

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ  
ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

# ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ



ДЕМОВЕРСИЯ  
НАЧАЛО РАБОТЫ  
ОБЗОР ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ДАННЫХ

## Оглавление

Введение .....	3
Начало работы с демоверсией.....	4
Настройка параметров создания разреза атрибута .....	5
Пользовательские данные в демоверсии.....	7
Описание файлов данных демоверсии.....	7
GPR 25 MHz, Granite Under Sediment .....	9
GPR 50 MHz, Clay in Sandy-Loamy Soil .....	10
GPR 150 MHz, Concrete Slab Road .....	11
GPR 150 MHz, Landslide Hazard in Road Embankment.....	12
GPR 150 MHz, Stabilized Relict Bog Basin.....	13
GPR 200 MHz, Emergency Permafrost Thaw .....	14
GPR 200 MHz, Landward Cross-Shore Profile .....	15
GPR 250 MHz, Across Dry Creek .....	16
GPR 250 MHz, Layered Frozen Soil .....	17
GPR 250 MHz, Shallow Swamp .....	18
GPR 400 MHz Landslip .....	19
GPR 400 MHz, Railway Embankment.....	20
GPR 400 MHz, Underground Utilities.....	21
GPR 1200 MHz, Concrete Floor.....	22
GPR 1200 MHz, Concrete Slab on Grade .....	23
GPR 1700 MHz, Archangel Cathedral.....	24
GPR 1700 MHz, Asphalt Pavement .....	25
3D Assembly .....	26
Полезные ссылки.....	28

## Введение

Демонстрационная версия (демоверсия) программного комплекса GEORADAR-EXPERT идентична полнофункциональной версии и предоставляет полный доступ ко всем функциям программного обеспечения, описанным в Руководстве пользователя, которое можно загрузить по ссылке в разделе <Полезные ссылки>.

Ограничение демоверсии заключается в том, что она позволяет работать только с набором демонстрационных данных, файлы которых встроены в исполняемый файл программы. По запросу, к уже включённым в демоверсию данным предусмотрено добавление пользовательских файлов георадарных профилей. Более подробную информацию об этом вы найдёте в разделе <Пользовательские данные в демоверсии>.

Демонстрационные данные наглядно иллюстрируют эффективность метода BSEF (Back-Scattering Electromagnetic Field), реализованного в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и характеризуются тем, что использование традиционных методов обработки сигналов георадарного профиля, включая различные виды фильтрации для подавления помех и выделения полезных отражений, не позволило получить необходимую информацию о строении подповерхностной среды и решить задачи георадиолокационного исследования.

Применение же к этим данным автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF, смысл которого заключается в преобразовании исходного георадиолокационного профиля в разрез атрибута, позволило достичь цели георадиолокационного исследования.

Таким образом, демонстрационные материалы служат убедительной иллюстрацией эффективности обработки данных методом автоматизированного анализа BSEF, особенно для подповерхностных сред, электрофизические характеристики которых меняются плавно, не создавая условий для формирования отражающих границ на георадиолокационном профиле.

Георадиолокационные профили демоверсии записаны различными антennами с центральной частотой в диапазоне от 25 до 1700 МГц. Исследования, в ходе которых получены эти данные, охватывают достаточно широкий ряд областей применения метода георадиолокации, включая:

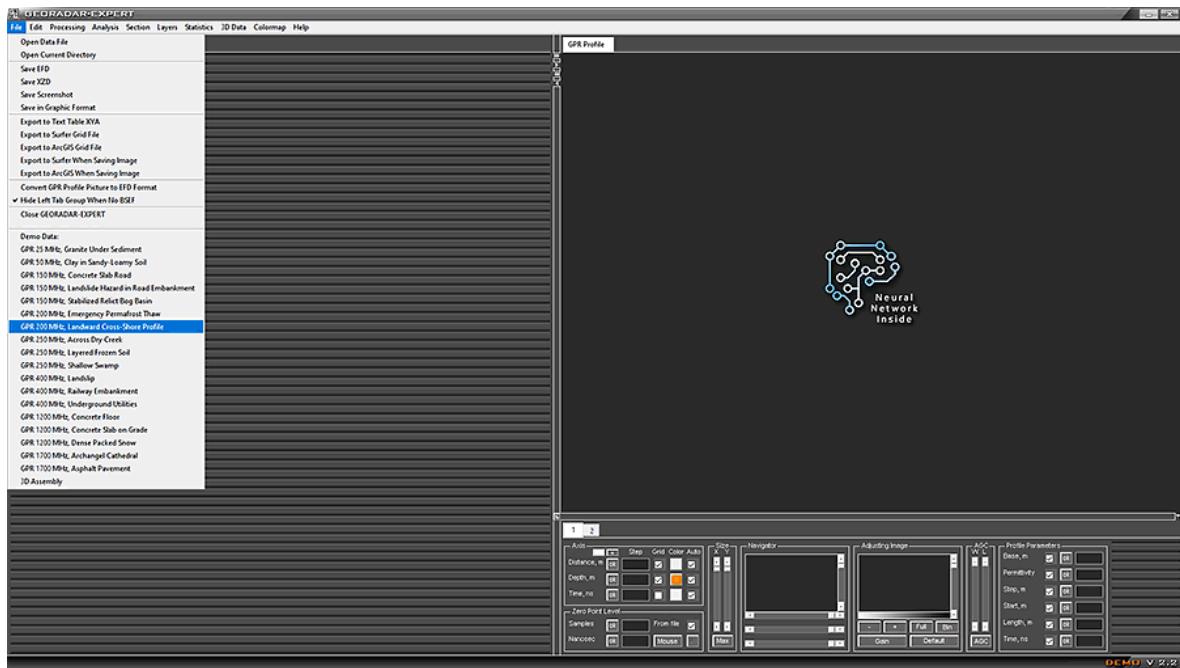
- геологические и гидрогеологические изыскания;
- обследование объектов автодорожного и железнодорожного строительства;
- контроль качества бетонных конструкций;
- предотвращение оползневых угроз;
- исследование снежного покрова;
- археологические исследования.

Каждый демонстрационный георадарный профиль сопровождается описанием, где указывается цель исследования, характеристика объекта исследования и результат обработки. Эта информация представлена в отдельных разделах настоящего документа.

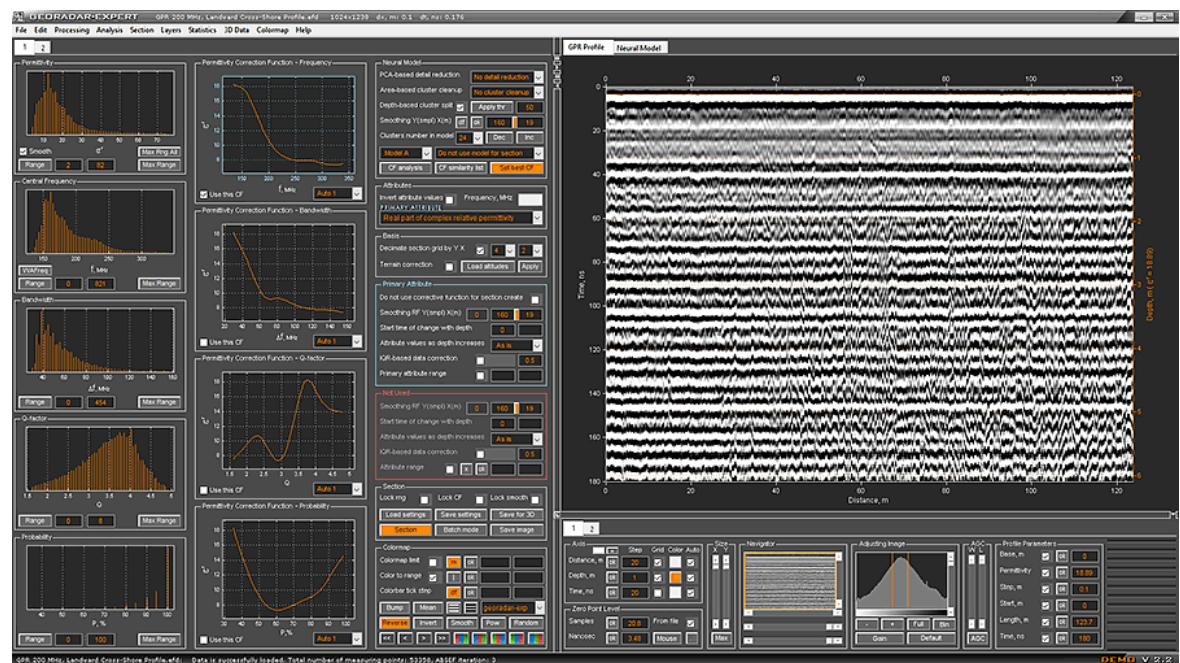
Помимо георадарных профилей, имена файлов которых начинаются с префикса **GPR**, в состав демонстрационного набора включена также одна трёхмерная сборка — **3D Assembly**. На её примере можно оценить функциональность программного комплекса при работе с набором разрезов атрибута в виде трёхмерного куба данных. Такое представление данных используется при площадном георадиолокационном исследовании, когда исследуемая территория покрывается сеткой георадарных профилей, что эффективно для изучения сложных инженерных и природных объектов.

## Начало работы с демоверсией

Чтобы открыть файл демонстрационных данных, нужно щёлкнуть по имени этого файла в списке **Demo Data**, который находится в меню **File** на панели меню в верхней части главного окна программы:



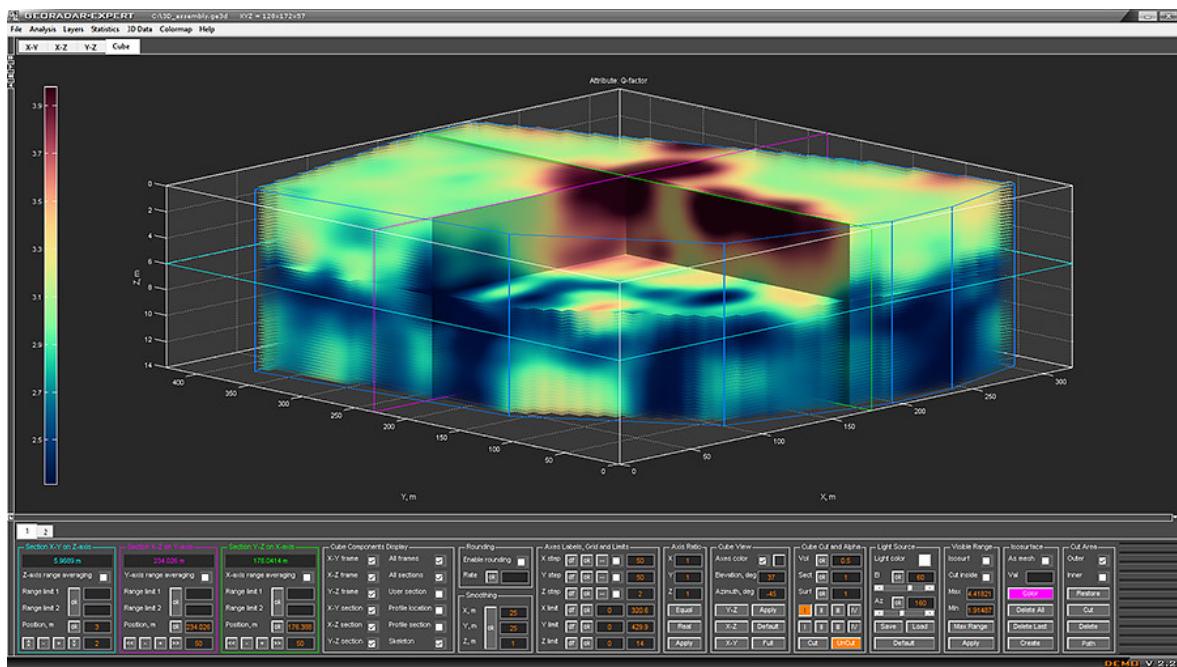
Когда загружен георадарный профиль, то главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ находится в режиме 2D:



В этой конфигурации главное окно делится на три части. Справа расположены вкладки визуализации данных. Это вкладка изображения георадарного профиля **GPR Profile**, и вкладка **Neural Model** для визуализации моделей подповерхностной среды, созданных с помощью

нейронной сети в процессе анализа BSEF. Под областью визуализации находятся вкладки с элементами управления параметрами георадиолокационного профиля, его отображения и обработки. На вкладках в левой части главного окна программы размещены панели графического представления результатов анализа BSEF и панели настройки создания разреза атрибута.

Когда загружена трёхмерная сборка разрезов **3D Assembly**, то главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ находится в режиме 3D:



В данной конфигурации главное окно разделено по вертикали на две области. В верхней расположены вкладки для визуализации куба и сечений 3D-сборки, а в нижней — панели управления визуализацией её элементов.

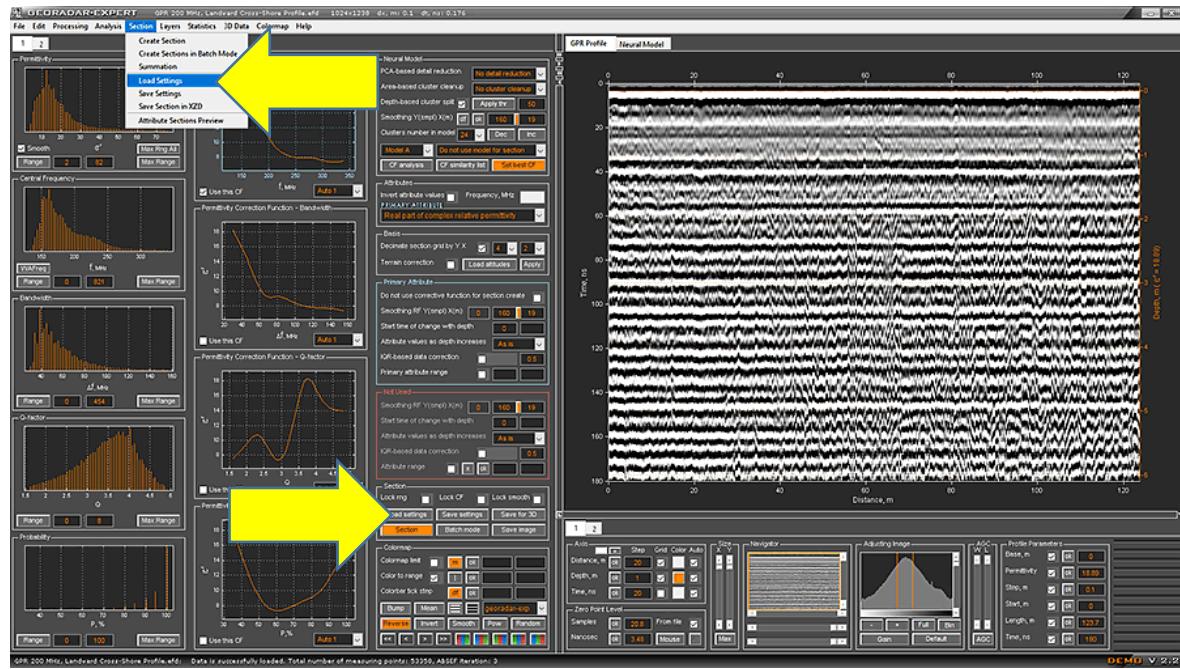
## Настройка параметров создания разреза атрибута

Описание автоматизированного анализа BSEF, атрибутов и настроек параметров создания разреза приведены в разделе **Автоматизированный анализ поля обратного рассеяния** руководства пользователя ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, которое можно загрузить по ссылке в разделе **<Полезные ссылки>**.

В ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрена возможность сохранения параметров создания разреза в файлы с расширением **geprm**. Использование таких файлов экономит время, необходимое для повторной настройки, и упрощает обработку групп георадарных профилей с однотипными данными.

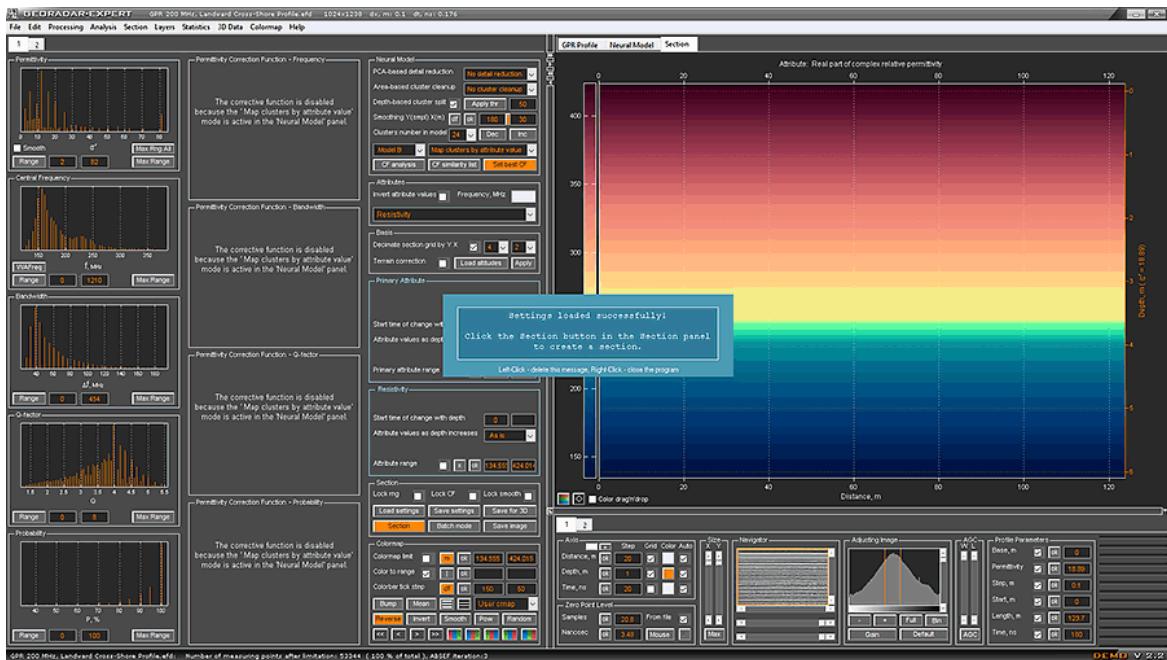
Файлы настроек включены в состав дистрибутива демоверсии и помогают пользователю быстрее освоить возможности программного комплекса на этапе ознакомления. Имена настроек сформированы по принципу: [имя георадарного профиля] + [атрибута разреза, который рассчитывается на основе сохранённых в настроеком файле параметров].

Загрузить настроечный файл можно через меню **Load Settings** (группа меню **Section**) или с помощью кнопки **Load Settings** на панели инструментов **Section**:

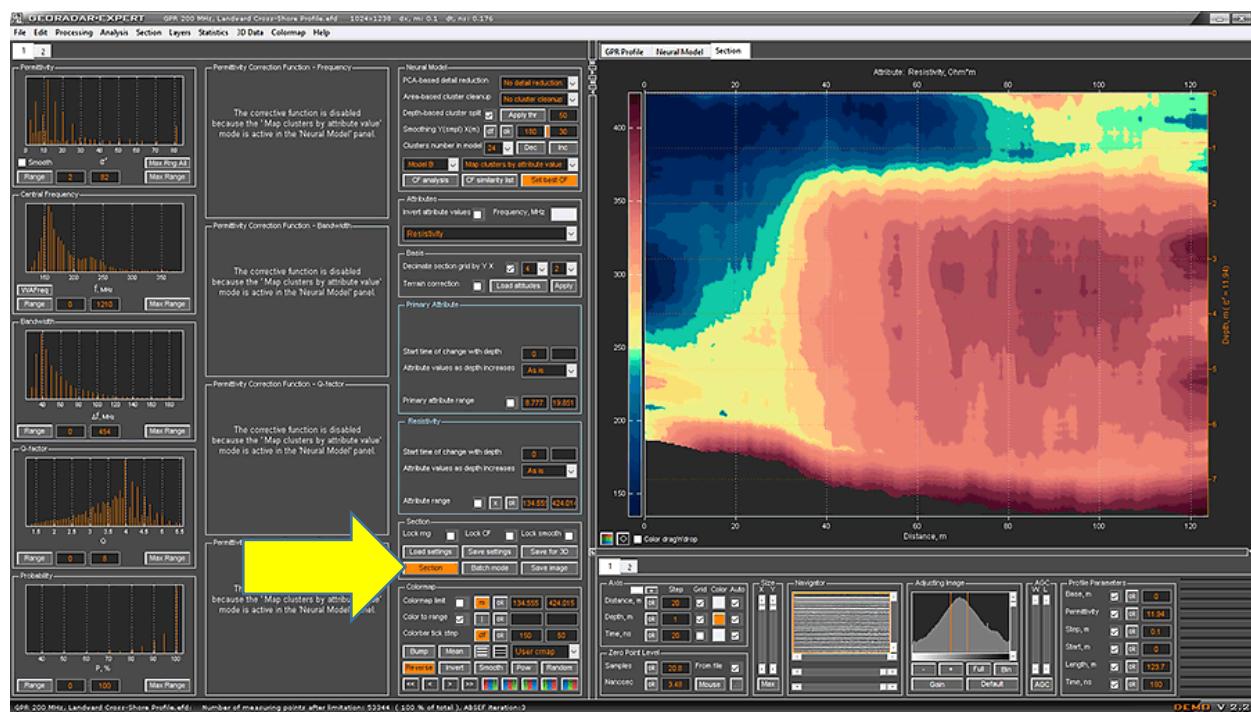


После выбора пункта меню **Load Settings** или нажатия одноимённой кнопки открывается диалоговое окно для выбора файла с расширением **geprm**. В этом окне следует выбрать файл, часть имени которого совпадает с названием загруженного георадиолокационного профиля. Имя профиля отображается в заголовке окна программы над панелью меню.

В процессе загрузки параметры создания разреза автоматически устанавливаются в соответствии с данными из файла **geprm**. По завершении операции приложение открывает вкладку **Section** для визуализации будущего разреза, а на информационной панели отображается сообщение об успешной загрузке настроек.



Чтобы запустить расчёт разреза, необходимо закрыть информационную панель, щёлкнув по ней мышью, а затем нажать кнопку **Section** на панели инструментов **Section** или выбрать пункт **Create Section** (группа меню **Section**). После завершения расчёта, разрез отобразится на вкладке **Section**, а на информационной панели появится сообщение об успешном завершении процесса. Это сообщение автоматически закроется через несколько секунд.



## Пользовательские данные в демоверсии

Для оценки возможностей программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на собственном материале, пользователь может запросить добавление своих георадарных данных в демонстрационный набор. Для этого необходимо направить файлы георадиолокационных профилей по адресу электронной почты технической поддержки, указанному в разделе <Полезные ссылки>.

Требования к пользовательским данным:

- Возможно добавить не более трёх файлов данных.
- Максимальная длина профиля:
  - 100 м — для антенн с центральной частотой менее 500 МГц;
  - 25 м — для антенн с центральной частотой более 500 МГц.
- К каждому профилю требуется приложить краткое описание, включающее:
  - цель исследования;
  - условия проведения работ (погода, тип местности: например, "сухо", "влажно", "мороз", "поле", "лес", "городская застройка").

## Описание файлов данных демоверсии

Имена файлов георадарных профилей в демоверсии сформированы по принципу: [центральная частота, МГц] + [краткая характеристика объекта или исследования]. Например, файл с именем **GPR 250 MHz, Across Dry Creek** указывает, что данные получены георадаром с центральной частотой 250

МГц при пересечении пересохшего ручья. Описание этого исследования с результатами обработки находится в разделе **GPR 250 MHz, Across Dry Creek** данного руководства, поскольку все разделы, посвящённые данным демоверсии, названы по именам своих файлов.

Каждый раздел содержит описание цели исследования, изображения исходного георадарного профиля и разреза атрибута, созданного по результатам автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF этого профиля, а также указание на используемый настроечный файл **geperm**.

Изображения георадарных профилей в описательных разделах имеют единый формат и содержат следующие элементы:

- Левая вертикальная шкала: **Time, ns** (время двойного пробега в наносекундах);
- Правая вертикальная шкала: **Depth, m** (глубина в метрах), рассчитанная на основе указанного рядом значения действительной части комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$ ;
- Горизонтальная шкала: **Distance, m** (расстояние от начала профиля в метрах).

Изображения разрезов также выполнены в едином стиле и включают элементы:

- В верхней части: Название исходного георадарного профиля и наименование атрибута;
- В левой части: Цветовая шкала, отображающая соответствие между цветом и значениями атрибута;
- В правой части: Шкала глубин **Depth, m** (в метрах), рассчитанная на основе указанного рядом значения  $\epsilon'$  (см. примечание внизу страницы).
- В нижней части: Справочная информация о разрезе, которая содержит следующие данные:
  - **Unit of measurement** – размерность атрибута. Для безразмерных атрибутов указано **Dimensionless quantity**;
  - **Minimum value** – минимальное значение атрибута на разрезе;
  - **Maximum value** – максимальное значение атрибута на разрезе;
  - **Average value** – среднее арифметическое значение атрибута (см. примечание внизу страницы);
  - **Number of measuring points** – количество опорных точек разреза;
  - **Average distance, m** – среднее расстояние между опорными точками в метрах;
  - **Density, points per sq m** – плотность точек (количество на квадратный метр).

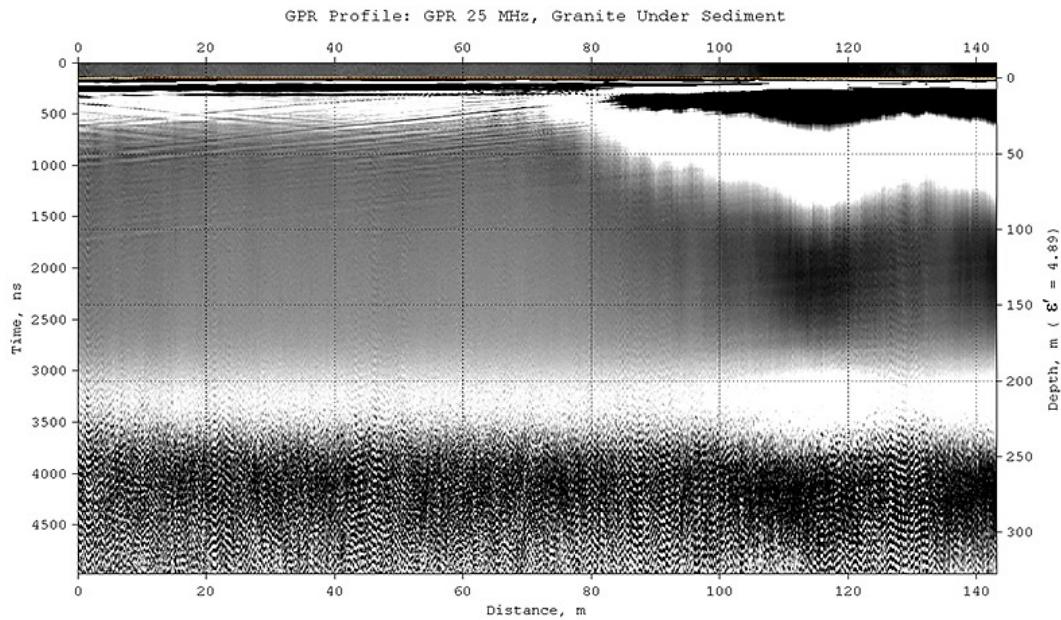
Разъяснение терминов, используемых в автоматизированном анализе BSEF, приведено в руководстве пользователя, в разделе **Автоматизированный анализ поля обратного рассеяния**.

#### Примечание

Если результатом обработки является разрез атрибута **Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости), то значение **Average value**, указанное под изображением, обычно превышает значение  $\epsilon'$ , указанное в подпись шкалы глубин.

