растительного покрова



Для конструкций, в т.ч.
фундаментов:

$N = \frac{\text{проектная прочность}}{\text{фактическая прочность}}$

Разрушение конструкций, разрыв подземных коммуникаций, нарушение стыков элементов конструкций

Замена грунтов, тепло- и гидроизоляция поверхности, насыпные грунты, мерзлотные пояса с СОУ, усиление стыков

Наледообразование

Деформации мостовых опор, пролетных строений, дорожного полотна; накопление льда на дорожном полотне, деформации зданий при образовании наледных бугров, затопление помещений



$V=F$ (гидродинамический напор, свойства грунта, интенсивность тепловыделения от объектов)

Уборка снега, пересечение линейными сооружениями поверхностных и подземных вод

Морозные пояса с СОУ, изменение русел, водопропускные устройства, понижение уровня подземных вод,

Группа склоновых процессов

Солифлюкция



Нарушение растительного покрова на склонах, переувлажнение пород СТС

Оползание откосов; разрушение отдельных сооружений, повышение оползневого давления на фундаменты, разрушение дорог и коммуникаций



Исключение переувлажнения сезонно-талого слоя; устройство мерзлотных поясов с применением СОУ

$T=F$ (скорость солифлюкции, несущая способность фундамента, жесткость здания)

Криогенные оползни течения и скольжения

Непрогнозируемые перемещения склонов,
откосов техногенных отвалов и насыпей



Нарушение
растительного
покрова на
склонах,
переувлажнение
пород СТС,
протаивание
переходного
сильнольдистого
горизонта

Вывод
сооружений из
опасной зоны

Нудерж. > Нсдвиг.

**$N = F$ (свойства грунтов и покровов, глубина оттаивания, льдистость
переходного горизонта, климатические характеристики, интенсивность
техногенного подтопления и отопления)**

Движение каменных глетчеров, курумов

$V=F$ (крутизна, объем отложений, физико-механические свойства грунтов, характер подстилающей поверхности)



Разрушение сооружений, попадающих в зону схода отвала или его части

Круглогодичное складирование отвалов на склонах (особенно на сильнольдистых грунтах)

Вывод сооружений из опасной зоны

Группа специфических процессов сезонно-талого слоя (СТС)

**«Морозная деструкция»
(криоген.выветрив. - морозное разрушение
материала и диспергирование грунтов)**

Деструкция железобетона
подземных конструкций, в т.ч.
фундаментов, повышение
просадочности и
пучинистости грунтов

$N = \frac{\text{проектная прочность}}{\text{фактическая прочность}}$

Уменьшение
обводненности СТС,
применение эффективных
способов гидроизоляции
конструкций,
противопучинная
обработка грунтов и
конструкций

Пучение при промерзании и осадка при протаивании сезонноталого слоя

Климатический фактор, изменение условий теплообмена через поверхность, техногенное обводнение территории и др.



Разрушение покрытий, трещины

Уменьшение обводненности СТС, применение эффективных способов гидроизоляции конструкций, противопучинная обработка грунтов и конструкций

$$h_{fz} = 0,09 (w_p + w_w) d_{fz} + 1,09 K_w K_{ak} \delta_T^{\Phi} \cdot grad T \left(\frac{d_{fz}}{v_f} \right) - \beta w_p H_{sk} - \delta P H_c$$

Группа процессов, связанных с отеплением многолетнемерзлых грунтов

Термокарст

Факторы, способствующие
возникновению и развитию



Уничтожение
растительного
покрова,
отепляющее
влияние зданий
и сооружений



Трещины в
конструкциях;
возможное
обрушение
сооружений или их
частей



Теплоизолирующие
подсыпки, замена грунтов
оснований,
проветриваемые
подполья, охлаждающие
каналы,
сезонноохлаждающие
устройства (СОУ),
холодильные машины,
применение жидкого
азота и углекислоты

$$F_f < F_{fd} / \gamma_{суп}$$

Термоэрозия

Разрушение дорог,
сооружений, коммуникаций,
оврагообразование

Отвод ливневых и паводковых вод с
урбанизированных территорий,
применение СОУ для создания
противофильтрационных «порогов»,
укрепление склонов и откосов

Развивается в сильнольдистых, легкоразмываемых
многолетнемерзлых дисперсных породах под
воздействием временных или постоянных
водотоков

$V_i = F$ (состав отложений,
температура воды и грунтов, скорость
движения воды)

Нависающие
отложения
верхнего
горизонта

Термоденудация

Зона отложения
талого грунта

Образование
крупных
термоцирков и
термотеррас

Вывод
сооружений из
опасной зоны



Термоабразия берегов

Развивается в
сильнольдистых,
легкоразмываемых
многолетнемерзлых
дисперсных породах при
тепловом и механическом
воздействии волн

Существуют два метода
математического
описания процесса:
1) моделирование
влияния волн;
2) моделирование
блоковых обвалов



Разрушение
сооружений,
попадающих в
зону или его
части

Вывод
сооружений из
опасной зоны

Группа процессов, не имеющие полных аналогов в природе

Техногенное отопление

Нарушение эксплуатации подземных коммуникаций, отепляющее влияние зданий и сооружений



$$F_u = \gamma_{tyc} (R_A + \sum R_{af,i} A_{af,i})$$



Теплоизолирующие подсыпки, замена грунтов оснований, проветриваемые подполья, охлаждающие каналы, сезонноохлаждающие устройства (COY), холодильные машины, применение жидкого азота и углекислоты

