Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайгыров университета

Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№3 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж
выдано
Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность
публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

---

https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/2710-3420

Бас редакторы – главный редактор
Талипов О. М.
доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора — Калтаев А.Г., *доктор PhD*
Ответственный секретарь — Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	*д.т.н., профессор*
Никифоров А. С.,	*д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н.,	*д.т.н., профессор*
Алиферов А. И.,	*д.т.н., профессор (Российская Федерация)*
Кошеков К. Т.,	*д.т.н., профессор*
Приходько Е. В.,	*к.т.н., профессор*
Кислов А. П.,	*к.т.н., доцент*
Нефтисов А. В.,	*доктор PhD*
Шерьязов С. К.	т.ғ.д., *профессор (Российская Федерация)*
Искакова З. С.	*технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 50.09.45

https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/475-498

***И. М. Орман[1], К. Т. Искаков[2]**

[1]Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,
Республика Казахстан, г. Петропавловск;
[2]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана.
[1]ORCID: https://orcid.org/0009-0004-8072-4996
[2]ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3872-4026
*e-mail: Indira.malikovna@mail.ru

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РАДАРОГРАММ ДАННЫХ ГЕОРАДАРА МЕТОДОМ ЗОНДИРОВАНИЯ

В данной статье на примере экспериментальных исследований, выполненных с использованием георадара «Лоза-В», изложена методика первичной обработки и интерпретации экспериментальных георадарных данных. В качестве полигона исследований выбран участок песчаного карьера, представляющий собой однородную среду, сложенную речным песком. Указанный карьер расположен вблизи города Астаны и характеризуется относительно простыми геологическими условиями, что позволяет использовать его в качестве тестовой площадки для отработки и верификации методов георадиолокационного зондирования. В ходе полевых экспериментов на исследуемом участке были изучены различные объекты естественного и искусственного происхождения, залегающие на известных глубинах. Для проведения измерений применён метод зондирования, при котором антенна и источник электромагнитного сигнала раздвигаются на равные расстояния относительно центра предполагаемого подповерхностного объекта. Такой подход позволяет повысить достоверность определения скоростных характеристик среды и мощностей слоёв. В работе выполнена интерпретация серии радарограмм, полученных в результате экспериментальных исследований с георадаром, включая выделение отражённых волн, георадарных комплексов и локальных аномалий. Полученные результаты используются для решения коэффициентных обратных задач, в частности для определения геофизических свойств подстилающего слоя, таких

как диэлектрическая проницаемость и электропроводность. Представленная методика может быть применена при инженерно-геологических изысканиях, диагностике состояния грунтов и прогнозировании дефектов в подповерхностной среде.

Ключевые слова: георадиолокация, георадарные комплексы, метод зондирования, радарограмма, диэлектрическая проницаемость, геологический разрез, влажность пород.

Введение

Такого сорта задачи возникают при прогнозе состояния дорожного покрытия, так как из-за природных условий может происходить деформирование дорожного покрытия (вздутие, обвал верхнего слоя), как правило из-за техногенных явлений, а именно из-за нарушения целостности грунта, связанного с повышением его влажности.

Если влажность грунта увеличилась вследствие присутствия грунтовых вод, то относительная диэлектрическая проницаемость грунта тоже увеличится. В связи с этим нами проведены дополнительно экспериментальные исследования по определению корреляционной зависимости между влажностью грунта и ее диэлектрической проницаемости. Эксперименты были проведены на базе Восточно-Казахстанского технического университета им Д. Серикбаева. Имея значения диэлектрической проницаемости по слоям дорожной одежды на основе методики первичной обработки георадарных данных и используя экспериментально установленную зависимость диэлектрической проницаемости, можно спрогнозировать состояние влажности подстилающей среды.

В рамках исследования была проанализирована методика интерпретации данных георадиолокации (GPR), предложенная А.В. Старовойтовым [1]. Выделяются четыре этапа:

1. Идентификация волн-помех, в котором исследуются распознавание и исключение ложных отражений; 2. Выделение георадарных комплексов, а именно участок разреза, соответствующий определённой геологической толще; 3. Интерпретация георадарных фаций – структурные единицы внутри комплекса, отражающие специфические условия формирования среды; 4. Построение глубинного разреза, а именно переход от временного разреза по данным георадара к глубинному, то есть определения геоэлектрического разреза по слоям дорожной одежды. Преобразование временных данных в глубинные осуществляется с учётом скоростей радиоволн в различных средах. Методика Старовойтова – комплексный подход к интерпретации

GPR-данных, позволяющий пошагово перейти от «сырых» радарограмм к инженерной модели среды.

Обработка георадарных данных выполнялась в программном обеспечении «Крот-NS». Первичная обработка включала подавление низкочастотных и высокочастотных шумов, нормализацию амплитуды сигнала, определение диэлектрической проницаемости среды по гиперболическим отражениям, выделение отражающих горизонтов и локальных аномалий. На заключительном этапе выполнялся переход от временного разреза к глубинному с построением геоэлектрического разреза исследуемой среды.

Научная новизна исследования заключается в адаптации методики интерпретации георадарных данных А. В. Старовойтова к оценке состояния неоднородных грунтов и дорожных конструкций с использованием метода зондирования. Предложен комплексный подход, объединяющий обработку радарограмм, определение диэлектрической проницаемости среды и экспериментально установленную зависимость между диэлектрической проницаемостью и влажностью грунта. Это позволяет повысить достоверность интерпретации георадарных данных при прогнозировании дефектов дорожных покрытий.

Материалы и методы

Георадиолокация, так же как и сейсморазведка, является волновым методом, поэтому основные методические приемы, которые используются при геологической интерпретации радарограмм [2]. В сейсморазведке эта методика, получила название сейсмической стратиграфии [3]. Эта методика основана на анализе динамических и кинематических особенностей всей волновой картины. При интерпретации георадиолокационных данных выделим два основных направления. Первое связано с поиском разнообразных объектов естественного, так и искусственного происхождения. К последним относятся: трубопроводы различного назначения; кабели; коллекторы; карстовые пустоты; археологические объекты и многое другое. Второе направление связано с детальным изучением разреза, о котором в априори ничего не известно. Анализ волновой картины начинается с выделения осей синфазности отраженных волн, которые являются волнами-помехами. После обработки и выделения волн-помех радарограммы готовы к интерпретации. Целью интерпретации георадиолокационных данных, является переход от временного разреза к глубинному. Детальное изучение разреза основано на методических приемах, как и в сейсморазведке [4]. Эта методика разделения разреза применяется и при анализе георадиолокационных данных [5; 6]. При интерпретации сейсмических данных эта методика получила название

сейсмофациального анализа [4]. Вопрос об определении фации достаточно сложный и неоднозначный [7; 8].

