

# ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ И СОВРЕМЕННОЕ ГЕОРАДАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**В решении задач повышения транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог и продления межремонтных сроков их службы, важное значение имеет широкое внедрение в практику проектирования, строительства и эксплуатации дорожных сооружений эффективных инновационных технологий. К числу таких технологий относятся и георадарные обследования автомобильных дорог.**

Можно ли вылечить больного, определив заболевание только по внешним признакам и, в лучшем случае, измерив температуру его тела? Наверное, можно, но лишь временно улучшив его состояние. Почему временно? Да потому, что диагноз будет поставлен в большинстве случаев поверхностный (и зачастую ошибочный) и после временного улучшения состояния больного последует вновь серьезное ухудшение, что потребует повторного вмешательства врачей и самого серьезного обследования. При этом врачи назначат целый ряд анализов и проведут диагностику, тем самым узнают причины возникновения внешних признаков заболевания. После этого поставят правильный диагноз и назначат эффективное лечение.

Сопоставим врачебную практику с «лечением» (реконструкцией и ремонтом) автомобильных дорог. Начинается все, как известно, с диагностики. При этом оценивается состояние покрытия визуально и, в лучшем случае (по аналогии с измерением температуры врачами), по

материалам диагностики анализируется модуль упругости, ровность и сцепление. Достаточно ли это для диагноза? Безусловно, нет. Неизвестна толщина слоев дорожной одежды, состояние дорожно-строительных материалов (трещины, заиленность, дробление) и т.д. Мне могут возразить, что далее выполняются инженерные изыскания, которые позволяют выявить внутреннее строение дорожных конструкций. Трудно согласиться и с этим.

Судите сами. Внутреннее строение может быть выявлено только по результатам инженерно-геологических изысканий, которые предусматривают как при новом строительстве (реконструкции) и ремонтах одну буровую скважину через 333 м. При этом достоверность инженерно-геологической информации составит всего лишь 0,4 % (4 скважины на 1000 м). Более того, у нас по-прежнему очень много ярых сторонников выполнения ремонтных работ по дефектным ведомостям и материалам диагностики.

Внутреннее строение и состояние дорожных конструкций может быть определено (наряду с упомянутым выше работами) с помощью метода подповерхностной георадиолокации с применением георадарных технологий. Реконструкция и капитальный ремонт автомобильных дорог, как показывает отечественный и зарубежный опыт, могут быть эффективными только в том случае, если будут определены истинные причины повреждений.

Анализ зарубежного опыта показывает, что в США уже в 2003 г. применение георадаров было одобрено дорожными департаментами в 10 штатах. Отчеты по международному проекту «Roadex-II» (финансирование Европейским Союзом, 2002-2005 г.г.) по управлению дорогами с низкой интенсивностью движения, выполненные администрациями Северных периферийных территорий Европы (Шотландия, Швеция, Финляндия, Норвегия) показали, что основные выводы сделаны на основе георадарных мониторинговых обследований внутреннего состояния дорожных конструкций.

В Российской Федерации с конца XX века георадары начали в опытном порядке применяться при обследовании автомобильных дорог. На начальной стадии применения георадаров было очень много скептиков и противников, потому что результаты георадарной съемки интерпретировались не всегда однозначно. Причин этому было несколько, одними из главных являлись недостаточный опыт выполнения георадарных работ, несовершенство георадарного оборудования и программного обеспечения к нему. За последние десять лет картина резко изменилась.

Например, ФГУП «РОСДОРНИИ» имеет более чем 12 летний опыт работы с георадарами на дорожных объектах (например, Кулижников А.М., Лушников Н.А., Белозеров А.А. Опыт применения георадарных технологий в дорожном хозяйстве. – М.: Информавтодор, 2004. –



Рис. 1. Дорожная лаборатория ФГУП «РОСДОРНИИ» с георадарным оборудованием

108 с. – (Автомобильные дороги и мосты. Обзорная информация, № 2). Дорожная лаборатория ФГУП «РОСДОРНИИ» представлена на рис.1. На переднем бампере автомобиля закреплен рупорный антенный блок, к заднему бамперу прикреплен контактный антенный блок АБ-400 георадара «ОКО-2».

