

КАЧЕСТВО ДОРОЖНЫХ РАБОТ КОНТРОЛИРУЕТ ГЕОРАДАР

В дорожном хозяйстве разработана и действует стройная система контроля качества дорожно-строительных работ. Эффективной ее составляющей при широком внедрении могут стать высокопроизводительные и экологичные георадарные технологии.

С помощью георадаров в России при выполнении строительства, реконструкции и капитального ремонта решаются следующие вопросы:

- оценка толщины вновь уложенных слоев, как земляного полотна, так и материалов дорожной одежды;
- определение объема обратной засыпки на участках скрытых дорожно-строительных работ, например, замена слабого грунта;
- оценка степени и однородности уплотнения грунтов и материалов дорожной одежды, как в дорожной конструкции, так и на участках обратной засыпки;
- определение причины осадки вновь устроенных дорожных конструкций, например, на участках с недостаточно достоверной инженерно-геологической информацией по грунтовым основаниям или при возведении земляного полотна в зимний период;
- контроль влажности грунтов земляного полотна;
- определение глубины заложения и наличие в дорожных конструкциях различных прослоек, например, геотекстильных материалов;
- выполнение мониторинга состояния дорожных конструкций и грунтовых

оснований при стадийном строительстве, например, в течение нескольких лет;

– оценка глубины забивки свай или заложения фундаментов (с помощью зондовых георадаров) и многие другие.

За рубежом, георадарных технологий на стадии строительного контроля, находят также широкое применение. Например, в США – при контроле качества дорожного строительства (см. Радовский Б.С. Методы и приборы контроля качества дорожных покрытий в США // Дор. техника. Сер. Контроль качества дорожных покрытий в США. – 2005, № 7).

Сотрудниками ФГУП «РОСДОРНИИ» уже более 10 лет используются георадары для контроля качества дорожно-строительных работ, как на территориальных, так и федеральных автомобильных дорогах. Обратимся к примерам.

Участок строительства автомобильной дороги Кеница – Луковешкий в Архангельской области. Первые работы были выполнены в 2000 г. георадаром «ОКО» с антенным блоком АБ-400 на участке протяженностью 200 м, где была произ-

ведена выторфовка (с обратной засыпкой) основания под земляное полотно. С помощью георадарного сканирования в продольном направлении по оси дороги и в поперечном направлении (8 проходов) через 25 м по полосе отвода были получены радарограммы для разрешения разногласий между заказчиком и подрядчиком в объемах выторфовки и обратной песчаной засыпки.

Участок строительства транспортно-го обхода Санкт-Петербурга (КАД). На данном участке в летний период 2003 г. в процессе научно-технического сопровождения с помощью георадаров «ОКО» выполнялся целый комплекс работ по контролю качества.

На лоте 7 осуществлялся контроль толщины конструктивных слоев дорожной одежды и состояния грунта земляного полотна. Земляное полотно возводилось здесь в зимний период, а высота земляного полотна составляла от 1,2 м до 7,1 м. Основание земляного полотна было представлено переувлажненными пылеватыми супесями и суглинками, которые под действием насыпей могли дать осадку. В зимний период уплотнить грунты земляного полотна очень трудно. В теле земляного полотна могли оказаться комья смерзшегося грунта, которые при широком и высоком земляном полотне могли сохраняться в мерзлом состоянии продолжительное

