

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 631.6: 631.421.1

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ РАЗЛИЧНЫЕ ГРУНТЫ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

А. С. Анженков, кандидат технических наук
В. П. Закржевский, старший научный сотрудник
П. И. Кирвель, кандидат географических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Проведены полевые исследования изменения параметров радиосигнала при прохождении через характерные почвогрунты мелиоративных систем. Выявлены особенности затухания радиосигналов в условиях действующих мелиоративных систем. Установлены частоты, которые можно использовать для передачи информационных потоков через массив почвогрунта.

Ключевые слова: радиопроницаемость, затухание сигнала, грунты мелиоративных систем.

Abstract

A. S. Anzhenkov, V. P. Zakrzhevsky, P. I. Kirvel
FEATURES OF DETERMINING RADIO SIGNAL PARAMETERS WHEN PASSING THROUGH DIFFERENT SOILS OF LAND ON RECLAMATION SYSTEMS

The field studies of radio signal parameters changes at passing through characteristic soil of reclamation systems are carried out. Peculiarities of radio signal attenuation in conditions of operating land reclamation systems were revealed. Frequencies, which can be used for transmission of information flows through the soil-soil array, are established.

Keywords: radio permeability, signal attenuation, soils of reclamation systems.

Введение

С течением времени, по причине естественного старения и накопления повреждений, сложность и энергоемкость обслуживания закрытой мелиоративной сети возрастают, вплоть до необходимости ее реконструкции. Только обладая полной информацией о месте и виде повреждений можно эффективно планировать и проектировать мероприятия по восстановлению работоспособности труднодоступных элементов мелиоративных систем.

Обслуживание закрытой мелиоративной сети, от которого напрямую зависит продолжительность ее работы без дорогостоящей реконструкции, требует точного определения местоположения таких элементов, как дренажное устье, примыкание дрен с коллекто-

ром, место установки колонки- и колодца-поглотителя.

В Беларуси осушено 2,9 млн га, из них 2,2 млн га (74 %) закрытой дренажной сетью, относительно сложной для эксплуатации, и, как следствие, необходимо использовать специализированную технику и для обслуживания, и обнаружения полностью скрытых подземных элементов. С учетом роста планируемых объемов реконструкции до 110 тыс. га в 2023 г. остро встает вопрос об увеличении сроков проведения работ и уменьшении их стоимости, что можно обеспечить ускорением и повышением эффективности изысканий на стадии проектирования. Для этого следует повысить оперативность и точность обнаружения всех элементов мелиоративной сети.

В мировой практике используются материальные маркеры, георадиолокация и электронное маркирование. Наибольшую надежность, точность и оперативность дает применение электронных маркеров. Их преимущество заключается в отсутствии помех для землепользования, точности позициони-

Основная часть

Исходя из анализа существующих технологий практическое определение местоположения элементов закрытой мелиоративной сети планируется осуществлять с помощью радиометок, расположенных на элементах закрытой мелиоративной сети. В данной статье устанавливаются параметры радиосигналов, обеспечивающие обнаружение местоположения скрытых под землей конструкций осушительной сети.

Новизна исследования состоит в том, что впервые выявляется зависимость затухания (поглощения) радиосигналов различной частоты в характерных почвогрунтах мелиорированных земель Беларуси с учетом их влажности, температуры и гранулометрического состава.

Общее правило при распространении всех радиоволн на малые расстояния заключается в том, что они распространяются как земные, и это правило в некоторой степени условно. Несмотря на особенности различных диапазонов, существуют общие закономерности распространения радиоволн. Они сводятся к тому, что в любой системе передачи сигнала присутствуют такие элементы, как передатчик, приемник и среда, в которой происходит распространение радиоволн. Под особенностью распространения радиоволн в свободном пространстве принято понимать однородную, безграничную, непоглощающую среду, относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость которой равна единице [1]. Строго говоря, подобных

рования, надежности определения, долговечности. Недостатками являются необходимость маркирования объектов в процессе строительства и (или) эксплуатации, а также влияние типа и состояния почвогрунтов на эффективность обнаружения маркера.

сред в природе не существует. Однако в каждом конкретном случае, при определенных допущениях, реальные среды могут быть уподоблены свободному пространству.

В полевых исследованиях по измерению затухания радиосигналов при прохождении через почвогрунты мелиорированных земель использовался метод свободного пространства, описанный в [2–4].

