



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

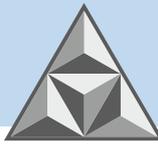
УДК 725.38

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_56

Неразрушающие георадиолокационные методы мониторинга состояния автомобильных дорог и ледовых переправ в Арктической зоне

А.М. Кулижников

Александр Михайлович Кулижников
ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Российская Федерация
Kulizhnikov@rosdornii.ru



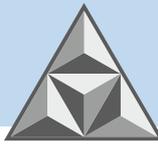
Решение национальных задач в Арктической зоне Российской Федерации предполагает использование неразрушающих георадиолокационных методов для совершенствования дорожных конструкций при эксплуатации и содержании сети автомобильных дорог. Приведены результаты георадарных обследований автомобильных дорог и разработаны рекомендации по повышению надежности дорожных сооружений. Представлены результаты определения георадиолокационными методами толщины и структуры льда на ледовых переправах. Представлены конструктивные предложения по организации мониторинговых работ за состоянием дорожных конструкций и ледовых переправ.

Ключевые слова: Арктическая зона, георадар, мониторинг, автомобильные дороги, ледовые переправы, ослабленные зоны, толщина, структура, лед

Для цитирования:

Кулижников А.М. Неразрушающие георадиолокационные методы мониторинга состояния автомобильных дорог и ледовых переправ в Арктической зоне // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 56-69. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022.

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_56



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_56

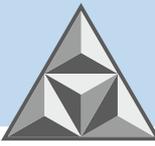
Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone

A.M. Kulizhnikov

Alexander M. Kulizhnikov

FAA "ROSDORNII", Moscow, Russian Federation

Kulizhnikov@rosdornii.ru



The solution of national tasks in the Arctic zone of the Russian Federation involves the use of non-destructive geo-radar methods to improve road structures during the operation and maintenance of the highway network. The results of georadar surveys of highways are presented and recommendations for improving the reliability of road structures are developed. The results of determining the thickness and structure of ice at ice crossings by georadolocation methods are presented. Constructive proposals for the organization of monitoring work on the condition of road structures and ice crossings are presented. Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone.

Key words: Arctic zone, georadar, monitoring, highways, ice crossings, weakened zones, thickness, structure, ice

For citation:

Kulizhnikov, A.M. (2022) Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 56-69 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_56



ВВЕДЕНИЕ

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

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. При этом повысится транспортная доступность населенных пунктов и перспективных минерально-сырьевых центров – путем связи с объектами узловой транспортной инфраструктуры, в том числе экспортными портами и ключевыми центрами потребления.

Перспективными проектами развития автодорожной инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации станут автомобильная дорога Нарьян-Мар – Усинск, межрегиональная автомобильная дорога Колыма – Омсукчан – Омолон – Анадырь, строительство и реконструкция участков автомобильной дороги Сыктывкар – Ухта – Печора – Усинск – Нарьян-Мар.

В то же время на автомобильных дорогах в Арктической зоне возникают проблемы связанные с просадками дорожных конструкций и размывами отдельных участков дорог паводковыми водами.

При решении задач по государственной программе «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года», с учетом расширения ее реальных рамок до 2025 г., большое значение имеет продвижение инновационных технологий в сфере транспорта.

Высокая производительность работ и наличие нормативно-технической документации обуславливают целесообразность применения неразрушающих георадиолокационных методов при мониторинговых обследованиях автомобильных дорог и ледовых переправ.

На сегодняшний день имеется опыт применения инновационных георадиолокационных методов в Арктической зоне на горных предприятиях, гидротехнических сооружениях, котлованах и площадках для строительства, при обнаружении подземных инженерных коммуникаций [1, 2]. В настоящей работе приводятся некоторые результаты обследования автомобильных дорог и ледовых переправ, свидетельствующие об эффективности и целесообразности выполнения мониторинговых наблюдений на дорожных объектах георадиолокационными методами.