Практические и теоретические методы подповерхностной радиолокации описаны в работах авторов дальнего и ближнего зарубежья [9; 10; 11; 12; 13; 14; 15].

Экспериментальные исследования были проведены на песчаном карьере вблизи города Астаны по направлению Кургальджинской трассы. Для проведения эксперимента был использован георадар серии «Лоза-В», имеющий диапазон рабочих частот 50–300 МГц, и антенны с разверткой: 0,5 м; 1 м; 1,5 м и 3м. Для исследования выбран метод зондирования, так как в этом случае можно определить мощности слоев неоднородной среды. Данный георадар имеет лицензионное программное обеспечение «Крот-NS» [16]. Первичная обработка сырых георадарных данных выполнялась по методике профессора А. В. Старовойтова. [1]. Предложена методика применения программного обеспечения при интерпретации георадарных данных и соответствующих необходимых функций программного обеспечения, что является трудоемкой задачей и требует специализированного подхода и навыков геофизических обработок реальных данных. Проведены экспериментальные исследования на песчаном карьере с использованием георадара «Лоза-В». Использован метод зондирования, в котором антенна и источник раздвигаются на равные расстояния от центра лежачего предполагаемого объекта на карьере. Обработаны по предложенной выше методике два объекта: железная канистра и купол торфа, лежащие в песке на известной глубине. Указанные объекты использовались для экспериментальной проверки предложенной методики. Процесс обработки включал следующие этапы. Ниже приведены основные этапы обработки экспериментальных данных, обеспечивающие переход от временного разреза к геоэлектрическому.

Визуализация радарограмм состоит из следующих этапов:

«З9-зондирование 50 см антенной шаг 20 см» (рисунок 1).

Первичная обработка георадарных данных включала загрузку радарограммы, настройку параметров отображения, последовательное применение низко- и высокочастотной фильтрации, определение диэлектрической проницаемости по гиперболическим отражениям, выделение границ слоев и построение геоэлектрического разреза.

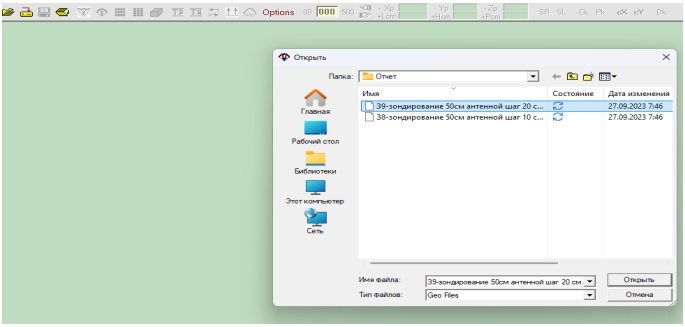


Рисунок 1 – На первом этапе выполнялась загрузка экспериментальной радарограммы

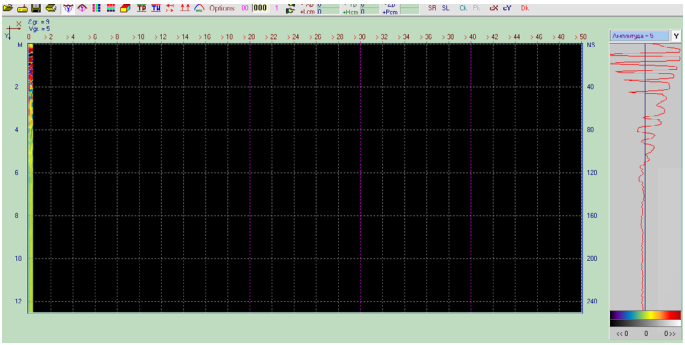


Рисунок 2 – Радарограмма по горизонтали

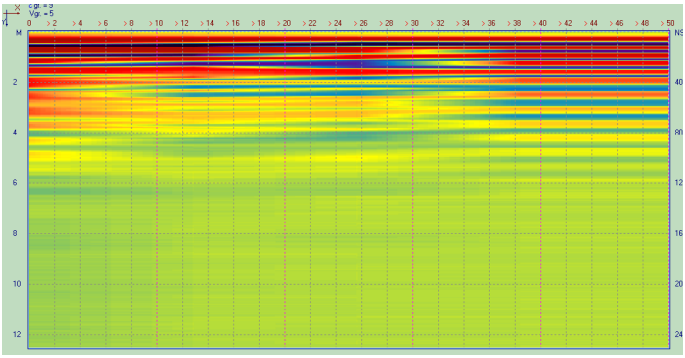


Рисунок 3 – Настройка профиля

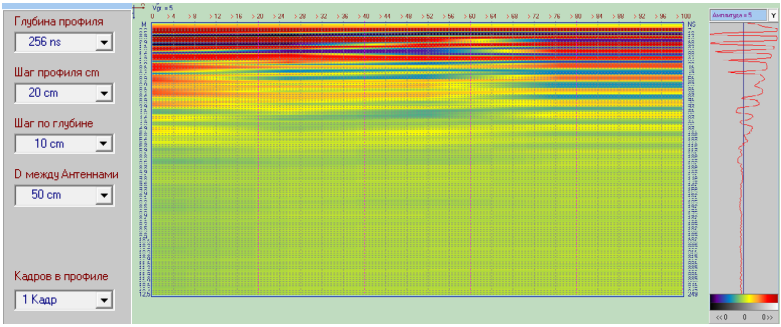


Рисунок 4 – Настройка фильтра

Фильтр 1 НЧ2 – низкочастотный реверсивный, хорошо сглаживает шум, сохраняя границы (рисунок 5). L=8 Глубина по X (L): 5-10 (сглаживание по горизонтали). H=15 Глубина по Y (H): 10-20 (сглаживание по глубине). X=1 Косая фильтрация (X): 0 или малое значение.