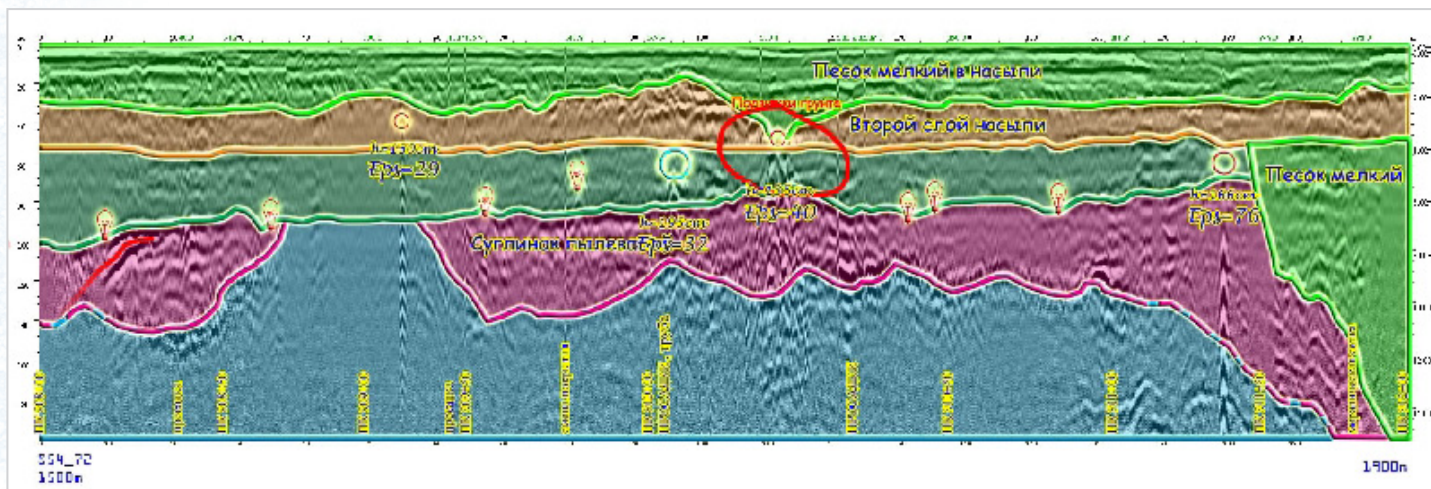


Рис. 1. Интерпретированная радарограмма продольного прохода: зона просадки грунтов – красный цвет; смерзшиеся комья – лампочки

время. В этом случае можно было прогнозировать последующую осадку покрытия.

Георадарное сканирование антенным блоком АБ-150 было выполнено в августе месяце по поверхности нижнего слоя асфальтобетонного покрытия, как в продольном (по каждому направлению движения), так и на участках просадок в поперечном направлениях сериями параллельных проходов.

На основе георадарной съемки были определены участки подвижек грунта (не менее 2 участков), там, где осадка еще не закончилась. Выявлены комья мерзлого грунта (их количество превысило 15), которые дадут о себе знать в процессе эксплуатации дороги. Определены зоны разуплотненных и переувлажненных грунтов в основании земляного полотна и подстилающих грунтах, на которых можно также ожидать последующие осадки. Фрагмент результатов георадарного сканирования приведен на рис. 1.

На лоте 6 перед возведением земляного полотна производилось устройство струецементных свай в массиве слабого подстилающего грунта. Георадары здесь применялись с целью определения размеров и сплошности струецементных свай. Струецементные сваи должны были быть устроены в переувлажненных глинистых и суглинистых грунтах, не должны были иметь разрывов по вертикали и иметь проектный диаметр. Высота струецементных свай изменялась от 8 до 12 м.

Георадарное неразрушающее сканирование выполняли по поверхности песчаного слоя, как по створу свай, так и на расстоянии 1 и 2 м от створа свай. При проведении работ использовался георадар с антенным блоком АБ-150, а также оценивалась возможность применения георадара с дипольным антенным блоком АБД-100.

Результаты георадарных работ показали, что в переувлажненных грунтах на радарограммах четко выделяются струецементные сваи (рис. 2). Диаметр свай определялся достаточно точно и составлял от 1,3 до 1,7 м (рис.2). Сплошность свай георадарными методами проконтролировали при обследовании 30 свай. При этом не было замечено ни одного нарушения сплошности до глубины 8 м.

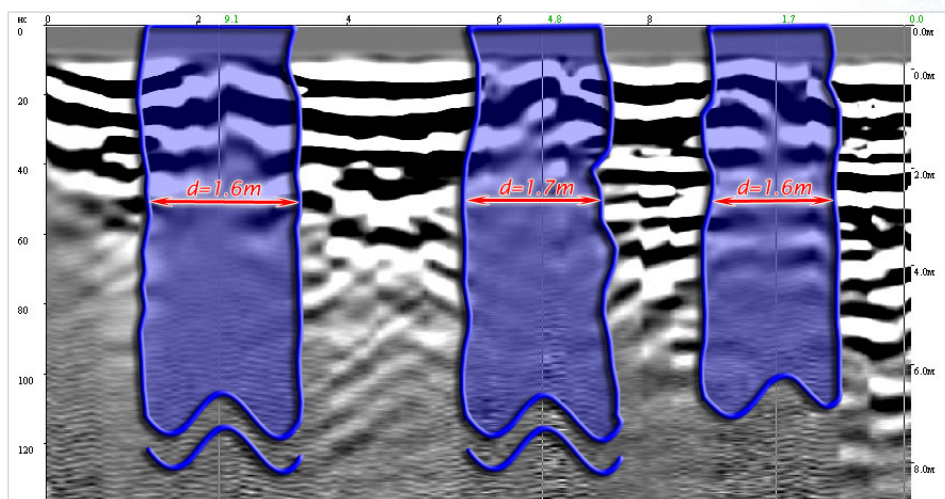


Рис. 2. Выделенные на радарограмме по сдвигам и разрывам линий синфазности струецементные сваи

