

Научная статья
УДК 550.837.76
DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202503-04>

Расчет коэффициентов отражения и прохождения сигнала георадара в программе MATRIX PRO

В.В. Антипов¹, Д.С. Горкин²

^{1,2} Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (Москва, Россия)

¹ antipov@izmiran.ru, ² gorkin@izmiran.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Результаты георадара обычно приводят в амплитудно-фазовом представлении с цветовой шкалой, которая подбирается вручную и служит лишь для более простого визуального восприятия радарограмм. Отдельные слои выделяются по осям синфазности. Указанное представление не является информативным для инженеров геологов и геотехников. Необходимо более простое и в то же время информативное представление результатов в виде разрезов из инженерно-геологических элементов, а также требуются новые модели представления и алгоритмы обработки георадарных данных. В качестве одного из направлений развития рассматривается возможность выделения информации о коэффициентах отражения и прохождения на границах раздела сред.

Цель. Определить возможность расчета из данных георадаров коэффициентов отражения и прохождения, выявить связь с коэффициентом затухания и разработать алгоритм их оценки при обработке георадарных данных для повышения информативности представления результатов георадаров и развития новых моделей представления данных в виде разрезов из инженерно-геологических элементов.

Результаты. Предложен алгоритм обработки и представления данных съемки георадаром. На натурных данных показана возможность расчета из данных георадаров коэффициентов отражения и прохождения. Предложенный алгоритм реализован в программном обеспечении разработки MATRIX PRO.

Практическая значимость. Предложенный алгоритм может в дальнейшем быть адаптирован для выделения коэффициентов затухания с возможностью связывания их с удельной проводимостью грунтов и создания новых моделей представления данных георадара для использования в результатах инженерно-геофизических исследований.

Ключевые слова

Георадар, коэффициент отражения, коэффициент прохождения, коэффициент преломления, коэффициент затухания

Для цитирования

Антипов В.В., Горкин Д.С. Расчет коэффициентов отражения и прохождения сигнала георадара в программе MATRIX PRO // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 22–31. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-04>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Результаты георадара обычно приводят в амплитудно-фазовом представлении с цветовой шкалой, которая подбирается вручную и служит лишь для более простого визуального восприятия радарограмм. Отдельные слои выделяются по осям синфазности. Указанное представление не является информативным для инженеров геологов и геотехников. Необходимо более простое и в то же время информативное представление результатов в виде разрезов из инженерно-геологических элементов, а также требуются новые модели представления данных. Для решения задачи повышения информативности результатов георадарной съемки разрабатываются новые модели и алгоритмы обработки исходных данных. В качестве одного из направлений развития в данной работе рассматривается возможность выделения информации о коэффициентах отражения и прохождения на границах раздела сред.

Ц е л ь р а б о т ы – определить возможность расчета из данных георадаров коэффициентов отражения и прохождения, выявить связь с коэффициентом затухания и разработать алгоритм их оценки при обработке георадарных данных для повышения информативности представления результатов георадаров и развития новых моделей представления данных в виде разрезов из инженерно-геологических элементов.

© Антипов В.В., Горкин Д.С., 2025

С этой целью летом 2024 г. в Подмосковье были проведены съемки водоема георадаром «ЭХО СФЕРА» [1–3]. Длина антенн 1 м, частота 150 МГц, выходная мощность передатчика 200 кВт (5 кВ), период дискретизации записи 1 нс. На рис. 1 приведены результаты съемки в амплитудно-фазовом представлении. На исходных данных без обработки явно видно, что в левой части радарограммы часть съемки выполнялись по берегу водоема, в большой правой части – по воде. Глубина пресного водоема около 1 м. Дно песчано-галечное.

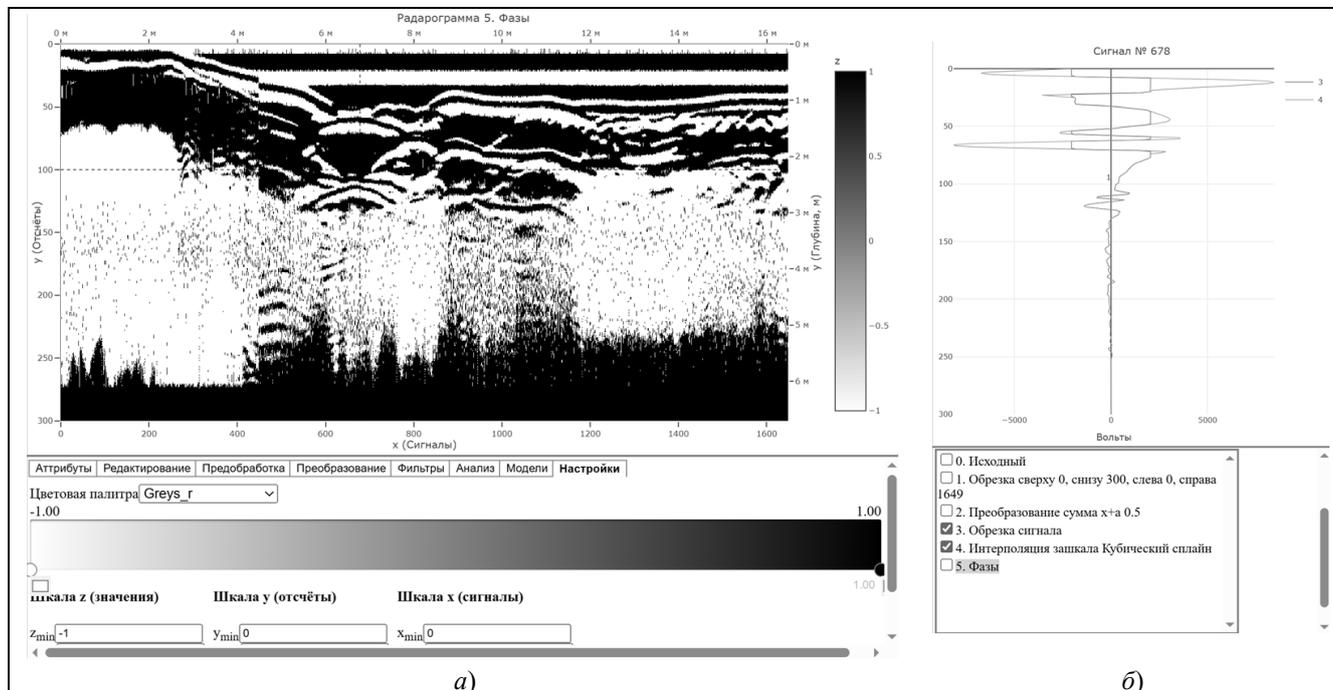


Рис. 1. Результаты съемки в амплитудно-фазовом представлении: *a* – радарограмма в бинарном виде; *б* – в волновой форме
 Fig. 1. The results of the survey in the amplitude-phase representation: *a* – a radar image in binary form; *b* – in wave form

