

Особенности и проблемы поисков и разведки месторождений в осложнённых условиях вечной мерзлоты



Вечная мерзлота в определениях и фактах

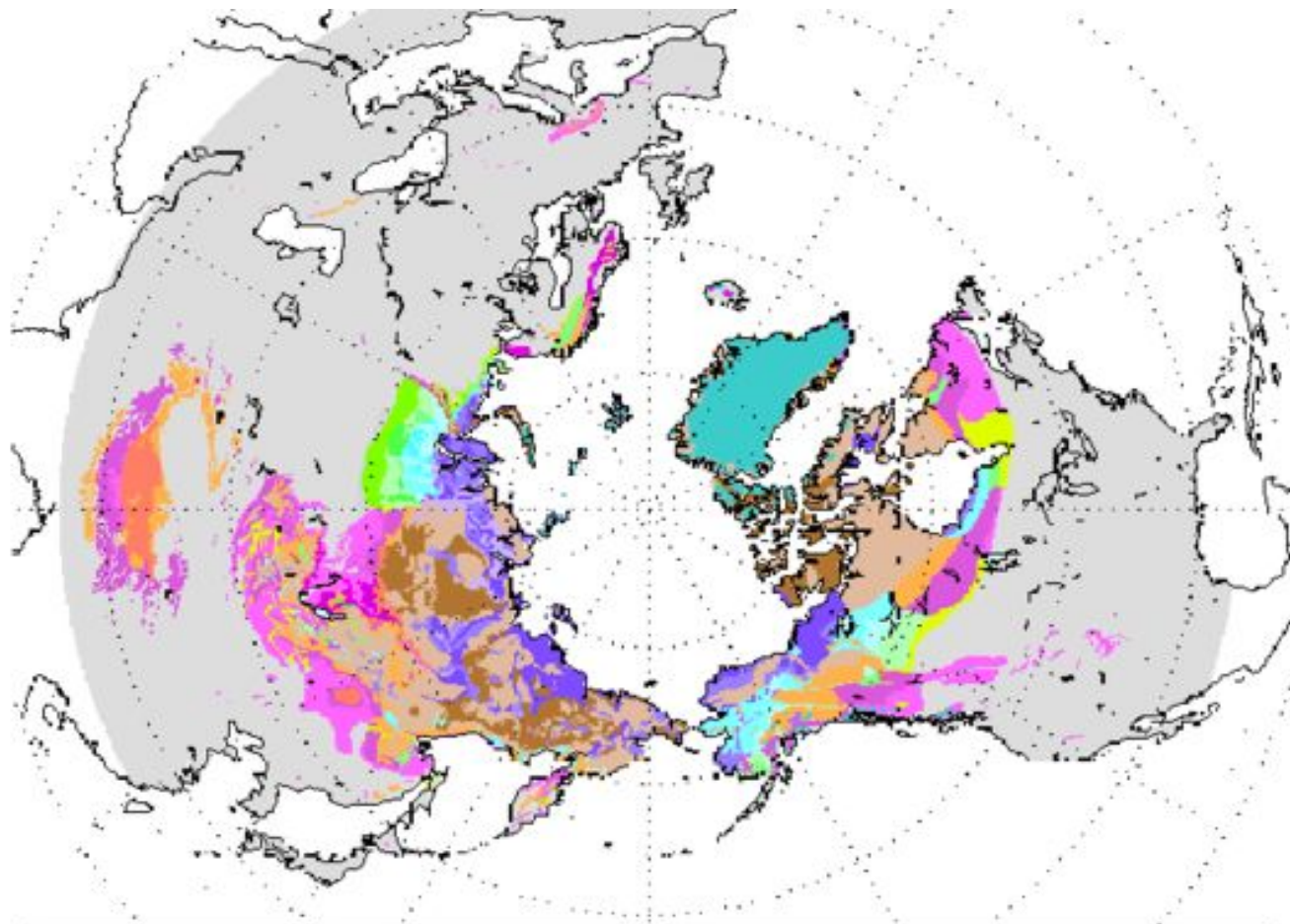
- Горные породы, длительное время (от нескольких лет до многих тысячелетий) находящиеся при температурах ниже 0°C и сцементированные льдом, получили название многолетней или вечной мерзлоты.
- По определению М.И. Сумгина, вечномерзлой почвой, или вечной мерзлотой, называется слой почвы или породы, находящейся на некоторой глубине от дневной поверхности и имеющей отрицательную или нулевую температуру, длящуюся непрерывно неопределенно долгое время — от двух лет до десятков тысячелетий. Слой почвы, лежащий над вечной мерзлотой и ежегодно летом оттаивающий, а зимой замерзающий, называется слоем летнего оттаивания, или слоем зимнего промерзания, или деятельным слоем.
- Криолитозона – верхний слой земной коры, характеризующийся отрицательными температурами горных пород и наличием (или возможностью существования) подземных льдов. В ее состав входят многолетнемерзлые горные породы, подземные льды и непромерзающие горизонты сильно минерализованных подземных вод.
- Многолетняя мерзлота — необычный природный феномен, на который обратили внимание еще землепроходцы в XVII в. Скопления льда в многолетнемерзлых породах образуют линзы, клинья, прослои и



Вечная мерзлота в определениях и фактах

- Термин вечная мерзлота следует представлять во временном периоде порядка нескольких сотен лет и более, а в общем случае, в соответствии со временем существования мерзлоты, следует рассматривать следующие структуры:
 - 1. Вечномерзлые грунты, существующие века и тысячи лет
 - 2. Многолетнемёрзлые, существующие годы или десятки лет
 - 3. Сезонная мерзлота
- Зоны вечной мерзлоты распространены на севере Евразии, Северной Америки, в Антарктиде, на островах Северного Ледовитого океана. Вечная мерзлота – явление глобального масштаба, её общая площадь оценивается примерно в 35 млн км² и составляет около 25 % поверхности материков.
- Практический интерес, особенно при строительстве сооружений, представляет «льдистость» мерзлых пород, от которой в наибольшей степени зависит величина их просадки при оттаивании.
- Так называемая лдьистость многолетней мерзлоты, может быть весьма значительной и достигать 90% общего объема породы. На равнинах подземный лед нередко оказывается главной горной породой. Особенно много ледяных включений содержится в отложениях северных районов Западной и Северо-Восточной Сибири.
- От 60 %до 65 % (около 10 млн. км²) территории России — районы вечной мерзлоты. Наиболее широко она распространена в Восточной Сибири и Забайкалье.
- Самый глубокий предел вечной мерзлоты отмечается в верховьях реки Вилюй в Якутии. Рекордная глубина залегания вечной мерзлоты — 1370 метров — зафиксирована в феврале 1982 года.
- В пределах криолитозоны России сосредоточено более 30 % разведанных запасов всей нефти страны, около 60 % природного газа.

