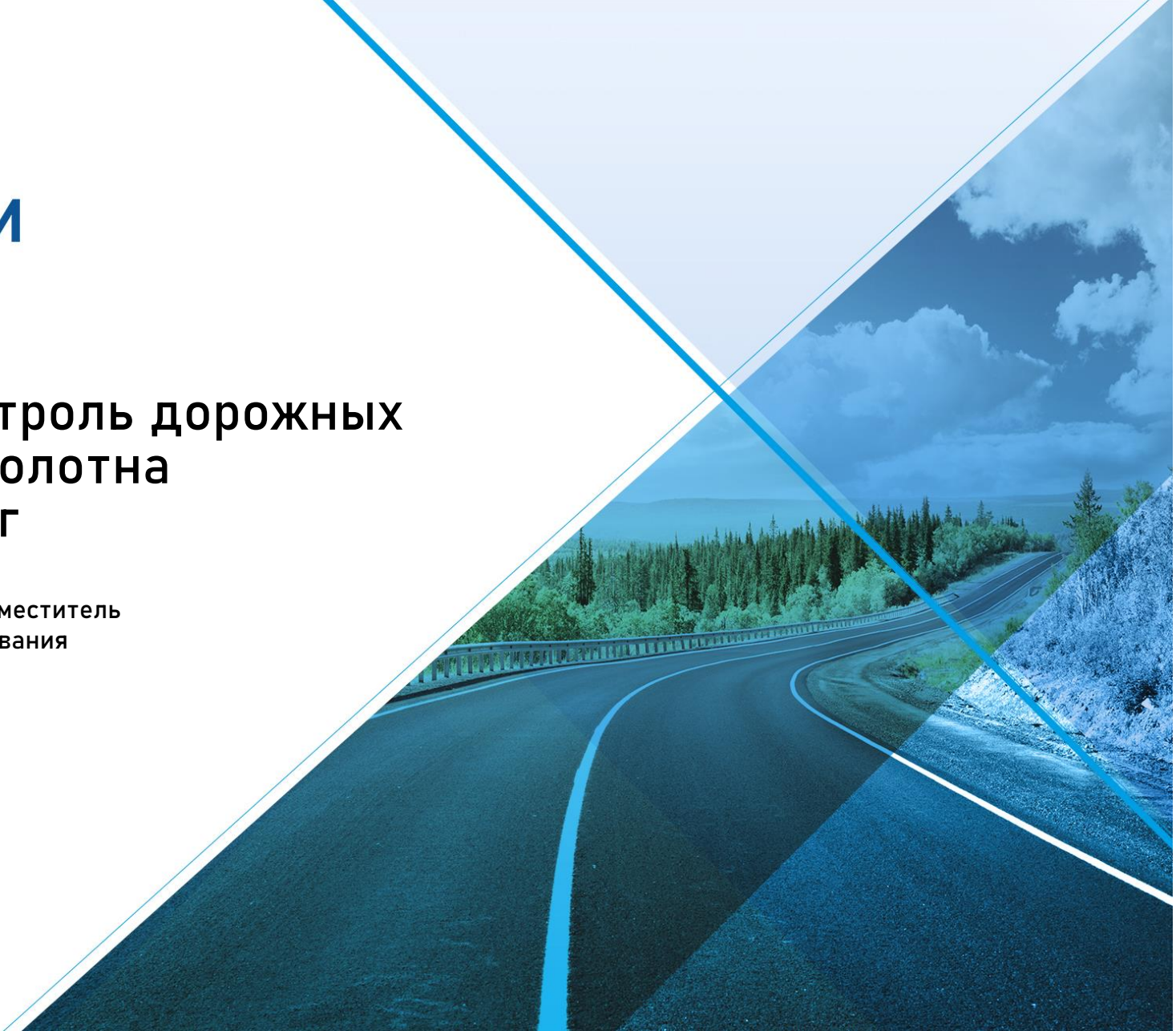




РОСДОРНИИ

Неразрушающий контроль дорожных одежд и земляного полотна автомобильных дорог

Еремин Р.А., кандидат технических наук, заместитель
начальника управления методов проектирования
автомобильных дорог ФАУ «РОСДОРНИИ»



Цель:

Внедрение новых неразрушающих методов обследования для оценки внутреннего строения и состояния автомобильных дорог, обоснования проектных решений и оценки соответствия дорожных работ

Задачи:

- обследование грунтов земляного полотна и его основания (выявление просадок и карстообразования, переувлажнения и локального ослабления грунтов, УГВ), а также материалов дорожных одежд (ослабленные зоны);
 - непрерывное определение конструкции и толщины слоев дорожной одежды в межскважинном пространстве. *в рамках подготовки проектных решений для ремонта, капитального ремонта и реконструкции в соответствии с ГОСТ 32836-2014 (Изыскания. Общие требования) и ГОСТ 32868-2014 (Инженерно-геологические изыскания)*
 - оценка соответствия по толщине конструктивных слоев дорожной одежды (в т.ч. однородность толщины слоев);
 - оценка однородности свойств материалов и грунтов земляного полотна (влажность, плотность).
- в ходе оценки соответствия выполненных дорожных работ по ГОСТ Р 59120-2021 (Дорожная одежда. Общие требования), ГОСТ Р 58349-2019 (Методы измерения толщины слоев дорожной одежды), ОДМ 218.3.075-2016 (контроль качества дорожно-строительных работ)*



Ключевые требования нормативно-технических документов

1. ГОСТ Р 59120-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования
 - п. 8.1.1 Допуски по толщине асфальтобетонных слоев покрытия (для трех измерений) - 15% (при толщине слоя до 60 мм); для асфальтобетонных слоев покрытия и основания - 10% (при толщине слоя более 60 мм).
 - п. 8.1.2 Допуски по толщине слоя основания из щебеночных материалов и грунтов, обработанных органическим вяжущим ± 2 см для 10% результатов измерений и ± 1.5 см для 90%; для щебеночных и гравийных материалов, не обработанных вяжущим: на песчаном основании ± 3 см и ± 1.5 см, на прочном ± 2 см и ± 1 см
 - п. 8.1.3 Места отбора вырубок (кернов) рекомендуется определять по результатам георадиолокационных измерений в соответствии с ГОСТ Р 58349-2019 (раздел 9).

2. ГОСТ Р 58349-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Методы измерения толщины слоев дорожной одежды»
 - п. 5.3 Требования к георадиолокационному оборудованию:
погрешность измерений толщины слоев не должна превышать:
 - 1) 0,5 см для монолитных слоев на глубине не более 10 см;
 - 2) 1 см - для монолитных слоев на глубине от 11 до 20 см;
 - 3) 2 см - для монолитных слоев и слоев из несвязных материалов на глубине от 21 до 60 см;

3. ГОСТ 32868-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению инженерно-геологических изысканий»
 - п. 9.1.2.7 Геофизические исследования следует проводить с целью уточнения положения границ слоев, выявления и прослеживания неоднородности геологического строения между инженерно-геологическими выработками
 - п. 9.1.2.10 При необходимости выявления просадочных и закарстованных участков, разуплотненных зон и переувлажненных грунтов в основании земляного полотна в составе геофизических работ следует выполнять георадиолокационное профилирование и электротомографию по всей длине трассы



4. ОДМ 218.3.075-2016 «Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации»

п. 4.4 При георадиолокационном контроле (продольные и поперечные проходы георадара по обследуемому участку) выявляют участки автомобильных дорог с возможными нарушениями по толщине слоев и однородности свойств (влажность и плотность) материалов нижних слоев основания дорожной одежды и грунтов земляного полотна

п. 4.5 Георадиолокационный контроль осуществляют:

- при операционном контроле в ходе дорожно-строительных работ (выполняется строительной организацией);
- при контроле в ходе строительных работ и при приемочном контроле (осуществляется организацией по строительному контролю);
- по запросу контролирующих органов в ходе проведения проверок эффективности расходования денежных средств (выполняется независимыми специализированными организациями).

п. 5.2 Сплошной контроль всегда выполняется в ходе операционного контроля строительной организацией. В ходе операционного и приемочного контроля организацией по строительному контролю выполняется как выборочный, так и сплошной контроль, в зависимости от требований заказчика (застройщика) и протяженности участка.

Длина участка для выборочного контроля назначается равной от 20% до 30% от общей протяженности построенного участка, при его длине до 15 км. При большей длине - от 5% до 20% от общей протяженности участка.





