УДК 625.7:624.131.3:550.837.3

# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Д-р техн. наук, профессор **А.М. Кулижников**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)
Конт. информация: kulihzn@mail.ru

*В статье приведено теоретическое обоснование и практические примеры оценки состояния грунтов (влажность, плотность, однородность, загрязнение, засоление и температура) методами георадиолокации. Все примеры представлены из опыта экспериментальных наблюдений за грунтами различных типов на участках автомобильных дорог.*

***Ключевые слова:*** *георадиолокация, грунты, влажность, плотность, однородность, загрязнение, засоление, сигнал, амплитуда, частота, отражающая способность.*

Линейные объекты отличаются от площадных тем, что они простираются на десятки, сотни, а иногда и тысячи километров в относительно узкой полосе местности. В этом случае по протяжению трассы встречаются самые разнообразные инженерно-геологические и гидрогеологические условия.

При инженерных изысканиях очень важно на трассе или участке автомобильной дороги большой протяженности определить проблемные места, в которых следует проводить детальные инженерно-геологические и гидрогеологические изыскательские работы. Для этого на этапе рекогносцировки требуются высокопроизводительные экспресс-методы оценки состояния грунтов, которые могут выполняться, в том числе с помощью георадиолокационных технологий.

На современном этапе отсутствует общепринятое всеобъемлющее понятие состояния грунтов, которое в большой степени определяет их сопротивление нагрузкам.

В настоящее время состояние грунтов характеризуется следующими параметрами:

- влажностью (сухие, переувлажненные, обводненные и т.д.);
- плотностью (разуплотненные, выветрелые, трещиноватые и т.д.);
- однородностью (различие физико-механических свойств, наличие включений, пустот и т.д.);

- загрязнением (например, нефтепродуктами);
- температурой (талый или мерзлый);
- засолением и др.

Георадиолокационными методами не представляется возможным определить с высокой точностью количественные характеристики грунта, такие как значение плотности, влажности, пористости, температуры, содержание солей и т.д. Однако относительные (качественные и в меньшей степени количественные) показатели могут быть определены достаточно надежно. После георадиолокационных рекогносцировочных обследований детальные исследования в наиболее сложных местах могут быть выполнены с помощью стандартных точных методов как в поле, так и с отбором проб, путем лабораторных испытаний.

Рассмотрим, какие свойства грунтов, характеризующие их состояние, можно определить георадиолокационными методами.

Определение ***влажности грунтов*** выполняется через диэлектрическую проницаемость грунта или скорость прохождения сигнала в грунте. Для определения диэлектрической проницаемости достаточно знать точную глубину, на которой находится отражающий предмет (специальные отражающие пленки, инженерные коммуникации, другая грунтовая среда и т.д.). При известном значении диэлектрической проницаемости через уравнения для различных грунтовых сред определяется влажность грунта.

Такие работы были выполнены на участках автомобильных дорог М-8 «Холмогоры» в Архангельской области **(рис. 1)**, М-10 «Россия» в Тверской области **(рис. 2) [1]**. Результаты выполненных работ показали, что пересчитанная по диэлектрической проницаемости влажность в песчаных и супесчаных грунтах может быть определена по отражениям от водопропускных труб и пересекаемых инженерных коммуникаций достаточно точно, что позволяет проводить круглогодичный мониторинг за изменением влажности грунтов. Кроме того, на участках автомобильных дорог М-8 «Холмогоры», М-10 «Россия», М-3 «Украина», М-5 «Урал», расположенных в Московской области **[2]** были проведены георадарные мониторинговые работы по определению объемной влажности грунтов в весенний период (с марта по май), которые подтвердили эффективность оценки изменения влажности от 4,4 до 15,8% (по объему) по зафиксированному увеличению диэлектрической проницаемости.

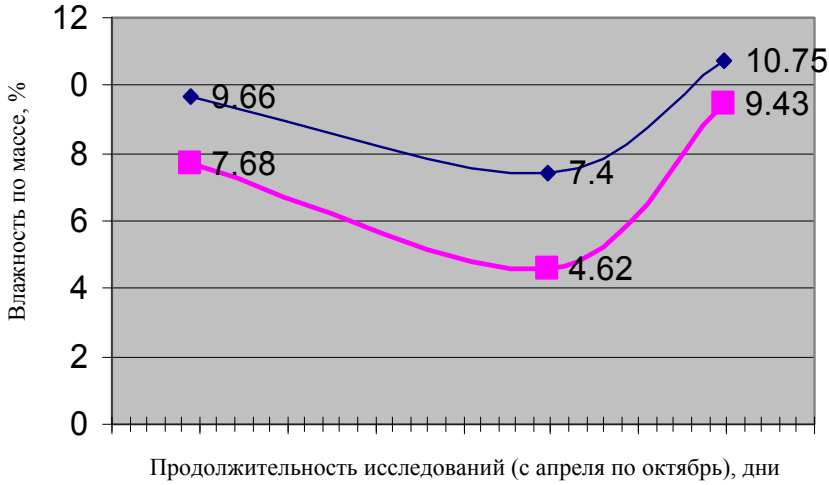



***Рис. 1. График изменения диэлектрической проницаемости (синяя линия) и влажности (сиреневая линия) песчаного грунта земляного полотна на одном из участков автомобильной дороги М-8 «Холмогоры» в Архангельской области***

