ческое сопротивление при любой скорости обдува в зависимости от материала утепления уменьшается в следующей последовательности:

- Пенополистирол мелкой фракции;
- Минеральная вата;
- Пенополистирол крупной фракции.

2. Термическое сопротивление слоя теплоизоляции одинаковой толщины при одинаковой скорости обдува зависит от увеличения мощности источника следующим образом: с увеличением мощности источника термическое сопротивление увеличивается. Термическое сопротивление при любой мощности источника в зависимости от материала утепления уменьшается в следующей последовательности:

- Пенополистирол мелкой фракции;
- Минеральная вата;
- Пенополистирол крупной фракции.

3. Доля излучения в пенополистироле крупной фракции находится в диапазоне 33 – 48%, конвекции – 51 – 66%;

Доля излучения в пенополистироле мелкой фракции находится в диапазоне 9 – 17%, конвекции – 82 – 90%;

Доля излучения в минеральной вате находится в диапазоне 24 – 33%, конвекции – 75 – 66%.

Во всех материалах утепления доля теплопроводности составляет менее 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
2. Воскресенский К.Д. Сборник расчётов и задач по теплопередаче. — М.: Госэергоиздат, 1959. – 355 с.
3. Строительство и архитектура. Сер 10. Инженерно-теоретические основы строительства. Экспресс-информация. 1986, вып. 4, 20 с.

УДК 624.131.23

ОБСЛЕДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «БИЙСК - КАРАБИНКА - ГРАНИЦА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ» С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Б.М. Черепанов, Т.С. Бодосова

В работе представлены результаты детального обследования проблемных участков автомобильной дороги регионального значения «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай». Разработаны рекомендации по ликвидации повреждений земляного полотна и дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильные дороги, морозное пучение грунтов, износ дорожных одежд, увлажнение земляного полотна, физико-механические свойства грунта.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации, с момента постройки, дорожные одежды автомобильных дорог получают значительные повреждения. Устранение последствий повреждений методом ежегодного ямочного ремонта, проводимого на дороге в весенне-летний периоды, не устраняет дальнейшего разрушения, а лишь позволяет обеспечивать проезд автомобильного транспорта. Многочисленные существующие мероприятия не всегда являются эффективными и экономически выгодными для конкретной дороги из-за инженерно-геологических и климатологических особенностей региона.

ОБЪЕКТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зима 2009-2010 годов оказалась очень суровой для Алтайского края. Весна затяжной. По мере оттаивания нижних слоев дорожных сооружений, возникали большие разрушения, вызвавшие аварийную ситуацию на дорогах. Для исследования выбрана одна из наиболее деформированных весной 2010 года на территории Алтайского края - автомобильная дорога «Бийск - Карабинка - граница Республики Алтай» (рисунок 1).

Рисунок 1 – Схема автомобильной дороги «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай»

Положительные тенденции экономического развития территорий диктуют необходимость бесперебойного движения автомобильного транспорта, поддержание дороги в хорошем состоянии. Автомобильная дорога республиканского значения «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай» связывает республику Алтай с городом Бийском. Бийск является административным центром Бийского района Алтайского края, наукоградом РФ, вторым по численности населения городом Алтайского края. В Солтонском районе, по которому также проходит исследуемая дорога, расположен Мунайский угольный разрез, работа которого в последнее время активно возобновляется. Возрастание транспортного потока и увеличение числа грузовых автомобилей повышает нагрузку на конструкции дороги.

Для обеспечения постоянного движения транспорта в рассматриваемом направлении необходимо ликвидировать существующие дефектные и потенциально аварийные участки на автодороге. Цель научно-исследовательской работы: выявление причин разрушения дорожных одежд с разработкой рекомендаций по продлению сроков эксплуатации конструкции. В научно-исследовательскую работу входили следующие этапы:

- обследование проблемных участков автомобильной дороги «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай» с выявлением внешних условий, приводящих к отказам дорожных одежд, с определением главных источников увлажнения земляного полотна и дорожной одежды;

- отбор проб грунта земляного полотна для определения его физико-механических свойств согласно существующим государственным стандартам;

- выполнение лабораторных исследований отобранных образцов согласно существующим государственным стандартам.