Опыт выполнения работ ФАУ «РОСДОРНИИ»

ФАУ «РОСДОРНИИ» с конца XX века успешно применяет инновационные неразрушающие георадарные технологии в дорожной отрасли, которые показали свою эффективность в Арктической зоне по следующим направлениям:

- инженерно-геологические изыскания при прокладке трасс автомобильных дорог, ледовых переправ и трубопроводов, в том числе при оценке грузоподъемности ледовых дорог и ледовых переправ;

- георадарное обследование автомобильных дорог для определения причин разрушений участков автомобильных дорог и назначения эффективных видов работ при реконструкции



и капитальном ремонте;

- контроль качества выполненных дорожно-строительных работ;
- разведка и оценка запасов дорожно-строительных материалов в притрассовых карьерах.

По перечисленным направлениям георадиолокационных работ ФАУ «РОСДОРНИИ» разработаны и введены в действие два межгосударственных [3, 4] и три национальных стандарта [5-7], внесены изменения в СП 78.13330.2012 [8], а также подготовлены и введены в действие пять отраслевых дорожных методик.

ФАУ «РОСДОРНИИ» имеет более чем двадцатилетний опыт применения инновационных георадарных технологий на дорожных объектах Арктического региона в Мурманской и Архангельской областях, Ямало-Ненецком округе, Республиках Коми и Саха (Якутия). Ведение георадиолокационных работ особенно эффективно в зимний период – при короткой продолжительности светового дня, высокой мощности ледяного покрова, а также в сложных грунтово-гидрогеологических условиях, например, при наличии многолетнемерзлых грунтов, подвергающихся оттаиванию в летний период.

Преимущества применения георадара в условиях Арктики очевидны: при относительной диэлектрической проницаемости, равной 2-5, сопротивление пород многолетней мерзлоты очень велико. Это обуславливает малые коэффициенты поглощения и высокую скорость распространения радиоволн, следовательно, большую глубинность радиолокационных исследований георадаром. Одновременно следует отметить, что данные высокопроизводительные неразрушающие методы решают задачу сбережения уникальной экологической системы в Арктике.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При выполнении исследований использовали георадары серии «ОКО-2» (разработчик ООО «ЛОГиС») с различной центральной частотой антенных блоков – от низко- (150, 250 и 400 МГц) до высокочастотных (1200 и 1700 МГц). Глубина зондирования применительно к дорожным конструкциям составляла от 0.7 до 12.0 м. Обработку радарограмм выполняли в программном комплексе «Geoscan 32». Исследования проводили на различных участках автомобильных дорог и ледовых переправ в период с 2003 по 2021 г. Отличительной особенностью георадарных работ является непрерывная запись радарограмм по длине профиля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обследования автомобильных дорог георадарами серии «ОКО» с целью выявления причин просадок насыпей выполнялись ФАУ «РОСДОРНИИ» по государственному контракту с Федеральным дорожным агентством, в том числе на участке автомобильной дороги «Калыма», где определяли геологическое строение (рис. 1) и глубину заложения многолетнемерзлых грунтов, устанавливали местоположение ослабленных зон – участки переувлажненных и разуплотненных грунтов (рис. 2), оценивали грунтово-гидрогеологические условия и определяли причины нарушения устойчивости земляного полотна [9]. Для представления в цифровом виде радарограмма может быть оцифрована в системе координат «время прохождения сигнала, амплитуда и частота электромагнитных колебаний».