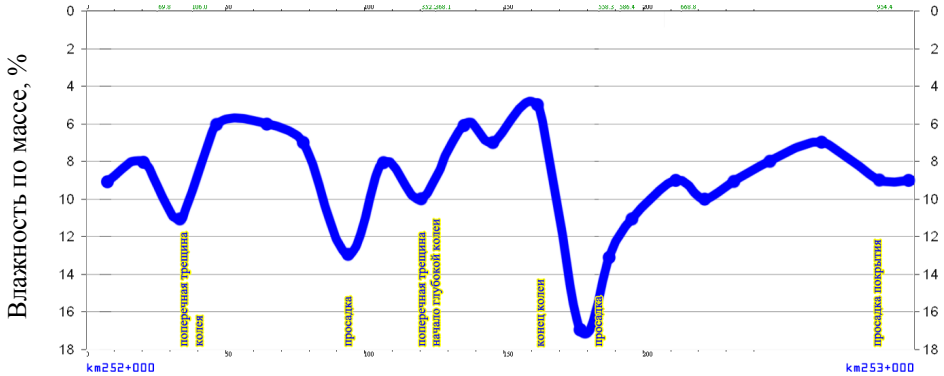



***Рис. 2. График изменения влажности (синяя линия) супесчаного грунта земляного полотна на глубине 1,5 м в летний период на участках автомобильной дороги М-10 «Россия» в Тверской области***

Приведенные выше результаты показывают, что могут быть получены количественные значения влажности грунтов как по массе, так и по объему в зависимости от используемых формул пересчета через зафиксированную диэлектрическую проницаемость грунта **[1]**.

Выделение мест локального повышенного увлажнения (переувлажненные и обводненные зоны) осуществляется по двум качественным признакам.

***Первый признак*** – увеличение контрастности отражающих границ (т.е. повышение амплитуды отраженных волн) на таких участках. Особенно отчетливо эти зоны выделяются на профилях после преобразования Гильберта. Пример увеличения амплитуды сигнала в грунтах земляного полотна по сравнению со средним значением приведен на **рис. 3**.

Георадиолокационные обследования были выполнены на участке автомобильной дороги М-9 «Балтия» в Тверской области георадаром ОКО-2 с антенным блоков АБ-150. Увеличение амплитуды сигнала было зафиксировано на отдельных участках земляного полотна в 5-20 раз больше среднего значения (синяя линия – от 5 до 7 раз, красная – более 7 раз) **[3]**. Непосредственно на радарограмме (**рис. 4**) можно фиксировать увеличение амплитуды сигнала в переувлажненных грунтах (из-за накопления в теле земляного полотна подземных вод, мигрирующих из глубокой выемки в насыпь) в 4-10 раз больше по сравнению с грунтами в обычном состоянии.

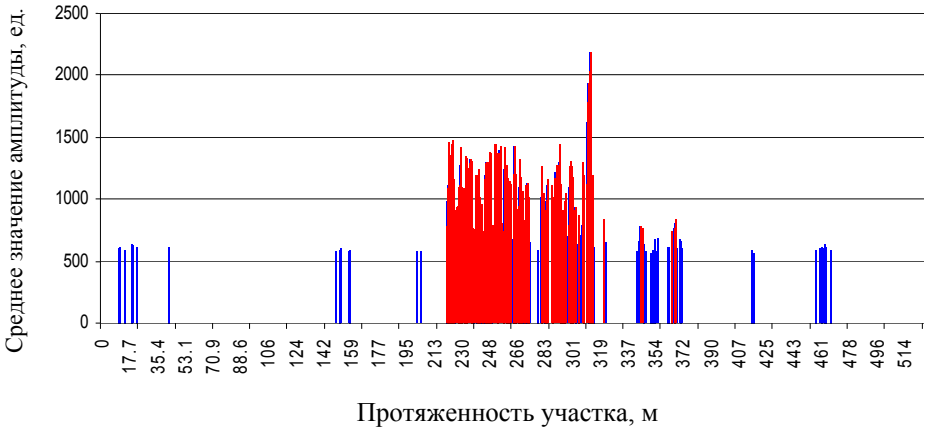



***Рис. 3. Среднее значение амплитуды отраженных волн на участках земляного полотна автомобильной дороги М-9 «Балтия» в Тверской области:***
*красный цвет – участки, приближенные к полной влагоемкости грунтов (на болотах); синий цвет – участки повышенного увлажнения*

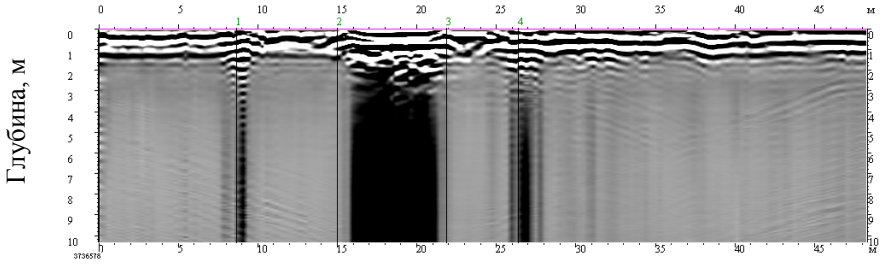



***Рис. 4. Резкое увеличение амплитуды сигнала (черный цвет) на радарограмме поперечного сечения в пределах полосы отвода на участке между бровками земляного полотна (метки 2 и 3) автомобильной дороги в Республике Чувашия***

***Второй признак*** – резкое понижение частоты на участках с повышенным увлажнением:

- 10-60 МГц – при центральной частоте антенных блоков 150-250 МГц **[4]**;
- до 10-50 МГц – при центральной частоте антенного блока 300 МГц **[5-6]**.