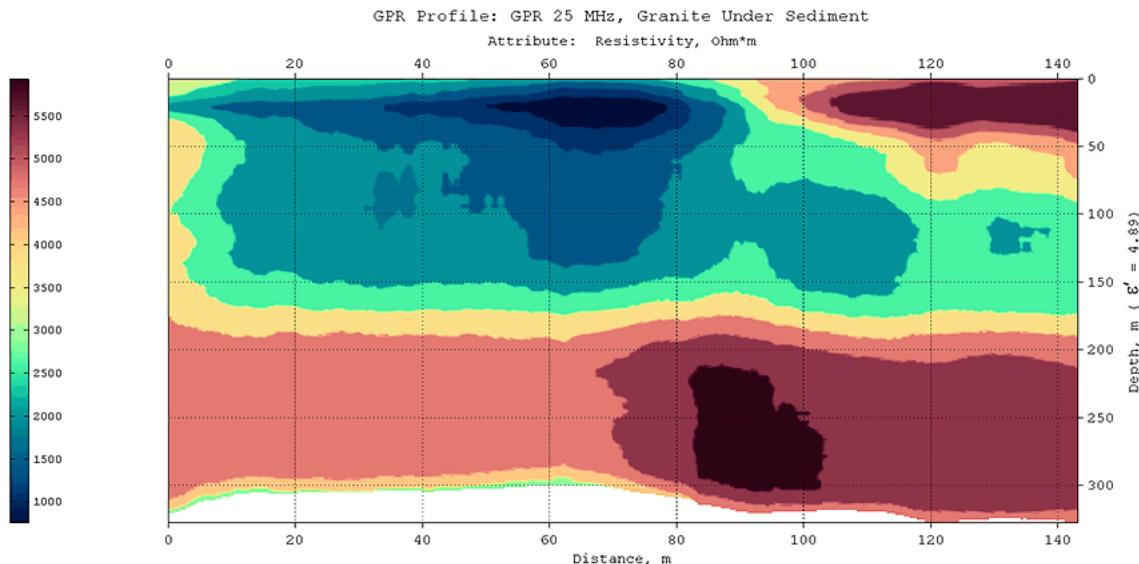
Это объясняется тем, что значение  $\epsilon'$  представляет собой минимальное из средних значений, рассчитанных для отдельных трасс георадарного профиля. Использование значения  $\epsilon'$  при расчёте шкалы глубин исключает риск преуменьшения глубины залегания объектов, который возник бы при использовании для такого расчёта значения **Average value**.

## GPR 25 MHz, Granite Under Sediment

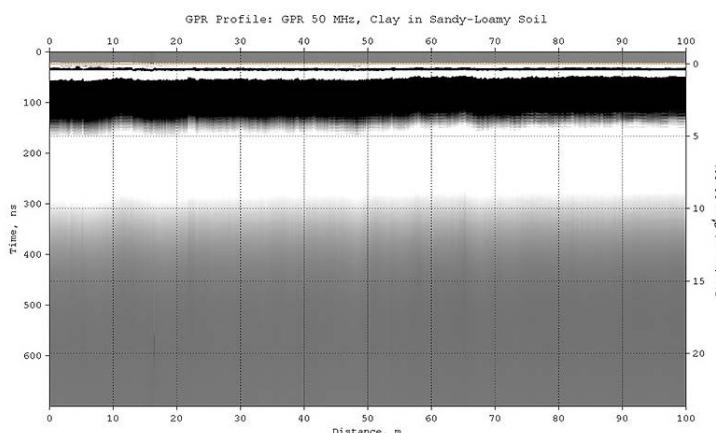


Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 25 МГц с целью изучения строения разреза и определения глубины залегания кровли гранита. На разрезе атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление) идентифицирована воронкообразная структура, интерпретируемая как палеорусловый объект, который визуально не выявляется на исходном георадарном профиле. Значения удельного сопротивления в пределах этой структуры является наименьшим на разрезе и не превышают 1500 Ом·м. Кровля гранита зафиксирована на глубине около 200 м.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 25 MHz, Granite Under Sediment Resistivity.geprm**.



## GPR 50 MHz, Clay in Sandy-Loamy Soil

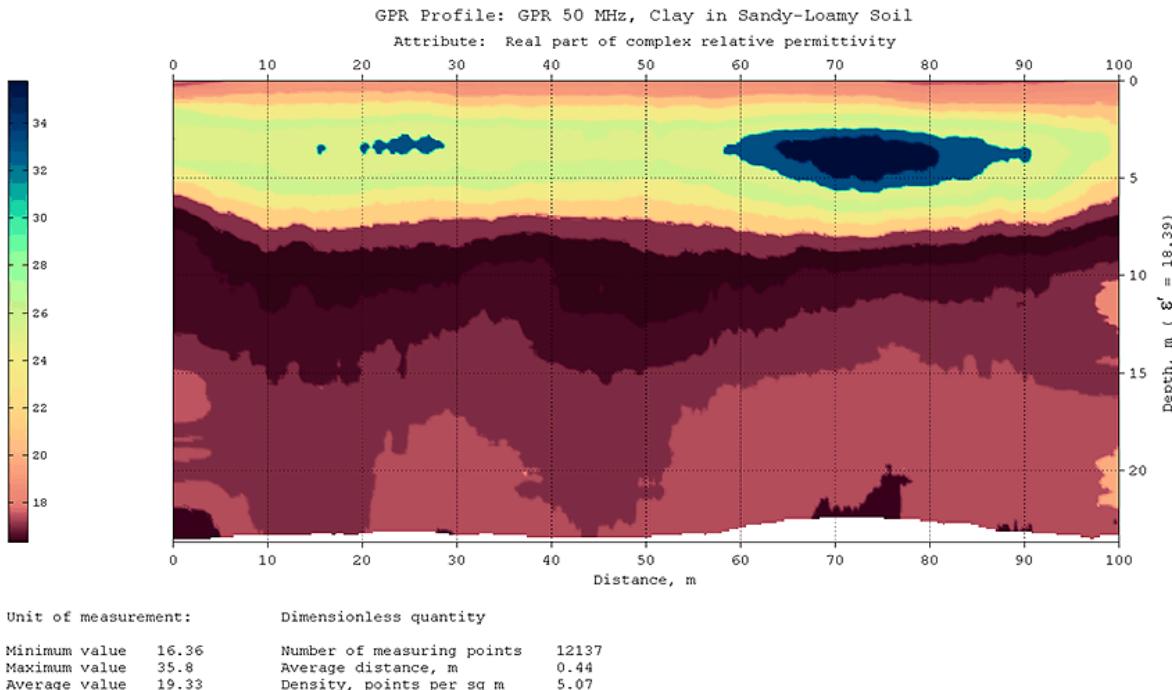


выделить слабые сигналы и решить эту проблему.

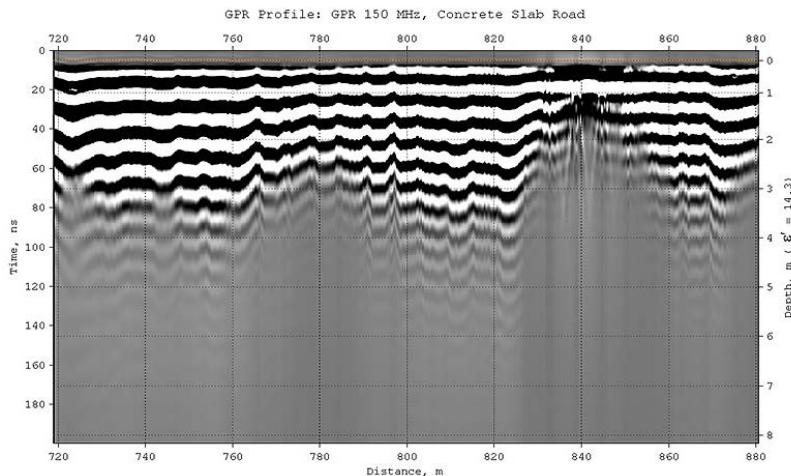
Разрез атрибута **Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости) представляет двухслойную среду. Верхний слой мощностью 6-8 м, интерпретируемый как влажный суглинок, характеризуется значениями диэлектрической проницаемости  $\epsilon' > 20$ . В пределах этого слоя прослеживаются прослои глины с аномально высокими значениями  $\epsilon' > 34$ . Нижний слой, соответствующий пескам различного состава, имеет значения  $\epsilon' < 20$ .

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 50 MHz, Clay in Sandy-Loamy Soil Re(permittivity).geprm**.

Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 50 МГц на влажных песчано-суглинистых грунтах с целью обнаружения глиняных пластов. Визуальный анализ профиля показывает сильное затухание сигнала и рассеяние энергии, характерное для сред с высокой проводимостью, что затрудняет выделение полезных отражений от целевых границ. Однако использование автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF позволяет



## GPR 150 MHz, Concrete Slab Road



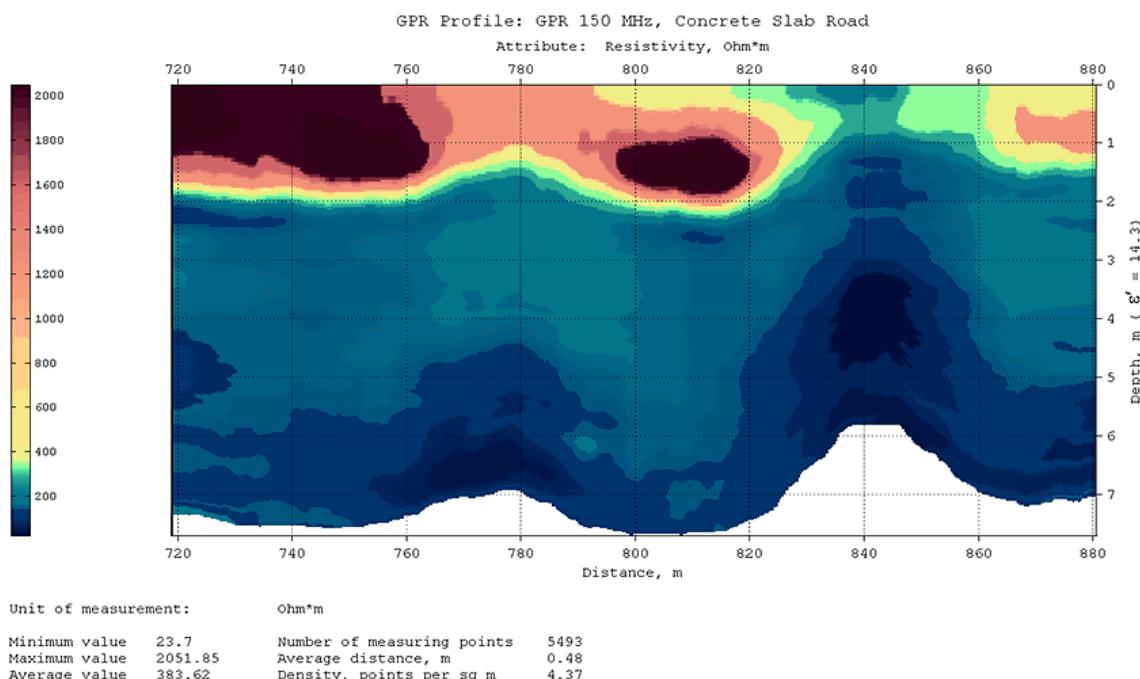
Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 150 МГц в ходе мониторинга состояния автомобильной дороги с жёстким покрытием. Конструкция дороги включает песчано-щебёночную насыпь толщиной 1,5–2 метра, на которую уложены железобетонные плиты толщиной около 20 см. Насыпь расположена на влажном грунтовом основании.

Визуальный анализ профиля

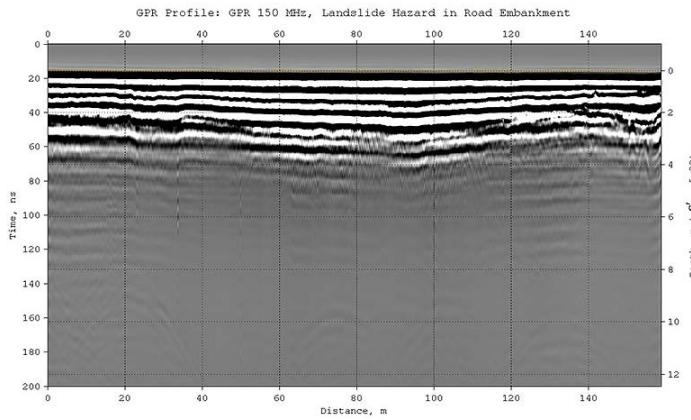
выявляет интенсивные помехи в виде слабозатухающих осцилляций, вызванные наличием металлической арматуры в плитах покрытия. Эти помехи маскируют полезные отражения от слоёв дорожной конструкции и подстилающего грунта.

Разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление) показывает аномально низкие значения в теле насыпи на участке 820–860 м. Причиной является проникновение поверхностной влаги вглубь дорожной конструкции вследствие ухудшения её дренирующих свойств. Указанный участок требует дополнительного обследования и, возможно, ремонта.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 150 MHz, Concrete Slab Road Resistivity.geprm**.



## GPR 150 MHz, Landslide Hazard in Road Embankment



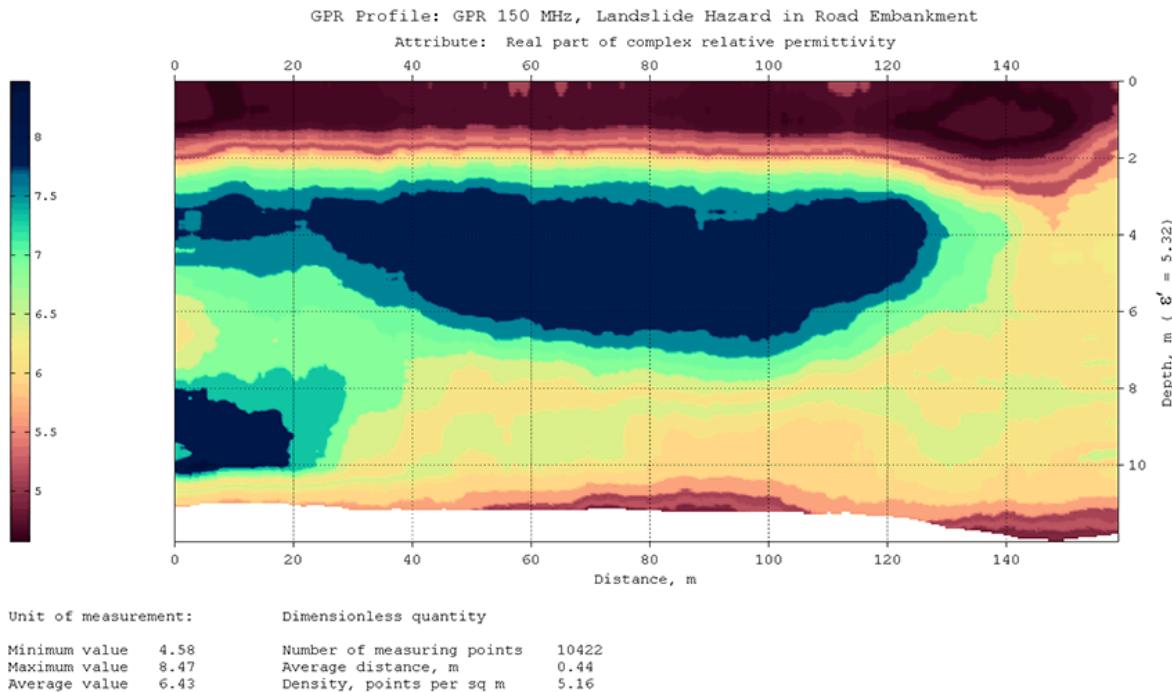
Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 150 МГц в ходе мониторинга насыпи автомобильной дороги в зоне потенциальной оползневой опасности.