- Карта состояния вечной мерзлоты и грунтового льда
- 1998 год, пересмотрен в феврале 2001 года.



Permafrost Extent (percent of area)	Ground Ice Content (visible ice in the upper 10-20 m of the ground; percent by volume)				
	Lowlands, highlands, and intra- and intermontane depressions characterized by thick overburden cover (>5-10m)			Mountains, highlands, ridges, and plateaus characterized by thin overburden cover (<5-10 m) and exposed bedrock	
	High (> 20%)	Medium (10-20%)	Low (0-10%)	High to medium (>10%)	Low (0-10%)
Continuous (90-100%)					
Discontinuous (50-90%)					
Sporadic (10-50%)					
Isolated Patches (0-10%)					
Ice caps and glaciers					

Вечная мерзлота России

(65 % площади страны)





- Повсеместная вечная мерзлота; глубина более 500 м
- Повсеместная вечная мерзлота; глубина 300–500 м
- Повсеместная вечная мерзлота; глубина 100–300 м
- Локальная вечная мерзлота; глубина 100 м
- Отдельные участки вечной мерзлоты; глубина 25 м

Почвы районов многолетней мерзлоты

- В почвах, расположенных в зоне длительной сезонной или постоянной мерзлоты, протекает комплекс своеобразных процессов, связанных с влиянием низких температур. Над мёрзлым слоем - водоупором может происходить накопление гумуса, так называемая надмерзлотная регенерация гумуса, надмерзлотное оглеение.
- Наличием мёрзлого слоя вызван целый ряд механических изменений в почвенном профиле, таких, как криотурбация — перемешивание почвенной массы под влиянием разницы температур, солифлюкция — сползание насыщенной водой почвенной массы со склонов по мёрзлому слою. Эти явления особенно широко распространены в тундре. С криогенными деформациями связывают характерный для тундр бугристо-западинный рельеф (чередование бугров пучения и термокарстовых западин), а также образование пятнистых тундр.
- Под действием мороза происходит криогенное оструктурирование почвы. Отрицательные температуры способствуют переходу продуктов почвообразования в более конденсированные формы, и это резко замедляет их подвижность. Мерзлотной коагуляцией коллоидов обусловлено ожелезнение таёжных почв.

Гидролакколиты (бугры пучения)



Термокарст



Глубина промерзания при средних отрицательных температурах в течение:

Время (количество лет)	Глубина мерзлоты (м)
1	4,44
350	79,9
3500	219,3
35000	461,4
100000	567,8
225000	626,5
775000	687,7

Инженерная проблема

Освоение территорий всегда связано со строительством.

- Две неприятности ожидают строителей в зоне вечной мерзлоты:
- Первая — это просадка при оттаивании мерзлых, насыщенных льдом оснований под фундаментами зданий, насыпями железных и шоссейных дорог, покрытиями аэродромов.
- Вторая — это выпучивание свай, фундаментов, опор мостов, оснований линий электропередач и т.д.
- Особенно опасны для сооружений неравномерные осадки и пучение мерзлого основания. Основная причина разрушений — нестабильность свойств мерзлой толщи. Прочность и устойчивость мерзлых грунтов зависят от температуры и состава льда.
- Знакомые всем рыхлый влажный песок и пластичная глина при замерзании цементируются льдом и становятся крепкими, как скала. Они выдерживают большие нагрузки и служат надежным основанием для различных фундаментов, но при условии, что температура мерзлого песка не выше -5°C , а мерзлой глины — $-7-8^{\circ}\text{C}$. При температурах более высоких, близких к 0° , мерзлые фунты становятся пластичными и не выдерживают тяжести сооружений.
- Это объясняется тем, что в мерзлых глинах, суглинках и песках в небольшом количестве присутствует незамерзшая вода. Она сохраняется в мерзлых фунтах даже при очень низких отрицательных температурах благодаря молекулярным силам минеральных частиц фунта. С понижением температуры содержание незамерзшей воды быстро уменьшается.
- Явление это получило наименования деградации вечной мерзлоты. Строители знают, что это обычный процесс в условиях непрерывного отепляющего воздействия на них при различных мероприятиях. Создание при добыче полезных ископаемых наземных и подземных сооружений, их обогрев и вентиляция, а также откачка подземных вод – все это приводит к протаиванию пород.
- На Крайнем Севере России строительство рудников и сопутствующих им комплексов наземных и подземных сооружений вызвало изменение мерзлотных и геологических условий. В пределах поселков с отапливаемыми зданиями происходит оттаивание пород. Глубины оттаивания под зданиями изменяются от 14 до 50 м в зависимости от габаритов здания и температуры внутри помещения.

Инженерная проблема



Гражданское здание в г. Мирный.