При этом частоты, характерные для данной антенны, в спектре отраженного сигнала отсутствуют. В среднем частота на участках с повышенным увлажнением в 3-8 раз меньше, чем на участках с обычным увлажнением **[4-6]**.

Пример понижения частоты дан на **рис. 5**. На приведенной радарограмме продольного прохода георадара по участку автомобильной дороги в Вологодской области выделяется нижняя белая зона со средней частотой сигнала 30 МГц, в то время как на остальных участках на той же глубине, в тех же грунтах частота в 4-5 раза больше.

Кроме локального увеличения амплитуды на подобных увлажненных участках может наблюдаться прогибание отражающих границ, что обусловлено, с одной стороны, уплотнением отложений, а с другой стороны – уменьшением скорости распространения электромагнитных волн во влажных грунтах **[6]**.

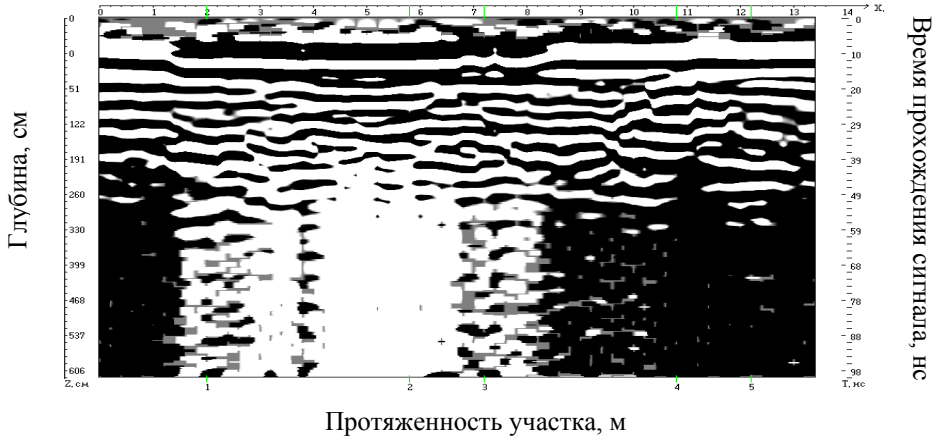



***Рис. 5. Радарограмма продольного прохода георадара по поверхности покрытия автомобильной дороги Тотьма-Нюксеница-Великий Устюг***

Определение ***плотности***, ***однородности***, ***загрязнения грунтов*** оценивается также через амплитудно-частотные характеристики.

Используя преобразования Гильберта устанавливают значения мгновенной частоты и фазы сигнала. По таким значениям могут быть получены временные разрезы с различным частотным составом и фазовыми сдвигами, по которым оцениваются плотность и однородность грунтовой среды **[8,9]**.

Пример преобразований Гильберта выполнен на участке автомобильной дороги «Колыма», расположенной в Магаданской области **(рис. 6)**. На **рис. 6 а** показана радарограмма продольного прохода георадара по поверхности покрытия, на **рис. 6 б** – выполненные на данной радарограмме преобразования Гильберта, при этом участки, окрашенные темно-синим цветом, характеризуют низкую частоту, т.е. и низкую плотность грунта.

Можно заметить, что в первой левой аномальной зоне с низкой плотностью грунтов в верхней части разреза (970-1050 м на радарограмме) наблюдается резкое прекращение прослеживания осей синфазности отраженных волн **(рис. 6 а)**.

Как правило, по результатам преобразований Гильберта выделяются аномальные зоны в грунтах с повышенной амплитудой сигнала и пониженной его частотой, т.е. зоны переувлажненных и разуплотненных грунтов.