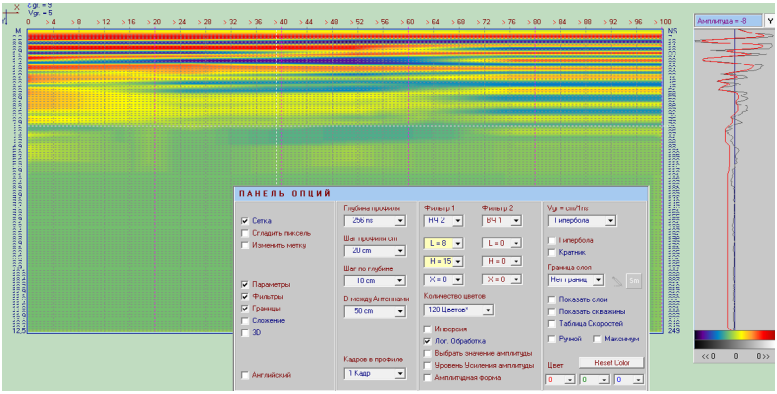


Рисунок 5 – Фильтр 1 НЧ2

Фильтр 2: Тип ВЧ1 или ВЧ2 (высокочастотный - подчёркивает детали, убирает низкочастотный тренд). При высоком уровне шумов рекомендуется использовать параметры, аналогичные настройкам фильтра НЧ2.

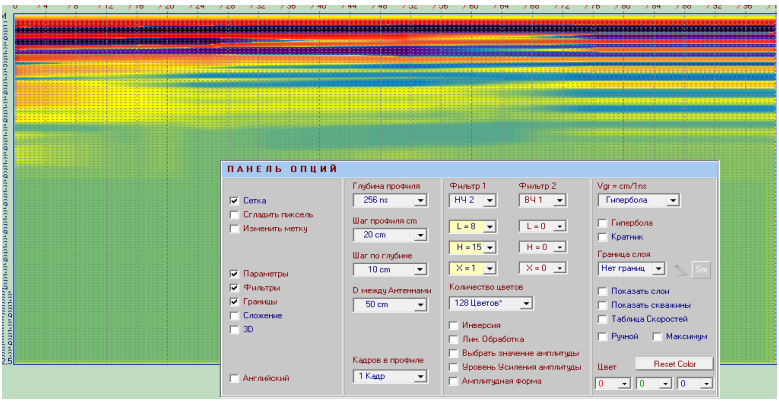


Рисунок 6 – ВЧ-фильтр

ВЧ-фильтр подчёркивает резкие изменения (трубы, камни, пустоты, гиперболы) – отлично для поиска объектов (рисунок 6).

Лучший набор фильтрации, видимость слоев хорошая, шумы минимизированы

Определение диэлектрической проницаемости, при помощи гиперболы (рисунок 7).



Рисунок 7– Гепербола

Была выбрана гипербола, ставим на радиограмме точку, где есть выраженная гипербола.

Второй способ. Находим на радарограмме горизонтальную границу. Измеряем время *t* от нуля (прямой сигнал) до этой границы (в нс, по вертикальной оси). Подберем V_{gr} в блоке V_{gr} так, чтобы эта граница оказалась ровно на глубине. Если $t \approx$ 15-20 нс – $V_{gr} \approx$ 5-6.7 см/нс (влажный торф, ε_r 20-30). Если $t \approx$ 25-28 нс – $V_{gr} \approx$ 3.6-4 см/нс (очень влажный, ε_r 60-70). В верхнем левом углу отображается значение диэлектрической проницаемости (рисунок 8).

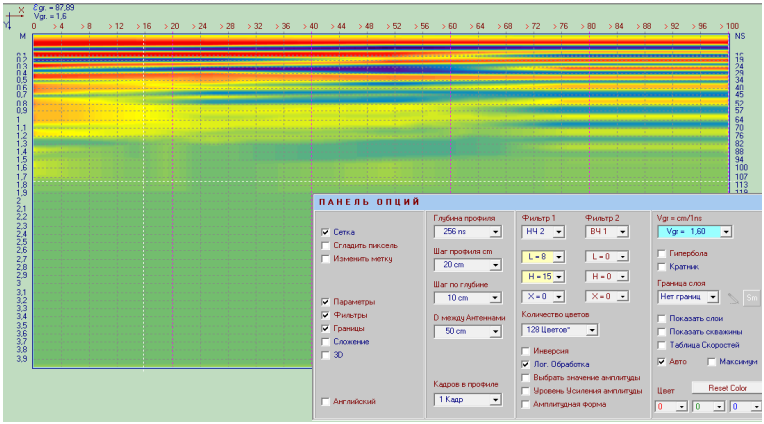


Рисунок 8 – Значение диэлектрической проницаемости

Разметка слоев (рисунок 9)

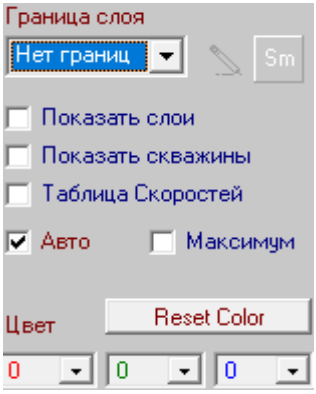


Рисунок 9 – Граница слоя

Из выпадающего списка слой, устанавливаем автоматическую разметку и функцию притяжения «Максимум/Минимум» (рисунок 10).

