



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
РОСДОРНИИ

ОПЫТ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ РАБОТ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ НА ДОРОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ

Кулижников Александр Михайлович

Начальник управления методов проектирования автомобильных дорог



Национальными задачами в Арктической зоне являются:

- использование Арктической зоны в качестве стратегической ресурсной базы;
- развитие Северного морского пути как национальной единой транспортной коммуникации;
- сбережение уникальной экологической системы в Арктике;
- сохранение Арктики, как зоны мира и международного сотрудничества.

Транспортное строительство в Арктической зоне

Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. (утверждена Распоряжением правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р) для решения национальных задач предусмотрено развитие сети автомобильных дорог в Арктической зоне Российской Федерации, которая повысит транспортную доступность как населенных пунктов, так и перспективных минерально-сырьевых центров, связав их с объектами узловой транспортной инфраструктуры, в том числе с экспортными портами и ключевыми центрами потребления.

Ведущие роли в Арктической зоне будет иметь развитие опорной транспортной сети арктической территории, в том числе автодорожной инфраструктуры, обеспечивающей автомобильными дорогами ввоз и вывозку грузов из портов Мурманска, Архангельска, Хатанги, Тикси, Певека, Дудинки, Диксона, Индиги, Харасавея, Варандея, Зеленого Мыса.

Важное значение в Арктической зоне отводится внедрению и развитию инновационных технологий.



Преимущества георадаров в Арктической зоне:

- при относительной диэлектрической проницаемости от 2 до 5 электрическое сопротивление пород многолетней мерзлоты огромно. Это обуславливает малые коэффициенты поглощения и высокую скорость распространения радиоволн в них, а следовательно, большую глубинность радиолокационных исследований георадаром;
- выполнение георадарных работ возможно при отрицательных температурах и в темное время суток;
- высокопроизводительные неразрушающие методы решают задачу сбережения уникальной экологической системы в Арктической зоне.



Георадары применяются по следующему назначению:

- георадарное обследование автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос для назначения эффективных видов работ при их реконструкции и капитальном ремонте, в том числе и при проведении мониторинговых исследований;
- для оценки грузоподъемности ледовых переправ и льда морской акватории;
- разведка и оценка запасов дорожно-строительных материалов в притрассовых карьерах;
- инженерно-геологические изыскания при прокладке трасс автомобильных дорог и трубопроводов;
- мониторинг состояния дорожных конструкций, определение глубины оттаивания и промерзания как конструктивных элементов, так и грунтов в полосе отвода



Межгосударственные и национальные стандарты:

- ГОСТ 32836-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Изыскания автомобильных дорог. Общие требования»;
- ГОСТ 32868-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению инженерно-геологических изысканий»;
- ГОСТ Р 58349-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Методы измерения толщины слоев дорожной одежды»;
- ГОСТ Р 58948-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые переправы. Технические правила устройства и содержания»;
- ГОСТ Р 59120-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования».



Отраслевые дорожные методики и пособия:

- Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства Российской Федерации (РОСАВТОДОР) Москва 2003.
- Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (в редакции 2003 г.)
- ОДМ 218.2.037-2013 «Методические рекомендации на проведение изыскательских работ при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог»;
- ОДМ 218.3.075-2016 «Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации»;
- ОДМ 218.4.030-2016 «Методические рекомендации по оценке грузоподъемности ледовых переправ».

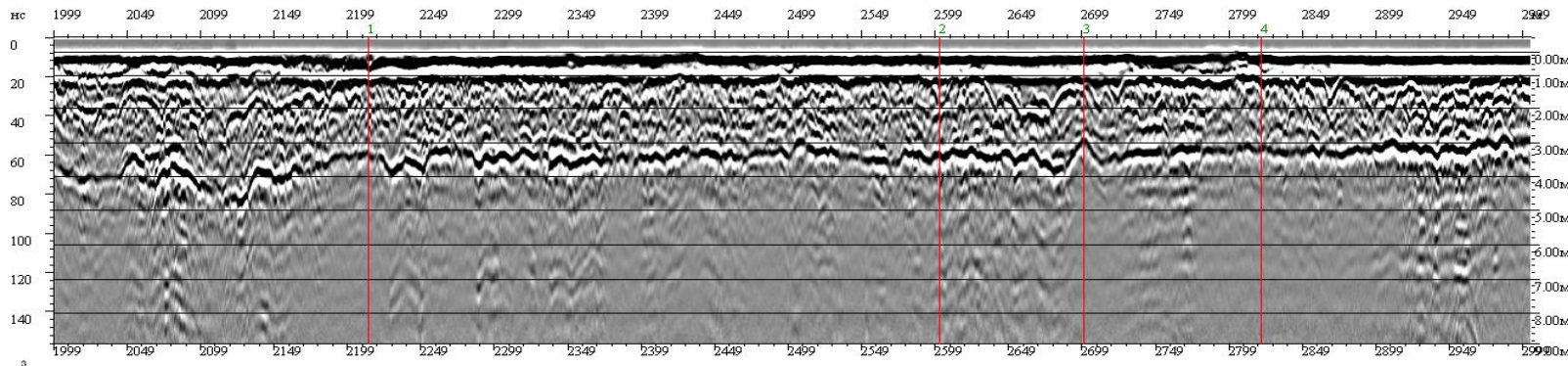


Методика выполнения работ:

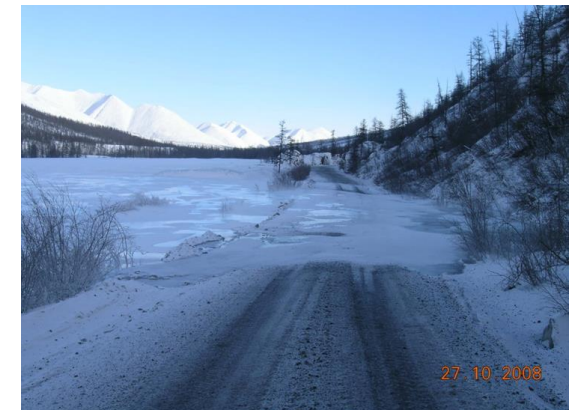
- георадар «ОКО-2М» с контактными антенными блоками с частотой 150, 250, 400 и 1700 МГц на базе автомобиля протягивался по середине каждой полосы движения в продольном направлении;
- шаг между реализациями электромагнитного сигнала составлял 50 см;
- радараграммы записывались при непрерывном движении при температуре воздуха 10⁰С;
- на проблемных участках выполнялись поперечные проходы георадара (при высоких насыпях и глубоких выемках от одной бровки земляного полотна до другой, при насыпях в нулевых отметках от одной границы полосы отвода до другой).



Результаты обследований (а/д «Колыма»):



Разработан проект ОДМ «Методические рекомендации по конструированию и расчету дорожных одежд и земляного полотна при проектировании автомобильных дорог в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов»

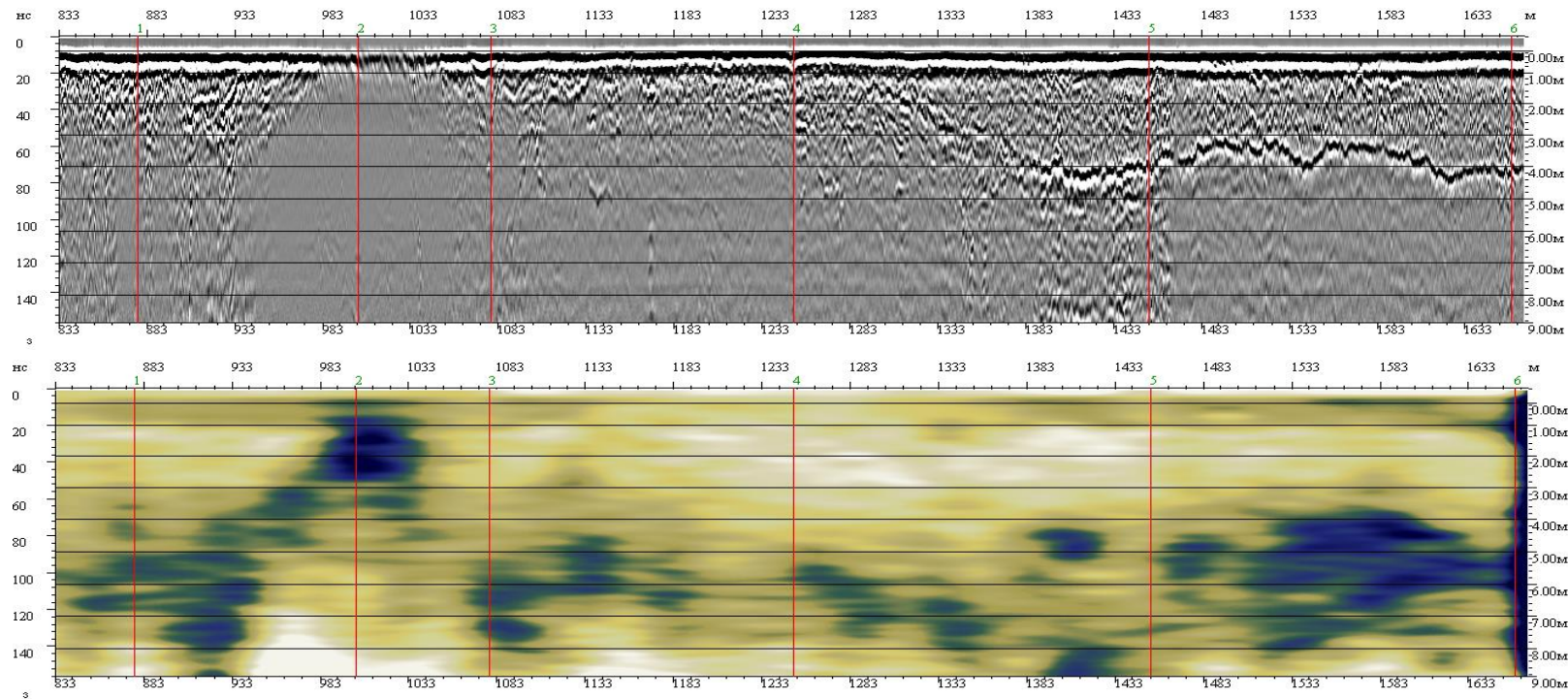


Методика выполнения работ:

Цель – определение разуплотненных и переувлажненных зон в земляном полотне и подстилающем основании. Метод частотного анализа. Палитра раскраски подобрана таким образом, чтобы влажность грунта была прямо пропорциональна интенсивности синего цвета. Зоны, выделенные синим цветом, – это зоны избыточно увлажненного грунта



Результаты обследований (а/д «Колыма»):



Кулижников А.М. Исследование дорожных конструкций на многолетнемерзлых грунтах / Дороги и мосты, Сборник ст. //ФГУП РОСДОРНИИ, выпуск 22/2, М., 2009)

Результаты обследований (а/д «Колыма»):

- Основные разрушения на автомобильной дороге – это просадки грунтов земляного полотна, вызванные потерей несущей способности грунтового основания из-за размораживания мерзлых грунтов, развития таликовых зон, возникновения продольных трещин, размывов поверхностными водами.
- Долинное проложение трассы по самому низкому месту, куда стекают подземные и поверхностные воды с косогоров, вызывает большие сложности и проблемы при эксплуатации автомобильных дорог особенно в дорожно-климатической зоне I-3.
- На проблемных участках (дорожно-климатическая зона I-3) не всегда эффективно решены вопросы поверхностного водоотвода: не обеспечивается достаточным количеством водопропускных труб пропуск воды через тело насыпи; не выполняется поперечный водоотвод на низинных участках от тела насыпей.
- На проблемных участках (дорожно-климатическая зона I-3) не решен вопрос оптимизации высоты насыпи. Чаще всего на низких насыпях осадки грунтов земляного полотна не зафиксированы, в то время как они выявлены при высоких насыпях.
- Большие сложности и проблемы при эксплуатации возникают с участками автомобильных дорог, проходящими в выемках (дорожно-климатическая зона I-2).

Понятие типовых конструкций дорожных одежд и земляного полотна, применяемое ко II – V дорожно-климатическим зонам, в его общепринятом смысле не может быть распространено на I дорожно-климатическую зону.

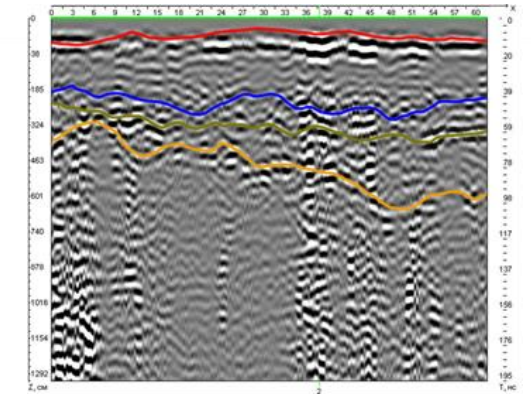
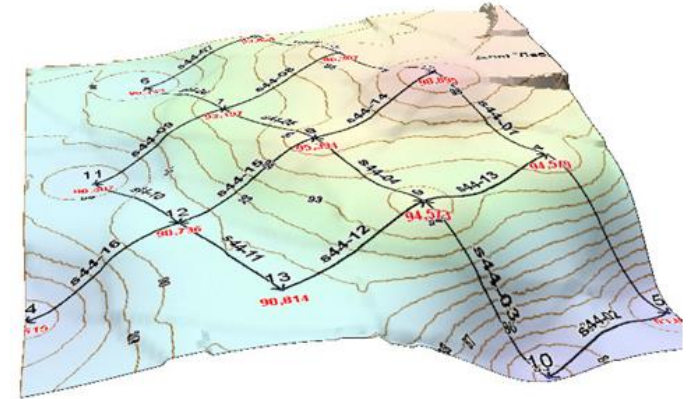


ФАУ «РОСДОРНИИ» разработана научно-техническая программа «Исследование водно-теплового режима дорожных конструкций в различных природно-климатических зонах»

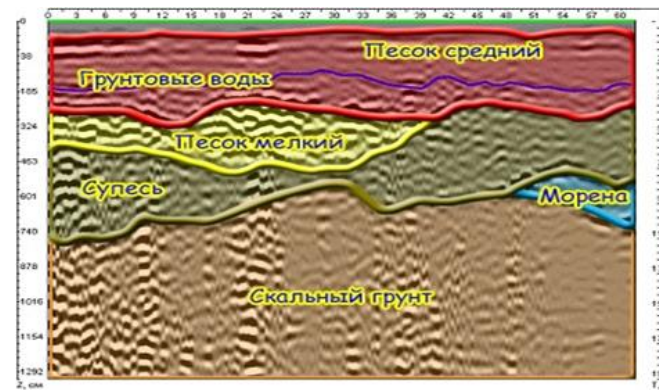
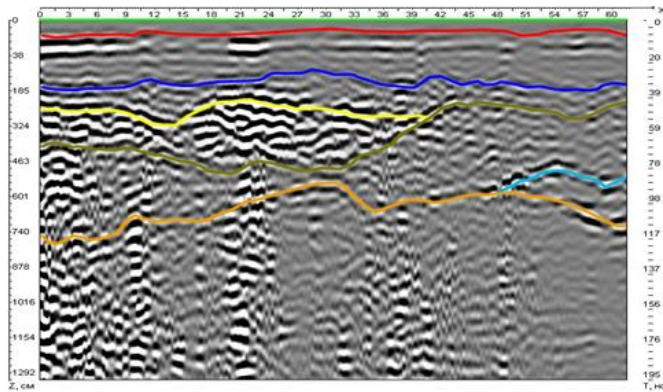


