
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.396.96:624.863:+625.76 (571.56)

Результаты экспериментальных георадиолокационных обследований ледовых переправ и автомобильных дорог Якутии

Л.Л. Федорова, А.В. Омельяненко*, М.П. Федоров, Д.В. Саввин

Институт горного дела Севера СО РАН, г. Якутск

**Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск*

С целью совершенствования методов диагностики автодорог криолитозоны проведены экспериментальные исследования возможностей применения георадиолокации для обследования строения и состояния грунтов дорожной одежды и ледовых переправ. Исследования проведены на примере ледовой переправы «Якутск – Нижний Бестях», подстилающих пород автомобильной дороги с асфальтовым покрытием «Нижний Бестях – Майя» и грунтовой дороги «Амга». Данные получены георадаром ОКО-2М с антенным блоком АБ-400 (ООО «Логис»). Представлены практические результаты контактных и дистанционных георадиолокационных измерений толщины речного льда на ледовой переправе и дорожной одежды автомобильных дорог. По результатам измерений построена карта распределения толщины речного льда и оценена грузоподъемность по всей длине ледовой переправы. Изучено строение конструктивных слоев дорожной одежды грунтовой дороги «Амга» и определена мощность отсыпки грунтов. Данные георадиолокации показали, что на участке «Якутск – Нижний Бестях» прослеживается контрастная линза грунтов повышенной влажности протяженностью 180 м. В этом месте ожидаются криогенные процессы и дальнейшая деформация асфальтового покрытия. Показана перспективность метода георадиолокации для определения толщины речного льда в месте ледовых переправ и толщины конструктивных слоев дорожной одежды с выявлением зон повышенной влажности и разуплотнением грунтов автомобильных дорог.

Ключевые слова: георадиолокация, ледовая переправа, автомобильная дорога, разрез, состояние грунтов.

Experimental studies of applicability of GPR for surveying structure and condition of a subgrade road surfaces and ice crossings were conducted for purpose to improve diagnostic methods for cryolithozone roads. The studies were performed on the example of the ice crossing «Yakutsk-Nizhny Bestyakh», the underlying rocks of the asphalted road «Nizhny Bestyakh-Maya» and the earth road «Amga». The data were received by a georadar ОКО-2М with the antenna assembly АБ-400 (LLC «LogiS»). Practical results of contact and radar measurements of the river ice thickness on the ice crossing and the road surface of the highway are presented. A map of distribution of the river ice thickness was generated based on the measured data and the weight carrying capacity of the ice crossing throughout its length was evaluated. The structure of the constructional layers of subgrade road surface «Amga» was explored and thickness of landfilling was estimated. The 180 meters of a contrast lens of material with high moisture on the section «Yakutsk–Nizhny Bestyakh» is shown based on the GPR data. In this area cryogenic action processes and further damage of the asphalt road

ФЕДОРОВА Лариса Лукинична – к.т.н., доцент, и.о. зав. лаб., lar-fed-90@rambler.ru; *ОМЕЛЬЯНЕНКО Александр Васильевич – д.т.н., г.н.с., omeravel@yandex.ru; ФЕДОРОВ Максим Петрович – вед. инженер mpfedoroff@gmail.com; САВВИН Денис Валерьевич – к.т.н., м.н.с., savvin.denis@inbox.ru.

covering are expected. The ability of GPR for determining a thickness of river ice in a place of ice crossings and the a thickness of structural layers of a road pavement with identification of areas of high humidity and highways soil decompression is demonstrated.

Key words: GPR, ice crossing, road, geological section, state of soils.

Введение

В условиях Крайнего Севера строительство и эксплуатация инженерных сооружений – экономически затратный процесс. Прежде всего, это связано с чрезвычайно сложными климатическими условиями, наличием сезонно-талых грунтов и распространением многолетнемерзлых грунтов различного физико-механического свойства. Строительство и эксплуатация инженерных сооружений в криолитозоне вносят большие изменения в естественный температурный и водный режим многолетнемерзлых грунтов. Все это сопровождается активизацией опасных природных процессов, образованием таликов, криопэгов, оползней, оказывающих существенное негативное влияние на техническое состояние инженерных сооружений и приводящих нередко к аварийным ситуациям. Влияние этих изменений необходимо учитывать при принятии проектных решений при строительстве, эксплуатации и реконструкции инженерных сооружений. Для планирования объемов вышеперечисленных работ требуется оперативная информация о строении и состоянии подстилающих грунтов.