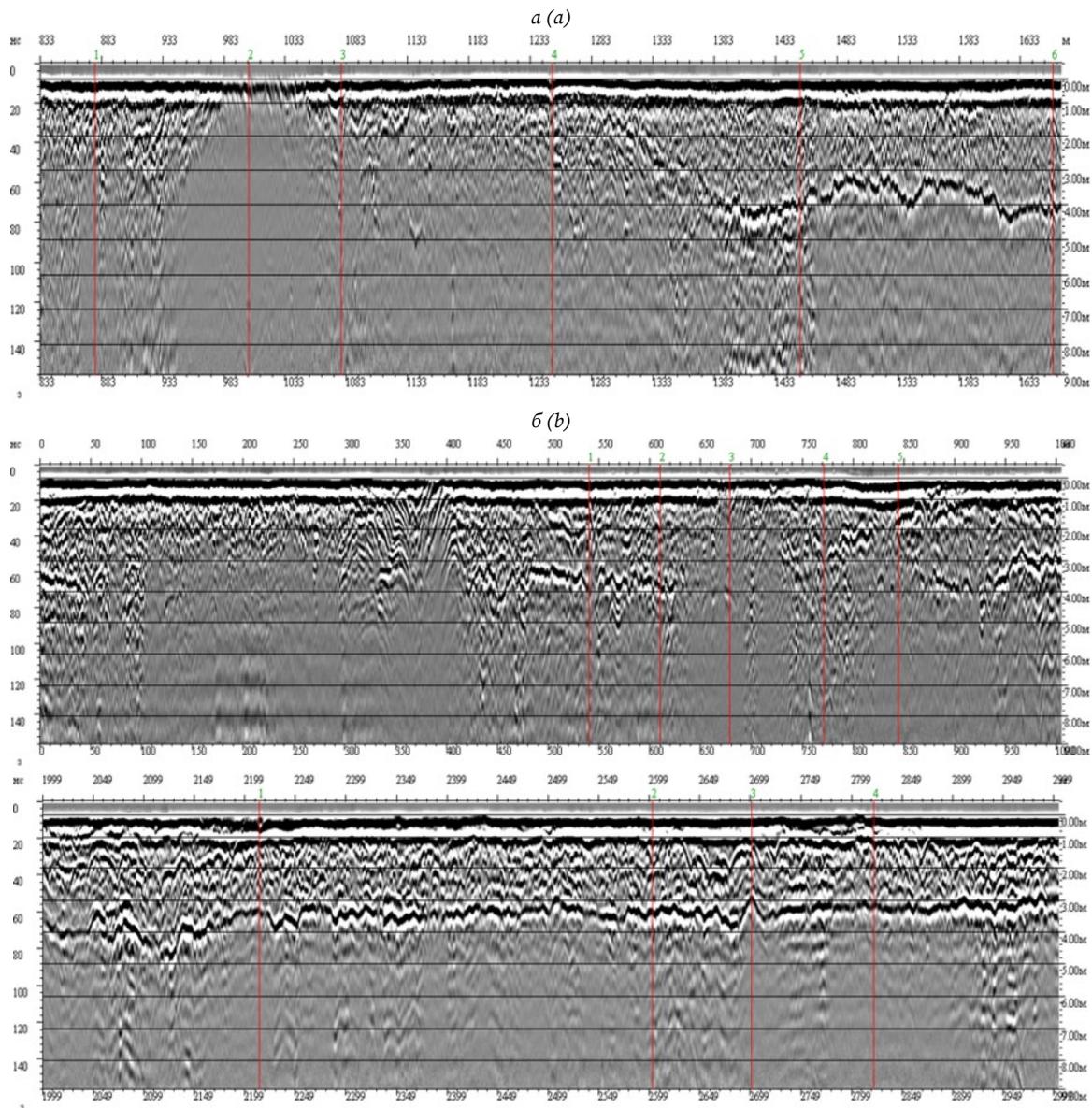
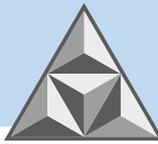


Рис. 1. Георадиолокационный продольный профиль (а) и фрагменты георадиолокационного продольного разреза (б) на участке автомобильной дороги «Колыма»

Fig. 1. The geo-radar longitudinal profile (a) and fragments of the geo-radar longitudinal section (b) on the section of the Kolyma highway

Полученные радарограммы подлежали анализу по амплитудно-частотным характеристикам для выделения ослабленных зон (разуплотненные и переувлажненные грунты, неоднородные включения). Согласно ОДМ 218.3.075-2016 [10], изменение амплитуды отраженного сигнала на глубине контролируемого слоя, по сравнению со средним значением, является критерием выделения участков слоев основания и грунтов земляного полотна, неоднородных по свойствам.

Использование данного атрибута бывает полезно для выделения областей радарограммы с характерным типом записи, отличающимся от соседних областей. Участки повышенной влажности, не имеющие четких отражающих границ, будут иметь высокие значения, превышающие средние в 2-4 раза (в зависимости от частоты антенного блока, типа местности, типа обследуемого грунта и пр.).