- Обследование локальных участков, в т.ч. недоступных для движения транспорта, запись поперечных профилей или плотной ортогональной съемочной сети на площадных объектах
- Точная геодезическая привязка георадарных профилей, совмещение результатов георадарного обследования с топографическим планом, схемой инженерных сетей



Георадарные обследования в транспортном режиме



Система георадиолокационного оборудования на базе импульсного георадара «ОКО-3» с двумя линейками антенных блоков с частотами 700 и 2000 МГц



Система георадиолокационного оборудования НПО «Терразонд» из трех блоков «ГРТ-22» с линейным изменением частот от 500 до 2000 МГц

- Ширина георадарной съемки за 1 проезд до 2,3 м
- Шаг сканирования вдоль профиля съемки от 2-х см
- Осуществление параллельного сбора облака точек лазерного сканирования
- Высокоточная геодезическая привязка всех данных



Контактные антенные блоки

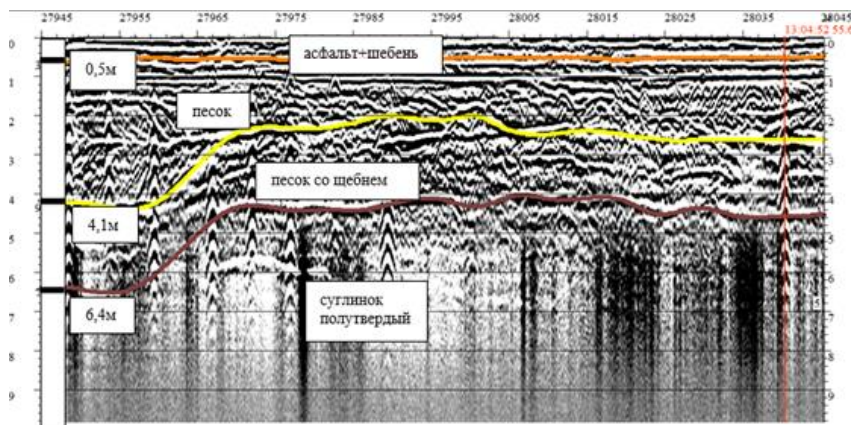
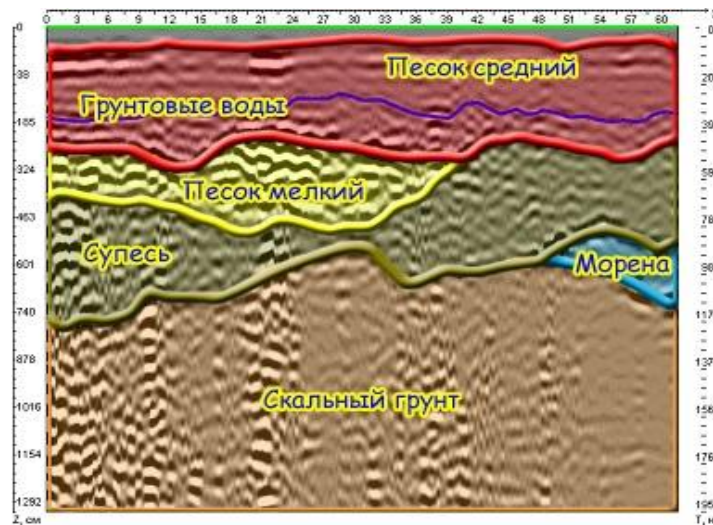
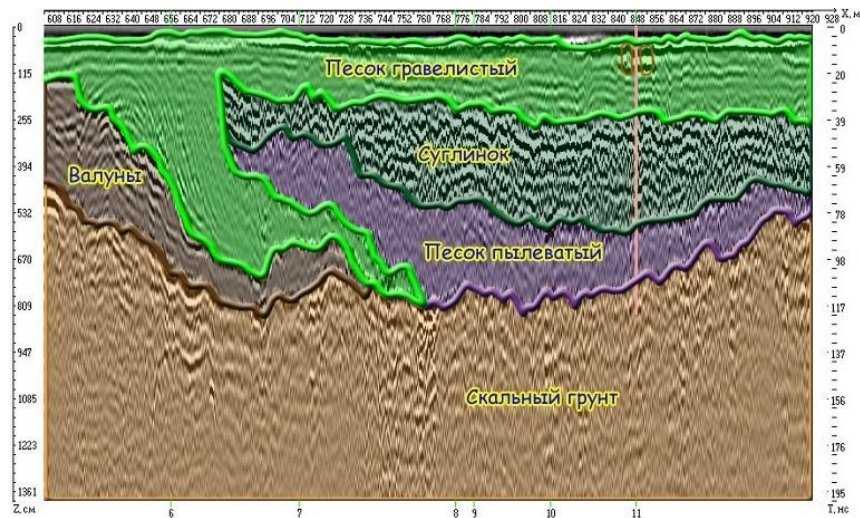
Центральная частота, МГц	Максимальная глубина зондирования, м	Разрешающая способность по глубине, м
90	16	0,5
150	12	0,35
250	8	0,25
400	5	0,15
700	3	0,1
900	1,7	0,05
1200	1,5	0,05
1700	1	0,03

Бесконтактные антенные блоки

Центральная частота, МГц	Максимальная глубина зондирования, м	Разрешающая способность по глубине, м
400	3	0,1
1000	1,5	0,04
1700	0,8	0,03
2000	0,6	0,02
2500	0,4	0,015



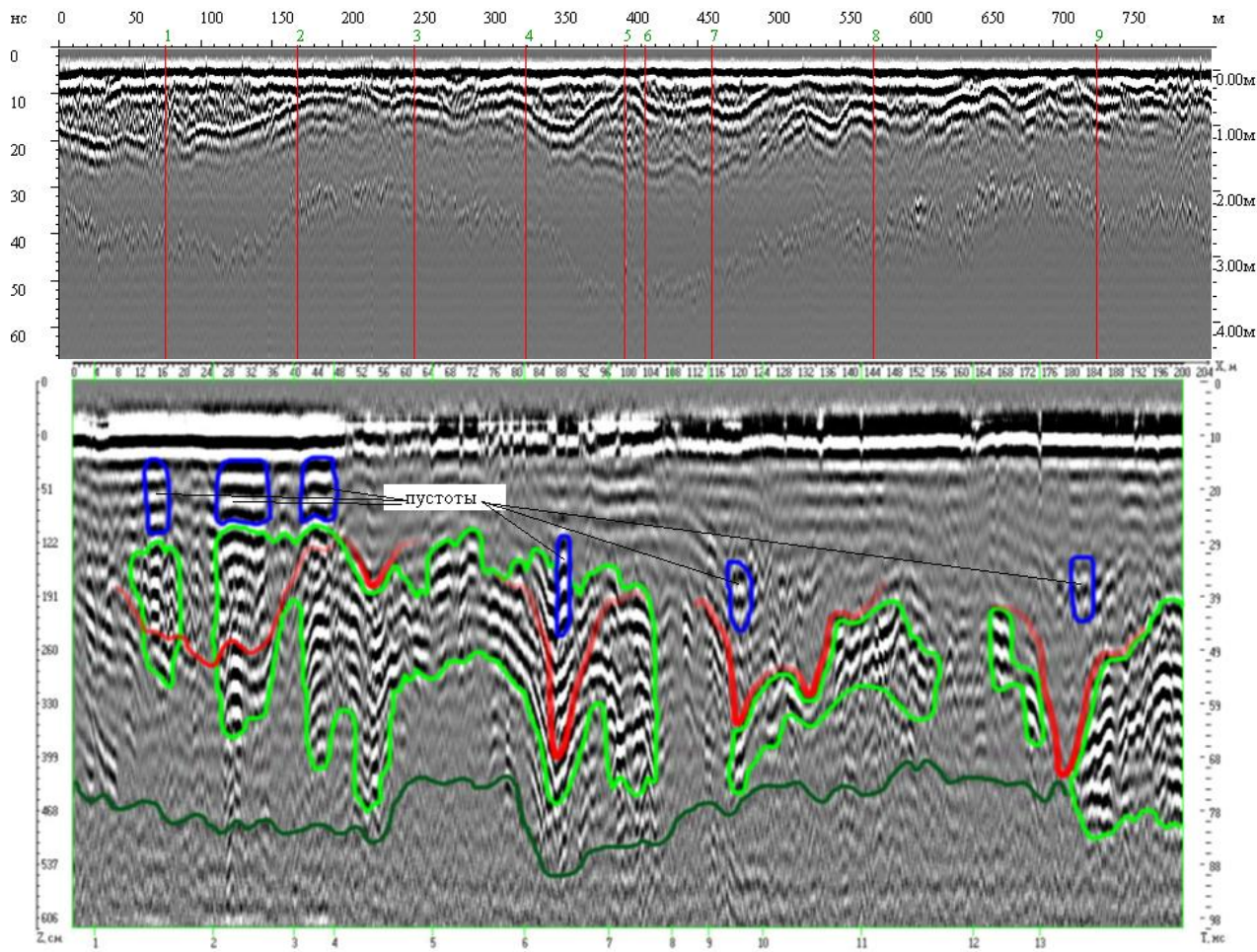
Оценка строения и состояния естественного основания земельного полотна



