

XIV Международный форум  
Арктика: настоящее и будущее  
имени А. Н. Чилингарова



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
**РОСДОРНИИ**

ФАУ «РОСДОРНИИ»

rosdornii.ru

forumarctic.com



12–13 декабря 2024 г.  
Санкт-Петербург

ОРГАНИЗАТОР ФОРУМА:



МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ  
ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
**АССОЦИАЦИЯ  
ПОЛЯРНИКОВ**

# Георадиолокационный мониторинг при строительстве и содержании автомобильных дорог и ледовых переправ в Арктической зоне

Кулижников Александр Михайлович

д-р техн. наук, профессор, начальник управления методов проектирования автомобильных дорог ФАУ «РОСДОРНИИ»

## 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.**

Ведущую роль в Арктической зоне будет иметь развитие опорной транспортной сети арктической территории, в том числе автодорожной инфраструктуры, обеспечивающей 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 применения 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



## 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 (рупорные) 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



## Информация, собираемая на мониторинговых постах:

- температура воздуха
- атмосферное давление
- направление ветра
- метеорологическая дальность видимости
- состояние поверхности дороги
- объемная влажность грунта д/о и з/п
- толщина слоя снега на поверхности
- влажность грунта з/п и за его пределами
- уровень подземных вод (при наличии)
- относительная влажность воздуха
- скорость ветра
- количество осадков
- температура на поверхности дороги и дорожного покрытия
- температура дорожной одежды (д/о) и грунта земляного полотна (з/п)
- толщина слоя воды на поверхности
- толщина слоя льда на поверхности
- плотность теплового потока
- температура и минерализация подземных вод (при наличии)

Информация собирается в отдельных точках.

Например, измерения глубины промерзания и оттаивания является заверочной информацией для выполнения георадарного мониторинга

## Дополнительная информация, получаемая с помощью георадаров:

- **глубина промерзания и оттаивания дорожной конструкции и грунта** определяется не в отдельных точках, а **непрерывно по всей длине георадарного профиля** (профили выполняются, как в продольном, так и в поперечном направлениях)
- **объемная влажность грунта** не в отдельных точках, а непрерывно **по всей длине георадарного профиля** по корреляционной кривой зависимости диэлектрической проницаемости грунта от объемной влажности;
- **толщина слоя льда, например, на участках наледей** на поверхности определяется не в отдельных точках, а непрерывно по всей длине **георадарного профиля**; также может быть определена толщина слоя воды а поверхности по всей длине георадарного профиля;
- **состояние слоев дорожной конструкции** (наличие разуплотненных и переувлажненных) непрерывно по всей длине георадарного профиля (профили выполняются, как в продольном, так и в поперечном направлениях)



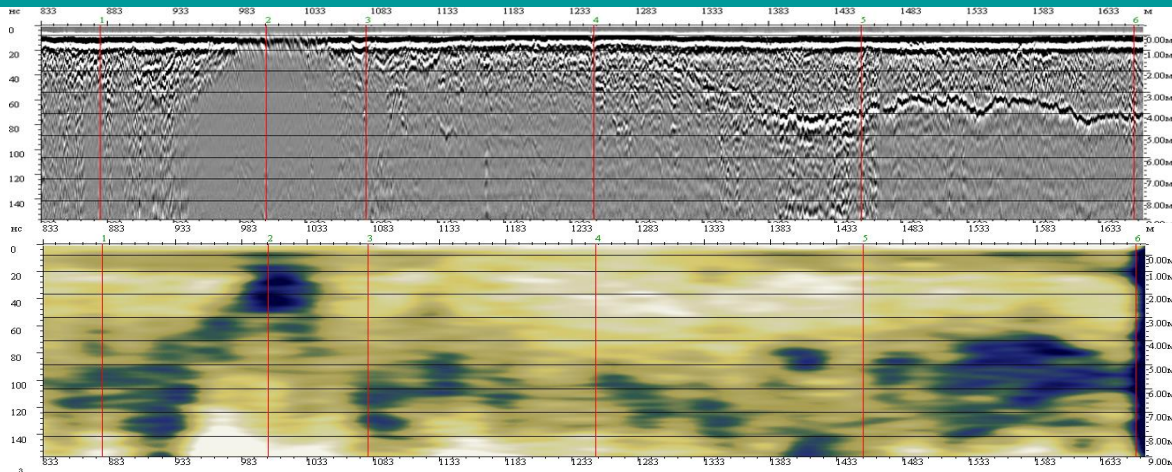
Применение георадаров позволяет решать пространственную задачу, прогнозируя изменение глубины промерзания и глубины оттаивания, температуры и влажности (в том числе миграцию как поверхностных, так и подземных вод) грунтов в пространстве по результатам мониторинга на отдельных проблемных участках действующих автомобильных дорог