Растепление от Факела на Ванкоре

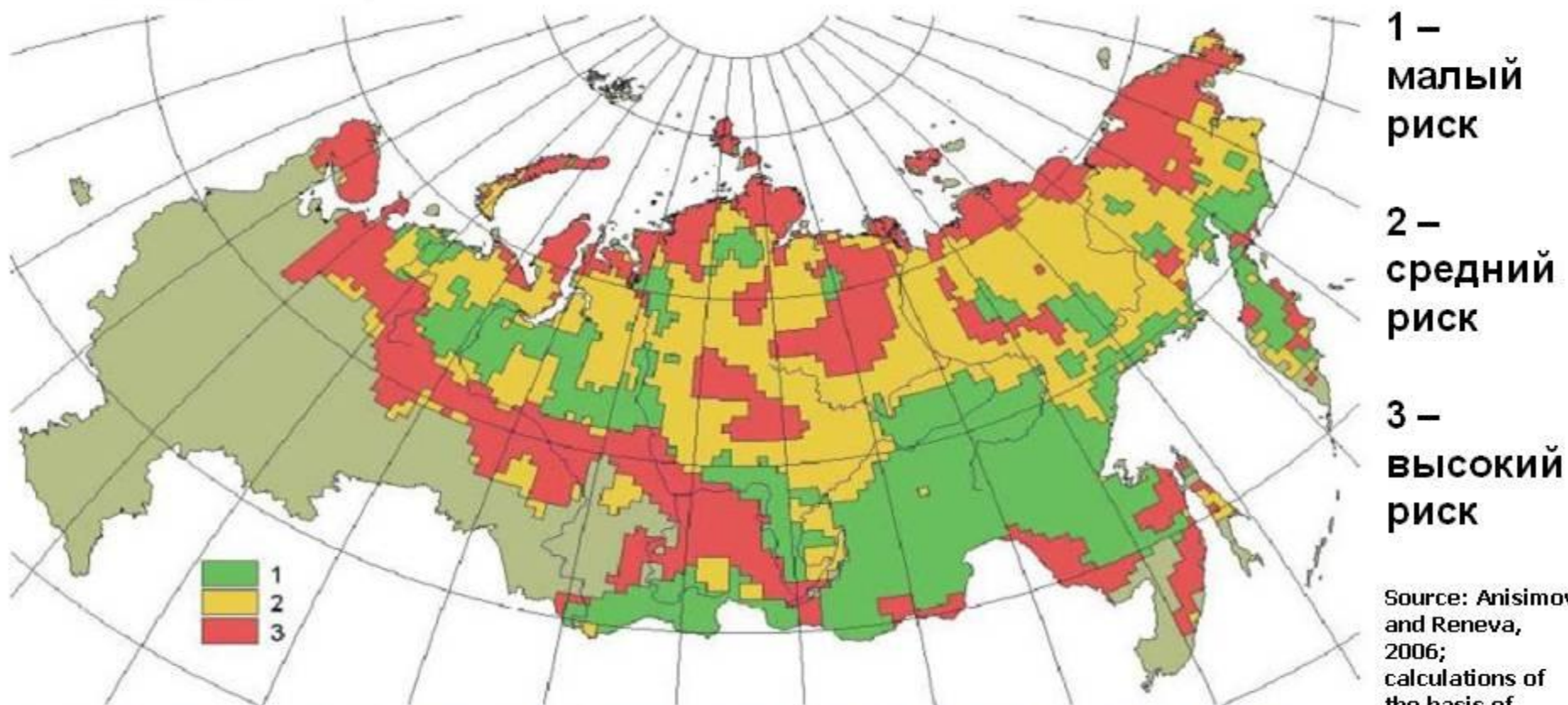


Размыв грунтов при подземной растепления прокладке газопровода



Деформации кранового узла от ММП при подземной прокладке

Разрушение зданий и сооружений в зоне вечной мерзлоты



Anisimov O., Reneva S., Permafrost and Changing Climate: The Russian Perspective. Ambio Vol. 35, No. 4, June 2006 p. 169–175; Royal Swedish Academy of Sciences 2006. <http://www.ambio.kva.se>

Source: Anisimov and Reneva, 2006; calculations of the basis of climate scenario GFDL

Подземные воды

- Наличие в верхней зоне литосферы промороженных горных пород и подземных вод предопределяет специфические условия формирования, распространения, питания и режима подземных вод, а также своеобразие ее инженерно-геологических условий. Влияние многолетнего промерзания земной коры на подземные воды выражается в изменении ёмкости гидрогеологических структур и пространственной сферы движения подземных вод, ухудшении условий питания подземных вод и локализации зон их питания и разгрузки, в изменении гидравлического характера и свойств подземных вод (особенно надмерзлотных), в своеобразии режима их уровня, температуры, качества и расходов и т. д.
- В свою очередь и подземные воды активно воздействуют на толщи мерзлых пород, передавая им аккумулированное ими тепло и в значительной мере определяя условия пространственного их распределения и их инженерно-геологические свойства.
- Для гидрогеологических целей наибольший интерес представляет изучение таликов, развитие которых обусловлено взаимодействием подземных вод и мерзлых толщ пород. Талики развиты на всей территории многолетней мерзлоты, и именно они характеризуют в основном степень прерывистости мерзлых толщ. Изучение их очень важно, так как именно они служат областями питания и разгрузки подземных вод.
- Сопоставление мощностей мерзлых толщ и зон развития пресных вод и коры выветривания дает возможность судить о наличии в изучаемом районе горизонтов подмерзлотных подземных вод, пригодных для народнохозяйственного использования.
- Изучение выходов подмерзлотных подземных вод в зимнее и весеннее время дает наиболее достоверную информацию об их свойствах, ресурсах и химическом составе. Период с февраля и по апрель следует использовать для изучения и картирования непромерзающих источников подмерзлотных вод и образованных ими наледей, а также для повторных обследований. В более ранний период надмерзлотные воды нередко приобретают временный криогенный напор, вызванный промерзанием их верхней части, и их выходы ошибочно могут быть приняты за выходы подмерзлотных вод.
- Изменение температуры может привести не только к изменению качества подземных вод, но и к изменению их фазового состояния, объема и условий их эксплуатации. Поэтому следует проводить наблюдения за действующими источниками и водозаборами, режимом и условиями их эксплуатации (особенно в периоды наибольшего промерзания и оттаивания пород) и т. д.



Геофизические исследования

- Метод вертикального электрического зондирования применяется для определения положения верхней и нижней границ мерзлой зоны с установлением при этом мощности замкнутых и сквозных таликов, выявлением и оценкой мощности межмерзлотных таликов и определением толщины деятельного слоя, выяснения литологических особенностей мерзлых рыхлых отложений по значению удельного электрического сопротивления и другим признакам, мощности льдистого горизонта мерзлых рыхлых отложений среди общей толщи рыхлых пород.
- Разведочные скважины бурят по поперечникам (на подозерные талики по сетке, нередко со льда), ориентированным нормально к разведкуемым водовмещающим структурам. Глубина скважин при разведке надмерзлотных вод обычно не превышает 20—50 м, на подмерзлотные воды может достигать 600 м и более в зависимости от мощности многолетнемерзлых пород. Бурение скважин в мерзлых породах желательно осуществлять без промывки, с продувкой ствола сжатым воздухом либо с промывкой водой (нередко подсоленной и охлажденной). Бурение вскрытых подмерзлотных водоносных пород выполняется обычным способом. При бурении скважин помимо общепринятых гидрогеологических наблюдений ведутся наблюдения за температурой входящей и выходящей промывочной жидкости, немедленный после извлечения осмотр керна, описываются характер и виды льдистости, отбираются пробы льда на химический анализ и т. д. Особое внимание уделяется изучению пород в зоне контактов мерзлых и талых толщ, что способствует правильному решению вопроса о взаимовлиянии водоносных горизонтов и мерзлых пород.
- При бурении скважин, их опробовании или эксплуатации, особенно при вскрытии низкотемпературных межмерзлотных и подмерзлотных вод и положении уровня воды в интервале мерзлых пород следует предусматривать мероприятия, предохраняющие скважины от перемерзания. Особенно важно это осуществлять при перерывах в бурении или откачке, в простаивающих или наблюдательных гидрогеологических скважинах.