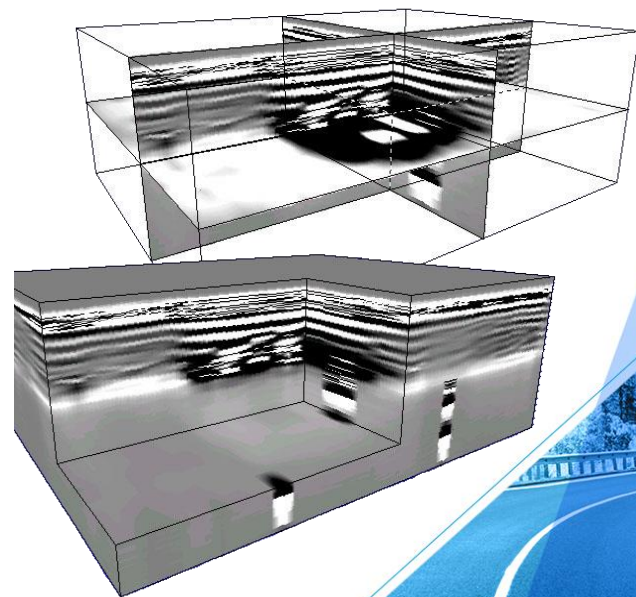
- Построение инженерно-геологического разреза в межскважинном пространстве
- Обоснование мест, количества и глубины проходки выработок
- Изучение гидрогеологических особенностей территории



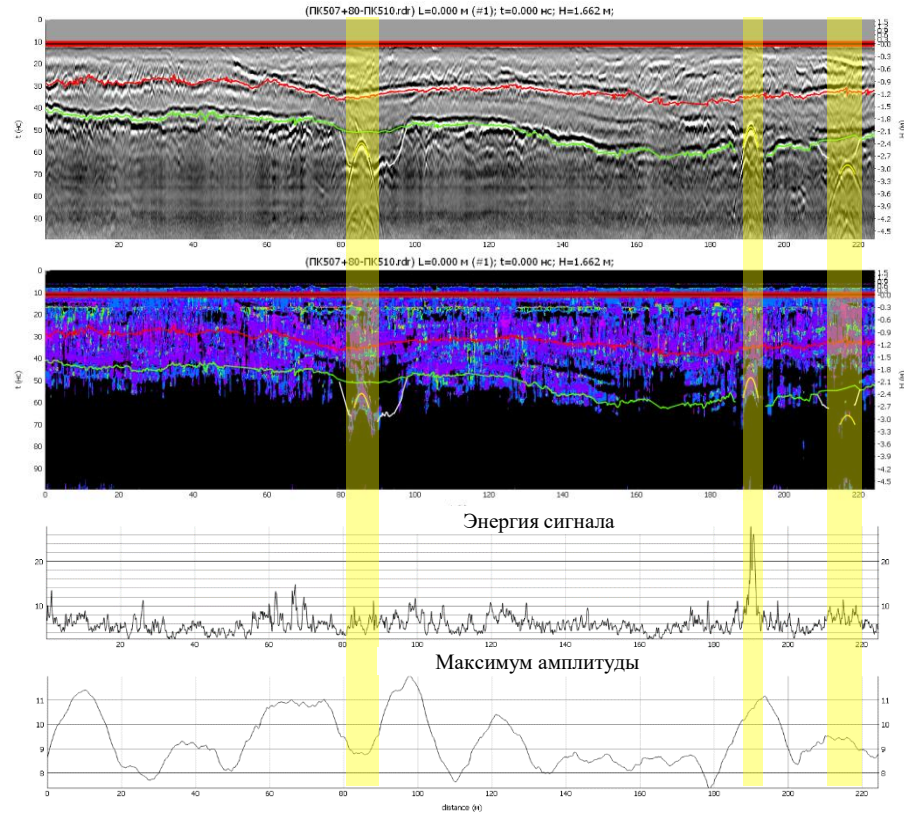
Оценка наличия слабых и просадочных грунтов в основании земляного полотна



- Контроль скрытых объемов работ на участках замены слабого грунта основания
- Определение области распространения слабого грунта в основании земляного полотна
- Выявление пустот и разуплотненных зон на карстовых участках



Контроль однородности свойств дорожно-строительных материалов и грунтов

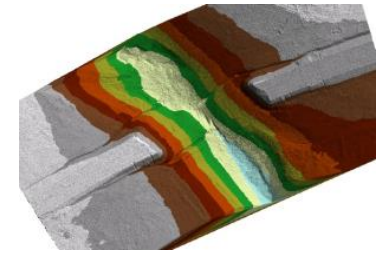
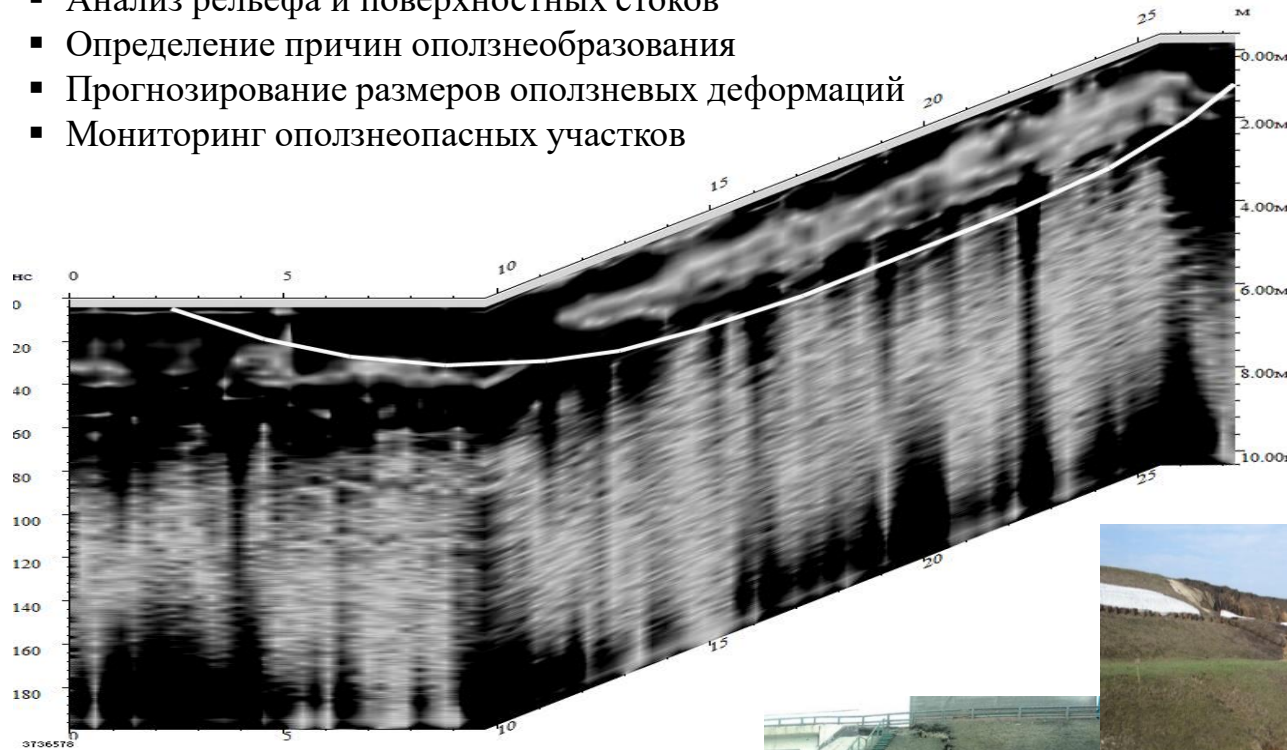


- Непрерывный атрибутивный анализ амплитудно-частотных характеристик материалов слоев дорожных одежд, грунтов земляного полотна и естественного основания
- Обнаружение признаков переувлажнения, разуплотнения, пустоты, включений линз других материалов и грунтов