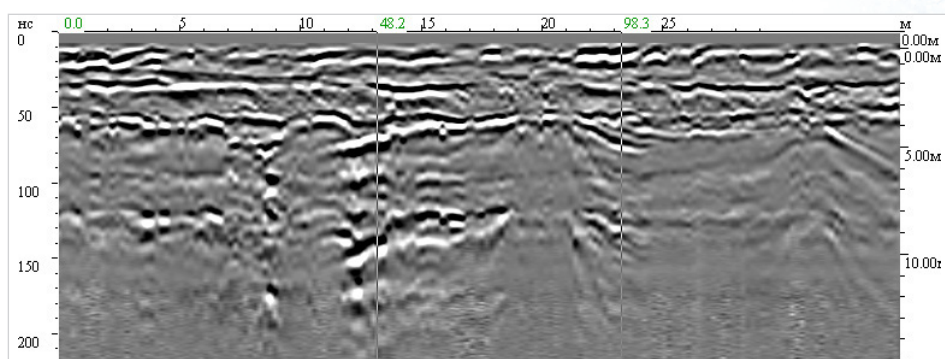


Рис. 3. Фрагмент полевой радарограммы продольного прохода по оси трассы

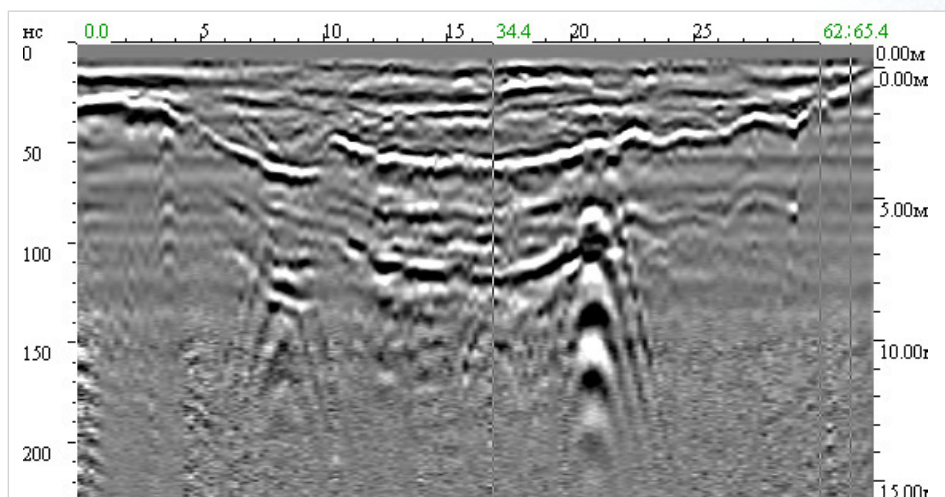


Рис. 4. Полевая радарограмма поперечного прохода в полосе отвода

На лоте 4.1 оценивалось грунтовое основание под устройство высоких насыпей. Грунтовое основание было представлено переувлажненными пылеватыми супесями и суглинками. Георадарное сканирование антенным блоком АБ-150 выполнялось в продольном направлении по оси трассы и в поперечном направлении по ширине полосы отвода с шагом через 50 м. На рис. 3, 4 приведены соот-

ветственно полевые радарограммы продольного и поперечного разрезов к оси трассы, на которой выделяются границы слоев в виде непрерывных толстых линий синфазности. Результаты работ позволили получить непрерывные геологические разрезы, как в продольном, так и в поперечном направлениях и достоверно оценить геологические разрезы между имеющимися буровыми скважинами.