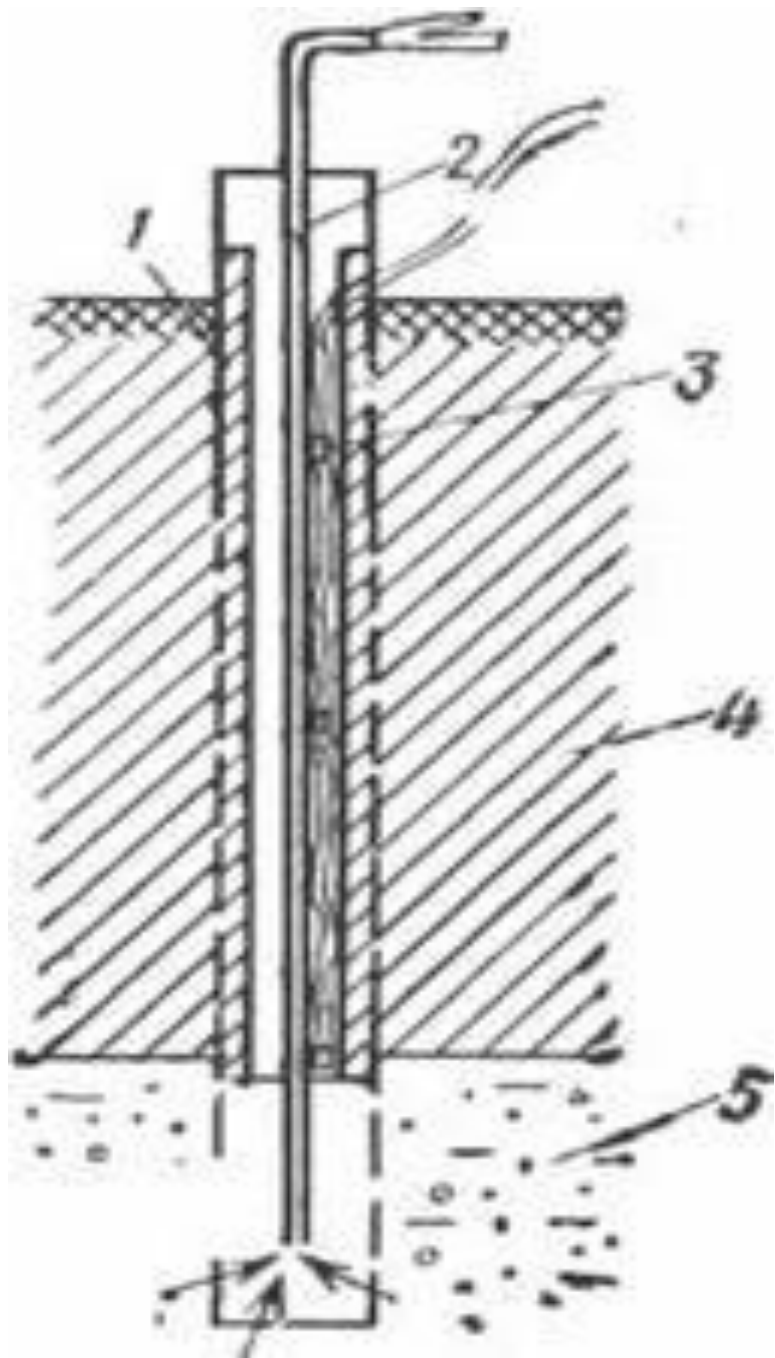


Схема противообледенительного
электронагревательного устройства в
скважине: 1 — обсадная колонна труб; 2 —
рабочая колонна труб; 3 —
электронагреватели; 4 —
многолетнемерзлые породы; 5 —
водоносный горизонт

Нефть и газ

- В настоящее время основная часть новых месторождений нефти и газа разрабатывается в северных широтах на вечной мерзлоте. Освоение месторождений в таких условиях приводит к значительному повышению капитальных затрат, связанных с необходимостью предотвращения растепления многолетнемерзлых пород.
- Согласно неофициальным данным, растепление в результате бурения становится причиной 23% отказа технических систем и 29% потерь добычи нефти и газа.
- В случае слишком близкого расположения устьев скважин друг к другу, при эксплуатации происходит активное растепление окружающих пород, в результате чего возникают их просадки, обвалы, которые могут приводить к ряду осложнений и даже аварий в процессе бурения и эксплуатации скважин. Например, в результате образования протяженных каверн конструкция скважины может потерять продольную устойчивость и деформироваться.
- Поэтому месторождения нефти и газа в северных широтах обустроиваются с достаточно большим расстоянием между устьями скважин. Например, на Заполярном и Ямбургском газовых месторождениях расстояние между кустовыми скважинами составляет 40 м. А ведь увеличение расстояния между устьями ведет к значительному увеличению капитальных затрат, в первую очередь на отсыпку грунтов. Толщина отсыпки традиционно составляет 1-2 метра. А учитывая то, что основная доля осваиваемых месторождений разрабатывается в удаленных и труднодоступных регионах, с учетом транспортировки песок на отсыпку становится, что называется, золотым.