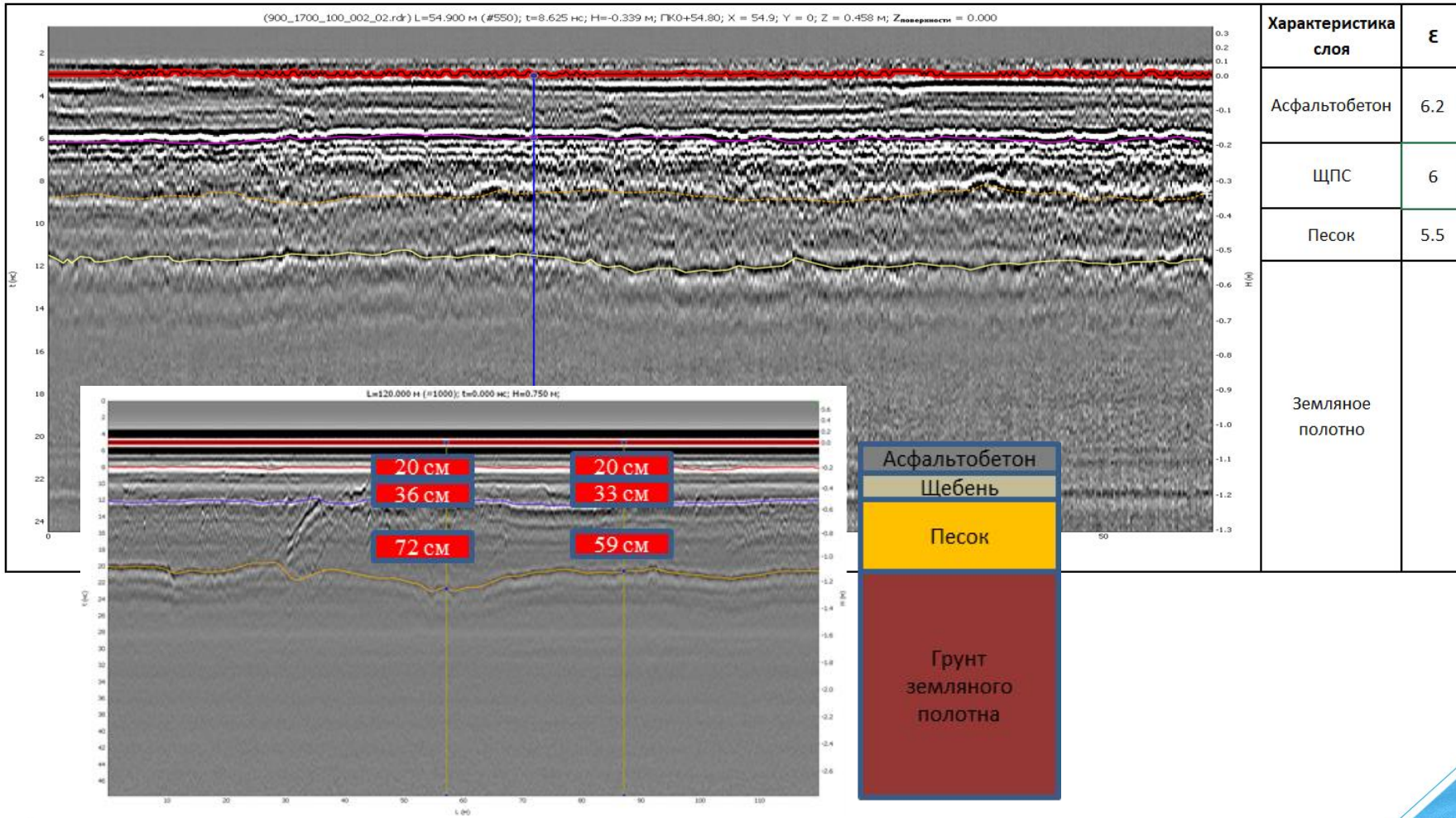
Фрагмент продольного профиля 250 МГц на участке трассы М-12 ПК 507+80 – ПК 510+00

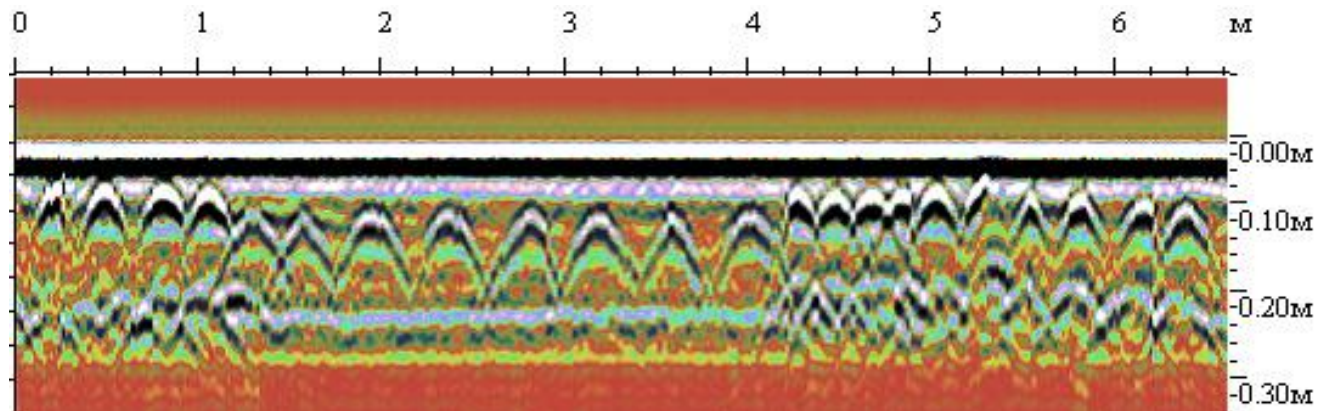
Обследование оползневых участков земляного полотна

- Анализ состояния грунтов земляного полотна и основания
- Анализ изменения уровня грунтовых вод
- Анализ рельефа и поверхностных стоков
- Определение причин оползнеобразования
- Прогнозирование размеров оползневых деформаций
- Мониторинг оползнеопасных участков



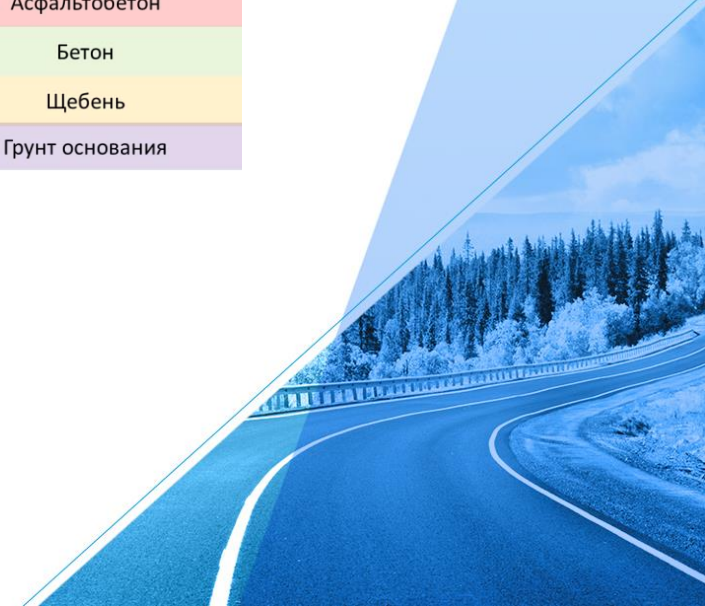
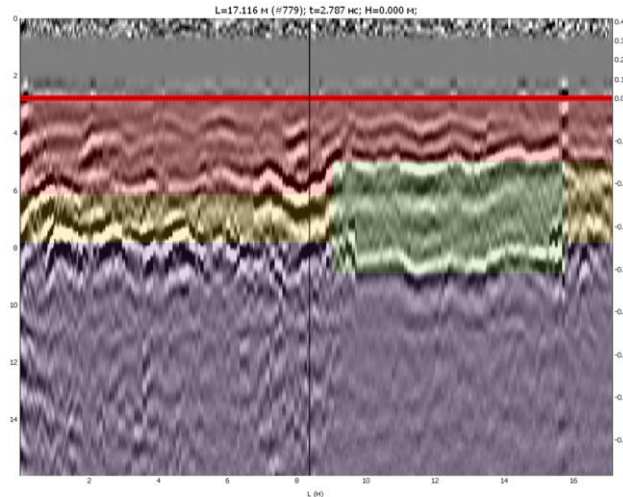
Непрерывный контроль толщины слоев дорожных одежд





- Определение толщины защитного слоя бетонных конструкций
- Определение глубины заложения и границ бетонных конструкций

- Определение шага и глубины армирования бетонных конструкций
- Оценка эффективности работы водоотвода внутри мостовых дорожных конструкций
- Оценка корродированности арматуры внутри бетонных конструкций искусственных сооружений
- Определение местоположения преднапряженной арматуры





