

ОСОБЕННОСТИ ИЗЫСКАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ (ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ) ГРУНТАХ

Вечномерзлыми или многолетнемерзлыми называют грунты, содержащие замерзшую воду и имеющие температуру ниже нуля в течение длительного периода времени. На нашей планете вечномерзлые (ВМ), многолетнемерзлые (ММ) и мерзлые (М) породы (грунты) являются закономерными естественно - историческими образованиями, которые характеризуются определенными законами возникновения, существования, развития и распространения. Площадь, занимаемая вечномерзлыми и многолетнемерзлыми грунтами, составляет 11,454 млн. км², в Российской Федерации превышает 65 % ее территории, в том числе занимает 85 % территории Сибири, 95 % республики Саха (Якутии) и т.д

Дорожное строительство в районах распространения вечной мерзлоты имеет целый ряд особенностей, связанных со сложностью природных условий и с трудностями социально-экономического характера России, особенно ее удаленных регионов:

прежде всего, это наличие огромных территорий, занятых озерами, болотами, марями и многолетнемерзлыми грунтами (ММГ);

практически повсеместное отсутствие качественных дорожно-строительных материалов: песчано-гравийных, щебеночных и других каменных материалов, необходимых для строительства дорог; широкое распространение глинистых пылеватых грунтов, неблагоприятных для дорожного строительства;

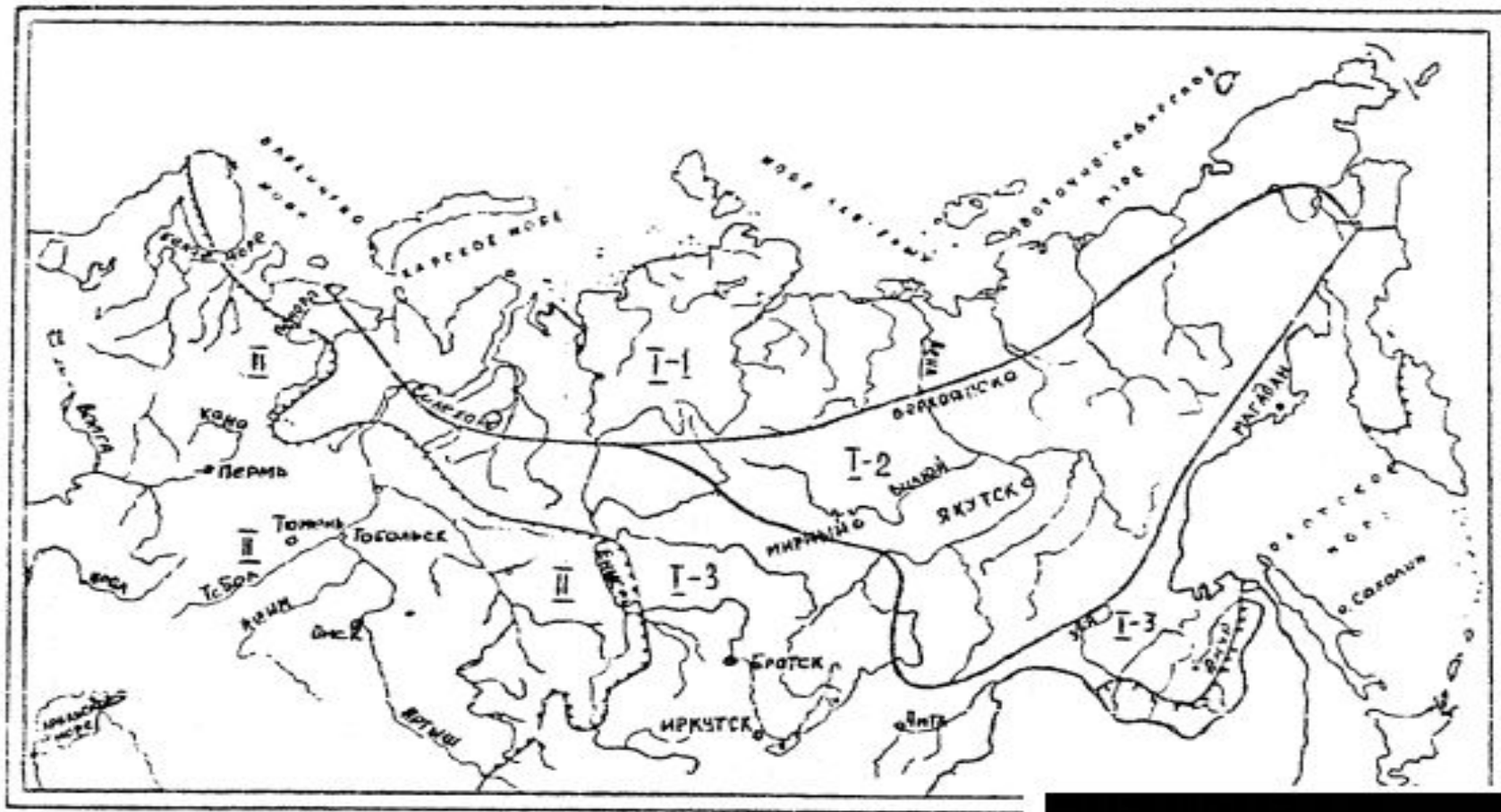
очень короткий теплый период года (менее 2,5-4,5 месяцев) для ведения работ по строительству дорог; суровые длинные зимы (до 7-9 месяцев) с очень низкими отрицательными температурами воздуха, достигающими до минус 60°-70° С и ниже, не позволяющие практически вести дорожно-строительные работы;

наличие в северных и центральных районах с ММГ жильных и погребенных льдов, вытаивание которых приводит к значительным термокарстовым просадкам и катастрофическим провалам как местности, так и полотна дорог и других насыпных дамб, площадок и т.д.;

распространение мерзлотно-геоморфологических образований: бугры пучения, морозобойные трещины, формы рельефа, поверхностные надпочвенные образования в результате нивации и солифлюкции, а также наледи и термокарстовые явления;

дорожное строительство в районах Крайнего Севера нельзя вести методами и той же техникой, как в более южных зонах, особенно, если учесть уязвимость экологии Севера. В зоне вечной мерзлоты поверхностный слой грунтов протаивает летом на некоторую глубину, а остальную часть года находится в мерзлом состоянии. Этот слой называется - деятельным слоем. Изучение природных факторов зоны вечной мерзлоты показало, что на ее территории отчетливо выражено зональное изменение природных факторов, что вызвало необходимость деления

1



Схематическая карта дорожно-климатического районирования зоны вечной мерзлоты (по В.А. Давыдову)

В основу дорожно-климатического районирования положены факторы, оказывающие решающее влияние на устойчивость дорожных конструкций в данной зоне:
вид грунта сезоннооттаивающего (деятельного) слоя и его влажность;
характер распространения многолетнемерзлых грунтов и их температура;
мощность слоя сезонного оттаивания;
среднегодовые температуры воздуха;
рельеф местности;
гидрология.

Наиболее неблагоприятной для дорожного строительства является первая **Северная подзона (I₁)**, где широко распространены жильные и погребенные льды, близко залегающие к поверхности земли. Глубина деятельного слоя от 0,6 до 1,5 метров. Грунты болотистые – мари. Здесь, в большинстве мест необходимо проектировать и строить дороги с минимальным нарушением естественного режима территории., т.е. **сохранять мерзлоту в основании насыпи в течение всего периода эксплуатации дороги.**

Природно-климатические условия второй **Центральной подзоны (I₂)** более стабильны, предсказуемы и **позволяют проектировать земляное полотно с допущением оттаивания грунтов основания под насыпью и учетом возникающих при этом деформаций дорожного покрытия.**

Третья **Южная подзона (I₃)** высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов (пород) - ММГ (ММП), в основном, островного распространения кажется наиболее благоприятной для дорожного строительства, однако это обманчивое впечатление. Здесь очень трудно определить наличие и характер мерзлоты: вечномерзлые грунты встречаются или в виде сплошной высокотемпературной ~~вечной мерзлоты или в виде островной мерзлоты островного типа~~ **вечной мерзлоты или в виде островной мерзлоты островного типа** с обеспечением предварительного оттаивания грунтов основания под насыпью (примерно за год до возведения земляного полотна) и подготовки дорожной полосы, включая осушение.

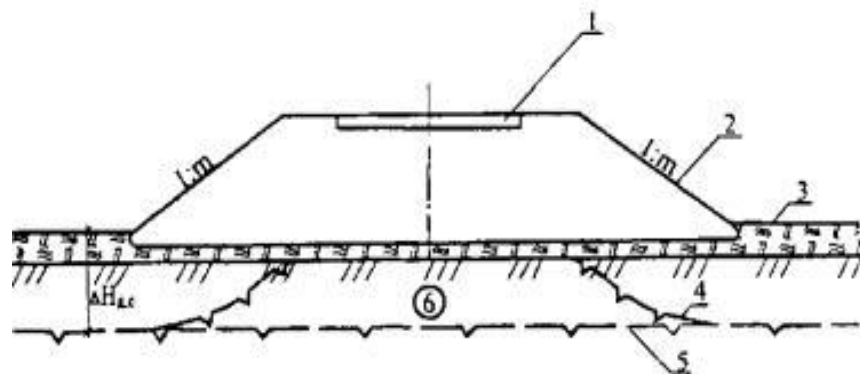
Кроме того, выделена **Северная подзона II ДКЗ - (II₁)**, примыкающая к южной границе с наличием вечной мерзлоты островного типа, с высокотемпературными пластично мерзлыми грунтами. Здесь происходит образование «перелетков», нередко возникающих на глубине сезонно замерзающих слоев грунта в районах с континентальным и резко-континентальным климатом, с отрицательной среднегодовой температурой воздуха (ниже минус 0°С).

Помимо деления I ДКЗ на три подзоны, следует учитывать тип местности по степени увлажнения.

Типы местности	Условия увлажнения	Характерные признаки
1-й (сухие места)	Без избыточного увлажнения. Поверхностный сток обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести.	Каменистые возвышенности, крутые склоны сопок, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезонно оттаивающего слоя более 2,5 м. Грунты гравийно-галечниковые, песчаные, а также супесчаные, глинистые, непросадочные и малопросадочные*.
2-й (сырые места)	Избыточное увлажнение в отдельные периоды года. Поверхностный сток не обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов от 0.8 до предела текучести.	Плоские водоразделы, пологие склоны гор и их шлейфы с мощностью сезонно оттаивающего слоя от 1,0 до 2,5 м. Грунты глинистые, просадочные*.
3-й (мокрые места)	Избыточное постоянное увлажнение. Водоотвод не обеспечен. Надмерзлотные и длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды. Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести.	Мари, заболоченные тальвеги, замкнутые впадины с развитым мохоторфяным покровом и малой мощностью (до 1 м) сезонно оттаивающего слоя. Грунты глинистые, сильно просадочные и чрезмерно просадочные*, содержащие в пределах двойной мощности сезонно оттаивающего слоя линзы льда толщиной более 10 см.

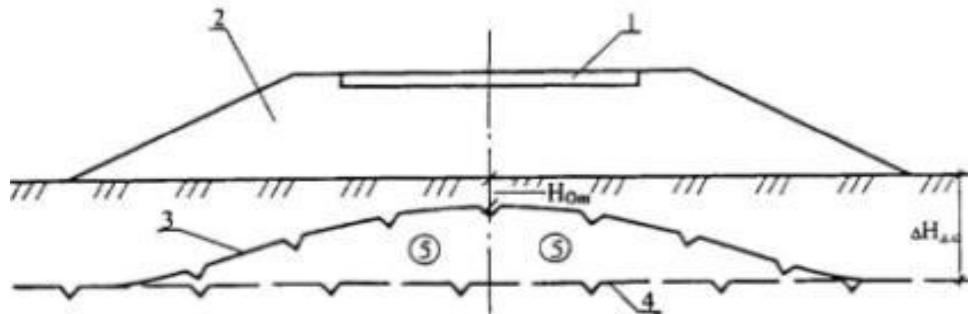
Принципы проектирования дорог на многолетнемерзлых грунтах

Особенно неблагоприятной для дорожного строительства является первая Северная подзона, где широко распространены тундровые, переувлажненные (более предела текучести), глинистые, тонкодисперсные грунты с наличием жильных и погребенных льдов, близко залегающих к поверхности земли. Здесь в большинстве мест необходимо проектировать и строить дороги со строгим сохранением естественного режима местности, используя,, **первый принцип проектирования и строительства дорог, предусматривающий поднятие верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов в насыпь и сохранение их в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги. Расчетное состояние грунта – мерзлое.** Следует широко использовать естественные и различные искусственные теплоизоляционные материалы. При этом при проектировании, а затем и при строительстве автомобильных дорог насыпь необходимо доводить до первой границы, чтобы не было оттаивания грунтов в ее основании (безрезервный поперечный профиль) из несцементированных обломочных грунтов с обязательным сохранением в ненарушенном состоянии мохорастительного покрова в основании насыпи. В лесистой местности ширина просеки не должна превышать ширины насыпи понизу. Насыпи необходимо сооружать только в зимнее время. По первому принципу ведут проектирование при особо сложных мерзлотно-грунтовых условиях (3-й тип местности по увлажнению) в северной и центральной подзонах, когда оттаивание грунта основания может вызвать недопустимые деформации. Обычно первый принцип проектирования оказывается вне конкуренции в I-ой подзоне на участках 2-го и 3-го типов местности по увлажнению для дорог с капитальным типом покрытия.



1 - дорожная одежда; 2 - насыпь; 3 - мохорастительный покров; 4 - ВГММГ после строительства дороги; 5 - ВГММГ до строительства; 6 - новообразованная мерзлота под насыпью

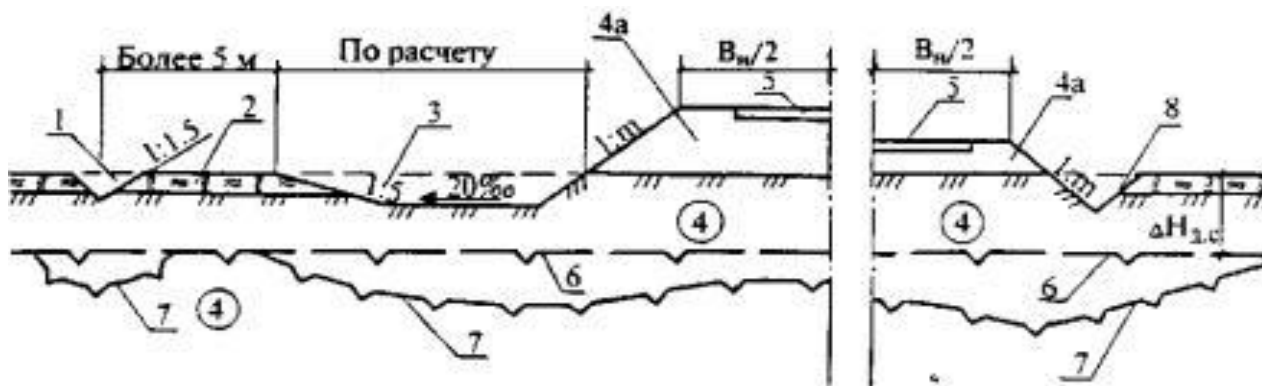
второй принцип - допущение частичного оттаивания многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна на величину, определяемую расчетом по допустимым деформациям дорожных покрытий



1 - дорожная одежда; 2 - насыпь; 3 - ВГММГ после постройки насыпи; 4 - ВГММГ до постройки насыпи; 5 - новообразованная мерзлота

Проектирование по второму принципу обычно ведут на участках, относящихся ко 2-му и 3-му типам местности в центральной и южной подзонах.

третий принцип - предварительное оттаивание многолетнемерзлых грунтов за год до начала строительства дороги, подготовка и осушение придорожной полосы



1 - водоотводная канава; 2 - мохорастительный покров; 3 - резерв; 4 - грунт легкоосушаемый; 4-а насыпь из легкоосушаемых грунтов; 5 - дорожная одежда; 6 - ВГММГ до строительства дороги; 7 - ВГММГ после постройки дороги; 8 - кювет

В южной подзоне на участках 2-го типа местности следует предусматривать предварительное упрочнение грунтов за счет предпостроечной осадки. На участках 1-го типа местности в южной подзоне земляное полотно можно проектировать вообще по нормам II ДКЗ.

Особенности проектирования дорог на многолетнемерзлых грунтах

Автомобильные дороги в районах распространения ММГ проектируют в следующем порядке: назначают принцип проектирования земляного полотна с учетом дорожно-климатической подзоны, типа местности, мощности сезонно оттаивающего слоя и температурного режима вечной мерзлоты; конструируют земляное полотно и дорожную одежду;

для каждого характерного участка трассы определяют высоту насыпи (глубину выемки) на основе комплекса требований (на устойчивость по инженерно-геологическим условиям с учетом наличия многолетнемерзлых грунтов, по увлажнению местности и на снегонезаносимость);

назначают и рассчитывают водоотводные и искусственные сооружения;

разрабатывают варианты индивидуального проектирования для участков с особо сложными мерзлотно-грунтовыми условиями и на основе их технико-экономических показателей принимают наиболее рациональные решения.

Основными мерами, обеспечивающими устойчивость дорожных конструкций (земляного полотна и дорожной одежды) на местности с наличием вечномерзлых грунтов во всех дорожно-климатических подзонах, являются:

проектирование земляного полотна, как правило, в насыпях;

возведение земляного полотна из скальных, крупнообломочных и песчаных грунтов, а при их дефиците - из глинистых;

применение естественных и искусственных теплоизоляционных материалов в основании земляного полотна, теле насыпей и дорожной одежде;

применение нетканых синтетических (геотекстильных) материалов в основании и теле земляного полотна, в основании дорожной одежды;

замена переувлажненных грунтов сезонно оттаивающего слоя и льдонасыщенных подстилающих вечномерзлых грунтов соответственно крупнообломочными и песчаными.

Для участков с особо сложными мерзлотно-грунтовыми условиями (наличие термокарста, крупных включений подземного льда, бугров пучения, солифлюкции, наледей, подтопляемых речных пойм и термокарстовых озер) необходимо разрабатывать варианты индивидуального проектирования и на основе сопоставления их технико-экономических показателей выбирать наилучшие решения.

Трассирование дороги осуществляют с учетом требований ландшафтного проектирования (пп. 3.1-3.18 СНиП 2.05.02-85). Трассу следует прокладывать по наиболее сухим участкам, на крупнообломочных скальных, песчаных и гравелистых грунтах без ледяных прослоек и линз. В других случаях трассу желательно располагать даже за счет ее некоторого удлинения (при соответствующем технико-экономическом обосновании) вблизи месторождений грунтов, пригодных для сооружения земляного полотна.

При трассировании следует обходить участки с неблагоприятными мерзлотными и грунтово-гидрогеологическими условиями (с близким залеганием подземных льдов, распространением солифлюкции, с повышенной влажностью и пылеватостью грунтов с наличием или возможным образованием наледей). Рекомендуются прокладывать трассу по склонам и террасам южной экспозиции, избегая северных «мокрых» склонов косогоров.

Как правило, трассу дороги прокладывают с максимальным использованием снегонезаносимых форм рельефа.

Во всех случаях целесообразно:

обходить пониженные места (ложбины, котловины) или пересекать их по кратчайшему направлению; проходить через лесные массивы;

обходить глубокие балки и овраги, а также жилые и производственные постройки с подветренной стороны.

Если это затруднено, трассу, по возможности, располагают по направлению господствующих ветров или располагают под углом к ним менее 20°.

В горной и пересеченной местности (при выборе вариантов) предпочтение отдают водораздельным и долинным ходам по надпойменным террасам и пологим наветренным склонам в пределах средней или верхней трети косогора.

В долинах трассу прокладывают дальше на 50-60 м от подошвы склона из условия уменьшения снегонезаносимости дороги и ее удаления от возможных мощных отложений снега, приводящих к образованию лавин на косогорных участках.

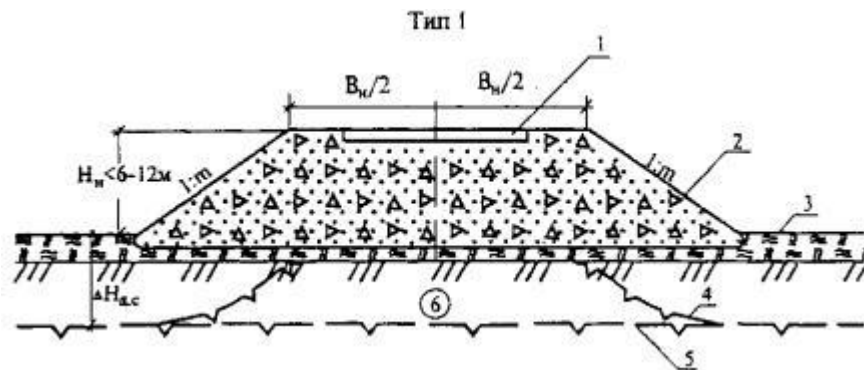
Конструкции земляного полотна автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах

Земляное, полотно конструируют в зависимости от типов местности, руководствуясь принятыми принципами проектирования. Высоту насыпи назначают, исходя из комплекса требований, на основе расчетов на устойчивость, прочность и снегонезаносимость. Окончательно принимают наибольшую высоту, удовлетворяющую всем требованиям.

Тип конструкции земляного полотна в зависимости от типов местности и принципов проектирования

Принцип проектирования	Тип местности	Тип конструкции и грунты земляного полотна
Первый - сохранение мерзлоты в основании насыпи	3 - мокрые места	Насыпи из несцементированных обломочных грунтов. Возможно применение глинистых грунтов на высоких насыпях
Второй и третий - допущение оттаивания мерзлоты в основании насыпи	2 - сырые места	Насыпи из глинистых и несцементированных обломочных грунтов. В исключительных случаях допускаются выемки
По нормам II дорожно-климатической зоны	1 - сухие места	Насыпи и выемки

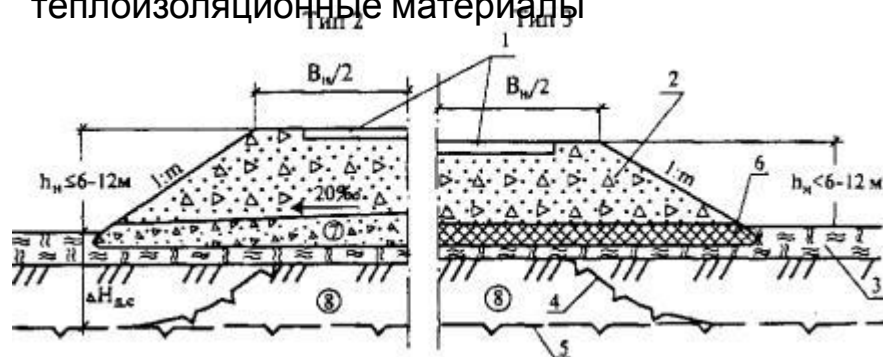
При проектировании по первому принципу земляное полотно конструируют в насыпях (безрезервный поперечный профиль) из несцементированных обломочных грунтов с обязательным сохранением в ненарушенном состоянии мохорастительного покрова в основании насыпи (тип 1). В лесистой местности ширина просеки не должна превышать ширины насыпи по низу.



1 - дорожная одежда; 2 - несцементированный обломочный грунт; 3 - мохорастительный покров; 4 - верхняя граница вечномёрзлых грунтов (ВММГ) после постройки насыпи; 5 - ВГММГ до постройки насыпи; 6 - новообразованная мерзлота под насыпью

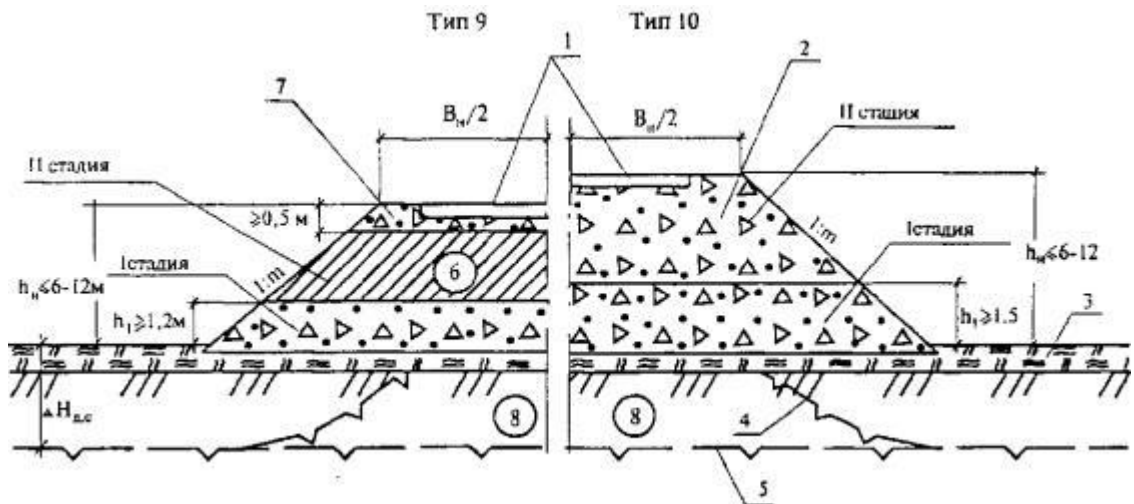
Для предохранения мохорастительного покрова от разрушения предусматривают в нижней части насыпи прослойки из дренирующих грунтов мелких фракций: не крупнее 70-100 мм (тип 2).

При необходимости уменьшения высоты насыпи земляное полотно проектируют с теплоизоляционными прослойками из материалов (тип 3), обладающих небольшим коэффициентом теплопроводности и достаточной прочностью: мох. торф, древесина, шлаки, пенопласт и другие теплоизоляционные материалы



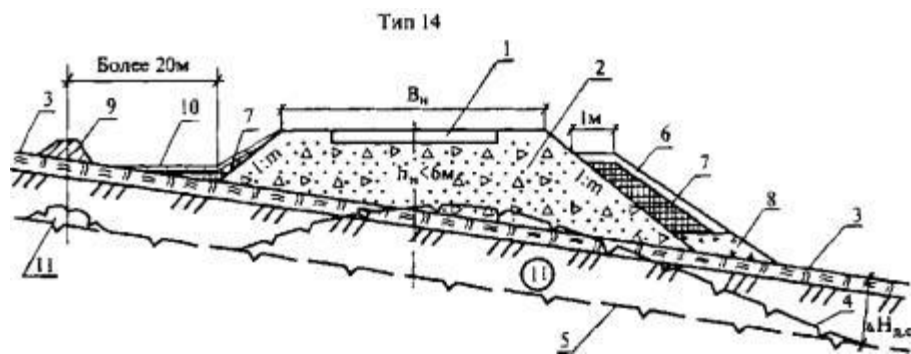
1 - дорожная одежда; 2 - несцементированный обломочный грунт; 3 - мохорастительный покров; 4 - ВГММГ после постройки насыпи; 5 - ВГММГ до постройки насыпи; 6 - термоизоляция по расчету из экструзионного пенополистирола (пенопласта) или из мохоторфа; 7 - защитный слой из дренирующего грунта мелких фракций; 8 - новообразованная мерзлота под насыпью

При проектировании земляного полотна, устраиваемого в две стадии (зимняя и летняя) (тип9), на первой стадии применяют несцементированные обломочные грунты, а на второй стадии можно применять глинистые грунты. В таких случаях верхнюю часть насыпи слоем равным или более 0,5 м предусматривают из щебеночного или гравийного материала (тип10, обозначение 7). Высоту отсыпки насыпи на первой стадии назначают равной или более 1,2 м, исходя из условия недопущения оттаивания льдонасыщенных грунтов основания до окончания работ на второй стадии.



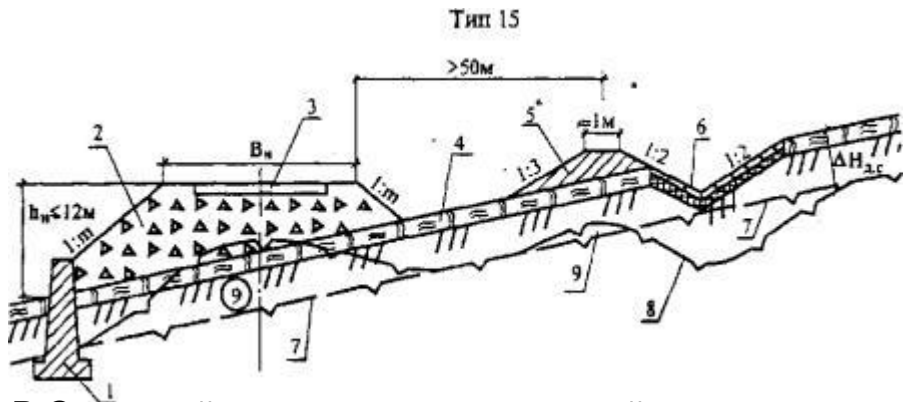
- 1 - дорожная одежда; 2 - несцементированный обломочный грунт; 3 - мохорастительный покров; 4 - ВГММГ после постройки насыпи; 5 - ВГММГ до постройки насыпи; 6 - глинистый грунт; 7- щебень или гравий по расчету на прочность (но не менее 0,5 м); 8 - новообразованная мерзлота под насыпью

На косогорных участках положе 1:5 земляное полотно, как правило, проектируют в насыпи, в отдельных случаях - на косогорах круче 1:10 предусматривают полунасыпи - полувыемки. Уступы на косогорах запрещаются. В низовой части откос насыпи защищают от теплового воздействия присыпкой из мохоторфа в смеси с грунтом (тип 14) или из других теплоизоляционных материалов.



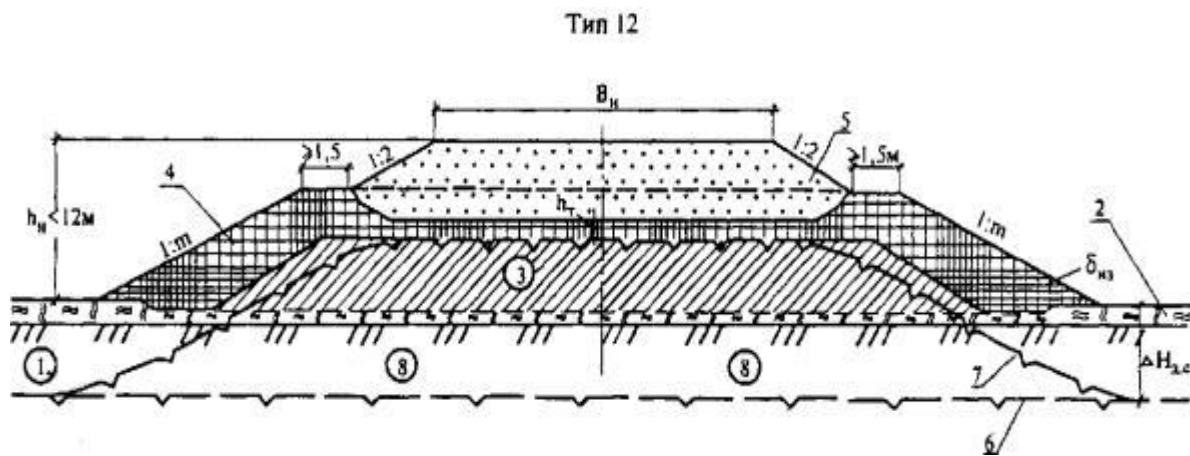
- 2 - несцементированный обломочный грунт; 3 - мохорастительный покров; 4 - ВГММГ после постройки насыпи; 5 - ВГММГ до постройки насыпи; 6 - глинистый грунт толщиной 15 см; 7 - теплоизоляция из мха или торфа в смеси с грунтом, толщиной более 0,5 м; 8 - дренирующая присыпка; 9 - нагорный валик; 10 - укрепление бетонными плитами на слое мохоторфа;

На косогорных участках круче 1:5 земляное полотно укрепляют специальными подпорными стенками, предусматривая их заглубление в вечномёрзлый грунт по расчету на выпучивание (тип 15). Во всех случаях применение конструкций типа 15 должно быть обосновано технико-экономическими расчетами.



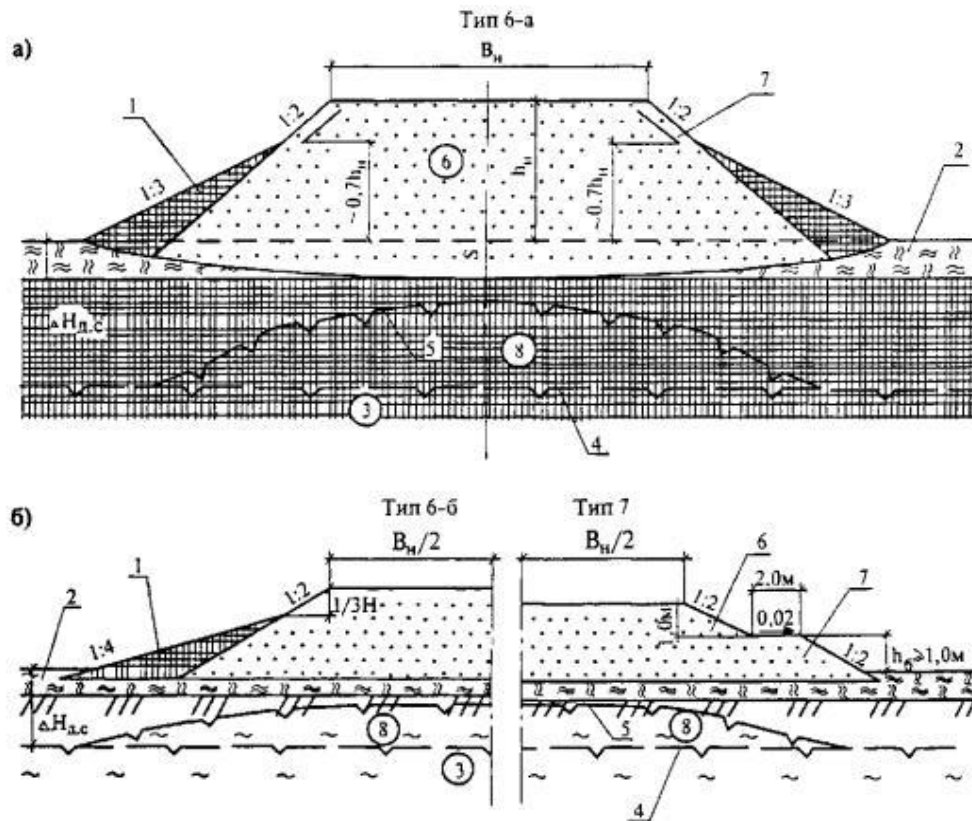
1 - подпорная стенка; 2 - несцементированный обломочный грунт; 3 - дорожная одежда; 4 - мохорастительный покров; 5 - мерзлотный валик; 6 - укрепление бетонными плитами на слое из мохоторфа или на плитах из пенопласта; 7 - ВГММГ до постройки насыпи; 8 - ВГММГ после постройки насыпи; 9 - новообразованная мерзлота под насыпью и под мерзлотным (нагорным) валиком.

В Северной дорожно-климатической подзоне при остром дефиците крупнообломочных грунтов, а также качественных талых, сыпуче- и сухомёрзлых песчаных грунтов высокие насыпи (более 3 м) можно проектировать по первому принципу с использованием в их нижней части глинистых грунтов, в т.ч. твердомерзлых, в соответствии с поперечным профилем, (тип 12).



1 - сезонно оттаивающий грунт основания; 2 - мохорастительный покров; 3 - замороженный или твердомерзлый глинистый грунт; 4 - теплоизолирующий слой из торфа, мохорастительного покрова или из экструзионного пенополистирола (пенопласта); 5 - крупнообломочный или песчаный грунт; 6 - ВГММГ в естественных условиях; 7 - то же после постройки насыпи; 8 - новообразованная мерзлота под насыпью

На участках местности 3 типа по степени увлажнения, сложенных сильно просадочными грунтами при проектировании по первому принципу земляное полотно конструируют в насыпи (безрезервный поперечный профиль) из крупнообломочных, а также из талых или сыпучемерзлых и сухомерзлых песчаных грунтов с обязательным сохранением в ненарушенном состоянии мохорастительного (мохоторфяного) покрова в основании. При этом крутизну откосов следует принимать 1:2, (тип 6), а в отдельных случаях необходимо предусматривать торфяную присыпку откосов или устройство берм (тип 7).

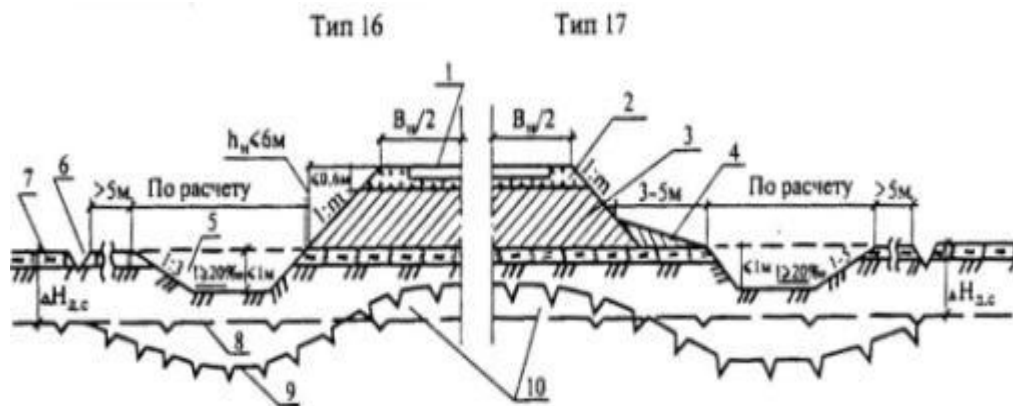


Поперечный профиль насыпи на торфяниках, тип 6-а, тип 6-б, тип 7:
 1 - торфяная присыпка на откосе; 2 - мохорастительный покров; 3 - вечномерзлый торф; 4 - ВГММГ в естественных условиях; 5 - то же после постройки насыпи; 6 - грунт насыпи; 7 - укрепление верхней части откоса торфом и геотекстилем; 8 - новообразованная мерзлота под насыпью

Поперечный профиль насыпи на торфяниках, тип 6-а, тип 6-б, тип 7:

При проектировании по второму принципу

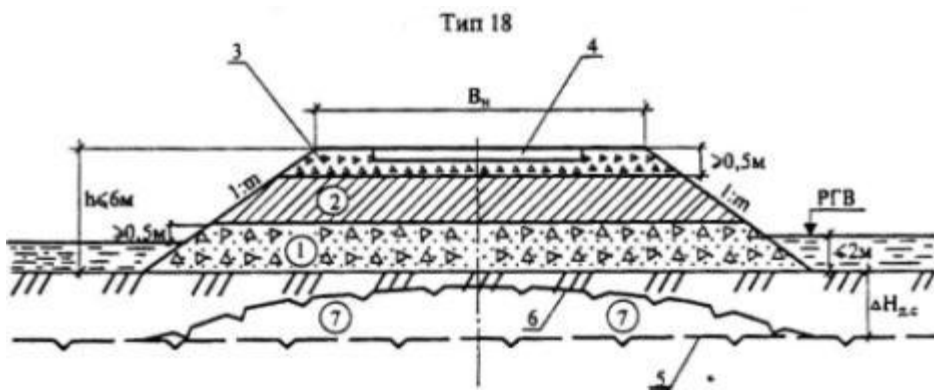
допускается устраивать земляное полотно из местных глинистых грунтов с закладкой притрассовых или сосредоточенных резервов (типы 16, 17). При этом запрещается убирать или разрушать в основании насыпи мохорастительный покров.



1 - дорожная одежда; 2 - щебень или гравий по расчету на прочность (но слоем равным или более 0,5 м); 3 - глинистый грунт; 4 - земляная берма; 5 - резервы; 6 - водоотводная канава; 7 - мохорастительный покров; 8 - ВГММГ до постройки насыпи; 9 - ВГММГ после постройки насыпи; 10 - новообразованная мерзлота под насыпью

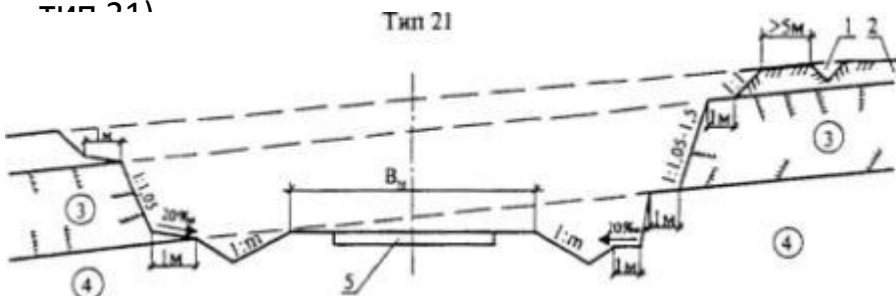
Место, размер и очертания резервов назначают согласно требованиям СНиП 2.05.02-85. Крутизну откосов резервов необходимо назначать положе 1:5 с учетом рекультивации; при этом дно и откосы покрывают растительным слоем толщиной равной или более 0,3 м.

На затопляемых участках и на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям земляное полотно проектируют из нецементированных обломочных грунтов. Бровка земляного полотна должна быть выше уровня расчетного горизонта воды на высоту волны с набегом на откос, но равной или более чем 0,5 м. В необходимых случаях предусматривают укрепление откосов с учетом скорости течения воды. Верхнюю часть насыпей допускается проектировать из глинистых грунтов (тип 18).



1 - нецементированный обломочный грунт; 2 - глинистый грунт; 3 - щебень или гравий по расчету на прочность; 4 - дорожная одежда; РГВ - расчетный горизонт воды; 5 - ВГММГ до постройки насыпи; 6 - ВГММГ после постройки насыпи; 7 - новообразованная мерзлота под насыпью

На участках местности с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями (скальные, щебенистые и т.п. грунты) при отсутствии линз и прослоек льда допускается проектировать выемки (тип 21)

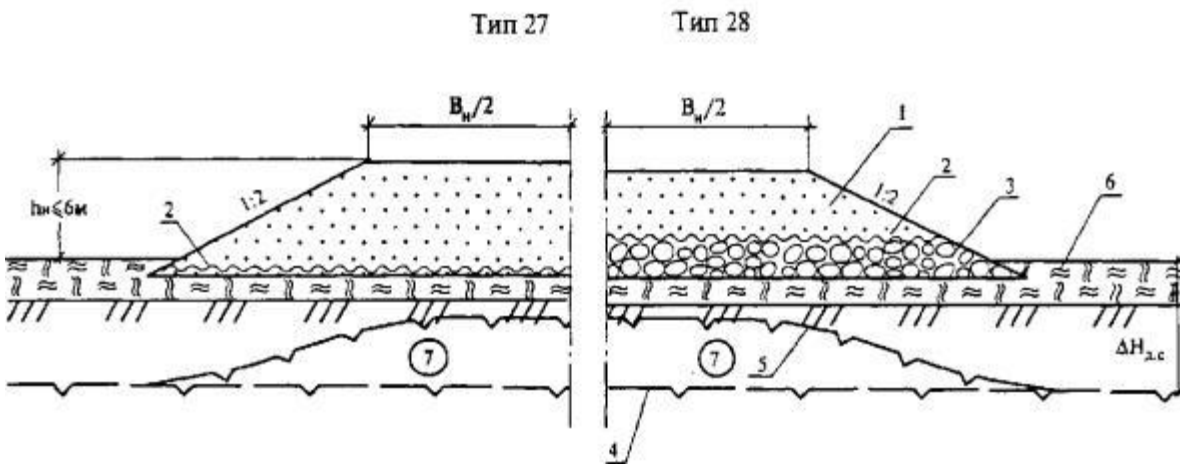


- 1 - нагорная водоотводная канава; 2 - растительный слой; 3 - легко выветривающаяся скальная порода; 4 - не выветривающаяся скальная порода; 5 - дорожная одежда

При проектировании по второму принципу разрешается конструировать насыпь с прослойками из геотекстильного материала.

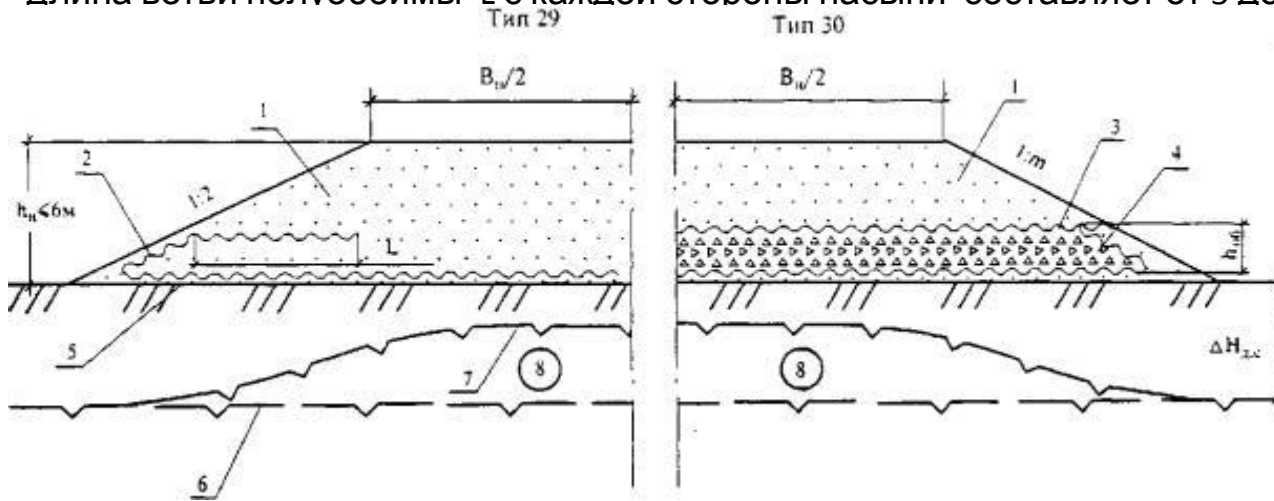
Материал располагают в основании, теле и верхней части насыпи в виде плоских прослоек, обойм и полуобойм..

При отсыпке насыпи в летний период прослойку располагают в основании (тип 27), чтобы уменьшить неравномерность осадки оттаивающего грунта основания. При отсыпке насыпи в зимнее время прослойку предусматривают на границе между нижней частью из мерзлого комковатого (глинистого или торфяного) грунта и верхней частью из сухо- или сыпучемерзлого песчаного грунта (тип 28), чтобы предотвратить проникновение сыпучего материала верхней части насыпи в поры комковатого грунта.



- 1 - грунт насыпи; 2 - слой геотекстиля; 3 - мерзлый комковатый (глинистый или торфяной) грунт в нижней части насыпи; 4 - ВГММГ в естественных условиях; 5 - то же после постройки насыпи; 6 - мохорастительный покров; 7 - новообразованная мерзлота под насыпью

На участках с грунтами III категории просадочности (тип 29) прослойку устраивают со сплошной укладкой геотекстильных полотен в поперечном направлении в нижней части насыпи. Для насыпи высотой до 2 м, в зависимости от угла трения j геотекстильного материала по подстилающему грунту или (при отсутствии таких данных) от угла внутреннего трения подстилающего грунта минимальная длина ветви полубоймы L с каждой стороны насыпи составляет от 5 до 3 м.

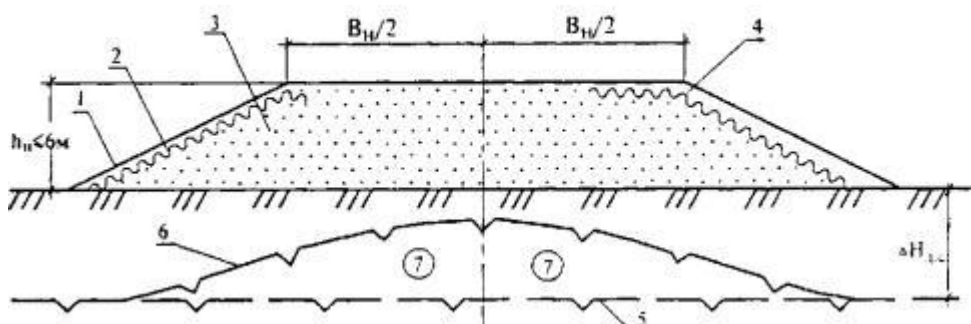


- 1 - грунт насыпи;
- 2 - полубойма из геотекстиля;
- 3 - бойма из геотекстиля;
- 4 - грунт, в т.ч. твердомерзлый в нижней части насыпи;
- 5 - выравнивающий песчаный слой толщиной 0,2-0,3 м;
- 6 - ВГММГ в естественных условиях;
- 7 - то же после постройки насыпи;
- 8 - новообразованная мерзлота под насыпью

Для защиты от водной и ветровой эрозии откосы насыпи (выемки), сложенные песчаными пылеватыми и глинистыми грунтами, следует укреплять слоем торфо-песчаной смеси (40 % торфа, 60 % песка) толщиной 10-20 см. В смесь вводят семена многолетних трав.

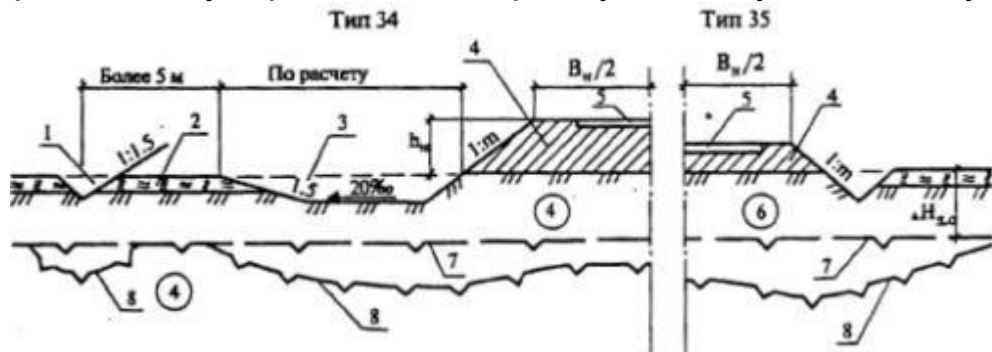
При отсутствии торфяного грунта можно предусматривать (на основе технико-экономических расчетов) укладку сплошного слоя геотекстиля с обязательным закреплением полотнищ на обочинах и подошве насыпи (бровки, выемки) и последующее устройство защитного (от солнечной радиации) слоя толщиной 10-15 см из песка или гравийно-песчаной смеси (тип 31).

Тип 31



- 1 - защитный песчаный слой толщиной 10 - 15 см;
- 2 - геотекстиль на откосе;
- 3 - грунт насыпи;
- 4 - геотекстиль на обочине;
- 5 - ВГММГ в естественных условиях;
- 6 - то же после постройки насыпи;
- 7 - новообразованная мерзлота под насыпью

По третьему принципу земляное полотно конструируют в соответствии с поперечными профилями, приведенными на рис, типы 34, 35. В этих случаях раньше чем за год до начала основных работ следует расчистить дорожную полосу от леса и кустарника, снять мохорастительный покров и



1 - водоотводная канава; 2 - мохорастительный покров; 3 - резерв; 4 - глинистый легко осушаемый грунт с примесью крупного песка, щебня или гравия; 5 - дорожная одежда; 6 - супесчаный грунт; 7 - ВГММГ до постройки насыпи; 8 - ВГММГ после постройки насыпи

Земляное полотно, как правило, конструируют с пологими откосами для повышения устойчивости дорожных конструкций, технологичности их сооружения и повышения безопасности движения.

Назначение высоты насыпи

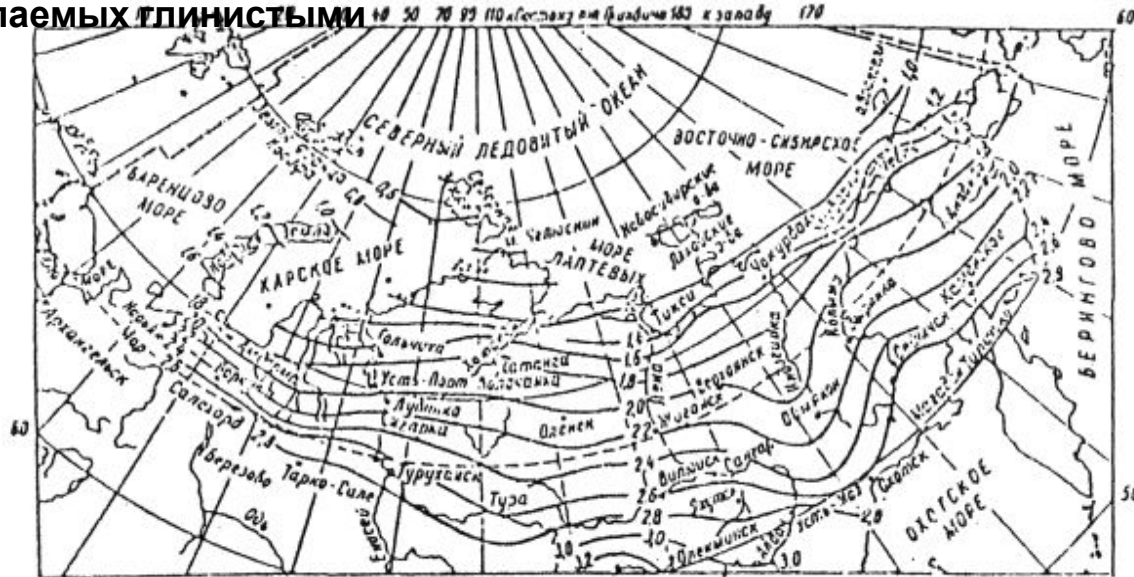
При обосновании необходимой высоты насыпи наряду с обычными требованиями, снегонезаносимости и возвышения над источниками увлажнения, необходимо так же учитывать **обеспечение заданного режима сохранения вечной мерзлоты. Это касается I и II принципов проектирования насыпи.** Исходят из упрощенной схемы температурных расчетов.

При сохранении вечной мерзлоты насыпь на скальных, супесчаных или глинистых грунтах, имеющих оптимальную влажность, должна оттаивать на полную высоту только к наступлению морозного периода. В СНиП 2.05.02-85* прилагаются карты изолиний нормативных глубин оттаивания (деятельного слоя) различных грунтов в зоне ВМ.

Высота насыпей должна быть равна толщине слоя промерзания с введением поправок на условия оттаивания: $H = h * m * K * k$,

где h – нормативная глубина оттаивания, m – коэффициент, учитывающий поглощение тепла покрытием: 1,05- ц/б; 1,1- 1,6 а/б, ч/щ ; K – коэффициент, учитывающий приток тепла от откосов насыпей и вырубки просеки, $K = 1,16 – 1,22$; k - коэффициент, учитывающий влияние влажности грунта на глубину $k = \frac{1}{a + bw_0}$, где $a = 0.9$; b – учитывает вид грунта: ГПС $b=0.018$; супесь, сугл w_0 , w – влажность грунта.

Изолинии глубин сезонного оттаивания песчаных грунтов, подстилаемых глинистыми



Изолинии глубин сезонного оттаивания заторфованных грунтов



При частичном оттаивании грунта придорожной полосы учитывают уплотнение оттаявшего грунта под весом насыпи и транспорта при эксплуатации, а так же зимнее вспучивание и последующую осадку, которая может разрушить дорожную одежду. Осадка насыпи затягивается на ряд лет. За это время происходит выжимание воды в результате фильтрационной консолидации. При осадке насыпи на глубину S (до I уровня) и поднятия уровня ВМГ (до II уровня) $H_{д.с.}^1$ деятельного слоя уменьшается от $H_{д.с.}$ до $H_{д.с.}^1$. Протаивание под насыпью необходимо ограничить глубиной, при которой уплотнение основания при промер: $f_{доп.}$ и не превысит допустимого для дорожной одежды Сжатие мерзлого грунта слоем $S_{отт} = e \cdot h$, e оттаивания под нагрузкой определится по формуле: где e – коэффициент относительной осадки мерзлого грунта при оттаивании. e зависит от состава грунта, его влажности и степени уплотнения. Из СНиП 2.05.02-85*

$e = 0.01 - 0.25$.

Точное значение осадки h может быть рассчитано по ф($H_{д.с.}^1 = \frac{f_{доп.}}{e}$ механики грунтов.

Допустимая толщина слоя талого грунта в летний период d (из норм. лит.).

Средние скорости оттаивания грунта насып $h_{д.с.}$ основания разные (насыпь отсыпается из привозного грунта). Поэтому $h_{нас.} = h_{д.с.} \cdot \frac{H_p}{H_{д.с.}}$ а основания, толщиной $H_{д.с.}$ эквивалентен в отношении глубины промерзания сло $H_{нас.}$ и, следовательно, оставляемый под насыпью слой талого грунта,

$$H_{нас.экр.} = H_{д.с.}^1 \cdot \frac{H_p}{H_{д.с.}} = \frac{f_{доп.}}{e} \cdot \frac{H_p}{H_{д.с.}}$$

соответствует по теплопроводности слою грунта насыпи, толщиной

H_p – расчетная глубина сезон $H = H_p - S - \frac{f_{доп.}}{e} \cdot \frac{H_p}{H_{д.с.}}$ й конструкции.

Необходимая высота насыпи

Учитывая, как и раньше, влияние мес $H = H_p \left(1 - \frac{f_{доп.}}{H_{д.с.}} \right) \cdot m \cdot k - S$ насыпи, получим:

Если предусматривается осушение полосы, то H определяется по СНиП 2.05.02-85* (табл.21)

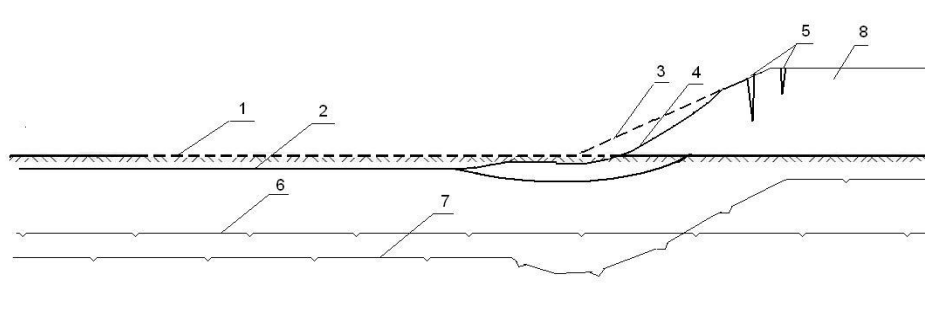
Обычно высота насыпи, сооружаемой по 1-му принципу, составляет не менее 2,5 – 3,5 м для различных регионов зоны вечной мерзлоты.

В случае использования 2-го принципа высоту насыпи назначают не ниже, чем по условию снегонезаносимости, что составляет от 1,3 м до 1,5 м в зависимости от региона и категории дороги. Как правило, ВГВМ поднимается под центральной частью насыпи на некоторую высоту, не достигая подошвы насыпи и опускается под ее откосом. Оттаивание многолетнемерзлых грунтов под откосами насыпи происходит потому, что мохоторфяной покров, являющийся естественным теплоизолятором, сжимается, а толщина слоя грунта над ним недостаточна, чтобы компенсировать термическое сопротивление мохоторфа. Торф может быть теплоизолятором только в неуплотненном состоянии, когда содержит большое количество воздуха и воды. Пузырьки воздуха одинаково препятствуют теплопередаче в летнее и зимнее время, вода же способствует понижению температуры грунтов основания, поскольку теплопроводность льда в 4 раза выше теплопроводности воды: в зимнее время лед, имея высокую теплопроводность, способствует охлаждению грунтов, а в летнее время вода с более низкой теплопроводностью препятствует их растеплению.

В силу этих причин основание под откосом насыпи является ее «слабым местом» независимо от высоты насыпи.

Вследствие просадок оттаявших грунтов обычно наблюдается деформация откоса: в нижней его части происходит сдвиг, в верхней части откоса и в теле насыпи образуются вертикальные трещины (так называемые трещины отседания). Затем происходит обрушение верхней части откоса и постепенное

Деформация насыпи в результате просадки оттаявшего основания под ее откосом



1-поверхность тундры до сооружения насыпи; 2 – то же, после сооружения; 3 – поверхность откоса насыпи по проекту; 4 – то же, после протаивания основания; 5 – трещины в теле насыпи; 6 – ВГВМ до сооружения насыпи; 7 – то же, после сооружения насыпи; 8 - насыпь



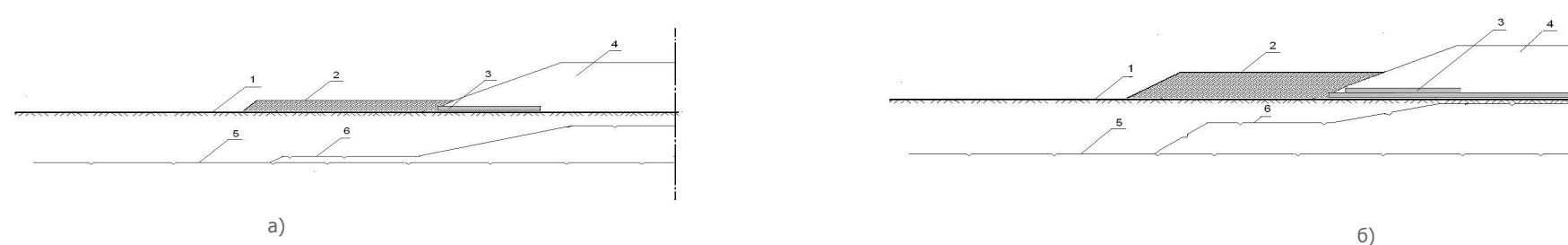
Ремонт земляного полотна (засыпка образовавшейся в следствие эрозии канавы) на промышленной дороге в районе газового месторождения «Заполярье»

На устойчивость насыпи также влияет нарушение в процессе строительства мохорастительного покрова вдоль насыпи в зоне, примыкающей к ее подошве: тепловые потоки беспрепятственно перемещаются к основанию насыпи, способствуя повышению температуры многолетнемерзлых грунтов. Кроме того, в результате деградации мерзлоты происходит вытаивание льда, что может привести к обводнению сооружения. Если влага, присутствующая в торфе, способствует сохранению мерзлоты, то вода, стоящая около насыпи, вызывает обратный эффект: в летнее время под воздействием солнечной радиации вода нагревается и отепляет грунт. Если же вдоль насыпи рельеф имеет уклон, то достаточно часто наблюдается размыв с образованием канав, ~~следствием чего является то~~ что рекультивация земель по окончании строительства приобретает в зоне вечной мерзлоты особое значение. Если на территории средней полосы после уничтожения растительного покрова через некоторое время (2 – 5 лет) происходит его естественное восстановление, то в зоне вечной мерзлоты, в особенности в районах Крайнего Севера, вследствие короткого вегетационного периода для самопроизвольного восстановления растительности требуются десятки лет.

Накопленный опыт строительства в зоне вечной мерзлоты показывает, что оттаивание многолетнемерзлых грунтов в основаниях насыпей происходит в течение ряда лет, при этом в первые два – три года после отсыпки насыпи глубина оттаивания может составить 10-15% от конечной, которая достигается через 20 – 30 лет. Очевидно, что расчетные методы, разработанные более 40 лет назад (в ВСН 84-89 они были введены из Инструкции ВСН 84-75), морально устарели. Поскольку в настоящее время существует возможность компьютерного моделирования процессов теплопередачи, позволяющая прогнозировать температурный режим с учетом воздействия ряда погодно-климатических факторов, целесообразно изменить общий порядок проектирования земляного полотна в зоне вечной мерзлоты.

Во многих регионах зоны вечной мерзлоты широко распространены пылеватые а также засоленные грунты, мало пригодные для сооружения насыпи. Поэтому, учитывая наличие широкого разнообразия геосинтетических материалов, проектировать земляное полотно следует, если позволяет рельеф, в низких насыпях (т.е. по условию снегонезаносимости), применяя геосинтетики для обеспечения его устойчивости.

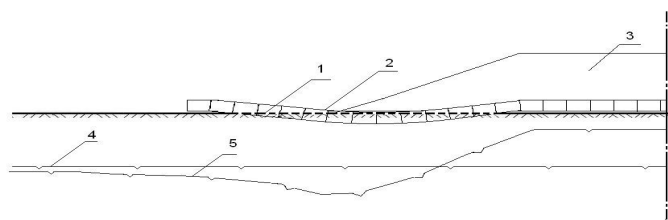
Например, для низкой насыпи в качестве первого варианта на основе теплофизических расчетов назначают требуемую толщину теплоизолятора и его оптимальное размещение в конструкции. Если грунты основания относятся к малопросадочным (относительная осадка 0,01 - 0,1), то возможно допустить протаивание основания на некоторую глубину, исходя из допустимой осадки основания, теплоизолирующий слой следует устраивать только под откосами (рис. а). Если грунты основания относятся к чрезмерно просадочным (относительная осадка 0,6 – 1,0), то следует уменьшить талую зону до минимально возможных размеров (рис. б).



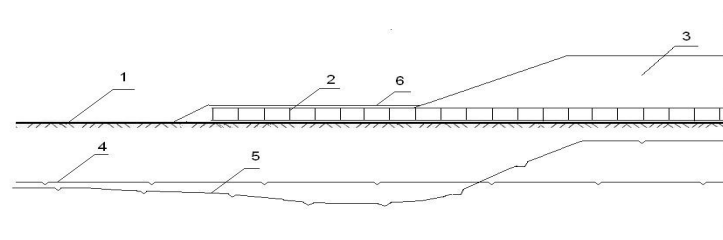
- а) – основание сложено малопросадочным при оттаивании грунтом;
 б) - основание сложено сильнопросадочным при оттаивании грунтом.
 1 – поверхность тундры до сооружения насыпи; 2 – берма (растительный грунт или торф, закрепленный геосинтетическим материалом);
 3 – теплоизолятор; 4 – насыпь; 5 – ВГВМ до сооружения насыпи; 6 – то же, после сооружения насыпи.

Для предотвращения размывов вдоль насыпи предлагается закрепление растительного грунта при помощи геосинтетического материала в виде бермы и посев трав. Если вместо растительного грунта использовать неуплотненный торф толщиной не менее 0,3 м, то он может служить теплоизолятором, тогда берма будет выполнять две функции: теплоизоляция и закрепление грунта

В качестве второго варианта можно предложить конструктивное решение с применением армирующего материала* (объемной георешетки**, либо грунтового модуля, либо геоматрицы), позволяющего перераспределить нагрузку от насыпи на слабый грунт основания. Параметры армирующего материала (размеры ячеек, прочность ленты) назначают по расчету исходя из действующей нагрузки. Георешетки и грунтовые модули как правило применяют совместно с подстилающим слоем нетканого геотекстиля. Армирование не исключает осадку полностью, однако уменьшает ее величину а также снижает ее неравномерность. Уменьшить величину осадки можно путем уменьшения глубины оттаивания. Для этого ячейки армирующего материала вне насыпи следует заполнить торфом.



ячейки армирующего геосинтетического материала заполнены минеральным материалом (песком, щебнем)



ячейки армирующего геосинтетического материала вне насыпи заполнены торфом или каким либо другим теплоизолятором

Применение армирующего материала для обеспечения устойчивости оттаявшего основания насыпи.

1 – поверхность тундры до сооружения насыпи; 2 – армирующий материал с заполнителем; 3- тело насыпи; 4 – ВГВМ до сооружения насыпи; 5 – то же, после сооружения насыпи; 6 – защитный слой над армирующим материалом.

В связи с разнообразием природно-климатических и грунтово-гидрологических условий в зоне вечной мерзлоты, не может быть универсальных конструктивных решений. При применении каждого из них необходимо оценить воздействие факторов, влияющих на условия эксплуатации сооружения.

Действующий нормативный документ ВСН 84-89 нуждается в актуализации. Документ должен включать методические рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты.

С вечной мерзлотой связано распространение в полярных и субполярных областях своеобразных форм рельефа, которые нигде больше не встречаются. Это гидролакколиты, торфяные бугры, мелкобугристый и медальонный рельеф, полигональные почвы, наледи, пучины, термокарст и др.

Гидролакколиты (булгунняхи) представляют собой либо слабое поднятие (до 2—3 м), либо холм (до 40 м высоты) с довольно плоской вершиной и достаточно крутыми склонами. Если сделать разрез такого холма, то можно видеть, что на поверхности его лежит слой торфа и почвы. Под торфом залегает лед, внутри которого иногда сохраняется незамерзшая вода. Лед имеет форму линзы или купола. Образование гидролакколитов связано с выходами напорных вод. Вода, стремясь к выходу на поверхность, приподнимает слой торфа и льда над ней, а замерзая, дает выпуклую форму рельефа. Гидролакколиты распространены в Восточной Сибири, на Аляске. В образовании их принимают участие подмерзлотные и надмерзлотные воды.

Торфяные бугры представляют поднятия, обычная высота которых 3—4 м, реже 5—7 м округлой формы, с довольно плоской вершиной. Распространены торфяные бугры на болотах и заболоченных участках.

Строение торфяных бугров следующее. Самым верхним слоем является торф мощностью около 1 м. Под торфяным слоем располагается ядро бугра, сложенное мерзлым торфом и почвой. Эти мерзлые ядра бугров сохраняются и летом, хотя почвы вокруг бугров оттаивают. Иногда в ядре бугра встречаются и

Развитие бугров объясняет следующим образом. В местах, несколько пониженных, при постоянном увлажнении развивается болотистая растительность, которая позднее заменяется сфагнумом. При быстром росте последнего (мха) толщина торфяного слоя увеличивается. Под толстым слоем торфа замёрзшая зимой почва не успевает оттаивать, развивается вечная мерзлота, от чего происходит дальнейшее выпучивание торфяных бугров. Форма бугра определяется неравномерным ростом сфагнума.

Термокарст. В условиях вечной мерзлоты распространён погребенный лед в виде линз, прослоев, лакколитов иногда больших размеров. Таяние погребенного льда вызывает просадку грунта и образование котловин разной величины, часто заполненных озерами. Эти явления называются термокарстом. Таяние льда может происходить от лесных пожаров, от сплошной вырубке лесов, т. е. в любом случае, когда почва обнажается и прогревается сильнее обычного. Часто образуется по соседству целая группа озерных котловин. Вода из более высоко расположенных озёр часто перетекает в ниже лежащие озера. Дно осушившихся озёр покрывается лугами. Такие котловины называются в Якутии «аласами». Аласы распространены довольно широко.

В условиях вечной мерзлоты распространено явление называемое **солифлюкцией** — стекание грунта, напитанного водой, вниз по склонам под влиянием силы тяжести. С солифлюкцией связано образование солифлюкционных террас, валов, шлейфов, что придает склонам мягкие очертания.

оценка наледной опасности

Наледи – это отложения льда в результате сильных морозов и выхода на поверхность грунтовых или речных вод, а так же таяния снега при оттепелях. Заливают дорогу, водопропускные сооружения.

По условиям питания различают: подземные, межмерзлотные, подмерзлотные (ключевые), грунтовых вод деятельного слоя, речных и талых вод и смешанные. При трассировании автомобильных дорог природные наледи следует выявлять по индикационным признакам, представляющим собой комплекс характерных внешних черт ландшафта.

Прямыми признаками наледей подземных вод являются: образование наледных полян; налет соли на камнях, деревьях и кустарнике; наличие сезонных и постоянно действующих источников.

Наиболее вероятными участками развития наледей поверхностных вод следует считать перемерзающие перекаты, пороги и водопады, устьевые участки боковых притоков, ветвящиеся и мелководные русла рек, русла водотоков ниже полыней, зарегулированные участки рек (ниже плотин, шлюзов и пр.), русла рек, пересекаемые линейными инженерными сооружениями - мостами, трубопроводами и др., берега долго незамерзающих пресных и соленых водоемов, участки постоянных (становых) термических трещин в ледяном покрове крупных озер и морей, места складирования на льду грузов, штабелей леса и пр., участки ледяного покрова со снежными надувами и навалами льда. Наледи на реке или водоеме легко выявляются благодаря темному цвету обнаженного льда и парению наледобразующей воды

Грунтовые наледи образуются на склонах холмов, где вода скапливается у верхней поверхности мерзлоты в местах неглубокого ее залегания. При промерзании деятельный слой сливается в отдельных местах с поверхностью многолетней мерзлоты, разделяя водоносный горизонт на несколько объемов. Грунт расширяется, создается повышенное давление, происходит взбугривание, грунт растрескивается, вода изливается и быстро замерзает. Если вода не изливается – бугор при оттаивании летом оседает. Иногда бугры взрываются от давления с выбросом воды и льда. Площадь грунтовых наледей от сотен до тысяч квадратных метров.

Речные наледи образуются за счет уменьшения площади сечения водотоков при промерзании берегов и увеличении толщины льда. На мелких местах лед сливается с дном и вода изливается, взламывая лед, вытекает на поверхность

Строительство дорог нарушает природный режим ВМГ и вызывает образование наледей. Наибольшая опасность возникает при расположении насыпи на косогоре при нулевых отметках, когда дорога промерзает на большую глубину быстрее, чем прилегающая поверхность. Деятельный слой

противоналедные и искусственные сооружения на участках наледей

На участках природных наледей, параметры которых необходимо оценивать и рассчитывать, земляное полотно следует проектировать:

- в насыпях с возвышением бровки над расчетной отметкой поверхности наледи не менее чем на 0,5 м;
- в насыпях с бермой, устраиваемой с нагорной стороны;
- в комплексе с капитальными противоналедными сооружениями и устройствами.

Насыпь на наледных участках предпочтительнее назначать из крупнообломочных грунтов. На участках, где насыпь проектируют с применением глинистых грунтов, предусматривают берму с нагорной стороны или пологий откос и его укрепление. При изысканиях автодорог рекомендуют обходить места образования наледей и выхода родниковых вод. Водотоки следует переходить на прямых глубоких участках.

В проектах дорог предусматривают при необходимости противоналедные мероприятия:

1. сохранение водно-теплового режима грунта и водотоков в придорожной полосе;
2. увеличивать отверстия мостов и высоту насыпей для обеспечения свободного пропуска воды. На малых водотоках углублять русло.
3. искусственно вызывать образование наледи на косогорах до защищаемого объекта устройством мерзлотного пояса – это широкая, но мелкая канава вдоль дороги с нагорной стороны. Перед канавой на 5-10 см снимают мох и торф. Ширина канавы 3- 4,5 м, глубина 0,6 – 0,9 м, ширина расчищаемой полосы 10 – 15 м, расстояние от пояса до границы сооружения 50 – 100 м. Вынутый из канавы грунт укладывают в низкий вал с низовой стороны пояса.

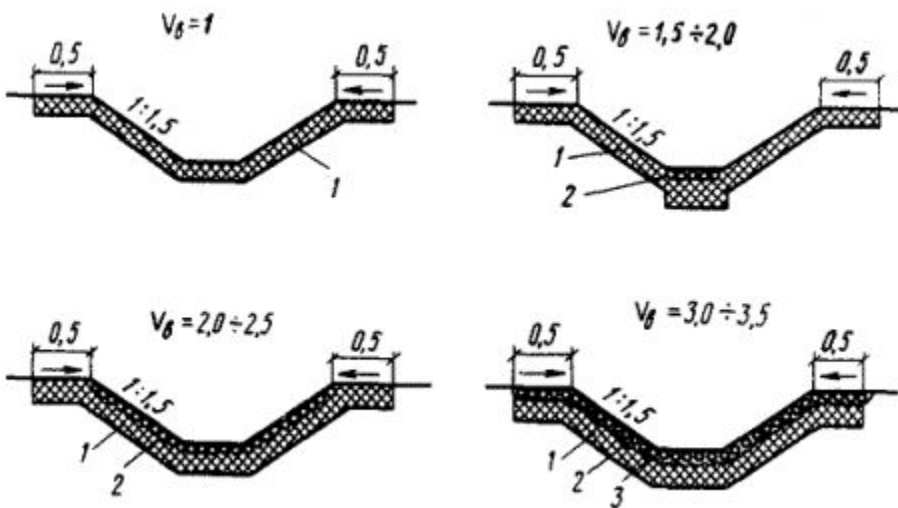
Канавы пояса располагают под углом 140 -170 градусов друг к другу. Зимой пояса очищают от снега. Грунт быстро замерзает, образуя перемышку, вызывающую наледь.

Водоотводные сооружения

В зависимости от рельефных, гидрологических, гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условий поверхностные и грунтовые надмерзлотные воды отводят от дорожного полотна с помощью следующих сооружений:

- боковых водоотводных канав, лотков или лотков-полутруб, притрассовых резервов;
- нагорных мерзлотных валиков, приоткосных берм и нагорных канав;
- поперечных водоотводных канав.

Поперечные сечения водоотводных канав:



1 - дерн, мох, торф; 2 - [крупнообломочный грунт](#), бетонные плиты; 3 - геотекстиль; $V_{\text{в}}$ - скорость течения воды

Водоотводные каналы проектируют на устойчивых основаниях, сложенных непросадочными и малопросадочными грунтами. При этом дно и откосы канав (кюветов), устройство которых предусматривается в легкоразмываемых грунтах, следует укреплять одиночным или двойным слоем луговой или тундровой дернины, камнем, гравийно-песчаной смесью, бетонными плитами, уложенными по мху, или геотекстильным мате риалом. Если скорость течения воды превышает допустимую для соответствующих типов укрепления, необходимо предусматривать перепады, быстротоки или водобойные колодцы.

Запрещается проектировать водоотводные и нагорные каналы в сильно просадочных грунтах. При наличии таких грунтов в равнинной и слабопересеченной местности предусматривают максимально естественный сток поверхностных вод либо приоткосные бермы, а на косогорных участках, кроме берм, и нагорные валики.

В случае устройства валиков следует предусматривать обязательное сохранение мохорастительного покрова в основании. Откос валика и полосу вдоль его подошвы на ширину 1 м с нагорной стороны укрепляют крупнообломочным грунтом по слою мха или торфа. При его отсутствии допускается

~~укрепление геотекстилем.~~

На косогорных участках с большой водосборной площадью или сильными снежными заносами проектируют водоотвод в виде двух рядов нагорных канав, расположенных в 100 м друг от друга, или нагорной канавы в сочетании с мерзлотным валиком, который располагают с низовой стороны нагорной канавы в 50 м от подошвы насыпи. Уклон дна канав принимают не менее 5%.

Для поперечного (относительно оси насыпи) пропуска поверхностных вод следует проектировать [водопропускные трубы](#).

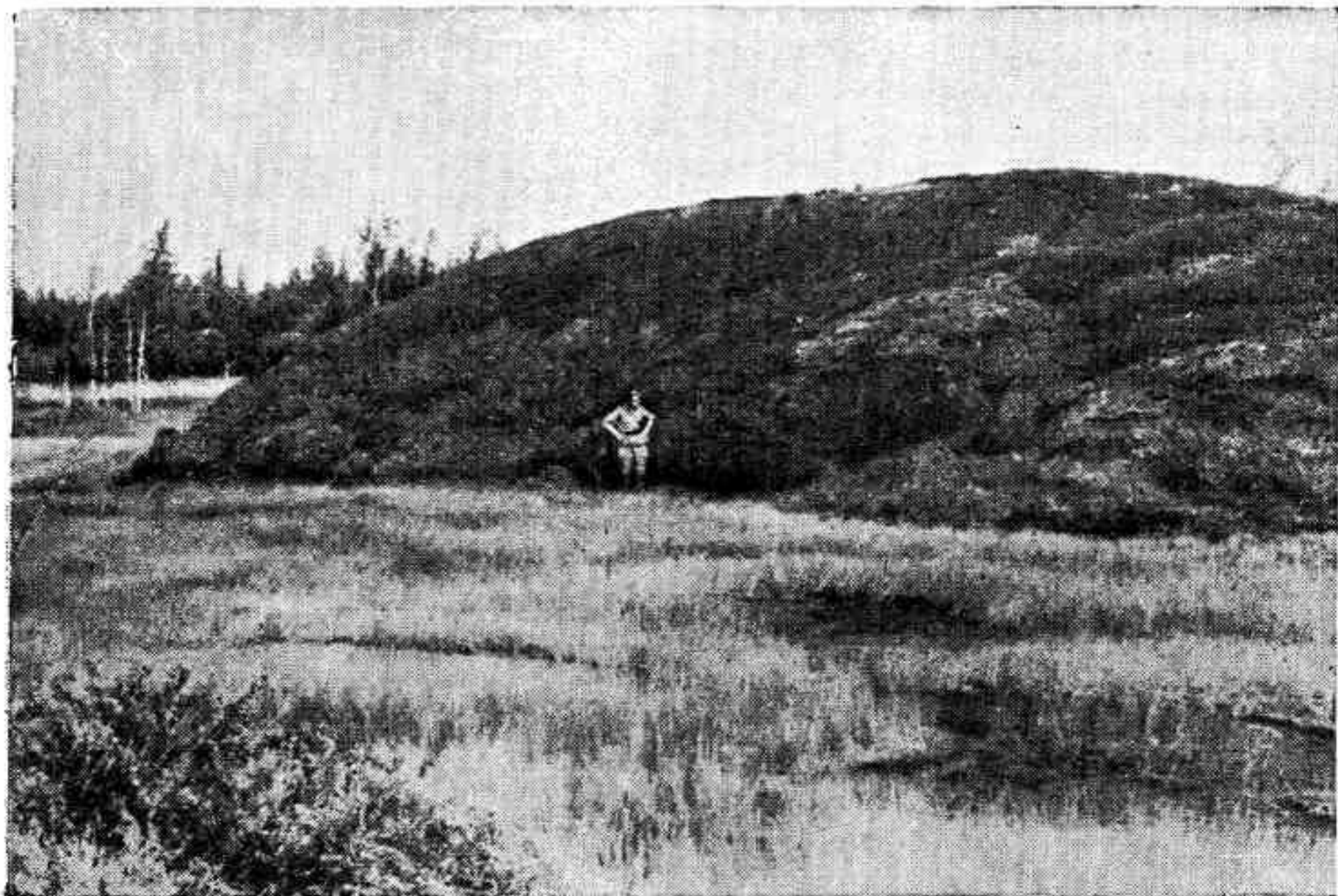
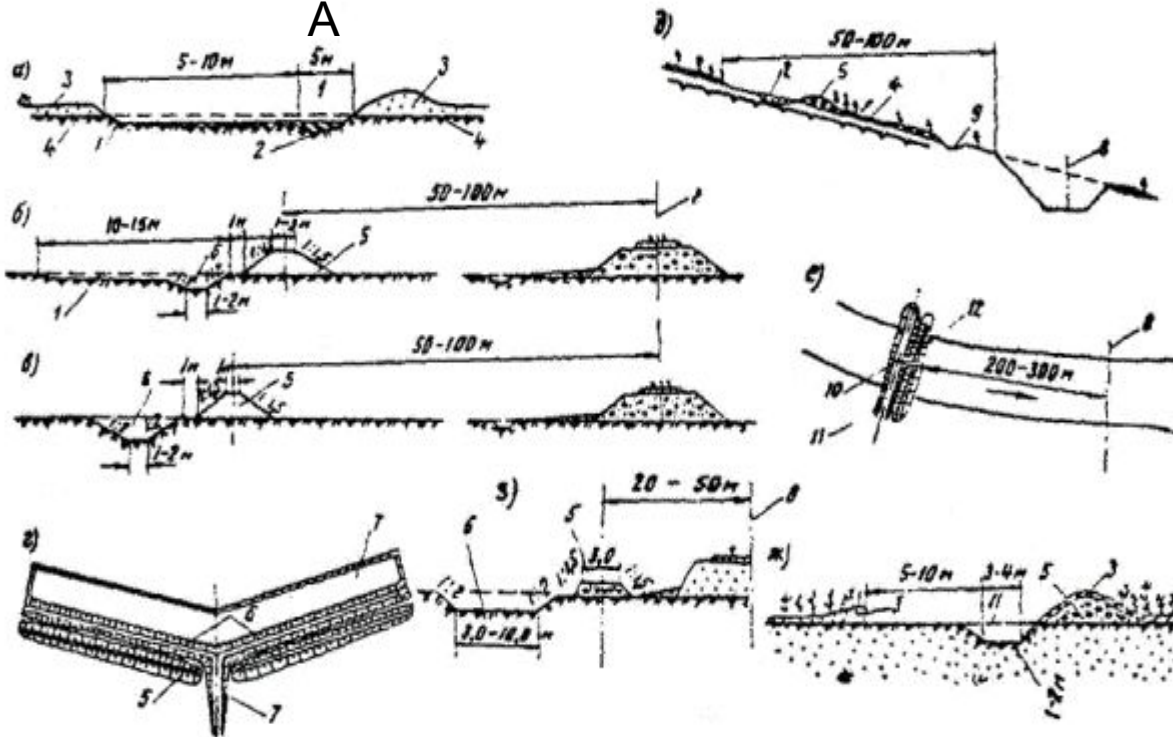


Рис. 225. Торфяной бугор.

МЕРЗЛОТНЫЕ ПОЯС

А



а - расчистка; б - расчистка с валом; в - канава с валом; г - схема расположений мерзлотного пояса в плане; д - схема расположения мерзлотного пояса на косогоре; е - схеме расположения мерзлотного пояса на промерзающем до дна водотоке; ж - разрез мерзлотного пояса вне водотока; з - схема расположения мерзлотного пояса в комплексе с водоотводным валиком; 1 - удаленный растительно-моховой покров; 2 - наледь; 3 - снег; 4 - торф; 5 - вал из грунта; 6 - канава с продольным уклоном не менее 0,002; 7 - выпуск из канавы в пониженную часть местности; 8 - ось пути; 9 - нагорная канава; 10 - канава шириной 3 - 4 м в речном льду с заглублением в дно водотока на 0,1 - 0,15 м; 11 - канава в грунте; 12 - вал из льда и снега.