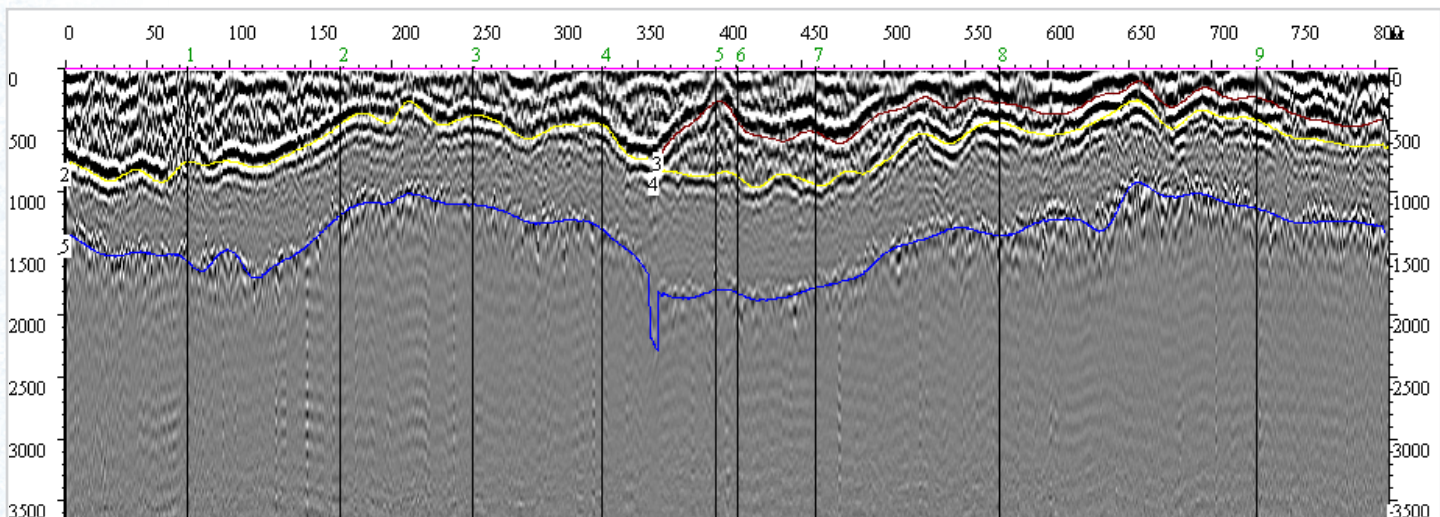


Рис. 5. Радарограмма продольного разреза участка трассовой автодороги магистрального трубопровода «СРТО-Торжок»: цифры на кривых 2,3 – основание насыпи; 4 – основание выторфовки с песчаной засыпкой; 5 – минеральное дно

Участок строительства северного обхода г. Рязани. Между Заказчиком и Подрядчиком возникли споры в объемах выполненных работ по отсыпке высоких насыпей. Обследование георадарными методами земляного полотна (высота насыпи 9...11 м) на ПК 3+00... ПК 6+50 участка северного обхода г. Рязани было выполнено в режиме мониторинга дважды: в марте и апреле 2004 г. Земляное полотно отсыпалось частично непосредственно в неглубокое озеро, дно которого было сложено сильнонабухающими пылеватыми глинистыми и суглинистыми грунтами (мягкопластичной консистенции).

Георадарное сканирование в продольном и поперечном направлениях выполняли георадаром поочередно с антенными блоками АБ-90 и АБ-150.

По результатам георадарной съемки было установлено, что осадка насыпи составила 0,62...1,62 м (наименьшая на участке отсыпки насыпи на поверхность земли, максимальная – в воду озера), зафиксировано уплотнение и просадка грунта основания насыпи под ее телом на дне озера.

На полученных радарограммах на участках, проходящих через озеро, четко были выделены линии: свойственные границе капиллярного поднятия воды и дну озера. При сканировании в поперечном направлении была зафиксирована комковатость по дну озера и установлено выжимание грунта насыпи в левую сторону от оси дороги. Георадарная съемка позволила подтвердить дополнительные

объемы работ, вызванные осадкой и сползанием грунта в левую сторону.

Участок строительства трассовой автодороги магистрального трубопровода «СРТО-Торжок» (ПК 270 – ПК 410). В августе 2005 г. по заданию «Вологдавтодора» были определены с помощью георадаров объемы привозного грунта, заложенного в тело насыпи на участках болот вдоль трассовой автодороги магистрального трубопровода «СРТО-Торжок». Под будущей трассовой дорогой в основании находился торф, глубина которого достигала до 6,8 м. Между Заказчиком и Подрядчиком возникли сомнения в объемах выполненных работ с учетом проведения частичной выторфовки, обратной засыпки, выжимания насыпями (в поперечном направлении) слабого грунта основания и последующей осадки возведенной песчаной насыпи.

Георадарное сканирование георадаром с антенным блоком АБ-400 было проведено в продольном направлении по всей длине участка, а также было отсканировано 23 поперечника от правого основания откоса земляного полотна до левого основания. Работа осложнялась высоким уровнем грунтовых вод, так как высокая влажность грунтов (особенно торфа) существенно влияет на скорость прохождения сигнала и диэлектрическую проницаемость среды, по которым определялась глубина заложения основания насыпи и толщина оставшегося торфяного слоя.

Для заверки результатов георадарных работ заказчиком было выполнено 12 контрольных буровых скважин буровой машиной ПБУ-2. Пример радарограммы продольного разреза участка дороги приведен на рис. 5, на котором хорошо просматриваются в виде непрерывных линий синфазности основание насыпи (линии 2,3) и минеральное дно (линия 5). Толщина торфяного слоя зафиксирована между двумя этими линиями.

Результаты георадарного сканирования показали, что из-за недостаточного учета физико-механических свойств торфа при проектировании, перерасход грунта при возведении насыпи составил 15,1 %, в том числе из-за увеличения проектной ширины дороги на 4,2%, а также из-за осадки насыпи (выдавливание слабых грунтов) 10,9 %.

Участка капитального ремонта автомобильной дороги М-2 «Крым» км 422 – км 437 в Орловской области. В период выполнения дорожно-строительных работ летом 2006 г. по уширению земляного полотна на ПК 0+00...83+00 Подрядчиком было установлено наличие переувлажненных грунтов, не выявленных проектной организацией.