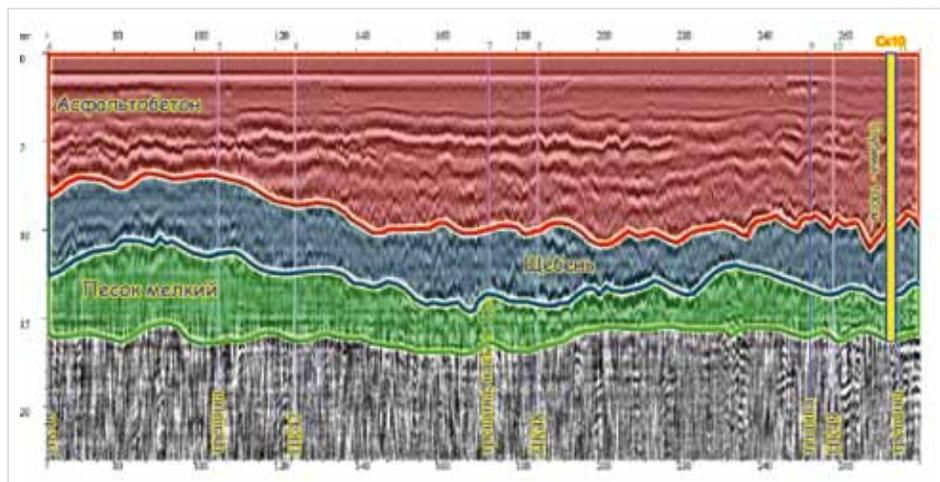
На сегодняшний день отечественные георадары «ОКО-2» (разработчик ООО «ЛОГИС»), являются безусловными лидерами среди российских аналогов, по своим техническим характеристикам находятся на уровне георадаров ведущих мировых производителей, а по некоторым из них превосходят зарубежные образцы.

Георадары «ОКО-2» выпускаются серийно в течение более чем 5 лет, имеют все необходимые сертификаты соответствия, полный комплект конструкторской документации, усовершенствованное программное обеспечение. Каждый прибор проходит полный цикл приемо-сдаточных испытаний, включая испытания на тепло – и холодоустойчивость, вибро– и ударпрочность.

Георадары «ОКО-2» имеют полную оптическую развязку по всем сигнальным и информационным цепям. Микропроцессор антенного блока производит предварительную обработку полученных данных – их накопление и фильтрацию, после чего обработанные данные передаются в блок управления. Датчик перемещения подключается непосредственно к микропроцессору антенного блока. Антенные блоки георадара являются экранированными.

По данным ООО «ЛОГИС» программное обеспечение георадара поддерживает его работу с GPS-приемниками, а также позволяет строить трехмерное георадарное изображение. С помощью георадара можно получить до 125 трасс в секунду. Работы могут выполняться при скорости движения до 80 км/час. Обработанные данные выводятся в различных форматах (SEG-Y, CSV, HTML, EXCEL), поддерживаемые стандартными программными пакетами. Радиомодем георадара позволяет передавать получаемую информацию в ходе измерений на расстояние со скоростью 10 Мбит/сек.

Наряду с первыми контактными антенными блоками в семействе георадаров



**Рис. 2. Толщина конструктивных слоев дорожной одежды на автомобильной дороге М-1 «Москва – Минск» (показана на подложке радарограммы)**

компания «ЛОГИС» появились рупорные и скважинные антенные блоки, георадарные комплексы стали выполняться двух и многоканальными.