Съемка слоев основания и грунтов земляного полотна



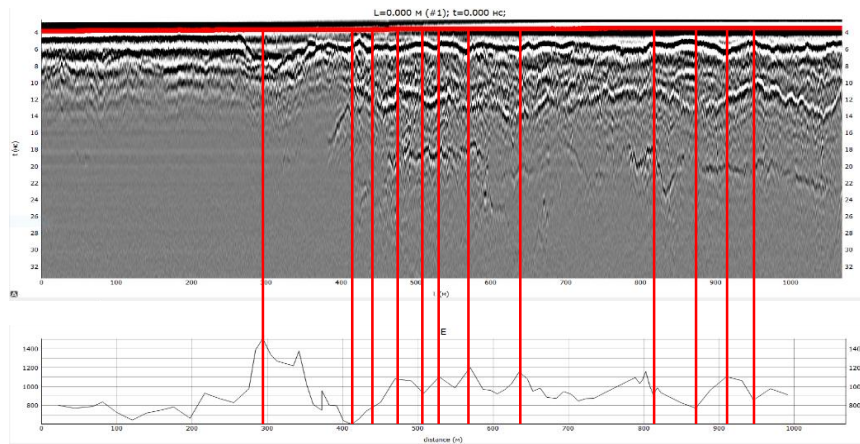
Проходка шурфа



Отбор кернов

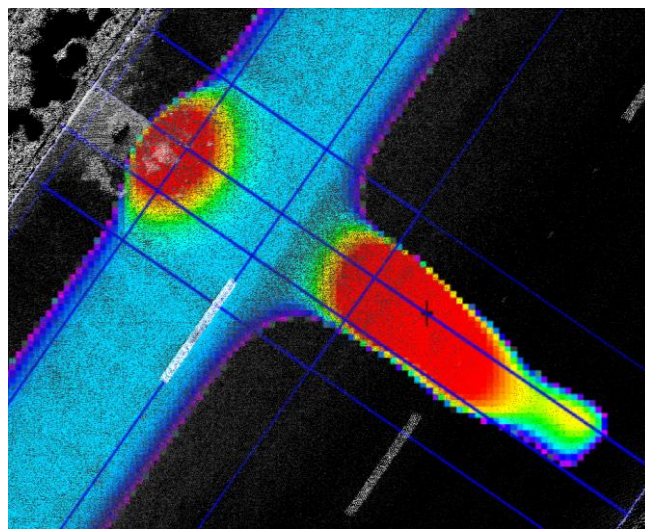
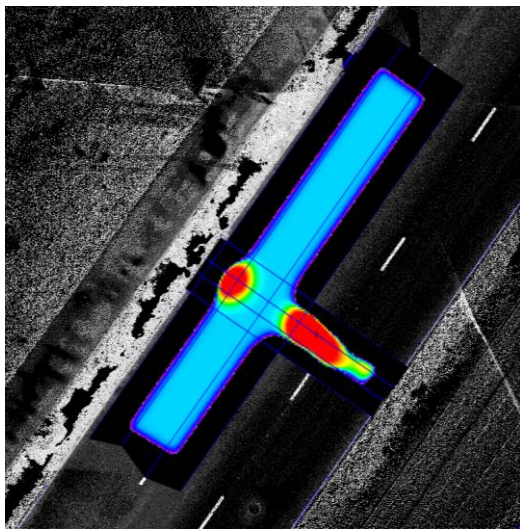
- Георадарная съемка с линейной и координатной привязкой профилей
- Определение мест проходки выработок и их вынос на местности
- Отбор проб, замер толщины слоев дорожной одежды, лабораторные испытания материалов
- Интерпретация георадарных профилей
- Определение площади и уклонов дорожного покрытия по результатам геодезической съемки
- Подготовка заключения о соответствии выполненных дорожно-строительных работ по качеству и объемам





Георадар и динамическое нагружение

- Оценка изменения прочности дорожных конструкций
- Определение ослаблений в слоях дорожных одежд



Георадар и лазерное сканирование

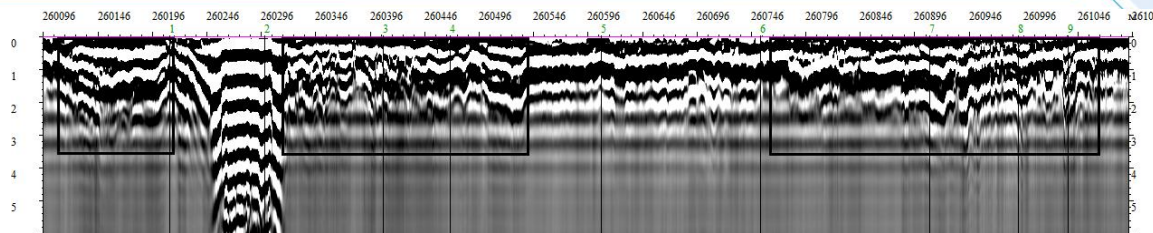
- Определение причин деформации дорожного покрытия
- Локализация ослабленных зон в трёхмерном пространстве



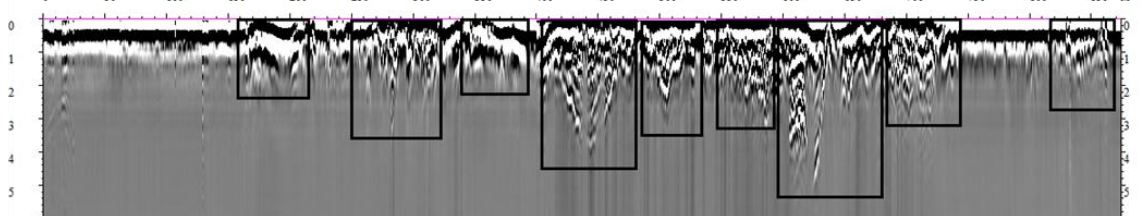
Примеры работ / Оренбургская область

Задача:

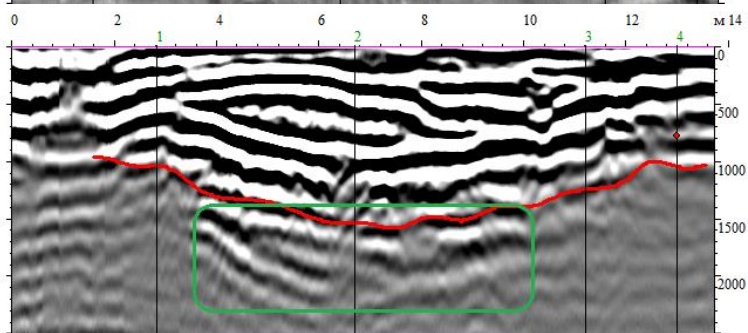
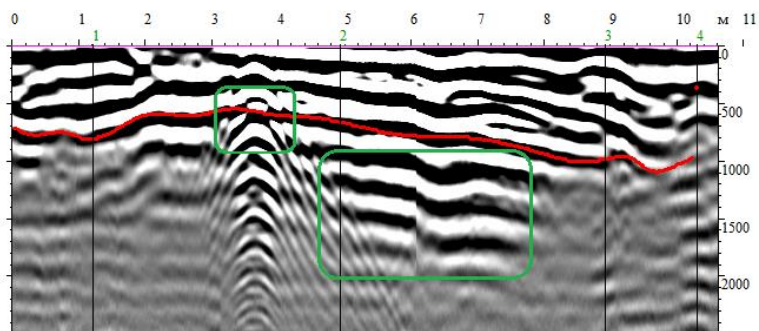
Изучение причин просадок проезжей части на участках высоких насыпей на подходах к путепроводам автомобильной дороги



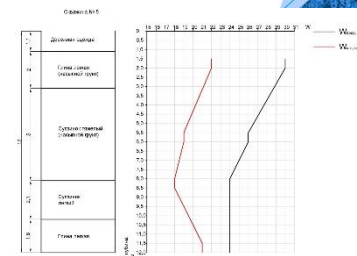
Метки: 1 и 2 – Деформационный шов, от 3 до 9 – просадка на проезжей части



Радарограмма продольного прохода



Метки: 1 – Кромка; 2 – Ось; 3 – Кромка; 4 – Скважина
Радарограмма поперечного прохода



Результат:

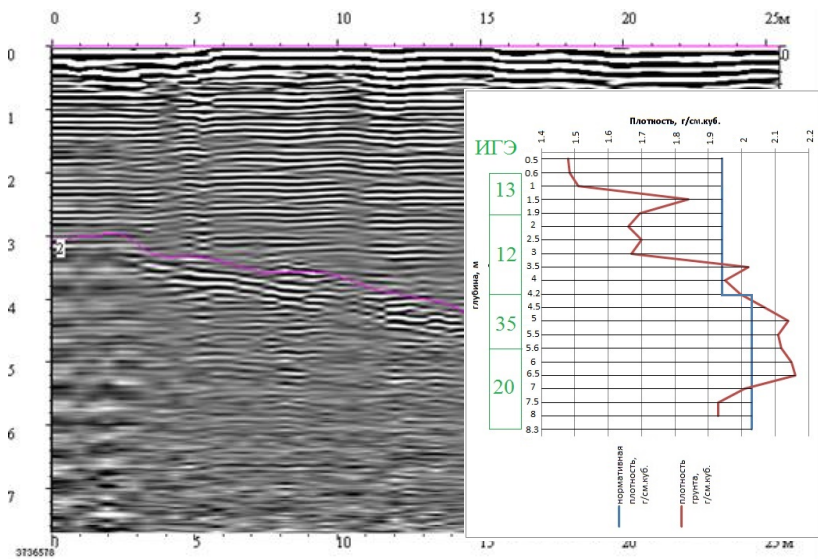
- Изучение причин просадок проезжей части на участках высоких насыпей на подходах к путепроводам выполнено на основе комплексных обследований, включающих проведение георадарных работ (продольные и поперечные проходы), устройство десяти буровых скважин и лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов по отобранным пробам.
- Определены причины просадок проезжей части, к которым отнесены: использование некондиционных грунтов для возведения земляного полотна; отсутствие укрепления просадочных, набухающих, деформируемых грунтов в основаниях насыпи; ошибки, допущенные при проектировании и строительстве данных участков автомобильной дороги, а также при ее содержании.
- По результатам исследований представлены рекомендации по предотвращению просадок и обеспечению устойчивости грунтов земляного полотна из просадочных, набухающих и деформируемых грунтов: обеспечение поверхностного водоотвода, осушение грунтов земляного полотна, укрепление грунтов основания земляного полотна, выполнение своевременных работ по содержанию участков автомобильной дороги.



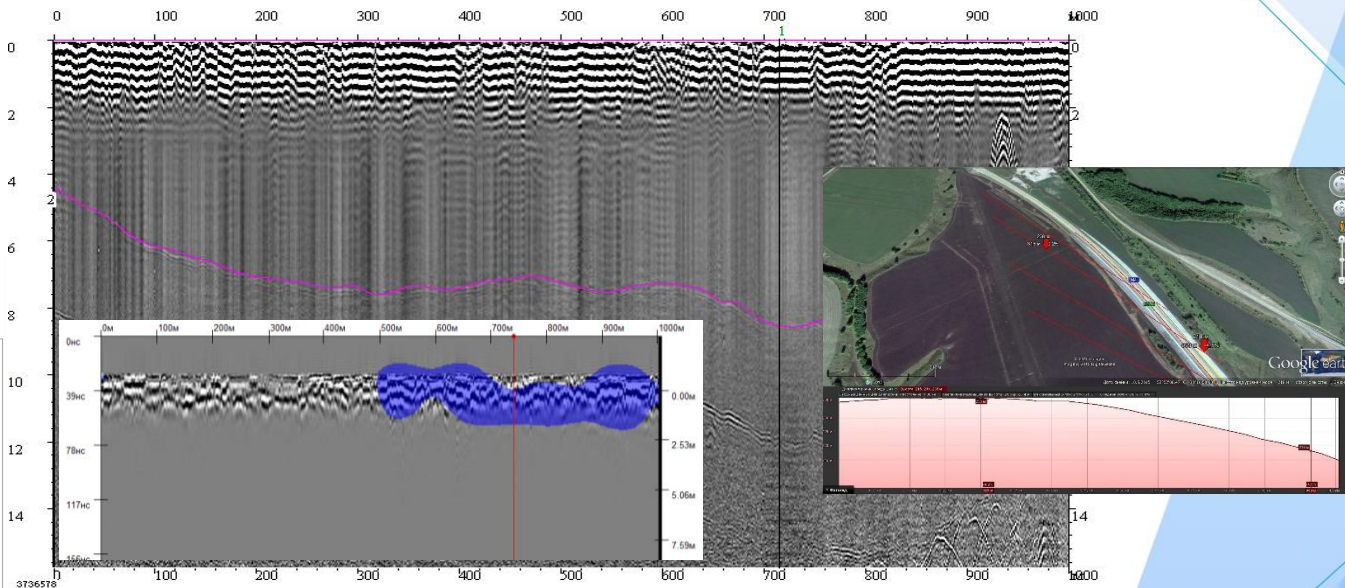
Примеры работ / Липецкая область

Задача:

Определение причин возникновения оползневых деформаций на внешних откосах выемки



Радарограмма поперечного прохода



Радарограмма продольного прохода



Результат:

Причинами сползания откосов являются следующие факторы:

- грунты в основании земляного полотна, склонные к влагонакоплению;
- нерегулируемый сток поверхностных вод с большой площади и миграция подземных вод, сбору которой способствует наличие пахотных земель и траншея кабельной канализации АСУДД;
- отсутствие перехватывающего дренажа, понижающего уровень подземных вод;
- большая высота внешнего откоса выемки, достигающая по правой стороне 10-12 м (без устройства берм);
- экспозиция откоса, способствующая разной его солнечной инсоляции по высоте.

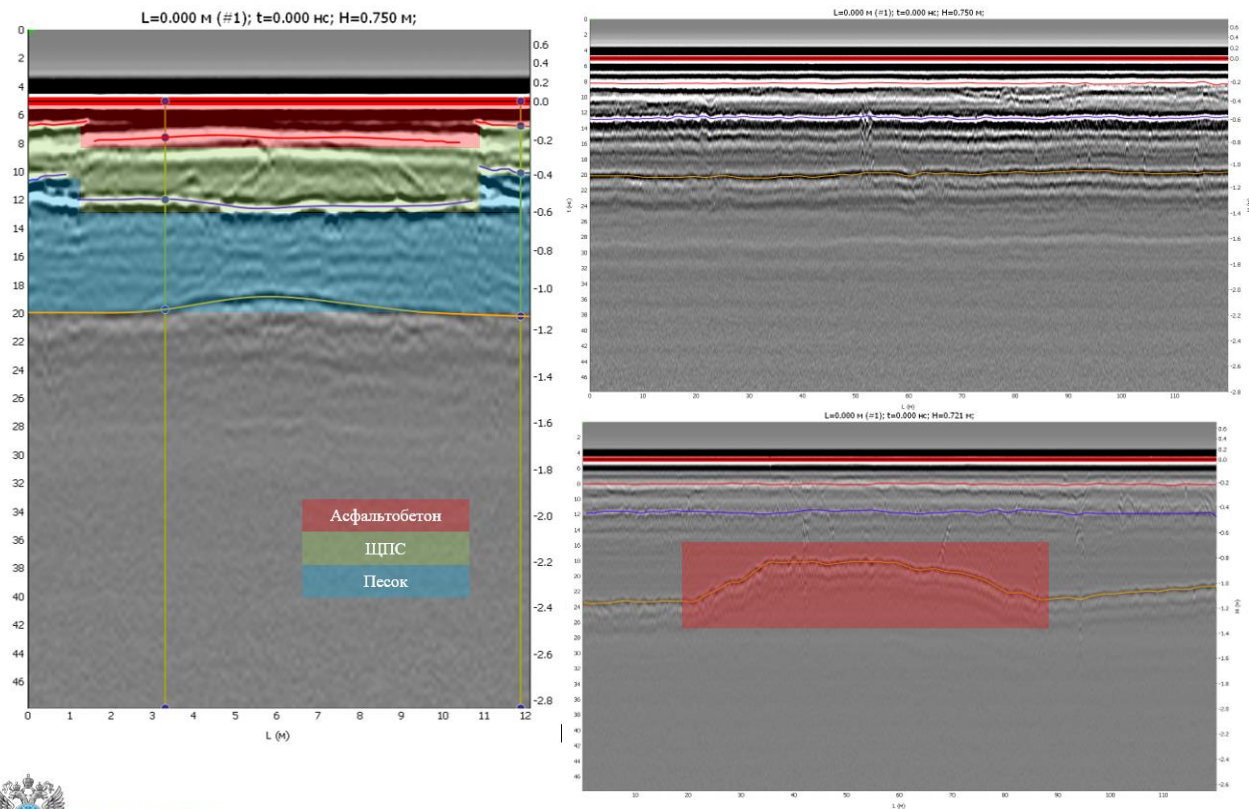
Рекомендации:

- устройство перехватывающего дренажа глубокого заложения для понижения уровня грунтовых вод и отвода их от дороги;
- устройство нагорной канавы (с укреплением дна и стенок) за внешней бровкой земляного полотна с верховой стороны для перехвата и отвода поверхностных вод;
- устройство на откосах на отдельных участках берм.