В настоящее время одним из передовых дистанционных методов неразрушающего контроля признан метод георадиолокации. Благодаря высокой производительности работ и детальности исследований, как в плане, так и по разрезу, а также возможности производства измерений в условиях урбанизированных территорий, метод успешно применяется как в России, так и за рубежом.

Ниже приведены примеры экспериментальных георадиолокационных обследований ледо-



Рис. 1. Автомобильный измерительный комплекс на подвеске автомобиля «Соболь»

вых переправ и автомобильных дорог Якутии. Для увеличения производительности георадиолокационной съемки применена автомобильная лаборатория (рис.1) с автоматической привязкой точек измерений по каналу GPS. Используемая аппаратура при исследованиях – георадар «ОКО-2М» с центральной частотой 400 МГц. Технологическая скорость съемки до 20 км/ч в зависимости от детальности работ. Экспериментально установленный подъем антенн от 30 до 100 см.

Результаты георадиолокационных измерений ледовых переправ р. Лена

В транспортной схеме Республики Саха (Якутия) единственной круглогодичной наземной линией является автомобильная дорога федерального значения М-56 «Лена» от Невера до Якутска. Общая протяженность сети автомобильных дорог на территории Республики Саха (Якутия) составляет свыше 30000 км, из которых более половины представлены сезонными автомобильными дорогами с ледовыми переправами через реки. Толщина речного льда и его структура в течение периода эксплуатации ледовой переправы могут меняться под воздействием погодных, техногенных и других факторов. Возникает необходимость оперативного контроля за состоянием ледовой переправы, при этом основное условие для безопасного передвижения по льду определяется [1]:

- для совершения пешей переправы от 15 см,
- для проезда легковых автомобилей не менее 30 см,
- для проезда грузовых автомобилей в зависимости от массы самого автомобиля от 70 см.

С точки зрения распространения электромагнитной волны – пресный лед высокоскоростная среда с низкими поглощающими свойствами и является благоприятной средой для изучения методом георадиолокации. Диэлектрическая проницаемость пресного льда имеет табличное значение $\epsilon' = 3,2$. Расчетная скорость распространения электромагнитной волны внутри льда 17,3 см/нс. Методика измерений толщины речного льда основана на определении времени задержки между сигналами, отраженными от его верхней и нижней поверхностей. Скорость распространения электромагнитных волн радиолокационного диапазона в пресном льду постоян-

ная величина, поэтому его толщина пропорциональна времени задержки. Измерение ледяного покрова рек может осуществляться непосредственно с автомобиля или с воздушного транспорта.

На рис. 2 представлен результат георадиолокационных исследований с борта вертолета участка р. Лена по трассе, пересекающей ледовую переправу. На профиле эти участки выделяются повышенной толщиной льда более 2 м. По результатам измерений видно, что наиболее оптимально проложена правая дорога (метка 1), т.к. ее полотно симметрично относительно оси мощности сформированного льда. Результаты данных измерений подтверждены замерами мощности льда в лунках.

На рис. 3 приведены результаты непрерывного профилирования ледовой переправы «Якутск–Нижний Бестях» с использованием автомобильного измерительного комплекса. Протяженность ледовой переправы – 13 км. При скорости передвижения измерительного комплекса до 20–25 км/ч по двум полосам время работы составило до 2 ч. Использование разработанного в ИГДС СО РАН программного обеспечения георадиолокационных ледомерных измерений позволило провести обработку данных в режиме реального времени, что немаловажно для оперативного контроля состояния ледовой переправы [2].

По результатам измерений получена карта распределения толщины речного льда по длине всей переправы и рассчитаны допустимые нагрузки на ледяной покров при пропуске по нему колесных автомобилей [1].