На разрезе атрибута **Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной относительной проницаемости) оттенками красного цвета показана верхняя минеральная часть насыпи толщиной 2–3 метра. В её грунтовой части

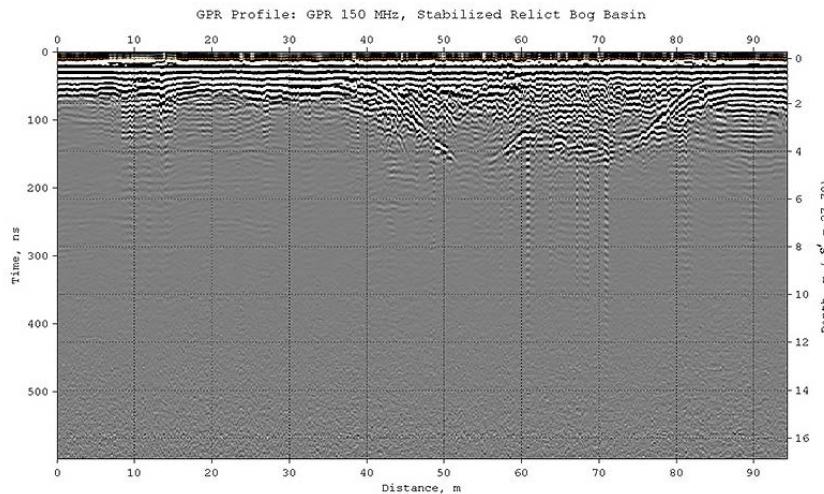
выявлена аномальная область, нижняя граница которой имеет вогнутую форму, характерную для поверхности скольжения оползня.

Данная область характеризуется наиболее высокими значениями диэлектрической проницаемости на разрезе (отображаются тёмно-синим цветом), что свидетельствует о повышенной влажности по сравнению с окружающим грунтом. Наличие такой аномалии позволяет классифицировать этот участок дороги как потенциально оползнеопасный.

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 150 MHz, Landslide Hazard in Road Embankment Re(permittivity).geprm**.



## GPR 150 MHz, Stabilized Relict Bog Basin

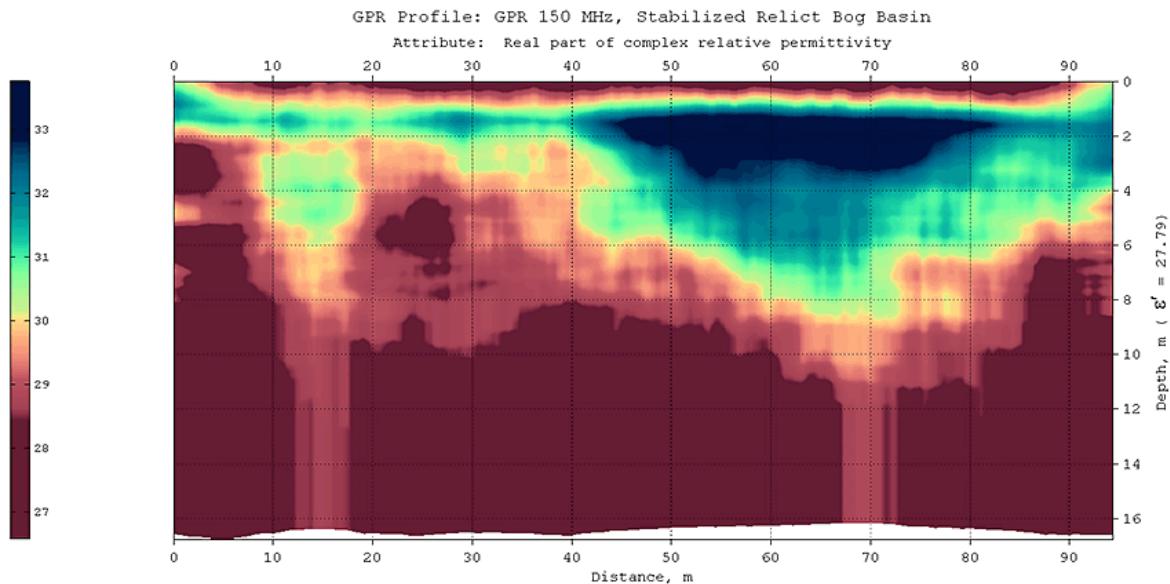


Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 150 МГц для изучения строения стабилизированного болота. Визуальный анализ профиля позволяет уверенно идентифицировать на участке 40–80 м границу минерального дна болота, однако не даёт детального представления о строении всей толщи.

Более детальную информацию предоставляет разрез атрибута

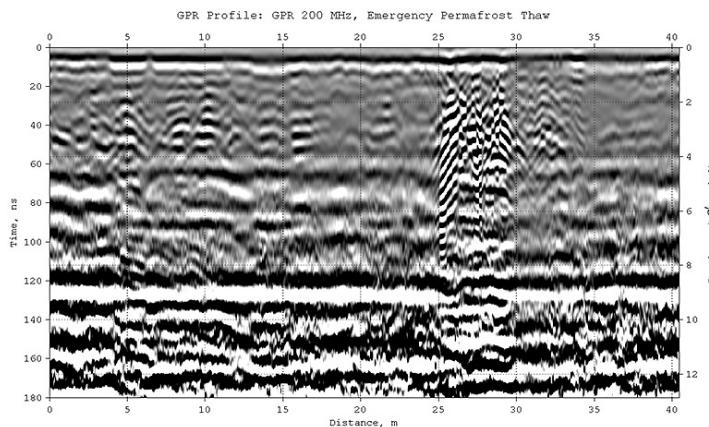
**Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости). Болотные отложения, имеющие наиболее высокие значения диэлектрической проницаемости (более 33), отображаются тёмно-синим цветом. Ниже дна болота наблюдаются элементы разреза чашеобразной формы, которые интерпретируются как палеорусловой объект глубиной до 9 м. Кроме того, на участке 10–20 м выявлен второй, более мелкий палеорусловой объект, глубина которого достигает 6 м.

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 150 MHz, Stabilized Relict Bog Basin Re(permittivity).geprm**.



Unit of measurement:	Dimensionless quantity
Minimum value	26.57
Maximum value	33.76
Average value	29.23
Number of measuring points	67101
Average distance, m	0.15
Density, points per sq m	42.23

## GPR 200 MHz, Emergency Permafrost Thaw

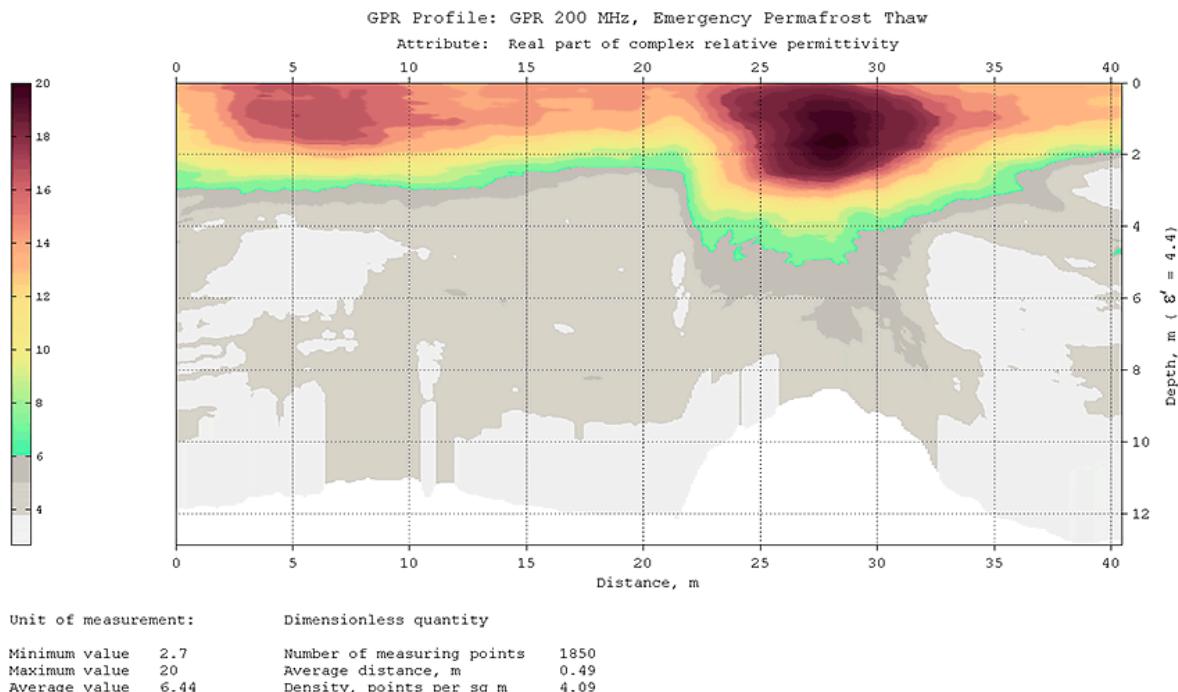


Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 200 МГц в зимний период на территории распространения многолетнемёрзлых грунтов в условиях городской застройки. Цель работ состоит в выявлении зоны растепления грунтов, возникшей вследствие разгерметизации канализационного септика и последующего поступления тёплых сточных вод в мёрзлый массив. Подобные процессы представляют

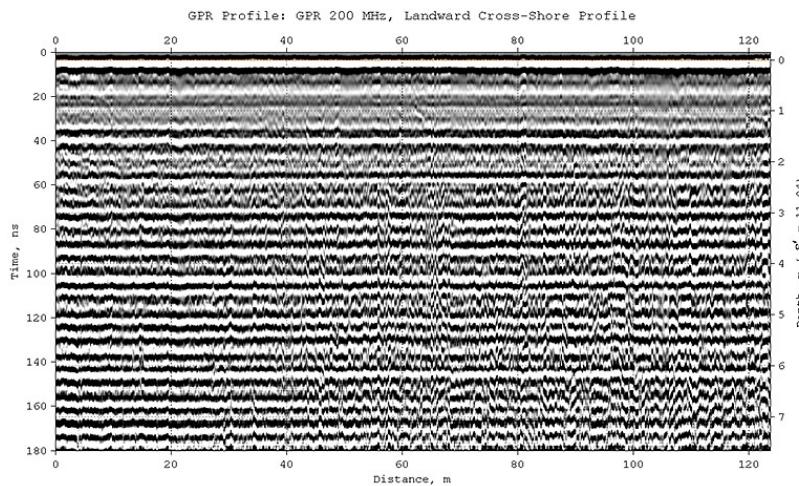
угрозу целостности строений, так как протаивание многолетнемёрзлых грунтов может привести к потере устойчивости фундаментов близлежащих зданий. Профиль пересекает аварийную ёмкость септика на участке 25–30 м.

На разрезе **Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости) зона оттаивания представлена жёлто-красной цветовой гаммой, где красный цвет соответствует наиболее высокой степени растепления грунта.

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 200 MHz, Emergency Permafrost Thaw Re(permittivity).geprm**.



## GPR 200 MHz, Landward Cross-Shore Profile

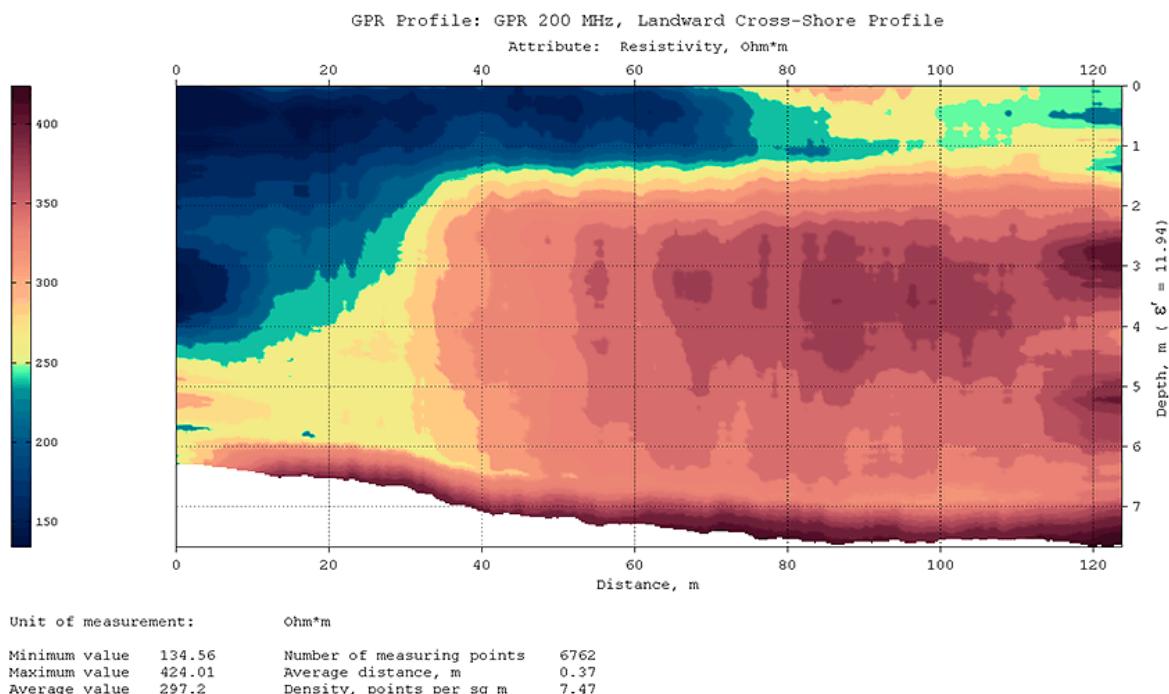


Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 200 МГц на морском пляже. Профилирование выполнялось в направлении, перпендикулярном береговой линии, с постепенным удалением от неё. Особенностью данного исследования является зондирование засоленных грунтов, характеризующихся высокой электропроводностью. Это приводит к быстрому

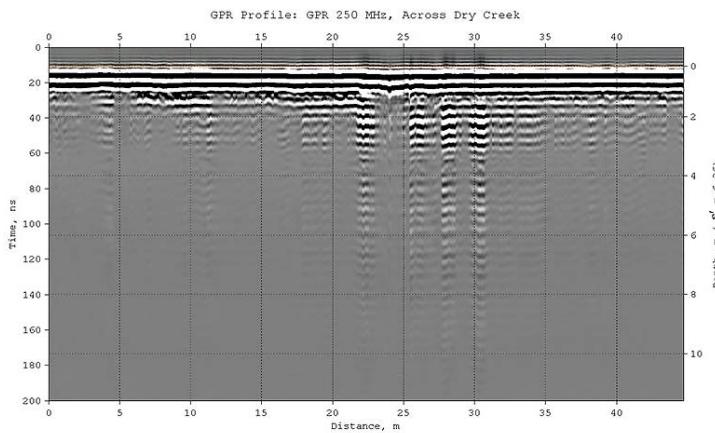
затуханию радиоимпульсов, в результате чего уже на небольшой глубине интенсивность полезных отражений становится соизмеримой с уровнем шумов. В таких условиях для выявления слабых сигналов, маскируемых помехами, эффективно применение метода автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF.