## Методика выполнения работ:

- георадар «ОКО-2М» с контактными антенными блоками с частотой 150, 250, 400 и 1700 МГц на базе автомобиля протягивался по каждой полосе движения в продольном направлении, шаг между реализациями электромагнитного сигнала составлял 50 см
- радарограммы 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»):

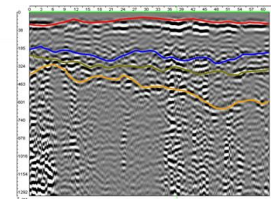
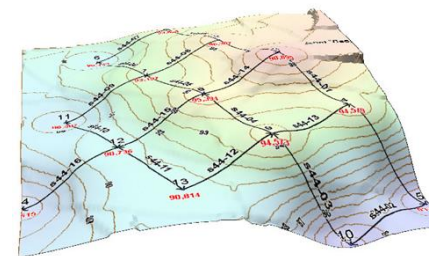
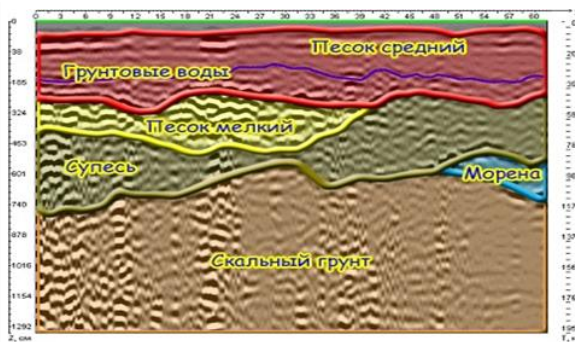
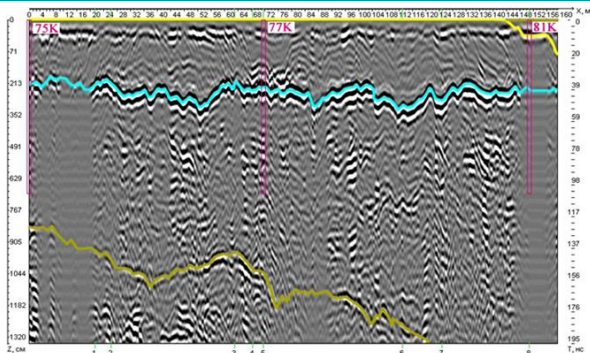


Обследование дорожных конструкций выполнялось в следующих регионах: Магаданская, Мурманская и Архангельская области, Республики Коми и Бурятия

## 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 (Ямало-Ненецкий Округ, Мурманская область):

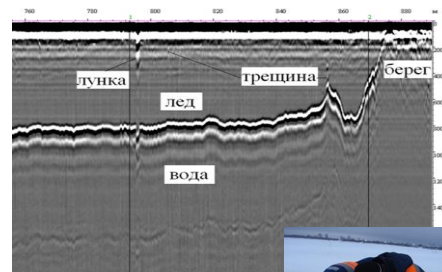
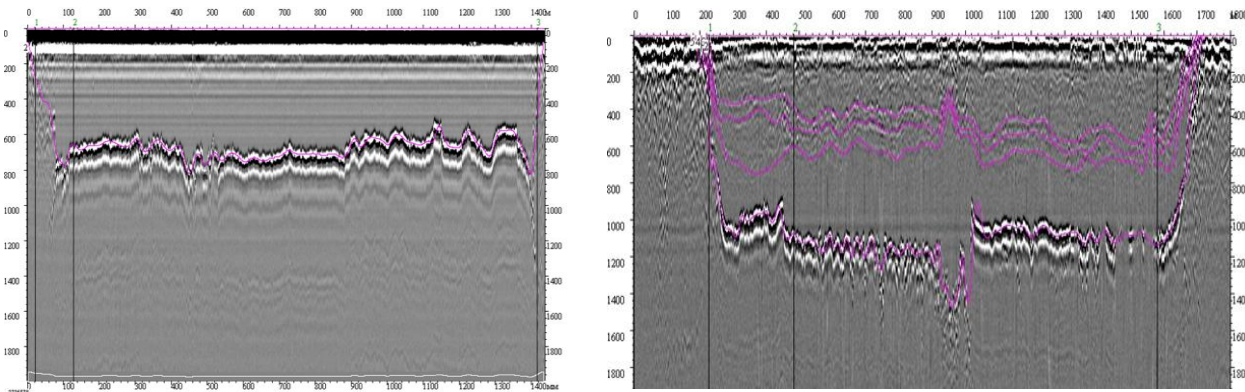


