

Глава 13. Особенности проектирования дорог в зоне распространения вечной мерзлоты, в зоне подвижных песков, в зоне оврагов, карста.

13.1.1. Проектирование дорог в районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов.

Вечномерзлыми (многолетнемерзлыми) называют грунты, содержащие замерзшую воду и имеющие температуру ниже 0°C в течение длительного периода времени.

Вечномерзлые (ВМГ) и многолетнемерзлые (ММГ) грунты составляют 47% территории бывшего СССР и 65% территории современной Российской Федерации.

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты имеет целый ряд особенностей, связанных с суровыми природно-климатическими условиями и особенностями социально-экономического развития таких регионов:

- наличие огромных территорий, занятых озерами, болотами, переувлажненными участками местности;
- повсеместное отсутствие качественных дорожно-строительных материалов, необходимых для строительства дорог;
- широкое распространение глинистых пылеватых грунтов, не пригодных для строительства;
- очень короткий теплый период года, когда можно выполнять дорожно-строительные работы (2,5 – 4,5 месяца);
- затяжной зимний период (7 – 9 месяцев) с экстремальными температурами минус $60-70^{\circ}\text{C}$;
- большое количество ВМГ и ММГ, вытаивание которых приводит к катастрофическим провалам и просадкам полотна дорог и сооружений на них;
- высокая стоимость производства работ из-за значительной удаленности от экономически развитых районов, отсутствия развитой сети дорог (стоимость в три и более раз превышает среднюю стоимость в европейском регионе России).

13.1.2. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты.

При проектировании дорог в зоне вечной мерзлоты учитывается дорожно-климатическое районирование территории.

На примере территории РФ. Территория делится на два региона:

- первый (основной, занимает 30 – 35 % территории), особенностью которого является сезонное промерзание грунтов, т.е. верхний слой грунта, который в теплое время года оттаивает, а зимой вновь замерзает – деятельный слой.
- второй (занимает 65 – 70 % территории), особенностью которого является протаивание слоя летом на некоторую глубину (сезонное оттаивание грунта), а остальную часть года находится в мерзлом состоянии.

Линия раздела регионов проходит по границе распространения многолетнемерзлых грунтов на территории РФ.

В основу дорожно-климатического районирования зоны вечной мерзлоты положены факторы, оказывающие основное влияние на устойчивость дорожных конструкций в зоне вечной мерзлоты:

- вид грунта деятельного слоя, его мощность и влажность;
- характер распространения ММГ и их температуры;
- среднегодовые температуры воздуха в регионе;
- рельеф местности и гидрологические условия.

В схеме деления территории зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические подзоны (рис. 11.1.1.) принята нумерация подзон I_1 , I_2 , I_3 .

Наиболее неблагоприятной для дорожного строительства является первая Северная подзона (I_1).

Природно-климатические условия второй Центральной подзоны (I_2) более предсказуемы и стабильны, более приемлемы для дорожного строительства.

Третья Южная подзона (I_3) высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов характеризуется островным распространением вечномерзлых грунтов.

В горных районах в связи с вертикальной зональностью изменение природно-климатических условий учитываются по мере увеличения высоты. В гористой местности вечномерзлые грунты обычно располагаются на заболоченных участках, северных склонах и в пониженных затененных местах.

Для более детального учета условий района расположения трассы автомобильной дороги принято деление на участки в зависимости от характера поверхностного стока и степени увлажнения (типы местности по увлажнению и мерзлотно-грунтовым условиям) (таблица 13.1).