В отличие от исходного профиля, разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление) обеспечивает более информативное представление о строении среды. На разрезе уверенно прослеживается изменение как мощности прибрежных отложений, так и удельного электрического сопротивления внутри них по мере удаления от береговой линии.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 200 MHz, Landward Cross-Shore Profile Resistivity.geprm**.



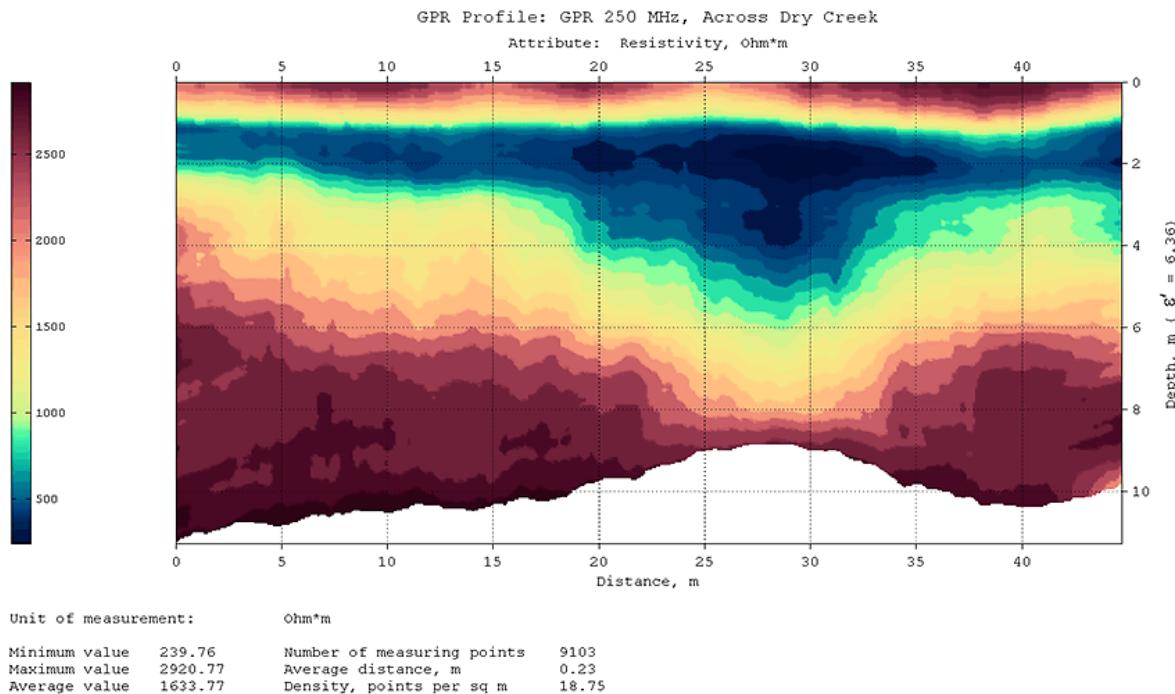
## GPR 250 MHz, Across Dry Creek



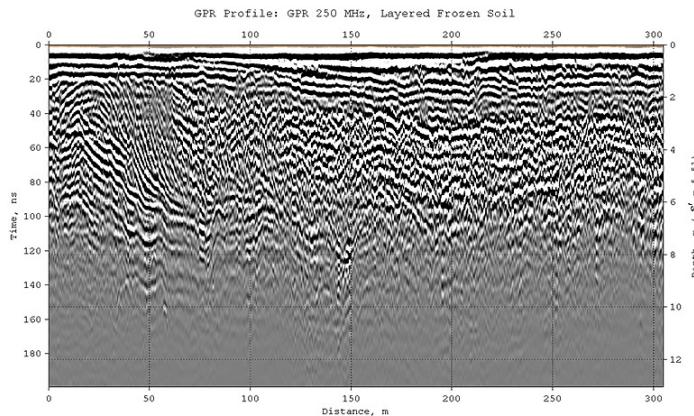
Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 250 МГц. Профиль пересекает сухое русло сезонного водотока. Электрофизические характеристики грунтов в пределах исследуемого разреза изменяются с глубиной плавно, без резких скачков, способных формировать чёткие отражающие границы. Вследствие этого на георадиолокационном профиле отсутствуют протяжённые оси синфазности, которые интерпретируются как отражения от контактов слоёв. В таких условиях для получения информации о строении разреза эффективно применение автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF.

Разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление) позволяет выявить положение и морфологию отложений русловых потоков, а также особенности распределения удельного сопротивления внутри этих отложений. Разрез демонстрирует, что граница между плотными подстилающими грунтами и рыхлыми русловыми отложениями имеет выраженную вогнутую форму и достигает максимальной глубины 8 метров.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 250 MHz, Across Dry Creek Resistivity.geprm**.



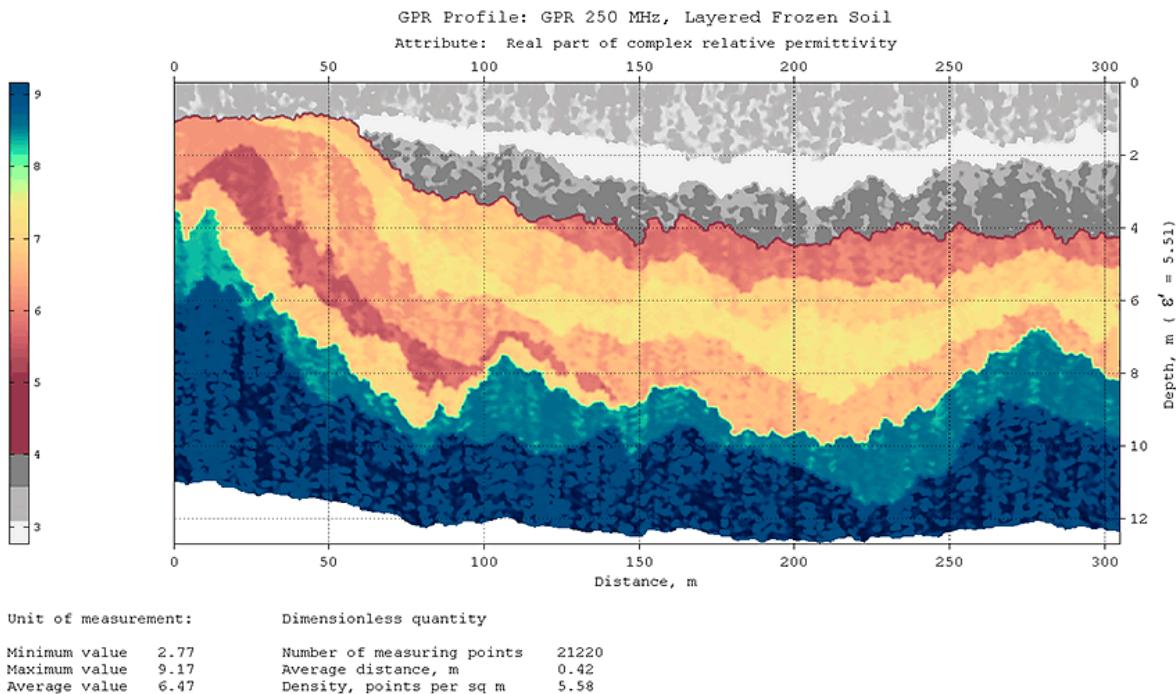
## GPR 250 MHz, Layered Frozen Soil



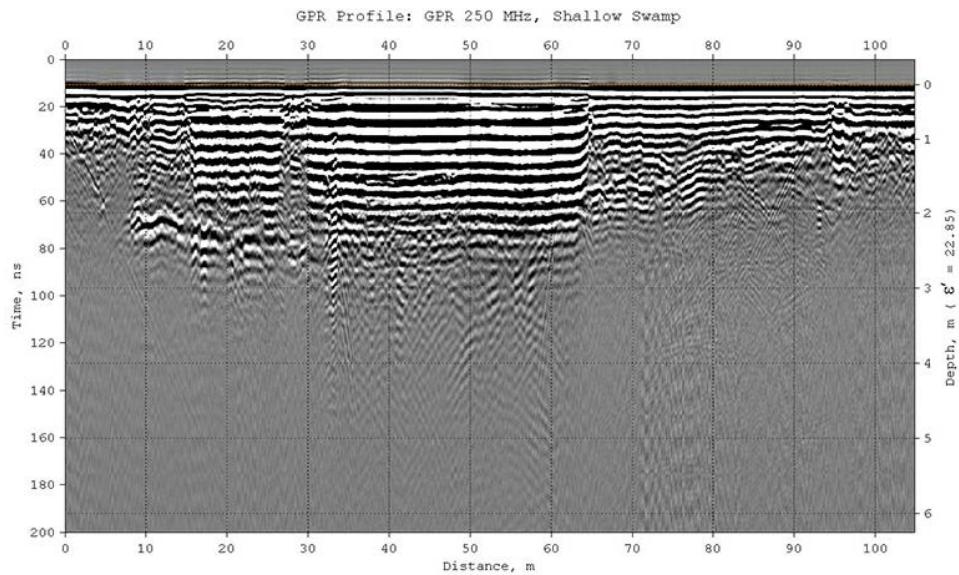
Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 250 МГц в ходе дорожного исследования. Работы проводились в условиях сезонного промерзания дисперсных грунтов (моренные валунные суглинки, водно-ледниковые отложения). Визуальный анализ профиля выявляет наличие множественных границ, при этом точное определение электрофизических свойств слоёв по отражённому сигналу затруднено.

Разрез **Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости) показывает: в верхней части находятся сезонно промёрзшие горизонты суммарной мощностью 1–4 м с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon' < 4$ ; ниже залегают горизонты с  $\epsilon' \approx 4\text{--}7.5$ , соответствующие крупнозернистым моренно-водно-ледниковым отложениям (пески и супеси с гравием и валунами); в нижней части выделяются слои с  $\epsilon' \approx 8\text{--}9.2$ , что указывает на более тонкозернистые и/или влагонасыщенные грунты (суглинки, глинистые прослои или озёрно-донные отложения).

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 250 MHz, Layered Frozen Soil Re(permittivity).geprm**.



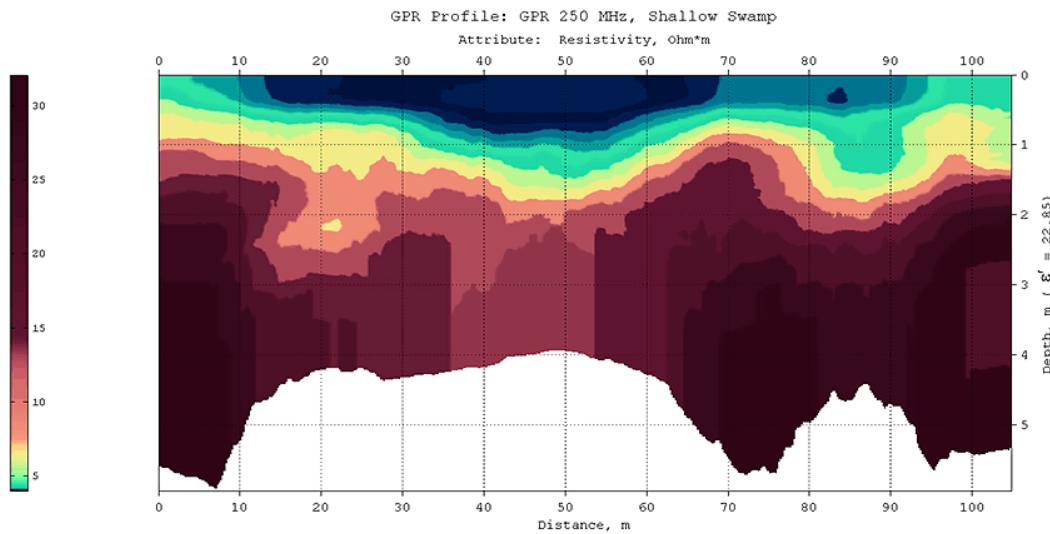
## GPR 250 MHz, Shallow Swamp



Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 250 МГц при исследовании неглубокого болота. Визуальный анализ профиля позволяет определить границы минерального дна болота, однако не предоставляет детальной информации о распределении электрофизических свойств внутри болотной фации и в подстилающих отложениях.