Обследование грунтовых дорог методом георадиолокации

Особое место в дорожном хозяйстве Республики Саха (Якутия) занимают типовые грунтовые автомобильные дороги. Некачественное технологическое состояние грунтовых дорог становится существенным тормозом в развитии объемов автомобильных перевозок, так как они не обеспечивают круглогодичное сообщение и

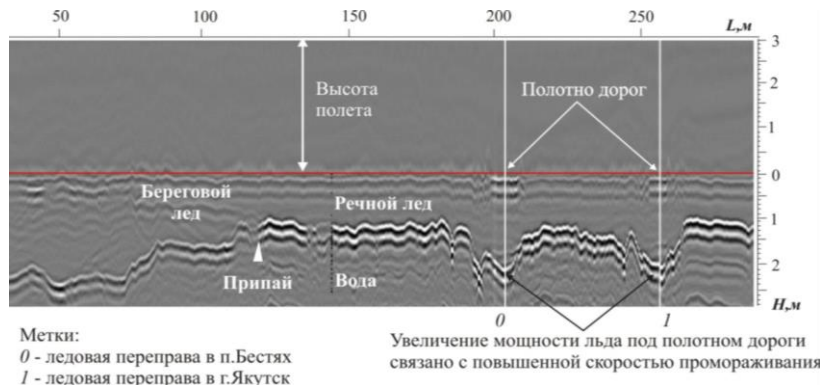


Рис. 2. Непрерывная георадиолокация льда с борта вертолета МИ-8 (р.Лена, ледовая переправа, высота полета – 3 м, скорость – 5 км/ч)

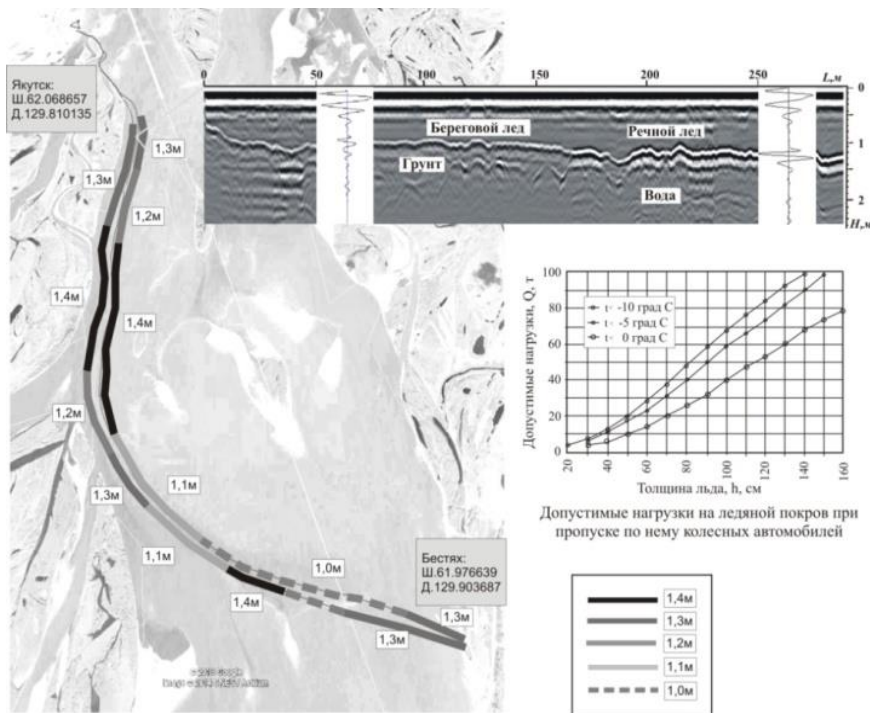


Рис. 3. Результат георадиолокационного зондирования ледовой переправы «Якутск–Н.Бестях»

не отвечают требованиям безопасности эксплуатации. В связи с этим возникают задачи дистанционного контроля качества укладки дорожного полотна и круглогодичный мониторинг зон, в которых возможны просадки и разрушения, обусловленные природно-климатическими условиями криолитозоны. Ряд некоторых задач, решаемых при исследовании грунтовых дорог в условиях распространения криолитозоны, изложен в работах [3, 4].

Исследования проведены на участке региональной автодороги «Амга» с целью исследования повышения эффективности диагностики и оценки состояния автомобильных дорог, эксплуатируемых в районах криолитозоны. По технологии работ для изучения криогенного состояния пород требуется свести до минимума вероят-

ность пропуска локальных неоднородностей (талики, криопэги, зоны разуплотнения, инженерные коммуникации и т.д.). Поэтому требования, предъявляемые к параметрам зондирования, принимаются на стадии изучения инженерно-геологических материалов и проведения рекогносцировочных работ.