Нефть и газ

Растепление вечномёрзлых грунтов - серьезная проблема при бурении скважин в условиях Крайнего Севера

Традиционный путь решения проблемы растепления - увеличение расстояния между устьями скважин

Угроза повреждения дорогостоящего бурильного оборудования

Негативное влияние на экологию

Увеличение затрат на отсыпку грунтов

Повышение капитальных затрат на обустройство месторождений

Др.Применение термоизолирующего направления обсадной трубы-термокейса

Растепление вечномерзлых грунтов - серьезная проблема при бурении скважин в условиях Крайнего Севера

Применение термоизолирующего направления обсадной трубы или термокейса

Главные достоинства применения термокейсов:

Колонна изготавливается из стальных труб диаметром $\varnothing 530$ и 820 мм (возможно изготовление других размеров) по технологии «труба в трубе» с заливкой межтрубного пространства теплоизолирующим материалом - пенополиуретаном (ППУ).

Снижение затрат на отсыпку грунтов и уменьшение размера кустовой площадки вследствие сокращения допустимого расстояния между устьями (общая экономия на обустройстве кустовой площадки в 10%)

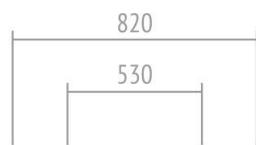
Конструкция длиной 24 м состоит из двух секций - верхней и нижней, соединяемых при помощи фланцев или сварным швом. Нижний элемент снабжен крепежом для временного крепления опорных деталей, упирающихся в устье скважины при установке колонны. Место соединения элементов теплоизолируется пенополиуретановыми скорлупами, далее устанавливается стальная обечайка и стягивается хомутами. После завершения монтажа опорные детали снимаются, и колонна устанавливается в рабочее положение. Пространство между колонной и скважиной заполняется цементным раствором.

Предотвращение порчи насосного оборудования вследствие растепления многолетнемерзлых грунтов

Уменьшение размера кустовой площадки уменьшает площадь негативного воздействия на окружающую природу.

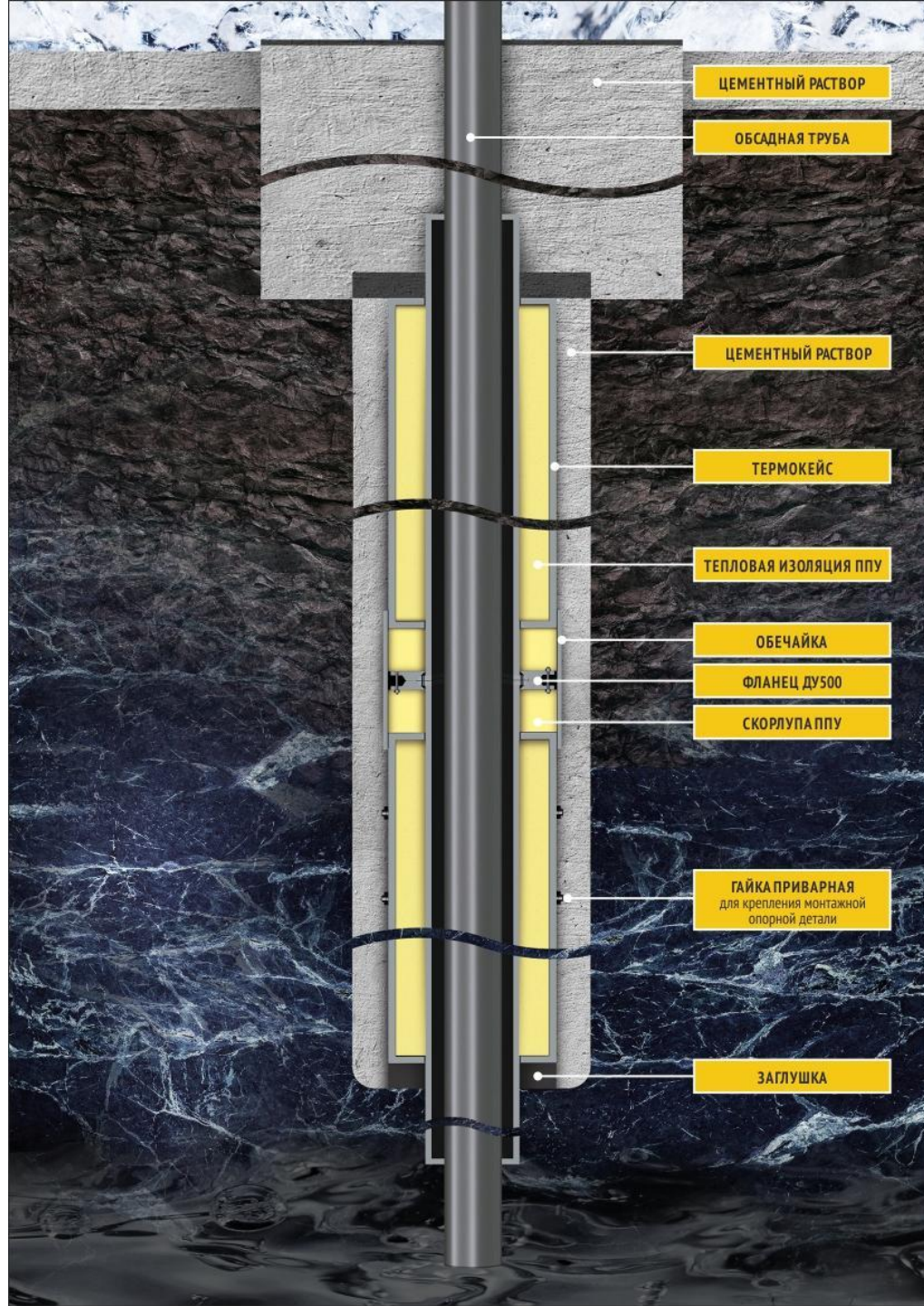
Рекомендуется при неглубоких слоях многолетнемерзлых грунтов - до 30 м. Температура применения - до -60°C .

Обеспечение защиты окружающей среды в районе расположения скважин.