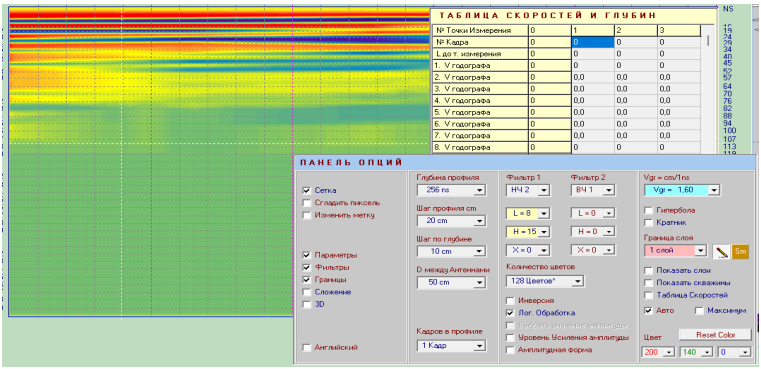


Рисунок 10 – Панель опции

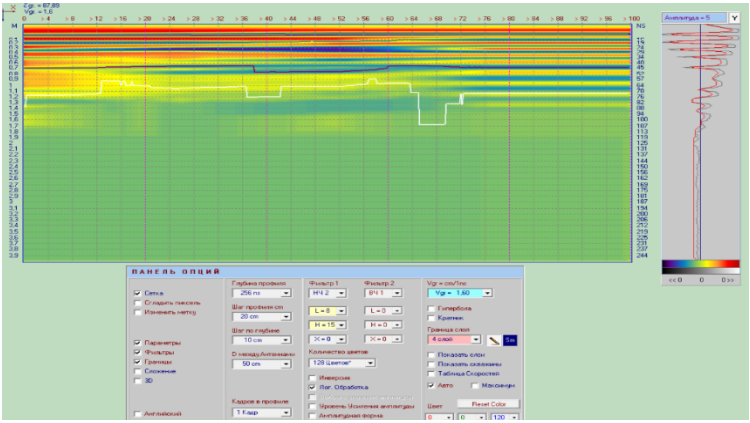


Рисунок 11 – Настройка панель опции

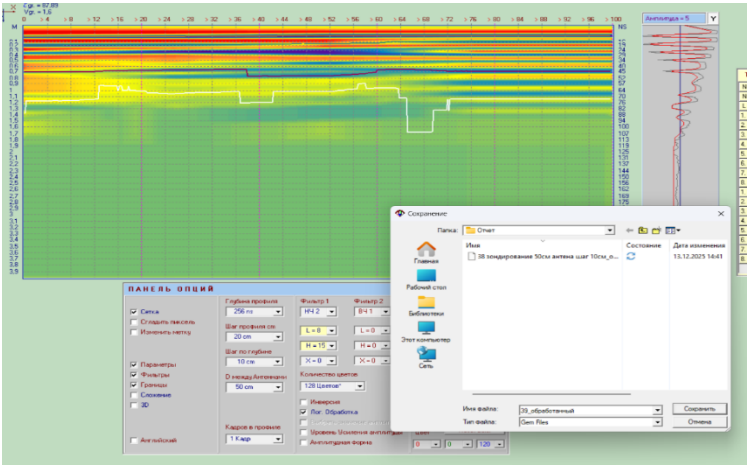


Рисунок 12 – Сохранение панели опции

Аномалия между 10 и 22. Применяем высокочастотную фильтрацию, пробуем убрать отраженные волны, и применяем логарифмическую функцию для нормализации объекта (рисунок 13).

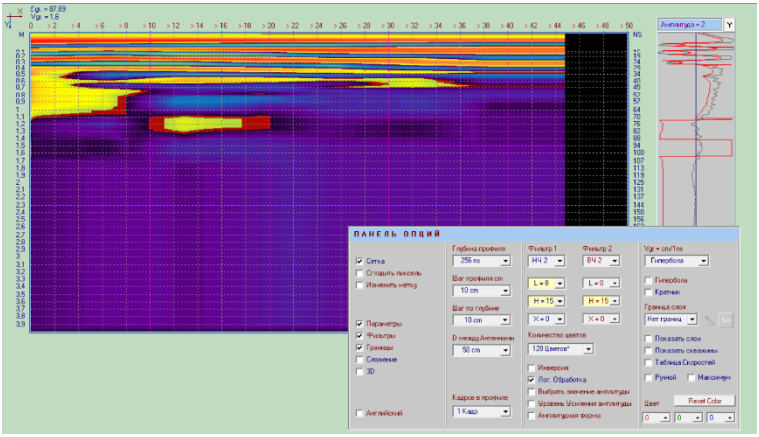


Рисунок 13 – Настройка логарифмической функции

В диапазоне 12–18 условных единиц наблюдается локальная аномалия, предположительно соответствующая железной канистре.

Таким образом, на радарограмме виден локальный объект, а именно железная канистра. На рисунке 14 представлено расположение объекта железной канистры на глубине, порядка 1 метра. Следующим объектом исследования был купол торфа (рисунок 15).



Рисунок 14 – Железная канистра в однородной среде



Рисунок 15 – Купол торфа

По результатам обработки установлено, что снижение степени низкочастотной фильтрации в сочетании с фильтрацией отраженных высокочастотных компонентов позволяет более четко выделить аномалию, соответствующую куполу торфа. Степень низкочастотной фильтрации была уменьшена, при этом дополнительно применялась фильтрация отражённых высокочастотных компонентов по отраженным высоким. Полученные результаты позволяют предположить, что торф характеризуется повышенным поглощением электромагнитного сигнала (рисунок 17).

Аномалия похожая на купол торфа видна на диапазоне 22-30 (рисунок 16).

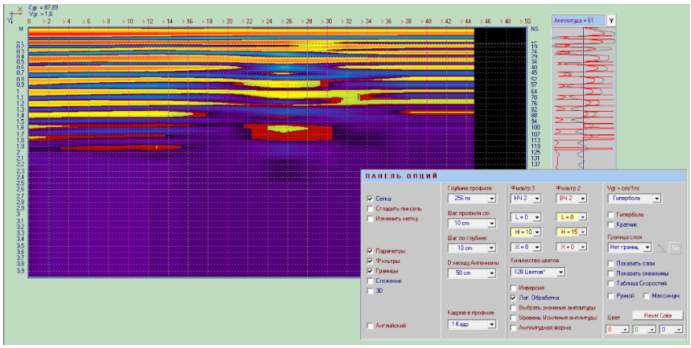


Рисунок 16 – Результат исследования

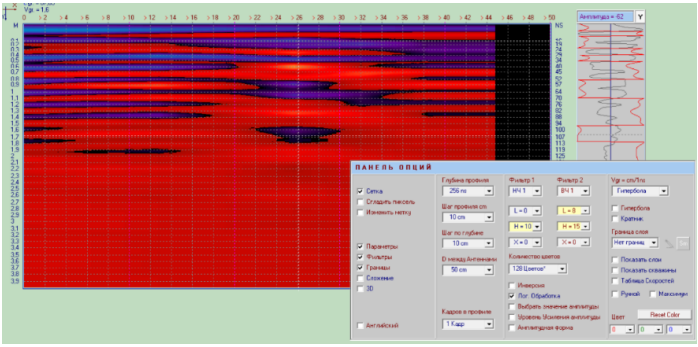


Рисунок 17 – Настройка фильтрации

«На первом этапе выполнялась загрузка экспериментальной радарограммы. Далее проводилось масштабирование изображения, после чего осуществлялась последовательная фильтрация данных с применением низкочастотного и высокочастотного фильтров. Затем определялась диэлектрическая проницаемость среды по гиперболическим отражениям и выполнялось построение геоэлектрического разреза.