- формирование рекомендаций по ликвидации повреждений земляного полотна и дорожной одежды обследованных участков автомобильной дороги «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Обследование дороги выполнялось в осеннее время года в два этапа (сначала в Бийском районе, потом в Солтонском). К моменту обследования уже были завершены все запланированные ремонтные работы, и начиналась подготовка к содержанию дороги в зимний период.

Визуально была обследована дорога на всём протяжении. Зафиксированы характерные места повреждений (рисунок 2). Наиболее разрушенные в прошедшем году участки (в момент обследования восстановленные, по мере возможности, для пропуска транспортных средств) обследовались более подробно, с определением отметок характерных точек и измерением размеров профиля дорожной конструкции, отбором проб грунта для лабораторных исследований, измерением толщины слоев дорожной одежды.

Рисунок 2 – Повреждения дорожного покрытия исследуемой автомобильной дороги

Строительство Бийского участка дороги производилось в 60-70-х годах XX столетия, и после 90-х годов капитальный ремонт не выполнялся. На момент обследования покрытие дороги старое, выщербленное, имеются многочисленные трещины, выбоины (рисунок 3). Одна из основных причин разрушения – изношенность материалов дорожной одежды.

Рисунок 3 – Сетка трещин на асфальтобетонном покрытии, 56-й км

Откосы во многих местах заросли высокой травой, кюветы редко просматриваются.

В мае – июне идет наиболее интенсивный процесс пучинообразования, в связи с чем, некоторые довольно протяженные участки (порядка 50 метров) приходят в аварийное состояние. Ремонт таких участков подрядной организацией осуществляется следующим образом: деформированные слои дорожной одежды, разуплотненный грунт земляного полотна, заменяются щебнем, асфальтобетонное покрытие восстанавливается не на всех участках (рисунок 4). Такие отремонтированные участки служат около 3-х лет.

Рисунок 4 – Отремонтированный участок дороги без восстановления асфальтобетонного покрытия, 56-й км

Небольшие участки восстанавливаются ямочным ремонтом, который краткосрочно позволяет снизить аварийность (рисунок 5). Развитие деформаций покрытия эта мера не останавливает.

Рисунок 5 – Ямочный ремонт на 56-ом км

На участках, где осуществлялось восстановление асфальтобетонного покрытия, согласно паспорту дороги, разрушения дорожной одежды под действием морозного пучения при визуальном обследовании 9 сентября 2010 года наблюдаются меньше.

Грунт земляного полотна на некоторых участках насыщен водой даже в сухую погоду. Визуальное подтверждение тому – влажные пятна на асфальтобетонном покрытии и обочинах (рисунок 6), а также пластичное состояние грунта, отбираемого при разработке шурфов.

Рисунок 6 – Влажные пятна на покрытии дороги в сухую погоду

Строительство Солтонского участка велось в 80-ом году XX-го столетия в октябре. Погодные условия были неблагоприятные (дожди), технология строительства не соблюдалась: насыпь земляного полотна устраивали сгребанием грунта экскаватором, грунт не очищался от корней, веток, травы, этому подтверждение – обнаружение растительных остатков, перегноя, специфического запаха уже в настоящее время при ремонтных работах на дороге. Такой материал является очень ненадежным основанием для дорожной одежды, земляное полотно нуждается в укреплении. Капитальный ремонт не производился. Только на выборочных участках укладывался новый слой асфальтобетона. На основном протяжении дороги асфальтобетонное покрытие настолько разрушено, что ямочный ремонт уже невозможен (рисунок 7). На некоторых участках, где сохранилось твердое покрытие, есть глубокие ямы, выбоины. Когда-то ямочный ремонт здесь делался с использованием крупного каменного материала, от этого дефекты только разрастались и углублялись.

Рисунок 7 – Общий вид дороги на 86-ом км

На участках, где происходило вспучивание (а такие участки на протяжении всей дороги встречаются часто, они очень протяжённые, длиной 100-500 м) выполнялась выборка вспученного разуплотненного материала, нарезка дренажей. В 2009 и 2010 годах выборка грунта осуществлялась практически на высоту земляного полотна, нарезались дренажи под уклоном, в шахматном порядке. Пока на таких отремонтированных участках не прослеживается деформаций.