Работы выполнялись георадаром с антенным блоком АБ-400 с целью выявления очагов увлажнения земляного полотна в основании вновь нарезанного корыта. Были выполнены также сопоставительные продольныеходы георадара, как по существующей дорожной конструкции (устроенной давно еще в период строительства до-

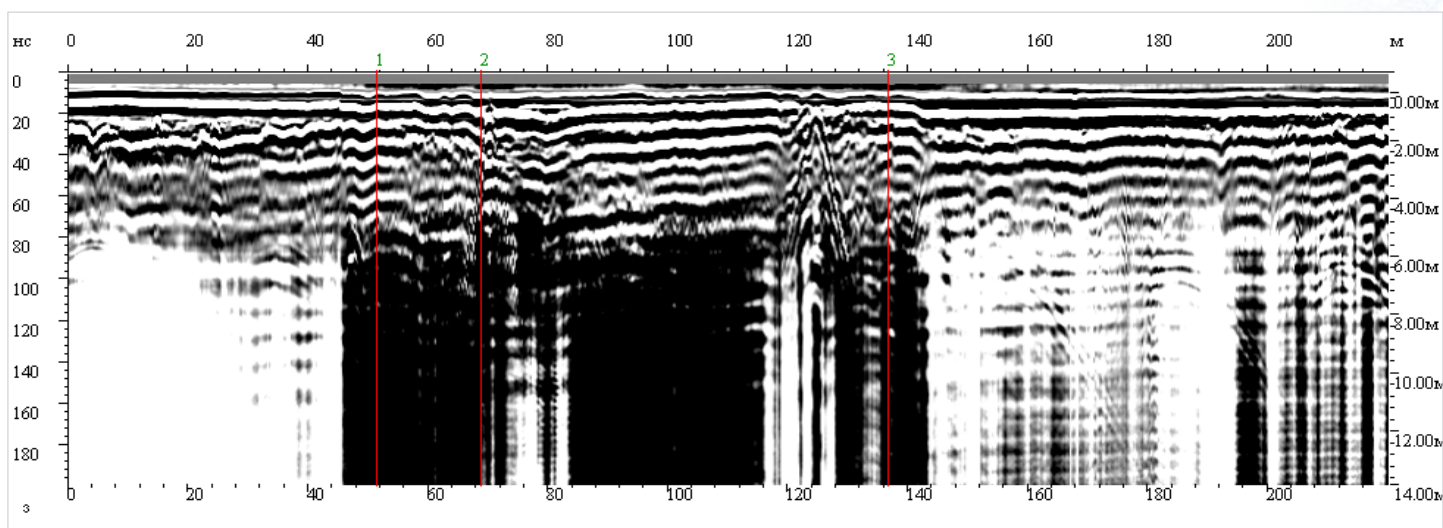


Рис. 6. Радарограмма продольного прохода георадара по правой кромке проезжей части на съезде в районе р. Десна

роги), так и по основанию нарезанного корыта.

По результатам георадарной съемки установлено:

- замена местного грунта еще в период строительства дороги под существующей дорожной одеждой не была произведена;
- относительная влажность грунта по ширине земляного полотна обследуемого участка в период георадарных работ оказалась одинакова, как под существующей дорожной одеждой, так и на уширяемой части земляного полотна;
- зафиксировано нарушение технологии устройства грунтового корыта под уширяемую часть без прорытия водоотводных канав из корыта. В результате дождливой погоды в течение недели грунты основания избыточно увлажнились из-за застоя поверхностных вод.

Приемочная диагностика на участке реконструкции автомобильной дороги М-7 «Волга» на территории Владимирской области. По результатам георадарного сканирования (георадар с антенным блоком АБ-1700) в 2005 г. была проконтролирована толщина конструктивных слоев вновь устроенной дорожной одежды при минимуме отбора кернов. Непрерывная толщина слоев дорожной одежды была определена по всей длине продольного профиля в прямом и обратном направлениях. Результаты георадарного сканирования показали очень четкие границы вновь уложенных слоев дорожной одежды. Заказчиком было выполнено сравнение толщины вновь устроенных слоев дорожной одежды

на различных участках двумя разными подрядными организациями. Результаты сравнения толщин (толщина, отклонения от проектной толщины, частота отклонений) оказались различными, что позволило дать рекомендации по целесообразности привлечения в будущем для дорожного строительства той или другой подрядной организации, той или другой дорожно-строительной техники.

Реконструкция автомобильной дороги М-3 «Украина», км 37 – км 51. В процессе выполнения дорожно-строительных работ проблемы возникли на двух участках. **Первый участок** – насыпь на правом съезде на подходе к р. Десна (3 пусковой комплекс). В целях определения причин возникших трех локальных осадок вновь устроенных дорожных конструкций была выполнена георадарная съемка.

Работы выполнялись с помощью георадара с антенным блоком АБ-150 в конце мая 2009 г. Георадарное сканирование проводилось по левой и по правой кромкам проезжей части. Глубина разреза на рисунках может быть принята за приближенную, так как диэлектрическая проницаемость среды была выставлена в параметрах измерения без заверки контрольным бурением. На радарограммах вертикальные линии – пронумерованные метки в местах просадок. Результаты георадарного сканирования приведены на рис.6.