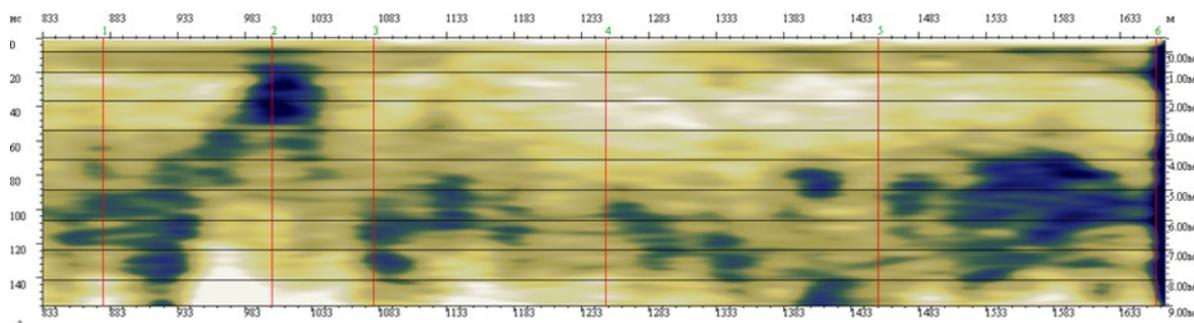


Рис. 2. Продольный профиль после обработки методом частотного анализа с выделением ослабленных зон (темно-синий фон)

Fig. 2. Longitudinal profile after processing by frequency analysis with the allocation of weakened zones (dark blue background)

По результатам проведенных георадарных работ сделаны следующие выводы:

- основные разрушения на автомобильной дороге – просадки грунтов земляного полотна, вызванные потерей несущей способности грунтового основания из-за размораживания мерзлых грунтов и поступления грунтовых (поверхностных) вод;
- долинные прокладка трассы в низине между двумя сопками (по самому низкому месту, куда стекают подземные и поверхностные воды с косогоров), вызывает большие сложности и проблемы при эксплуатации автомобильных дорог;
- на проблемных участках (дорожно-климатическая зона I-3) не всегда эффективно решены вопросы поверхностного водоотвода: не обеспечивается достаточным количеством труб пропуск воды через тело насыпи на косогорных участках; не выполняется поперечный водоотвод на низинных участках от тела насыпей;
- на проблемных участках (дорожно-климатическая зона I-3) не решен вопрос оптимизации высоты насыпи; на низких насыпях осадки грунтов земляного полотна не зафиксированы, в то время как они выявлены при высоких насыпях; высоту насыпи следует увязывать с толщиной деятельного слоя и характеристиками грунтов.

Большие сложности и проблемы при эксплуатации возникают с участками автомобильных дорог, проходящими в исключительных случаях в выемках, где грунты основания избыточно увлажнены (дорожно-климатическая зона I-2).

Рекомендации по результатам обследования автомобильных дорог

Представляется целесообразным организовать комплексные мониторинговые обследования проблемных участков автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах с помощью георадаров с отбором проб грунтов в разные периоды времени (весна, лето, осень, зима). Для этого необходимо оборудовать стационарные посты наблюдений, построить полигоны, выбрать опытные участки на действующих автомобильных дорогах во всех подзонах I дорожно-климатической зоны. Мониторинговые обследования позволят сделать выводы по причинам потери дорожными конструкциями несущей способности и разработать мероприятия по повышению устойчивости грунтов земляного полотна, а также увеличению сроков службы дорожных конструкций.

По заданию Федерального дорожного агентства, разработан проект ОДМ «Методические рекомендации по конструированию и расчету дорожных одежд и земляного полотна при проектировании автомобильных дорог в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов»

На основе анализа результатов проведенных обследований, анкетирования дорожной общественности и выявления причин разрушений проблемных участков автомобильных



дорог на многолетнемерзлых грунтах установлено, что обеспечение надежности дорожных конструкций в указанных условиях рассматривают и учитывают на трех стадиях:

- стадии проектно-изыскательских работ;
- стадии строительства (реконструкции, капитального ремонта) автомобильных дорог;
- стадии эксплуатации дорог.