**Рупорный антенный блок** используется ТЕМ-рупор, который имеет значительно большую эффективность по излучению и приему, чем контактные антенны типа «бабочка». Кроме того, ТЕМ-рупор более широкополосен, что повышает разрешающую способность по сравнению с традиционными антенными блоками. Рупорный антенный блок георадара имеет более узкую диаграмму направленности, тем самым растет помехозащищенность и пространственная разрешающая способность георадара.

**Двухканальный георадар ОКО-2.** Одновременное использование двух серийно выпускаемых антенных блоков АБ-150 и АБ-400. Предусматривает синхронное зондирование двумя антенными блоками (с одним датчиком перемещения), а также работу с любым из антенных блоков отдельно. Перемещение антенных блоков выполняют на колесах или монолыже. Результаты сканирования синхронно демонстрируются на экране ноутбука. Обработка файлов производится независимо друг от друга.

**Многоканальный георадарный комплекс.** Разработан для мониторинга состояния балластной призмы и верхней части естественного основания земляного полотна на железных дорогах. За вагоном измерителем крепится несколько антенных блоков по всей ширине железнодорожного полотна. Предусмотрена возможность использования сменных антенных блоков

различной частоты от 400 МГц до 1700 МГц. Комплекс предусматривает подключение до 4-х антенных блоков.

**Скважинный георадарный комплекс с экранированным антенным блоком АБ-700СК.** Позволяет исследовать геологическое строение в скважинах глубиной до 20 м и производить точечные измерения с получением круговых радарограмм. Характеристика антенного блока: центральная частота 700 МГц, глубина зондирования от оси скважины 3 м. Габариты антенного блока: длина 107 см, диаметр 7,5 см; масса 2,2 кг, потребляемая мощность 5 Вт. Герметичный корпус антенного блока обеспечивает работу с водонаполненными скважинами.

Существенно пополнился и арсенал методик выполнения георадарных обследований, обработки и интерпретации георадарной съемки в сравнении с решениями, изложенными в «Методических рекомендациях по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций» (введены в действие письмом Росавтодора № ОС-28/477 от 28.01.2004).

С самого начала георадарных обследований автомобильных дорог по радарограммам фиксировались такие количественные показатели, как толщины слоев дорожной одежды, границы грунтов земляного полотна, кривая скольжения на оползневых участках, положение уровня грунтовых вод и глубина промерзания грунтов. На рис.2 приведена интерпретированная радарограмма продольного разреза дорожной одежды на участке автомобильной дороги М-1 «Москва – Минск».

Выявление границ слоев дорожной одежды и литологических границ грунтов, которое характеризуется при георадарных работах на радарограммах всплеском амплитуды сигнала на границе каждого слоя (при изменении диэлектрической проницаемости материалов слоев), позволяет на протяжении продольного профиля проследить толщину слоев дорожной одежды и земляного полотна, а также оценить состояние рабочего слоя дорожной конструкции. Полученные геофизические толщины по радарограммам пересчитываются по скорости прохождения сигнала или диэлектрической проницаемости материалов слоев в фактические значения.

Каждая радарограмма состоит из линий синфазности (черные и белые линии), построенных с шагом реализации сигналов георадара в направлении съемки (от 1 до 50 см). Толщина черно-белых линий по вертикали показывает амплитуду сигнала в каждой реализации на соответствующей разрезу глубине. Чем толще линия, тем больше амплитуда (рис.3).

Максимальная амплитуда сигнала георадара, как правило, проявляется на границе грунтовых вод, в виде резко выраженной толстой линии синфазности. Это объясняется тем, что вода имеет диэлектрическую проницаемость 81, в то время как грунты – в пределах от 4 до 25 (в зависимости от влажности). В связи с чем, при резком изменении диэлектрической проницаемости положение уровня грунтовых вод достаточно хорошо читается по радарограмме. Граница кривой скольжения на оползневом участке также характеризуется существенной разницей во влажности грунтов, о чем сигнализирует радарограмма, по увеличению амплитуды сигнала, которое менее выражено по сравнению с положением УГВ.