Таблица 13.1

Типы местности	Условия увлажнения	Характерные признаки
1-й (сухие места)	<p>Без избыточного увлажнения.</p> <p>Поверхностный сток обеспечен.</p> <p>Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести</p>	<p>Каменистые возвышенности, крутые склоны, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезоннооттаивающего слоя более 2,5м</p> <p>Грунты гравийно-галечниковые, песчаные, а также супесчаные, непросадочные и малопросадочные</p>
2-й (сырые места)	<p>Избыточное увлажнение в отдельные периоды года. Поверхностный сток не обеспечен.</p> <p>Естественная относительная влажность грунтов от 0,8 до предела текучести</p>	<p>Плоские водоразделы, пологие склоны гор с мощностью сезоннооттаивающего слоя от 1,0 до 2,5м</p> <p>Грунты глинистые, просадочные</p>
3-й (мокрые места)	<p>Избыточное постоянное увлажнение.</p> <p>Водоотвод не обеспечен. Надмерзлотные и длительно стоящие поверхностные воды (более 20 суток).</p> <p>Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести</p>	<p>Заболоченные тальвеги, мари, замкнутые впадины с развитым мохоторфяным покровом и малой мощностью сезоннооттаивающего слоя (до 1м).</p> <p>Глинистые грунты, сильнопросадочные и чрезмерно просадочные грунты</p>

Дорожно-климатическое районирование

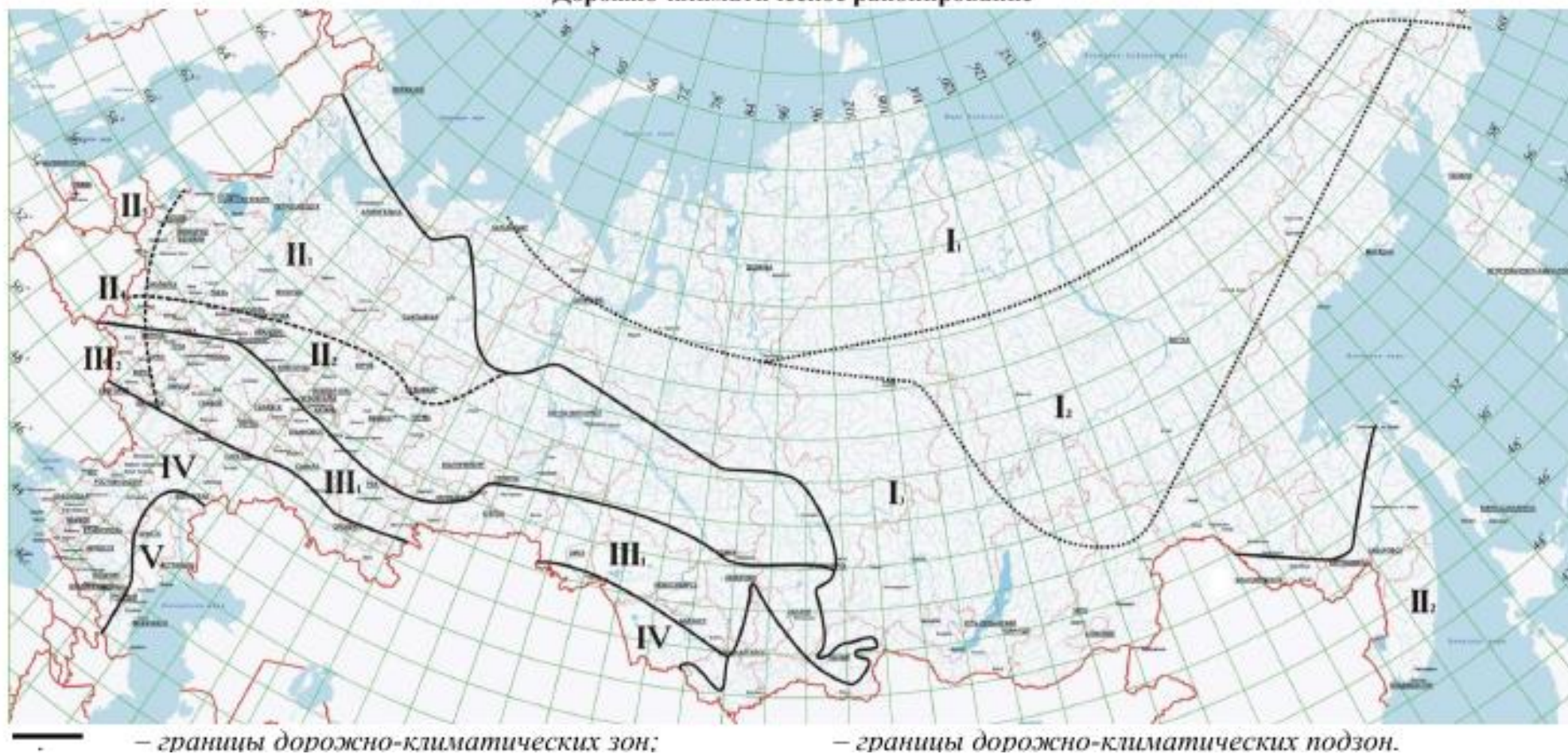


Рис. 13.1.1. Схема деления территории зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические подзоны

13.1.3. Изыскания автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты.