Проход по правой кромке проезжей части (рис.6). В продольном профиле (в районе метки 1) просматриваются на

протяжении более 12 м разуплотненные грунты с переотраженными сигналами на радарограмме, что свидетельствует о чрезмерно высокой влажности грунтов. В районе метки 2 по характерной гиперболе явно выделяется на глубине 0,9 м труба (по всей видимости, незаглушенная), из которой струится вода (ширина водного потока около 2 м), о чем свидетельствуют характерные линии синфазности ниже трубы.

В районе метки 3 разрыв линий синфазности, свидетельствующий о сдвиге грунтов и причине просадки насыпи. Труба зафиксирована по характерной гиперболе на глубине 1,4 м и на расстоянии 12 м до места простановки метки, она может также являться источником увлажнения, при условии, что вода из трубы вытекает по дренирующим грунтам по подошве водоупора. В то же время со слов местных жителей на месте третьей просадки до устройства насыпи бежал ручей, что свидетельствует о том, что перегородив русло ручья насыпью, вода, по-прежнему, дренирует в указанном направлении.

Проход по параллельной левой кромке проезжей части подтвердил выводы сделанные ранее. Было представлено следующее заключение:

- причинами просадок насыпи являются избыточно увлажненные грунты в основании насыпи. Увлажнение грунтов вызвано протечками из незаглушенных труб, а также засыпкой грунтами насыпи существующего русла ручья без устройства водопропускной трубы или отвода русла ручья;

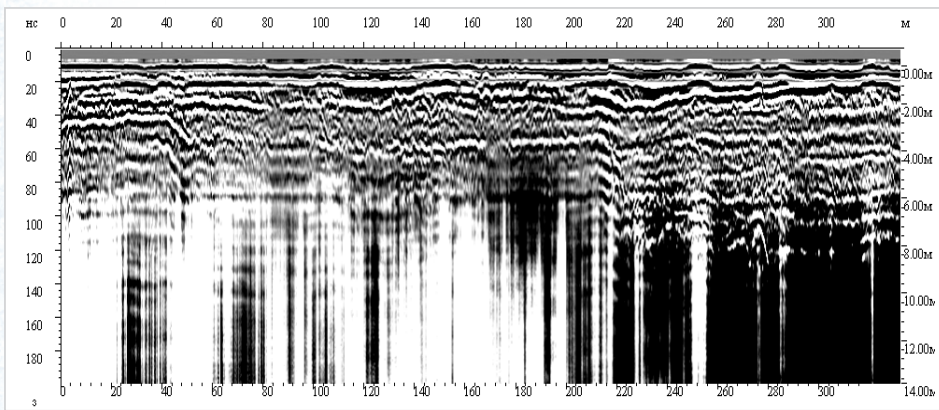


Рис. 7. Радарограмма продольного прохода георадара (27.05.09) по правой кромке проезжей части (ПК 4+20 ... ПК 7+60)

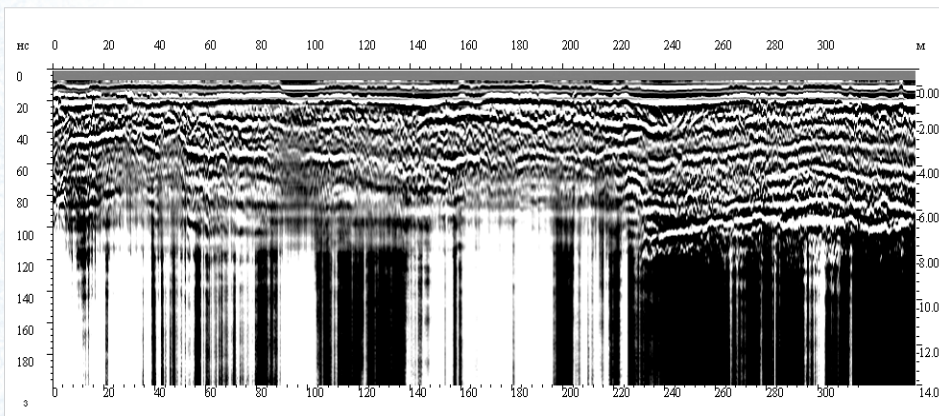


Рис. 8. Радарограмма продольного прохода георадара (27.05.09) по оси проезжей части (ПК 4+20 ... ПК 7+60)

■ целесообразно вскрыть просадочные участки, заглушить трубы и уложить водопропускную трубу в месте русла ранее действующего ручья или направить его русло во вновь уложенные трубы.