Параметры радиосигнала при прохождении через различные почвогрунты определялись в различных комбинациях их видов при различных влажностях, температурах, гранулометрическом составе и на различном удалении от приемных и передающих антенн. Исследования параметров радиосигнала при прохождении через почвогрунты проводилось с применением анализатора спектра АКП-4205 в диапазоне частот 9 кГц – 3,0 ГГц. При измерениях в различных диапазонах было задействовано два вида измерительных антенн: антенны штыревого типа для измерения затухания сигнала в диапазоне частот от 50 кГц до 600 МГц и логопериодические антенны для измерения затухания сигнала в диапазоне частот от 600 МГц до 3 ГГц. Исследования параметров радиопроницаемости осуществлялись векторным анализатором. Гранулометрический состав почвогрунтов определялся ситовым методом, влажность – термостатно-весовым, а температуру среды измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,2 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

Затухания радиосигналов измерялись на осушенных сельскохозяйственных землях мелиоративных систем «Волма» (объект «Обчак») и ОАО «1-я Минская птицефабрика» (Минский р-н Минской обл.). Исследования по определению параметров радиосигнала при прохождении через различные почвогрунты на мелиоративных системах представляли собой серии экспериментов, проходящие в 2 этапа.

На первом этапе были выбраны наиболее типичные для Беларуси почвогрунты, присутствующие на мелиоративной системе «Волма». Определение параметров радиосигнала осуществлялось (рис. 1): *a* – на глубине 500 мм и на расстоянии 1500 мм между измерительными штыревыми антеннами; *b* – на глубине 1000 мм и на расстоянии 1000 мм между измерительными штыревыми антеннами; *в* – с применением измерительных логопериодических антенн.