В процессе изысканий при проектировании и строительстве дорог и площадок под аэродромы в районах распространения ВМГ и ММГ необходимо тщательно учитывать особенности природно-климатических условий рассматриваемой зоны:

- вид и влажность грунтов сезоннооттаивающих и сезоннопромерзающих слоев;
- физико-механические свойства грунтов деятельного слоя, мощность деятельного слоя;
- мерзлотно-геологические процессы (бугры пучения, наледи, термокарст, солифлюкация) с выявлением причин их образования;
- температурный режим грунтов
- наличие и вид грунтовых (надмерзлотных и межмерзлотных) вод;
- климатические показатели района строительства.

В зависимости от изученности местности в топографическом, инженерно-геологическом и гидрогеологическом отношении может быть применен тот или иной вид аэрокосмических методов сбора информации и других типов получения информации:

- съемка на трехслойную фотопленку, передающая окраску снимаемой местности в естественных цветах;
- спектральная съемка на двухслойную фотопленку в районах ВМГ и ММГ для изучения состава, влажности и типов грунтов;
- инфракрасная (тепловая) съемка с использованием тепловизоров, чувствительных к малейшим изменениям температуры снимаемой поверхности;
- воздушное и наземное лазерное сканирование поверхности.

Аэрокосмические методы сбора информации имеют преобладающее значение на стадии обоснования инвестиций и технико-экономического обоснования конкурирующих вариантов трассы дороги или других транспортных объектов.

Наземные инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания целесообразно выполнять на значительной территории, намечаемой под строительство объектов мобильными комплексными экспедициями, состоящими из нескольких изыскательских отрядов.

При трассировании автомобильных дорог в районах распространения ВМГ и ММГ руководствуются следующими правилами:

- трассирование по наиболее сухим местам, на крупнообломочных скальных, песчаных и гравелистых грунтах без ледяных прослоек;
- обход участков с неблагоприятными мерзлотными и грунтово-гидрологическими условиями (высокое залегание подземных льдов, распространение солифлюкации, повышенная влажность и пылеватость грунтов, образование наледи);
- трассирование по склонам и террасам южной экспансии, избегая северных склонов косогоров;
- пересечение пониженных мест по кратчайшему направлению, при невозможности обойти;
- обход глубоких оврагов, а также жилых и производственных построек с подветренной стороны;
- расположение трассы, по возможности, по направлению господствующих ветров или под углом к ним менее 20° .

На всех стадиях изысканий дорог в районах распространения ВМГ и ММГ проводят мерзлотно-грунтовые исследования, включающие комплекс обследований, которые обычно при изысканиях в других районах не проводят:

- определение площади ВМГ и ММГ по конкурирующим вариантам трассы;
- определение глубины залегания и распространение по глубине ВМГ и ММГ, нередко льдонасыщенных грунтов;
- установление по глубине температуры и влажности талых и ММГ грунтов;
- определение мощности деятельных слоев грунта;
- определение теплофизических и физико-механических свойств мерзлых, оттаивающих и талых грунтов.

Учитывая сложность инженерно-геологических изыскательских работ для выполнения такого рода работ используются методы геофизической разведки: вертикальное электроразведывание, электропрофилирование, сейсморазведка и радиолокация с использованием самоходных георадаров.

В связи со сложностью природно-климатических условий регионов с ВМГ и ММГ в ходе выполнения проектно-изыскательских работ одновременно предусматриваются комплексы работ по экспериментальному обследованию мерзлотно-грунтовых условий с последующим многолетним мониторингом показателей (не менее 5-7 лет).