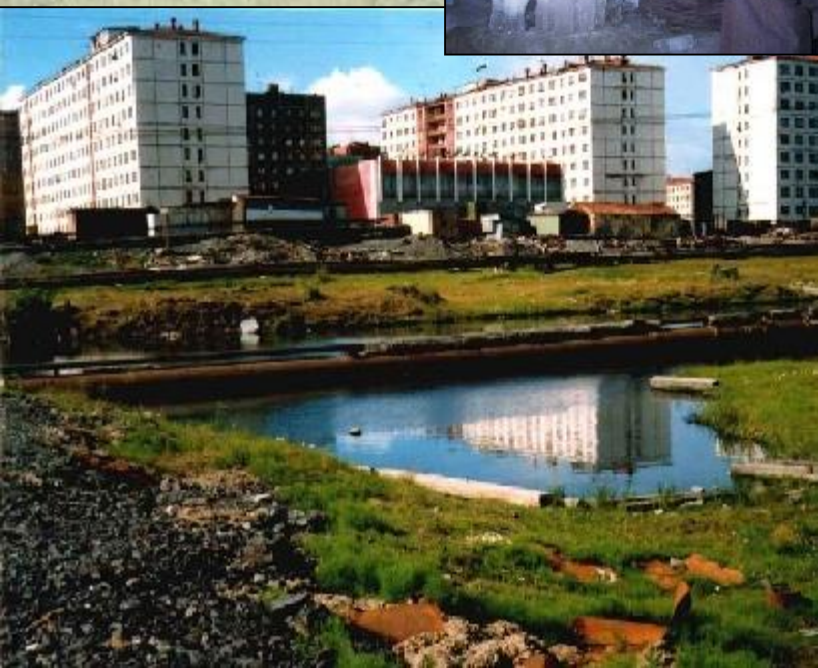
Техногенное подтопление

Сброс
промышленных вод
на рельеф, утечки из
инженерных
коммуникаций,
высокая
фильтрационная
способность
техногенных
подсыпок

$$F\tau_1 > F\tau_1 + I$$

$N =$ проектная прочность

фактическая прочность



Создание
противофильтрацион-
ных экранов,
организации
водоотвода ливневых
и паводковых вод

Техногенное засоление

Выброс
загрязняющих
веществ в
атмосферу,
сброс
неочищенных
промышленных
вод, утечки из
пульпопровода



$F_{\tau 1} > F_{\tau 1+I}$

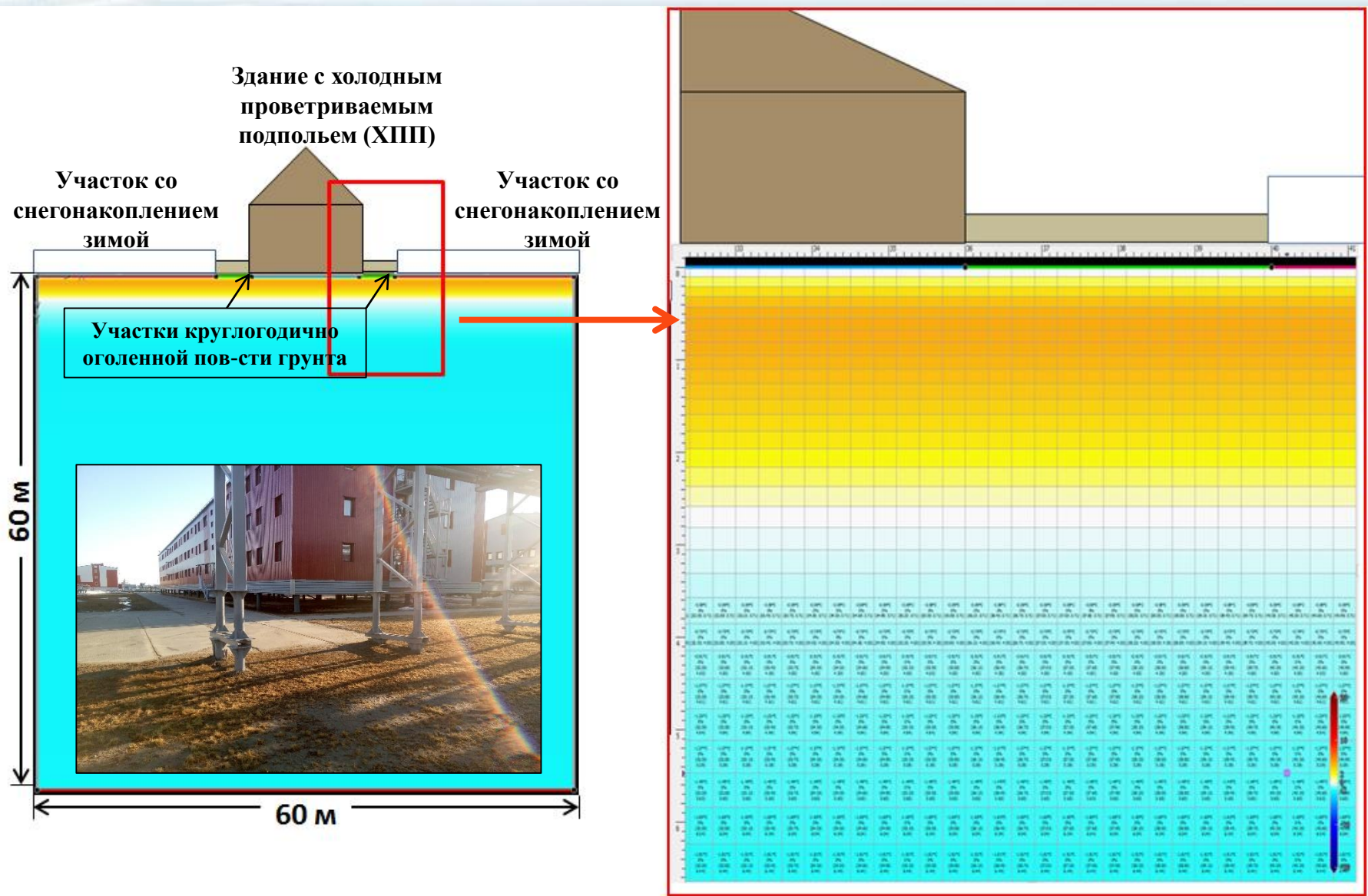
Разрушение материала
подземных
конструкций
высокоагрессивной
жидкостью, снижение
несущей способности
грунтов