На обочинах трава не косится. Дорога не спланирована, многие обочины опущены, откосы заросли кустарником, травой, деревьями. В целом местность болотистая, очень часто за откосами встречается растительность, характерная для переувлажненных грунтов (камыши, ивы, засыхают берёзы от влаги, либо от изгрызания бобрами). Кюветов не наблюдается вообще. После 70-го километра дорога проходит среди лесов и кустарников, болот и бобровых плотин (рисунок 8).

Рисунок 8 – Плотины речных бобров вблизи дорожной конструкции на 90-ом км

Как было отмечено выше, при обследовании дорога была разделена на два участка: 0 км – 61+320 км, 61+320 км – 113+650 км. Первый участок относится к Бийскому району, второй – к Солтонскому. Необходимость деления возникает не только по причине отличия во времени постройки, а также разницы в климатических и инженерно-геологических условиях.

В предгорье (на границе с республикой Алтай) много осадков зимой, наблюдается большее число дней со снегопадами. Среднегодовое количество осадков увеличивается от Бийска до границы с республикой Алтай от 450 мм до 850 мм. Средняя толщина снежного покрова также увеличивается от города Бийска до границы с республикой Алтай от 40 см до 65 см. Метели и бураны заметают от-

рицательные формы рельефа, образуя снежные заносы, что особенно характерно для прилегающей территории на участке дороги с 0-го километра до 50-го. Здесь наблюдаются суффозионные просадки, в которых собираются твердые и жидкие осадки (рисунок 9). Такой западинный микрорельеф на лёссовых просадочных грунтах оказывает влияние на влажностный режим земляного полотна. В то же время, в Солтонском районе в непосредственной близости к дороге образовались болота и плотины бобров, которые являются аккумуляторами влаги, причиной постоянного увлажнения грунтов земляного полотна даже в сухую погоду (рисунок 8).

Рисунок 9 – Западинный микрорельеф на прилегающей к дороге территории

Длительные дожди, ливни, тающий снег, водонасыщают грунты обочин, откосов насыпей и выемок и способствуют размывам, сплавам, разуплотнению, пучению, просадкам. Грунты в дорожной насыпи приходят в неустойчивое состояние не только в весеннее время года, но и после дождей в летнее и осеннее время года, особенно на участках с нарушенным асфальтовым покрытием в Солтонском районе.

В Бийском районе расчетная глубина залегания грунтовых вод 2,5 м, однако, на некоторых участках гораздо меньше (0,5 м). С 64-го километра начинаются подтопляемые территории, на которых уровень подземных вод менее 3 м, а зачастую подходит к поверхности. В этой местности распространены блуждающие родники.

Неустойчивость погодных условий обуславливает сложную работу дорожных конструкций, появление факторов, влияющих на переформирование грунтовых толщ на прилегающей территории и разуплотнение грунтов, слагающих насыпь земляного полотна исследуемой дороги.

Грунтовые толщи прилегающих территорий в основном сложены чередующимися прослойками лёссовых суглинков, супесей, песков и горизонтов древних почв, погребённых более поздними отложениями. Мощность лессовидных суглинков здесь может достигать 20-25 м. Встречаются гравий с галечником, мергели, торф, глина. Непосредственное значение для устойчивости дорожной конструкции имеют характеристики верхних слоёв (четвертичные отложения лёссовых суглинков, илов и глин).

Особенности работы дорожных конструкций в сложных инженерно-геологических условиях следующие: возможны динамические прогибы, возникающие динамические напряжения растяжения при изгибе в покрытиях дорожных конструкций могут достигать 3-4,7 МПа [1]; динамические прогибы поверхности дорожных конструкций экспоненциально убывают. Возможны процессы просадки. Особенно опасны явления морозного пучения.

При строительстве автомобильных дорог грунт подвергается техногенному разрушению не только на месте сооружения дороги, но и в пределах полосы отвода, как постоянного, так и временного. Поэтому, для оценки надёжности грунтового основания дороги, необходимо проводить исследования материала самого земляного полотна, который может отличаться по своим свойствам от типичных грунтов данной местности.