Материалы и методы

Коэффициент затухания α – величина, которая характеризует уменьшение амплитуды волны при её распространении в среде. Затухание происходит из-за рассеяния энергии волны, поглощения её средой или других факторов, приводящих к потере энергии.

Затухание связано с потерей энергии, тогда как коэффициенты отражения и прохождения относятся к распределению энергии между отраженной и прошедшей волной на границе раздела сред. Однако все эти процессы связаны с общей энергетикой волны [4–6]. Рассмотрим связь между этими понятиями.

Затухание. Коэффициент затухания описывает экспоненциальное уменьшение амплитуды волны по мере её распространения в среде. Например, для плоской волны зависимость амплитуды от расстояния x выражается следующим образом [6]:

$$A(x) = A_0 e^{-\alpha x}, \tag{1}$$

где A_0 – начальная амплитуда; α – коэффициент затухания; x – пройденный путь.

Таким образом, коэффициент затухания определяет, насколько быстро уменьшается интенсивность волны в данной среде.

Отражение и прохождение. Эти коэффициенты показывают распределение энергии волны между двумя средами на границе раздела. Взаимосвязь этих коэффициентов определяется как [7]

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = 1 - T, \tag{2}$$

где R – коэффициент отражения в среде; n_1, n_2 – действительный коэффициент преломления в первом и втором слоях соответственно; T – коэффициент прохождения волны.

Они определяют изменение направления распространения волны, но не обязательно учитывают потерю энергии из-за затухания внутри одной из сред.

Взаимосвязь. Если среда имеет значительное затухание, то после прохождения некоторого пути волна теряет значительную часть своей энергии. Следовательно, даже если она не отражается полностью на границах, оставшаяся энергия будет уменьшаться из-за внутреннего затухания. В таком случае, общее количество энергии, которое пройдет через среду, будет зависеть как от коэффициента прохождения, так и от коэффициента затухания.

Например, если волна проходит через несколько слоев среды с разным показателем преломления и значениями коэффициента затухания, то итоговая энергия прошедшей волны будет результатом как многократных процессов отражения/прохождения, так и затухания в каждом слое. Таким образом, хотя коэффициенты отражения и прохождения описывают поведение волны на границах раздела сред, а коэффициент затухания – процесс уменьшения энергии внутри среды, оба этих явления влияют на общую картину распределения энергии волны [6]. Общая картина распределения энергии может быть охарактеризована с помощью комплексного показателя преломления [7]

$$\tilde{n} = n + ik, \quad (3)$$

где n – действительная часть комплексного показателя преломления, которая связана с фазовой скоростью волны в среде, аналогичен обычному коэффициенту преломления, характеризует способность среды изменять скорость распространения электромагнитных волн (в частности, света); ik – мнимая часть, которая описывает затухание волны в среде; k – коэффициент экстинкции.

Комплексный показатель преломления объединяет в себе информацию о преломлении и затухании волны в среде. Действительная часть n влияет на изменение скорости волны и направление ее распространения, а мнимая часть k – на затухание волны. Эти два аспекта вместе определяют коэффициенты отражения и прохождения, обеспечивая полное описание поведения волны на границе раздела сред и внутри среды.

В неоднородной среде для регистрируемого отраженного сигнала коэффициент затухания будет непостоянным, поэтому можем изменение степени затухания представить в виде функции $\alpha(t)$ изменения коэффициента затухания сигнала, на которой имеются всплески прихода отраженной волны. Рассмотрим ситуацию, когда сигнал проходит через среду, и на графике изменения коэффициента затухания наблюдаются всплески, соответствующие приходу отраженных волн. Важно установить связь между местами всплесков, производной коэффициента отражения и самим коэффициентом отражения. Местоположение всплеска на графике затухания сигнала соответствует моменту прихода отраженной волны. Это указывает на тот факт, что в момент отражения часть энергии возвращается назад, вызывая увеличение уровня сигнала. Величина всплеска может быть прямо связана с коэффициентом отражения R , который определяет долю энергии, возвращающейся от границы раздела сред.

Модель

Пусть падающая волна характеризуется амплитудой A_0 . После отражения от границы раздела амплитуда отраженной волны составит $A_R = RA_0$. Всплеск на графике затухания будет пропорционален этому изменению амплитуды, и его величина будет зависеть от значения R . Представим сигнал как сумму отраженных сигналов, каждый из которых представляет собой отдельную экспоненту (1), пришедшую с задержкой по времени. В качестве упрощения модели допускаем, что логарифм суммы экспонент пропорционален линейной функции изменения коэффициента затухания. В таком простом случае после взятия натурального логарифма получаем функцию изменения коэффициента затухания, близкую к линейной, которая будет пропорциональна изменению коэффициента отражения.

Производная коэффициента затухания \frac{dadt} описывает скорость изменения коэффициента отражения относительно времени. Эта величина может быть интерпретирована как изменение эффективности поглощающей способности среды на границе раздела сред, когда осуществляется резкий переход волны из одного слоя в другой. В этом случае на линейном графике изменения коэффициента затухания будут

наблюдаться всплески, места резких скачков, которые должны соответствовать приходу отраженного сигнала, т.е. границам раздела сред, для которых можно условно рассчитать коэффициенты отражения. Увеличение коэффициента поглощения со временем может указывать на изменение свойств среды.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2–9 приведен предлагаемый пошаговый алгоритм обработки данных георадара и расчета коэффициентов отражения и прохождения на основе модели, реализованный в программном обеспечении MATRIX PRO [8]. Для удобства в подписях к рисункам подробно описываются производимые операции алгоритма. Сверху отмечено расстояние в метрах; слева – время в наносекундах (один отсчет равен периоду дискретизации 1 нс); справа – глубина в метрах. Также справа от радарограммы расположена цветовая линейка в заданном интервале значений дискретных функций сигналов радарограммы. На некоторых радарограммах дополнительно изображаются графики формы отдельных сигналов береговой и водной зон, наглядно демонстрируя преобразования функций после каждого этапа обработки.

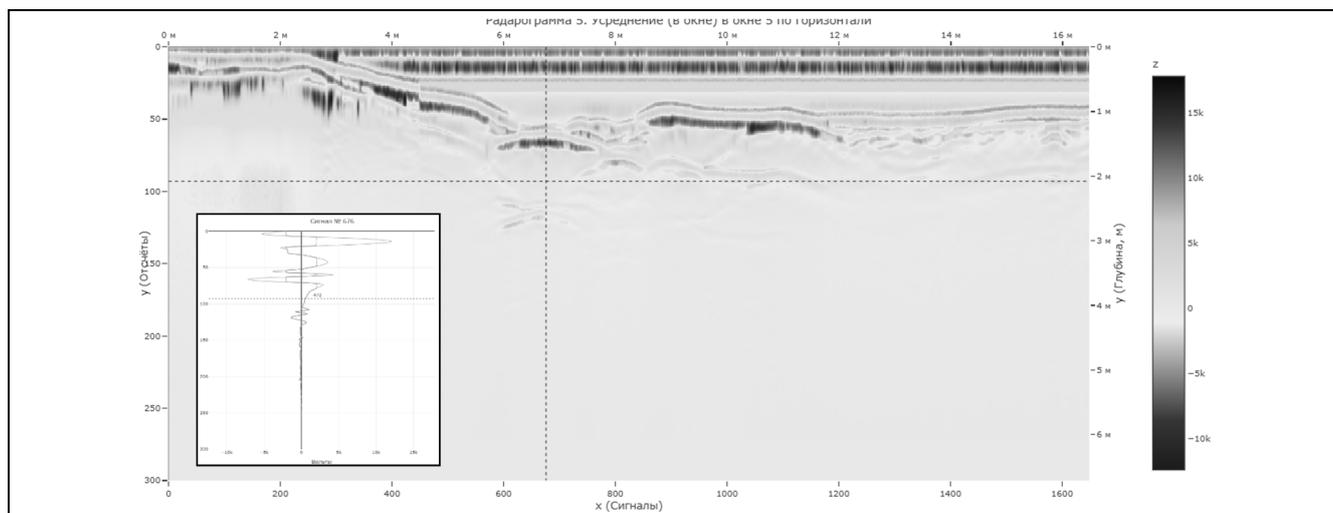


Рис. 2. Данные после предобработки (выполнены интерполяция зашкаливающих значений, обрезка лишних данных сверху и снизу, усреднение с помощью метода простого скользящего среднего в окне 5 по горизонтали, чтобы сгладить помехи непрерывной записи)

Fig. 2. Data after preprocessing (interpolation of off-scale values, trimming of excess data from the top and bottom, averaging using the Simple Moving Average method in a window of 5 horizontally to smooth out interference from continuous recording)

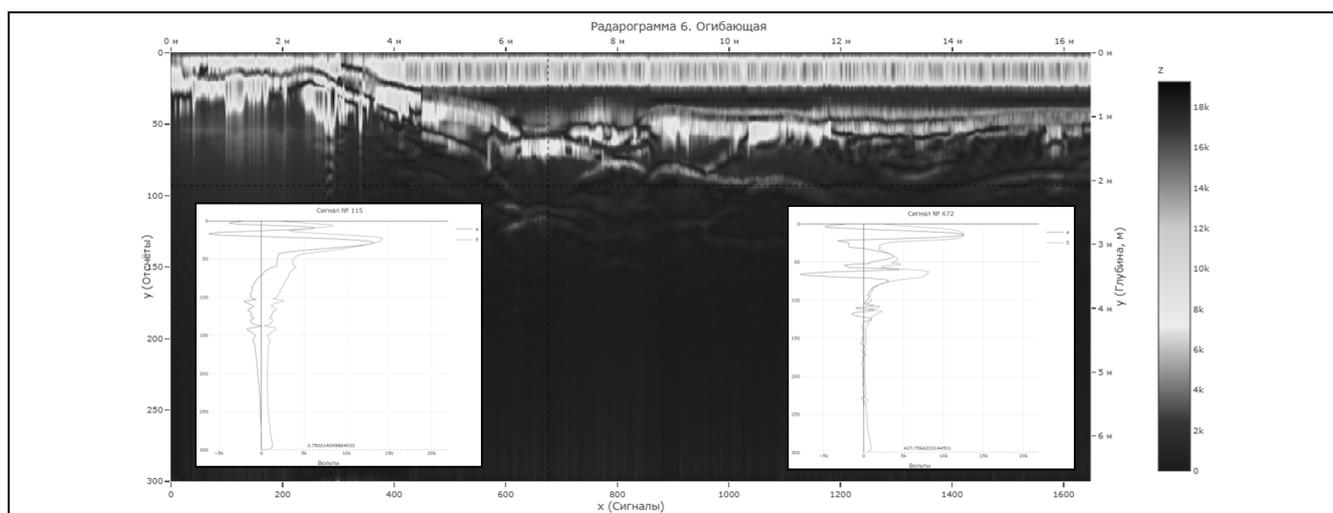


Рис. 3. Огибающая с помощью преобразования Гильберта для нивелирования отрицательных значений, возникающих из-за колебательного процесса аналого-цифрового преобразователя

Fig. 3. Envelope using Hilbert transform to cancel out negative values due to ADC oscillation

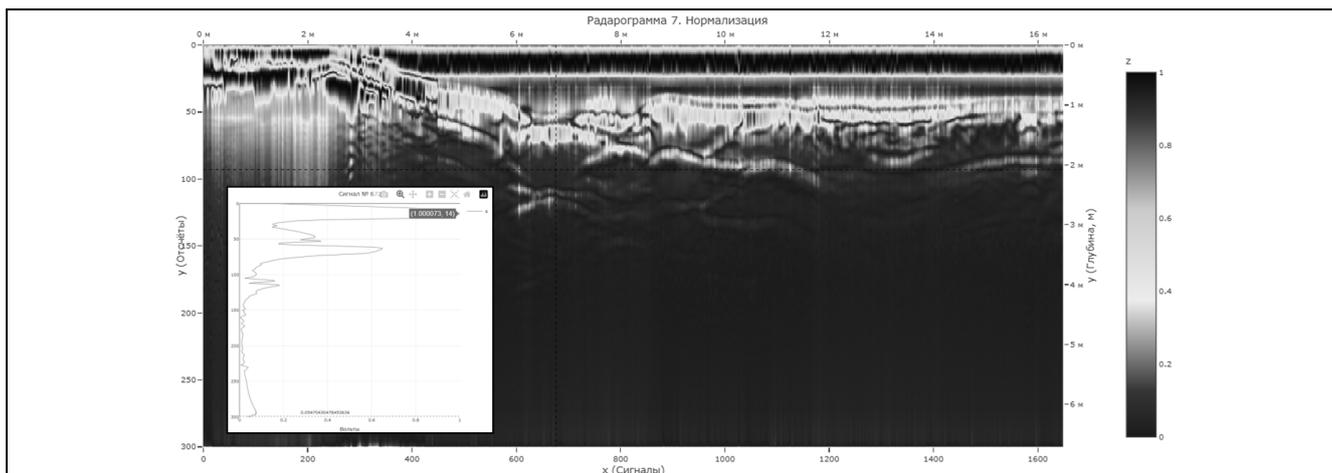


Рис. 4. Результат нормализации сигналов для выравнивания масштаба в интервале значений 0–1

Fig. 4. Normalization of signals to equalize the scale in the range of values 0–1

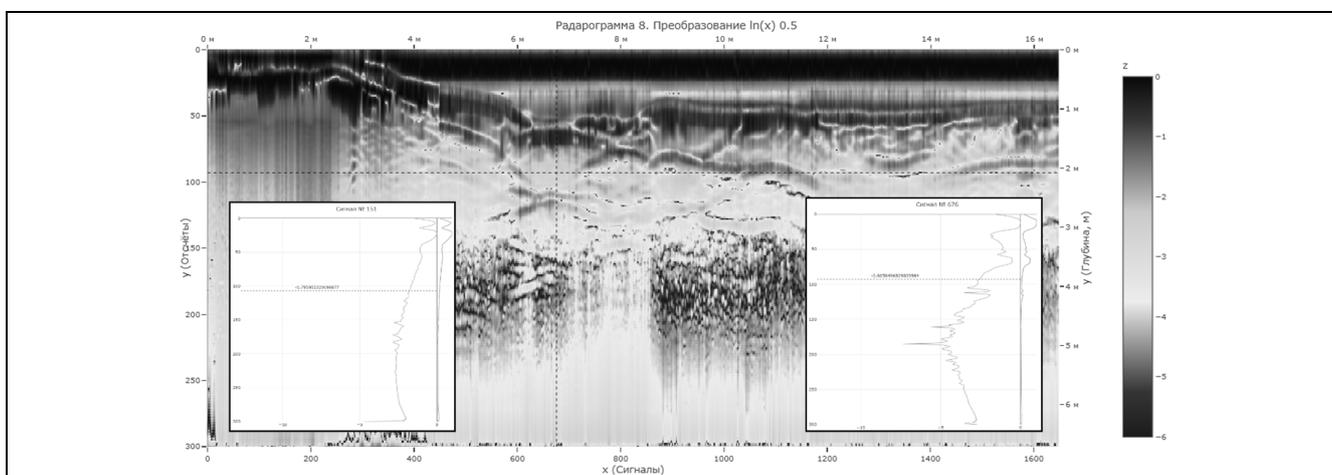


Рис. 5. Результат преобразования фактической кривой с помощью натурального логарифма (получена функция изменения коэффициента падения сигнала во времени/по глубине)

Fig. 5. Transformation of the actual curve using the natural logarithm (we obtain the function of the change in the coefficient of signal attenuation in time/depth)

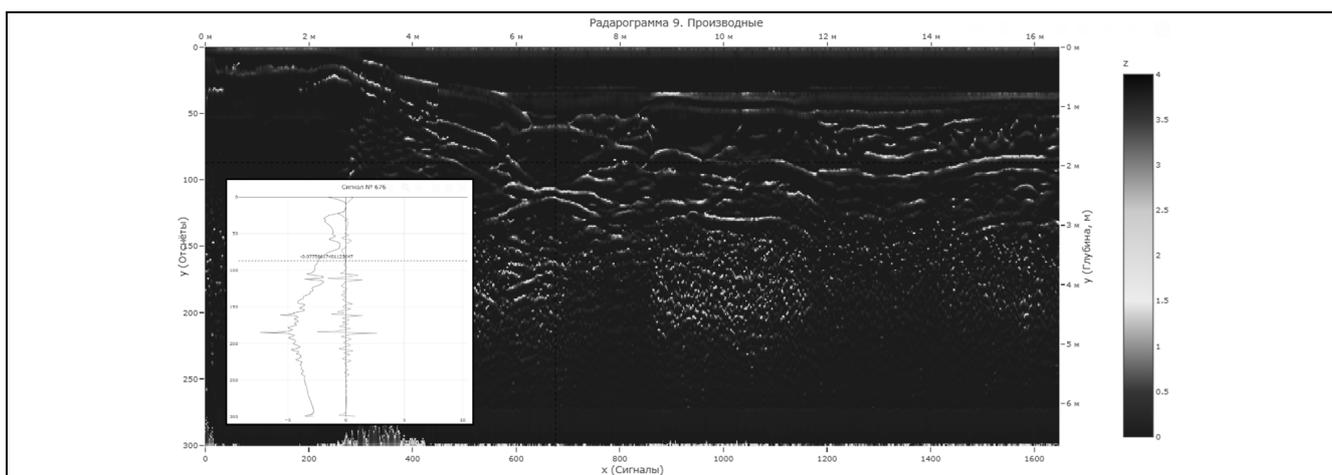


Рис. 6. Производные для качественного выделения мест резких изменений коэффициента падения сигнала, которые могут характеризовать границы раздела сред, а также цветовая шкала без отрицательных значений для наглядности

Fig. 6. Derivatives for qualitative identification of places of sharp changes in the signal attenuation coefficient. These sharp changes which can characterize the boundaries of the division of soil strata; color scale without negative values for clarity

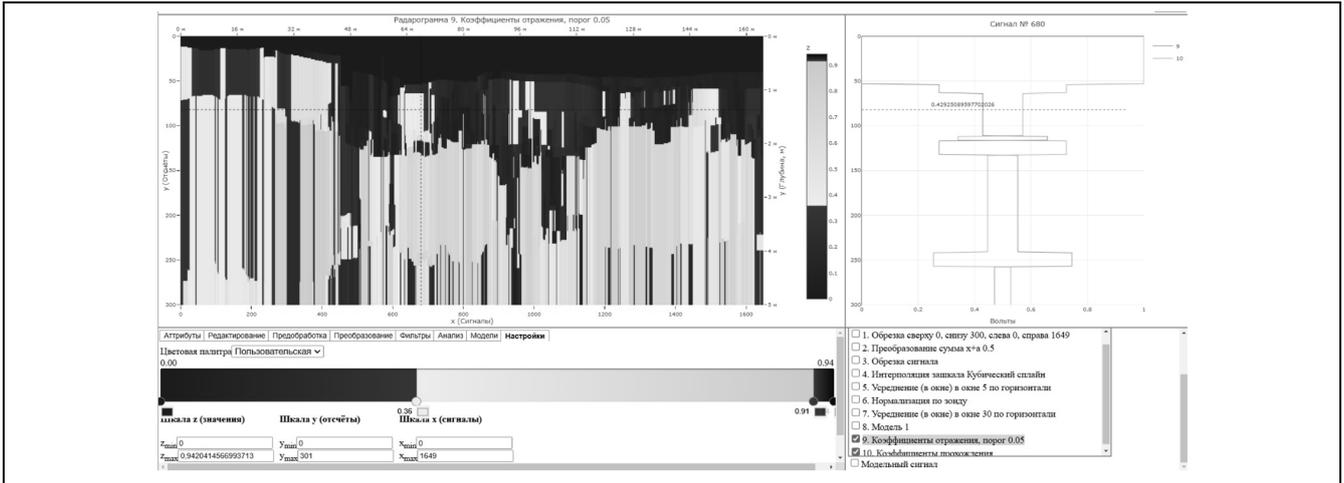


Рис. 7. Результат расчета коэффициентов отражения по выделенным границам изменения коэффициентов затухания и по фазовым характеристикам сигналов

Fig. 7. Calculation of reflection coefficients based on the selected boundaries of the change in attenuation coefficients and on the phase characteristics of signals

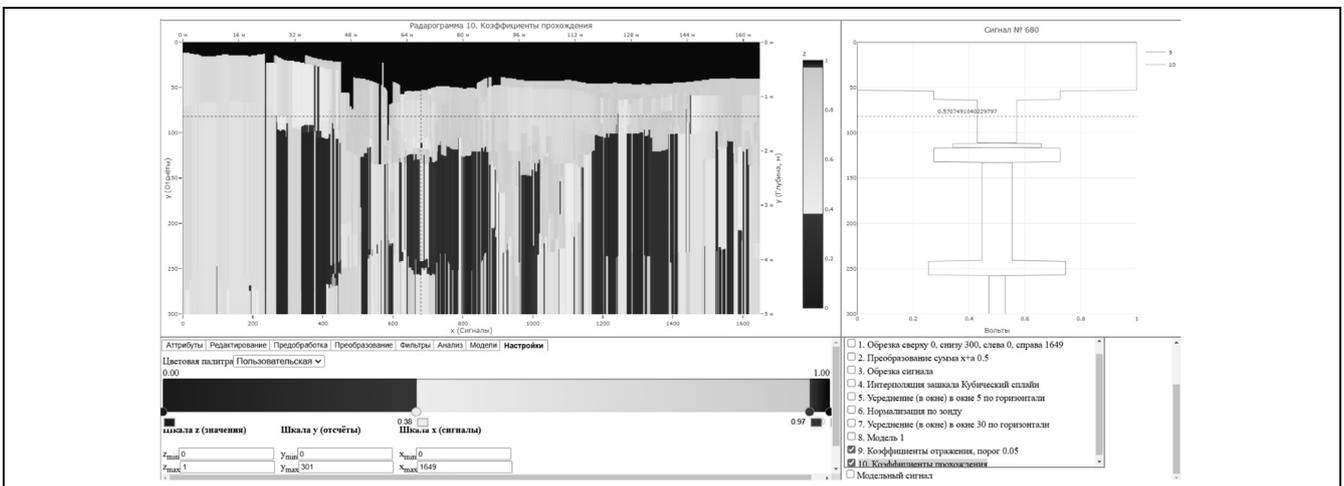


Рис. 8. Результат расчета коэффициентов прохождения, а также обратная функция коэффициента отражения

Fig. 8. Calculation of transmission coefficients, inverse function of reflection coefficient

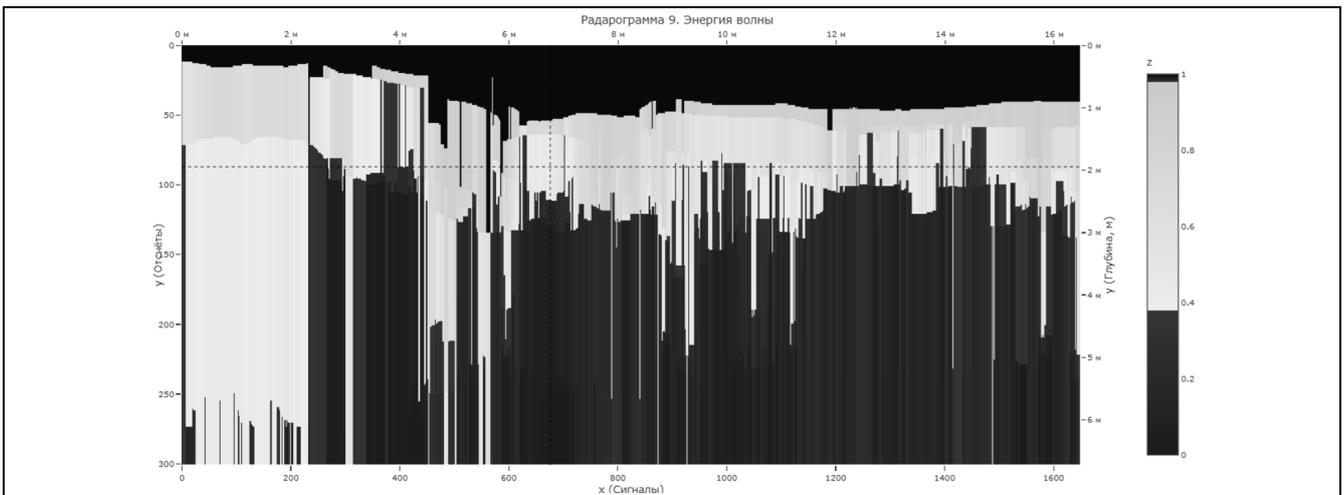


Рис. 9. Результат распределения относительной энергии волны по слоям (качественная картина)

Fig. 9. Distribution of relative wave energy by layers (qualitative picture)

В целом прослеживается общий линейный тренд (рис. 5), соответствующий линейной функции затухания [6]:

$$\alpha(t) = \ln(e^{-\alpha t}) = -\alpha t.$$

Места, где функция меняет угол наклона и имеет характерные скачки, могут показывать места прихода отраженного от границ раздела сред сигнала.

Там, где функция изменения коэффициента затухания становится постоянной (коэффициент затухания 0) или даже начинает возрастать, рассматривается место, где полезный сигнал полностью ослаб и начался шум записи.

Поскольку у искровых разрядников нестабильна амплитуда, то на передатчике разброс может составлять до 5%. Поэтому имеют место вертикальные артефакты (рис. 7–9), которые выбиваются из общей горизонтальной картины, образуются из-за несовершенного механизма выравнивания сигналов по начальной амплитуде зонда для всей радарограммы [9, 10].

Известно, что в верхней области находится вода, далее – увлажненный грунт, а ниже – более сухой грунт, поэтому можно считать результаты по принятой модели адекватными.

Построим оценочную модельную кривую затухания амплитуды сигнала (рис. 10) с использованием ранее обозначенной модели экспоненты (1). Как видно на рис. 10, одна кривая может характеризовать только верхнюю часть, соответствующую водному слою. Вероятно, для получения более качественной модели необходимо использовать итерационный процесс из нескольких приближений с учетом задержки по времени для отраженных сигналов.

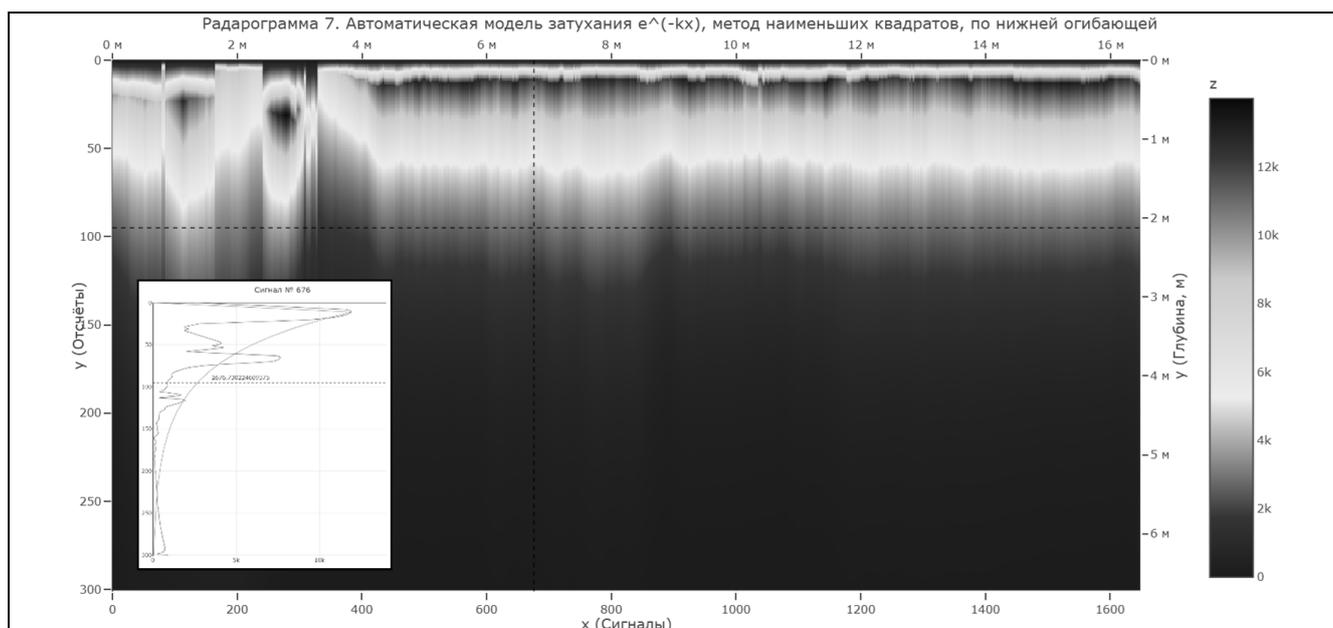


Рис. 10. Автоматически построенная модельная кривая затухания амплитуды по экспоненте (подгонка осуществлена методом наименьших квадратов)

Fig. 10. Automatically constructed model curve of amplitude attenuation according to exponential function (fitting was carried out by the method of least squares)

Заключение

В результате проведенных исследований предложен алгоритм обработки и представления данных съемки георадаром. На натурных данных показана возможность расчета из данных георадаров коэффициентов отражения и прохождения. Рассмотренный метод может в дальнейшем быть адаптирован для выделения коэффициентов затухания и иметь возможность связать их с удельной проводимостью грунтов, а также быть адаптирован для создания новых моделей представления данных георадара для использования в результатах инженерно-геофизических исследований.

Список источников

1. Патент на полезную модель RU218691 от 06.06.2023. Георадар для радиолокационного зондирования подстилающей поверхности / Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И.
2. Патент на полезную модель RU219610U1 от 27.07.2023. Передатчик георадара / Горкин Д.С., Сахтеров В.И.
3. Варенков В.В., Горкин Д.С., Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Результаты экспериментов с георадаром «Сфера» // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 66–70. DOI 10.18127/j15604128-202405-10.
4. Макаров А.М., Лунева Л.А. Основы электромагнетизма. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.
5. Беркут А.И., Копейкин В.В., Морозов П.А., Криницкий Л.М., Ульяновцев Н.А., Попов А.В., Прокопович И.В. Глубинный георадар. Исследования геологической структуры подстилающей поверхности. Экспериментальные данные и численное моделирование. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.geo-radar.ru/publish/pub8.php#1>, дата обращения 26.02.2025.
6. Теоретические основы радиолокации. Под ред. В.Е. Дулевица. М.: Сов. Радио. 1964. 731 с.
7. Литвинов О.С., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2006. 446 с.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025619848 от 18.04.2025. MATRIX PRO / Горкин Д.С., Антипов В.В.
9. Попов А.В., Прокопович И.В., Едемский Д.Е., Морозов П.А., Беркут А.И. Глубинный георадар: принципы и применение // Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23. № 4. С. 28–36.
10. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Ляхов Г.А., Резников А.Е. Георадиолокация больших глубин // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 4. С. 5.

Информация об авторах

Вадим Валерьевич Антипов – к.т.н., науч. сотрудник

SPIN-код: 1685-6542

Дмитрий Сергеевич Горкин – науч. сотрудник

SPIN-код: 5641-7300

Статья поступила в редакцию 20.04.2025

Одобрена после рецензирования 26.05.2025

Принята к публикации 02.06.2025

ЖУРНАЛ «НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ: РАЗРАБОТКА, ПРИМЕНЕНИЕ»

Главный редактор: член-корреспондент РАН, докт. техн. наук, профессор **Вадим Анатольевич Шахнов**

Международный научно-технический журнал, освещающий вопросы разработки и применения перспективных интеллектуальных систем и технологий.

Включен в Перечень ВАК

Издается с 1999 г.

ISSN 1999-8554



Периодичность – 6 номеров в год

«Пресса России» - индекс 83825

Научные специальности ВАК

- 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
- 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей
- 2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования
- 2.3.8 Информатика и информационные процессы
- 3.3.7. Авиационная, космическая и морская медицина
- 3.3.9. Медицинская информатика
- 5.7.6. Философия науки и техники

Подписаться на журналы, выпускаемые Издательством Радиотехника (см. 4-ю сторону обложки), можно с любого месяца и на любой срок непосредственно в Издательстве.

Адрес Издательства:

101000, г. Москва, Подсосенский пер., д. 14, стр. 2

тел. +7(495)625-92-41

<http://www.radiotec.ru>, e-mail: info@radiotec.ru

Original article

Calculation of reflection and transmission coefficients of a ground penetrating radar signal in MATRIX PRO software

V.V. Antipov¹, D.S. Gorkin²^{1,2} Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (Moscow, Russia)¹ antipov@izmiran.ru, ² gorkin@izmiran.ru

Abstract

The results of Ground Penetrating Radar (GPR) are usually presented in the amplitude-phase representation with a color scale, which is selected manually and serves only for easier visual perception of radargrams. Individual layers are highlighted along the isophase lines. The specified representation is not informative for geological and geotechnical engineers. A simpler and at the same time informative representation of the results in the form of sections from engineering-geological elements is needed, so new models of data representation are required. To solve the problem of increasing the information content of GPR results, new models and algorithms for processing the initial data are being developed. As one of the directions of development in this work, the possibility of extracting information on the reflection and transmission coefficients at the interfaces of the media is considered.

The purpose of the work is to determine the possibility of calculating the reflection and transmission coefficients from GPR data based on in-situ data, to identify the relationship with the attenuation coefficient and to develop an algorithm for their evaluation when processing GPR data, in order to increase the information content of the presentation of GPR results and to develop new models for data presentation in the form of sections from engineering-geological elements.

For this purpose, in the summer of 2024, a lake was surveyed in the Moscow region using the ECHO SPHERE ground penetrating radar. The antenna length was 1 m, the frequency was 150 MHz, the transmitter output power was 200 kW (5 kV), and the recording sampling period was 1 ns. Part of the survey was carried out along the shore of the lake, and another part was from the water surface. The depth of the lake is about 1 m. The bottom is sandy and pebbly. A model based on the relationship between the signal reflection coefficient and attenuation coefficient was used to process the data.

The attenuation coefficient describes the reduction in wave amplitude during propagation through a medium due to energy dissipation, absorption, and other factors leading to energy loss. It influences the overall energy level of the wave, whereas reflection and transmission coefficients describe how energy is distributed between reflected and transmitted waves at the boundary between different media. Significant attenuation causes substantial energy loss over distance, affecting the remaining energy even if there is not full reflection at the boundaries. Total energy passing through the medium depends on both the transmission coefficient and the attenuation coefficient. This comprehensive view can be represented by the complex refractive index, combining refraction effects and wave attenuation within the medium. In an inhomogeneous medium, the attenuation coefficient for the recorded reflected signal will be variable, so we can represent the change in the attenuation degree as a function of the change in the signal attenuation coefficient in time, which has bursts of arrival of the reflected wave.

Consider an incident wave with amplitude A_0 . Upon reflection, the reflected wave's amplitude becomes $A_r = RA_0$, where R represents the reflection coefficient. The attenuation plot exhibits spikes proportional to changes in amplitude, reflecting the influence of R . We approximate the signal as a summation of delayed reflections, assuming the logarithm of this sum follows a linear relation with the attenuation coefficient. Taking the natural logarithm yields a near-linear function correlating with the reflection coefficient. The derivative of the attenuation coefficient measures how quickly the reflection coefficient changes over time, indicating shifts in the medium's absorption efficiency across interfaces. Linear plots of attenuation coefficient changes reveal abrupt jumps corresponding to reflected signal arrivals, signifying boundaries between media. Changes in the absorption coefficient suggest alterations in material properties. Based on this model, a special algorithm was proposed to estimate reflection and transmission coefficients from GPR data. The proposed algorithm was implemented in the MATRIX PRO program of our own develop.

The possibility of estimating reflection and transmission coefficients from GPR data was proved using in-situ data. The proposed model and algorithm for processing and presenting GPR data showed adequate results, which clearly highlight the water layer and the boundary of the lake bottom. Practical significance of the results is the proposed method can be further adapted to identify attenuation coefficients and have the ability to relate them to the specific conductivity of soils. The proposed method can be adapted to create new models for representing GPR data for use in the results of engineering geophysical studies.

Keywords

Ground Penetrating Radar, reflection coefficient, transmission coefficient, refractive index, attenuation coefficient

For citation

Antipov V.V., Gorkin D.S. Calculation of reflection and transmission coefficients of a ground penetrating radar signal in MATRIX PRO software. *Electromagnetic waves and electronic systems*. 2025. V. 30. № 3. P. 22–31. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-04> (in Russian)

References

1. Utility model patent RUS218691 dated 06.06.20234. Georadar for radar sensing of the underlying surface. *Gorkin D.S., Varenkov V.V., Sakhterov V.I.* (in Russian)
2. Utility model patent RU219610U1 dated 27.07.2023. Georadar transmitter. *Gorkin D.S., Sakhterov V.I.* (in Russian)
3. *Varenkov V.V., Gorkin D.S., Smirnov A.D., Sahterova T.V., Sahterov V.I.* The results of experiments with the GPR «Sphere». *Electromagnetic waves and electronic systems*. 2024. V. 29. № 5. P. 66–70. DOI 10.18127/j15604128-202405-10. (in Russian)

4. *Makarov A.M., Luneva L.A.* Fundamentals of electromagnetism. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. 2002. (in Russian)
5. *Berkut A.I., Kopeikin V.V., Morozov P.A., Krinitsky L.M., Ulyantsev N.A., Popov A.V., Prokopovich I.V.* Deep GPR. Studies of the geological structure of the underlying surface. Experimental data and numerical modeling. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.geo-radar.ru/publish/pub8.php#1>, date of reference on 26.02.2025. (in Russian)
6. Theoretical foundations of radar. Edited by *V.E. Dulevich*. Moscow: Sov. Radio. 1964. 731 p. (in Russian)
7. *Litvinov O.S., Gorelik V.S.* Electromagnetic waves and optics. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. 2006. 446 p. (in Russian)
8. Certificate of state registration of the computer program № 2025619848 dated 18.04.2025. MATRIX PRO. *Gorkin D.S., Antipov V.V.* (in Russian)
9. *Popov A.V., Prokopovich I.V., Edemsky D.E., Morozov P.A., Berkut A.I.* Deep GPR: principles and application. Electromagnetic waves and electronic systems. 2018. V. 23. № 4. P. 28–36. (in Russian)
10. *Volkomirskaya L.B., Gulevich O.A., Lyakhov G.A., Reznikov A.E.* Georadiolocation of great depths. Journal of Radio Electronics. 2019. № 4. P. 5. (in Russian)

Information about the authors

Vadim V. Antipov – Ph.D. (Eng.), Research Scientist

Dmitry S. Gorkin – Research Scientist

The article was submitted 20.04.2025

Approved after reviewing 26.05.2025

Accepted for publication 02.06.2025

ЖУРНАЛ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Главный редактор: академик РАН *Владимир Алексеевич Черепенин*

Международный научно-технический и теоретический журнал, освещающий большой круг оригинальных идей и результатов научных исследований.

Включен в состав базы Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

Включен в Перечень ВАК

Издается с 1996 г.

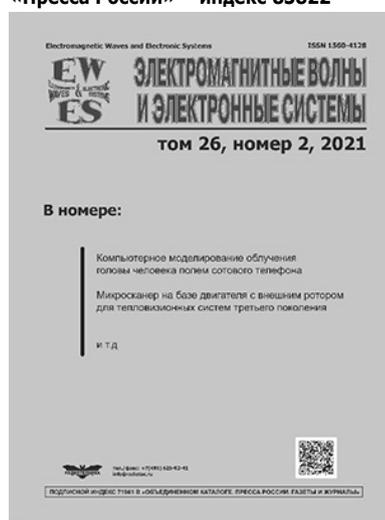
ISSN 1560-4128

Периодичность – 6 номеров в год

«Пресса России» – индекс 83822

Научные специальности ВАК

- 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение
- 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики
- 1.3.8. Физика конденсированного состояния
- 1.3.4. Радиофизика
- 1.3.5. Физическая электроника
- 1.3.6. Оптика
- 1.3.12. Физика магнитных явлений
- 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника
- 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств
- 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры
- 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения
- 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии
- 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
- 2.2.16. Радиолокация и радионавигация



Подписаться на журналы, выпускаемые Издательством Радиотехника (см. 4-ю сторону обложки), можно с любого месяца и на любой срок непосредственно в Издательстве.

Адрес Издательства:

101000, г. Москва, Подсосенский пер., д. 14, стр. 2

тел. +7(495)625-92-41

<http://www.radiotec.ru>, e-mail: info@radiotec.ru