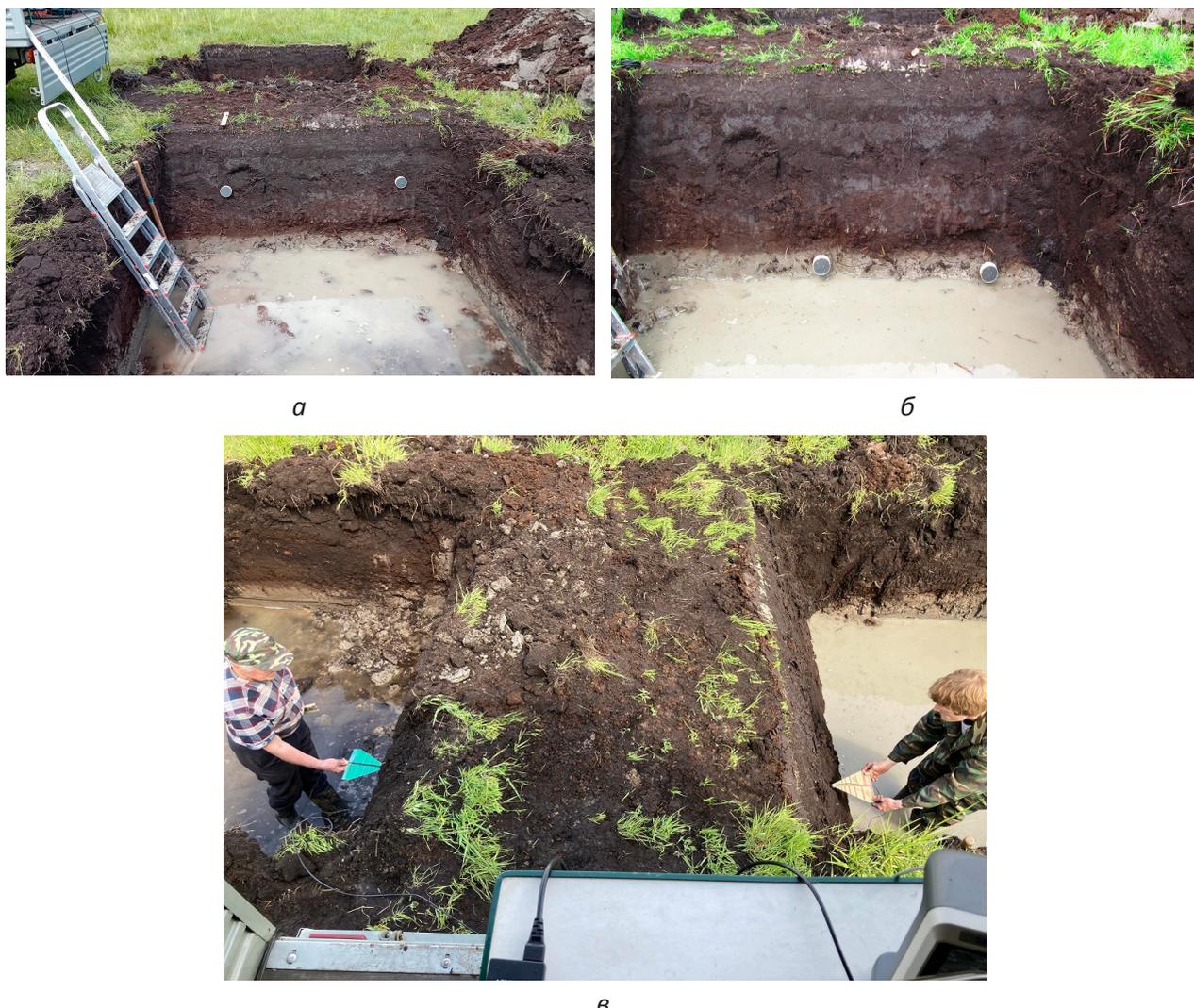


Рис. 1. Определение параметров радиосигнала в горизонтальной плоскости при изменении расстояния между антеннами и глубины их нахождения

Измерения проводились в двух шурфах, выкопанных параллельно друг другу, на глубинах 500 мм и 1000 мм (H) на расстояниях между измерительными антеннами 390, 500, 1000, 1500, 2500 и 5000 мм. Температура почвогрунта во время измерений составила на глубине 500 мм – 14,4 °С, на глубине 1000 мм – 12,6 °С, температура воздуха – 24,6 °С.

На основе полученных на различных глубинах образцов были измерены объемные влажности почвогрунтов. Средние объемные влажности почвогрунтов из первого шурфа составили на глубине 250 мм (торф) – 63,4 %, на глубине 500 мм (торф) – 84,3 %, на глубине 750 мм (торф) – 79,6 %, 1000 мм (пылеватый песок) – 24,8 %. Средние объемные влажности почвогрунтов из второго шурфа составили на глубине 250 мм (торф) – 66,3 %, на глубине 500 мм (торф) – 82,3 %, на глубине 750 мм

(торф) – 76,7 %, на глубине 1000 мм (пылеватый песок) – 23,54 %.

Подчеркнем, что к основным особенностям полевых исследований необходимо отнести фактор свободного пространства и ландшафтно-климатический фактор местности, а также отсутствие лимитирующих параметров микроклимата лабораторной среды и экспериментальной установки ранее проводимых исследований.

Характеристики гранулометрического состава исследуемых почвогрунтов приведены в табл. 1.

Результаты исследования 1-го этапа отражены на рис. 2. Параметры радиосигнала проходили на расстоянии между измерительными штыревыми антеннами 390, 500, 1000 и 1500 мм.

Таблица 1. Гранулометрический состав почвогрунтов

Размер частиц, мм	Вес частиц, г	Доля, %	Вес частиц, г	Доля, %
	торф, $H = 500$ мм		пылеватый песок, $H = 1000$ мм	
2	11,97	4	0	0
1	50,6	17	0	0
0,7	37,34	12	0,31	0
0,5	30,18	10	0,6	0
0,25	80,56	27	5,24	2
0,1	49,12	16	194,71	65
< 0,1	40,23	13	99,14	33