Для детального изучения были выбраны девять особенно проблемных участков.

Исследование свойств грунтов производилось в три этапа: полевые работы, лабораторные исследования, статистическая обработка.

При полевых работах был произведён отбор проб грунта как нарушенной, так и ненарушенной структуры для определения полного комплекса физико-механических свойств грунта. Выработка осуществлялась либо на месте разрушенного покрытия, либо на обочине при примыкании выемки непосредственно к кромке асфальтового покрытия. Глубина отбора проб в диапазоне от 0,5 до 1,2 м.

Грунт был исследован в лаборатории кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ им. И.И. Ползунова в соответствии с ГОСТ 5180-84, ГОСТ 25100-95, ГОСТ 28622-90.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Величина естественной влажности грунтов, слагающих насыпи исследуемых автодорог, колеблется от 15 до 24%. При этом самые большие величины (24, 23, 21), близкие к влажности на границе раскатывания или даже превышающие ее, наблюдаются на участках, где большой продольный уклон (14-17^0), то есть на понижениях к суходолам. И визуальные наблюдения показали, что такие места наиболее проблемные, нежели самые низ-

кие участки дороги, проложенные над суходолами. Водные потоки, собираясь с прилегающей территории, направляются к суходолу параллельно дороге, а часть потоков и по земляному полотну дороги, поэтому на таких участках особо важно обеспечить постоянно функционирующий водоотвод, возможно устройство подкюветных и прикромочных дренажей.

Природная плотность лежит в диапазоне 1,66-2,15 г/см^3, плотность сухого грунта 1,45-1,96 г/см^3, плотность частиц грунта 2,70-2,71 г/см^3. Число пластичности от 4,5 до 12,3 %, показатель текучести от -1,2 до 0,61, коэффициент пористости от 0,38 до 0,86. Наблюдается неоднородность грунта, слагающего насыпь земляного полотна, недоуплотненность материала, что является одной из причин нестабильности конструкций.

Дорожная насыпь автодороги сложена в основном суглинками и супесями. Преобладает суглинок легкий, полутвердый. Данный тип грунта может быть подвержен воздействиям сил морозного пучения.

Следует обратить внимание, что в насыпи были обнаружены илы, лессы, черноземы, которые СНиП 2.05.02-85 [3] относит к особым грунтам. Земляное полотно, сложенное таким материалом, нуждается в укреплении.

Для определения параметров пучения образцов грунта была использована экспериментальная установка прибора, представляющая собой автоматизированный комплекс, состоящий из единичных элементов морозильной установки 355К, четырехканального Термодата 19Е2, преобразователя интерфейса, прибора морозного пучения, других регулирующих и сопутствующих элементов. Непосредственно «прибор морозного пучения» спроектирован и изготовлен при полном соблюдении требований ГОСТ 28622-90 «Метод лабораторного определения степени пучинистости».

Были произведены по два цикла замораживания и оттаивания восьми образцов грунта, отобранных на разных участках дороги. Результаты полученных испытаний образцов грунта на морозное пучение, отбор которых произведен из рабочего слоя земляного полотна автомобильной дороги «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай» показали, что среднее значение относительной деформации ε_{fh} = 0,038, что соответствует слабопучинистым грунтам. Однако, это значение очень близко к характеристике среднепучинистых. Следует отметить, что испытания проводились при предварительном нагружении исследуемых грунтов пригрузом, имитирующим нагрузку от веса слоев дорожной одежды земляного полотна. В местах отсутствия полноценного дорожного покрытия такого пригруза не будет, что приведет к увеличению абсолютной деформации грунта и, как следствие, к увеличению степени пучинистости. Грунт при этом переходит в разряд сильнопучинистых и чрезмерно пучинистых грунтов.

Исследуемые грунты поддаются влиянию сил морозного пучения, что вызывает деформации земляного полотна, может провоцировать потерю устойчивости конструкции дороги и отказу дорожных одежд.

Морозное пучение одна из основных причин разрушения на исследуемой дороге (рисунок 10).