На рис. 3 приведена интерпретированная радарограмма георадарного сканирования поперек полосы варьирования автомобильной дороги Кола -Верхнетуломский – КПП«Лотта» (Мурманская область), где кривая скольжения выделена темно-синим цветом.

Помимо упомянутых количественных показателей (толщины слоев дорожной одежды и грунтов земляного полотна, положения УГВ) можно выделить и каче-

ственные показатели, такие как локальные зоны и дефекты:

- 1) зоны просадочных и разуплотненных грунтов (например, из-за карстовых деформаций, осадки слабых грунтов и т.д.), вымоины и размывы зоны с переувлажненными грунтами в их основании и др.
- 2) зоны инфильтрации поверхностных и грунтовых вод;
- 3) включения неоднородных грунтов (суглинистых и глинистых грунтов в кондиционные дорожно-строительные материалы);
- 4) сдвиги грунта в поперечном профиле и трещины в монолитных слоях дорожной одежды.

На радарограммах достаточно четко просматриваются зоны просадочных и разуплотненных грунтов (рис. 4), которые характеризуются наличием воздушных прослоек или большой пористостью. Чему на радарограммах соответствуют большие значения амплитуды сигнала: например, на интерпретированной радарограмме продольного разреза участка автомобильной дороги М-8 Москва-Архангельск (протяженность 200 м), проходящего по закарстованной территории.

Вымоины содержат пустоты, которые легко интерпретируются на радарограммах, как чередующиеся толстые горизонтальные белые и черные линии синфазности, характеризующиеся малыми значениями частоты и значительными амплитудами сигнала. На рис.5 приведено пространственное изображение земляного полотна над водопропускной трубой на участке автомобильной дороги Тотьма-Нюксеница-Великий Устюг (Вологодская область) с выделенными вымоинами и размывами зонами с переувлажненными грунтами в их основании.

Зоны избыточного увлажнения, характеризующая инфильтрацию подземных вод, имеют характерную рябь («хаотическая» волновая картинка) на радарограммах. На рис.6 приведены зоны инфильтрации подземных вод (желтый контур) на интерпретированной радарограмме продольного разреза участка автомобильной дороги Кола – Верхнетуломский – КПП «Лотта» (Мурманская область).

Выявление неоднородных грунтов в теле насыпи или наличие пылеватых грунтов

также достаточно легко просматривается на радарограмме по характерным линиям синфазности. На рис. 7 приведены интерпретированные радарограммы поперечных разрезов на автомобильной дороге Архангельск-М.Карелы-Белогорский (Архангельская область), где выявлены неоднородные грунты (иногда одни и те же грунты, но имеющие различную влажность) в теле земляного полотна, что обуславливает неравномерность пучинных деформаций. Сдвиги грунта в поперечном направлении на участках уширения земляного полотна и оползневых участках отчетливо просматриваются по разрывам непрерывных линий синфазности и их смещению, которые, например, хорошо выделяются в верхней части по всему поперечному разрезу на рис.7

Среди новых методик, позволяющих оценивать состояние дорожно-строительных материалов и грунтов с помощью не только качественных, но и количественных показателей, можно выделить анализ амплитудно-частотных характеристик (на заданных глубинах), которые стали широко применяться при обработке радарограмм (см. Кулижников А.М., Денисов Р.Р. Георадарные методы инженерно-геологических изысканий автомобильных дорог с одеждой жесткого типа // ДОРОГИ И МОСТЫ. Сборник ст. ФГУП РОСДОРНИИ. – М., 2007, вып. 17/1. – С. 55-67).

Наиболее распространенные из них:

- выделение переувлажненных и разуплотненных участков земляного полотна методом частотного анализа, а также с применением преобразования Гильберта к исходным сигналам для наилучшего определения областей с повышенной энергией отражения;
- выявление наличия трещин в монолитных слоях дорожной одежды с помощью анализа амплитуд по каждой точке зондирования (в том числе по изменению амплитуды сигнала прямого прохождения в верхних слоях).