Общее улучшение
экологической обстановки,
направленное на
уменьшение выбросов
загрязнителей в
окружающую среду

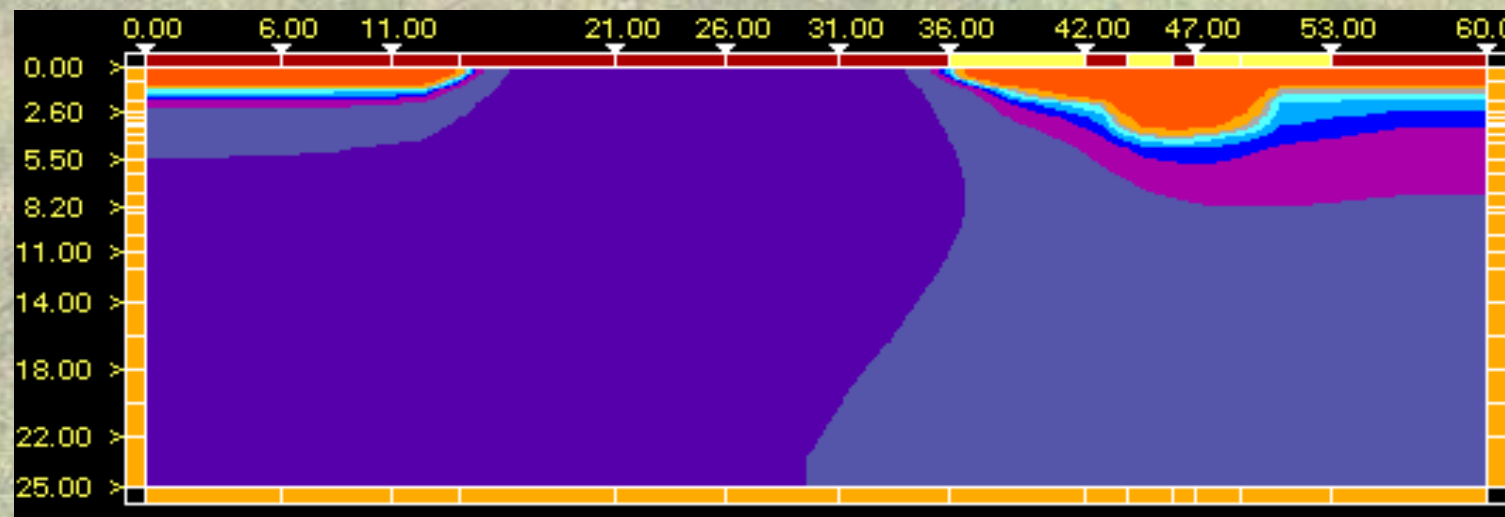
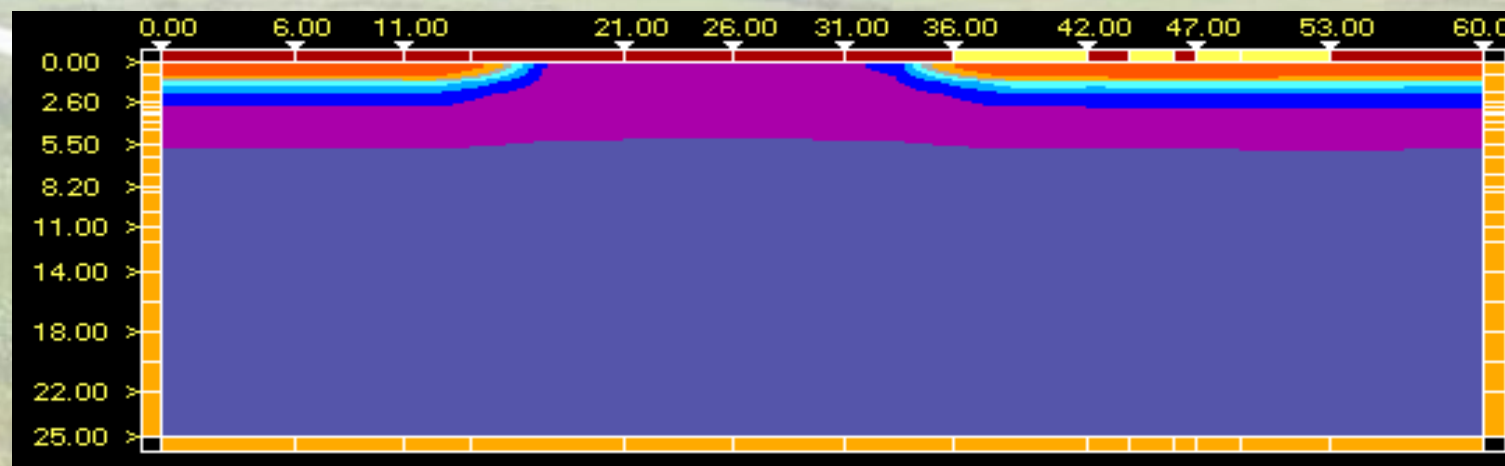
Для конструкций:
 $N = \frac{\text{проектная прочность}}{\text{фактическая прочность}}$