Второй участок: высокая насыпь на подходе к путепроводу 3 транспортной развязки ПК 4+20 ... ПК 8+00 (4 пусковой комплекс, ММК). Высокая насыпь возводилась в зимний период 2009 г. Необходимо было оценить состояние грунтов земляного полотна, а также определить, когда можно начать работы по устройству дорожной одежды, чтобы избежать последующей осадки насыпи из-за консолидации грунтов земляного полотна в ее основании.

Работы выполнялись с помощью георадара с антенным блоком АБ-150 в режиме мониторинга два раза сначала в третьей декаде мая и затем во второй декаде июня 2009, чтобы проследить за консолидацией грунтов земляного полотна. Георадарное сканирование проводилось по оси насыпи и на расстоянии 1-2 м от бровки земляного полотна, как по левой, так и по правой части

поперечного профиля. Глубина разреза на рисунках может быть принята за приближенную, так как диэлектрическая проницаемость среды была выставлена в параметрах измерения без заверки контрольным бурением. Результаты георадарного сканирования приведены на рис. 7-9.

Первое сканирование (27.05.09). По правой кромке и оси насыпи (рис. 7,8) получены следующие результаты. На первых 220 м от путепровода грунты в основании земляного полотна находятся в переувлажненном основании, так как на этом участке глубина зондирования оказалась существенно меньше, чем на последних 110 м насыпи, где грунты просматриваются на глубине почти в 2 раза превышающей глубину в начале насыпи. Более того, активное переотражение и наложение электромагнитных сигналов на первых 220 м еще свидетельствует о присутствии переувлажненных грунтов в нижних слоях и основании земляного полотна. Поведение линий синфазности (разрыв и наклон вниз на отдельных участках) и размытые зоны в теле

насыпи, особенно на первых 220 м, свидетельствуют, что процессы осадки земляного полотна имеют место и продолжаются.

По левой кромке (рис. 9) состояние грунтов по всему протяжению продольного профиля практически одинаково, что объясняется с одной стороны, юго-западной ориентацией откосов насыпи, где оттаивание, консолидация и осушение грунтов происходят несколько быстрее; с другой стороны, отсутствием выполненного поверхностного водоотвода у основания насыпи. Активное переотражение и наложение электромагнитных сигналов на радарограмме (см. рис.9) свидетельствует об переувлажненных грунтах в нижних слоях и основании земляного полотна, где полное оттаивание еще не произошло. Поведение линий синфазности (разрыв и наклон вниз на отдельных участках) и размытые зоны в теле насыпи свидетельствуют, что процессы осадки земляного полотна также имеют место и продолжаются.

Повторное сканирование (18.06.09) подтвердило стабильность работы георадара, так как результаты первой и второй съемки были очень схожими (см. например, рис. 8,10). Результаты повторного сканирования показали, что за 20 дней произошло незначительное улучшение состояния грунтов земляного полотна, которое сколь-нибудь существенно не отразилось на полученных радарограммах. Двадцатидневный период характеризовался пасмурной дождливой погодой, что не способствовало просыханию грунтов. Ранее сделанные выводы о состоянии грунтов (по первому сканированию) подтвердились полностью.

Было представлено следующее заключение:

- работы по устройству дорожной одежды на обследованном участке автомобильной дороги проводить рано, так как осушение грунтов не произошло, деформации осадки продолжаются;
- следующее контрольное георадарное сканирование целесообразно выполнить не ранее чем через месяц, ориентировочно в конце июля.

В настоящее время также получены результаты контроля георадиолокационными методами влажности грунтов

земляного полотна. Наряду с определением влажности большой научный интерес представляет контроль качества уплотнения дорожно-строительных материалов и грунтов, который при помощи георадаров можно выполнять оперативно, при минимуме заверочных буровых работ.

Контроль качества уплотнения дорожно-строительных материалов слоями малой толщины. Известно, что недостаточно уплотненный материал имеет повышенное содержание воды и/или воздуха. Подобные области, помимо механических отличий, имеют значительные отличия по диэлектрической проницаемости среды, которая в области разуплотнений меняется в несколько раз, так как диэлектрическая проницаемость трехкомпонентной среды (воздух, вода, минеральные частицы) определяется пропорцией этих компонент, для которых диэлектрическая проницаемость равна соответственно 1; 81 и 6-9.

Фиксация георадаром диэлектрической проницаемости среды при известной постоянной толщине уложенного слоя позволяет выявить участки, характеризующиеся недостаточным уплотнением. По результатам экспериментальных работ может быть установлена зависимость для каждого материала коэффициента уплотнения от диэлектрической проницаемости.