Результаты исследований керна скважин показали, что физические свойства грунтов отсыпки практически неизменны на участке геофизических исследований. В основном дорожная отсыпка на протяжении всего участка дороги представлена в верхней части песчано-гравийной смесью от 0,2 до 0,5 м, ниже – супесями и суглинками до 3 м.

На данном участке автодороги работы проведены в зимнее время при промерзании сезонно-талого слоя, когда породы характеризуются минимальным поглощением электромагнитных волн, что создает оптимальные условия для их исследований. Результат исследований грунтовой дороги представлен на рис. 4. По данным камеральных работ пересчет георадиолокационного разреза в глубинный осуществлялся по средней скорости 0,122 м/нс, рассчитанной по сигналам-дифракциям на локальных неоднородностях [5]. Процесс обработки материалов измерений на исследуемом участке осуществлен по алгоритму: редактирование исходных данных, коррекция затухания амплитуд, подавление помех и ввод статистических поправок.

В результате на участке автодороги протяженностью 3,5 км изучено строение грунтов автодороги. По результатам работ выделены инженерные коммуникации, мощность конструктивных слоев дорожной одежды, а также участки с нарушением технологии отсыпки грунта.

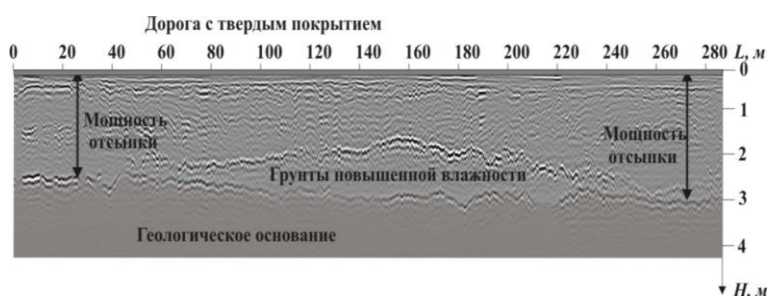


Рис. 5. Фрагмент георадиолокационного разреза автодороги «п.Н.Бестях – с.Майя» на участке деформации асфальтового покрытия

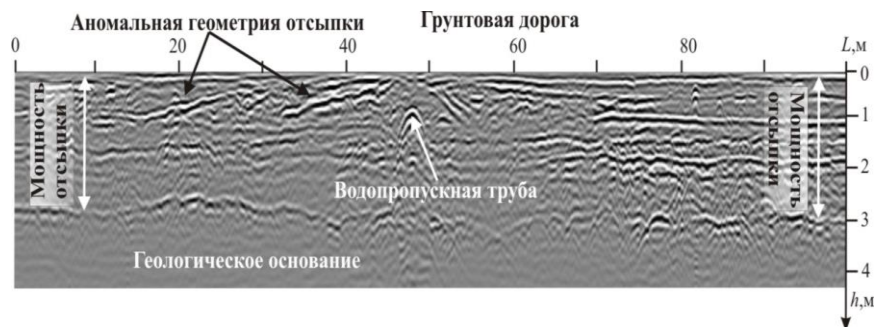


Рис. 4. Георадиолокационный профиль участка (фрагмент) грунтовой региональной автодороги «Амга»

Георадиолокационные измерения автодорог с твердым покрытием

В настоящее время для изучения автомобильных дорог и состояния подстилающих их грунтов традиционно применяют пенетрационные методы – это проходка шурфов и бурение скважин. Но в случае с асфальтовым покрытием ситуация осложняется тем, что не всегда можно подвести буровую к интересующему участку, возникают вопросы о целесообразности бурения через асфальтовое покрытие. Поэтому для изучения межскважинного пространства активно разрабатываются средства экспресс-анализа и неразрушающего контроля, к которым относятся дистанционные геофизические методы.

На рис. 5 представлен фрагмент георадиолокационного зондирования участка дороги «п. Нижний Бестях – с. Майя». По данным инженерных служб дотсыпка на этом участке достигает 3 м. Участок для исследований выбран по видимым деформациям поверхности асфальтового покрытия по расстоянию 120–200 м. По данным георадиолокации на участке от 60 м до 240 м выделена контрастная линза грунтов повышенной влажности. Участок дороги располагается на заболоченном месте, поэтому из-за миграции вод в этом месте ожидаются криогенные процессы и дальнейшая деформация асфальтового покрытия.