На стадии проектно-изыскательских работ надежность дорожных конструкций обеспечивается за счет:

- детального анализа мерзлотно-грунтовых условий на стадии инженерных изысканий;
- прокладки трассы автомобильной дороги по благоприятным грунтовым-гидрогеологическим условиям местности, при проектировании по цифровой модели местности с учетом пространственного моделирования мерзлотно-грунтовых условий и движения подземных вод;
- принятия расчетных характеристик материалов дорожной одежды и грунтов с учетом теории надежности и сроков их службы в дорожных конструкциях;
- назначения высоты насыпи исходя из следующих условий: предотвращения оттаивания или частичного ограничения оттаивания мерзлого основания, снегозаносимости, морозного пучения, предотвращения переливания наледей через насыпь;
- проектирования комплексной системы осушения дорожных конструкций при воздействии поверхностных и талых подземных вод;
- проектирования дорожных конструкций с сохранением мерзлоты с требуемой надежностью и заданным коэффициентом прочности.

На стадии строительства (реконструкции) автомобильных дорог надежность достигается за счет:

- выполнения дорожно-строительных работ в рекомендуемый в проекте организации строительства температурный временной период;
- контроля за применяемыми грунтами и дорожно-строительными материалами;
- наличия опыта строительства (реконструкции) автомобильных дорог в условиях многолетнемерзлых грунтов;
- авторского надзора проектной организации за реализацией принятых решений;
- контроля качества работ в процессе строительства (реконструкции) всех элементов дорожной конструкции.

На стадии эксплуатации автомобильных дорог надежность обеспечивается за счет:

- опережающей информации с метеостанций о состоянии условий движения (туманы, метели, гололед, наледи, снежные лавины и т.д.) и рекомендуемых режимах движения;
- своевременной уборки снега с проезжей части;
- своевременной ликвидации наледей и гололеда с проезжей части;
- ликвидации неровностей, вызванных морозным пучением и просадками земляного полотна;
- регулярного выполнения ремонтных работ.

Установлено, что при разработке рекомендуемых конструкций должны соблюдаться следующие положения:

- дорожные конструкции должны проектироваться с учетом назначения и категории автомобильной дороги, теплового и механического взаимодействия земляного полотна,



дорожных одежд и естественных оснований;

- дорожные конструкции должны учитывать инженерно-геологические и мерзлотно-грунтовые условия района строительства;
- учет условий района строительства должен основываться на взаимосвязи дорожно-климатического районирования, принципов проектирования, типа местности по условиям увлажнения, наличия разновидностей грунтов и дорожно-строительных материалов;
- должны использоваться инновационные технологии и материалы.

Понятие типовых конструкций дорожных одежд и земляного полотна, применяемое ко II-V дорожно-климатическим зонам, в общепринятом смысле не может быть распространено на I дорожно-климатическую зону. Здесь под типовыми конструкциями дорожных одежд и земляного полотна понимают рекомендуемые (принятые за основу) конструкции, которые должны быть скорректированы на основе выполнения проектно-изыскательских работ, учитывающих специфику природно-климатических, мерзлотных и грунтово-гидрогеологических условий.

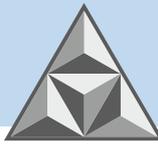
Разработана научно-техническая программа «Исследование водно-теплого режима дорожных конструкций в различных природно-климатических зонах», целью которой является увеличение сроков службы автомобильных дорог за счет системного подхода к изучению и учету особенностей водно-теплого режима дорожных конструкций, мерзлотных и грунтово-гидрогеологических условий. Данная программа предусматривает выполнение мониторинговых исследований на полигонах, стационарных постах наблюдения, опытных участках автомобильных дорог. Предусмотрена организация региональных центров в Хабаровске, Якутске, Иркутске, Красноярске, Чите, Архангельске. На сегодняшний день такой центр организован в Якутске.