В программу мониторинга входит круглогодичное изучение:

- водно-теплового режима грунтов земляного полотна и грунтов естественного залегания (температура, влажность, глубина и скорость оттаивания и промерзания, источники увлажнения);
- осадок и пучения грунтов земляного полотна и грунтов естественного залегания;
- прочности и деформативности земляного полотна и грунтов естественных оснований (модули упругости, модули деформаций, сцепление и углы внутреннего трения);
- метеорологические условия.

13.1.4. Принципы проектирования и строительства дорог на вечномёрзлых и многолетнемёрзлых грунтах.

Многолетний опыт строительства автомобильных дорог на многолетнемёрзлых грунтах СССР, а также в последствии в США и Канаде доказал целесообразность проектирования и строительства земляного полотна насыпей из нецементированных обломочных грунтов. Однако применение таких грунтов в качестве материала для земляного полотна не решает полностью проблему обеспечения его прочности и в то же время определяет высокую стоимость строительства дорог.

!Основные принципы проектирования и строительства автомобильных дорог на ВМГ и ММГ:

- первый принцип – сохранение многолетнемёрзлых грунтов в основании земляного полотна в течении всего периода эксплуатации дороги (рис. 13.1.2). Этот принцип используется в особо неблагоприятной зоне для строительства (Северная подзона I_1), где целесообразно строительство дороги с сохранением естественного режима местности, предусматривая поднятие верхней поверхности ММГ в насыпи с сохранение их в мерзлом состоянии в течении всего периода эксплуатации дороги. Это достигается возведением насыпей такой высоты, при которой не происходит оттаивание грунтов в ее основании, а также использованием различных теплоизолирующих прослоек.

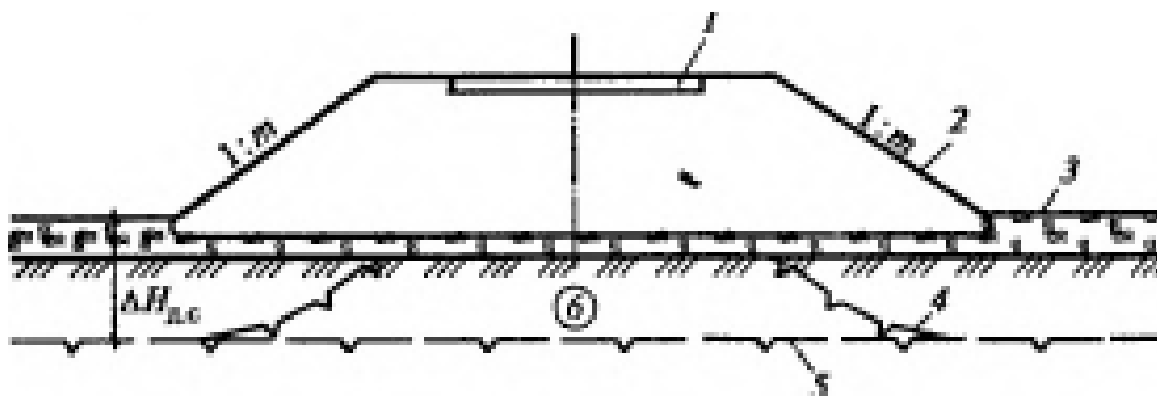


Рис. 13.1.2. Конструкция земляного полотна с сохранением мерзлоты в основании

- второй принцип – допущение частичного оттаивания многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна на величину, определяемую расчетом по допустимым деформациям дорожных покрытий (рис. 13.1.3.). Этот принцип чаще применим в природных условиях второй Центральной подзоны I_2 , где при меньшей влажности местности можно проектировать земляное полотно с частичным оттаиванием грунтов в основании с учетом возникающих деформаций. В этом случае появляется возможность значительного удешевления строительства за счет использования местных глинистых грунтов взамен дорогих привозных крупнообломочных дренирующих грунтов