**Разуплотненные зоны в основании дорожной одежды.** Разуплотненная зона, наряду с основным, разуплотненным материалом, имеет повышенное содержание воды и/или воздуха. Подобные области отличаются по изменению наиболее важного параметра среды для георадиолокации – диэлектрической проницаемости, которая в области раз-

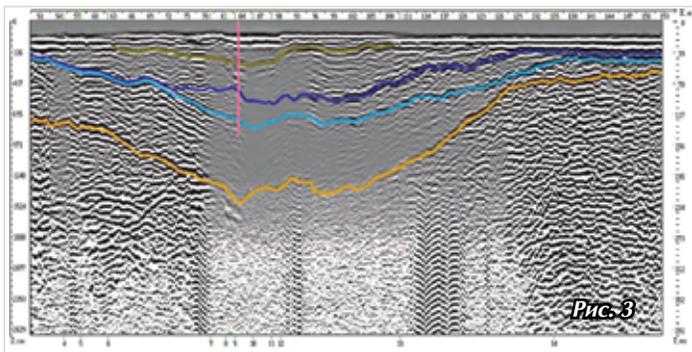


Рис. 3

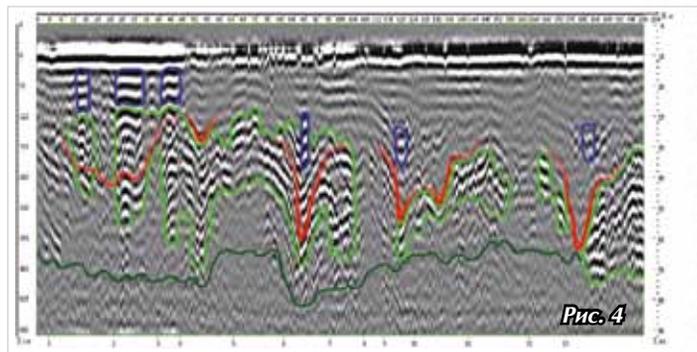


Рис. 4

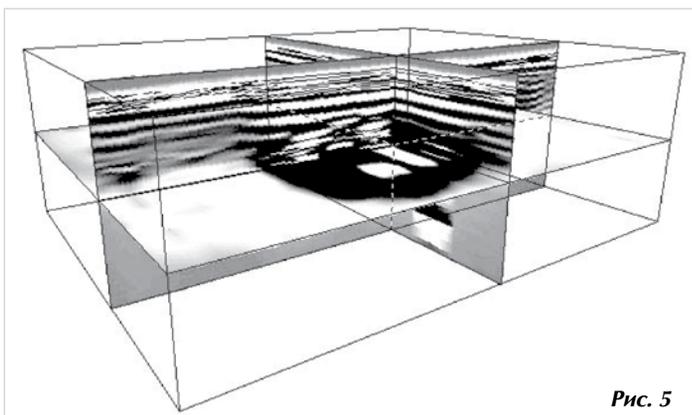


Рис. 5

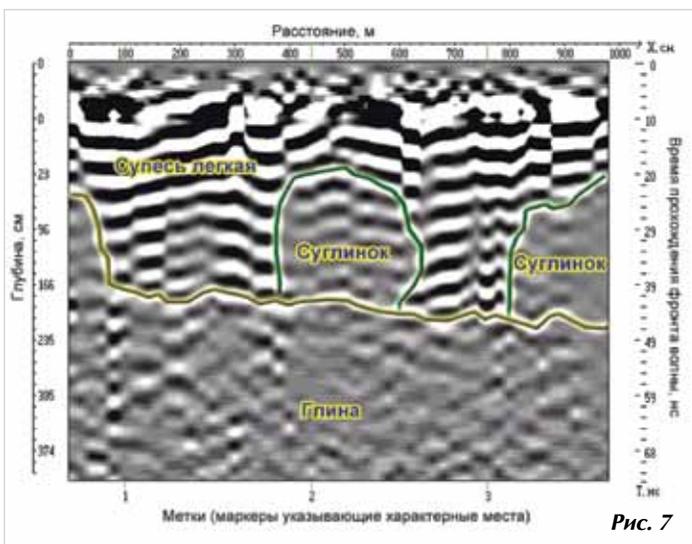


Рис. 7

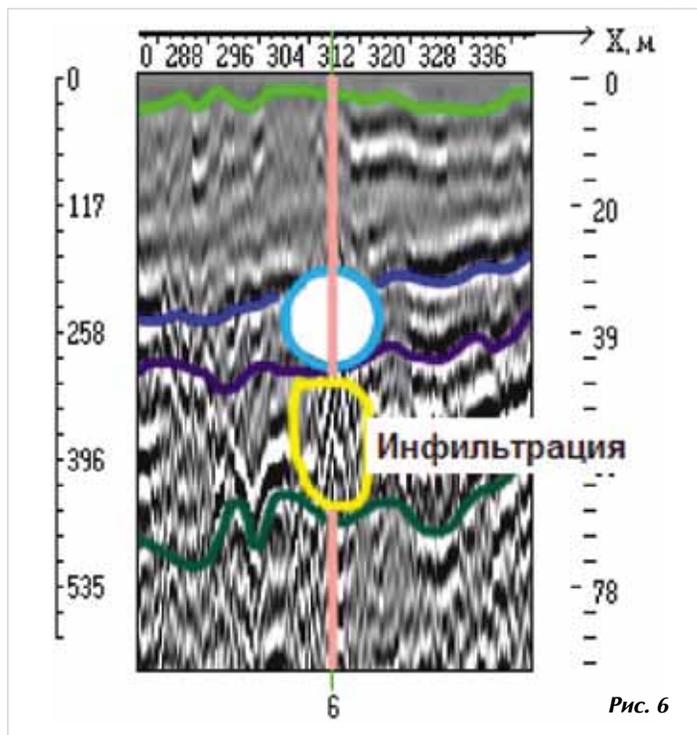


Рис. 6

Рис. 3. Радарограмма с выделенными границами грунтов и кривой скольжения.  
Рис. 4. Зоны просадочных и разуплотненных грунтов (контуры синий – пустоты, зеленый – разуплотненные зоны, красный – направления просадок)  
Рис. 5. Размыв грунта земляного полотна над водопроницаемой трубой: черный контур на горизонтальной плоскости показывает границы вымоины.  
Рис. 6. Зона инфильтрации подземных вод ниже водопроницаемой трубы.  
Рис. 7. Неоднородные грунты в поперечном разрезе земляного полотна.

уплотнений меняется в несколько раз, так как диэлектрическая проницаемость трехкомпонентной среды (воздух, вода, минеральные зерна) определяется пропорцией этих компонент, для которых диэлектрическая проницаемость равна соответственно 1, 81 и 6-9.

**Выделение переувлажненных и разуплотненных зон.** Переувлажненные зоны, как правило, характеризуются низкими частотами. При выполнении работ раскраска георадиолокационного профиля подбирается таким образом, чтобы с уменьшением частоты отраженного сигнала цвет становился

более темным, при этом максимальная влажность грунта должна быть прямо пропорционально интенсивности синего цвета. Зоны раскрашенные синим цветом – это зоны низкой частоты и избыточно увлажненного грунта земляного полотна и подстилающего основания.

Особенно четко зоны низкой частоты выделяются на профилях после применения преобразования Гильберта к исходным сигналам для наилучшего определения областей с повышенной энергией отражения. Упомянутые области на рис. 8 выделены синим цветом, и соответствуют разуплотненным зонам в грунтах земля-

ного полотна и подстилающем основании на автомобильной дороге «Колыма».