По результатам мониторинговых работ предполагается выполнить дорожно-климатическое районирование, оценить изменение климата и мерзлотные условия, найти адаптированные конструктивные решения на потепление климата, определить расчетные характеристики грунтов, мощность деятельного слоя, возможные просадки грунтов в различных грунтово-гидрогеологических условиях, оценить эффективность инновационных решений в дорожных конструкциях по сохранению многолетнемерзлых грунтов, изменение стоков ливневых и талых вод с учетом потепления климата, разработать дорожные конструкции в разных подзонах.

Наряду с традиционными методами обследований предусматривается применение георадиолокационных технологий, которые могут быть полезны для оценки глубины оттаивания в поперечном профиле полосы отвода, мощности деятельного слоя в дорожных конструкциях, оценки структуры (льдистости) многолетнемерзлых грунтов, изменения положения уровня поверхностных (грунтовых) вод, анализа режима движения подземных вод. Итог проведения мониторинговых работ – прогнозирование и предупреждение преждевременного разрушения дорожных конструкций.

Результаты работ по обследованию ледовых переправ

Георадиолокационные работы по договору с Федеральным дорожным агентством проводились ФАУ «РОСДОРНИИ» для определения толщины ледяного покрова на семи ледовых переправах [11]. Они были осуществлены зимой 2015 г. на территории Архангельской обл. в Приморском, Холмогорском и Виноградовском районах (расстояние между наиболее удаленными друг от друга переправами ≈ 300 км). Длина ледовых переправ 580–1700 м, их ширина 20–50 м. Запись радарограмм выполняли в прямом и обратном направлениях, на каждой ледовой переправе бурили 1-2 заверочных лунки.



Структура льда при выполнении георадиолокационных измерений георадарами серии «ОКО» с различной центральной частотой (от 150 до 1700 МГц в зависимости от толщины льда) определена преимущественно при использовании наземных методов выполнения работ со льда (рис. 3).



Рис. 3. Дорожная лаборатория с различными антенными блоками (АВ-1700, АВ-400Р, АВ-1700R и АВ-400) на ледовых переправах

Fig. 3. Road laboratory with various antenna units (AB-1700, AB-400R, AB-1700R and AB-400) on ice crossings

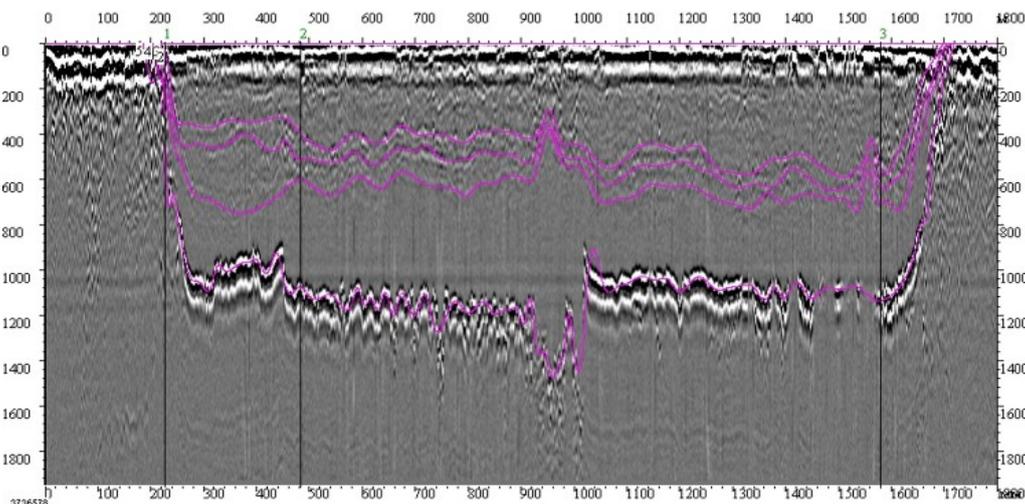


Рис. 4. Границы послойного намораживания льда (просматривается минимум три границы) и нижний слой естественного льда на ледовой переправе через р. Северная Двина

Fig. 4. The boundaries of layer-by-layer ice freezing (at least three boundaries are visible) and the lower layer of natural ice at the ice crossing over the river. Northern Dvina

При анализе полученных радарограмм выделены линии синфазности, разделяющие естественный и намороженный лед (рис. 4). Как правило, естественный лед имеет плотную структуру, в то время как в намороженном льде различают линии синфазности, разделяющие послойное намораживание.

