

ГЛАВА 7. ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЛИНЕЙНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Экономическая безопасность России на всем протяжении ее развития была связана с интенсивностью освоения топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов криолитозоны. В ее пределах сосредоточено до 70-80% разведанных запасов каменного угля, кроме того, здесь распространены уникальные по запасам месторождения цветных и драгоценных металлов, медно-никелевых и железных руд и многих других полезных ископаемых. В настоящее время здесь сформировались и в полной мере функционируют горнопромышленные районы на Кольском полуострове, в Печорском бассейне, в Норильске, в Центральной и Южной Якутии, на Чукотке, Колыме и в Забайкалье. Их успешное развитие, несомненно, связано и с развитием гидроэнергетики, а также со строительством транспортных магистралей. В связи с этим, начиная с конца XIX столетия в России, в пределах криолитозоны с различной интенсивностью ведется строительство линейных сооружений различного типа. Главным образом железных дорог и магистральных газо- и нефтепроводов.

7.1. Линейные сооружения

Магистральные трубопроводы. Магистральные трубопроводы подразделяются на классы: газопроводы - на два, нефтепроводы – на четыре.

К I классу газопроводов относятся трубопроводы с рабочим давлением от 2,5 до 10 МПа, ко II - от 1,2 до 2,5 МПа.

Нефтепроводы I класса объединяет трубопроводы с диаметром труб 1000-1200, II – 500-1000, III - 300-500 и IV – менее 300 мм.

Участки магистральных нефте- и газопроводов по совокупности требований (качество металла труб, сварки и арматуры) подразделяются на 5 категорий: В (высшая), I, II, III и

IV. При выборе категории учитывается способ прокладки, выбранный на участках определенного типа (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Категория участков магистральных трубопроводов

Участки	Газопроводы			Нефтепроводы		
	ПЗ	НЗ	НД	ПЗ	НЗ	НД
Линейный участок в пределах криолитозоны с относительной осадкой при оттаивании:						
$< 0,01$	III	III	III	III	III	III
$> 0,10$	II	II	II	II	II	II
Переходы через реки:						
русло	I	-	I	I	-	I
пойма	II	-	II	I	-	I
Переходы через железные и автомобильные дороги:						
железные дороги общей сети и автодороги I и II категорий	I	-	I	I	-	I
подъездные железные дороги промышленных предприятий	I	-	II	III	-	II
автодороги III и IV категорий	I	-	I	III	-I	I
Пересечение с воздушными линиями электропередач						
≥ 500 кВ	I	I	I	I	I	-
330-500 кВ	II	II	II	II	II	-
< 330 кВ	III	III	III	III	III	-
Трубопроводы в пределах участков сооружений, обслуживающих трубопровод	В	В	В	I	I	I

Примечание. ПЗ, НЗ, НД - соответственно подземная, наземная и надземная прокладка трубопровода

Трассы магистральных трубопроводов выбирают на основе материалов инженерно-геокриологических изысканий и дополнительных программ исследований трансформации криолитозоны в условиях их строительства и эксплуатации.

Свойства газа при транспортировке по трубам изменяется незначительно, хотя технология транспортировки предусматривает сжатие его на компрессорных станциях. В это время его

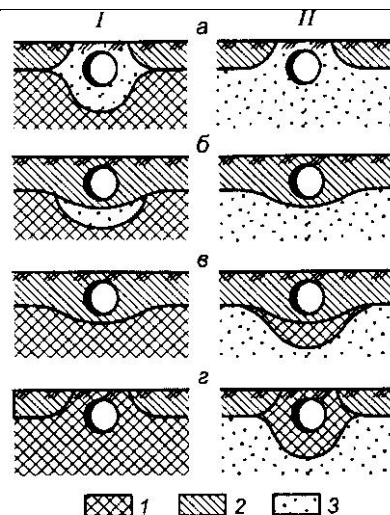
температура повышается до 50-70°C, а охлаждение происходит на участке трубопровода, протяженностью 5-10 км. В связи с этим мероприятий по теплозащите газопроводов практически не проводят. Нефть при охлаждении повышает вязкость и требует значительные затраты энергоресурсов для обеспечения эффективной ее перекачки. Поэтому технология транспортировки предусматривает существенные затраты на теплоизоляцию, что обеспечивает минимизацию воздействия нефтепровода на грунты криолитозоны.

Магистральные трубопроводы подразделяются на горячие участки (температура продуктопровода в течение всего года положительная), теплые участки (среднегодовая температура положительная) и холодные (среднегодовая температура продукта в трубопроводе отрицательная). Сочетание среднегодовой T_{pr} , максимальной T_{max} и минимальной T_{min} температур перекачиваемого продукта характеризуются различным тепловым воздействием трубопровода на вмещающие их грунты криолитозоны, формированием многолетних ореолов промерзания или оттаивания (рис. 7.1) [42].

Рис 7.1. Тепловые взаимодействия подземных газо- и нефтепроводов с грунтами при различных соотношениях температур, °C;

- а) $T_{pr} > 0; T_{min} > 0; T_{max} > 0;$
 а) $T_{pr} > 0; T_{min} > 0; T_{max} > 0;$
 а) $T_{pr} > 0; T_{min} > 0; T_{max} > 0;$

грунты 1 – многолетнемерзлые; 2 – сезоннопромерзающие; 3 – талые. Трубопроводы в криолитозоне (I); за ее пределами (II)



Учитывая категории грунтов по дорожно-мерзлотной классификации по величине относительного сжатия δ при оттаивании: I - непросадочные, $\delta=0$; II – малопросадочные, $\delta < 0.1$ - III – просадочные $0.1 < \delta < 0.4$ и IV – сильнопросадочные $\delta > 0.4$ [39, 42] выделяются четыре типа местности криолитозоны для строительства трубопроводов (табл. 7.2) [12].

Таблица 7.2

Классификация местности применительно к трубопроводному строительству

Тип местности	Характеристика местности	Категория грун-тов по значению δ
IV. Простой	Хорошо дренированные участки террас и гряды, сложенные мало-льдыстыми супесями и песками; криолитозона несливающегося типа.	I. $\delta=0$ Непросадочные
III. Нормальный	Болота; кровля мерзлых пород находится на глубине более 8 м; криолитозона несливающегося типа.	I. $\delta=0$ Непросадочные
II. Сложный	Плохо дренированная территория, сложена льдыстыми суглинками и супесями; криолитозона сливающегося типа.	II. $\delta < 0,1$ Малопросадочные
I. Очень сложный	Бугристые и плоские торфяники, солифлюкционные склоны; грунты сильнольдыстые; криолитозона сливающегося типа.	III, IV. $0,1 < \delta < 0,4$ и $\delta > 0,4$ Просадочные и сильнопросадочные

Обобщая опыт трубопроводного строительства в России, предложена типизация его способов в криолитозоне (табл. 7.3.) [45]. Согласно ее анализу следует, что максимально эффективным является подземный способ. Он обеспечивает защиту трубопроводов в таежной местности от пожаров, сводит к минимуму экологические последствия от аварий, не является препятствием для миграции животных. Преимуществом подземной прокладки по сравнению с дру-

Таблица 7.3

Рекомендуемые способы прокладки трубопроводов

Тип участка	Тип местности			
	I	II	III	IV
Горячий	Наземный	Наземный	Подземный	Подземный
Теплый	Наземный	Подземный	Подземный	Подземный

			и наземный	и надземный
Холодный	Подземный	Подземный	Наземный	Наземный

гими способами являются надежность конструкции при внешних ударных воздействиях; стабильность теплового режима, взаимодействующей с трубопроводом; технологичность строительства. К недостаткам можно отнести большой объем земляных работ, сложность наблюдения и ремонта.

Наземный способ обычно применяют в тех же условиях, что и подземный, но на ограниченных участках трассы с резко пересеченным рельефом или сильной заболоченностью. Кроме того, он иногда используется при прокладке горячих участков трубопроводов. Холодные и теплые участки трубопровода на местности 3 и 4 типов, а также холодные участки на местности 2 типа укладывают на дневную поверхность, при этом трубы обваловывают непучинистым грунтом. Гребень и откосы насыпи затем закрепляют дерном или травянистой растительностью.

Для прокладки теплых участков трубопровода на местности 2 типа в конструкции дополнительно используется тепловая изоляция в виде плоского экрана под трубой или дополнительной отсыпки грунта. Горячие участки трубопроводов на местности 2-4 типов прокладывают с применением теплоизоляции и термоохладителей.