Задача:

Определение толщины конструктивных слоев дорожной одежды в соответствии с п. 6 ОДМ 218.3.075-2016 «Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации»



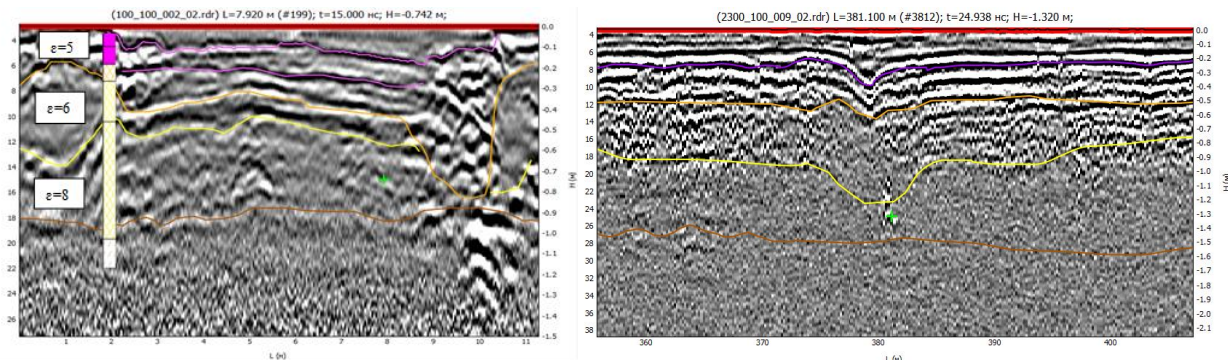
Результат:

1. По результатам георадарного обследования определена толщина всех слоев дорожной одежды в продольном направлении, а также на поперечных профилях с шагом сканирования 10 см на общей протяженности георадарного профиля более 20 км.
2. Рассчитана средняя толщина слоев дорожной одежды на каждом участке, протяженностью до 1 км, а также выполнено сравнение с проектными толщинами.
3. Обнаружены признаки несоответствия толщины слоев по результатам георадарного обследования. Местоположение участков, с выявленными признаками несоответствия толщины слоев дорожной одежды, представлены для проверки по результатам контрольного бурения.
4. Выполнена оценка однородности толщины слоев дорожной одежды, по результатам которой обнаружены участки несоответствия рекомендациям ОДМ 218.3.075-2016 . Обосновано увеличение объемов контрольного бурения на участках несоответствия.
5. Изучена конструкция дорожной одежды в поперечном направлении, оценено соответствие конструкции на укрепленной обочине проектным решениям.

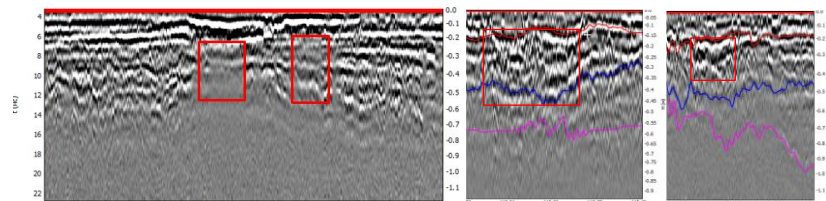


Задача:

Оценка качества выполненных работ по капитальному ремонту участка автомобильной дороги, включающая определение толщины конструктивных слоев дорожной одежды, выделение областей неоднородности свойств (области повышенной влажности, зоны разуплотнения, просадки, участки нарушения контакта между слоями дорожной одежды и пр.) в соответствии с ГОСТ Р 58349-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Методы измерения толщины слоев дорожной одежды» и ОДМ 218.3.075-2016 «Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации»



Локальные просадки и деформации в слоях дорожной конструкции
фиолетовая линия – слой покрытия, оранжевая – подошва ЩПС, желтая – песок, коричневая – подошва
рабочего слоя земляного полотна.



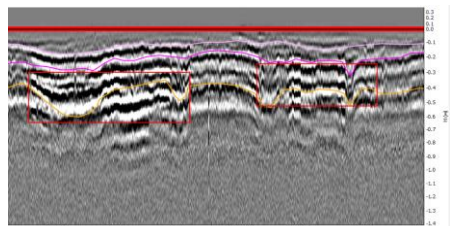
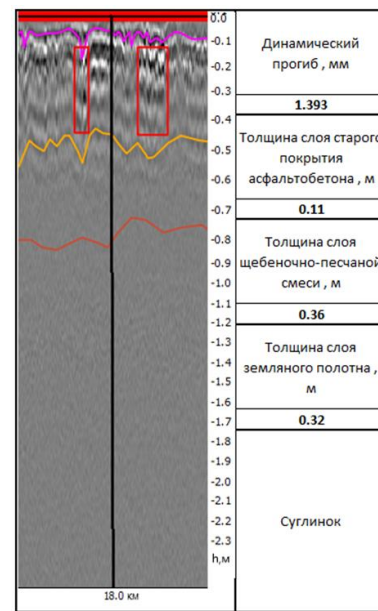
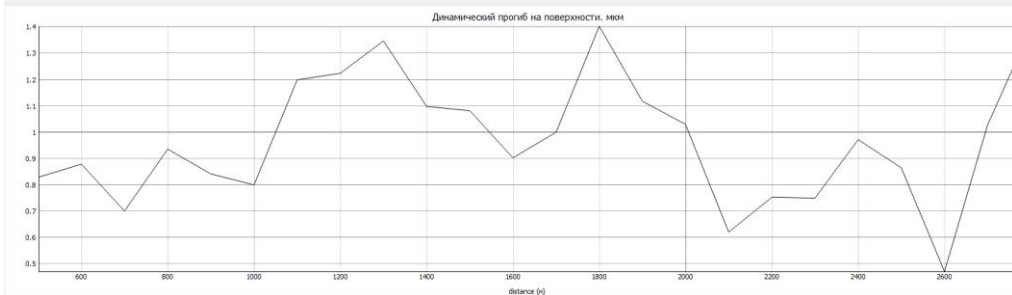
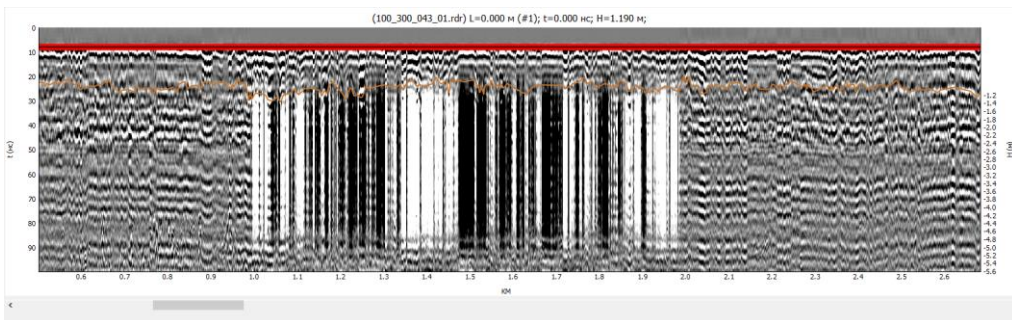
Ослабленные зоны

Результат:

1. По результатам георадарного обследования с шагом 10 см и контрольной проходки шурфов вдоль трассы на протяжении десяти километрового участка определена толщина всех слоев дорожной одежды: пакет асфальтобетонных слоев, щебеночно-песчаный слой основания и дополнительный слой основания из песка. Подтверждено соответствие толщины вновь устроенных слоев асфальтобетонного покрытия.
2. На участке обследования выделены ослабленные зоны в грунтах основания дорожной конструкции на основании анализа амплитудно-частотных характеристик сигнала георадара.
3. Отбор проб в местах, определенных георадаром, позволил обнаружить слой песка пылеватого с малым коэффициентом фильтрации в конструкции дорожной одежды на укрепленной обочине. При этом песок гравелистый с включениями гальки и щебня с хорошими дренирующими свойствами распространен на всю ширину конструкции дорожной одежды по основному типу. Сделан вывод, что дренирующий слой в основании дорожной одежды не может ее осушить из-за недостаточной фильтрации песка пылеватого, залегающего под обочинами и откосами, что и привело к образованию ослабленных зон в основании дорожных одежд.