Расчет эффективности действия холодных проветриваемых подполий

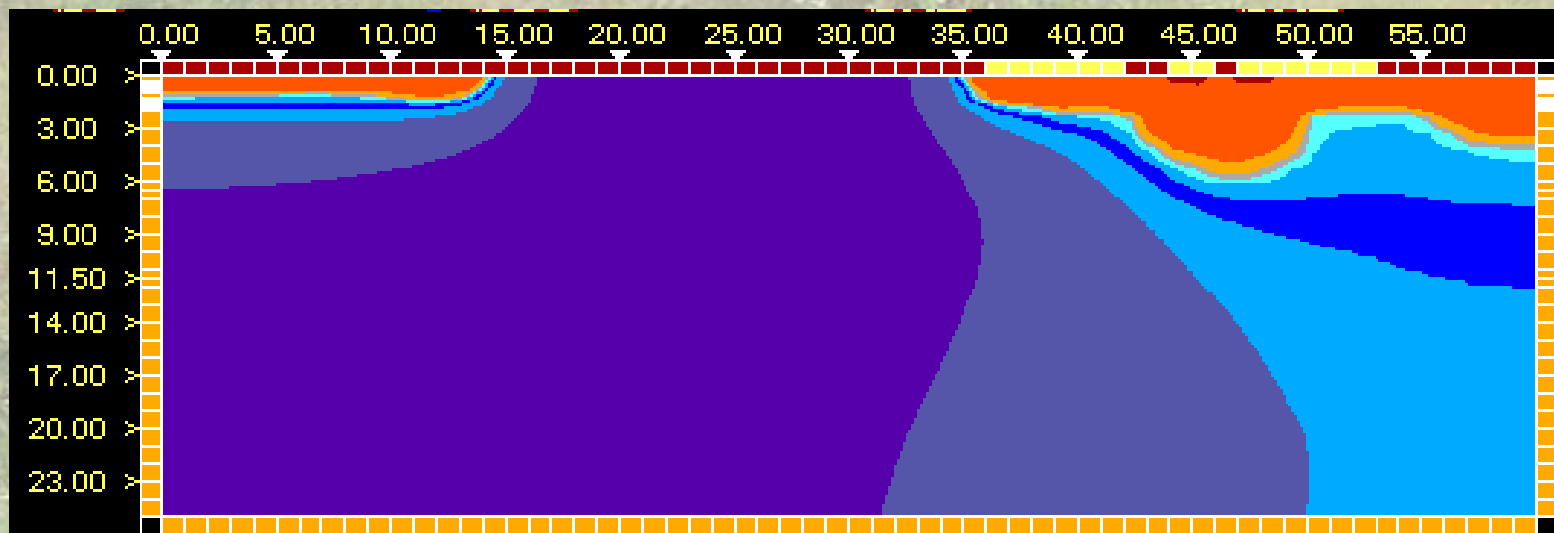
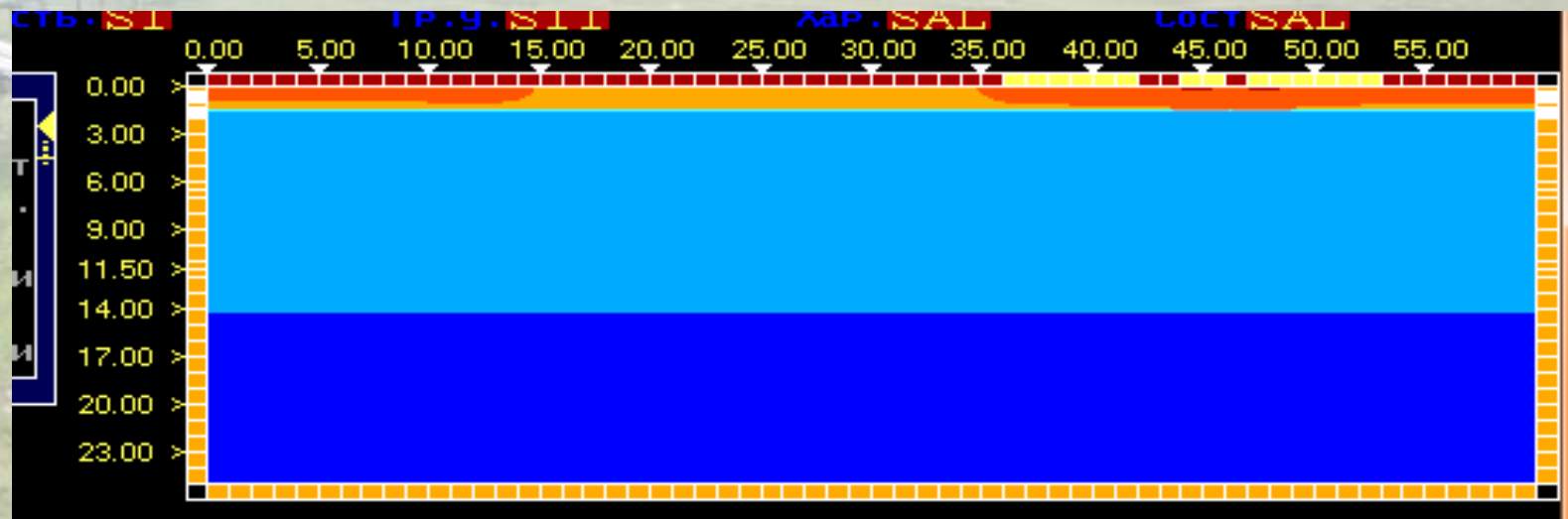
Расчетная область:



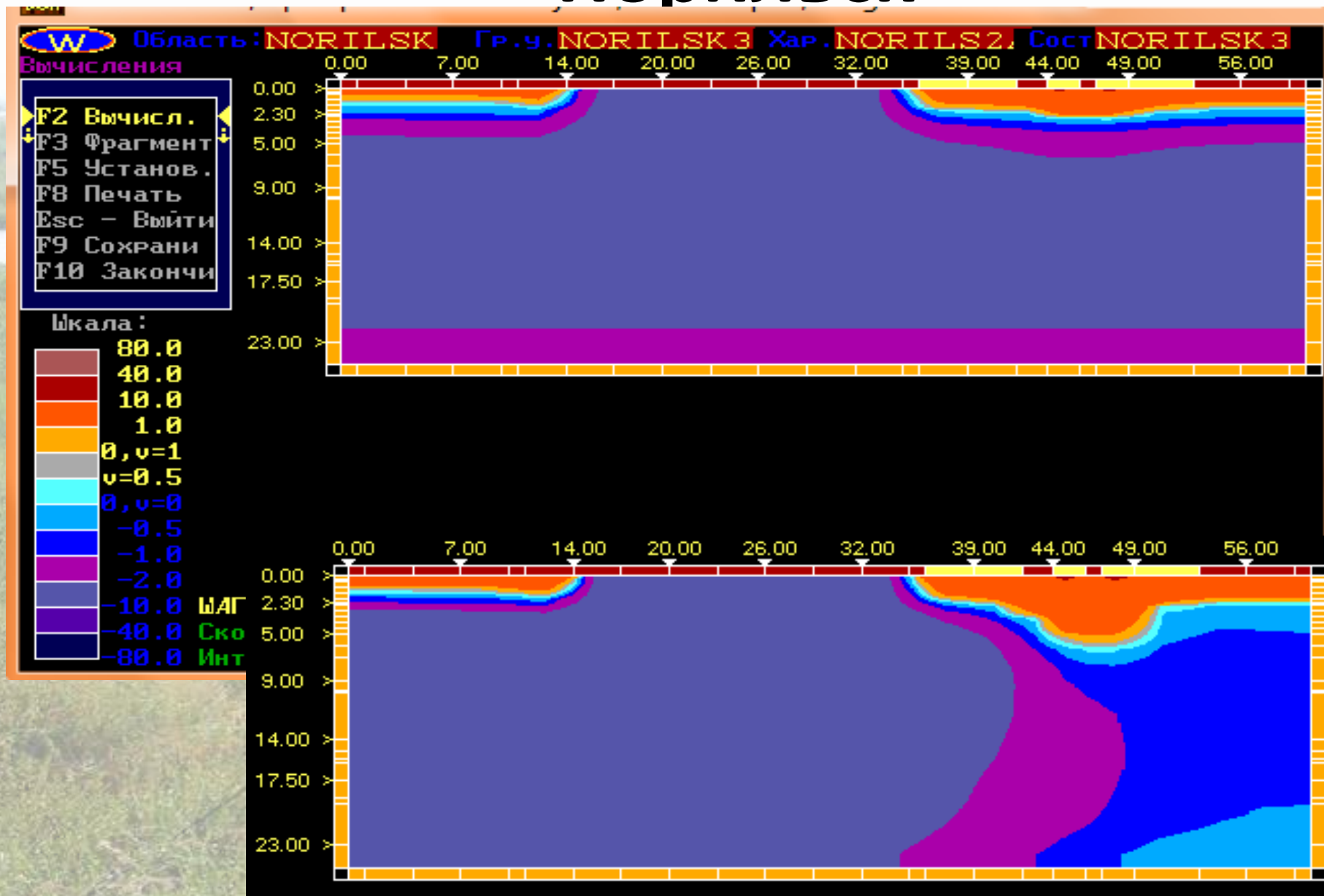
Якутск



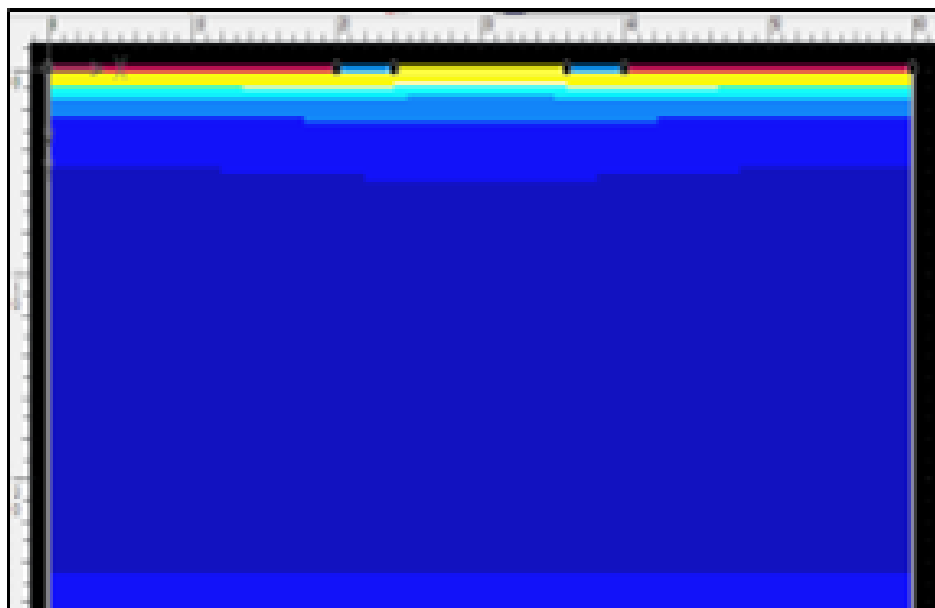
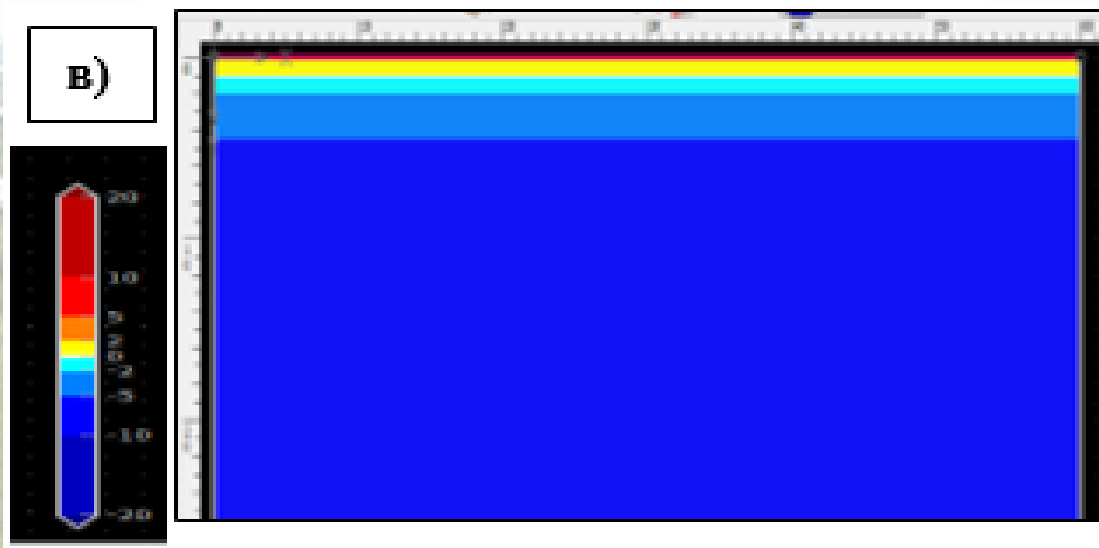
Салехард