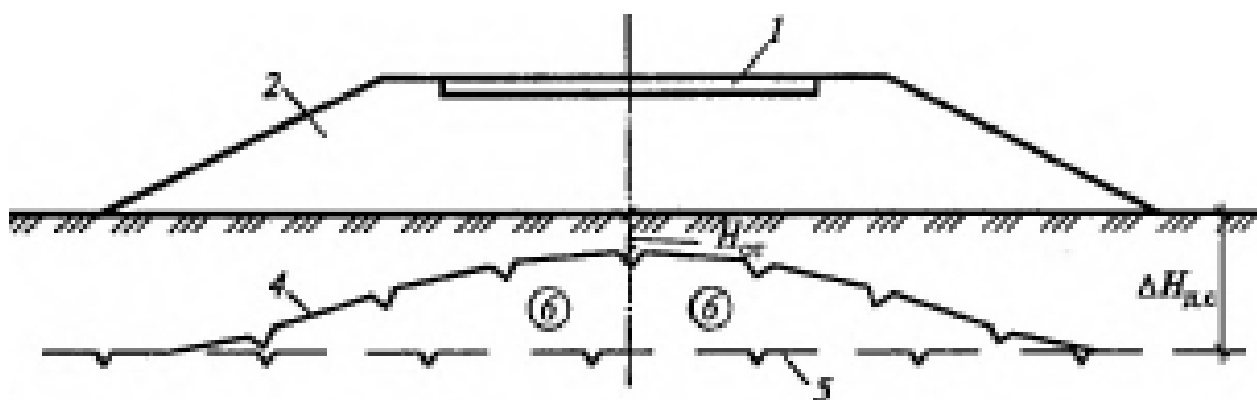


Рис. 13.1.3. Конструкция земляного полотна с допущением частичного оттаивания мерзлоты в основании с учетом деформации дорожных покрытий

- третий принцип – предварительное оттаивание ММГ за год до начала строительства дороги, подготовка и осушение придорожной полосы. (рис.13.1.4). Этот принцип используют в природных условиях третьей

Южной подзоны I_3 , где ММГ встречаются в виде высокотемпературной мерзлоты или в виде отдельных мерзлых островов среди талой толщи.

Земляное полотно в таких условиях сооружается из местных дренирующих грунтов, с обязательным предварительным оттаиванием грунтов в основании и осушенной дорожной полосы до возведения насыпи.

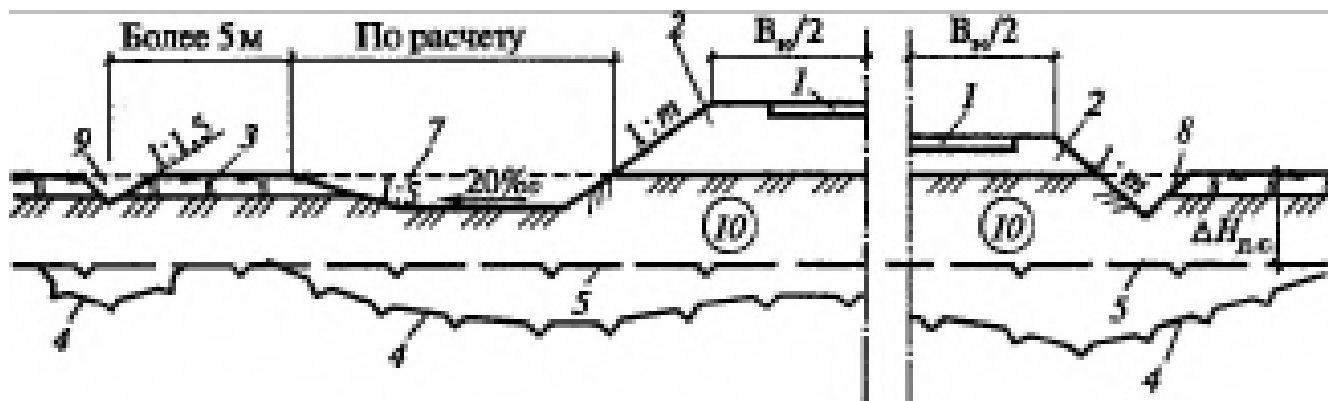


Рис. 13.1.4. Конструкция земляного полотна с предварительным оттаиванием мерзлоты в основании и осушением придорожной полосы

Обозначение к рисункам 13.1.2. – 13.1.4.:

1 – дорожная одежда; 2 – насыпь; 3 – мохорастительный покров; 4 – горизонт ММГ после строительства дороги; 5 – горизонт ММГ до строительства дороги; 6 – новообразовавшаяся мерзлота под насыпью; 7 – резерв; 8 – кювет; 9 – водоотводная канава; 10 – легко осушаемый грунт.