Термоизолирующее
направление
обсадной трубы-
термокейса

Типовая
конструкция
скважины



Сравнение капитальных затрат на обустройство оснований кустовых площадок

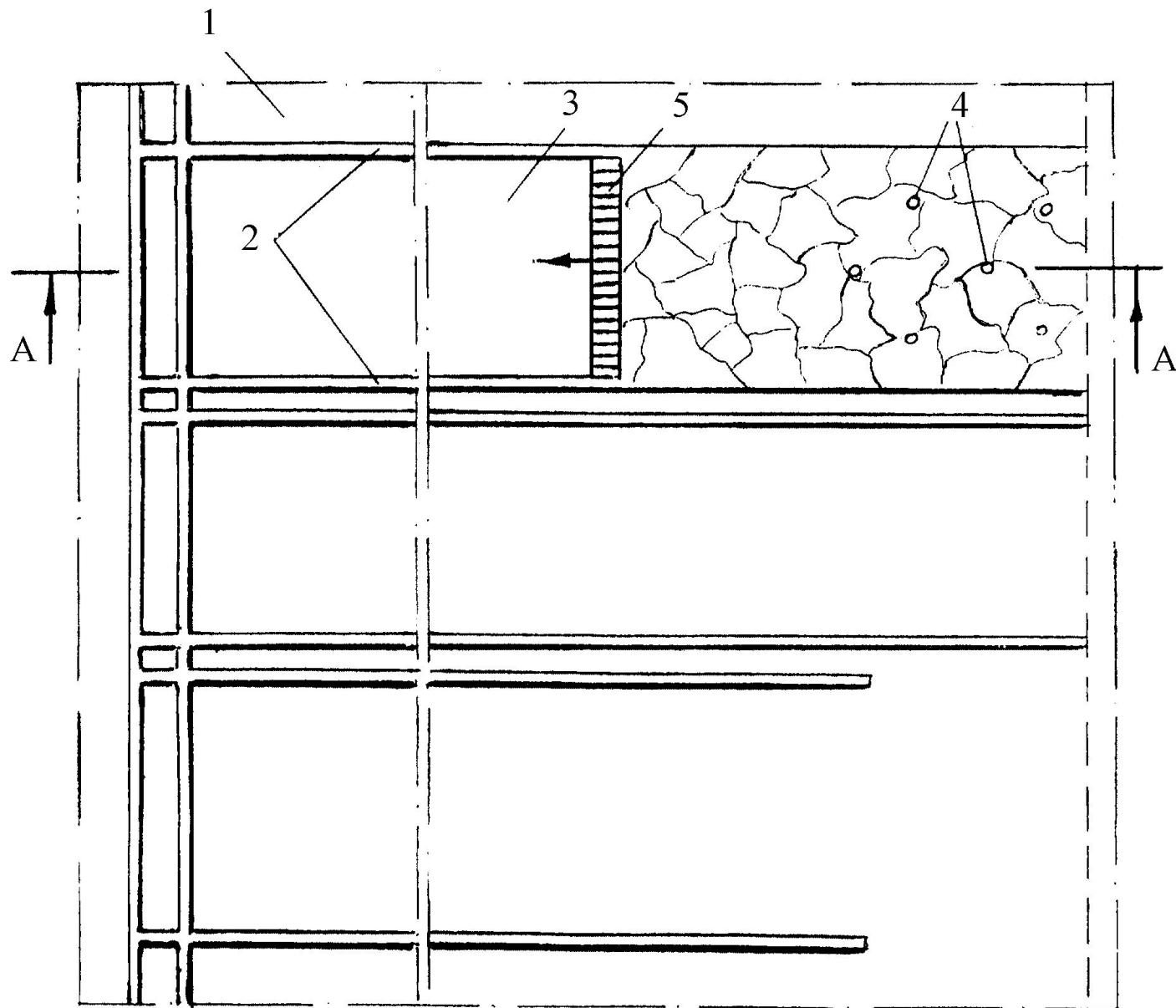
Типовая конструкция скважины с применением	
Вариант 1: Нетермоизолирующее направление обсадной трубы	Вариант 2: Термоизолирующее направление обсадной трубы (термокейса)
Допустимое расстояние между устьями скважин (согласно проектному расчету)	
18 метров	10 метров
Затраты (по конкретному проекту на 2013 г.)	
67,4 млн руб	51,8 млн. руб
Итого затраты (включая СМР, оборудование)	
97,1 млн руб	87,9 млн руб

Пластовые месторождения

Способ разработки месторождений в условиях многолетней мерзлоты включает проведение вскрывающих и подготавливающих выработок (бурят с поверхности скважины в подготовленный для отработки длинный столб), ведение очистных работ с управлением горным давлением полным обрушением, бурение с поверхности скважины в подготовленный для отработки длинный столб, а после начала очистных работ и первичного обрушения пород основной кровли и далее периодически после каждого шага ее обрушения подачу в отработанное пространство лавы через скважины холодной воды с температурой не более 5°С до полного заполнения пустот в обрушенных породах	Преимуществами способа являются: - применение для отработки нижнего зависимого пласта наиболее прогрессивной технологии с полным обрушением кровли; - отсутствие сдвижений, провалов на поверхности; - исключается необходимость в оставлении охранных целиков под объекты, находящиеся на поверхности. 2 ил.
Известен способ разработки месторождений, включающий проведение подготовительных выработок, оконтуривающих выемочной столб и ведение очистных работ на подземном участке с управлением кровли полным обрушением [1].	Недостатком известного способа является то, что он не исключает образование провалов на поверхности. Кроме того, этот способ не позволяет первоочередную отработку нижележащего пласта при разработке свиты сближенных (зависимых) пластов.
Известен способ разработки месторождений с управлением горным давлением полным обрушением, предусматривающий в работе основной кровли два режима: первичное и вторичное обрушения ее [2].	Недостатком этого способа является также то, что разрушение массива пород кровли происходит на значительное расстояние по высоте после выемки полезного ископаемого.

Столб с
ведущимися в
нем очистными
работами с
помощью
механизирован-
ного комплекса