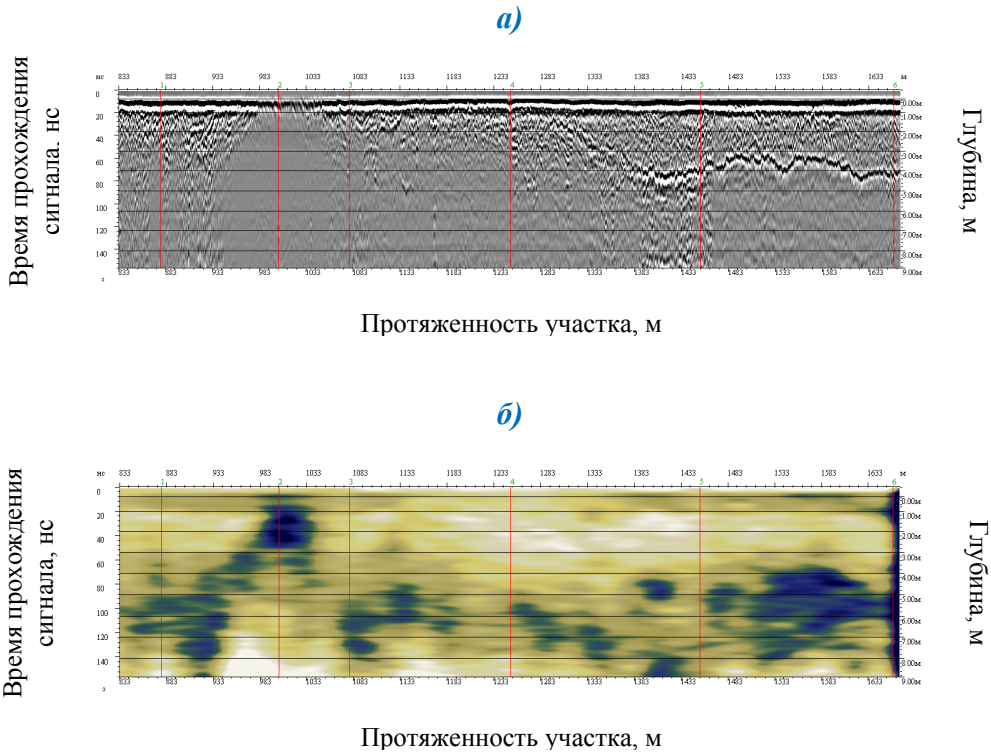



***Рис. 6. Результаты обследования участка автомобильной дороги «Калыма»:***
*а) – радарограмма продольного прохода георадара по поверхности покрытия;*
*б) – радарограмма с преобразованиями Гильберта*

Амплитуда отраженного сигнала от границы между слоями пропорциональна величине коэффициента отражения *R*, который определяется по формуле:

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_1}-\sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1}+\sqrt{\varepsilon_2}} ,$$

где

$\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$ – значения диэлектрической проницаемости первого и второго слоя.

Известно, что диэлектрическая проницаемость материалов дорожной одежды растет при заглублении от дорожного покрытия, так как с глубиной увеличивается влажность материалов, и в этом случае, согласно расчету коэффициента отражения, через диэлектрическую проницаемость отражение регистрируется как «положительное», а на радарограмме на глубине границы слоев находится белая линия синфазности посередине двух черных. По результатам исследований Т. Сааренкетто и П. Майяла **[7]**, если диэлектрическая проницаемость нижнего слоя меньше, чем верхнего, как например, у конструкции, представленной на **рис. 6 а,** правая половина, отражение – так называемое «отрицательное» – в смежных линиях синфазности в середине находится черная линия синфазности посередине двух белых линий. Однако радарограммой на **рис. 6 б** опровергается вышесказанное, так как влажность ниже границы разделения значительно больше, чем в вышележащих слоях.

В то же время Т. Сааренкетто и П. Майяла **[7]** замечают, что при обследовании автомобильной дороги при помощи георадара отражение от поверхности часто регистрируется как положительное, даже при том, что коэффициент отражения отрицательный. Все это свидетельствует о необходимости детальных исследований данного вопроса и учета дополнительных факторов.

Следует различать зоны переувлажненных грунтов (избыточное количество воды, влажность грунта выше предельной) от зон разуплотненных грунтов (высокая пористость). В случае перехода электромагнитной волны из низкоскоростной среды в высокоскоростную (например, песок – воздух) наблюдается эффект инверсии фазы волны, а при переходе из высокоскоростной среды в низкоскоростную (например, песок – вода) эффект инверсии фазы отсутствует **[8]**. При переходе электромагнитной волны из менее скоростной среды в более скоростную среду следует помнить, что наблюдается рост центральной частоты зондирующих импульсов, и, наоборот, спад центральной частоты при переходе из более скоростной среды в менее скоростную (например, песок – вода) **[8]**.

Преобразование Гильберта выполнено на радарограмме поперечного прохода георадара по откосу земляного полотна на оползневом участке насыпи автомобильной дороги М-5 «Урал» в Пензенской области **(рис. 7) [10]**. Черным цветом выделены зоны повышенной энергии – аномальные зоны в грунтах с повышенной амплитудой сигнала и пониженной его частотой, т.е. зоны переувлажненных и разуплотненных грунтов. По аномальным зонам повышенной энергии четко просматривается положение кривой скольжения.