Основные правила для обеспечения устойчивости дорожных конструкций на местности с ММГ и ВМГ:

- проектирование земляного полотна в невысоких насыпях. Устройство выемок допускается в редких случаях на участках с благоприятными грунтово-гидрологическими условиями;
- возведение земляного полотна из скальных, крупнообломачных и песчаных грунтов, при дефиците – из местных глинистых;
- применение теплоизолирующих прослоек;
- применение геотекстиля в основании, в теле земляного полотна и в основании дорожной одежды;
- замена переувлажненных грунтов деятельного слоя крупнообломочными и песчаными грунтами.

13.1.5. Конструкции земляного полотна дорог в районах вечной мерзлоты.

Для возведения насыпей в районах распространения ВМГ и ММГ используются преимущественно местные грунты или привозные несвязные песчаные и крупнообломочные грунты. При сохранении под насыпью моховорастительного слоя нижний слой толщиной 0,3-0,5м устраивается из крупнообломочных грунтов с камнями крупностью не более 10см. переувлажненные глинистые грунты используются только в средней части насыпи при хорошем качестве уплотнения. Верхняя часть насыпей не менее чем на 0,5м отсыпается из дренирующих грунтов (непылеватые пески, щебень, гравий) (рис. 13.1.5).

При обосновании необходимой высоты насыпи учитывается необходимость обеспечения заданного температурного режима ВМГ и ММГ. Необходимая высота насыпи определяется равной толщине деятельного слоя с учетом ряда поправок, характеризующих условия оттаивания.

Для уменьшения высоты насыпи в теле насыпи или ее основании предусматриваются теплоизолирующие прослойки. Естественные теплоизолирующие прослойки (торф, мох, древесная щепа) эффективны лишь в сухом состоянии. Насыщение их водой сильно повышает их теплопроводность, поэтому требуются дополнительные меры защиты от грунтовых и поверхностных вод. Искусственные теплоизоляционные материалы – пористые материалы (пенопласт, полиуретан, полистирол) при небольшой толщине (5-10см), уложенные в нижней части земляного полотна, способны сократить в 1,5 – 2 раза глубину сезонного оттаивания (толщину деятельного слоя) и, как следствие, высоту проектируемой насыпи.

При проектировании дорог с частичным оттаиванием основания при определении необходимой высоты насыпи учитывают уплотнение оттаявшего грунта под весом насыпи и действия транспортной нагрузки, а также зимнее вспучивание и последующую осадку, нарушающую ровность покрытия и приводящую к его разрушению.

Насыпи на косогорных участках со стороны низовых откосов защищают от протаивания путем устройства теплоизоляционных присыпок. Вместо нагорных канав с верховой стороны устраиваются нагорные валики, вдоль которых вода отводится в пониженные места.

В случае вынужденного устройства выемок в районах с ВМГ и ММГ с благоприятными грунтово-гидрологическими условиями им придают пологие откосы и защищают теплоизолирующими слоями (рис. 13.1.6).

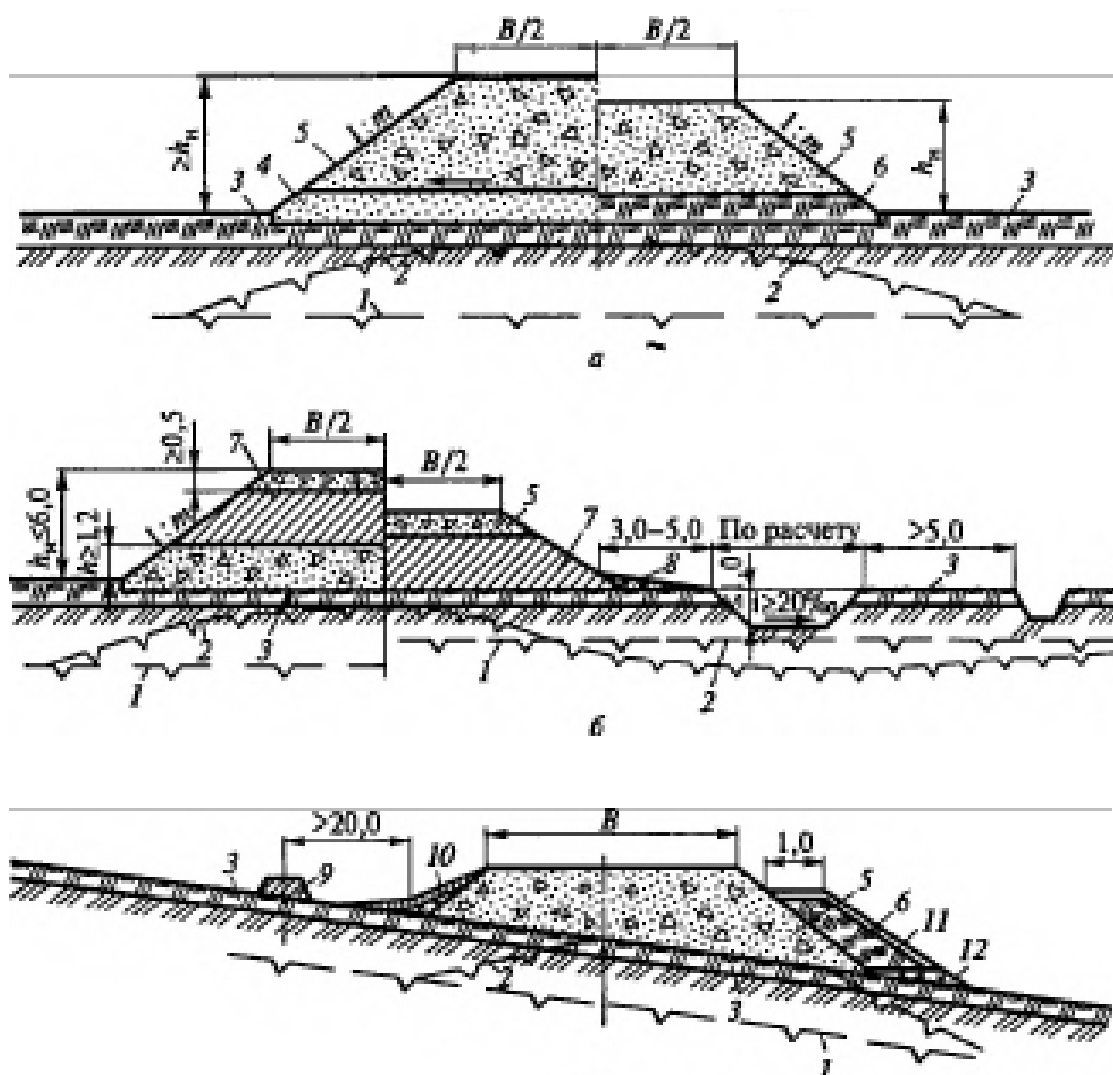


Рис. 13.1.5. Поперечные профили насыпей на ВМГ и ММГ:

а — из дренирующих грунтов на льдонасыщенном основании с устройством защитного дренирующего слоя из песка или мелкого гравия либо теплоизолирующего слоя из мха; **б** — с использованием местного глинистого грунта; **в** — на пологом косогоре с уклоном менее 1:5; 1 — верхний уровень вечномерзлых грунтов до отсыпки насыпи; 2 — то же, после постройки насыпи; 3 — моховой покров; 4 — защитный слой из мелкого дренирующего грунта; 5 — песчано-гравийный грунт; 6 — теплоизоляционный моховой слой; 7 — глинистый грунт; 8 — берма; 9 — нагорный валик; 10 — укрепление мощением; 11 — защитный слой растительного грунта толщиной 15 см; 12 — дренирующая присыпка

Пылеватые пучинистые грунты в основаниях заменяют дренирующими и обеспечивают отвод воды из выемок и дренирующих слоев.