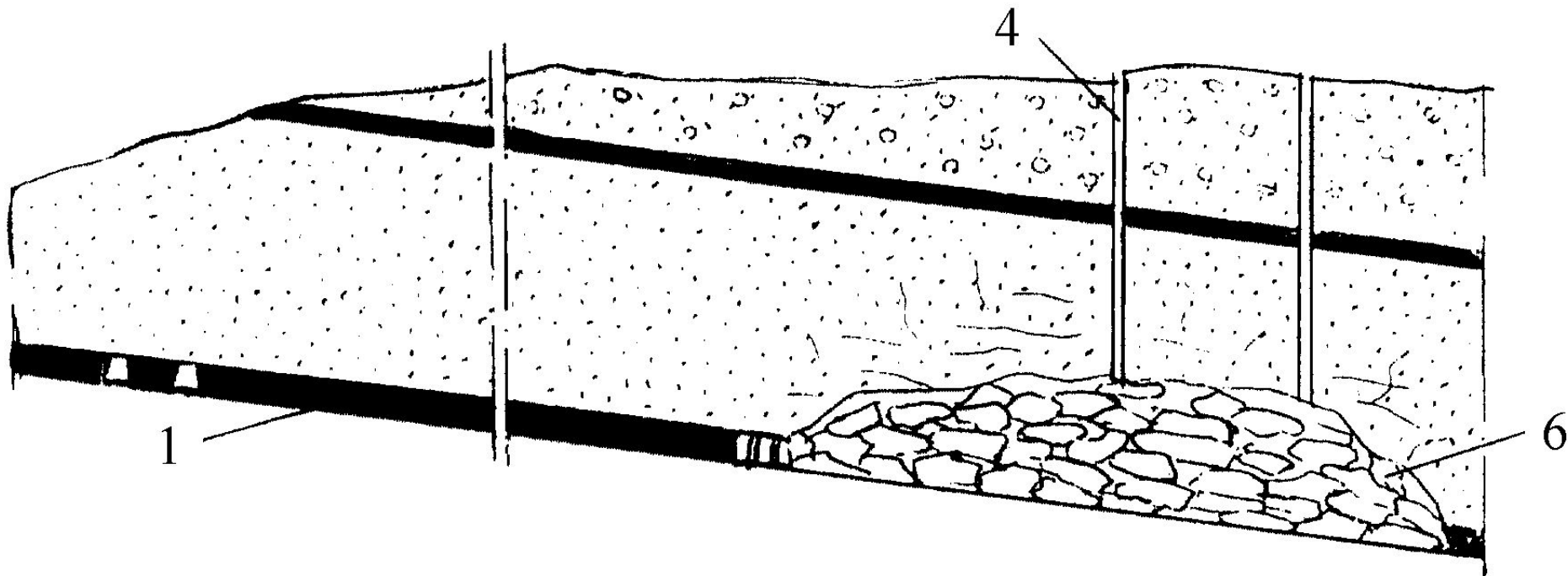
- Условные обозначения: 1 - полезное ископаемое; 2 - подготовительные выработки; 3 - выемочной столб; 4 - скважины; 5 - механизированный комплекс; 6 - основная кровля.



Фиг.1

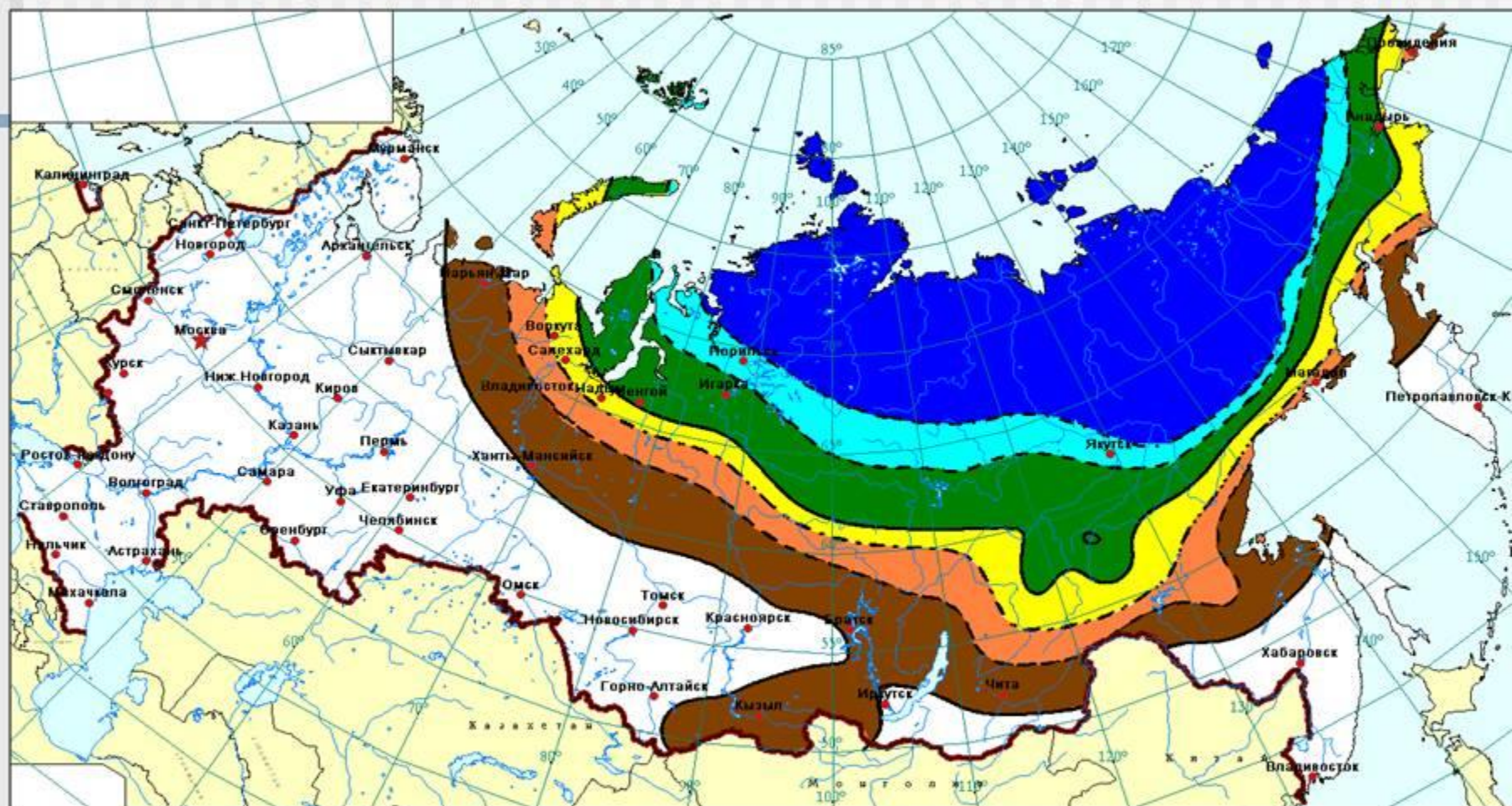
Разрез А-А на фиг.1

- Условные обозначения: 1 - полезное ископаемое; 2 - подготовительные выработки; 3 - выемочной столб; 4 - скважины; 5 механизированный комплекс; 6 - основная кровля.



Фиг.2

Деградация мерзлоты на территории России в 1950-2150 гг.

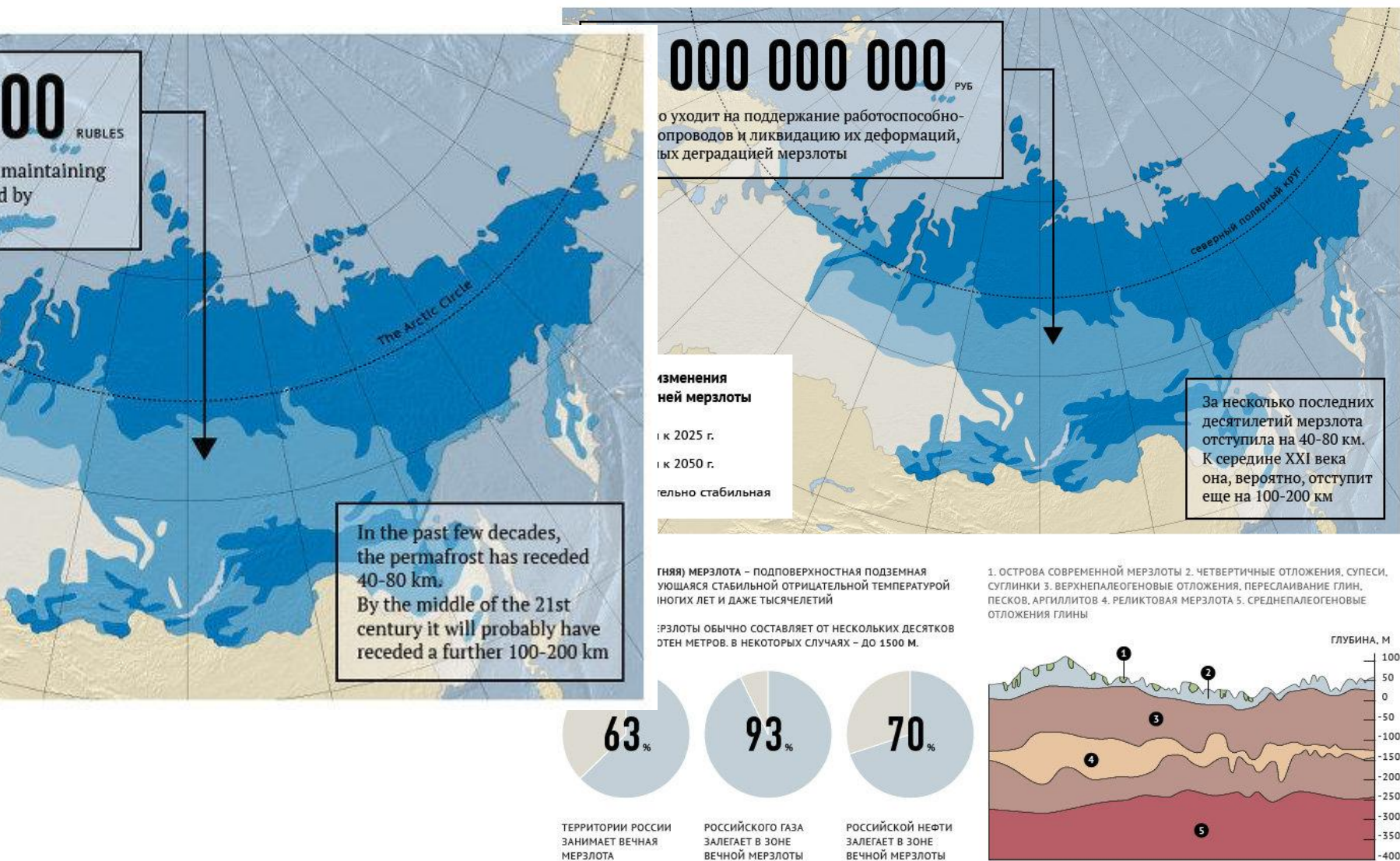


Деградация мерзлоты

- Из-за таяния вечной мерзлоты в последние десятилетия многократно увеличилась скорость береговой эрозии на арктическом побережье России. Этот процесс ежегодно уносит около 30 кв. км нашей территории.
- Всё реальнее становится «метановая угроза» — высвобождение больших объемов еще более «сильного», чем CO₂, парникового газа — метана. В талых озерах Западной Сибири есть места концентрированного выделения газа, где он бьет из-под поверхности пузырями, как из компрессора. Чем интенсивнее будет таять мерзлота, тем больше метана будет поступать в атмосферу.
- Очевидно, что при резком потеплении были бы неизбежны резкий подъем уровня Мирового океана, сопровождаемый затоплением обширных низменных участков, таяние наземных и подземных льдов, освобождение газов (особенно метана), захороненных в вечной мерзлоте и их дополнительное поступление в атмосферу.
- В результате масштабной деградации вечной мерзлоты произойдет вовлечение оттаивающих органических отложений в углеродный цикл, что будет способствовать увеличению эмиссии парниковых газов в атмосферу и может привести к усилению глобального потепления. Большие неопределенности связаны с оценкой запасов углерода в многолетнемерзлых грунтах. От их величины, в конечном счете, зависит потенциальное воздействие названного механизма на глобальный климат.
- Модельные расчеты показывают, что к середине 21-го века эмиссия метана из болот криолитозоны России может возрасти на 25% -30% или на 6-10 Мт в год. Такое увеличение эмиссии, согласно полученным оценкам, окажет заметного воздействия на глобальный климат. К счастью для северян, предсказания значительных изменений климата в высоких широтах пока не оправдываются.

Деградация вечной мерзлоты

В зоне вечной мерзлоты в последние годы существенно возросло число аварий и повреждений различных сооружений



Источники:

- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. Росгидромет, 2008.
- Прогноз чрезвычайной обстановки на территории РФ на 2012 год. МЧС, 2011

- <https://ardexpert.ru/article/9099>
- <https://neftegaz.ru/science/view/963-Burenie-v-v-echnoy-merzlote-bolshe-ne-problema>
- http://www.geoekonomica.ru/gnssn/met_ggi/met_ggi_gl16.htm
- <https://neftegaz.ru/science/view/963-Burenie-v-v-echnoy-merzlote-bolshe-ne-problema>
- <http://www.findpatent.ru/patent/218/2184849.html>