Методика выполнения работ:

- производилась рекогносцировка и определялись в плане границы карьера;
- создавалась регулярная прямоугольная или квадратная сетка в зависимости от формы карьера в плане;
- створ прохода очищался от валежника; далее проводилась геодезическая привязка створов и их нивелирование;
- определялись высотные отметки в узлах сетки;
- осуществлялось протягивание георадара по створам.
- контроль за пройденным георадаром расстоянием осуществлялся с помощью измерительного колеса;
- шаг сетки изменялся от 50 до 100 м в зависимости от площади притрассового карьера;
- выполнялось контрольное бурение, количество скважин определялось площадью карьера и анализом полученных радарограмм.



Результаты работ (Мурманская область):

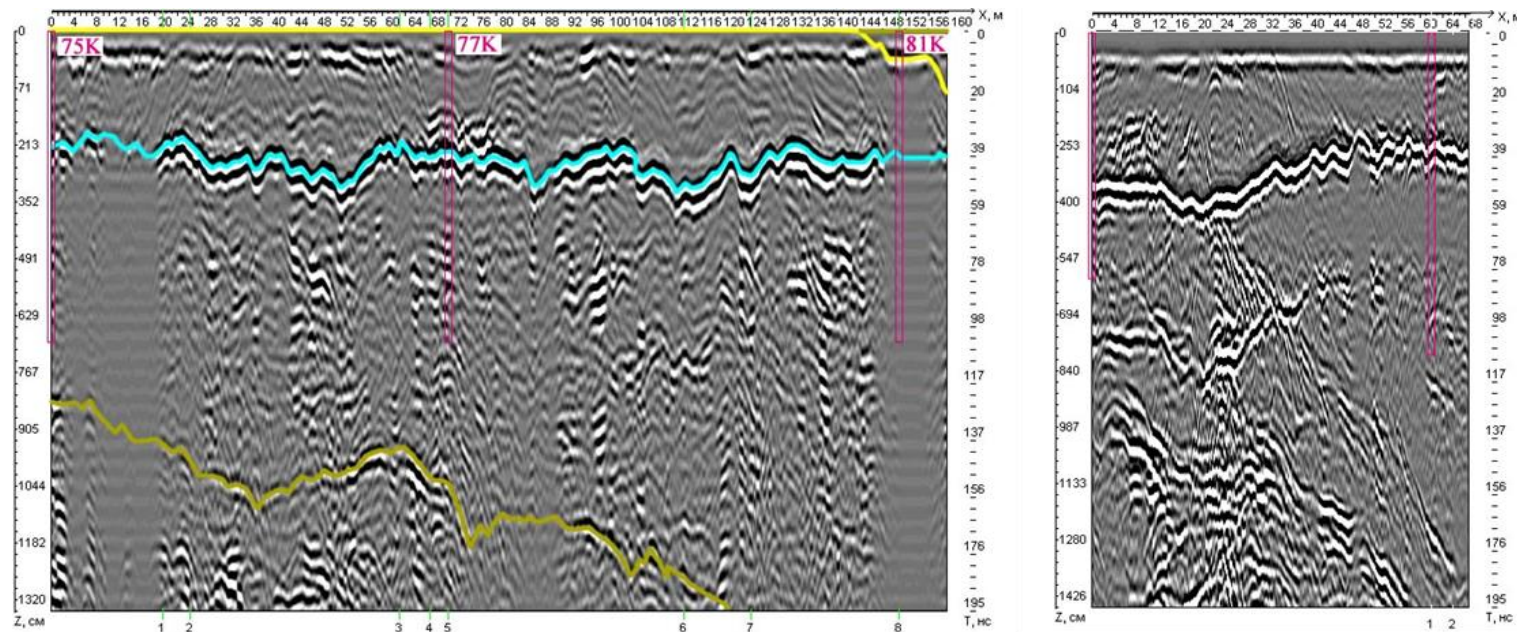


см. Кулижников А.М., Бурда С.Н., Белозеров А.А. Применение георадаров для разведки и оценки запасов дорожно-строительных материалов / Горный журнал, № 3, 2004 г.