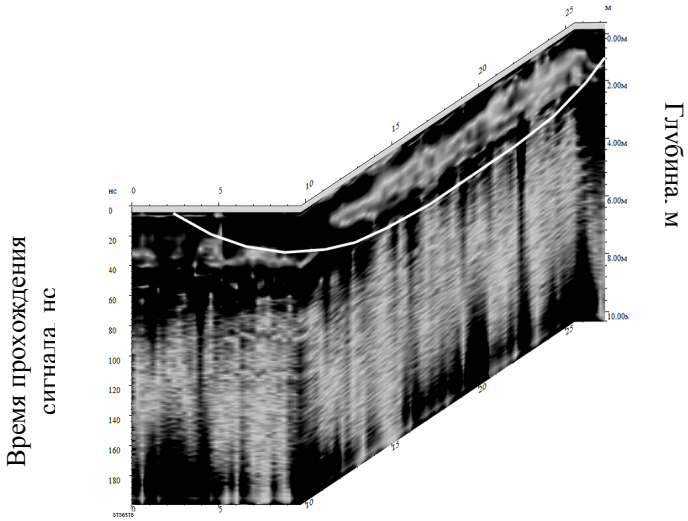



***Рис. 7. Преобразования Гильберта на радарограмме поперечного прохода по откосу насыпи на участке автомобильной дороги М-5 «Урал»:***
*черные контуры – области повышенной энергии;*
*белая линия – кривая скольжения*

В целях анализа амплитудно-частотных характеристик на шести характерных откосах были изучены полученные результаты (**табл. 1**). Приведенные данные показывают, что на участках, склонных к оползнеобразованию, амплитуда сигнала существенно превышает значения на устойчивых участках. Частота сигнала на участках, склонных к оползнеобразованию, соответственно в 3-6 раз меньше, чем на устойчивых участках. На участках, склонных к оползнеобразованию, зафиксирована инверсия сигнала, в то время как на устойчивых участках она не наблюдается **[10]**.

Критериями выявления неоднородностей свойств материалов и грунтов земляного полотна на радарограммах являются следующие **[11]**:

- увеличение амплитуды электромагнитного сигнала на глубине расположения контролируемого слоя в 2-4 раза и более (в зависимости от частоты антенного блока, типа местности, вида зондируемого материала или грунта и др.) по сравнению со средним значением;
- уменьшение частоты электромагнитного сигнала на глубине расположения контролируемого слоя в три раза и более по отношению к среднему значению.

**Таблица 1**

***Амплитудно-частотные характеристики по створам поперечных проходов георадара в различных частях откоса***

| *Характеристики и признаки* | *Радарограммы по створам поперечных проходов* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *На участках, склонных к оползнеобразованию* | | | | | | *На участках, без оползней* |
| | *правая сторона* | | | *левая сторона* | | | |
| | *1* | *3* | *4* | *7* | *8* | *9* | |
| *Верхняя часть откоса* | | | | | | | |
| *Амплитуда* | 400 | 300 | 280 | 250 | 280 | 250 | < 200 |
| *Средняя часть откоса* | | | | | | | |
| *Частота, мгц* | 22 | 25 | 30 | 22 | 28 | 22 | 90-130 |
| *Наличие инверсии фазы сигнала* | - | - | - | - | - | - | + |
| *Нижняя часть откоса и основание насыпи* | | | | | | | |
| *Амплитуда* | 400 | 430 | 330 | 400 | 260 | 300 | < 200 |
| *Наличие инверсии фазы сигнала* | - | - | - | - | - | - | + |

***Загрязнение грунтов*** – накопление в грунте веществ и организмов в результате антропогенной деятельности в таких количествах, которые понижают технологическую, питательную и санитарно-гигиеническую ценность выращиваемых на них культур, а также понижают их качество как строительных материалов.

Загрязнение грунтов может быть определено по изменению амплитудных характеристик сигнала и разной относительной отражательной способности.

На сегодняшний день проведено много исследований, которые свидетельствуют об эффективности метода георадиолокации для оценки загрязнения грунтов **[12,13]**.

***Определение температуры грунта*** производится как его качественная оценка (мерзлый или талый грунт). Разное состояние мерзлого и талого грунтов характеризуется различной диэлектрической проницаемостью сред (различной скоростью прохождения сигнала), что и позволяет выявить границу из раздела, которая чаще бывает ярко выражен-

ной (**рис. 8**). Граница раздела в редких случаях фиксируется георадаром, как не ярко выраженная, из-за промежуточного состояния грунтов, вызванного выделением скрытой теплоты фазового перехода, на границе их раздела.

Важно знать глубину промерзания воды на ледовых переправах, где также на границе мерзлой и талой зон четко выделяется толщина льда **(рис. 9)**, которая определяет грузоподъемность ледовой переправы. При этом диэлектрическая проницаемость нижнего слоя (вода – 81) не меньше, чем верхнего (лед – 3,2), однако отражение, как видно по **рис. 9**, «отрицательное» – в смежных линиях синфазности в середине находится черная линия синфазности посередине двух белых линий. Следовательно, вышеприведенное утверждение Т. Сааренкетто и П. Майяла **[7]** справедливо далеко не во всех случаях, а вышеприведенная формула для определения коэффициента отражения нуждается в корректировке с учетом дополнительных факторов или установления строгих границ ее применения.