Разведка и оценка запасов дорожно-строительных материалов с помощью георадаров проводилась в Ямало-Ненецком округе и Мурманской области

## Задачи решаемые в процессе 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

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



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

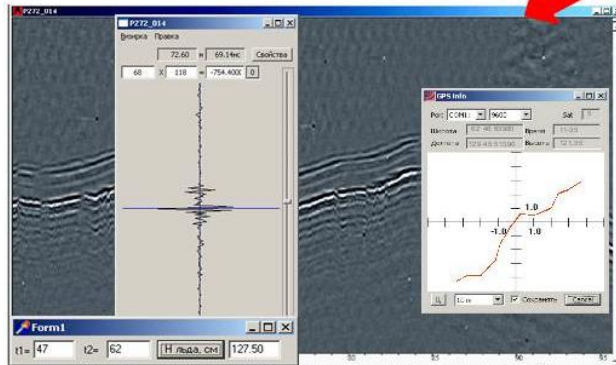


Институт Горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН (г. Якутск)

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



В процессе измерений ледовой обстановки с борта вертолета

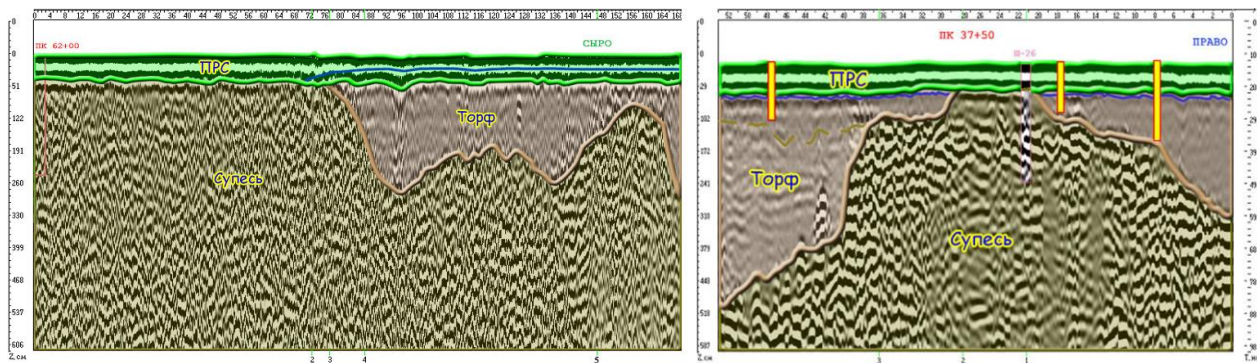




## Методика выполнения работ:

- 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-гидрогеологической 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 – Верхнетулумский – КПП «Лотта» (Мурманская область):



По результатам исследований разработана интегральная пространственная модель рельефа, геологии и гидрогеологии местности, позволяющая прокладывать трассу по благоприятным грунтово-гидрогеологическим и мерзлотным условиям

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

Разработка адаптированных и устойчивых дорожных конструкций автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос к сезонному оттаиванию грунтов с учетом изменения климата. Применение георадаров позволяет решать пространственную задачу, прогнозируя изменение глубины промерзания и глубины оттаивания, температуры и влажности (в том числе миграцию как поверхностных, так и подземных вод) грунтов в пространстве по результатам мониторинга на отдельных проблемных участках а/дорог.

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 дистанционного зондирования, спутниковых систем позиционирования (ГНСС), тепловизионными съемками, электротомографией, цифровым моделированием и лазерным сканированием

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

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

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

**XIV Международный форум  
Арктика: настоящее и будущее  
имени А. Н. Чилингарова**

[forumarctic.com](http://forumarctic.com)



**12–13 декабря 2024 г.  
Санкт-Петербург**

ОРГАНИЗАТОР ФОРУМА:



МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ  
ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
**АССОЦИАЦИЯ  
ПОЛЯРНИКОВ**

**Спасибо за внимание!**