Задача:
 Разработка и совершенствование методического обеспечения в области определения расчетного и остаточного ресурса дорожных одежд, повышение полноты и достоверности результатов обследования автомобильных дорог георадиолокационными методами с определением фактического состояния и строения дорожных одежд



Результат:

1. По результатам георадарного обследования участков автомобильных дорог в Курской области с учетом проходки шурфов определена толщина всех слоев дорожной одежды. На всех участках обследования выделены ослабленные зоны в грунтах основания, которые были представлены в сводной ведомости.
2. По данным георадарного обследования и динамического нагружения участки увеличения динамического прогиба преимущественно соответствуют местам повышенной влажности и просадок в грунтах основания дорожной одежды.
3. Выполненные работы позволили оценить наличие остаточного ресурса дорожных одежд. По данным георадара и установки динамического нагружения были выявлены места и причины ослабления дорожных одежд. Комплексирование данных позволило подобрать расчетные характеристики материалов для вычисления фактической величины упругого прогиба и оценки его соответствия требованиям прочности эксплуатируемых конструкций дорожных одежд.
4. Результаты работы показали, что ресурс конструкций дорожных одежд для всех исследованных участков исчерпан, а ремонт с заменой покрытия будет не эффективным.



Представление результатов

Имя файла	Номер трассы	Время записи	Расстояние	X	Y	Z, м	ПК	Толщина слоя Асфальто бетон новый, см	Толщина слоя Асфальто бетон старый, см	Толщина слоя ЩПС, см	Толщина слоя песка, см
100_300_004	0	12:53:23	0	35.80715	52.09962	0.579739	ПК0+0.10	6.7	4.6	20.2	39.5
100_300_004	250	12:53:18	10	35.80688	52.0997	0.5827	ПК0+10.10	7.1	5.4	17.1	40.1
100_300_004	500	12:53:15	20	35.80671	52.09975	0.579739	ПК0+20.10	9.9	5.6	16.2	41.7
100_300_004	750	12:53:13	30	35.80655	52.0998	0.579739	ПК0+30.10	10.1	4.3	19.0	37.3
100_300_004	1000	12:53:12	40	35.8064	52.09985	0.579739	ПК0+40.10	9.8	5.4	20.3	38.7
100_300_004	1250	12:53:10	50	35.80626	52.09989	0.579739	ПК0+50.10	9.7	2.5	19.4	39.5
100_300_004	1500	12:53:09	60	35.80612	52.09993	0.585661	ПК0+60.10	7.6	5.6	19.0	40.4
100_300_004	1750	12:53:07	70	35.80599	52.09997	0.585661	ПК0+70.10	7.3	6.3	18.6	37.6

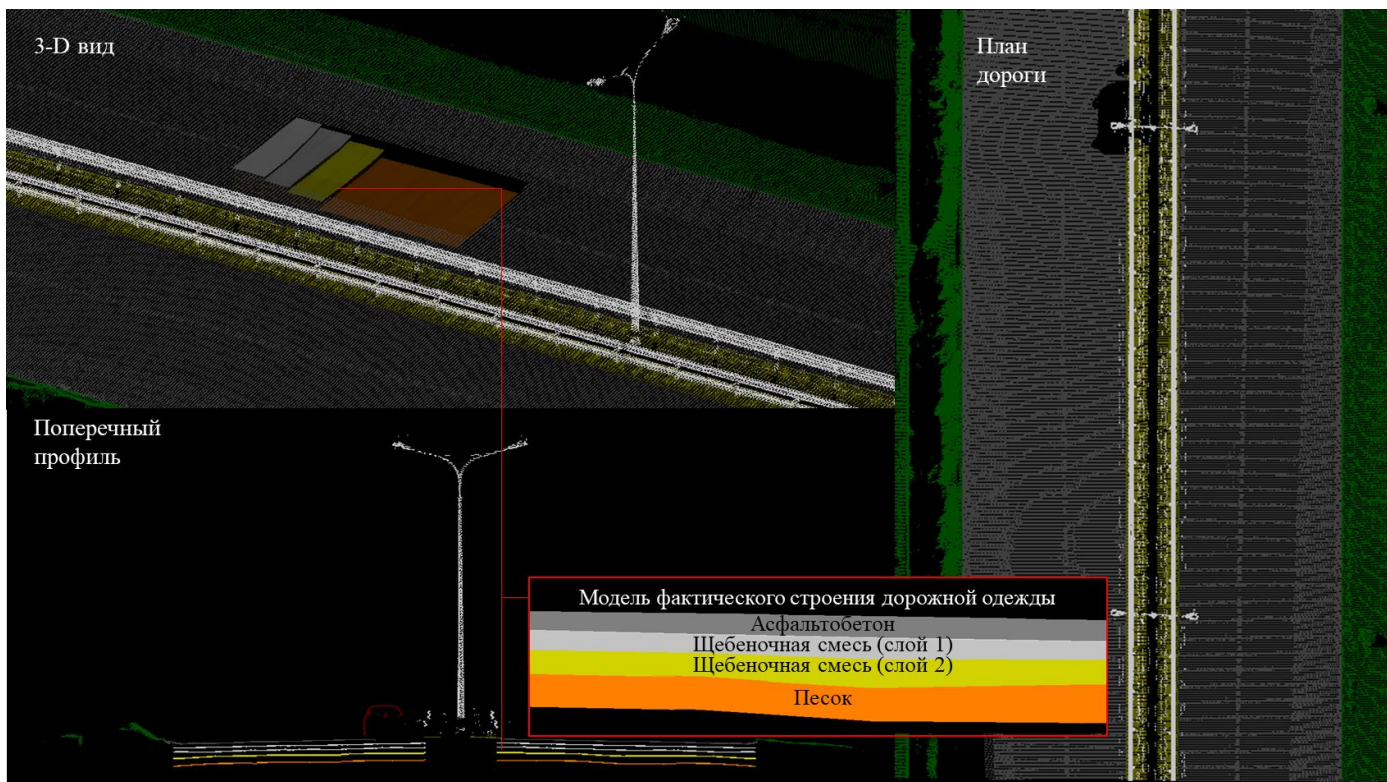
Ведомость толщины слоев дорожной одежды с координатной и линейной привязкой



Правая полоса			Левая полоса		
Пикет начала	Пикет конца	Протяженность, м	Пикет начала	Пикет конца	Протяженность, м
ПК152+64	ПК152+79	15	ПК152+87	ПК152+98	11
ПК153+29	ПК153+60	31	ПК153+11	ПК153+28	17
ПК154+39	ПК154+49	9	ПК153+57	ПК153+74	17
ПК155+36	ПК155+49	13	ПК155+71	ПК155+79	8
ПК155+70	ПК155+78	8	ПК155+10	ПК155+25	15
ПК156+32	ПК156+50	18	ПК156+36	ПК156+80	44
ПК156+56	ПК156+68	12	ПК157+50	ПК157+50	0
ПК156+84	ПК157+10	26	ПК158+10	ПК158+23	13

Ведомость ослабленных зон слоев дорожной одежды с линейной привязкой





- Создание границ слоев по данным серии георадарных профилей
- Формирование поверхностей границ слоев дорожных одежд
- Совмещение с цифровой моделью местности и рельефа
- Выполнение пространственных измерений (расстояния, размеры объектов, размеры деформаций и пр.)

Трехмерная цифровая модель слоев дорожной одежды в облаке точек лазерного сканирования



- Нормативно-техническое обеспечение позволяет применять метод георадиолокации на этапе инженерных изысканий для оценки состояния естественного основания, грунтов земляного полотна и материалов дорожных одежд, а также на этапе контроля качества дорожно-строительных работ как в процессе их производства, так и на стадии приемки.
- Георадар обеспечивает возможность неразрушающего непрерывного контроля толщины слоев, однородности слоев по толщине, а также однородности свойств материалов и грунтов дорожных одежд и земляного полотна.
- В составе комплексных обследований (измерение упругого прогиба дорожного покрытия, геодезическая съемка в т.ч. лазерное сканирование, бурение и отбор проб, лабораторные испытания образцов) метод георадиолокации позволяет выявлять ослабленные зоны в плане и по глубине от влияния разуплотнения, переувлажнения, карстово-суффозионных процессов; определять участки изменения прочности дорожных конструкций, обосновывать объем и места разрушающих методов, обосновывать замену слоев основания дорожных одежд, определять причины образования опасных процессов и явлений, а также обосновывать проектные решения и перечень мероприятий инженерной защиты.
- Представление результатов георадарного обследования выполняется с применением современных инструментов трехмерного моделирования и атрибутивного наполнения, что позволяет использовать их в проектах информационного моделирования.





РОСДОРНИИ