Методика выполнения работ:

- задача – определить границы размещения песчаных материалов и оценить его запасы;
- при разведке границ размещения полезной толщи оператор протягивал георадар по местности (длина записываемого файла достигала до 1 км), по непрерывной радарограмме и характерным линиям синфазности определял точки перехода от кондиционных материалов к пылеватым и наоборот;
- оценивалась по радарограмме мощность мерзлого грунта, полезной толщи и вскрыши

Результаты работ (Ямало-Ненецкий округ):

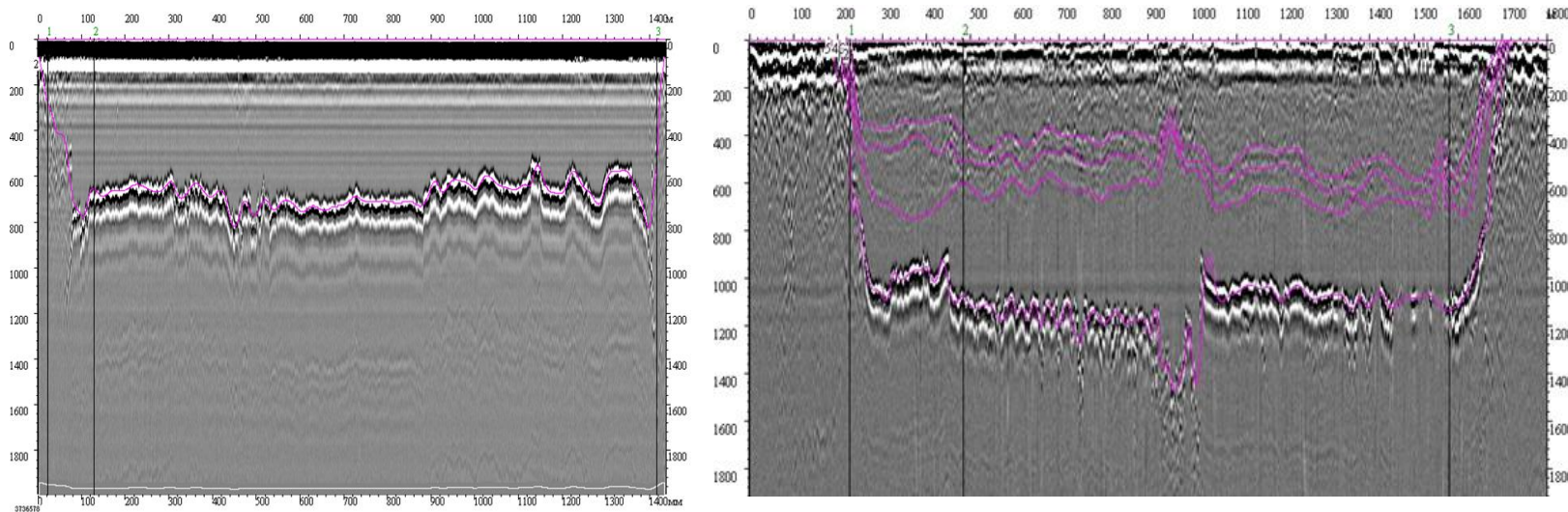


На сегодняшний день представляется целесообразным разработать нормативно-технический документ по разведке и оценке запасов дорожно-строительных материалов в притрассовых карьерах с использованием метода георадиолокации.

Задачи решаемые в процессе исследований:

- отработать методику определения толщины льда, глубины водного потока на ледовых переправах георадиолокационными методами;
- определить целесообразность выполнения измерений толщины льда и глубины водного потока контактными и рупорными антенными блоками различной частоты;
- установить диэлектрическую проницаемость льда при разной частоте антенных блоков и разных температурах воздуха и льда;
- определить структуру льда по полученным радарограммам;
- оценить изменение толщины льда по длинам ледовых переправ.

Результаты работ (Архангельская область, р. Северная Двина):

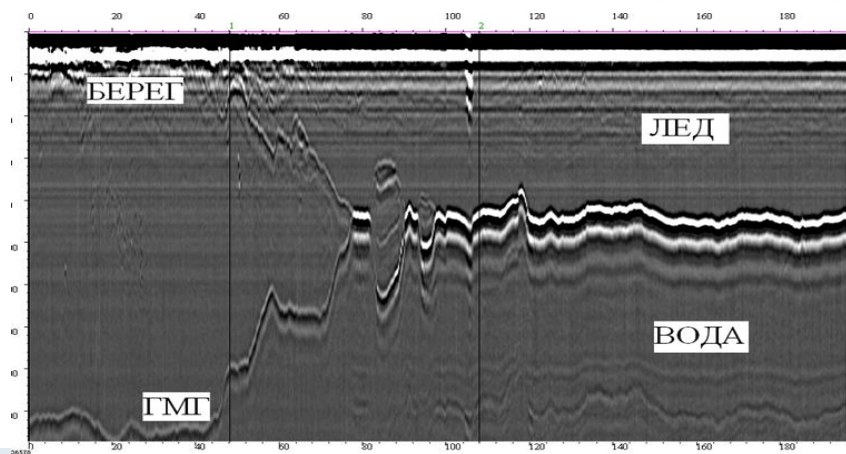
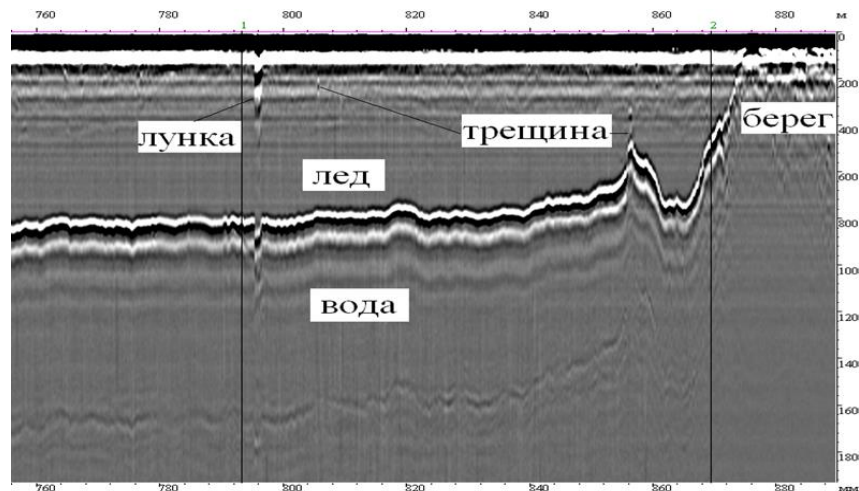