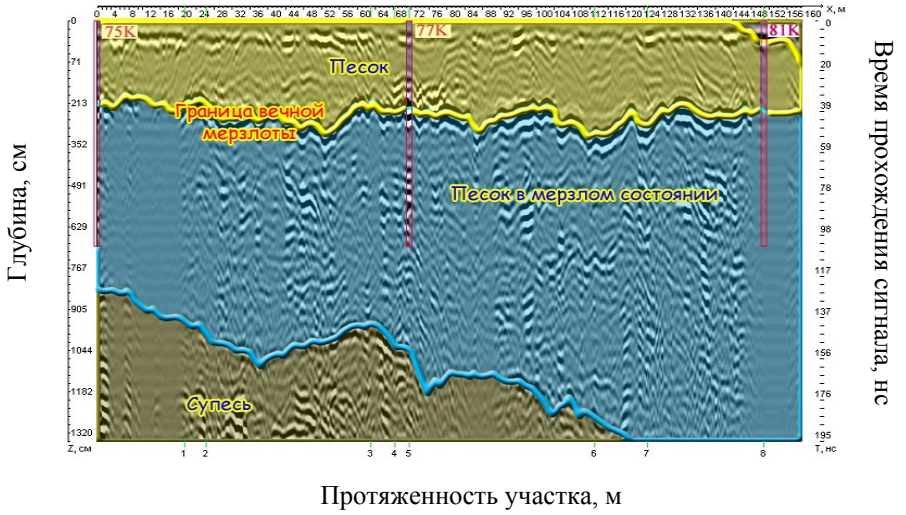
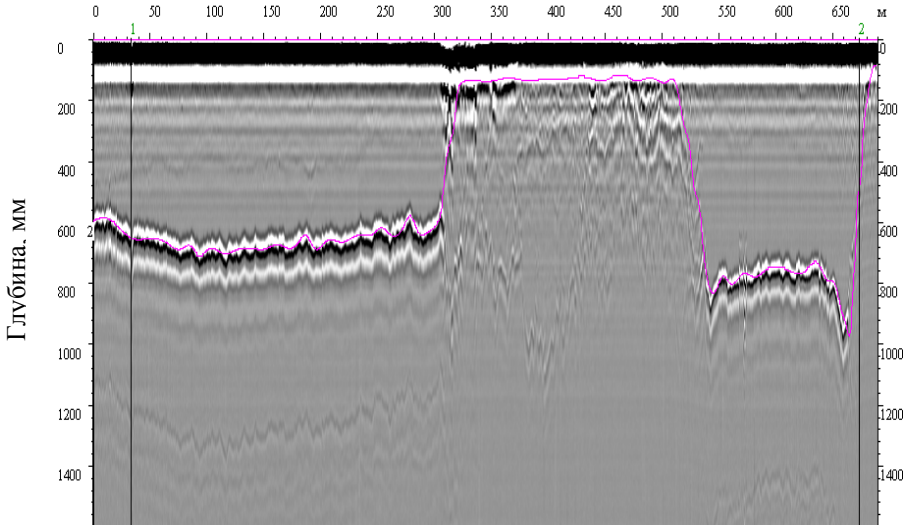



***Рис. 8. Ярко выраженная граница мерзлого и талого песка в карьере на территории Ямало-Ненецкого автономного округа***




Протяженность участка, м

***Рис. 9. Радарограмма продольного прохода георадара по ледовой переправе в Архангельской области:***
*0-300 м – толщина льда;*
*300-510 м – проход по намытому острову;*
*510-660 м – толщина льда*

Степень ***засоления грунтов*** (определяется содержанием легкорастворимых солей в грунте) оценивается глубиной прохождения сигнала в грунтовой среде: чем больше степень засоления, тем меньше глубина прохождения сигнала. Основанием для данного вывода служит график зависимости интенсивности сигнала от концентрации солей **(рис. 10) [13]**, который свидетельствует, что засоленность грунтов снижает интенсивность сигнала и глубину зондирования в 4-5 раз.

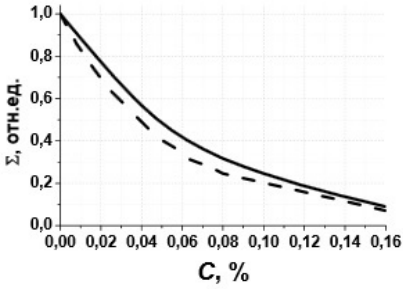
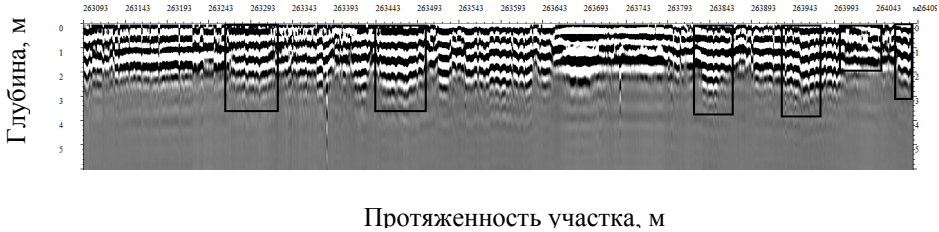



***Рис. 10. График зависимости интенсивности сигнала (Σ) от концентрации солей (С)***

Георадиолокационные работы на участках засоленных грунтов земляного полотна автомобильной дороги Оренбург-Орск показали, что при содержании солей в суглинках и глинах в среднем от 0,05 до 0,27% глубина зондирования георадаром «ОКО-2» с антенным блоком АБ-150 изменяется соответственно от 2,5-3,0 до 1,5-2,0 м (**рис. 11**).

***а)***




***б)***

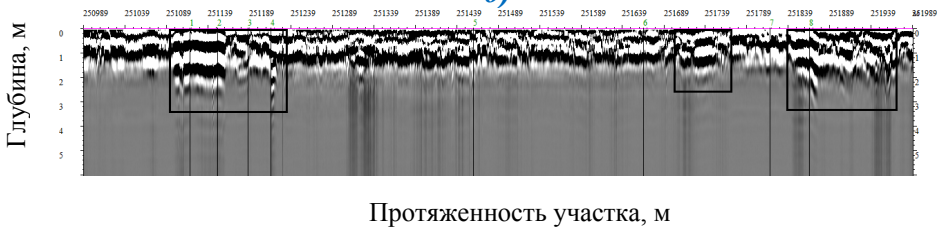



***Рис. 11. Радарограммы однокилометровых продольных проходов георадара по поверхности покрытия автомобильной дороги Оренбург – Орск:***
*а) среднее содержание солей в грунтах земляного полотна – 0,05%;*
*б) среднее содержание солей в грунтах земляного полотна – 0,27%*

## ВЫВОДЫ

1. Георадиолокационные методы являются перспективными высокопроизводительными экспресс-методами оценки состояния грунтов земляного полотна и подстилающего основания линейных сооружений, которые позволяют по диэлектрической проницаемости и амплитудно-частотным характеристикам оценить относительную влажность, плотность и однородность грунтов.
2. Для определения высокоточных количественных характеристик физико-механических свойств грунтов необходимо выполнять испытания грунтов стандартными методами по адресам, определенным по результатам георадиолокационных обследований.

3. Определение отдельных методик георадиолокационных исследований различных свойств (влажности, однородности, загрязнения и засоления), характеризующих состояние одного и того же грунта в одном и том же месте, является предметом дальнейших исследований.

## *ЛИТЕРАТУРА*


1. *Кулижников А.М. Георадарные методы определения влажности грунтов земляного полотна / А.М. Кулижников, А.А. Белозеров // Дороги и мосты. – 2005. – Вып. 13/1. – С. 185-193.*
2. *Кулижников А.М. Результаты экспериментальных исследований транспортно-эксплуатационных характеристик и водно-теплового режима грунтов на участках федеральных автомобильных дорог Московской области / А.М. Кулижников, Н.Н. Новиков, Р.Р. Денисов, Г.Г. Шукюров // Дороги и мосты. – 2006. – Вып. 16/2. – С. 149-159.*
3. *Кулижников А.М. Георадарные методы инженерно-геологических изысканий автомобильных дорог с одеждами жесткого типа / А.М. Кулижников, Р.Р. Денисов // Дороги и мосты. – 2007. – Вып. 17/1. – С. 55-67.*
4. *Белозеров А.А. Применение георадаров для обследования оползневых участков автомобильных дорог / А.А. Белозеров, А.М. Кулижников. В кн.: Георадары, дороги – 2002: материалы международной науч.-практ. конф., Архангельск, 2002. Архангельск: АГТУ, 2002. – С. 67-73.*
5. *Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных / А.В. Старовойтов. – М.: Издательство МГУ, 2008. – 192 с.*
6. *Старовойтов А.В. Изучение ослабленных зон в верхней части разреза методом георадиолокации / А.В. Старовойтов, А.М. Романова, А.Ю. Калашников. – Инженерная геофизика – 2011: материалы международной науч.-практ. конф., электронная версия. – Москва, 2011. – С. R3.*
7. *Saarenketto T. / The Use of GPR in Roade Rehabilitation Projects / T. Saarenketto, P.Maijala. – Ravaniemi, 2011.*
8. *Данильев С.М. Обоснование георадиолокационных критериев обнаружения и распознавания зон деструкций инженерных объектов на основе математического моделирования / С.М. Данильев, В.В. Глазунов. – Инженерная геофизика – 2011: материалы международной науч.-практ. конф., электронная версия. – Москва, 2011.*

9. *Данильев С.М. Оценка технического состояния дорожной одежды на основе комплексного геолого-георадиолокационного подхода / С.М. Данильев, Н.А. Данильева, Г.Б. Поспехов. – Инженерные изыскания в строительстве: материалы Одиннадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. – М.: Издательство «Академическая наука», ООО «Геомаркетинг», 2015. – С. 156-158.*
10. *Кулижников А.М., Еремин Р.А. Обследование оползневых массивов на откосах автомобильных дорог методом георадиолокации // Дороги и мосты. – 2012. – Вып.27/1. – С.54-64.*
11. *ОДМ 218.3.075-2016. Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации. – Изд. на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 10.06.2016 N 1025-р.*
12. *Явна В.А. Применение СВЧ методов для определения засоренности балластного материала / В.А. Явна, В.Л. Шаповалов, А.В. Морозов, К.М. Ермолов. – Инженерная геофизика – 2015: материалы 11-ой международной науч.-практ. конф. – Геленджик, 2015.*
13. *Хакиев З.Б. Исследование влияния электрофизических свойств среды на результаты георадиолокационной диагностики объектов инженерной инфраструктуры: автореф. дис. ... физ.-мат. наук: 01.04.03 <Радиофизика> / Хакиев Зелимхан Багауддинович. – Ростов-на-Дону, 2010. – 22 с.*