При обработке было выявлено что при нахождении объекта с высокой диэлектрической проницаемостью объект больше поглощает и нужно фильтровать высокие частоты, а низкие оставлять. Этот факт обусловлен тем, что диэлектрическая проницаемость торфа составляет порядка – 50–80 единиц.

3. Определение зависимости диэлектрической проницаемости от влажности

В данном подразделе определена функциональная зависимость между диэлектрической проницаемостью геофизических свойств неоднородной среды и влажностью этих слоев. С этой целью проведен эксперимент следующего содержания. В заполненную колбу слоями из основных компонент неоднородной среды: фрагменты асфальтового покрытия; щебень различных фракций; балласт и подстилающий слой-грунт, внизу колбы нагнеталась струя воды. Затем с помощью влагомера МГ4 определялась влажность состояний слоев неоднородной среды. Подача воды в колбу фиксировалась с помощью счетчика расходов воды. Была проведена серия измерений, на основе которой экспериментально установлена функциональная зависимость. Эксперименты были проведены с целью определения значения влажности по слоям, при которых происходит расслоение слоев неоднородной среды. В дальнейшем, решая обратную задачу тем или иным способом, определив геоэлектрический разрез, учитывая

связь между этими данными и степени влажности можно прогнозировать состояние неоднородности на наличие дефектов.

Результаты и обсуждение

Для определения зависимости диэлектрических свойств различных слоев дорожной одежды от влажности были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях на базе Восточно-Казахстанского университета имени Д. Серикбаева. Неоднородная среда состоит из следующих слоев: мелкозернистый асфальт; крупнозернистый асфальт; железобетонная смесь; щебенка фракции 0.4; щебенка фракции 0.8; подстилающий слой -грунт (суглинка). Был создан макет дорожной одежды, с этой целью была взята пластмассовая колба цилиндрической формы с высотой 240 см и диаметром у основания 18 см. Равномерно были помещены в эту колбу последовательно: четвертый слой - грунт, затем слой балласта ; затем слои щебенки и наконец в верхней части колбы разместили слой асфальта мелкозернистого и крупнозернистого.

Между влажностью грунта и его диэлектрической проницаемостью существует прямая и сильная зависимость: с увеличением содержания воды диэлектрическая проницаемость грунта значительно возрастает. Это объясняется огромной разницей в диэлектрических свойствах компонентов почвы. Например: Чистая вода имеет очень высокую относительную диэлектрическую проницаемость (около 80 при комнатной температуре); Сухой грунт (минеральные частицы и воздух) имеет низкую проницаемость (обычно в диапазоне от 3 до 6, а у воздуха – около 1). Когда в поры грунта добавляется вода, она замещает воздух, и общая диэлектрическая проницаемость смеси резко увеличивается из-за высокого значения этого параметра у воды.

Ключевые аспекты взаимосвязи: Линейность на определенных диапазонах: В определенных диапазонах влажности и частот электромагнитного поля наблюдается почти линейная зависимость диэлектрической проницаемости от содержания воды. Состав и структура грунта: на эту зависимость также влияют тип почвы (например, содержание глины или гумуса), ее плотность, температура и частота электромагнитного поля.

Согласно эмпирическим исследованиям, проведённым лабораторных условиях, имеющихся данных в открытой печати, приведён ряд таблиц о диэлектрической проницаемости и соответственно влажности для ряда интересующих нас материалов (таблица 1).

Таблица 1 – Диэлектрическая проницаемость и скорость [7]

Материал	ϵ	υ υ **(см/нс)**
Воздух	1	30
Снег	1-2	30-21
Асфальт	3-5	17-13
Лед	4	15
Бетон	4-11	15-9
Породы		
Гранит(сухой)	4-7	15-11
Песчаник(сухой)	6	12
Сланцы	5-15	13-7
Известняки(сухие)	4-8	15-10
Базальты(сухие)	8-9	10
Почвы и отложения	4-30	15-5
Нефть	2,5	19
Вода (пресная и соленая)	81	3,3
Песок плотный		
Сухой	2,93	17
1,5 % воды	5	13
3,0 % воды	11	9
4,5 % воды	39,1	5
Почвы		
7,78 % воды	3,95	15
32,1 % воды	7,93	10,7
36,8 % воды	21,9	6,4
Суглинок сухой	2,44	19,2

Таблица 2 – Электрические свойства некоторых почв, грунтов и пород в диапазоне радиозондирования по данным лабораторных измерений [17]

Материал		**Проводимость, См**
Сухая песчаная почва	3	$1,5*10^{-4}$
Сухой песчаный и глинистый грунт	3-4	-
Влажная песчаная почва	25	$7*10^{-3}$
Влажный песчаный и глинистый грунт (весовая влажность 4-15 %)	4-15	-
Глинистая почва сухая/влажная	3/15	$2,5*10^{-1}/5*10^{-1}$
Гранит сухой/влажный	5/7	$10^{-5}/10^{-3}$
Базальт влажный	8	10^{-2}

Глинистый сланец влажный	7	10^{-1}
Песчаник влажный	6	$4*10^{-2}$
Известняк влажный	8	$2,5*10^{-2}$

На рисунках 18-21, представлены колбы помещенных в ней образцов состава неоднородной среды.