**Обводненные и разуплотненные зоны непосредственно под бетонными плитами.** Для эффективности реконструкции и капитального ремонта представляет научный интерес оценить состояние бетонных плит и их основания, если в весенний период фиксируется эффект «качания» асфальтобетонного покрытия, уложенного поверх плит. Участки с повышенным увлажнением (выделены красным цветом), определены на основе анализа амплитуд по каждой точке зондирования (особое внимание уделено

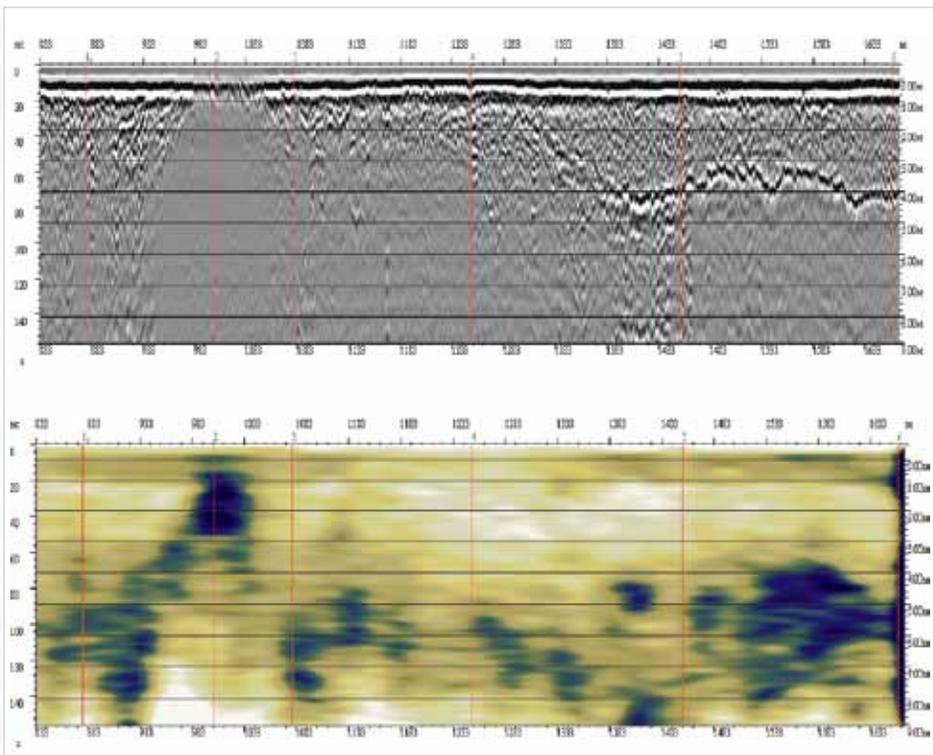


Рис.8. Продольный георадиолокационный профиль земляного полотна на участке автомобильной дороги «Колыма»: а – необработанная радарограмма; б – радарограмма с выделенными областями повышенной влажности (темно-синий цвет)