## L I T E R A T U R A

1. *Kulizhnikov A.M. Georadarnye metody opredelenija vlazhnosti gruntov zemljanogo polotna / A.M. Kulizhnikov, A.A. Belozerov // Dorogi i mosty. – 2005. – Vyp. 13/1. – S. 185-193.*
2. *Kulizhnikov A.M. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij transportno-jekspluatacionnyh harakteristik i vodno-teplovogo rezhima gruntov na uchastkah federal'nyh avtomobil'nyh dorog Moskovskoj oblasti / A.M. Kulizhnikov, N.N. Novikov, R.R. Denisov, G.G. Shukjurov // Dorogi i mosty. – 2006. – Vyp. 16/2. – S. 149-159.*
3. *Kulizhnikov A.M. Georadarnye metody inzhenerno-geologicheskih izyskanij avtomobil'nyh dorog s odezhdami zhestkogo tipa / A.M. Kulizhnikov, R.R. Denisov // Dorogi i mosty. – 2007. – Vyp. 17/1. – S. 55-67.*
4. *Belozerov A.A. Primenenie georadarov dlja obsledovanija opolznevyh uchastkov avtomobil'nyh dorog / A.A. Belozerov, A.M. Ku-*

*lizhnikov. V kn.: Georadary, dorogi – 2002: materialy mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf., Arhangel'sk, 2002. Arhangel'sk: AGTU, 2002. – S. 67-73.*

5. *Starovojtov A.V. Interpretacija georadiolokacionnyh dannyh / A.V. Starovojtov. – M.: Izdatel'stvo MGU, 2008. – 192 s.*
6. *Starovojtov A.V. Izuchenie oslablennyh zon v verhnej chasti razreza metodom georadiolokacii / A.V. Starovojtov, A.M. Romanova, A.Ju. Kalashnikov. – Inzhenernaja geofizika – 2011: materialy mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf., jelektronnaja versija. – Moskva, 2011. – S. R3.*
7. *Saarenketto T. / The Use of GPR in Roade Rehabilitation Projects / T. Saarenketto, P.Maijala. – Ravaniemi, 2011.*
8. *Danil'ev S.M. Obosnovanie georadiolokacionnyh kriteriev obnaruzhenija i raspoznavanija zon destrukcij inzhenernyh ob"ektov na osnove matematicheskogo modelirovanija / S.M. Danil'ev, V.V. Glazunov. – Inzhenernaja geofizika – 2011: materialy mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf., jelektronnaja versija. – Moskva, 2011.*
9. *Danil'ev S.M. Ocenka tehnicheskogo sostojanija dorozhnoj odezhdy na osnove kompleksnogo geologo-georadiolokacionnogo podhoda / S.M. Danil'ev, N.A. Danil'eva, G.B. Pospehov. – Inzhenernye izyskanija v stroitel'stve: materialy Odinnadcatoj Obshherossijskoj konferencii izyskatel'skih organizacij. – M.: Izdatel'stvo «Akademicheskaja nauka», OOO «Geomarketing», 2015. – S. 156-158.*
10. *Kulizhnikov A.M., Eremin R.A. Obsledovanie opolznevyh massivov na otkosah avtomobil'nyh dorog metodom georadiolokacii // Dorogi i mosty. – 2012. – Vyp.27/1. – S.54-64.*
11. *ODM 218.3.075-2016. Rekomendacii po kontrolju kachestva vypolnenija dorozhno-stroitel'nyh rabot metodom georadiolokacii. – Izd. na osnovanii rasporjazhenija Federal'nogo dorozhnogo agentstva ot 10.06.2016 N 1025-r.*
12. *Javna V.A. Primenenie SVCh metodov dlja opredelenija zasorennosti ballastnogo materiala / V.A. Javna, V.L. Shapovalov, A.V. Morozov, K.M. Ermolov. – Inzhenernaja geofizika – 2015: materialy 11-oj mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. – Gelendzhik, 2015.*
13. *Hakiev Z.B. Issledovanie vlijanija jelektrofizicheskih svojstv sredy na rezul'taty georadiolokacionnoj diagnostiki ob"ektov inzhenernoj infrastruktury: avtoref. dis. ... fiz.-mat. nauk: 01.04.03 <Radiofizika> / Hakiev Zelimhan Bagauddinovich. – Rostov-na-Donu, 2010. – 22 s.*

## *EVALUATION OF SOILS CONDITION USING GEORADAR METHODS*

*Doctor of Engineering, Professor* ***A.M. Kuliznikov***
*(FAI «ROSDORNII»)*
*Contact information: kulihzn@mail.ru*

*The article deals with theoretical justification and case studies of evaluation of soils condition (humidity, density, homogeneity, pollution, salinization, temperature) using georadar methods. All examples are given based on the results of the experimental studies of different soils types on road sections.*

***Key words****: georadar methods, soils, humidity, density, homogeneity, pollution, salinization, signal, amplitude, frequency, reflectivity.*

Рецензент: канд. техн. наук Н.А. Лушников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 01.09.2016 г.