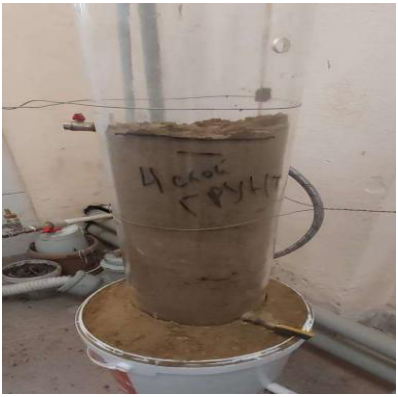


Рисунок 18 – Модель подстилающего слоя: сухой песчаный,глинистый грунт



Рисунок 19 – Модель слоев дорожной одежды: балласт, щебень различной фракции



Рисунок 20 – Модель верхнего слоя дорожной одежды: образцы асфальтного покрытия



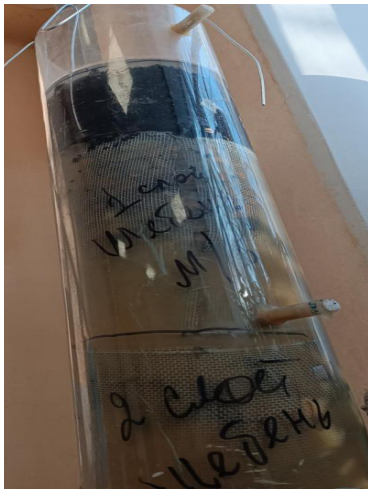


Рисунок 21 – Подготовленная колба и шланг
для нагнетания воды

2. Залив воды в колбу

Для исследования зависимости диэлектрической проницаемости от влажности слоев дорожной одежды был проведен эксперимент. В модель дорожной конструкции, представленной на рисунках 18–21, через нижнюю часть колбы осуществлялась контролируемая подача воды. Расход воды контролировался с помощью счетчика. Цель эксперимента заключалась в установлении калибровочной зависимости между влажностью материала и его диэлектрической проницаемостью, необходимой для последующей интерпретации георадарных данных и прогнозирования процессов расслоения дорожной одежды. Причиной этого могут служить как недостаточное качество строительства дорожной конструкции, так и повышение влажности грунтов основания. Поэтому важно определить связь, то есть построить калибровочную функцию зависимости диэлектрической проницаемости и влажности. Таким образом если определить геоэлектрический разрез с помощью георадарных комплексов на основе инженерно-технических методов либо с помощью математического моделирования и имея функцию калибровки можно прогнозировать процесс расслоения пластов дорожной одежды. Задача экспериментов также состоит в определении пиковой точки расслоения. Экспериментальные исследования были выполнены авторами статьи (Рисунок 22), ниже приведен процесс экспериментальных исследований. С помощью

влагомера указанной на рисунке 23, были проведены измерения влажностей. Результаты экспериментальных исследований до забора воды и после указаны на рисунках 24-25, в которых отмечены степень влажности слоев грунта до забора воды и после. На рисунках 26-27, согласно выше указанных таблиц указаны 1-3 отмечены значения диэлектрической проницаемости по слоям, причем до забора воды и после.



Рисунок 22 – Экспериментатор



Рисунок 23 – Влагомер

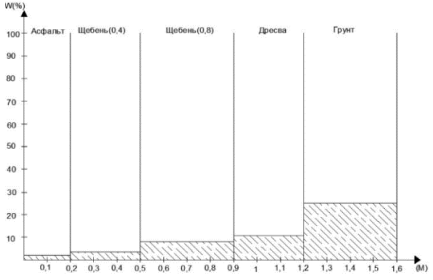


Рисунок 24 – Степень влажности неоднородной среды (до забора воды)

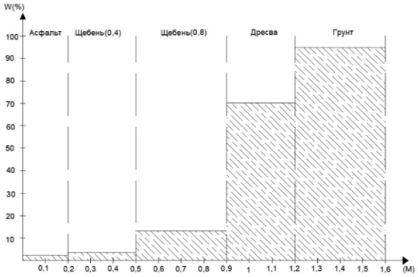


Рисунок 25 – Степень влажности неоднородной среды (до забора воды)

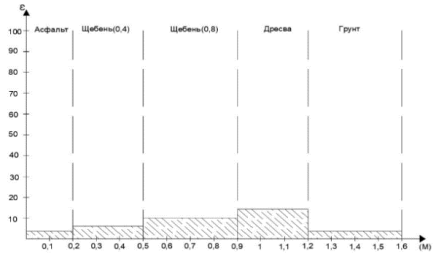


Рисунок 26 – Таблица диэлектрической проницаемости неоднородной среды

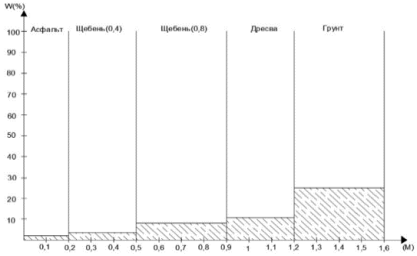


Рис 27 – Таблица ε диэлектрической проницаемости неоднородной среды (влажная)

На рисунке 28 представлена зависимость указана связь между влажностью и диэлектрической проницаемостью по слоям неоднородной среды.

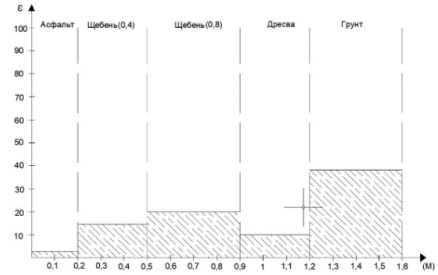


Рисунок 28 – Экспериментально установленная зависимость

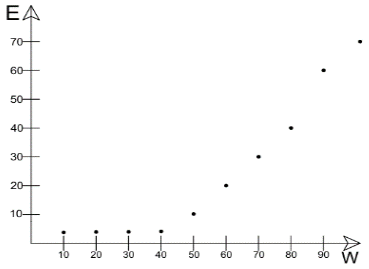


Рисунок 29 – Результат диэлектрической проницаемости и влажности

Таблица 3 – Количественные результаты экспериментальных исследований

Объект	Глубина, м	Диэлектрическая проницаемость ε	Влажность, %	Результат
Железная канистра	1,00	5,8	7,8	Обнаружена
Купол торфа	1,15	28,4	32,1	Обнаружена

Анализ данных, представленных в таблице 3, показывает, что увеличение влажности материалов сопровождается ростом их диэлектрической

проницаемости. Наиболее существенное изменение наблюдается для грунтов и суглинков, что объясняется высокой диэлектрической проницаемостью воды по сравнению с минеральными компонентами. Полученные результаты согласуются с известными теоретическими положениями и литературными данными. Установленная зависимость позволяет использовать значения диэлектрической проницаемости, определяемые по георадарным данным, для оценки влажностного состояния дорожной конструкции и прогнозирования процессов расслоения её слоев.

На рисунке 28 представлена экспериментально установленная зависимость диэлектрической проницаемости от влажности исследуемых материалов. Полученная калибровочная зависимость подтверждает возможность применения георадарных измерений для оценки состояния дорожной одежды и выявления участков с повышенной влажностью.