Контроль качества уплотнения материалов дополнительных слоев основания (как правило, толщиной не менее 40...50 см) и грунтов земляного полотна. В этом случае анализу следует подвергать амплитуду отраженного сигнала на глубинах заложения дополнительных слоев основания и грунтов земляного полотна. Наличие воды и воздуха способствует увеличенным значениям амплитуд электромагнитного сигнала, которые будут свидетельствовать о недостаточном уплотнении. Такой опыт работ, например, получен при оценке уплотнения щебеночного основания и укатываемого цементобетона канд. техн. наук Н.А. Лущниковым по ул. Лавочкина (г. Москва); при оценке автором статьи плотности основания под бетонными плитами при обследовании четырех проектируемых участков капитального ремонта автомобильной дороги М-9 «Балтия» в Тверской об-

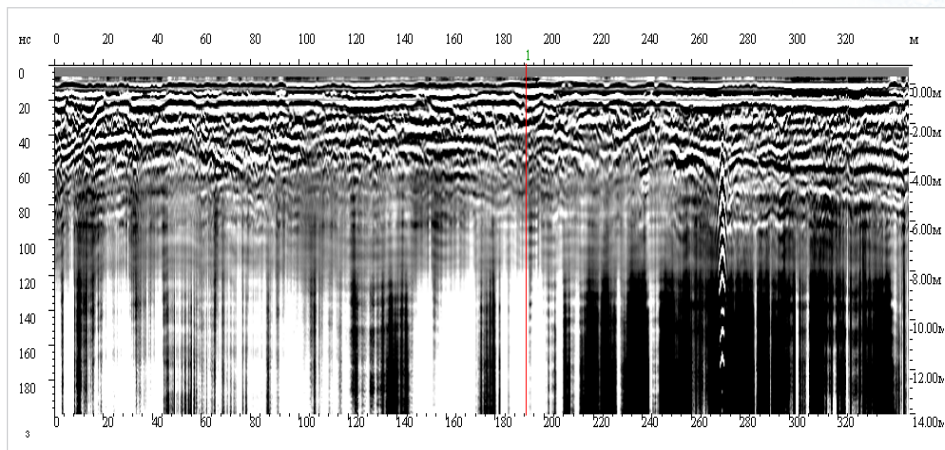


Рис. 9. Радарограмма продольного прохода георадара (27.05.09) по левой кромке проезжей части (ПК 4+20 ... ПК 7+60)

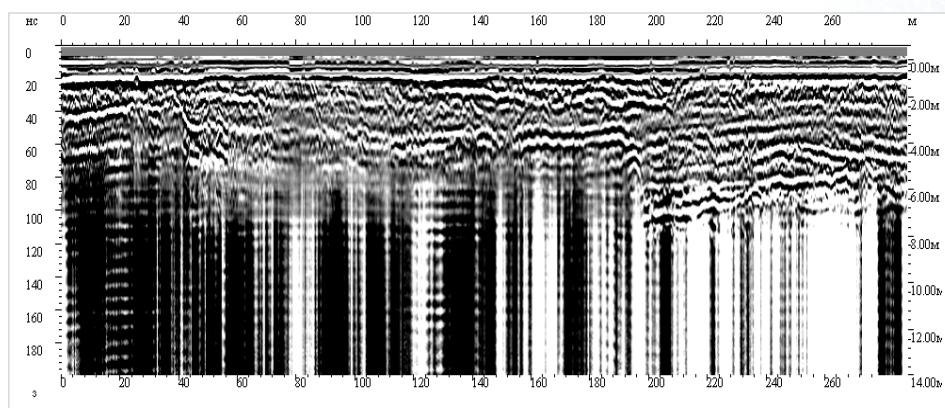


Рис. 10. Радарограмма продольного прохода георадара (18.06.09) по оси проезжей части (ПК 4+20 ... ПК 7+60)

ласти, а также при выполнении работ на трассе US59 к северу от Хьюстона (штат Техас) (см. Scullion T., Saarenketo T. Ground penetrating radar technique in monitoring defects in roads and highways //SAGEEP'95. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems / April 23-26, 1995. -Orlando, Florida. – P. 62-72).

По результатам экспериментальных работ может быть построены графики изменения амплитуды электромагнитного сигнала по длине строящегося (построенного) участка автомобильной дороги отдельно для дополнительного слоя основания и грунта земляного полотна. Данные графики позволят в оперативном порядке в процессе строительства делать выводы о степени уплотнения соответственно песков дополнительного слоя и грунтов земляного полотна.

Выводы:

1. Приведенные результаты экспериментальных работ свидетельствуют, что метод георадиолокации может быть

эффективно использован при строительном контроле выполнения дорожно-строительных работ по различным назначениям.

2. Для повышения эффективности георадарного контроля целесообразно проведение целевых научных исследований с разработкой методических рекомендаций по контролю качества дорожно-строительных работ с использованием метода георадиолокации.

3. Заслуживает внимания выполнение научно-исследовательских работ для получения зависимостей коэффициента уплотнения материалов от диэлектрической проницаемости, анализа изменения амплитуды электромагнитного сигнала в дополнительных слоях основания дорожной одежды и грунтах земляного полотна.

А.М. Кулижников,
заместитель
генерального директора
ФГУП «РОСДОРНИИ»
д-р техн. наук,
профессор