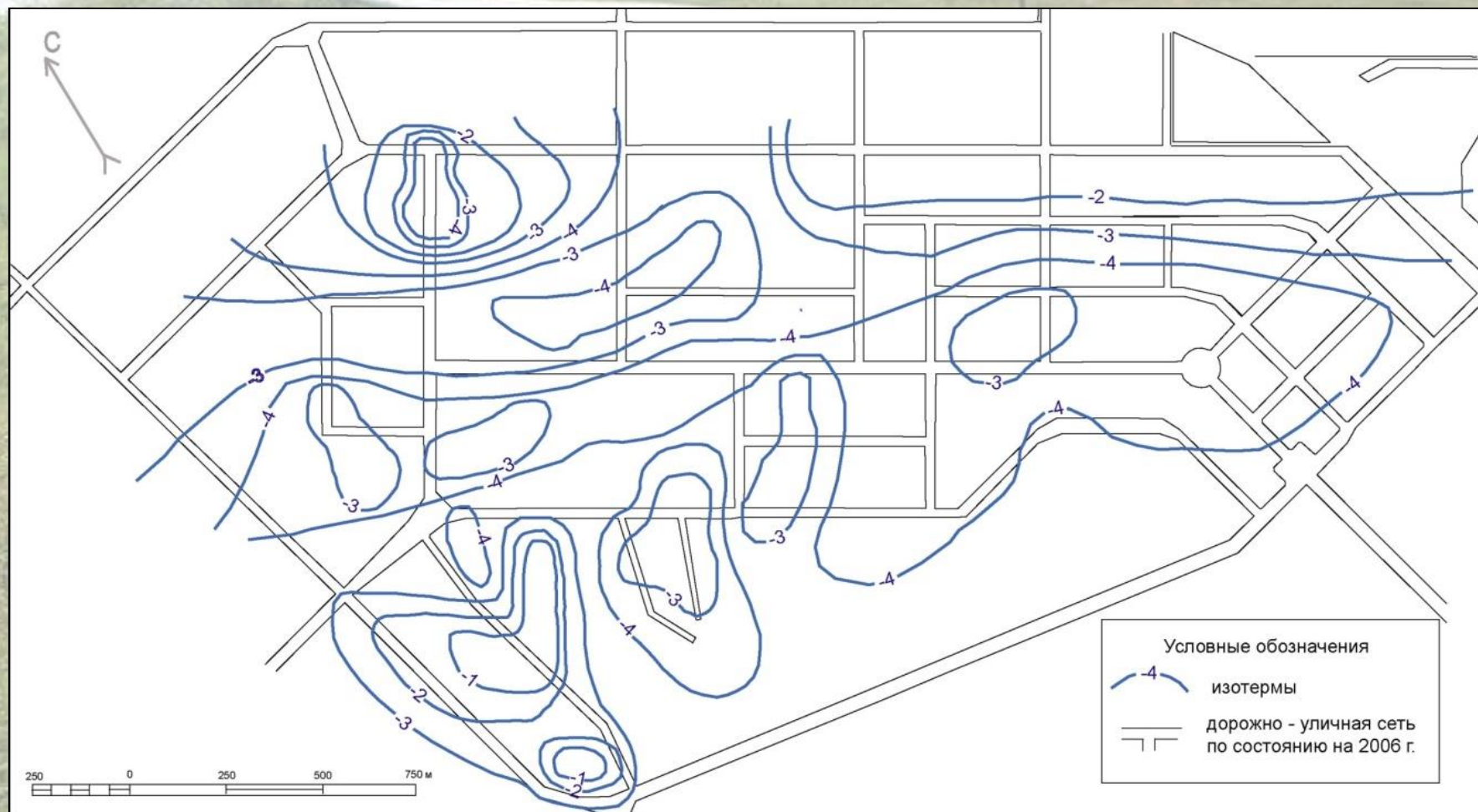
Норильск



Верхоянск



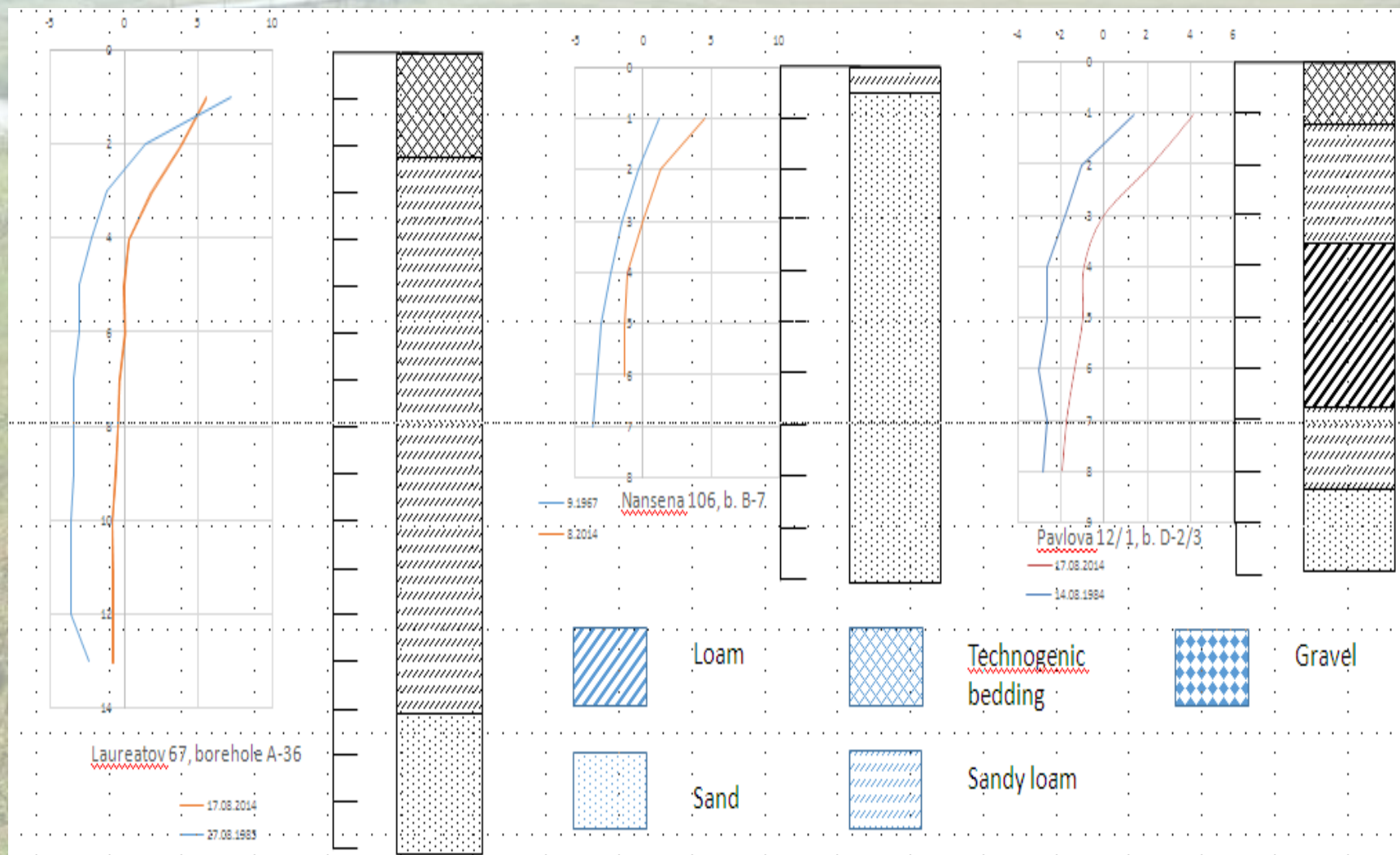
Карта-схема среднегодовой температуры мерзлых пород на территории г. Норильска, 1940 г. (по данным изысканий мерзлотной станции Норильского горно-металлургического комбината)