Выводы

В работе выполнена экспериментальная проверка методики интерпретации георадарных данных методом зондирования с использованием георадара «Лоза-В». Показано, что применение комплексной обработки радарограмм позволяет повысить качество выделения отражающих горизонтов и выполнить переход от временного разреза к глубинному с определением геоэлектрических характеристик исследуемой среды. Экспериментально подтверждена зависимость между диэлектрической проницаемостью и влажностью грунта, что позволяет использовать предложенный подход для оценки состояния дорожных конструкций и прогнозирования подповерхностных дефектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Пупатенко, В. В., Сухобок, Ю. А., Стоянович, Г. М.** Определение электрофизических свойств грунтов в откосных зонах земляного полотна при георадарном обследовании // Мир транспорта. – 2020. – Т. 21, № 4. – С. 50–59.

2 **Дьяков, А. Ю.** Георадар как инструмент для решения горных задач // Геофизика и недропользование. – 2019. – № 3.–С.27–35.

3 **Старовойтов, А. В., Владов, М. Л.** Интерпретация данных георадиолокационных наблюдений // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 3. – С. 11–14.

4 **Цао Ц., Аль-Кади, И. Л.** Разработка численной модели для прогнозирования диэлектрических свойств гетерогенного асфальтобетона // Sensors. – 2021. – Vol. 21(8). – Art. 2643. – https://doi.org/10.3390/s21082643.

5 **Фань Б., Боск Ф., Лю И., Фошар К.** Измерение диэлектрических свойств дорожных покрытий из горячей асфальтобетонной смеси с помощью коаксиального зонда с открытым концом : от лабораторных испытаний к полевым исследованиям // NDT & E International. – 2023. – Vol. 138. – 102872. – https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102872.

6 Характеризация асфальтового покрытия методом георадиолокации с использованием антенной решетки воздушного базирования // NDT & E International. – 2023. – Vol. 133. – 102726. – https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2022.102726.

7 **Домитрович Й., Дукич М., Безина Ш., Станчерич И., Рукавина Т.** Надежность методов интерпретации данных георадарного зондирования для определения толщины слоя асфальта // Материалы 8-й Международной конференции по дорожной и железнодорожной инфраструктуре (CETRA 2024). – 2024.

8 **Старовойтов, А. В., Романова, А. М., Калашников, А. Ю.** Возможности георадиолокации при изучении ослабленных зон в верхней части разреза // Инженерные изыскания. – 2011. –№ 4. – С. 62–70.

9 **Старовойтов, А. В., Пятилова, А. М., Шалаева, Н. В., Калашников, А. Ю.** Выделение пустот методом георадиолокации // Инженерные изыскания. – 2013. – № 13. – С. 26–33.

10 **Daniels, D. J.** Ground penetrating radar. – 2nd ed. – London : IET, 2017. – 726 p. – ISBN 978-1-78561-062-9.

11 **Benedetto, A., Pajewski, L.** Civil engineering applications of ground penetrating radar. – Cham : Springer, 2015. – 380 p. – ISBN 978-3-319-04812-3. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-04813-0.

12 **Annan, A. P.** Ground-penetrating radar principles, procedures and applications // Sensors. – 2016. – Vol. 16, № 3. – P. 312. – https://doi.org/10.3390/s16030312.

13 **Lai, W. W. L., Dérobert, X., Annan, A. P.** A review of ground penetrating radar application in civil engineering // NDT & E International. – 2018. – Vol. 96. – P. 1–15. – https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003.

14 **Alsharahi, G., Faize, A., Kassou, M.** Estimation of soil dielectric permittivity using GPR data // Journal of Applied Geophysics. – 2019. – Vol. 170. – P. 103831. – https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103831.

15 **Tosti, F., Pajewski, L.** Signal processing of GPR data for road surveys // Geosciences. – 2019. – Vol. 9, № 2. – P. 96. – https://doi.org/10.3390/geosciences9020096.

16 Программа обработки георадарных данных. Krot. [Электронный ресурс]. – URL: https://georadar-loza.ru/vozmojnosti/krot/ (Дата обращения: 24.11.2025).

17 **Ван С., Чжан Ю., Хуан С., Цзинь Г., Ма Т.** Прогнозирование плотности асфальтового покрытия с использованием георадара (GPR) с учетом калибровки модели на основе теории смесей и коррекции по высоте // Construction and Building Materials. – 2025. – Vol. 494. – Art. 143401. – https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143401.

REFERENCES

1 **Pupatenko, V. V., Sukhobok, Yu. A., Stoyanovich, G. M.** Opredelenie elektrofizicheskikh svoystv gruntov v otkosnykh zonakh zemlyanogo polotna pri georadarnom obsledovanii [Determination of electrophysical properties of soils in slope zones during GPR survey]// Mir transporta. – 2020. – Vol. 21, № 4. – P. 50–59.

2 **D'yakov, A. Yu.** Georadar kak instrument dlya resheniya gornykh zadach [Ground-penetrating radar as a tool for solving mining problems]// Geofizika i nedropol'zovanie. – 2019. – № 3. – P. 27–35.

3 **Starovoytov, A. V., Vladov, M. L.** Interpretatsiya dannykh georadiolokatsionnykh nablyudeniy [Interpretation of ground-penetrating radar observation data]// Razvedka i okhrana nedr. – 2001. – № 3. – P.11–14.

4 **Cao Q., Al-Qadi I. L.** Development of Numerical Model to Predict the Dielectric Properties of Heterogeneous Asphalt Concrete // Sensors. – 2021. – Vol. 21(8). – Art. 2643. – https://doi.org/10.3390/s21082643

5 **Fan B., Bosc F., Liu Y., Fauchard C.** Dielectric Measurement by Open-Ended Coaxial Line for Hot-Mix Asphalt Roads: From Laboratory Test to On-Site Investigation // NDT & E International. – 2023. – Vol. 138. – 102872. https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102872.

6 Asphalt Pavement Characterization by GPR Using an Air-Coupled Antenna Array // NDT & E International. – 2023. – Vol. 133. – 102726. – https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2022.102726.

7 **Domitrović J., Dukić M., Bezina Š., Stančerić I., Rukavina T.** Reliability of GPR Data Interpretation Methods for Determining the Thickness of Asphalt Layer // Proceedings of the 8th International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA 2024). – 2024.

8 **Starovoytov, A. V., Romanova, A. M., Kalashnikov, A. Yu.** Vozmozhnosti georadiolokatsii pri izuchenii oslablennykh zon v verkhney chasti razreza [Capabilities of ground-penetrating radar in studying weakened zones in the upper part of geological sections]// Inzhenernye izyskaniya. – 2011. – № 4. – P. 62–70.