По детальному анализу радарограммы в слое льда (в увеличенном масштабе) определяли



наличие вертикальных трещин и их глубину (рис. 5). При этом фиксировали местоположение вертикальных трещин: сквозные или локальные (наблюдаются в типе льда: естественный или намороженный).

По результатам исследований разработана, утверждена и введена в действие ОДМ 218.4.030-2016 «Методические рекомендации по оценке грузоподъемности ледовых переправ» [12].

Аппаратная база георадиолокационного оборудования в 2010-2020-х гг. развивается довольно активно. Так, в 2017 г. партнер ФАУ «РОСДОРНИИ» – ООО «Логис» разработал и оценил применение в районе Тикси нового ледомера «ЛД-400» (рис. 6), обеспечивающего оперативное определение толщины льда, мониторинга состояния ледовых переправ, локализации неоднородностей, зон трещиноватости, др. дефектов внутри ледяного массива.

Основные технические характеристики ледомера «ЛД-400»: диапазон измерения толщины льда – от 0.05 до 5.00 м; разрешающая способность ГРЛ по толщине – не хуже 0.15 м; диапазон рабочих температур от минус 50 до +50 °С.

При температуре воздуха минус 40 °С с использованием такого ледомера была измерена толщина морского соленого льда (± 1.7 м) и обеспечена проводка транспорта с тяжелыми грузами.

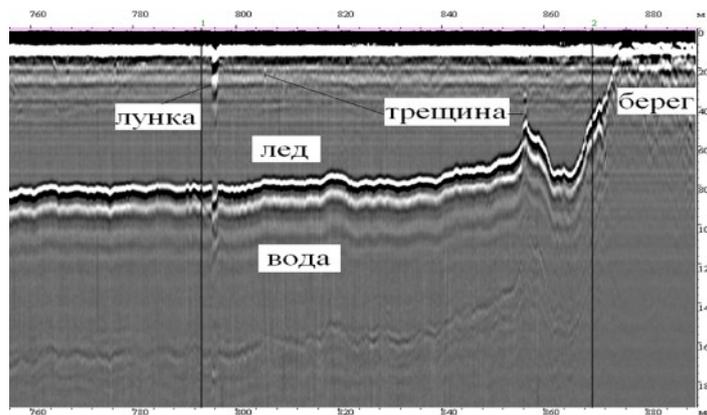


Рис. 5. Фрагмент радарограммы с определением местоположения трещин во льду
Fig. 5. A fragment of a radar image with the location of cracks in the ice



Рис. 6. Общий вид ледомера "ЛД-400"
Fig. 6. General view of the ice meter "LD-400"

Рекомендации по результатам обследования ледовых переправ

Опытно-экспериментальные мониторинговые работы показали, что георадиолокационными методами может быть определена толщина льда и оценена



структура ледового покрытия по всей длине и ширине переправы.

По результатам работ с учетом обобщенного опыта для выполнения георадиолокационных измерений выданы следующие рекомендации:

- толщину льда – определять с использованием высокочастотных и среднечастотных антенных блоков (АБ-1700, АБ-400Р, АБ-400) с центральной частотой 400–2000 МГц;
- глубину водного потока – определять с использованием антенных блоков низкой частоты 25–100 МГц (например, Питон-3);
- структуру льда, наличие трещин – определять с использованием высокочастотных антенных блоков с центральной частотой 1000–2000 МГц (АБ-1700, АБ-1700Р).

По результатам измерений получены пределы изменения диэлектрической проницаемости льда от 2.85 до 3.25 – в зависимости от температуры льда, химического состава замерзшей воды и центральной частоты антенных блоков. Для практического применения наиболее подходящими являются значения диэлектрической проницаемости в диапазоне 3.15–3.21.

Установлено, что по радарограммам, записанным георадаром, может быть определена структура льда: толщины естественного, намороженного и снегового льдов; наличие неоднородностей и трещин во льду. Перечисленные показатели оказывают существенное влияние на грузоподъемность ледовых переправ.