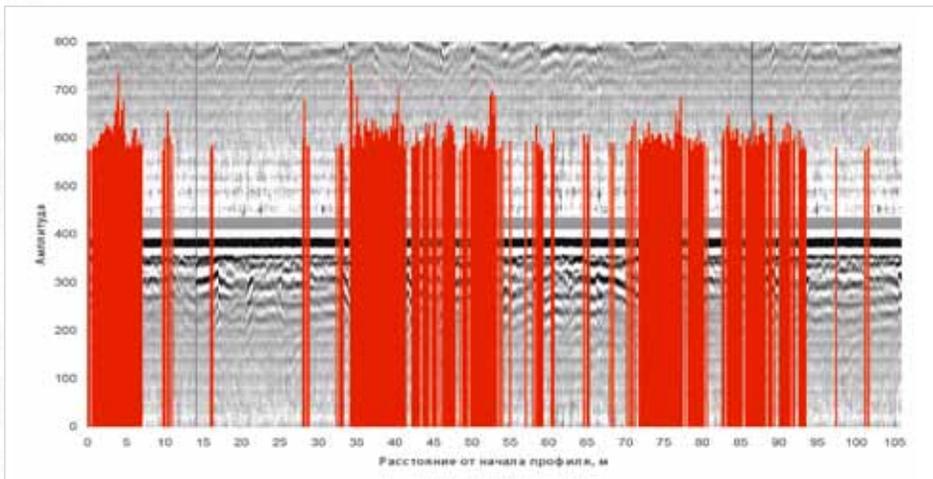


Рис. 9. Области повышенного увлажнения на георадарной подложке

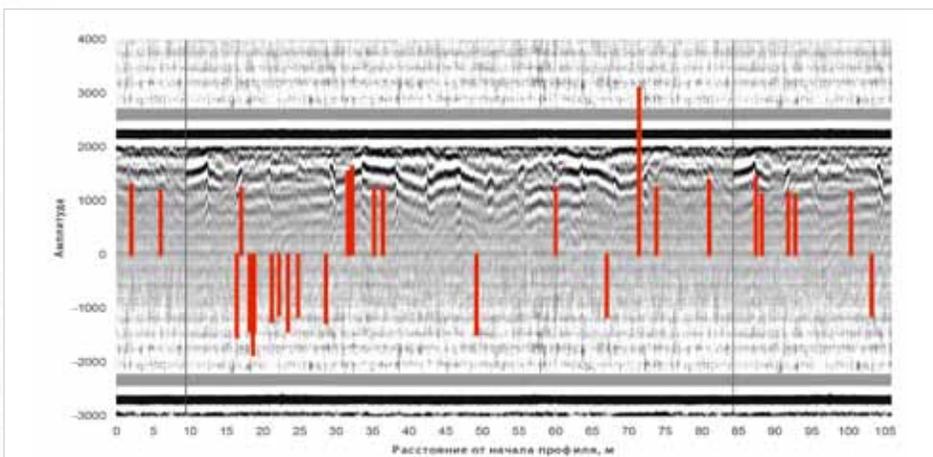


Рис.10. Анализ амплитуд сигнала прямого прохождения на георадарной подложке (по длине участка автомобильной дороги)

влажности на границах конструктивных слоев дорожной одежды) и представлены на рис. 9. Подложкой служит изображение соответствующей радарограммы, полученной при георадарном зондировании участка автодороги Тюмень – Ханты-Мансийск.

**Наличие трещин в бетонном покрытии, расположенном под слоем асфальтобетона.**

Состояние дорожного покрытия при георадиолокационном обследовании можно также оценивать по изменениям амплитуды сигнала прямого прохождения георадара. Сигналом прямого прохождения, идущий из передающей антенны георадара в приемную напрямую, распространяясь частично по воздуху, частично в первых десятках сантиметров исследуемой среды, не распространяясь в глубину. Таким образом, наличие трещин и прочих неоднородностей в дорожном покрытии сказывается на величине амплитуды вышеописанного сигнала.

На рис. 10 представлен график наличия трещин (как видимых, так и невидимых на поверхности) в нижних слоях дорожного покрытия. График построен на основе анализа амплитуд сигнала прямого прохождения георадара. Высокие значения амплитуд свидетельствуют о наличии трещин. Особый интерес вызывает тот случай, когда трещины уже появились в нижней части плит, в то время как они почти не видимы на поверхности.

Георадарное оборудование и методы обследований, обработки и интерпретации радарограмм постоянно совершенствуются, что свидетельствует о развитии инновационных георадарных технологий и раскрытии их новых возможностей. Результаты георадарных обследований дорожных конструкций при дополнении традиционных технологий инженерных изысканий позволяют уже сегодня на основе информации по внутреннему строению дорожных конструкций назначать и выполнять эффективные работы по реконструкции и капитальным ремонтам, тем самым существенно повышать транспортно-эксплуатационные характеристики и продлевать межремонтные сроки службы дорожных сооружений.

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