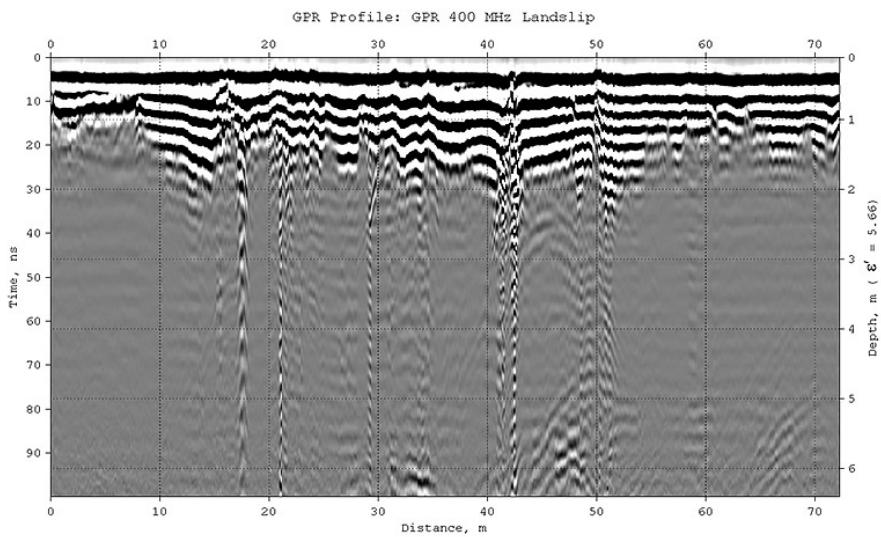
Такую возможность обеспечивает разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление). На разрезе тёмно-синим цветом чётко отображается форма водонасыщенной зоны болота с значениями удельного сопротивления  $\leq 4$  Ом·м, а также слои торфа различной степени влажности (5–7 Ом·м). Подстилающие минеральные грунты характеризуются сопротивлением в диапазоне 8–32 Ом·м.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 250 MHz, Shallow Swamp Resistivity.geprm**.



Unit of measurement:	
Minimum value	4
Maximum value	32.08
Average value	15.8
Number of measuring points	9767
Average distance, m	0.24
Density, points per sq m	17.69

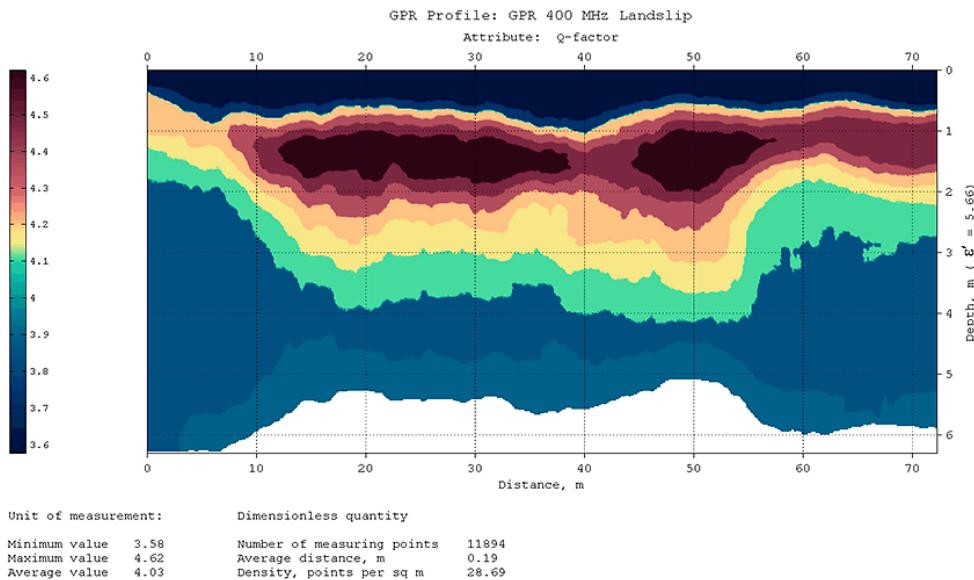
## GPR 400 MHz Landslip



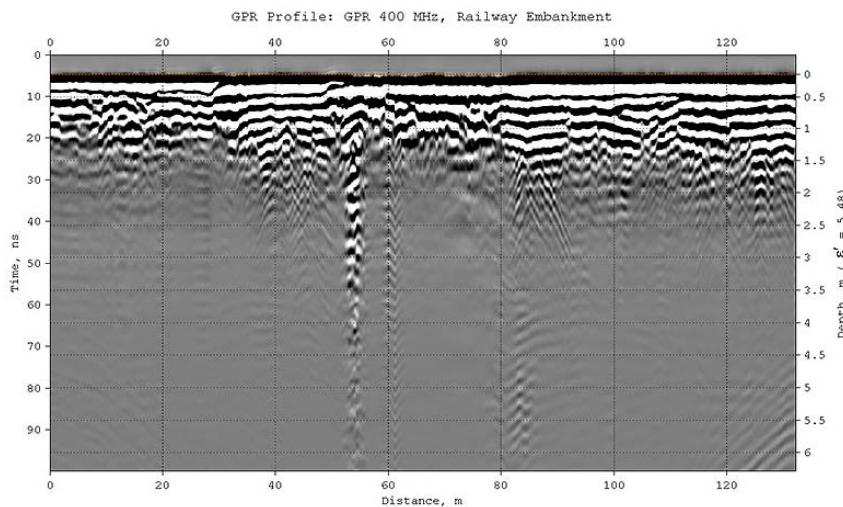
Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 400 МГц при исследовании крутого склона в зоне оползневой опасности. Профилирование выполнялось вкрест простирания склона по утрамбованной тропе.

Визуальный анализ георадиолокационного профиля не позволяет уверенно определить форму поперечного сечения оползневого тела, однако эта задача успешно решается с помощью разреза атрибута **Q-factor**, который количественно оценивает добротность радиолокационного сигнала и вычисляется как отношение центральной частоты к ширине спектра на уровне  $-3$  дБ. Как показала практика, **Q-factor** эффективно используется для оценки плотности грунтов: при естественной влажности наиболее рыхлые грунты характеризуются повышенными значениями добротности. На разрезе оползневое тело выражено аномалиями в красных тонах со значениями **Q-factor**  $>4.2$ .

Настройки создания разреза атрибута **Q-factor** для данного профиля содержатся в файле **GPR 400 MHz Landslip Q-factor.geprm**.



## GPR 400 MHz, Railway Embankment

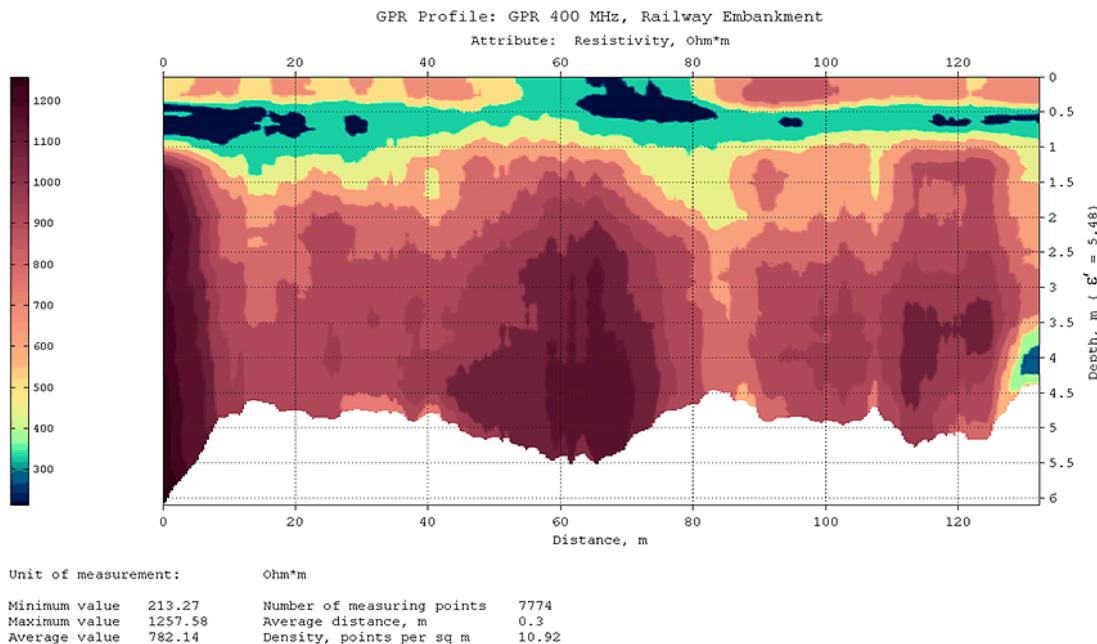


Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 400 МГц в рамках мониторинга загрязнения балластного слоя железнодорожного пути толщиной около 40 см. Снижение дренирующих свойств балласта и повышение его влажности, вызванные накоплением мелких загрязняющих частиц, приводят к снижению удельного электрического сопротивления.

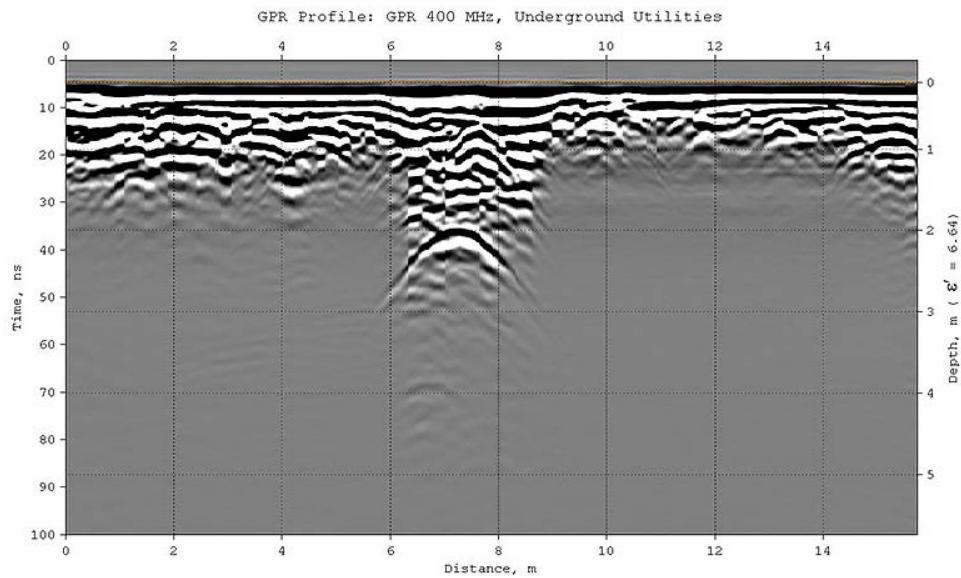
Данный атрибут в настоящем исследовании используется в качестве индикатора загрязнения.

Разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление) показывает, что значения сопротивления балластного слоя на участках 0-50 м и от 80 м до конца профиля составляют 600-800 Ом·м, что можно отнести к показателю умеренного загрязнения. Участок 50-80 м характеризуется сопротивлением около 350 Ом·м, причём на участке 65-70 м сопротивление падает почти до 200 Ом·м, что указывает на сильное увлажнение и возможное заиливание балласта. Такие значения сопоставимы с параметрами увлажнённых грунтов и свидетельствуют о риске деградации балластного слоя. Ситуация требует проверки состояния пути на месте и при подтверждении — оперативных ремонтных мер.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 400 MHz, Railway Embankment Resistivity.geprm**.



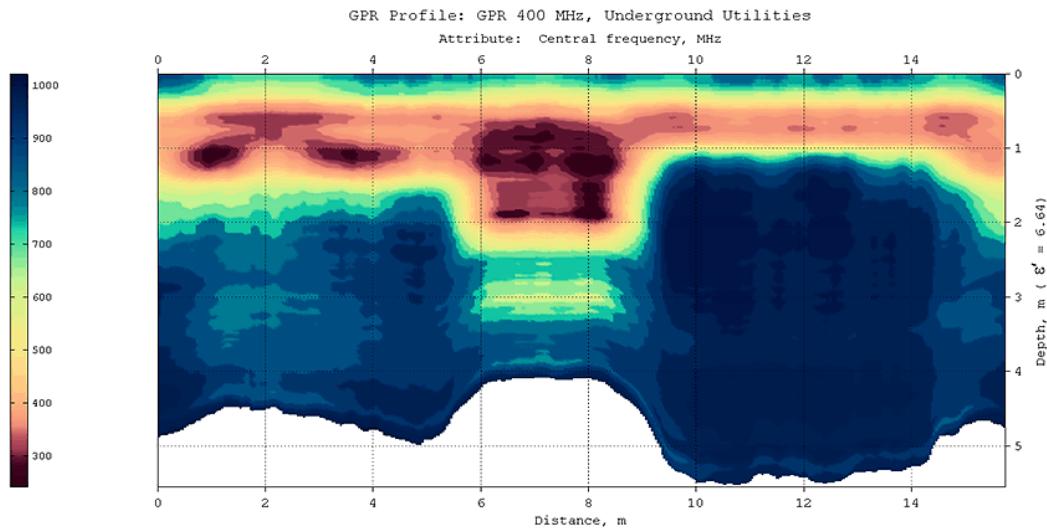
## GPR 400 MHz, Underground Utilities



Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 400 МГц в условиях городской застройки и пересекает различные подземные коммуникации. К ним относятся электрические кабели, малогабаритные кабельные каналы и бетонный коллектор высотой около 1,5 м.