9 **Starovoytov, A. V., Pyatilova, A. M., Shalaeva, N. V., Kalashnikov, A. Yu.** Vydelenie pustot metodom georadiolokatsii [Detection of cavities using ground-penetrating radar]// Inzhenernye izyskaniya. – 2013. – № 13. – P. 26–33.

10 **Daniels, D. J.** Ground penetrating radar. – 2nd ed. – London : IET, 2017. – 726 p. – ISBN 978-1-78561-062-9.

11 **Benedetto, A., Pajewski, L.** Civil engineering applications of ground penetrating radar. – Cham : Springer, 2015. – 380 p. – ISBN 978-3-319-04812-3. – https://doi.org/10.1007/978-3-319-04813-0.

12 **Annan, A. P.** Ground-penetrating radar principles, procedures and applications // Sensors. – 2016. – Vol. 16, № 3. – P. 312. – https://doi.org/10.3390/s16030312.

13 **Lai, W. W. L., Dérobert X., Annan A. P.** A review of ground penetrating radar application in civil engineering // NDT & E International. – 2018. – Vol. 96. – P. 1–15. – https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003.

14 **Alsharahi, G., Faize, A., Kassou, M.** Estimation of soil dielectric permittivity using GPR data // Journal of Applied Geophysics. – 2019. – Vol. 170. – P. 103831. – https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103831.

15 **Tosti, F., Pajewski, L.** Signal processing of GPR data for road surveys // Geosciences. – 2019. – Vol. 9, № 2. – P. 96. – https://doi.org/10.3390/geosciences9020096.

16 Programma obrabotki georadarnykh dannykh Krot [Program for processing GPR data Krot]. [Electronic resource]. – URL: https://georadar-loza.ru/vozmojnosti/krot/ (Accessed date : 24.11.2025).

17 **Wang S., Zhang Y., Huang X., Jin G., Ma T.** Asphalt Pavement Density Prediction Using GPR Incorporating Mixing Theory Model Calibration and Height Correction // Construction and Building Materials. – 2025. – Vol. 494. – Art. 143401. – https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143401.

Поступило в редакцию 06.04.26.
Поступило с исправлениями 23.04.26.
Принято в печать 31.08.26.

**И. М. Орман[1], К. Т. Искаков[2]*
[1]М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
Қазақстан Республикасы, Петропавл қ.;
[2]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

06.04.26 ж. баспаға түсті.
23.04.26 ж. түзетулерімен түсті.
31.08.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ГЕОРАДАР ДЕРЕКТЕРІН ЗОНДТАУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ РАДАРОГРАММАЛАРДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИЯЛАУ

Бұл мақалада «Лоза-В» георадарын қолдана отырып жүргізілген эксперименттік зерттеулер мысалында георадар деректерін бастапқы өңдеу және интерпретациялау әдістемесі баяндалады. Зерттеу полигоны ретінде біртекті орта болып табылатын, өзен құмынан құралған құмды карьер учаскесі таңдап алынды. Аталған карьер Астана қаласының маңында орналасқан және салыстырмалы түрде қарапайым геологиялық жағдайларымен сипатталады, бұл оны георадиолокациялық зондтау әдістерін сынау және верификациялау үшін тиімді тәжірибелік алаң ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Далалық эксперименттер барысында зерттелетін аумақта белгілі тереңдіктерде орналасқан табиғи және жасанды текті әртүрлі объектілер қарастырылды. Өлшеулер жүргізу үшін зондтау әдісі қолданылды, бұл әдісте антенна мен электромагниттік сигнал көзі болжанған жерасты объектісінің ортасынан бірдей қашықтықтарға жылжытылады. Мұндай тәсіл ортаның толқын таралу жылдамдықтарын және қабаттардың қалыңдығын анықтаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Жұмыста георадар көмегімен жүргізілген эксперименттік зерттеулер нәтижесінде алынған радарограммалар сериясына интерпретация жасалды, соның ішінде шағылған толқындарды, георадарлық кешендерді және жергілікті аномалияларды айқындау жүзеге асырылды. Алынған нәтижелер коэффициенттік кері есептерді шешу үшін, атап айтқанда, төселме қабаттың геофизикалық қасиеттерін – диэлектрлік өтімділік пен электр өткізгіштікті анықтау мақсатында пайдаланылды. Ұсынылған әдістеме инженерлік-геологиялық ізденістерде, грунттардың күйін диагностикалауда және жерасты ортасындағы ақауларды болжау кезінде қолданылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: георадиолокация, георадар кешендері, зондтау әдісі, радарограмма, диэлектрлік өтімділік, геологиялық қима, жыныс ылғалдылығы.

**I. M. Orman[1], K. T. Iskakov[2]*
[1]M. Kozybayev North Kazakhstan University,
Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk;
[2]L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana.
Received 06.04.26.
Received in revised form 23.04.26.
Accepted for publication 31.08.26.

INTERPRETATION OF RADAR DATA FROM GEORADAR BY THE PROBING METHOD

This article presents a methodology for the primary processing and interpretation of experimental ground-penetrating radar (GPR) data based on experimental studies carried out using the "Loza-V" georadar. A sandy quarry section composed of river sand and representing a homogeneous medium was selected as the research site. The quarry is located near the city of Astana and is characterized by relatively simple geological conditions, which makes it suitable as a test area for developing and validating ground-penetrating radar sounding techniques. During the field experiments, various natural and artificial objects buried at known depths were investigated within the study area. Measurements were performed using the sounding method, in which the antenna and the electromagnetic signal source are moved symmetrically at equal distances from the center of the presumed subsurface object. This approach makes it possible to improve the reliability of determining wave propagation velocities in the medium as well as the thicknesses of subsurface layers. The study includes the interpretation of a series of radargrams obtained from the experimental GPR surveys, involving the identification of reflected waves, GPR complexes, and local anomalies. The results are used to solve coefficient inverse problems, in particular to determine the geophysical properties of the underlying layer, such as dielectric permittivity and electrical conductivity. The proposed methodology can be applied in engineering-geological investigations, soil condition assessment, and the prediction of defects in the subsurface environment.

Keywords: ground penetrating radar, georadar systems, sounding method, radargram, dielectric permittivity, geological section, soil moisture.

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
19,0 Mb RAM
Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.
Электронное издание
19,0 Mb RAM
Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Заказ № 4601

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz