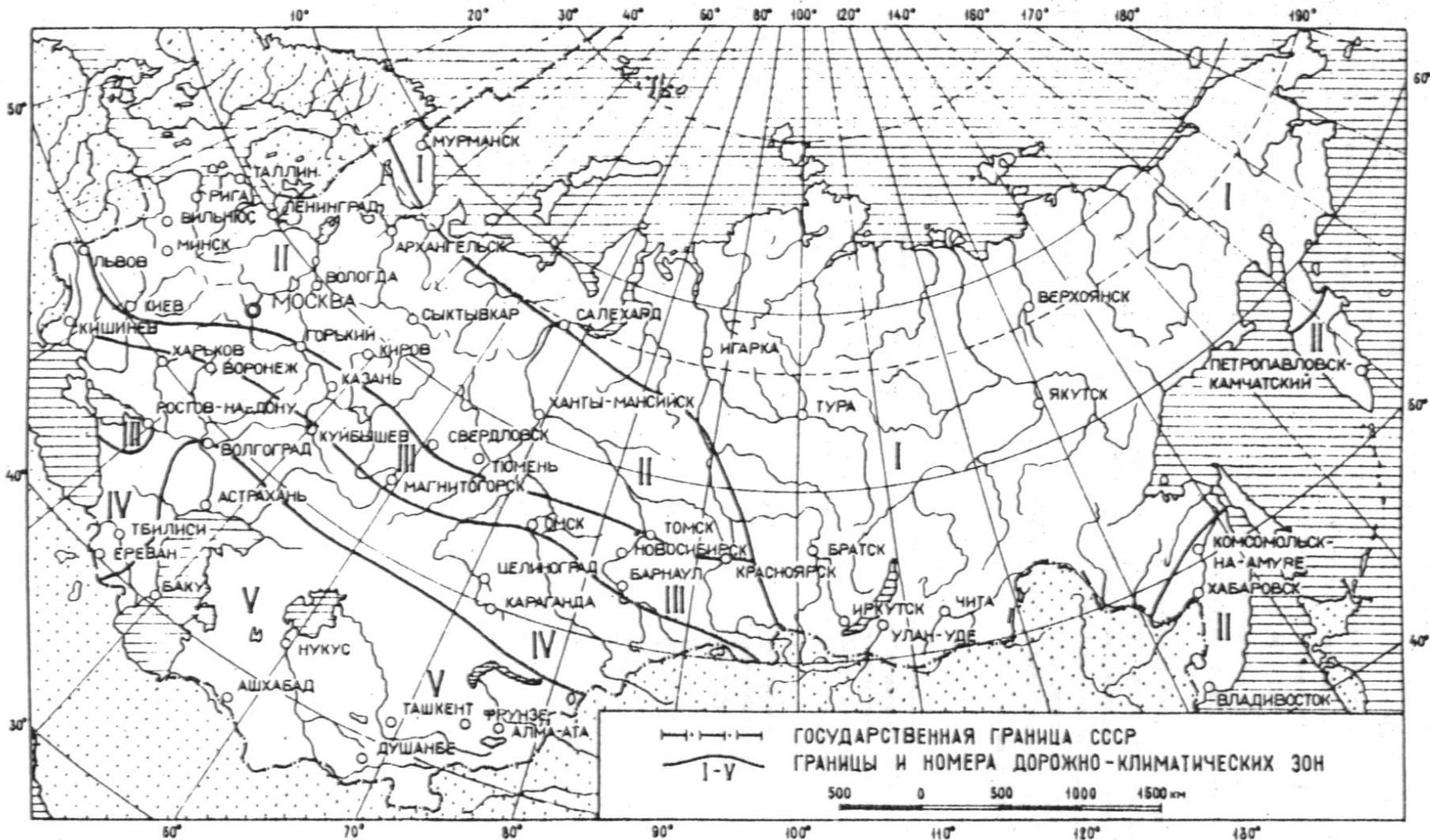
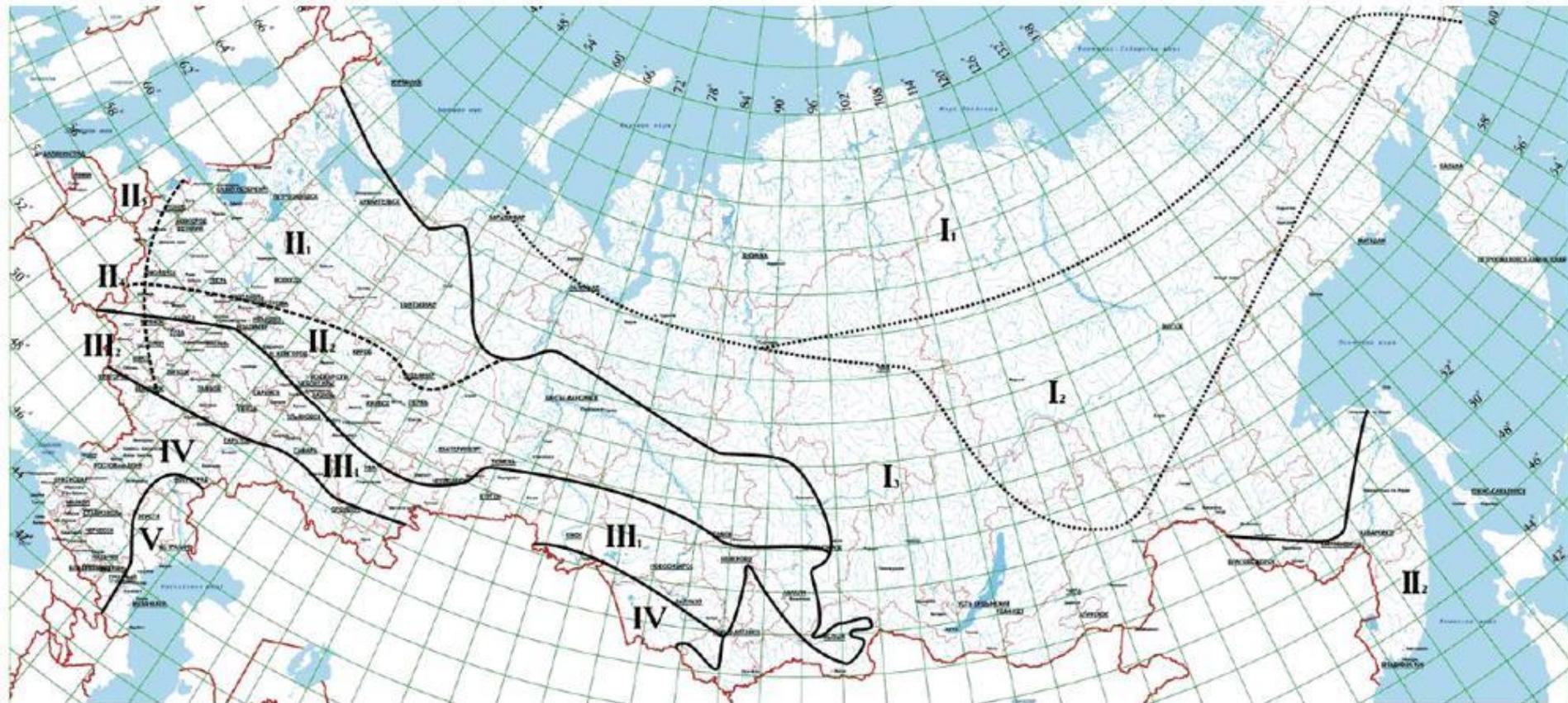


Особенности строительства автомобильных дорог в условиях вечной мерзлоты

ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ



ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ



— границы и номера дорожно-климатических зон; — границы дорожно-климатических подзон.

Подзоны

- первая I1 - **Северная подзона** низкотемпературных многолетне-мёрзлых грунтов (НТММГ) сплошного распространения с высокой влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя.
- вторая I2 - **Центральная подзона** низкотемпературных многолетнемёрзлых грунтов (НТММГ) сплошного распространения с умеренной влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя.
- третья I3 - **Южная подзона** высокотемпературных многолетнемёрзлых грунтов (ВТММГ) сплошного и островного распространения с умеренной влажностью грунтов сезоннооттаивающего слоя.

В основу современного дорожно-климатического районирования положены факторы, оказывающие решающее влияние на устойчивость дорожных конструкций в данной зоне:

- вид грунта сезоннооттаивающего слоя и его влажность;
- характер распространения многолетнемёрзлых грунтов и их температура на уровне нулевых амплитуд;
- мощность слоя сезонного оттаивания;
- среднегодовые температуры воздуха;
- рельеф местности;
- гидрология.

Типы местности по характеру поверхностного стока, степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям

Тип местности	Степень и 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 мохо-торфяным 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

Освоение районов зоны Вечной Мерзлоты осложняли огромные размеры территории и целый ряд особенностей, связанных со сложностью природных условий и с трудностями социально-экономического характера удалённых регионов:

- огромные территории, занятые озёрами, болотами, марями и многолетнемёрзлыми грунтами (ММГ);
- практически повсеместное отсутствие качественных ДСМ: песчаногравийных, щебёночных и других каменных материалов, необходимых для строительства дорог;
- широкое распространение глинистых пылеватых грунтов, неблагоприятных для дорожного строительства;
- очень короткий тёплый период года (менее 2,5-4,5 месяцев), когда можно более или менее нормально вести работы, связанные со строительством дорог;

- суровые длинные зимы (до 7-9 месяцев в году) с очень низкими отрицательными температурами воздуха, достигающими до -60°C и ниже, когда практически невозможно вести строительные работы на дорогах;
- наличие в северных и центральных районах с многолетнемерзлыми породами (ММП) жильных и погребённых льдов, вытаявание которых приводит к значительным термокарстовым просадкам и катастрофическим провалам как местности, так и полотна дорог и других насыпных дамб, строительных площадок и т. п.;
- распространение мерзлотно-геоморфологических образований: бугры пучения, морозобойные трещины, а также наледи и термокарстовые явления;
- значительная удалённость от экономически развитых районов страны и слабое развитие транспортной сети;

- из-за отдалённости от экономически развитых районов страны стоимость строительства в три раза, а в отдельных районах Крайнего Севера в пять-шесть раз выше, чем в центральных районах Европейской части;
- высокая стоимость рабочей силы на Крайнем Севере (в 3,4-4,8 раза больше), которая зависит не только от повышенной трудоёмкости работ, но и от повышенных тарифных ставок, льгот для работников и их семей.

Мёрзлыми называют грунты (породы), если они имеют отрицательную температуру (ниже 0°C) и содержат в своём составе лёд, который цементирует минеральные частицы или заполняет пустоты, поры и трещины.

Мёрзлые грунты состоят из минеральных частиц, воды, льда и воздуха. Величина, форма и состав этих составляющих характеризуют особую криогенную (мерзлотную) текстуру. Мерзлотоведы различают от 6 до 12 и даже до 15 различных видов криогенной текстуры.

Наледи - это слоистые ледяные массивы, возникшие при замерзании периодически изливающихся природных или техногенных вод на поверхности земли, льда или инженерных сооружений.

Образование, режим нарастания и разрушения наледей, а также выбор противоналедных мероприятий во многом зависят от генезиса участвующих в процессе вод.

Причины наледообразования следующие:

- промерзание водоносных систем с образованием криогенного напора и разгрузка его на поверхность;
- приложение внешней нагрузки на ледяной покров;
- колебания расходов подналедных водных потоков;
- таяние снега и льда в условиях частого перехода воздуха через 0°C ;
- водопритоки на охлаждённые берега в результате периодических и непериодических приливов;
- сброс промышленных и бытовых вод в холодное время года.

Наледь



Термокарст представляет собой образование просадочных и провальных форм рельефа вследствие вытаявания подземных льдов или оттаивания мёрзлого грунта. Механизм процесса заключается в уплотнении (просадке) оттаявших сильнольdistых пород или пород, содержащих мономинеральные залежи льда, под действием быстрого давления оттаявшего слоя, когда внутригрунтовая влага отжимается на поверхность или дренируется водоносным горизонтом.

Причиной возникновения термокарста является такое изменение теплооборота на поверхности почвы, при котором глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или сильно льdistого многолетнемёрзлого грунта, либо происходит смена знака среднегодовой температуры и начинается многолетнее оттаивание мёрзлых толщ.

Наиболее распространённые формы проявления термокарста - это заболоченные впадины и термокарстовые озёра глубиной от 0,5 до 20 м на слабодренированных поверхностях. При развитии термокарста по повторножильным льдам на дренированных участках образуются положительные (выступающие) формы рельефа - байджарахи и бугристые полигоны.

Одна из причин современного термокарста - деятельность человека, проявляющаяся, прежде всего, в нарушении почвенно-растительного покрова, что влечёт за собой резкое увеличение глубины сезонного протаивания из-за нарушения водно-теплового режима естественного сонования.



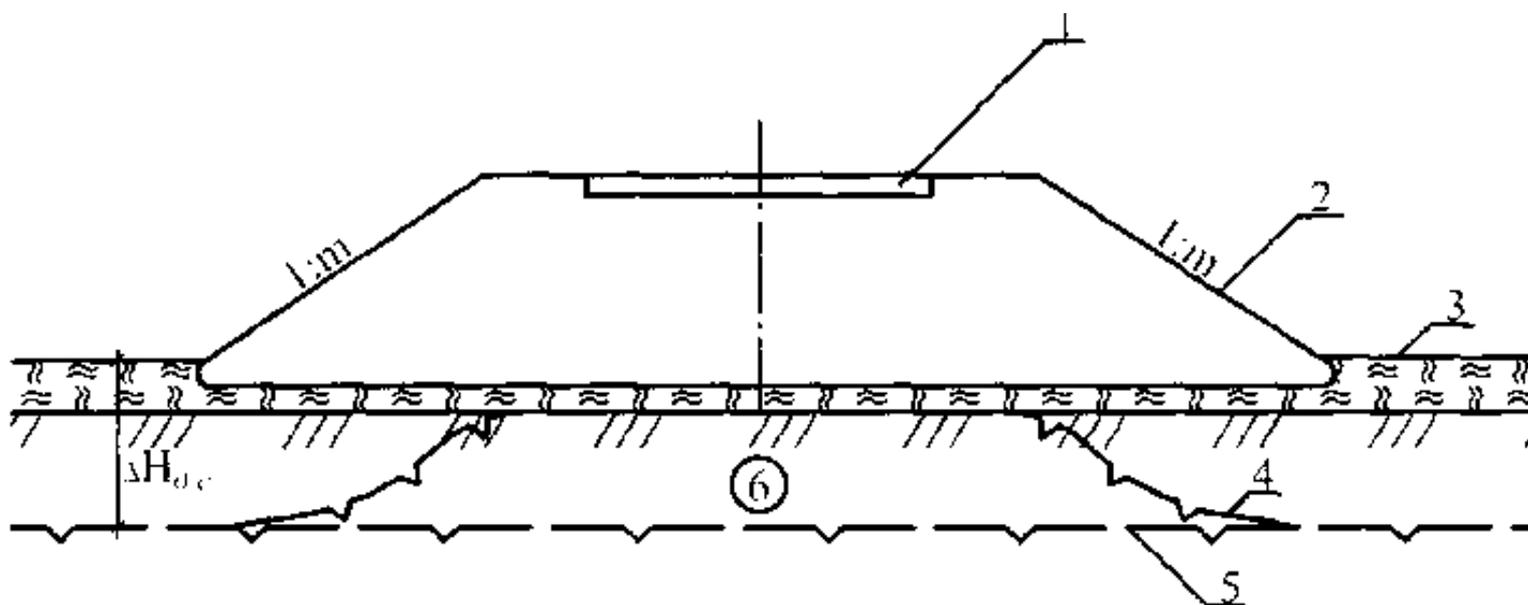
Термокарст



Байджарахи на склоне

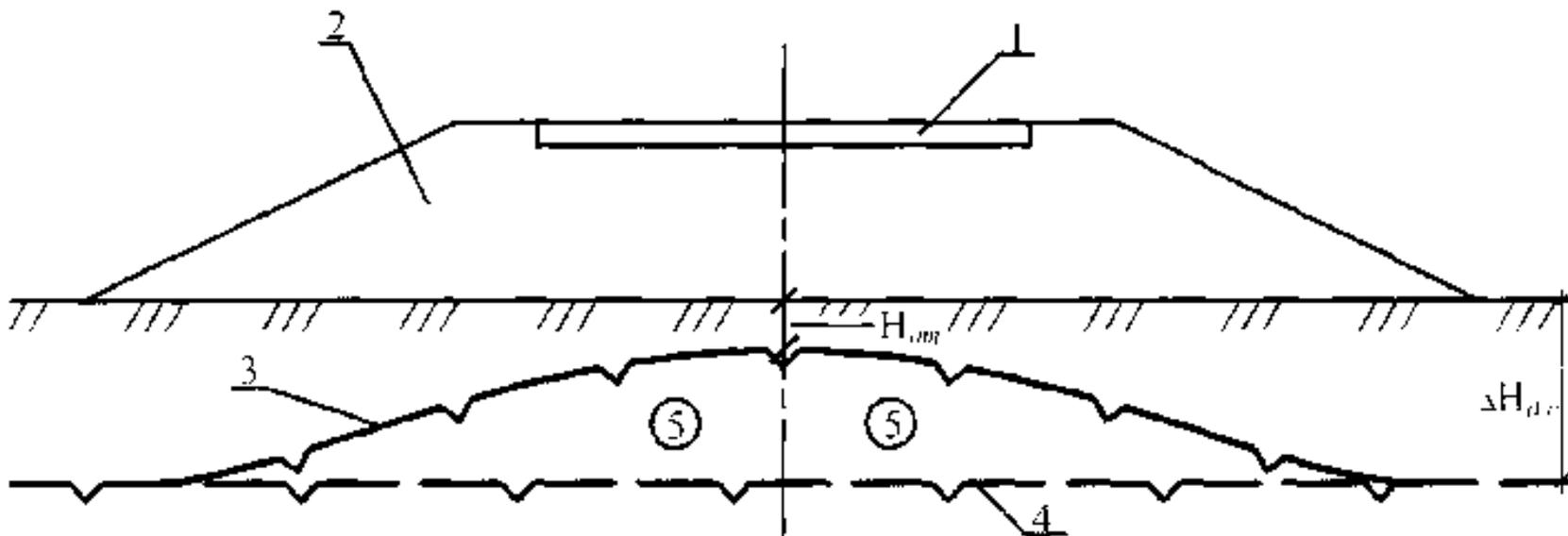
Принципы проектирования земляного полотна

Первый принцип – обеспечение поднятия верхнего горизонта вечной мерзлоты не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги.



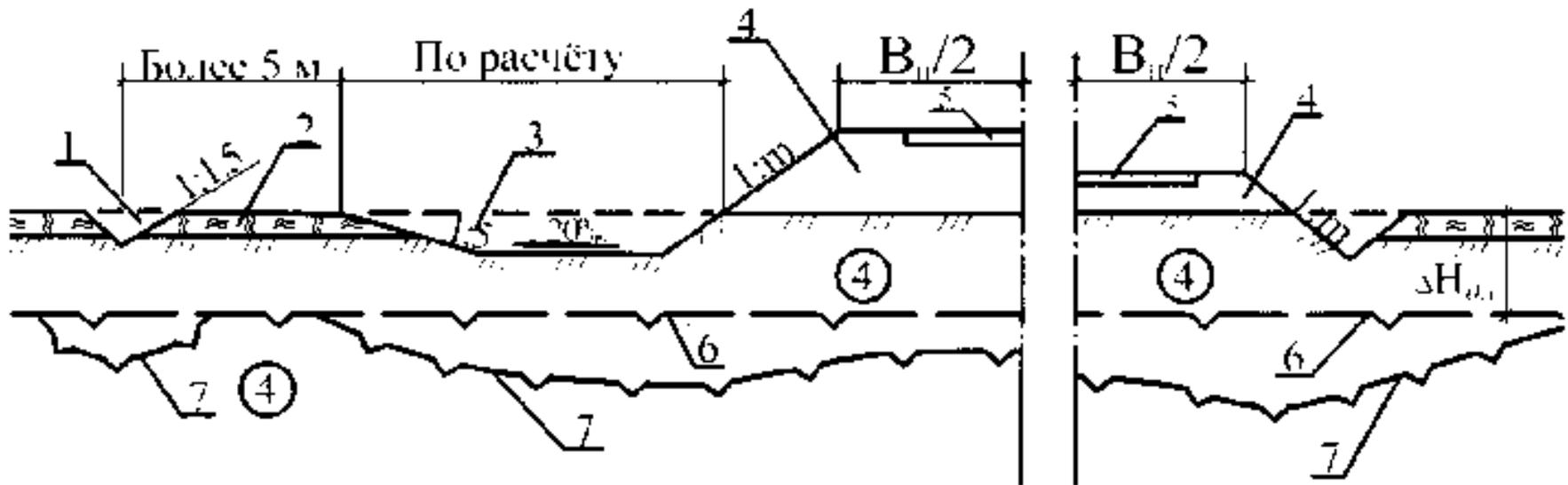
1 - дорожная одежда; 2 - насыпь; 3 – мохорастительный покров; 4 - ВГММГ после строительства дороги; 5 - ВГММГ до строительства дороги; 6 - новообразованная мерзлота под насыпью

Второй принцип – допущение оттаивания грунтов в основании насыпи в период эксплуатации дороги с учетом допустимой осадки земляного полотна на величину, определяемую расчётом по допустимым деформациям дорожных покрытий.



1 - дорожная одежда; 2 - насыпь; 3 - ВГММГ после постройки насыпи; 4 - ВГММГ до постройки насыпи; 5 - новообразованная мерзлота; $H_{доп}$ – допустимая деформация дорожной одежды

Третий принцип – обеспечение предварительного оттаивания и осушения грунтов основания за год до начала строительства дороги.



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

На участках, где земляное полотно запроектировано по первому принципу, запрещается изменять сроки работ, установленные проектом производства работ. Изменения, необходимость которых возникает в процессе строительства (производство работ в летний период), могут быть допущены после согласования с организацией, разработавшей проект. **П р и м е ч а н и е** – Основной объем земляных работ должен быть выполнен в зимнее время в целях максимального использования естественного холода для промораживания грунтов в основании.

В летний период необходимо:

- довести характеристики земляного полотна, отсыпанного в зимний период, до требуемых значений плотности и геометрических размеров путем уплотнения грунта тела насыпи, планировки откосов и укрепительных работ;
- заготовить грунт, в том числе гидромеханизированным способом, для работ в зимний период;
- выполнить укрепительные и отделочные работы на искусственных сооружениях.

В зимний период необходимо:

- произвести подготовительные работы, в том числе построить автозимники, подготовить грунтовые карьеры для разработки грунта зимой и в следующий зимний период;
- произвести (при необходимости) буровзрывные работы на участках с мерзлыми грунтами, которые при оттаивании переходят в текучее состояние;
- соорудить временные землевозные дороги между карьером и трассой.

Правила производства работ

Подготовительные работы

В состав подготовительных работ входят:

- создание геодезической разбивочной основы (ГРО);
- расчистка дорожной полосы и карьеров от леса, кустарника, снега;
- удаление мохорастительного покрова с карьеров;
- строительство подъездных дорог к карьерам.

Сроки выполнения подготовительных работ назначают в зависимости от типа местности и принятого принципа проектирования земляного полотна.

На участках, где земляное полотно запроектировано по первому и второму принципу, лес, кустарник, бугры пучения удаляют только в зимний период на ширину основания насыпи, при этом сохраняют снежные отложения до 20 см. Запрещается корчевать пни на просеке.

Мохорастительный покров в основании насыпи и в пределах охранной зоны (ориентировочно до 50 м по обе стороны от оси трассы), должен быть сохранен.

В качестве подъездных дорог к карьерам зимой используют автозимники, а в летнее время – автозимники с продленными сроками эксплуатации или временные дороги с шириной земляного полотна не менее 8 м и высотой не менее 0,6 м.

Перед началом основных земляных работ выполняют обследование района проложения трассы для уточнения условий и технологических особенностей производства работ.

При обследовании определяют:

- места укладки снега, удаляемого с поверхности карьеров;
- влажность грунтов в карьерах.

На основе данных, полученных в результате обследования, в проекте производства работ (ППР) уточняют сроки и порядок удаления снега с поверхности карьеров.

Земляное полотно из крупнообломочных и песчаных грунтов

Насыпь, проектируемую по первому принципу, следует возводить в зимнее время после промерзания грунта на глубину не менее 0,3 м. Нижние слои отсыпают на высоту до 0,5 м способом «от себя», а последующие – продольным.

Насыпь следует сооружать на полную высоту в одну или две стадии: часть отсыпают зимой на промерзшее основание (первая) и затем доводят до проектной отметки летом (вторая). В две стадии насыпь сооружают преимущественно при использовании второго принципа проектирования.

При использовании первого принципа проектирования при отсыпке в две стадии сроки второй стадии определяют исходя из условия сохранения грунта под насыпью в мерзлом состоянии. Эти сроки устанавливаются теплотехническими расчетами в процессе проектирования и соответствуют времени, необходимому для оттаивания слоя насыпи, отсыпанного на первой стадии.

Насыпь, проектируемая по второму принципу проектирования, должна быть отсыпана до проектных отметок к сроку, когда оттаивание грунтов основания достигнет расчетной (допустимой) глубины, установленной при проектировании. Работы выполняют в зимний или весенне-летний период, либо поэтапно (нижняя часть насыпи отсыпается в зимний период, верхняя – в летний).

При использовании для возведения насыпи сухо- и твердомерзлых грунтов на второй стадии предусматривают дополнительное уплотнение нижней части насыпи в теплый период вибрационными катками. В районах с островным распространением мерзлоты при отсыпке насыпей в зимний период талыми грунтами время от их разработки до окончания уплотнения не должно превышать: при температуре воздуха до минус 10 – 1,5 ч, минус 10 – 20 – 1ч, минус 20 – 30 – 0,5 ч.

Насыпь из крупнообломочных или песчаных грунтов возводят послойно на полную высоту с разравниванием и уплотнением.

Земляное полотно из глинистых грунтов

Выемки в глинистых грунтах в соответствии с проектом производства работ (ППР) разрабатывают следующими способами:

- рыхлением мерзлого грунта взрывами с последующей разработкой экскаваторами в отвал или с погрузкой в транспортные средства;
- взрывами грунта на выброс или сброс с доработкой экскаваторами и бульдозерами;
- послойной разработкой грунта по мере его естественного оттаивания на глубину 15 – 20 см и перемещением его бульдозерами в отвал или кавальеры для последующей погрузки экскаваторами в транспортные средства.

Способ разработки грунта назначают в процессе составления ППР.

Выемки глубиной до 2 м разрабатывают по поперечной схеме, а более 2 м – по продольно-участковой схеме. Аналогичным способом разрабатывают полувыемки на неустойчивых склонах.

Выемки в льдонасыщенных грунтах устраивают взрывным методом с укладкой теплоизолирующего материала на откосы сразу же после завершения земляных работ.

На участках с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями (сухие места) земляное полотно возводят в соответствии со СНиП 3.06.03-85.

Грунт земляного полотна уплотняют, как правило, катками на пневматических шинах, применяя легкие катки (массой до 10 т) для подкатки и тяжелые (от 25 т до 50 т) – для окончательного уплотнения, соблюдая требования СНиП 3.06.03. Целесообразно использование виброуплотнения и трамбование. Необходимое количество проходов катка зависит от принятой нормы плотности, влажности грунта и определяется пробным уплотнением.

Земляное полотно из местных грунтов, возводимое способом промораживания

Насыпь из глинистых грунтов в нижней части отсыпают слоями от 0,25 до 0,3 м по мере полного промерзания каждого слоя.

Насыпь необходимо возводить в следующем технологическом порядке:

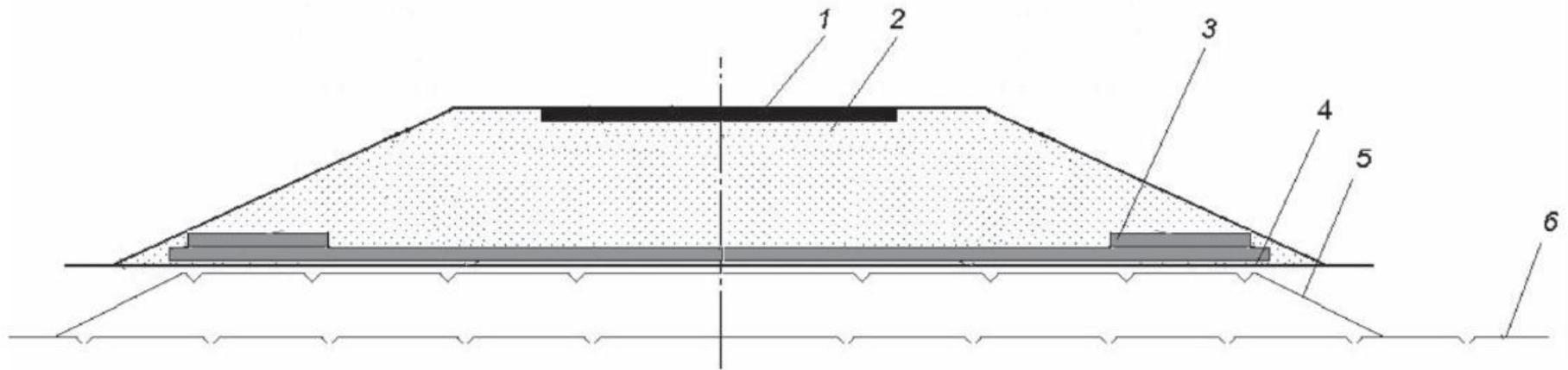
- в осенний период бульдозером повышенной проходимости удаляют мохорастительный покров на ширину подошвы насыпи;
- при установлении среднесуточных температур воздуха ниже 0 °С систематически расчищают дорожную полосу от снега бульдозером, обеспечивая промерзание грунта основания на глубину не менее 1,0 м;
- доставляют глинистый грунт автомобилями-самосвалами, отсыпают продольным способом на промерзшее основание, разравнивают, уплотняют катком на пневматических шинах; таким образом устраивают все слои глинистой части насыпи с их промораживанием.

Земляное полотно с теплоизоляционным слоем

В качестве теплоизоляционного материала как правило используют вспененные геоплиты (пенопласт и т.п.).

В состав технологического процесса по устройству теплоизоляционных слоев дорожной конструкции входят следующие операции:

- устройство выравнивающего слоя;
- укладка геоплит;
- устройство защитного слоя.



1 – дорожная одежда; 2 – насыпь; 3 – вспененные геоплиты;

4 – выравнивающий слой под вспененными геоплитами;

5 – положение верхнего горизонта вечной мерзлоты после сооружения насыпи; 6 – положение верхнего горизонта вечной мерзлоты, до сооружения насыпи.

Устройство выравнивающего слоя включает транспортировку, распределение, профилирование и уплотнение песка. Поверхность выравнивающего слоя перед укладкой на нем вспененных геоплит должна быть очищена от посторонних предметов и снега.

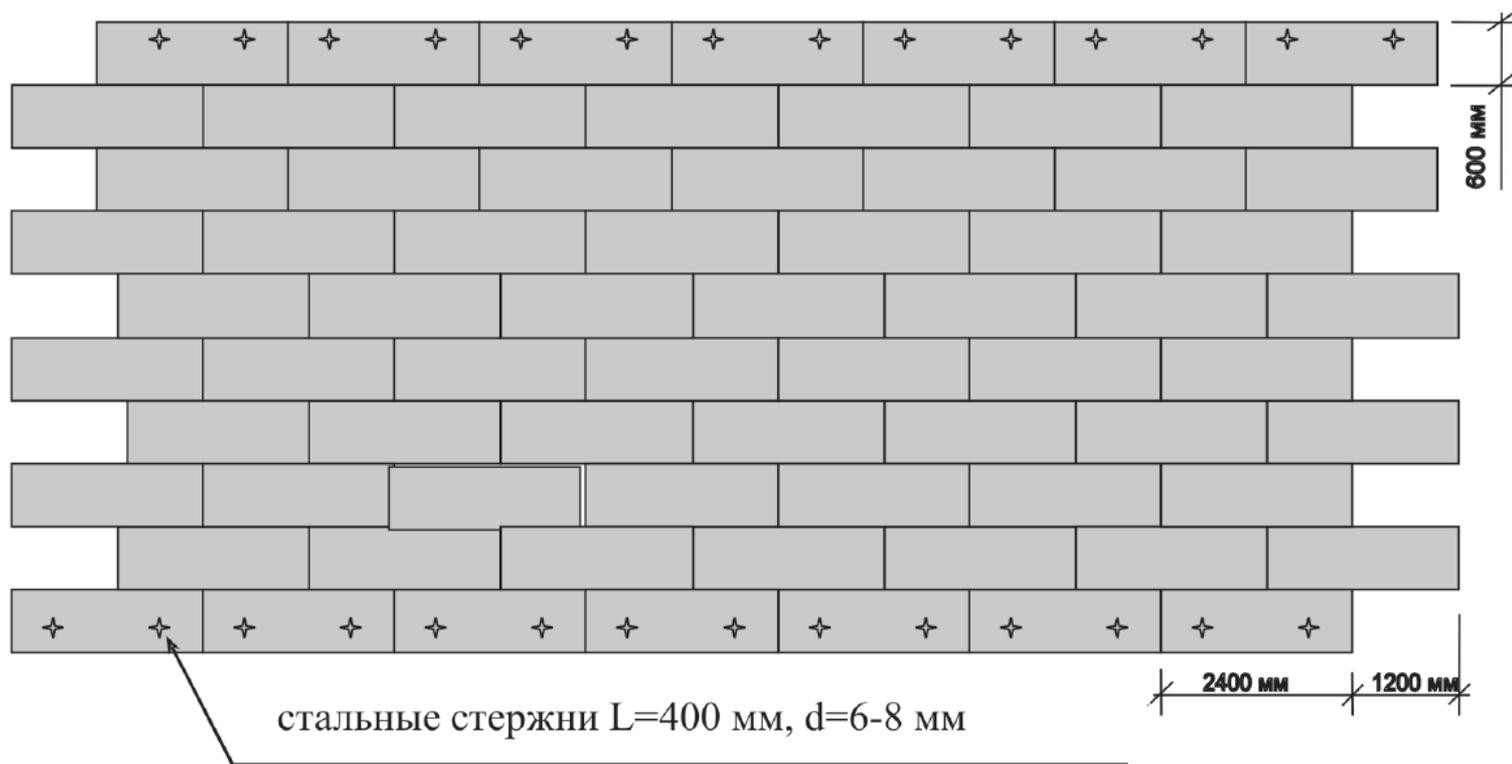
Выравнивающий слой должен соответствовать требуемым характеристикам ровности и плотности в соответствии со СП78.13330.2012 и принят по акту на скрытые работы. Выравнивающий слой, как правило, имеет переменную толщину, определяемую микрорельефом поверхности. Минимальная толщина слоя над выступами микрорельефа должна быть не менее 5 см в плотном теле.

В выравнивающем слое в основании вспененных геоплит не должно быть мерзлых комьев, поэтому необходимо обеспечить своевременную заготовку песка, пригодного для этой цели. Следует использовать либо талый песок, извлеченный из середины бурта и транспортированный автомашинами с утеплителем, либо сыпучемерзлый.

Отсыпанный выравнивающий слой планируют бульдозером или автогрейдером.

Укладка вспененных геоплит начинается с разметки выравнивающего слоя, для чего используются трассировочный шнур, рулетка и штыри.

Вспененные геоплиты укладывают вручную бригады рабочих. Геоплиты следует укладывать таким образом, чтобы поперечные швы в соседних рядах геоплит располагались вразбежку.



Раскладка вспененных геоплит в теплоизоляционном слое

Под откосной частью вспененные геоплиты укладывают, как правило, в два слоя. При этом швы нижележащего слоя вспененных геоплит необходимо перекрывать вышележащими геоплитами.

При укладке необходимо обеспечить равномерное опирание всей поверхности вспененной геоплиты на выравнивающий слой. Если в процессе укладки опирания всей поверхности геоплиты не произошло, то плиту следует поднять и подсыпать песок, выравнивая основание плиты.

Вспененные геоплиты крайних рядов скрепляют с соседними двумя стальными стержнями П-образной формы диаметром от 6 до 8 мм, длиной от 30 до 50 см, в соответствии со схемой раскладки геоплит.

Устройство теплоизоляционного слоя следует выполнять в холодное время года при температуре воздуха ниже 0 при отсутствии метели, шквальных и штормовых ветров.

Теплоизоляционный слой должен быть принят по акту на скрытые работы.

Устройство защитного слоя включает транспортировку, распределение, профилирование и уплотнение песка.

Если защитный слой выполняет согласно проекту функции дренирующего слоя, песок должен иметь коэффициент фильтрации в соответствии с расчетным не ниже 2 м/сут. (ГОСТ 5180-2015).

Толщина защитного слоя должна быть не менее 30 см в плотном теле. Защитный слой отсыпают методом «от себя». Проезд строительной техники по вспененным геоплитам не допускается.

Запрещается проход строительной техники по защитному слою толщиной менее 30 см в плотном теле в процессе производства работ.

Распределение песка производят бульдозером, контролируя толщину слоя нивелированием. Автогрейдером производят профилирование поверхности песка за 1 – 2 прохода по одному следу. Уплотнение производят гладковальцовым катком.

Насыпь на участках с мелкими буграми пучения (до 30 см) следует возводить, увязывая все виды работ по времени и стадийности. На первой стадии устраивают выравнивающий слой на высоту бугра пучения, укладывают теплоизоляционный материал и засыпают его слоем грунта от 0,5 до 0,6 м. На второй стадии доводят насыпь до проектной отметки.

На участках с мелкими буграми пучения в пределах дорожной полосы необходимо отсыпать сплошной выравнивающий слой, с тем, чтобы использовать его в дальнейшем для проезда автомобильного транспорта и дорожных машин. В местах расположения бугров пучения по ходу работ следует закрепить на них выноски и отметить их с привязкой к пикетажу. До начала оттепели над буграми пучения необходимо уложить теплоизоляционный слой и отсыпать насыпь, соблюдая требования по выполнению земляных работ в зимний период.

Технология производства работ в карьере



Схема работы бульдозера в карьере

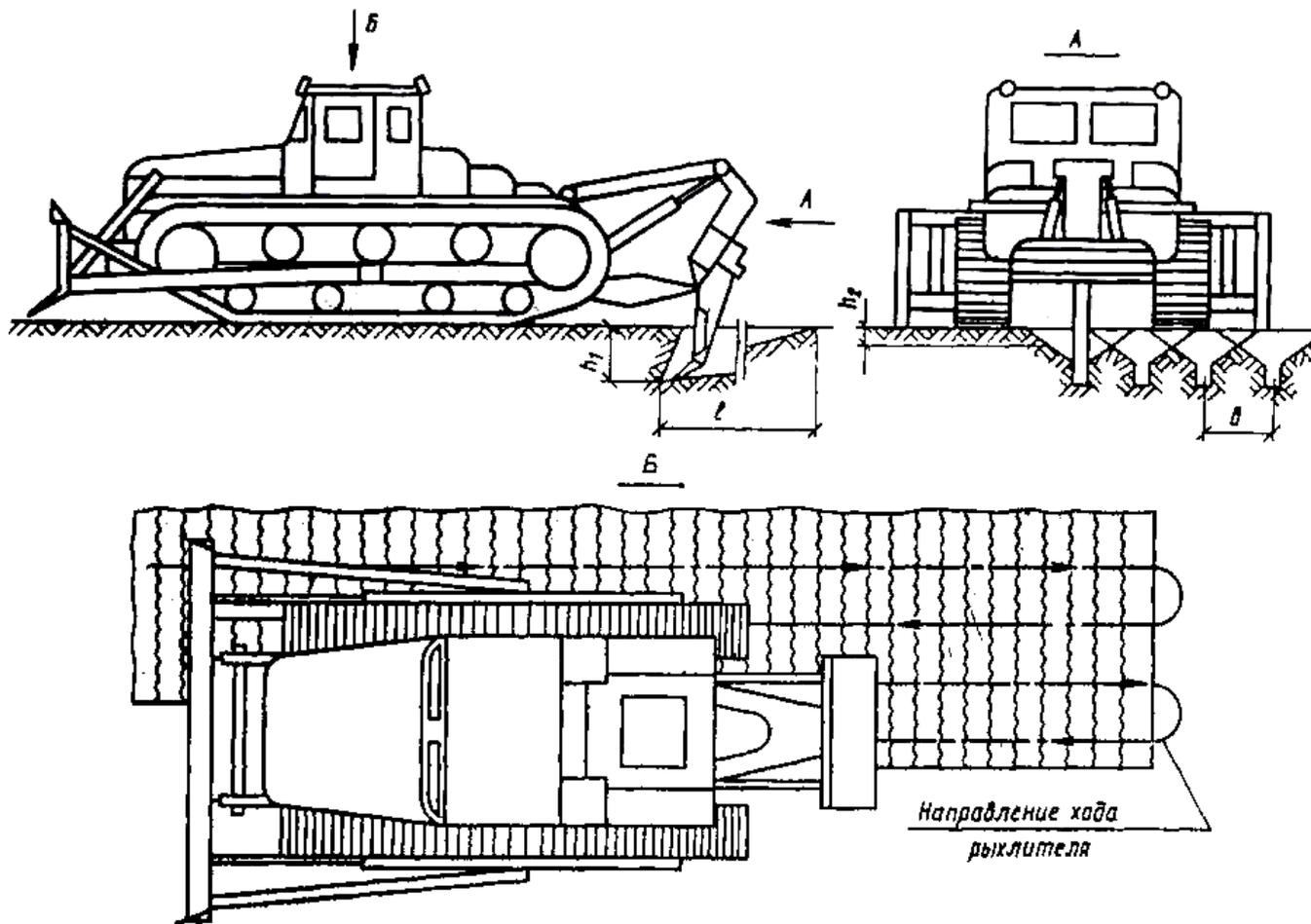
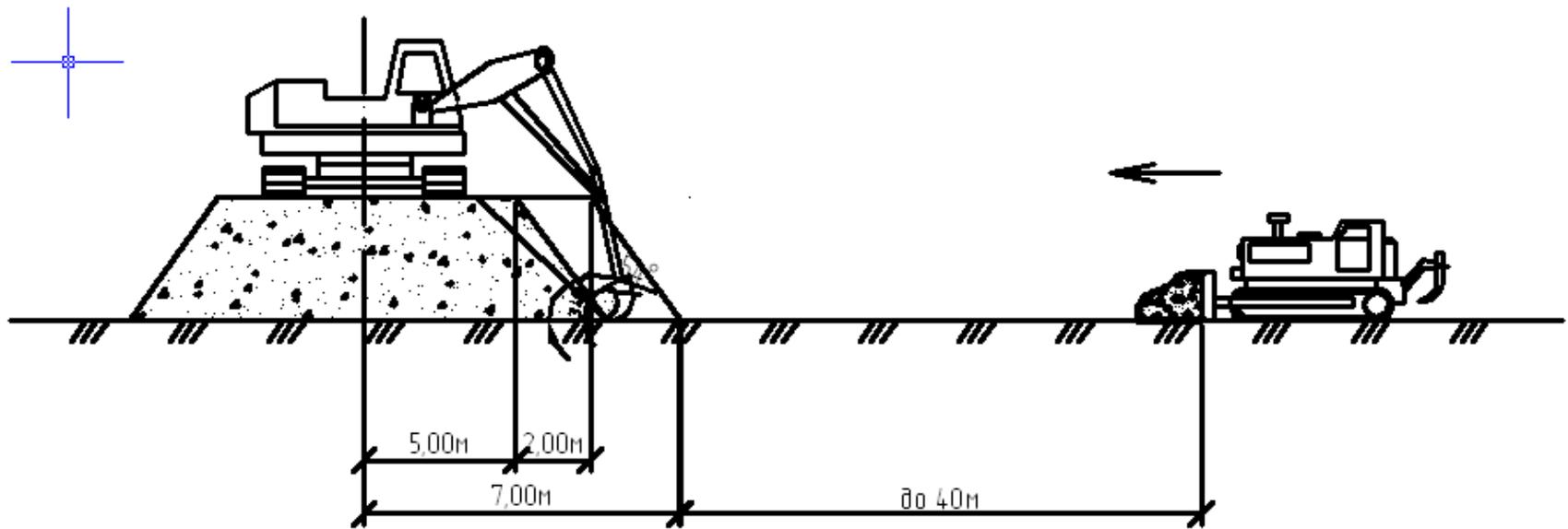
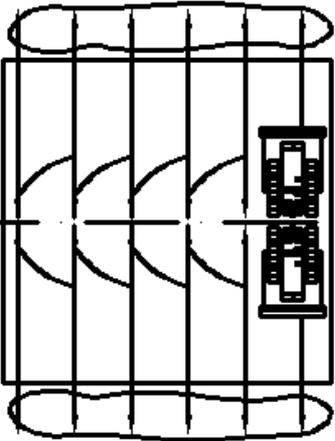
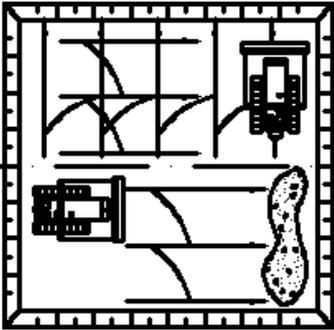
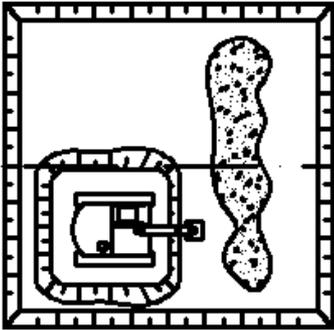


Схема работы бульдозера в карьере



Технологическая последовательность работ в карьере

Наименование технологических процессов	Срезка и перемещение растительного слоя	Рыхление и перемещение грунта в отвал	Формирование буртов грунта
План потока и размещение машин			
Машины и механизмы	1. Бульдозер CAT-D7 – 1 шт.	1. Бульдозер Komatsu D355 – 1 шт.	1. Экскаватор Komatsu PC400 – 1 шт.
Состав отряда	1. Машинист бульдозера – 1 чел.	1. Машинист бульдозера – 1 чел.	1. Машинист экскаватора – 1 чел.