Рисунок 10 – Бугры пучения на покрытии исследуемой автомобильной дороги

Следы морозного пучения при визуальном обследовании наблюдались практически на всем протяжении дороги.

Графически зависимость вертикальной деформации одного из образцов грунта при замораживании и оттаивании от времени можно увидеть на рисунке 11.

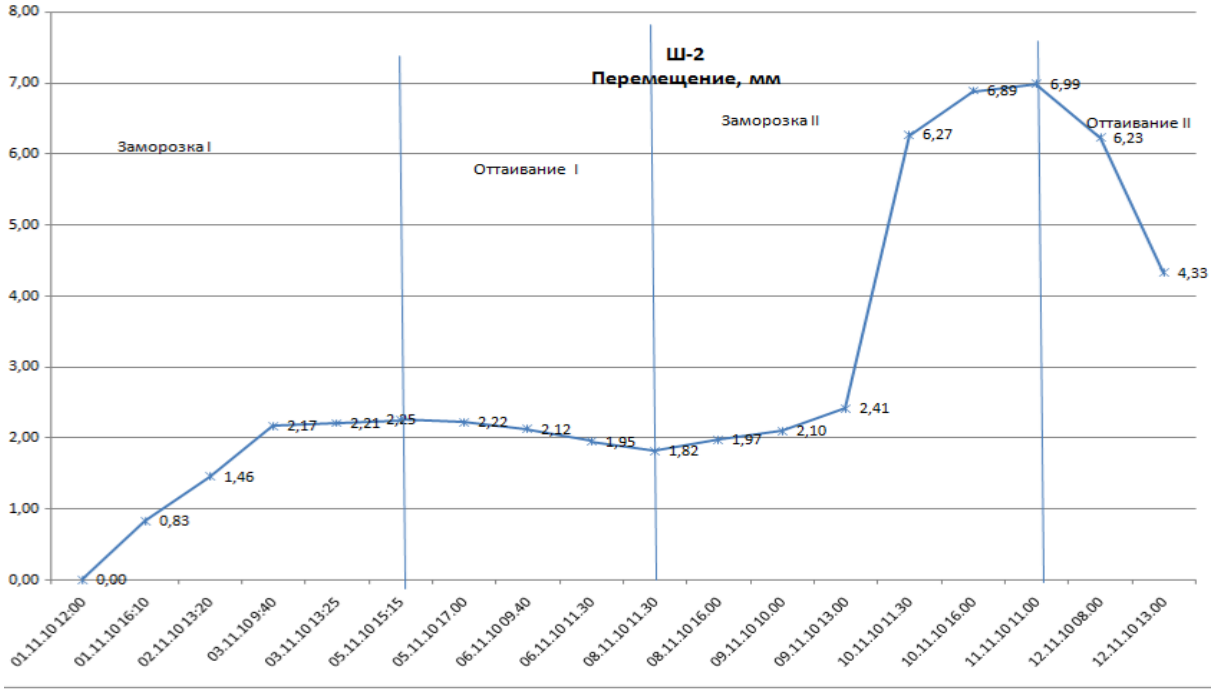

Рисунок 11 – График зависимости вертикальной деформации образца грунта от времени, 56+960 км

На графике видно, что величина относительной пучинистости в первом цикле замораживания-оттаивания значительно меньше. С последующим циклом она резко возрастает. Такой результат можно проследить и на других графиках всех образцов. Грунт, подвергавшийся однажды морозному пучению, теряет способность противостоять дальнейшим процессам пучения, что может объясняться разуплотнением, потерей части структурных связей под действием воды и перепада температур. То есть, в реальных условиях по первым признакам деформаций можно прогнозировать аварийные ситуации, что усугубляется потерей целостности покрытия и тем самым созданием благоприятных условий для проникновения влаги в тело уже нестабильного земляного полотна. Это говорит о необходимости своевременных работ при первых признаках деформаций до наступления аварийных ситуаций на дороге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследований разработаны рекомендации по продлению сроков эксплуатации автомобильной дороги «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай».

В целом общие выводы по итогам работы следующие:

1. Зима 2009-2010 года была чрезвычайно суровой для обследуемой местности, что привело к значительным повреждениям дорожных покрытий, по сравнению с предыдущими годами их эксплуатации. Следовательно, на процесс морозного пучения влияет численное значение низкой температуры, глубина промерзания грунтовой толщи, которая, сложена пучиноопасными грунтами, продолжительность влияния отрицательной температуры, длительность размораживания грунта (так как весна 2010 года оказалась затяжной).

2. Особое значение следует уделять откосам земляного полотна. Под влиянием совокупности внешних и внутренних силовых воздействий (факторов) и физико-механических процессов выветривания происходит формирование особой активной зоны в поверхностных слоях откосных частей земляных сооружений. Это участки потенциально возможного нарушения местной устойчивости, приводящей к образованию локальных деформаций. Это особые зоны, способные как предохранить центральную часть земляного полотна от действия внешних факторов, так и послужить проводником воды. К числу внешних воздействий на эту зону относятся силовые воздействия паводковых и поверхностных вод, ветровая нагрузка, технологические процессы сооружения земляного полотна. Внутренние силовые факторы обусловлены напряженным состоянием, возникающим от собственного веса грунта в ре-

зультате образования откосного контура, наличием грунтовых вод, сейсмической активностью и т.п.

3. Результаты вскрытия земляного полотна показали наличие в нём остатков почвы и плодородного слоя в теле дороги, что является одной из причин ненадёжности основания дорожных одежд. В «чёрном» грунте происходят интенсивные процессы гниения, он является прекрасным естественным накопителем влаги, постоянные вибрации и динамические нагрузки способствуют переформированию его структуры. Такое основание оценивается как чрезвычайно ненадежное, требующее особого внимания и дополнительных работ.

4. Наиболее благоприятный период для строительства, реконструкции и капитального ремонта: конец мая – начало сентября. Особое внимание к оперативному поддержанию конструкций дороги в исправном состоянии необходимо проявлять в апреле-июне.

5. Богатая древесно-кустарниковая растительность в непосредственной близости от дороги способствует задержанию снегов. Вырубка растительности на полосе отвода и расчистка придорожной полосы способствуют ее осушению, более глубокому промерзанию грунта зимой и более быстрому оттаиванию весной. Поэтому необходимо произвести вырубку согласно установленным нормам [2]. Важен беспрепятственный водоотвод во время положительных температур с марта по ноябрь. Для обеспечения исправности водоотвода в марте, необходимо подготовить территорию с ноября (профилировать кюветы, прочищать лотки и др.).

6. Проведение весенних ремонтных работ на аварийных участках при длине участка более 50 м можно свести к следующим этапам:

- полное удаление переувлажнённого и разуплотнённого грунта, не менее чем на 1,2 м от поверхности покрытия;

- укладка гидроизолирующего слоя по поверхности подстилающего грунта на высоте не менее 0,2 м от поверхности земли;

- укладка и уплотнение грунта земляного полотна. Влажность грунта не должна отличаться от оптимальной более чем на 5 %. В грунте не должно присутствовать чернозёма, остатков растительности и посторонних предметов.

- устройство дренирующего и морозозащитного слоёв и конструкций дорожной одежды согласно СНиП 2.05.02-85 [3].

Проведение весенних ремонтных работ на аварийных участках при длине участка менее 50 м:

- полное удаление переувлажнённого и разуплотнённого грунта, не менее чем на 1,5 м от поверхности покрытия;

- укладка щебеночно-песчано-гравийной смеси или песчано-гравийной смеси (в зависимости от наличия материала);

- восстановление конструкций дорожной одежды согласно СНиП 2.05.02-85 [3].

7. Важна планомерность и своевременность выполнения ремонтных работ и работ по содержанию дороги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкции и технологии строительства автомобильных дорог в сложных природных условиях: Учебное пособие / А.В. Смирнов, В.Н. Шестаков, В.В. Сиротюк, В.П. Никитин, Т.В. Боброва, А.А. Миронов; Под ред. А.В.Смирнова. - Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. - 172с.

2. ОДН 218.046-01. Проектированию нежестких дорожных одежд/ Государственная служба дорожного хозяйства министерства транспорта Р.Ф. - М.: Транспорт, 2001.

3. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. М.: Госстрой СССР, 1986.