Толщина льда оценивается в зависимости от глубины водного потока, скорости течения воды и имеет наименьшие значения вблизи от берега.

ВЫВОДЫ

Георадиолокационные технологии целесообразно использовать в Арктической зоне с разработкой нормативно-технической документации по следующим направлениям:

- 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, дополненных использованием спутниковых систем позиционирования (ГНСС), тепловизионными съемками, электротомографией, цифровым моделированием лазерным сканированием;
- разработка адаптированных и устойчивых дорожных конструкций автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос к сезонному оттаиванию грунтов с учетом изменения климата;
- определение 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, наращиванию ледяного покрова и продлению сроков их службы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части Российского сектора Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики 2016. № 1(107). С. 39-49.
2. Данилкин А.А., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Максимов Д.А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Кавдорского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 7. С. 344-352.
3. ГОСТ 32836-2014. ДАОП. Изыскания автомобильных дорог. Общие требования.



4. ГОСТ 32868-2014. ДАОП. Требования к проведению инженерно-геологических изысканий.
5. ГОСТ Р 59120-2021. ДАОП. Дорожная одежда. Общие требования.
6. ГОСТ Р 58349-2019. ДАОП. Дорожная одежда. Методы измерения толщины слоев дорожной одежды.
7. ГОСТ Р 58948-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые переправы. Технические правила устройства и содержания.
8. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85.
9. **Кулижников А.М.** Исследование дорожных конструкций на многолетнемерзлых грунтах // Дороги и мосты: сб. ст. / ФГУП РОСДОРНИИ. 2009. № 2(22). С. 89-110.
10. ОДМ 218.3.075-2016. Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации. М., 2018.
11. **Кулижников А.М.** Георадиолокационные обследования ледовых переправ // Инженерные изыскания. 2016. № 8. С. 22-29.
12. ОДМ 218.4.030-2016. Методические рекомендации по оценке грузоподъемности ледовых переправ. М., 2019.

Поступила в редакцию 26.08.2022

Одобрена после рецензирования 05.09.2022

Принята к опубликованию 15.09.2022

REFERENCES

1. **Mel'nikov, N.N., Kalashnik, A.I., Zaporozhec, D.V., D'yakov, A.Yu. & Maksimov, D.A.** (2016) Experience in the application of GPR subsurface research in the western part of the Russian Arctic sector, *Problemy Arktiki i Antarktiki*, (1), pp. 39-49 (in Russian).
2. **Danilkin, A.A., Kalashnik, A.I., Zaporozhec, D.V. & Maksimov, D.A.** (2014) Monitoring of the condition of the enclosing dam in the mining zone of the technogenic deposit of the Kavdorsky GOK, *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'*, (7), pp. 344-352 (in Russian).
3. GOST 32836-2014. *Public roads. Surveys of highways. General requirements* (in Russian).
4. GOST 32868-2014. *Public roads. Requirements for conducting engineering and geological surveys* (in Russian).
5. GOST P 59120-2021. *Public roads. Travel clothes. General requirements* (in Russian).
6. GOST P 58349-2019. *Public roads. Travel clothes. Methods of measuring the thickness of layers of road pavement* (in Russian).
7. GOST P 58948-2020. *Public roads. Winter automobile roads and ice crossings. Technical rules of the device and content* (in Russian).
8. SP 78.13330.2012. *A set of rules. Highways. Updated version of SNiP 3.06.03-85* (in Russian).
9. **Kulizhnikov, A.M.** (2009) Investigation of road structures on permafrost soils, *Dorogi i mosty: sb. st. / FGUP ROSDORNII*, (2), pp. 89-110 (in Russian).
10. ODM 218.3.075-2016. *Recommendations for quality control of road construction works by georadolocation* (in Russian).
11. **Kulizhnikov, A.M.** (2016) Geo-radar surveys of ice crossings, *Inzhenernye izyskaniya*, (8), pp. 22-29 (in Russian).
12. ODM 218.4.030-2016. *Methodological recommendations for assessing the carrying capacity of ice crossings* (in Russian).

Received 26.08.2022

Approved after reviewing 05.09.2022

Accepted 15.09.2022