По результатам исследований разработана ОДМ 218.4.030-2016 «Методика выполнения работ по оценке грузоподъемности ледовых переправ»



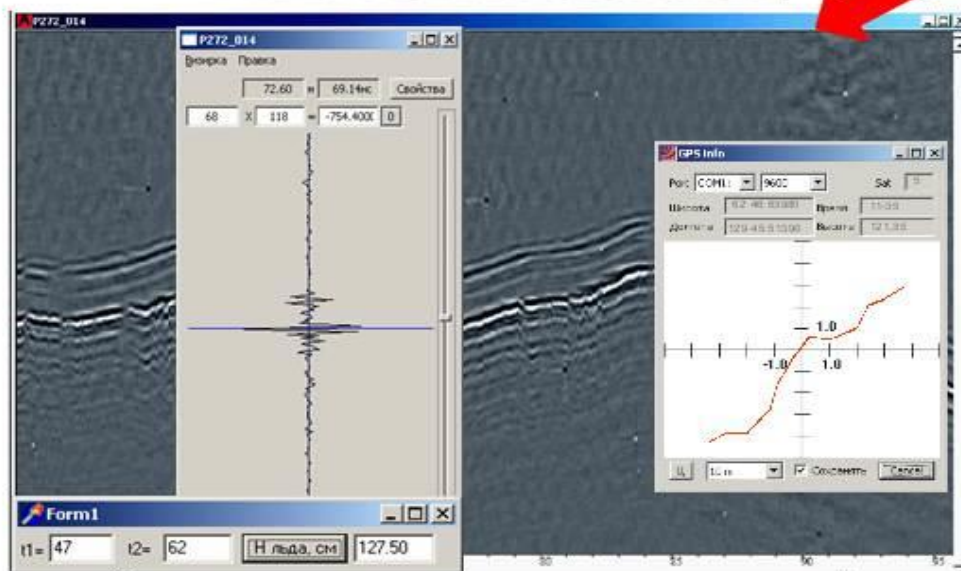
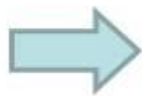
Результаты исследований:

- толщина льда может быть определена высокочастотными и среднечастотными антенными блоками с центральной частотой от 400 до 2000 МГц;
- глубины водного потока - антенными блоками низкой частоты от 25 до 100 МГц;
- структура льда, наличие трещин - высокочастотными антенными блоками с центральной частотой от 1000 до 2000 МГц.



Ледовая переправа	Толщина льда, см, определенная		ε льда, пересчитанна по толщине льда в лунке	Температура льда, °C
	по лунке	по радарограмме при ε _{льда} = 3,2		
Виноградовский район Архангельской области				
Северная Двина (Березник-Осиново)	110	109	3,15	- 4,85
	118	118	3,2	- 6,2
Приморский район Архангельской области				
Северная Двина (Хорьково-причал-Кузьмино-Мордарово)	69	69	3,2	- 1,0
	56	55	3,15	- 0,1
Холмогорский район Архангельской области				
Курополка (Холмогоры-Ломоносово)	95	96	3,25	- 1,0
Северная Двина (Холмогоры-Залива-Луковецкий)	80	80	3,2	- 0,5
Богоявленка (Холмогоры-Ломоносово-Андриановская)	80	76	2,95	- 0,5
Северная Двина (В.Матигоры-Усть-Пинега)	66	66	3,2	- 0,2
Северная Двина (Копачево-Ичково-Ступино)	66	66	3,2	- 0,2
Северная Двина (В.Матигоры-Усть-Пинега)	95	98	3,4	- 1,2
Северная Двина (В.Матигоры-Усть-Пинега)	95	98	3,5	- 1,2
Северная Двина (Копачево-Ичково-Ступино)	80	84	3,5	0,2
Северная Двина (Копачево-Ичково-Ступино)	80	84	3,4	0,2
Среднее			3,25	- 1,3

Процесс георадиолокационных измерений ледяного покрова р.Лена с борта вертолета МИ-8