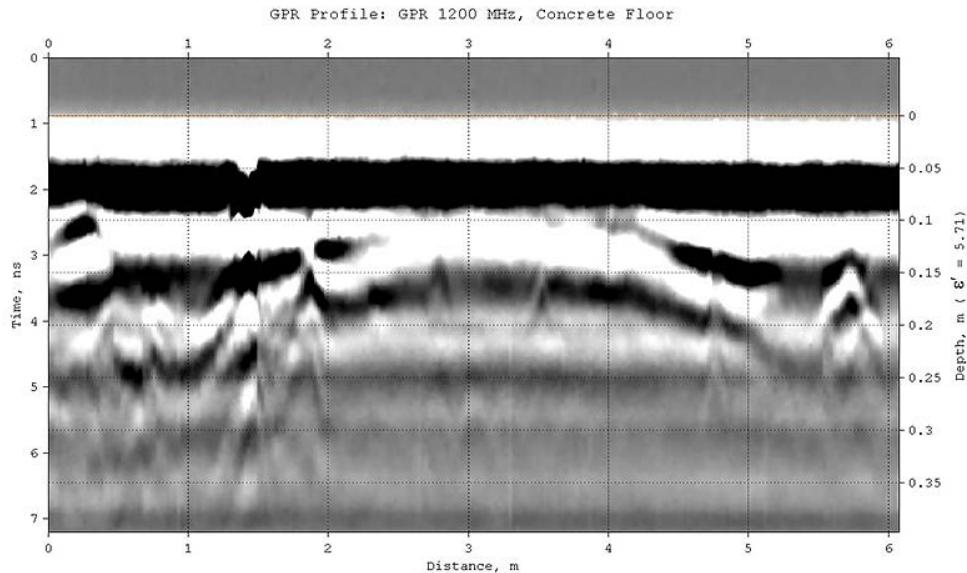
На разрезе атрибута **Central frequency** (центральная частота спектра отражённого сигнала) признаком наличия коммуникаций является снижение значений частоты до 350 МГц и ниже. Кабельные каналы идентифицированы на глубине 1 м на отметках 1 и 3,5 м от начала профиля. Бетонный коллектор прослеживается на участке 6-8 м на глубине 0,5-2 м. Отдельные кабели локализованы на глубине 0,7 м на отметках 10, 12 и 12,7 м от начала профиля.

Настройки создания разреза атрибута **Central frequency** для данного профиля содержатся в файле **GPR 400 MHz, Underground Utilities Central frequency.geprm**.



Unit of measurement:	MHz
Minimum value	241.65
Maximum value	1022.29
Average value	755.29
Number of measuring points	8232
Average distance, m	0.1
Density, points per sq m	99.96

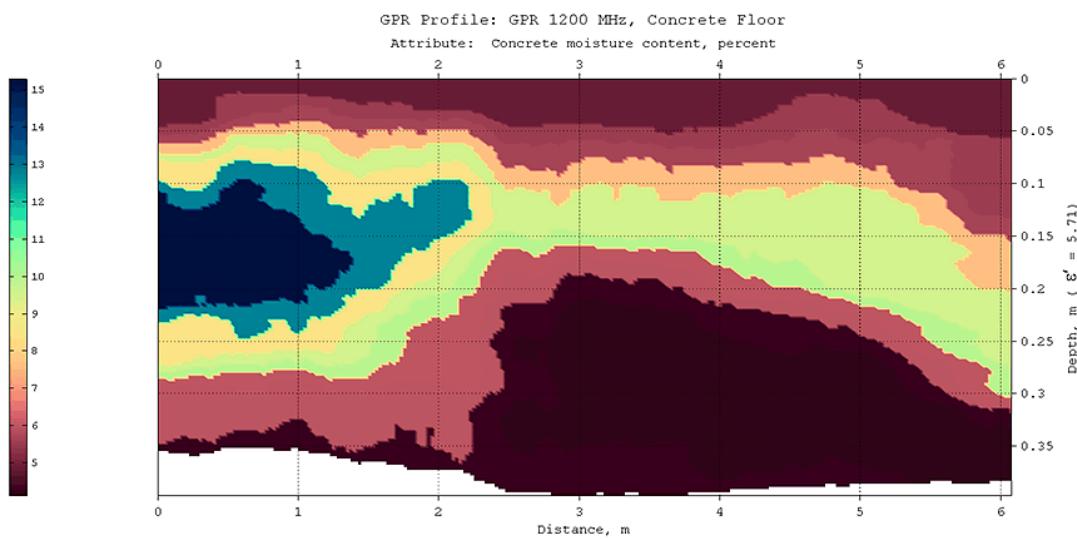
## GPR 1200 MHz, Concrete Floor



Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 1200 МГц по бетонной конструкции межэтажного перекрытия с заложенными внутри металлическими водопроводными трубами. Цель исследования заключается в обнаружении места протечки воды и оценке её масштаба.

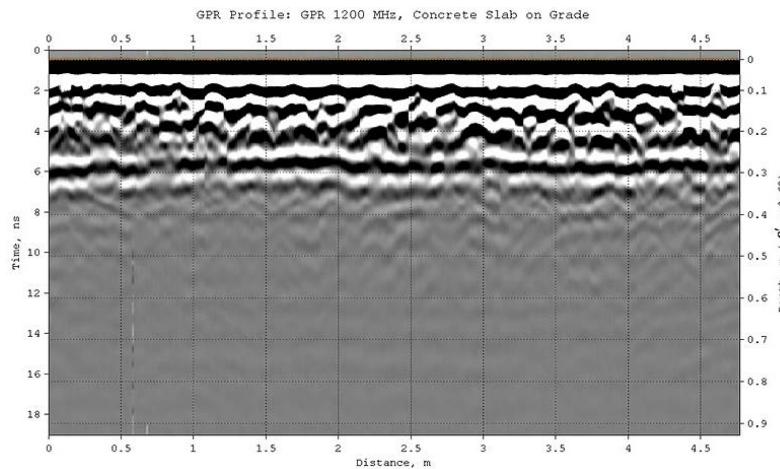
Разрез атрибута **Concrete moisture content** (влажность бетона) позволяет проследить распределение влажности в бетонном массиве и локализовать место протечки. Анализ разреза выявил зону наибольшей влажности (14% и выше) на участке 0-1.4 м, которая образовалась вследствие протечки воды. При этом, по мере приближения к поверхности конструкции, влажность бетона снижается до 4-5%, что соответствует его нормальному сухому состоянию.

Настройки создания разреза атрибута **Concrete moisture content** для данного профиля содержатся в файле **GPR 1200 MHz, Concrete Floor Concrete moisture content.geprm**.



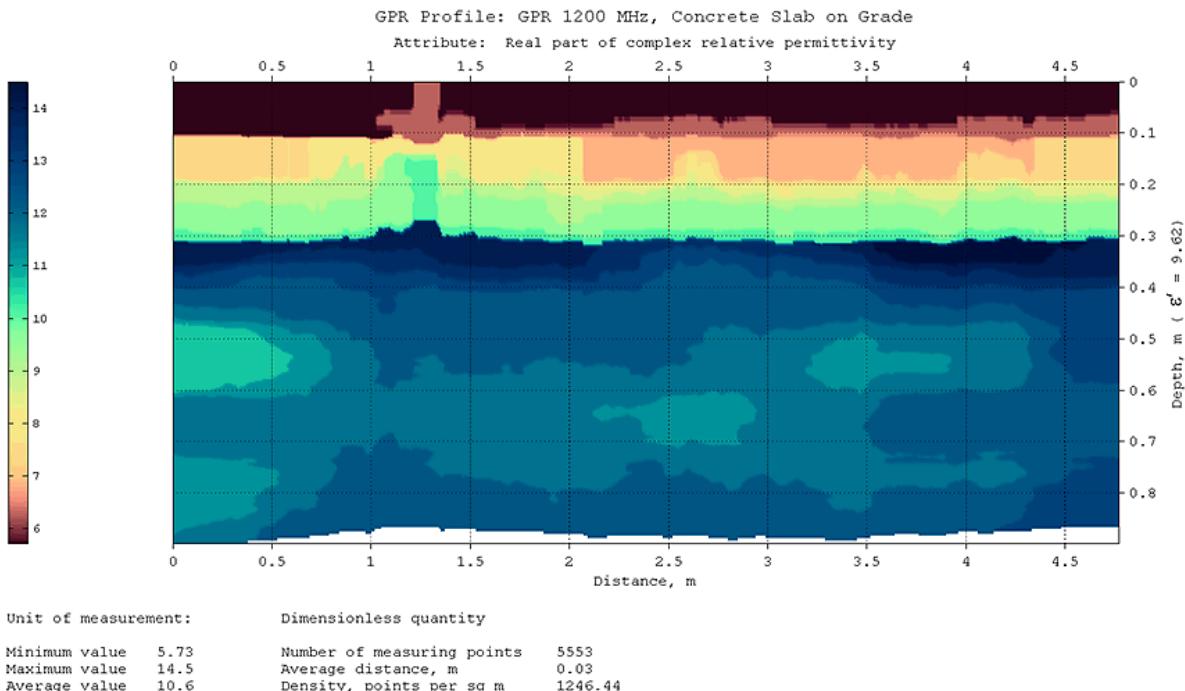
Unit of measurement:	
Minimum value	4.14
Maximum value	15.29
Average value	7.04
Number of measuring points	4431
Average distance, m	0.02
Density, points per sq m	1684.38

## GPR 1200 MHz, Concrete Slab on Grade

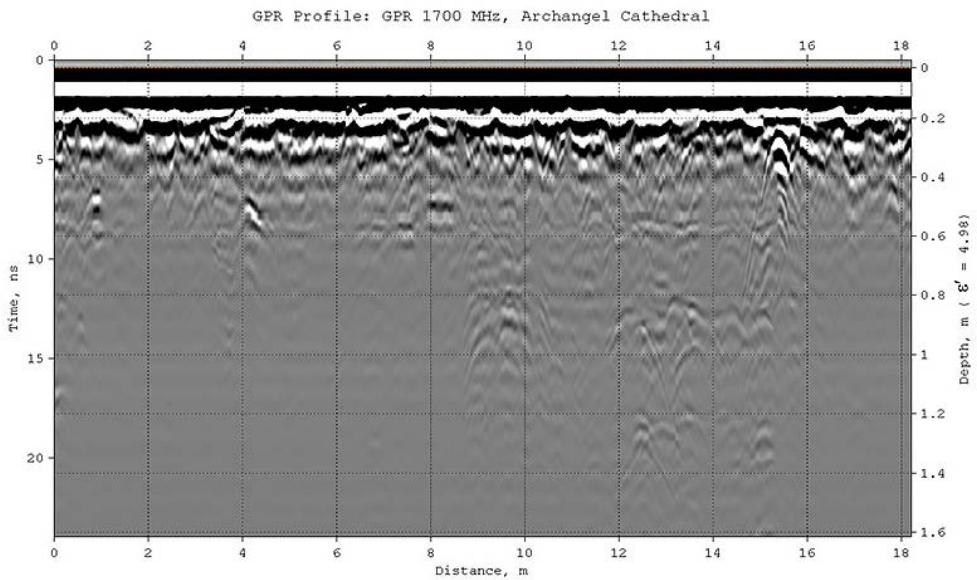


Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 1200 МГц по поверхности железобетонной фундаментной плиты толщиной 30 см, лежащей на грунтовом основании. На разрезе **Real part of complex relative permittivity** представлено распределение действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  в теле плиты и в подстилающем грунте. Наблюдается чётко выраженное горизонтально-слоистое распределение диэлектрической проницаемости, соответствующее трём слоям толщиной около 10 см каждый. Данная картина косвенно указывает на технологию укладки бетона в три приёма. Значения  $\epsilon'$  увеличиваются с глубиной: от 5.7–6.5 в верхнем слое до 7–8 в среднем и более 9 в нижнем. Повышенное значение  $\epsilon'$  в нижнем слое плиты свидетельствует о его повышенной влажности. Непосредственно под плитой зафиксировано значение  $\epsilon' \approx 14$ , что также указывает на влажное состояние грунта. Отсюда можно сделать вывод, что происходит процесс поступление влаги из грунтового основания в нижнюю часть плиты.

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 1200 MHz, Concrete Slab on Grade Re(permittivity).geprm**.



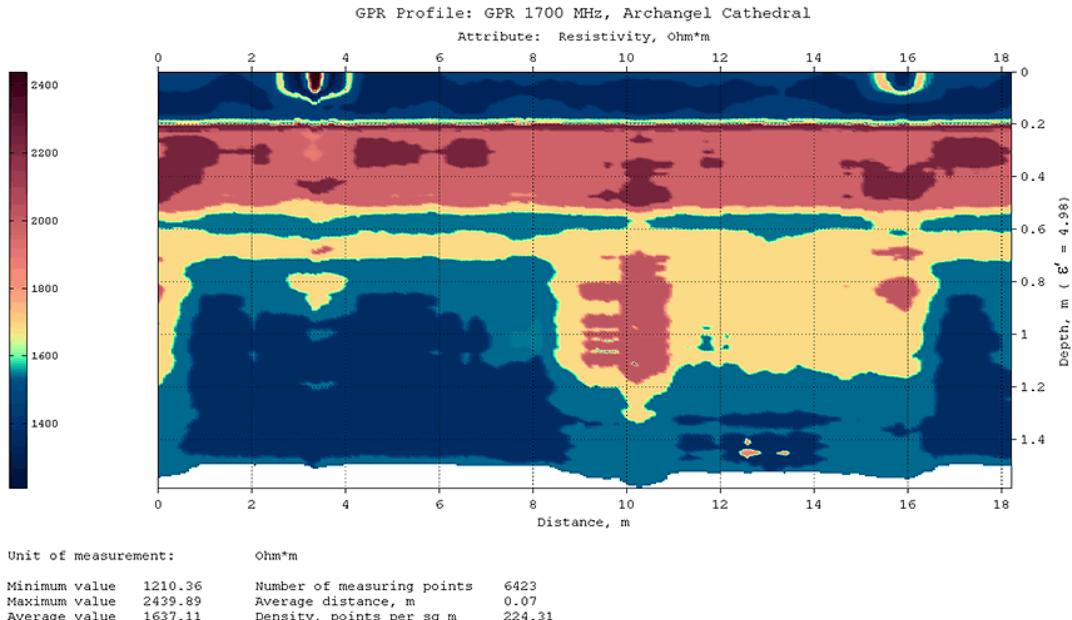
## GPR 1700 MHz, Archangel Cathedral



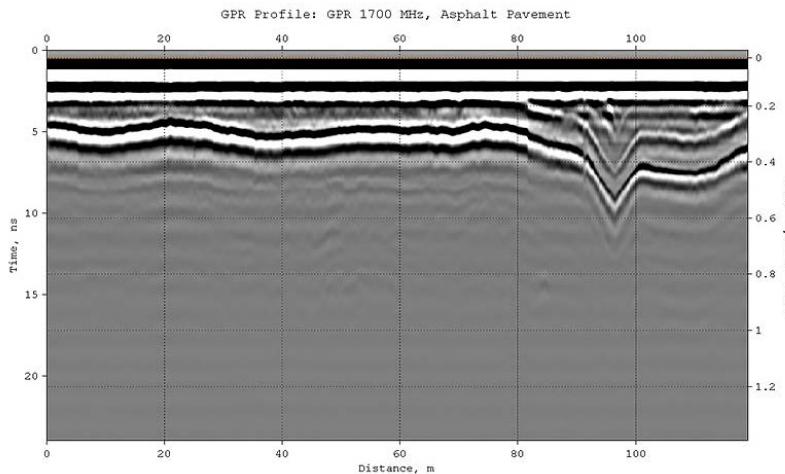
Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 1700 МГц по поверхности пола, вдоль алтарной части Архангельского собора Московского Кремля.

Разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление) отображает слоистую структуру конструкции пола. На участке 8.4–16.4 м выявлена аномалия, интерпретируемая как траншея глубиной около 60 см. В пределах данной аномалии, на отметках 10 и 16 метров, зафиксированы локальные объекты, которые могут быть отнесены к фрагментам фундамента.

Настройки создания разреза атрибута **Resistivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 1700 MHz, Archangel Cathedral Resistivity.geprm**.



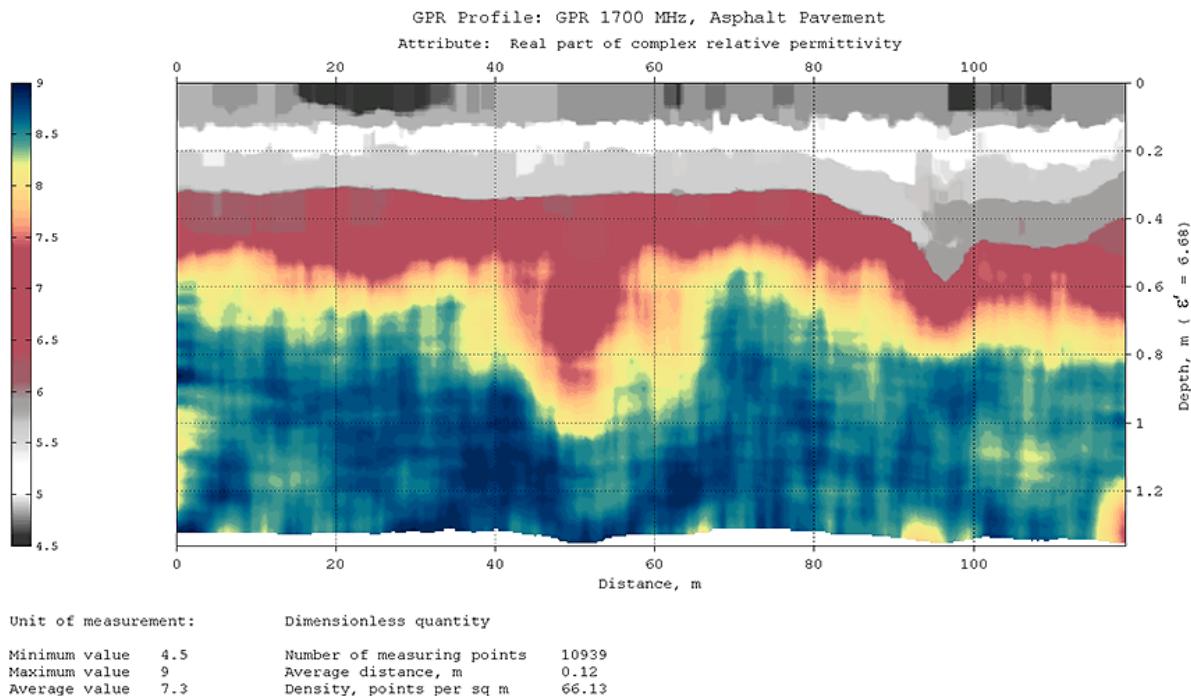
## GPR 1700 MHz, Asphalt Pavement



Георадиолокационный профиль выполнен антенной с центральной частотой 1700 МГц при исследовании автомобильной дороги. Конструкция дорожной одежды преимущественно двухслойным асфальтобетонным покрытием, уложенным на бетонное основание, под которым находятся слои щебня и песка. Подстилающей средой является суглинистый грунт.

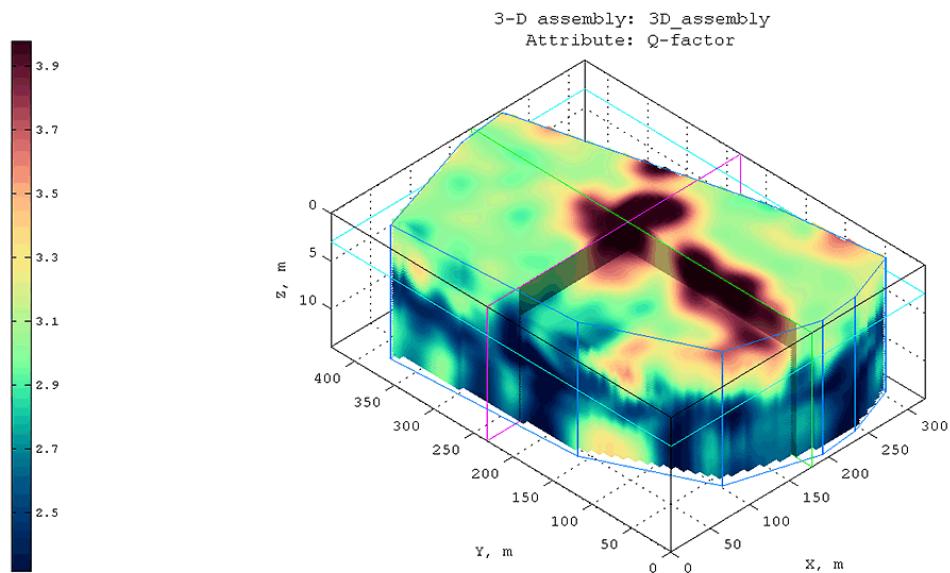
На разрезе **Real part of complex relative permittivity** представлено распределение действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости внутри конструктивных слоёв дорожной одежды и в подстилающем грунте. В верхнем слое асфальтобетона присутствуют следы ремонта дорожного покрытия в виде более тёмных зон. В бетонной толще наблюдается изменение свойств бетона, начиная с отметки 95 метров. Также, с этой отметки прослеживается третий слой асфальтобетона. Слои щебня и песка на разрезе отображаются красными и жёлтыми тонами, земляное полотно показано синим цветом.

Настройки создания разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** для данного профиля содержатся в файле **GPR 1700 MHz, Asphalt Pavement Re(permittivity).geprm**.

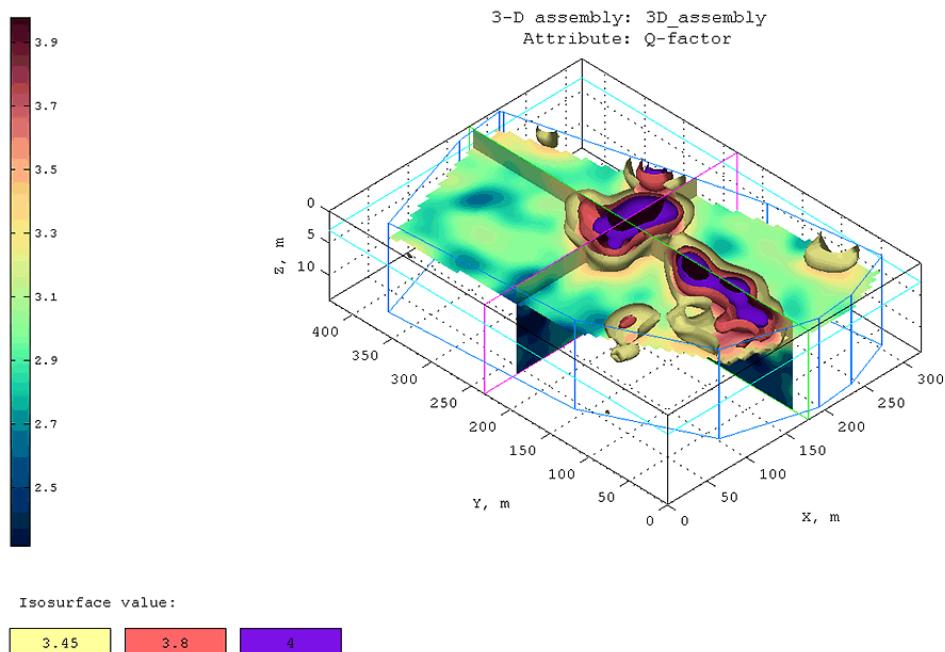


## 3D Assembly

Трёхмерная модель распределения атрибута **Q-factor**, который количественно оценивает добротность радиолокационного сигнала и вычисляется как отношение центральной частоты к ширине спектра на уровне  $-3$  дБ, была построена по результатам георадиолокационной съёмки площадки под строительство объекта нефтегазового комплекса. Работы выполнялись антенной с центральной частотой  $50$  МГц. В пределах исследуемой территории были выявлены зоны рыхлых отложений, которые характеризуются повышенными значениями атрибута.



На приведённых ниже изображениях представлены сечения трёхмерного объёма, на которых построены изоповерхности для значений **Q-factor**, равных  $3.45$ ,  $3.8$  и  $4$ . Эти значения соответствуют наиболее рыхлым и, как следствие, наименее прочным участкам грунтового основания.

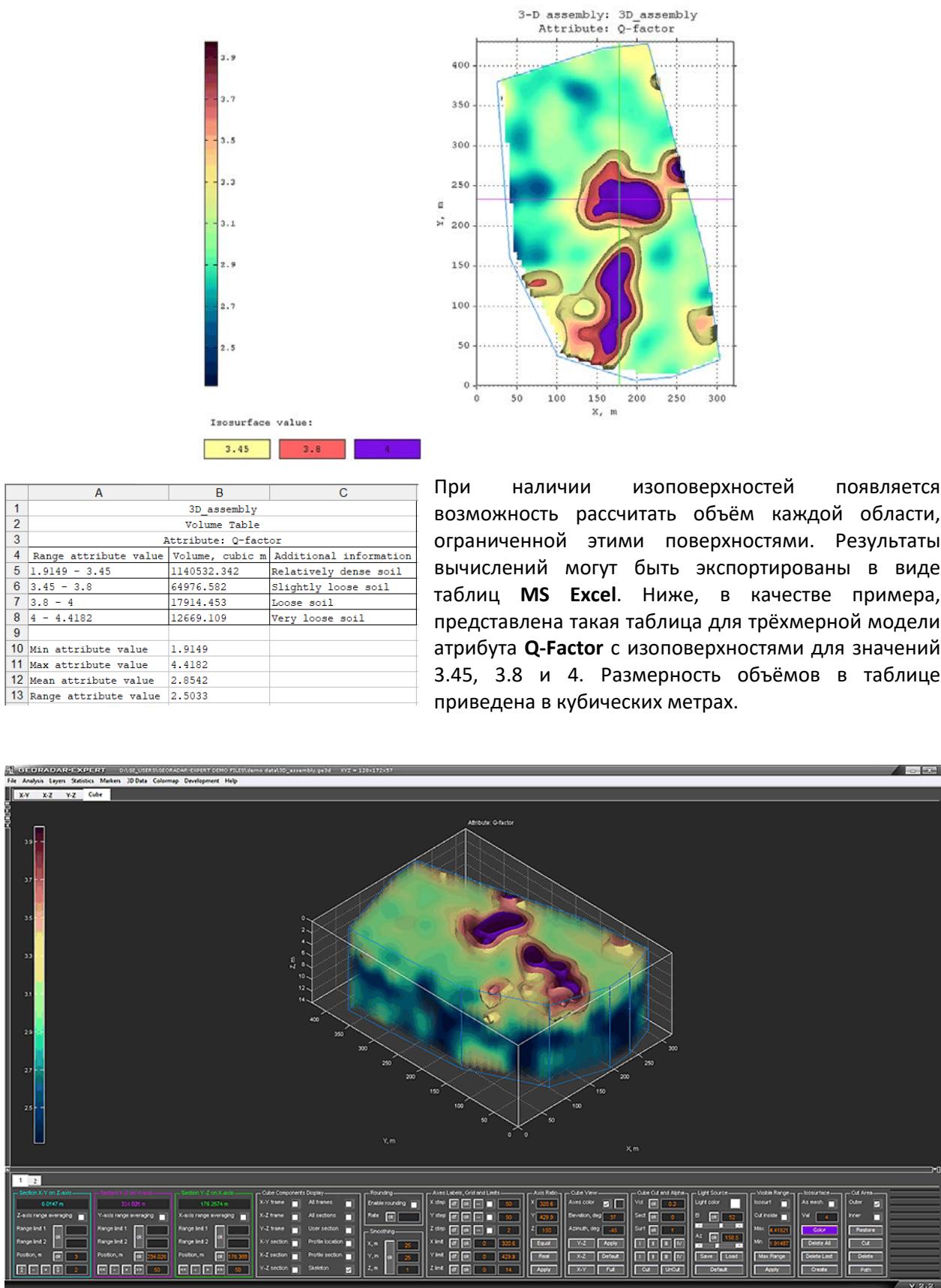


Isosurface value:

3.45

3.8

4



## Полезные ссылки

Официальный сайт ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на русском языке:

<https://www.georadar-expert.ru/>

Загрузить обзор ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на русском языке:

[https://www.georadar-expert.ru/download/georadar\\_expert\\_overview\\_rus.pdf](https://www.georadar-expert.ru/download/georadar_expert_overview_rus.pdf)

Загрузить руководство пользователя ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на русском языке:

[https://www.georadar-expert.ru/download/georadar\\_expert\\_manual\\_rus.pdf](https://www.georadar-expert.ru/download/georadar_expert_manual_rus.pdf)

Просмотр и загрузка видео уроков на русском языке:

<https://www.georadar-expert.ru/Video.html>

Техническая поддержка:

[georadar@mail.ru](mailto:georadar@mail.ru)



Microsoft Windows xp  
Windows 7  
Windows 8  
Windows 10  
Windows 11