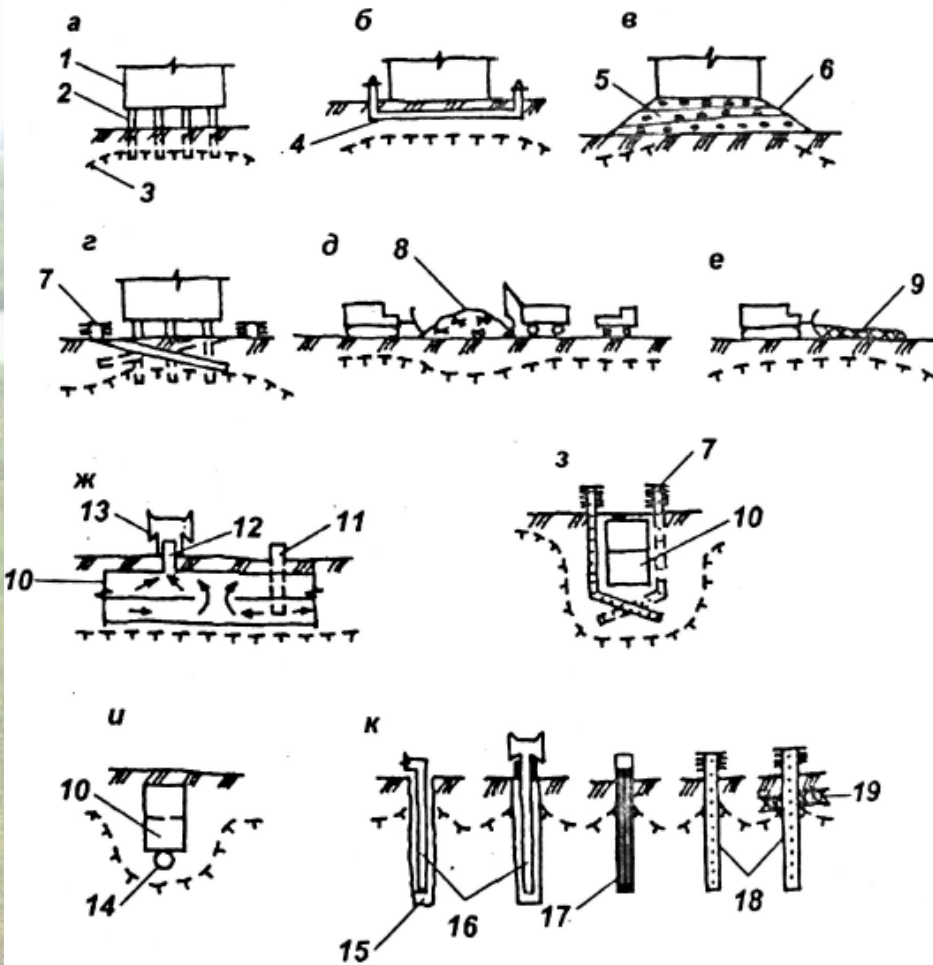
Современная карта-схема опасных криогенных процессов, селитебная часть г. Норильска



Изменение температуры грунтов в различных мерзлотно-литологических условиях



Методы управления мерзлотной обстановкой



Парожидкостные термоустановки,
г. Норильск

1 – здание; 2 – фундамент; 3 – верхняя граница вечномёрзлого грунта; 4 – вентилируемые трубы или каналы; 5 – подсыпка; 6 – слой гидроизоляции; 7 – парожидкостные СОУ с горизонтальными отводами; 8 – снег; 9 – теплоизолирующий материал; 10 – двухъярусный подземный коллектор; 11 – воздухоприточная шахта; 12 – воздуховытяжная шахта; 13 – воздушно-конвективный охладитель; 14 – принудительно-вентилируемая подость; 15 – скважина; 16 – воздуховод; 17 – жидкостная СОУ; 18 – парожидкостная СОУ; 19 – зеротор или слой теплоизоляции

Выводы

На сложные природные ландшафтно-мерзлотные условия накладываются разнообразные техногенные воздействия, что вызывает разновеликие, разномасштабные, разновременные изменения вечномерзлых оснований.

Криогенные процессы при взаимодействии с инфраструктурой приобретают особую интенсивность и зачастую вызывают существенные деформации зданий и сооружений. По нашей оценке деформированы не менее 30 % объектов.

Расчеты и моделирование показали, что применение наиболее распространенного метода управления мерзлотной обстановкой (применение холодных проветриваемых подполий) показывает свою эффективность, за исключением континентальных малоснежных районов.

Исследования в городах Норильск, Талнах, Дудинка, Игарка и других показали, что:

- для 70% многолетнемерзлых оснований зданий и сооружений характерны тренды деградации мерзлоты (некоторое увеличение сезонного оттаивания, увеличение температуры грунтов, снижение несущей способности грунтов) подвергаются деформациям (80-90 % - вклад техногенеза, 10-15 % - потепление климата);
- около 20% оснований сохраняет те же самые инженерно-геокриологические параметры, которые были получены при изысканиях;
- для 10% оснований зданий и сооружений с холодными проветриваемыми подпольями наблюдается укрепление (аградация вечной мерзлоты).

Спасибо за внимание!