Для корректировки разреза применена процедура послойной обработки данных, позволяющая перейти к единому масштабу. По результатам обработки для уменьшения абсолютных погрешностей измерений и уточнения интерпретации произведены кусочная аппроксимация границ для вероятностных значений скорости распространения электромагнитного импульса $V = c / \sqrt{\epsilon'}$ (где c – скорость света, ϵ' – диэлектрическая проницаемость) и привязка к масштабу глубин. Так диэлектрическая

проницаемость увлажненных грунтов принята равной $\varepsilon'=40$ при $\varepsilon'=6-9$ для грунтов отсыпки. Особо следует отметить точность азимутальной привязки данных георадиолокационного профилирования и локализации выявленного слоя повышенной влажности по глубине распространения и простираия.

Заключение

В результате проведенных исследований установлена целесообразность и доказана эффективность применения метода георадиолокации для обеспечения безопасности эксплуатации типовых автомобильных дорог криолитозоны. При этом, по данным георадиолокации, оперативно, с минимальным объемом заверочных работ, возможно определить толщины конструктивных слоев дорожной одежды, толщину льда в месте ледовых переправ, установить месторасположение подземных инженерных коммуникаций, выявить зоны повышенной влажности и разуплотнения грунтов земляного полотна, а также оценить другие опасные геологические процессы в грунтах оснований автомобильных дорог. Разработка технологии геофизического мониторинга на основе метода георадиолокации позволит повысить эффективность диагностики и оценки состояния автомобильных дорог, эксплуатируемых в районах Крайнего Севера.

Работы выполнены в рамках НИР «Разработка системы геофизического мониторинга состояния грунтов оснований автомобильных дорог, эксплуатируемых в условиях криолитозоны» по Распоряжению Правительства Республики Саха (Якутия) от 27 августа 2014 г. №962-р «Об утверждении перечня научно-исследовательских работ на 2014–2016 годы».

УДК. 629.3:621.4:66.6/7 (98)

Влияние качества топлива на надежность дизельных двигателей в условиях Севера

А.М. Ишков, Е.Л. Иовлева*

Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск

**Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск*

В результате проведенного анализа установлено, что при эксплуатации грузовых машин наименее надежным является двигатель. Отказы топливной аппаратуры составляют существенную часть отказов двигателя. Выходные параметры топливной аппаратуры непосредственно определяют характер рабочего процесса дизеля, его мощность, экономичность и надежность в эксплуатации. От-

Литература

1. *ОДН 218.010-98*. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ. – М.: ФДС России, 1998. – 47 с.
2. *Федоров М.П.* Георадиолокационная технология дистанционного мониторинга состояния ледяного покрова северных рек с борта летательного аппарата / А.В. Омеляненко, Л.Л. Федорова, М.П. Федоров // Защита населения и объектов от водной стихии северных рек: сборник докладов Общероссийской научно-практической конференции, г. Якутск, 28–29 июня 2013 г. – Якутск, 2013. – С.106 – 109.
3. *Омеляненко А.В.* Возможности георадиолокационного контроля качества строительства грунтовых автомобильных дорог в условиях криолитозоны / А.В. Омеляненко, Л.Л. Федорова, Д.В. Саввин // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: II Всероссийская научно-практическая конференция, г. Новокузнецк, 10–11 декабря 2010 г. – Новокузнецк: филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2010. – С. 8 – 12.
4. *Саввин Д.В.* Геофизический контроль состояния строения дорожного полотна в условиях криолитозоны / Д.В. Саввин, А.В. Омеляненко, Л.Л. Федорова, О.А. Федоров // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы I Международной научно-практической конференции, г. Новокузнецк, 25–26 ноября 2011 г. – Новокузнецк: филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2011. – С. 269 – 274.
5. *Омеляненко А.В.* Георадиолокационные исследования многолетнемерзлых пород: монография / А.В. Омеляненко, Л.Л. Федорова. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – 136 с.

Поступила в редакцию 01.10.2014

ИШКОВ Александр Михайлович – д.т.н., проф., акад. АН РС(Я), зав. отделом, a.m.ishkov@prez.ysn.ru; *ИОВЛЕВА Елизавета Лонгиновна – ст. преподаватель.