Преимущество наземной прокладки по сравнению с подземной заключается в отсутствии экскавации грунта по трассе и анкерных устройств; к недостаткам можно отнести меньшую надежность при внешних ударных воздействиях и большие объемы завозного грунта.

Надземная прокладка применяется при трубопроводном строительстве в пределах местности 1 и 2 типов на низких и высоких опорах. На низких опорах прокладывают теплые и горячие участки трубопровода в пределах местности 2 типа и теплые участки на местности 1 типа; на высоких опорах – горячие участки трубопровода в пределах местности 1 типа.

Опорой считается металлическая или железобетонная конструкция, расположенная между трубой и фундаментом. Опоры могут быть в виде ригелей, рам, эстакад и т.п. Конструкция опоры предусматривает небольшую регулировку трубопровода по высоте.

Опоры подразделяются на неподвижные (мертвые) и подвижные (скользящие, катковые, роликовые и др.), обеспечивающие свободное перемещение трубопровода при температурных деформациях трубы. Опоры располагают на высоте не менее 0,5 м от уровня земли.

В качестве фундаментов под опоры применяют сваи, столбы (заглубленные фундаменты), грунтовые призмы, деревянные ряжи, клетки и железобетонные короба, заполненные каменной наброской или грунтом (поверхностные фундаменты). Поверхностные фундаменты используют в основном для низких опор, заглубленные – для высоких. При проектировании любых фундаментов обязательно предусматривают отвод воды от них.

К преимуществам надземной прокладки по сравнению с наземной и подземной можно отнести то, что полностью исключается тепловое воздействие трубопровода на ММП, не производится разработка мерзлого грунта, облегчаются контроль и эксплуатация. Недостатками являются высокая стоимость и металлоемкость, уязвимость при внешних ударных воздействиях и большие разрушения при авариях.

Автомобильные, железные дороги. Причины нарушения устойчивости и деформации земляного полотна этих объектов много общего, поэтому условия их строительства в криолитозоне будут рассмотрены совместно.

В зависимости от интенсивности движения автомобильные дороги подразделяются на 5 категорий: I – более 14 тыс. автомашин в сутки, II – от 6 до 14 тыс., III – от 2 до 6 тыс., IV – от 0,2 до 2 тыс., V – менее 0,2 тыс. Железные дороги, в зависимости от грузоподъемности перевозок, подразделяются на четыре категории: I – от 30 до 50 млн т · км в год, II – от 15 до 30 млн, III – от 8 до 15 млн, IV – менее 8 млн. Каждой из категории дорог определены технические требования (табл. 7.4)

Таблица 7.4.

Технические требования к автомобильным дорогам

Категория	Число полос	Ширина, м				Поперечные уклоны, %
		полос	проез	ос	наименьшая	

					укрепленный полосы обочины	разделительной полосы	проезжей части	обочины
I	4	3,75	15,0	3,75	0,75	5,0	1,5	4,5
II	2	3,75	7,5	3,75	0,73	-	2,0	5,0
III	2	3,5	7,0	3,5	0,5	-	2,0	5,0
IV	2	3,0	6,0	2,0	0,5	-	2,5	5,5
V	1	4,5	4,5	1,75	-	-	2,5	5,5

Примечания. 1. Для дорог всех категорий основной продольный уклон должен быть не менее 3%, а основной радиус кривых в плане 3000 м.

2. При ограничении скорости движения разрешается увеличить продольный уклон дороги до 10% и уменьшить радиус кривых в плане до 60 м.

3. Ширину обочины на трудных участках можно уменьшить до 1,5 м для дорог I и II категорий, до 1 м для дорог III-V категорий.

Конструкция автомобильной дороги включает одежду и земляное полотно (рис. 7.2, а), железной дороги – рельсо-шпальную решетку, балластную призму и земляное полотно (рис. 7.2, б). Дорожная одежда включает покрытие, основание покрытия и дренирующий слой, земляное полотно - рабочий слой и насыпь (в земляном полотне железной дороги он называется защитным слоем).

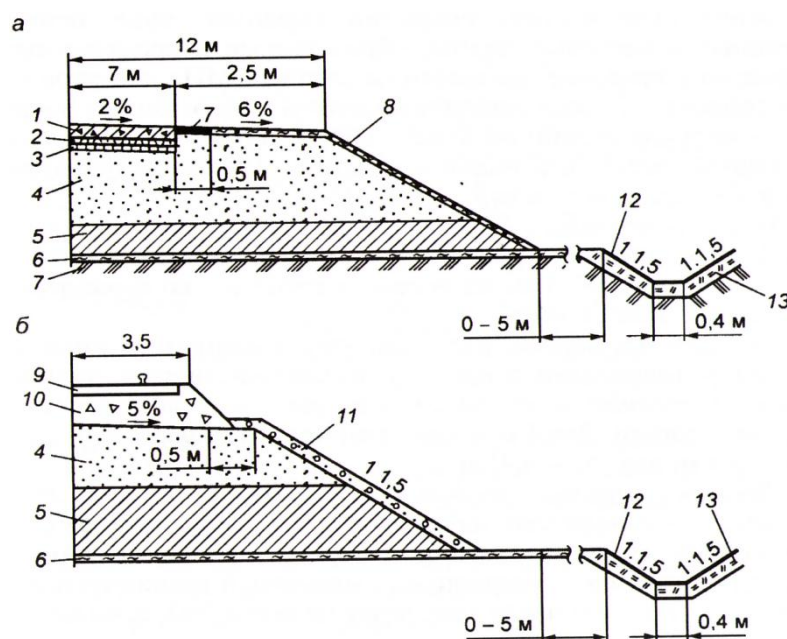


Рис. 7.2. Схема конструкции автомобильной (а) и железной (б) дорог [45]:

1 – жесткое покрытие из железобетонных плит (18 см); 2 - верхняя часть основания из тощего бетона (10 см); 3- нижняя (дренажная) часть основания покрытия из крупного песка (5 см) 4 – рабочий (защитный) слой земляного полотна из дренирующих материалов; 5 – насыпь; 6 - растительный покров; 7 - основание насыпи; 8 – дерн; 9 – рельсошпальная решетка; 10 – балластная призма (50 см); 11 – гравийно-галечниковая отсыпка (20 см); 12 – железобетонная плитная кювета (5 см); 13 – торф (20 см). В см указана толщина конструкций.

Все жесткие покрытия, включая асфальто- и дегтебетонные относятся к капитальным и применяются на дорогах I-IV категорий, некапитальные – на дорогах III-V категорий, щебеночные и гравийные (не обработанные вяжущими) – на дорогах IV-V категорий.

При выборе трассы дорог и обоснования способа обеспечения их устойчивости в криолитозоне, руководствуются классификацией грунтов по просадочности (таб. 7.5) [39, 42].

Таблица 7.5.

Дорожно-мерзлотная классификация многолетнемерзлых грунтов криолитозоны по значению относительной осадки при оттаивании (δ).

Категория и название грунта	δ	Виды и состояние грунтов основания земляного полотна:
I Непросадочные	$\delta \leq 0,03$	скальные грунты, крупнообломочные и песчаные грунты без включений льда, глинистые грунты твердые и полутвердые
II Малопросадочные	$0,03 < \delta \leq 0,1$	Глинистые грунты от туго- до текучепластичных, песчаные и крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при наличии с в них прослоев и линз льда
III Просадочные	$0,1 < \delta \leq 0,4$	глинистые и торфяные грунты текучепластичные и текучие, песчаные и крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при наличии в них прослоев

		и линз льда
IV Сильнопро сачочные	$\delta > 0,4$	Глинистые грунты текучие и торфяные отложения, грунты всех других видов с наличием линз и прослоев льда

В пределах криолитозоны строительство автомобильных и железных дорог с учетом конкретных геокриологических условий возможно по Принципу I и по Принципу II. В первом случае оно возможно, если удастся сохранить верхнюю границу криолитозоны на уровне ее естественного залегания, поднять ее до подошвы насыпи с полным промораживанием слоя сезонного оттаивания или поднять на высоту, меньшую глубины сезонного оттаивания в естественных условиях. Несомненно, что реализация этого метода требует дополнительных затрат. Однако это оправдано, если невозможно выбрать другое направление трассы.

Строительство автомобильных и железных дорог по Принципу II на оттаявших основаниях, предполагает улучшение грунтов оснований. В первую очередь это относится к снижению их сжимаемости, что дает возможность применять более простые конструкции земляного полотна. Не исключается и замена грунтов со слабой несущей способностью на крупноскелентные карьерные грунты. Эффективность применения Принципа II будет оправдана, если льдистые мерзлые грунты криолитозоны характеризуются высокими отрицательными температурами, оттаявшие пород легко дренируются, а рельеф местности способствует организации отвода вод, формирующихся при оттаивании толщи криолитозоны.

Оттаивание грунтов основания может быть многолетним при $T_{st} > T_{bf}$ и сезонным при $T_{st} \leq T_{bf}$ (T_{st} - среднегодовая температура грунта у подошвы земляного полотна, определяется расчетом; T_{bf} - температура промерзания-оттаивания грунтов основания).

Многолетнее оттаивание оснований допускается, если оно сложено грунтами I категории, сезонное оттаивание – грунтами I-III категорий. В основаниях, сложенных грунтами IV категории, и на крутых косогорах с грунтами III категории оттаивание оснований не допускается. Выполнение этих условий достигается осыпкой защитного слоя земляного полотна высотой h_{w0} (h_{w0} - толщина слоя, при котором осадка дорожной одежды или рельсо-шпальной решетки не будет превосходить допустимой величины). В районах

со снежными заносами применяют дополнительно термосифоны, вентилируемые короба, каменные наброски.

Устойчивость насыпей на относительно ровных участках и косогорах крутизной менее 1:5 обеспечивается разрабатываемой конструкцией сооружений с учетом категорий грунта по просадочности (рис. 7.3) [12, 42].

На участках с грунтами III и IV железнодорожные насыпи оборудуются упорными призмами, уменьшающими глубину сезонного оттаивания на периферии откоса, в авто-



мобильных насыпях используются выположенные откосы. На участках сложенных грунтами II и III категорий, чтобы исключить влияние кювет на оттаивание оснований, их необходимо отодвигать от подошвы откоса насыпи на 3 и более метров. В случае распространения грунтов IV категории вместо них строятся валики шириной до 3 и более метров и высотой не менее 0,5 м. В случае, когда насыпь расположена на косогоре, кюветы и валики оборудуются только с нагорной стороны.

При строительстве автомобильных и железных дорог в пределах горноскладчатых и горных областей криолитозоны невозможно обойти склоны крутизной более 1:5. В этом случае, чтобы предотвратить сползание насыпи существуют следующие конструктивные варианты [12, 45]: у низового откоса отсыпают каменную призму (рис. 7.4, а); врезают насыпь в косогор (рис. 7.4, б), косогор террасируют (рис. 7.4, в). Устойчивость

дорожной одежды в выемках обеспечивается в результате ее разделки под насыпь (рис. 7.5, а, б) или на дне выемке осуществляется замена грунта (7.5, в, г).

На участках распространения грунтов IV категории для уменьшения высоты рабочего слоя и снижения объема заменяемого грунта в основании насыпей широко применяют те-

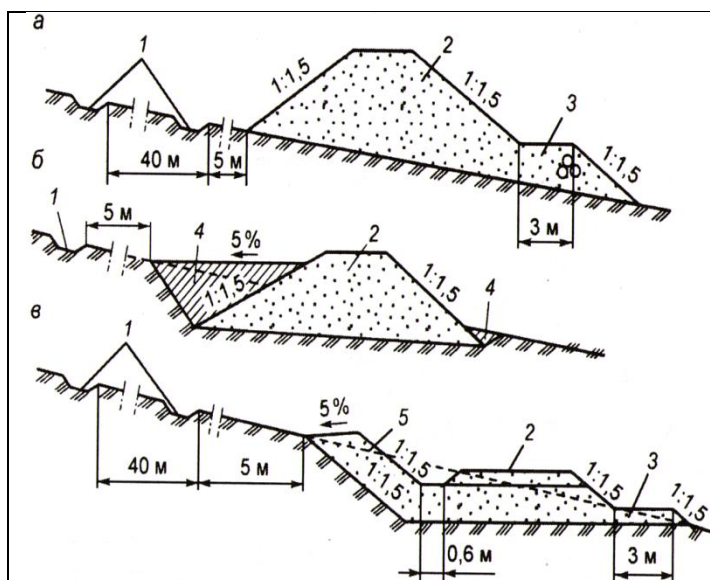


Рис. 7.4.
Поперечные профили насыпей и выемок на крутых косогорах: а - насыпь с низовой упорной призмой; б - насыпь, врезанная в косогор; в - полунасыпь - полувыемка; 1 - кювет; 2 - земляное полотно; 3. каменная упорная призма; 4 - местный грунт; 5. замененный грунт

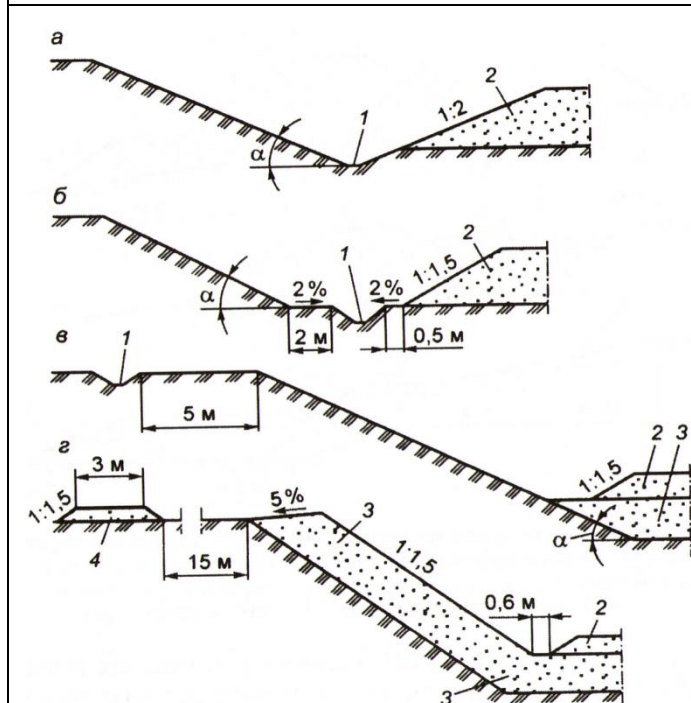


Рис. 7.5.
Поперечные профили выемок: а, б - соответственно автомобильных и железных дорог на грунтах I и II категорий; в, г - грунтах III и IV категорий. 1- кювет; 2 - земляное полотно; 3 - замененный грунт; 4 - водоотводный валик

плоизоляцию из прочных полистирольных и поливинилхлоридных пенопластов, термосифонов и их совместного использования. В

частности такие решения были разработаны и применены на опытных участках при строительстве Амуро-Якутской железнодорожной магистрали в пределах бестяхского «ледового комплекса» на участке «Томмот-Кердем» [14, 29]. В процессе строительства использовалась известная конструкция земляного полотна с применением теплоизоляции из пенопласта в поперечном сечении железной дороги (рис. 7.6) [29, 42].

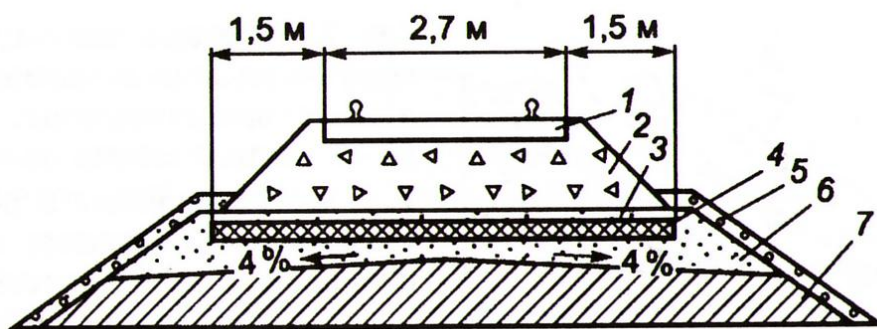


Рис.7.6. Тепловая изоляция основания железной дороги: 1 – рельсоопорная клетка; 2 – балластная призма (50 см); 3 – верхний защитный слой крупнозернистого песка 5 см; 4 – пенопласт (8 см); 5 – гравийно-галечниковая отсыпка (20 см); 6 – нижний защитный слой крупнозернистого песка 10 см; 7 – защитный слой земляного полотна

Зазор между уложенными плитами составлял 1-2 см. Участок дороги с теплоизоляционным покрытием сопряжен с основной магистралью переходным интервалом длиной 20 м. В его пределах, предполагается достичь увеличения глубины сезонного промерзания грунта за счет создания заполняемых песком просветов между плитами теплоизоляции или изменения толщины теплоизоляционного слоя.

Откосы насыпей и выемок в результате накопления снега и повышенной инсоляции в их пределах оказывают отепляющее воздействие на подстилающие грунты и на грунтовые насыпи. Для его уменьшения применяют различные типы охлаждающих устройств. В северных областях криолитозоны чаще всего применяют каменную наброску на откос. Для ее производства используют камни не менее 25-30 см кристаллических, слабо выветриваемых пород. Мощность наброски должна быть не менее 1 м. Охлаждающий эффект достигается за счет циркуляции холодного воздуха в пусто-

тах каменной наброски в зимнее время. Наиболее часто каменная наброска возводится на откос, строятся каменные бермы и «клещевидные обоймы» (рис. 7.7, а, б, в) [12, 42].

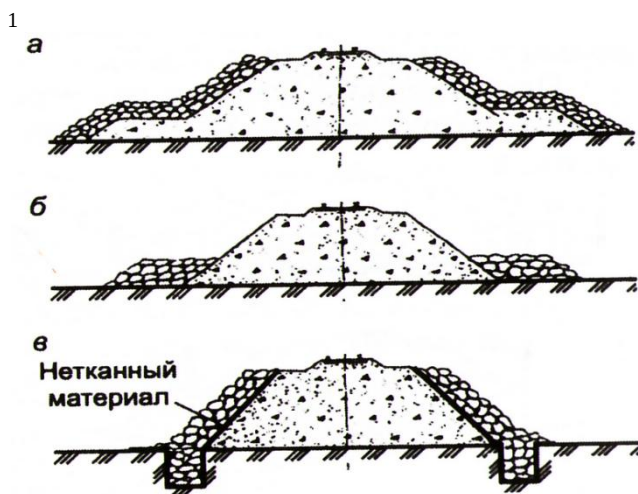


Рис. 7.7. Схемы охлаждающих конструкций из камня: а – каменная наброска на откос; б – каменная берма; в – клещевидная обойма, уложенная на нетканый материал

В качестве охлаждающих устройств для предохранения оснований дорог от оттаивания при снегонакоплении и воздействия других отепляющих факторов применяют наклонные и вертикальные термосифоны. Их устанавливают на глубину до 5 метров и более с шагом 3-5 м (рис. 7.8, а, б) [42].

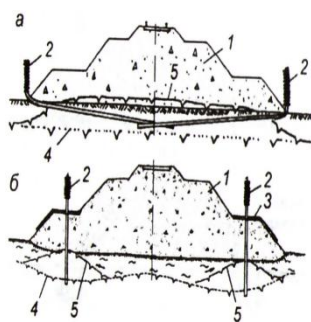


Рис. 7.8. Использование термосифонов для охлаждения основания земляного полотна: а – наклонные и б – вертикальные термосифоны. 1 – земляное полотно; 2 – термосифон; 3 – теплоизоляция; 4 – верхняя граница криолитозоны до и 5 – после устройства земляного полотна

Вентиляционные короба применяются для нейтрализации влияния снежного покрова на температуру откосов в зимнее время и защиты от инсоляции в летний период. Короба изготавливают из легких пластмасс и дерева. Высота короба должна превышать двойную мощность снежного покрова, а ширина – тройную. Короба устанавливают с интервалом, равным их двойной высоте (рис. 7.9, а, б) [42].

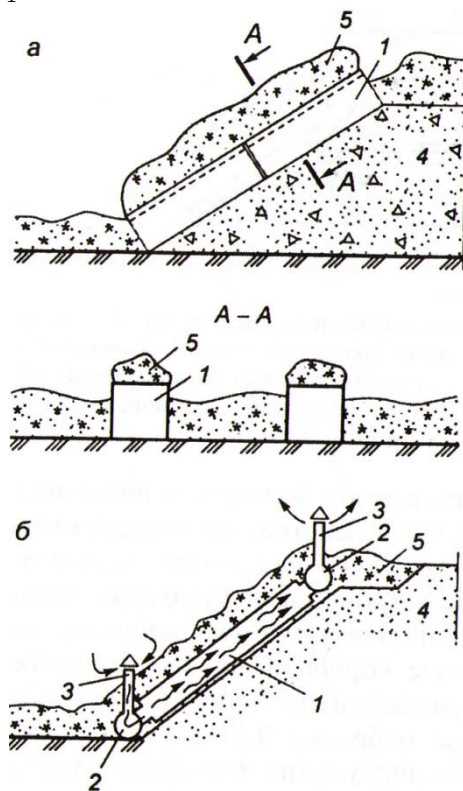


Рис. 7.9. Устройство вентиляционных коробов на откосе земляного полотна: а – без вентиляционных коллекторов; б – с вентиляционными коллекторами. 1 – вентиляционный короб; 2 – вентиляционный коллектор; 3 – вентиляционная шахта; 4 – земляное полотно; 5 – снежный покров

Верхние и нижние части коробов целесообразно объединять коллекторами с последующим устройством вентиляционных стояков с заборными отверстиями выше верхней границы снежного покрова на 0,5 м и более. В летнее время заборные отверстия стояков необходимо закрывать.

В качестве охлаждающих устройств для предохранения разрушения откосов в последнее время используются различные сочетания мероприятий, основным звеном в которых являются солнцезащитные консольные деревянные навесы [27].

Пропуск поверхностных вод через полотно дороги на Севере осуществляют через каждые 300-500 м по длине трассы при помощи водопропускных труб, мостов малых отверстий и фильтрующих насыпей (рис. 7. 10, а, б, в) [45].

На переходах через постоянные водотоки устраивают мосты малых отверстий, они же сооружаются и на переходах через периодические водотоки в пределах участков с грунтами 3 и 4 категорий. Устоями мостов являются сквозные рамно-стоечные или столбчатые опоры, в которых во избежание многолетнего оттаивания ММП основания полость между рандбалкой и дневной поверхностью грунта вентилируется наружным воздухом. При наличии подземных льдов подошву фундаментов устоя располагают выше их кровли или ниже их подошвы не менее чем на 4 м. Кроме того, в опору вставляют жидкостные или парожидкостные сезоннодействующие установки. Насыпь на

подходе к устою укрепляют каменной наброской толщиной 50 см со средней крупностью камня 30-40 см без мелкого заполнителя. Каменная наброска, как показывает опыт, оказывает большое охлаждающее влияние на грунты основания, поэтому ее используют также для укрепления откосов насыпей и выемок трассы на тех участках, где подземные льды залегают на глубинах меньших удвоенной глубины сезонного оттаивания.

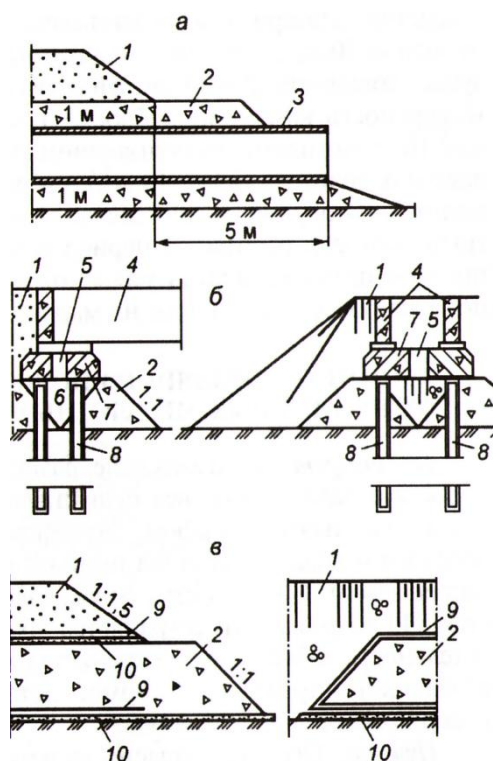


Рис. 7.10. схемы водопропускных сооружений через земляное полотно:

а – водопропускная труба; б – мост малых отверстий; в – фильтрующая насыпь. 1 – земляное полотно; 2 – каменная призма; 3 – водопропускная труба; 4 – прогон; 5 – вентиляционное отверстие; 6 – воздушная полость; 7 – опора моста; 8 – термосифон; 9 – геотекстиль; 10 – песчаная подготовка

Водопропускные трубы обычно устраивают в пределах участков с грунтами 1 и 2 категорий. Хорошо зарекомендовали

себя металлические гофрированные трубы диаметром 2-3 м, укладываемые на основание насыпи в каменной призме толщиной не менее 1 м над и под трубой. Призма выступает за пределы насыпи на расстояние не менее 5 м. Для устройства призмы применяют камень среднего размера не менее 30 см без мелкого заполнителя.

Фильтрующую насыпь – устраивают в тех же случаях, что и мосты малых отверстий. Материалом насыпи служит рваный камень диаметром не менее 30 см, который укладывают на галечно-гравийную подушку толщиной 20-30 см, отсыпаемую на растительный покров. Поверхность каменной наброски покрывают нетканым материалом (геотекстиль), выполняющим роль обратного фильтра. При расходах водотока более 10 м³/с сверху фильтрующей

насыпи дополнительно укладывают металлическую или железобетонную трубу, которая работает в период паводка. Фильтрующие насыпи предпочтительнее мостов малых отверстий при высоте земляного полотна более 5 м, а также на марях.

В зимнее время водотоки, промерзая, могут образовывать наледи, которые представляют большую опасность для автомобильных и железных дорог. Борьба с наледями ведется путем предотвращения или регулирования их образования, а также организацией противоналедной защиты дорожного полотна.

Защита земляного полотна от воздействия криогенных процессов. В криолитозоне деформации земляного полотна обусловлены сезонным промерзанием и оттаиванием и изменением положения ее верхней границы. Сезонное промерзание и оттаивание приводит к формированию пучения и осадки земляного полотна, образованию наледей, снижают устойчивость откосов вследствие зимнего перераспределения в них влаги и резкого изменения устойчивости в период летнего оттаивания. Понижения верхней границы криолитозоны является причиной осадки основания, снижение устойчивости земляного полотна. Кроме того, заболачивание по его периферии является причиной развития пучения.

Пучение и наледи являются наиболее распространенными криогенными процессами, проявляющимися в ходе сезонного промерзания и оттаивания и отрицательно влияющими на эксплуатацию линейных сооружений. Пучение разрушает твердые покрытия автомобильных дорог и аэродромов, верхнее строение земляного полотна железных дорог. Протяженность участков железных дорог пораженных пучением составляет до одной трети общей протяженности деформируемых участков в криолитозоне. На выправку железнодорожного пути на участках развития пучения затрачиваются до 25-40 млн. руб. ежегодно [Орлов и др.]. Наледи, заливая железнодорожное полотно и искусственные сооружения, затрудняют или и вовсе прекращают движение транспортных средств. Несмотря на существование более 100 способов борьбы с наледями они продолжают представлять собой одну из проблем, осложняющих проектирование линейных сооружений [Шестернев, Ш,В].

Для предотвращения образования наледей устраивают каптаж источников и дренаж грунтовых вод. Например, для перехвата

верховодки могут служить обычные дренажные канавы, которые зимой закрывают щитами, поверх которых укладывают мох или снег. Будучи защищенной от сезонного промерзания теплоизоляцией канава большую часть зимы отводит воду, поступающую в нее под действием морозного напора. Регулирование образования наледей осуществляется при помощи мерзлых грунтовых перемычек, располагаемых в водоносном горизонте с верховой стороны дороги. Зимой под действием морозного напора вода прорывается на дневную поверхность выше перемычки и, замерзая, образует наледь в стороне от полотна дороги. Для создания перемычки (мерзлотного пояса) в полосе шириной 10-20 м удаляют растительный покров, затем оголенную поверхность грунта зимой периодически очищают от снега, а летом прикрывают слоем мха или торфа. В бесснежных районах перемычка имеет вид траншеи глубиной 1 м и шириной 3-5 м. В некоторых случаях сооружают несколько параллельных перемычек с расстоянием между ними 50-100 м.

Противоналедная защита представляет собой систему снежных валов или временных заборов из шпал и досок, отделяющих полотно дороги от наледного поля и наращиваемых по мере роста наледи.

7. 2. Гидротехнические сооружения в криолитозоне

Гидротехнические сооружения в криолитозоне возводятся для производства электроэнергии, создания прудов-охладителей тепловых электростанций, хвостохранилищ горно-обогатительных фабрик, затопления дражных полигонов при разработки россыпных месторождений. Наиболее ответственным элементом конструкции гидроузлов является плотины. Кроме них в состав гидротехнических комплексов входят водосборные сооружения, водозаборы, водоводы, сооружения по борьбе со льдом.

Общее требование при строительстве гидротехнических сооружений максимальное использование местных строительных материалов. Их наличие, в значительной мере определяет конструкцию тела плотины, противофильтрационных устройств и других элементов.

Надежным и достаточно дешевым источником электроэнергии на Севере являются гидроэлектростанции. В связи с этим здесь уже

созданы и продолжают проектироваться каскады электростанций на реках Виллой, Колыма, Буря и других реках. Опыт строительства каскада Виллюйских ГЭС, Колымской ГЭС показал, что наиболее целесообразным является компоновка гидроузлов с плотинами, обеспечивающими создание водохранилищ большой емкости в виду неустойчивости речного стока. Не следует забывать и наличие криолитозоны различной мощности, строения и температуры. В комплексе это определяет наличие достаточно большого количества проблем, решаемых при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений в Сибири.

Работу тепловых электростанций в межень могут обеспечить только многоводные реки, которых в Сибири не так уж много, поэтому здесь широко используется система оборотного водоснабжения с созданием прудов охладителей. Температура воды в них достаточно высокая, вследствие этого сохранение температурного режима оснований плотин в криолитозоне становится весьма трудной задачей.

При строительстве плотин хвостохранилищ вне пределов криолитозоны отсыпаемая или намывная дамба (плотина) является упорной и дренажной призмой намывной плотины второй очереди их хвостов. В условия Крайнего Севера реализация этой технологии невозможна, поскольку в зимний период откос и гребень пионерной дамбы промерзает до глубины 4-5 и более метров. В этом случае работа пионерной дамбы как дренажной призмы привела бы к образованию в ней водоупора из льда и мерзлых пород с передачей на него всего гидростатического напора. В связи с этим на Крайнем Севере пионерная дамба отсыпается из водоупорных пород. Дренажные устройства заглубляются в ее тело, а в низовом откосе – в утепленные галереи.

Плотины дренажных полигонов для затопления участков разработки россыпных месторождений полезных ископаемых представляет собой каскад земляных сооружений с деревянными или сифонными водосбросами.

Проблема водоснабжения на Крайнем Севере принято решать созданием крупных водохранилищ, для аккумуляции вод весенних паводков для последующего расхода в весенне-зимний период. Плотины строятся как с сохранением криолитозоны в основании, так и без ее сохранения [Кузьмин].

Таим образом, при создании для создания гидротехнических сооружений на Крайнем Севере используют плотины и дамбы.

Земляные плотины по материалу, подразделяются на земляные, каменно-земляные и каменно-набросные, по способу возведения – на насыпные и намывные, а по способу обеспечения водонепроницаемости тела плотины на мерзлые и талые [12, 45].

Мерзлые плотины могут быть только земляными и каменно-земляными. Водонепроницаемость мерзлых плотин обеспечивают путем естественного промораживания нижней части призмы плотины или естественного и искусственного промораживания ядра плотины и поддержания его в мерзлом состоянии специальными охлаждающими устройствами. Плотины первого вида обычно сооружают в долинах рек, второго – в руслах.

Мерзлые плотины стоят на скальных многолетнемерзлых основаниях, грунты отличаются большой сжимаемостью при оттаивании (более 0,15), а также на скальных талых основаниях подстилаемых ММП. Если мерзлая плотина возводится в русле реки, то скорость подруслового потока не должна превышать 2,5 м/сут. Это требование обусловлено техническими возможностями промораживания подруслового потока [12].

Талые плотины могут быть земляными, каменно-земляными, каменно-набросными. Водонепроницаемость талых плотин обеспечивают созданием противофильтрационного экрана или ядра. Такие плотины сооружают на скальных и скальных основаниях, находящихся как в талом, так и в мерзлом состояниях. В последнем случае сжимаемость пород основания при оттаивании не должна превышать 0,15.

В пределах одного створа можно устраивать мерзлые и талые плотины, сопрягая их при помощи поперечных замораживающих завес. Часто в русле реки создают талую плотину, а на пойме и в бортах долины мерзлую [12].

Кроме того, земляные плотины подразделяются на плотины из однородного и неоднородного грунта. В первом случае, сооружение состоит из плотины, построенной из однородного грунта, крепления откоса. Талые плотины включают противофильтрационный экран или диафрагму из негрунтовых материалов и дренаж, для мерзлых плотин – замораживающие установки (рис. 7. 11),

Во втором случае сооружение состоит из тела плотины из неоднородного материала, крепления откоса, а также для талых плотин – дренажа, для мерзлых – замораживающих установок и термоизоляции гребня (рис. 7. 12). Тело плотины подразделяется на верховую и низовую упорные призмы, переходный слой и противофильтрационное ядро. Для создания экрана и ядра используют глинистые материалы. При наличии экрана вместо верховой упорной призмы устраивают защитный слой, предохраняющий экран от механических повреждений [12, 42].

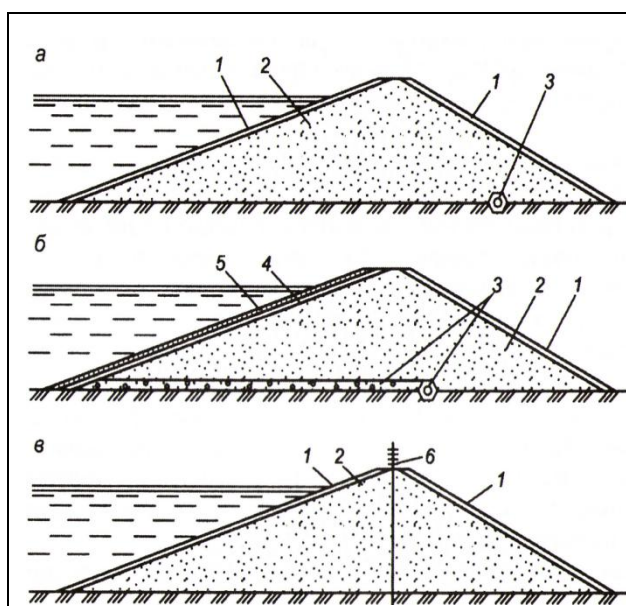


Рис. 7.11. Конструкция плотин из однородного грунта: талой без (а) и с противофильтрационным (б) экраном; в – мерзлой. 1 – крепление откоса; 2 – тело плотины; 3 – дренаж; 4 – обратный фильтр; 5 – противофильтрационный экран из грунтовых материалов; 6 – замораживающая установка

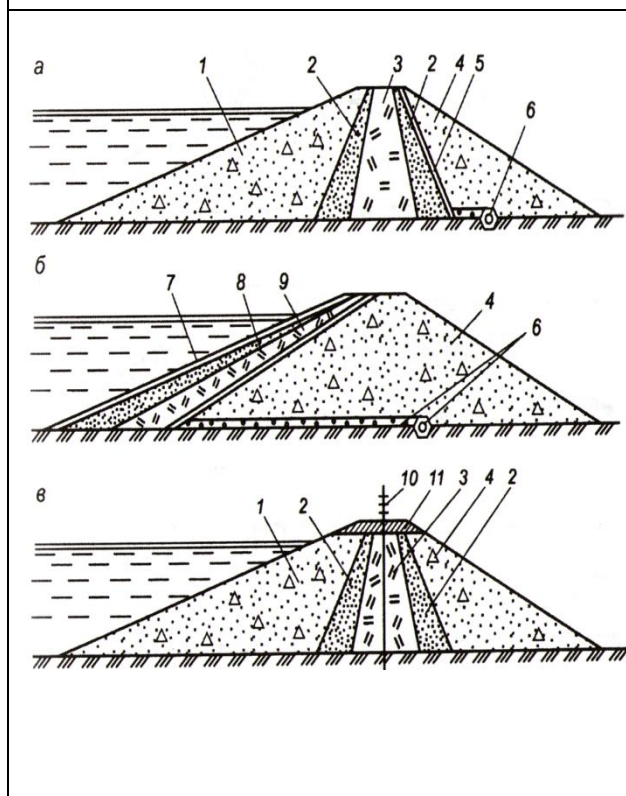
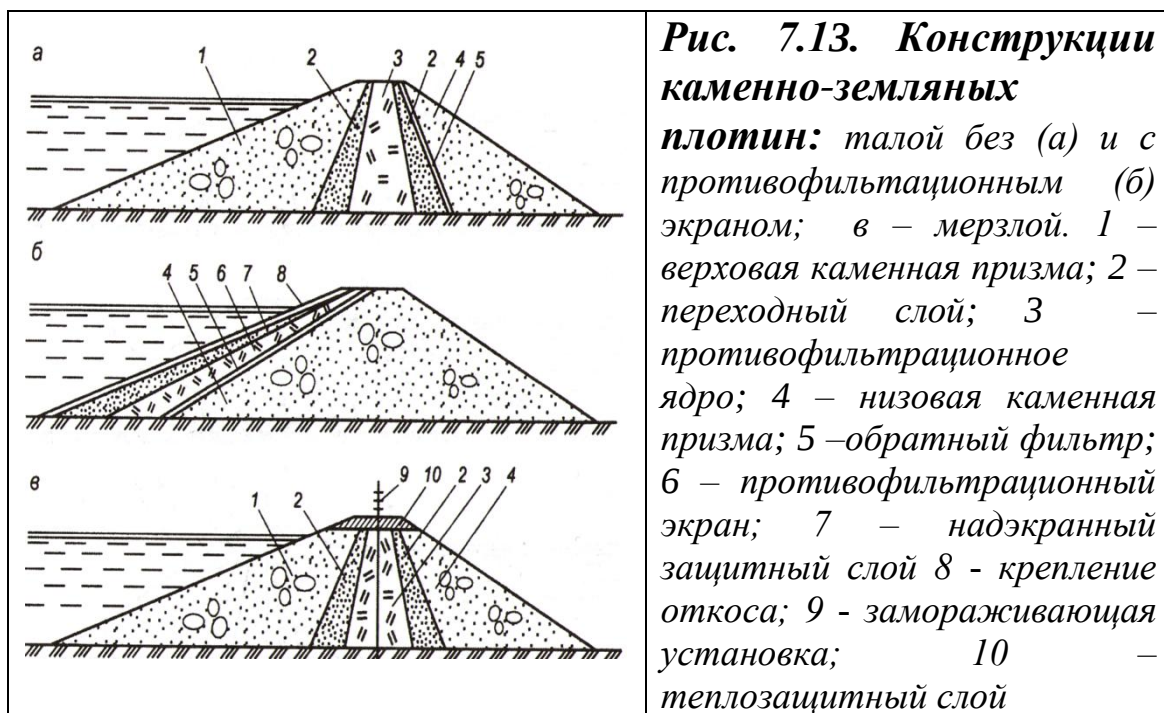


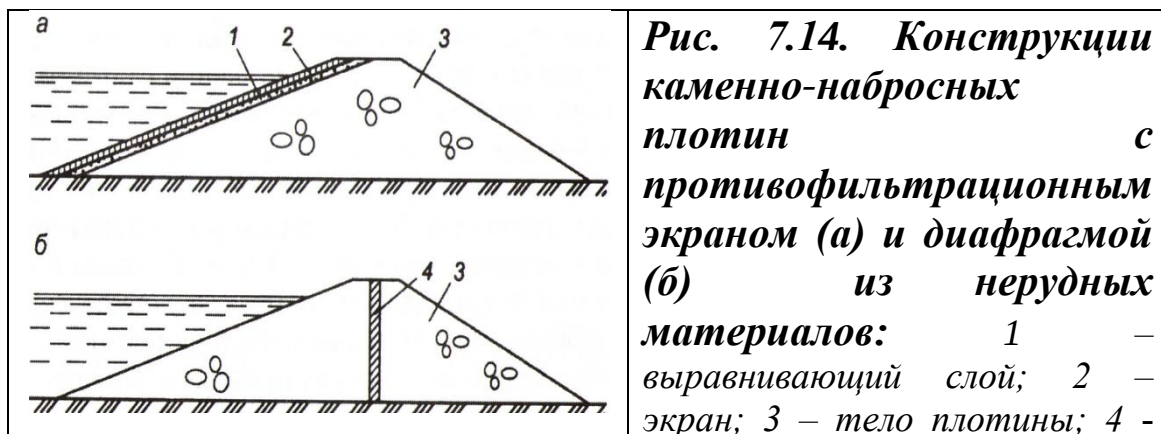
Рис. 7.12. Конструкция плотин из неоднородного грунта: талой без (а) и с противофильтрационным (б) экраном; в – мерзлой. 1 – верховая призма из крупнообломочных грунтов; 2 – переходный слой; 3 – противофильтрационное ядро; 4 – низовая призма из крупнообломочных грунтов; 5 – фильтр обратный; 6 – дренаж; 7 – крепление откоса; 8 – надэкранный защитный слой; 9 – противофильтрационный экран; 10 – замораживающая установка

	экран; 10	—
	замораживающая установка; 11	—
	теплозащитный слой	

Каменно-земляные плотины отличаются от неоднородных земляных только тем, что у них верховая и низовая упорные призмы сделаны из камня (рис. 7.13) [12, 42].



Каменно-набросные плотины состоят из каменного банкета и противοфильтационной диафрагмы или экрана из негрунтовых материалов (рис. 7.14). При наличии экрана под ним укладывают выравнивающий слой песка. Каменно-набросные плотины имеют только талый вариант [12, 42].



Плотина возводится из всех видов грунта за исключением песков, содержащих более 0,1% (от массы скелета) водорастворимых солей, супесей и суглинков – более 0,2% и глин более 0,25% а также грунтов, в которых органические примеси превышают 5% (от массы грунта).

Не рекомендуется верховую упорную призму возводить из глин, пылеватых супесей и песков. Плотность пород, укладываемых в тело плотины, принимается из условия, чтобы за период эксплуатации осадка гребня плотины не превысила 2,5% его высоты. Размеры тела плотины должны обеспечивать невозможность переливания воды через ее гребень, устойчивость откосов и условия нормальной эксплуатации.

Для обеспечения устойчивости откосов высоких плотин на них через каждые 10 м по высоте устраивают бермы шириной не менее 3 м. Берма на верховом откосе часто используется одновременно для упора крепления, на низовом для проезда транспорта.

Все откосы, за исключением пляжных, подлежат укреплению. Крепление бывает основным и облегченным: основное устраивается на верхнем откосе, начиная от гребня и заканчивая уровнем сработки водохранилища плюс две высоты волн, рассчитанные с 1%-ной обеспеченностью; облегченное – на низовом откосе, начиная от гребня и заканчивая подошвой откоса или гребнем дренажной призмы, а также на верховом откосе ниже основного крепления. Основное крепление осуществляется каменной наброской, монолитным и сборным железобетоном, асфальтобетоном; облегченное – гравийно-галечной отсыпкой толщиной 0,2 м, дерном или травянистой растительностью. Толщина каменной наброски принимается равной трем условным диаметрам камня, крупность которого принимается по расчету на волновое воздействие. Покрытие из монолитного или сборного железобетона толщиной 0,2-0,4 м укладывают на слой обратного фильтра или геотекстиль.

7.3. Горнотехнические сооружения криолитозоны

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых в криолитозоне обычно ведется открытым и подземным способом. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Открытыми горными работами называют комплекс работ, при котором производственные процессы по извлечению полезных ископаемых из земных недр, осуществляются на поверхности Земли. В результате этого в верхней части литосферы образуются открытые горные выработки, имеющие незамкнутый контур поперечного сечения, **называемые карьерами**. В угольной промышленности карьеры называют **разрезами**, на россыпных месторождениях – **приисками**.

Месторождение разрабатываемое одним карьером, называют **карьерным полем**. При производстве открытых горных работ поверхность карьерного поля нарушается, в результате в литосфере образуется **поверхность выработанного пространства**. Его глубина в современных условиях может достигать несколько сотен метров.

В процессе разработки месторождений открытым способом горные породы в контуре карьерного поля разделяют на горизонтальные слои. Каждый верхний слой отрабатывается с опережением по отношению к нижнему, в результате карьер приобретает уступную форму (рис.7.15).

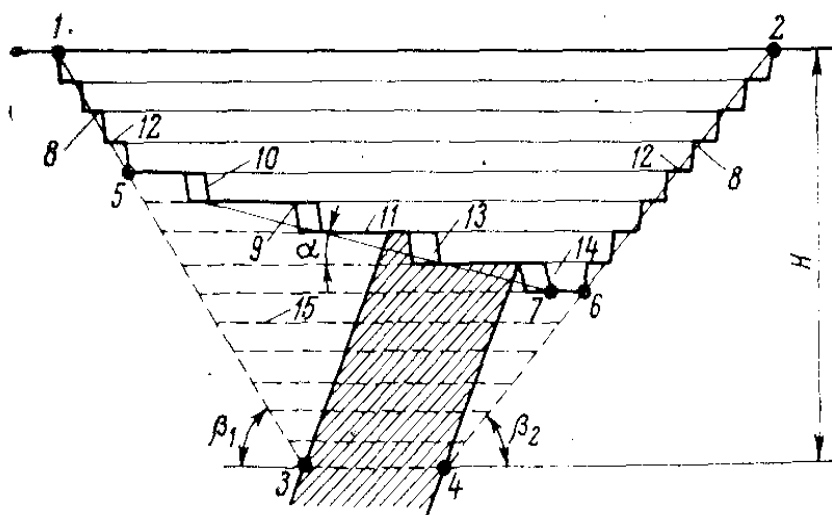


Рис. 7.15 Параметры и элементы карьера:

1-2 и 3-4 – верхний и нижний конечные контуры карьера; 1-3 и 2-4 – конечные контуры бортов карьера; 1-5 и 2-6 – нерабочие борта карьера; 5-

7- рабочий борт карьера; 6-7 – подошва карьера; 8 – нерабочие уступы; 9 – рабочие уступы; 10 – откосы уступов; 11 – ра-

155

бочие площадки; 12 – бермы; 13 – заходки; 14 – траншея; 15 – горизонты карьера; H – конечная глубина карьера, α – угол откоса нерабочего борта карьера; $\beta 1$ и $\beta 2$ – углы откосов нерабочих бортов карьера.

Шахта является самостоятельным предприятием, разрабатывающим месторождение или отдельный его участок.

Рудник представляет собой совокупность шахт с обслуживающей его инфраструктурой. Они объединены одним административно-хозяйственным и техническим руководством.

Рудничное (шахтное) поле является территорией всего месторождения или его частью. Оно разрабатывается шахтой или рудником. В зависимости от протяженности, условий залегания и конфигурации месторождения в состав рудничного поля может входить одна или несколько залежей.

Проведение горных работ обеспечивающих доступ к полезному ископаемому называют вскрытием. Главными вскрышными выработками являются стволы и штольни, используемые для грузотранспортной связи подземных работ с поверхностью (рис. 7.16).

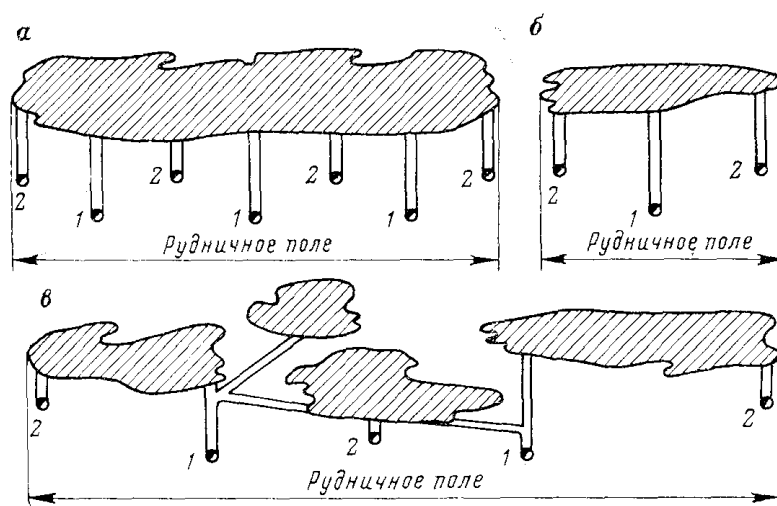


Рис. 7.16. Рудничные и шахтные поля:

а, б – месторождение их одного рудного тела, в – месторождение из нескольких рудных тел; 1- основной ствол; 2 – вспомогательный ствол.

Система разработки месторождения подземным способом включает совокупность подготовительных и очистных работ в определенном порядке проведения в пространстве и во времени. Подготовительные работы осуществляются проходкой подготовительных выработок во вскрываемой части шахтного поля и разделением его на отдельные выемочные участки – блоки, этажи, панели, столбы. Комплекс операций используемых при выемке полезного ископаемого называют очистной выемкой. Она включает отбойку руды, доставку ее до откаточного горизонта и поддержку выработанного пространства.

В зависимости от расположения подземных выработок в пространстве они делятся на вертикальные, горизонтальные и наклонные. Проектирование и строительство объектов горнодобывающей промышленности зависит от многих факторов, основным из которых является условия залегания месторождений – мощности и глубины залегания залежи, угла падения, мощность перекрывающих пород и их физико-механических свойств (Рис. 7.17).

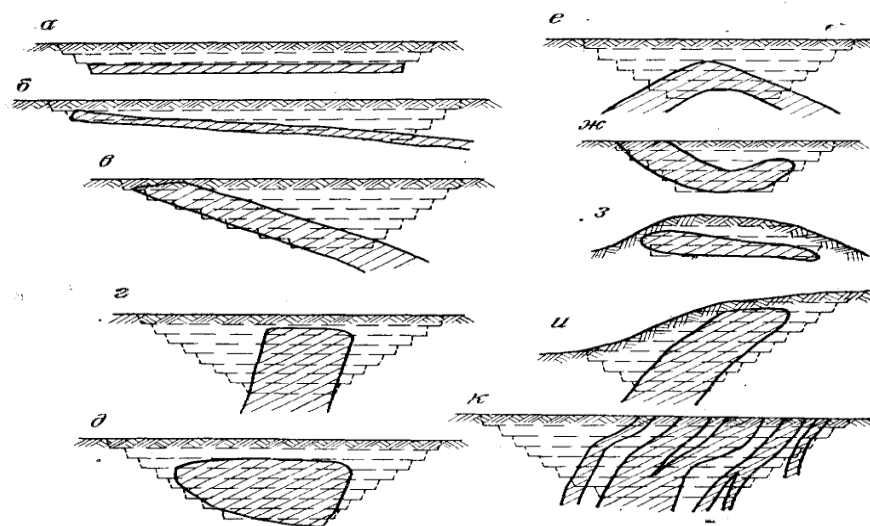


Рис. 7.17. Основные типы месторождений по условиям их залегания:

а – горизонтальные, б – пологие, в, г – наклонные, д – штокообразные, е – антиклинальные, ж – синклинали, з – залежи на возвышенности, и – залежи высотно-глубинного типа, к – залежи сложного типа.

Для строительства и разработки месторождений полезных ископаемых в криолитозоне необходимо знать и учитывать границы распространения и мощности криолитозоны с одной стороны, условий и формы залегания полезных ископаемых, с другой. В целом именно эти факторы в значительной мере определяют особенности и трудности разработки месторождений полезных ископаемых. С учетом этого выделяется 6 основных классов месторождений: 2) залежи полезных ископаемых частично расположены внутри криолитозоны, частично ниже ее подошвы, т.е. частично находятся в немерзлом состоянии; 3) в залежах полезных ископаемых криолитозоны существуют сквозные и несквозные талики; 4) залежи полезных ископаемых расположены в прерывистой по разрезу криолитозоне; 5) залежи полезных ископаемых расположены в пределах островной криолитозоны; 6) залежи полезных ископаемых находятся в немерзлом состоянии, но полностью перекрыты сверху криолитозонной.

Месторождения I класса распространены преимущественно в Якутии и Магаданской области. К ним относятся алмазоносные трубки в районе г. Мирный, россыпные месторождения драгоценных металлов, Удоканское месторождение меди и другие. Характерной особенностью этих месторождений являются сплошное развитие криолитозоны по площади и разрезу, мощность криолитозоны превышающая 300...500 м, температуры пород в области годовых их колебаний ниже -5°C , полная консервация подземных вод. При разработке месторождений I класса на рабочих горизонтах практически полностью отсутствуют подземные воды. Низкие температуры в песчаных и глинистых породах, обеспечивают длительное существование льдоцементных связей, обеспечивающих необходимую устойчивость бортов карьеров при открытой разработке месторождений.

Месторождения II класса обычно расположены в районах, где мощность криолитозоны снижается до 200...300 м, а температура пород колеблется преимущественно в пределах $-3...-5^{\circ}\text{C}$. Подмерзлотные воды этих месторождений, как правило, напорные, а породы в районе подошвы криолитозоны - зоны эндокриогенеза, раздроблены и водонасыщены [46]. Наиболее характерными месторождениями этого класса являются оловорудное месторождение Эге-Хая Якутии, полиметаллические месторождения Норильска, Аркагагинское и Сангарское угольные

месторождения Якутии. В связи с тем, что значительная часть этих месторождений (часто более половины) находится в криолитозоне, их разработка может проводиться отдельно – в условиях криолитозоны и за ее пределами.

К третьему классу по трудности разработки нами отнесены месторождения полезных ископаемых криолитозоны, в которых существуют сквозные и несквозные талики. В целом данный класс месторождений имеет азональный характер распространения, поскольку причины возникновения таликов могут быть самые разнообразные. В частности, гидрогенные талики характерны для всех классификационных типов криогенных толщ Северной климатической зоны. Трудности, которые обусловлены их присутствием, заключены в развитии криогенных процессов и явлений, оказывающих отрицательное воздействие на эксплуатацию транспортных коммуникаций, карьеров, промышленных зданий и сооружений. В первую очередь это относится к таким процессам и явлениям как наледи, деформации осадок и пучения, криогенное выветривание и другие.

Четвертый класс месторождений характерен для регионов, где развиты, реликтовые криогенные толщи. Эти районы, как правило, приурочены к Южной периферии распространения криолитозоны. Мощность криолитозоны в районах распространения реликтовых толщ криолитозоны может изменяться от 40...50 м до 200 и более метров. Трудности разработки таких месторождений связаны с большим разнообразием свойств горных пород участвующих в строении современных и реликтовых криогенных толщ, а также пород с положительными температурами их разделяющих.

Месторождения 5-го класса, расположены в островной криолитозоне с температурами пород 0...-3°C, мощностью до 30...150 м и площадью распространения менее 50%. В этом случае затруднена открытая и подземная разработка месторождений, поскольку карьер или шахта одновременно могут находиться в пределах распространения мерзлых и талых пород. Эти условия характерны для угольных месторождений Чульманского бассейна Южной Якутии, Забайкалья и других регионов.

Месторождения 6 класса наиболее широко развиты в криолитозоне южного типа, где ее развитие связано преимущественно с четвертичными отложениями, перекрытыми с

поверхности мощными мохово-торфяными горизонтами. В зависимости от микроклиматических условий и особенностей состава, строения и свойств горных пород мощность криолитозоны достигает 15...50 м, при температурах пород редко достигающих - 2°C. Такие месторождения характерны для Печерского угольного бассейна, для золотоносных месторождений Витимо-Патомского нагорья и Забайкалья.

Опыт разработки месторождений, расположенных в пределах криолитозоны показал, что ее наличие может оказывать на горные выработки положительное и отрицательное воздействие. Поэтому, эффективность разработки месторождений полезных ископаемых в криолитозоне зависит не столько от конструктивного усиления сооружений, сколько от умения прогнозировать и управлять факторами, влияющими на структуру и изменение состояния криолитозоны.

Вопросы для самоконтроля

Чем отличаются мерзлые плотины от талых?

Какие гидроэлектростанции построены в пределах криолитозоны?

Какие проблемы строительства земляного полотна в криолитозоне вы знаете?

Как взаимодействует земляное полотно и ее основание, находящееся многолетнемерзлом состоянии?

В чем заключаются особенности проектирования земляного полотна в криолитозоне?

Чем отличаются типовые поперечные профили земляного полотна на косогорах и в выемках?

Какие магистральные трубопроводы построены в криолитозоне в России и за рубежом?

Какие типы месторождений полезных ископаемых в зависимости от соотношения границ криолитозоны и границ расположения полезных ископаемых вы знаете?

Какие геокриологические факторы влияют на эффективность разработки месторождений полезных ископаемых?

Рекомендуемая литература

Железные дороги в таежно-болотистой местности / Под ред. Г.С. Переселенкова. – М.: Транспорт, 1982. – 288 с.

Инженерная геокриология: Справочное пособие / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1991. – 439 с.

Кузьмин А.В. Условия строительства в районах распространения многолетнемерзлых пород: учебное пособие / А.В.Кузьмин. – Л.: изд-во Лен. горн. ин-та им. Г.В. Плеханова, 1982. – 96 с.

Позин В.А. Проектные решения по земляному полотну на участках «Ледового комплекса» / В.А. Позин, И.П.Лукин, Н.П.Дедова // Обеспечение надежности строящихся сооружений железнодорожной линии Томмот-Кердем на участке «ледового комплекса». Мат. семинара-совещания 11-12 сентября 2007 г. В г. Якутске. – М.: Изд-во «Проекттрансстрой», 2007. – С. 39-59.

Хрусталеv Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне / Л.Н. Хрусталеv. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2005. – 542 с.