Окно георадиолокационных измерений
толщины льда с GPS координатами



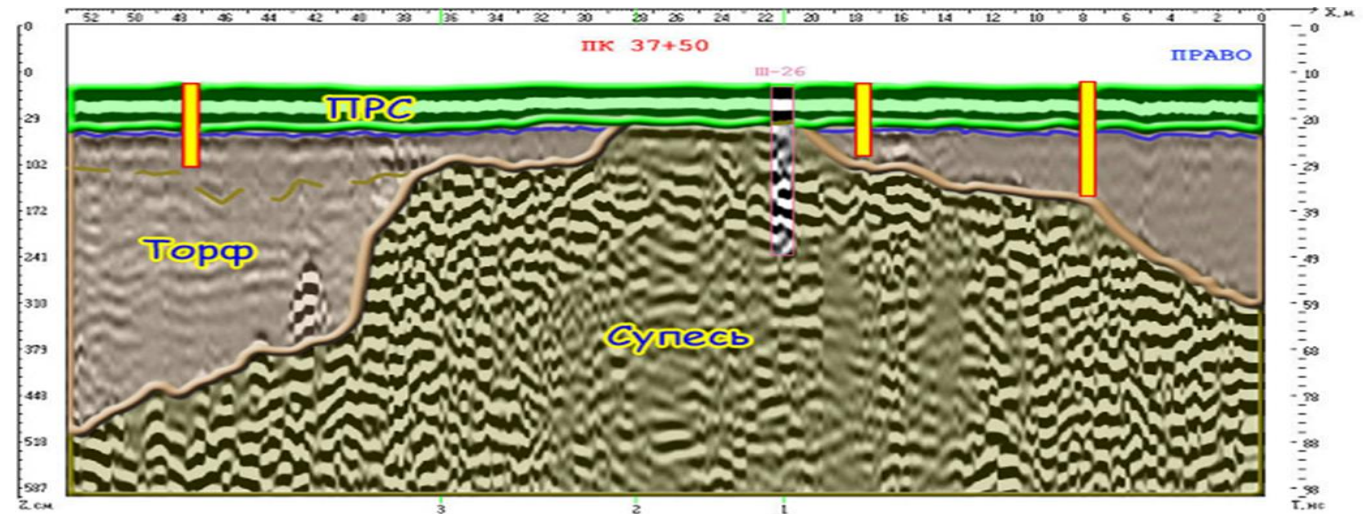
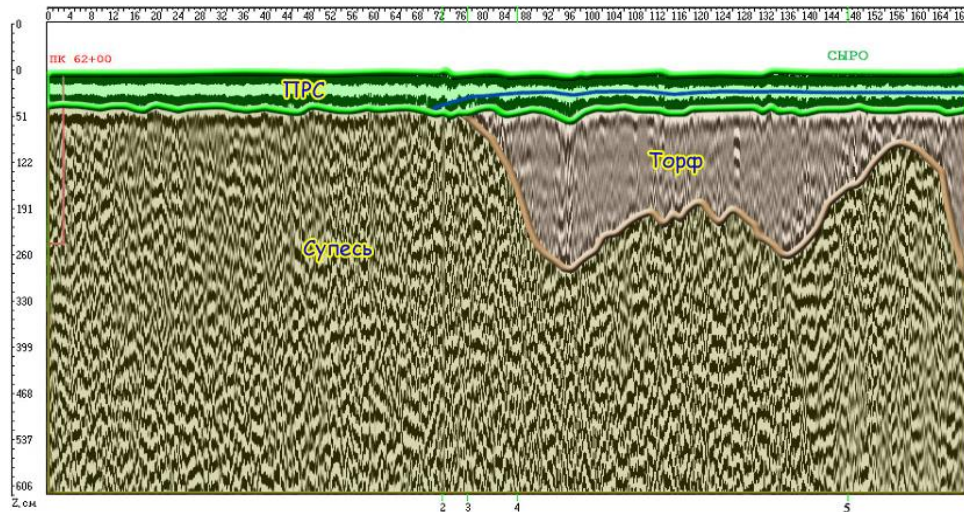
В процессе измерений ледовой обстановки с борта вертолета

Методика выполнения работ:

- назначается маршрут движения георадара, при этом георадар должен по возможности пройти через высокие и низкие точки;
- шаг между поперечными маршрутами георадара выбирается в зависимости от категории сложности грунтов в каждой грунтово-геологической зоне;
- сначала выполнялся проход георадара по оси трассы, проложенной на основе картографического трассирования на местности;
- затем перпендикулярно оси трассы проводились поперечные проходы протягиванием георадара по ширине полосы варьирования трассы (шаг между поперечниками 100 м);
- при изменении рельефа и геологического строения поперечники выполнялись и по перпендикулярам к контрольным точкам.



а/д Кола – Верхнетуломский – КПП «Лотта» (Мурманская область):

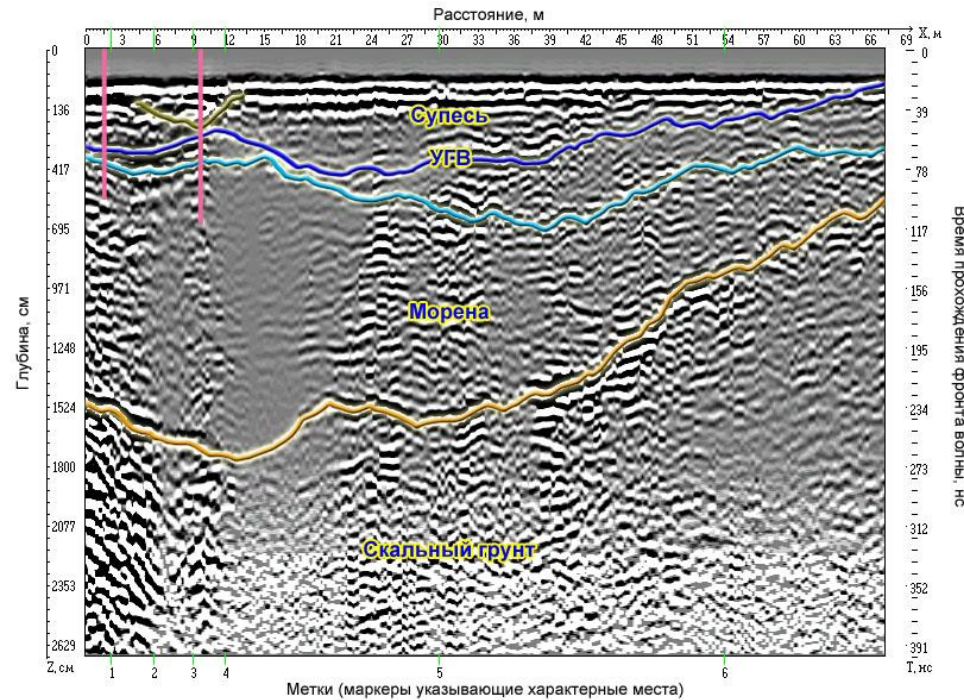
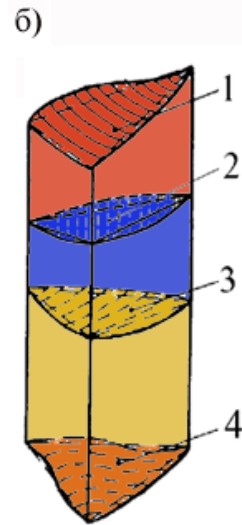
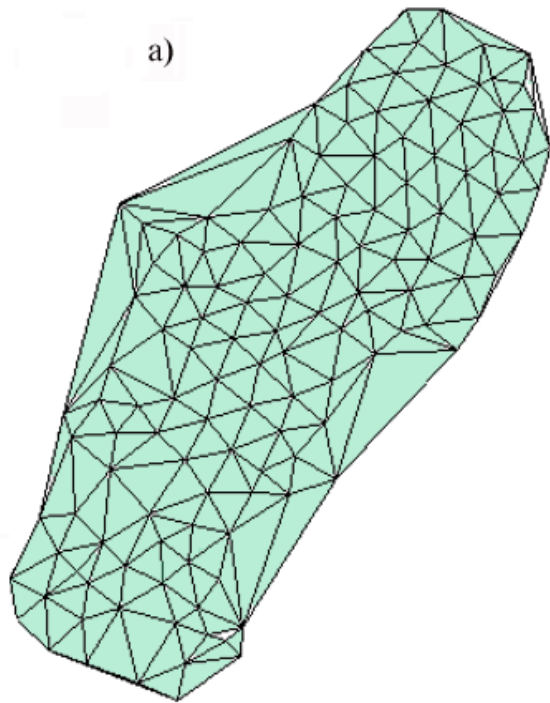


Представляется целесообразным разработать методический документ по инженерно-геологическим изысканиям с использованием георадаров.

Результаты исследований:

Разработана «Новая технология проектно-изыскательских работ на основе использования пространственной модели рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности»

Результат: проложение трасс автомобильных дорог по благоприятным грунтово-гидрогеологическим условиям эффективно даже при удлинении трассы на 13,5%.



Пространственная модель рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности, созданная на основе информации от георадара и триангуляции Делоне

Применение георадиолокационных технологий целесообразно использовать в Арктической зоне с разработкой новой или совершенствования имеющейся нормативно-технической документации по применению георадаров о следующим направлениям:

-Разработка адаптированных и устойчивых дорожных конструкций автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос к сезонному оттаиванию грунтов с учетом изменения климата

- Определения толщины льда, деградации ледяного массива, структуры льда, местоположений неоднородностей, зон трещиноватости и других дефектов внутри ледяного массива для изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации ледяных дорог; разработка мероприятий по обеспечению устойчивости ледяных дорог и ледовых переправ: наращивание ледяного покрова и продлению сроков их службы

- Выбор оптимального варианта проложения автомобильных дорог по новым направлениям с учетом грунтово-гидрогеологических условий в полосе варьирования трассы

- Мониторинг на полигонах, стационарных постах наблюдения, опытных участках автомобильных дорог за состоянием транспортных сооружений (в том числе ледовых дорог и ледовых переправ) с применением георадиолокационных методов, а комплексирование с использованием спутниковых систем позиционирования (ГНСС), тепловизорными съемками, электротомографией, цифровым моделированием и лазерным сканированием;

- Разведка и определение объемов вскрытых работ и запасов дорожно-строительных материалов в притрассовых карьерах



Спасибо за внимание