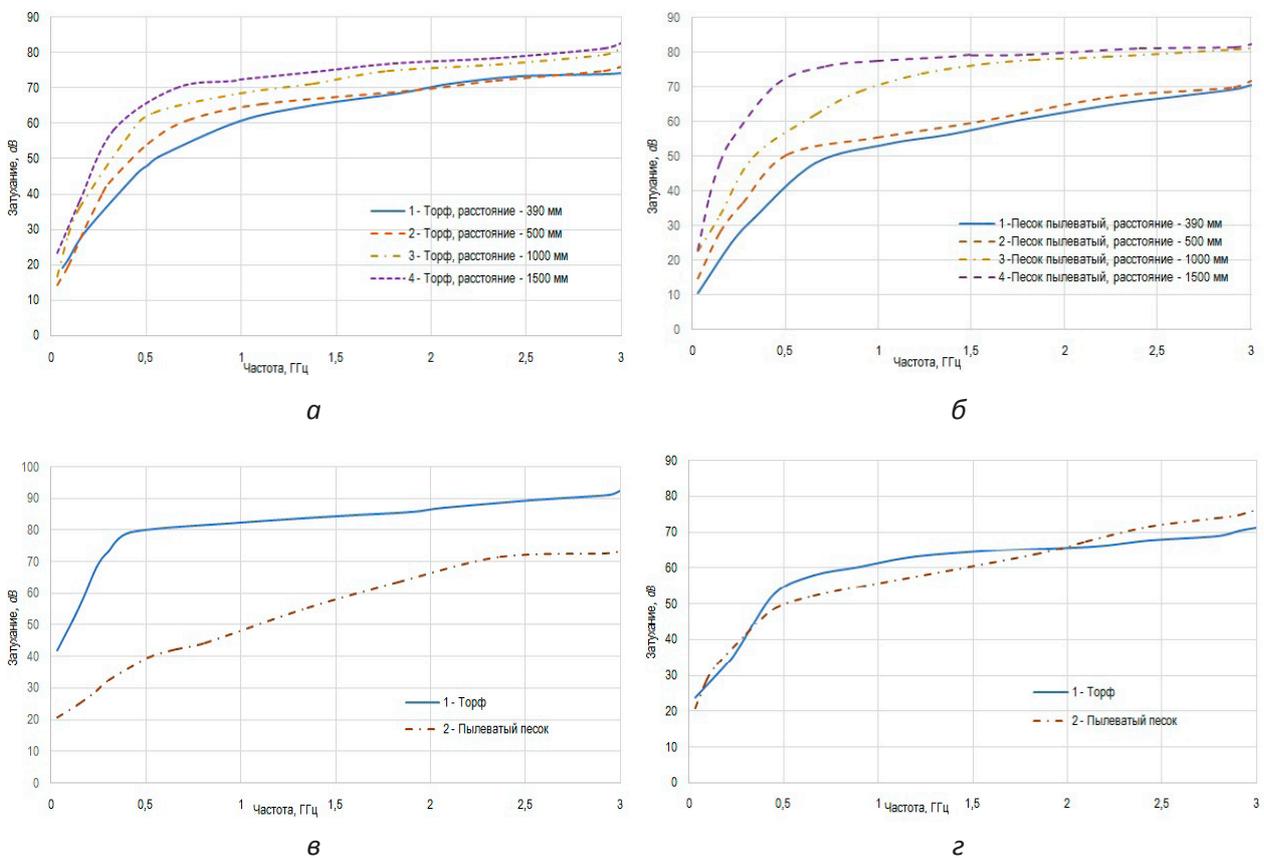


Рис. 2. График параметров радиосигнала: а – через торф на глубине 500 мм; б – пылеватый песок на глубине 1000 мм; в – комбинации почвогрунтов (торф – пылеватый песок); г – различные почвогрунты (торф; пылеватый песок)

Исходя из данных, полученных на первом этапе исследования, можно утверждать, что затухание радиосигнала при прохождении через почвогрунты на мелиоративных системах в горизонтальной плоскости имеет прямую зависимость от температуры, влажности, гранулометрического состава и обратную зависимость от частоты. Так, затухание радиосигнала уменьшается на низких частотах и возрастает

на высоких, при этом с увеличением расстояния между антеннами эта зависимость возрастает. Это согласуется с исследованиями, выполненными ранее [5].

На втором этапе измерения проводились на объекте ОАО «1-я Минская птицефабрика» на глубинах 400, 500, 700 и 1000 мм на расстояниях между измерительными антеннами 500, 1000, 1600 мм в двух шурфах, выкопанных па-

параллельно друг другу. Для определения параметров радиосигнала при прохождении через почвогрунты были выбраны четыре точки по 2 в каждом из шурфов на глубинах 400 и 700 мм (т. 0, т. 1 – точки установки антенн). Измерения по прохождению радиосигнала осуществлялись как по горизонтали, так и по вертикали (рис. 3): *а* – общий вид участка проведения исследований; *б* – установка штыревых антенн в шурфе; *в* – снятие параметров вертикального затухания.; *г* – снятие параметров горизонтального затухания логопериодическими антеннами. Температура почвогрунта во время измерений составила 9 °С.

На основе образцов, полученных на различных глубинах, были измерены объемные

влажности почвогрунтов. Средние объемные влажности почвогрунтов из первого шурфа составили: на глубине 30 см – 33,50 %; на глубине 50 см – 35,33 %; на глубине 80 см – 34,65 %.

Средние объемные влажности почвогрунтов из второго шурфа составили: на глубине 30 см – 35,23 %; на глубине 50 см – 37,24 %; на глубине 80 см – 43,33 %.

Характеристики гранулометрического состава исследуемых почвогрунтов представляют собой средне- и мелкозернистые частицы размером от 0,5 до 0,25 мм со значительной частью пылеватых частиц 0,1 мм и с небольшой примесью крупных частичек 2–0,7 мм. Доля глины (менее 0,1 мм) может достигать до четверти массы пробы (табл. 2 и 3).



а



б



в



г

Рис. 3. Ход выполнения исследований по определению параметров радиосигнала в горизонтальной и вертикальной плоскостях с применением штыревых и логопериодических антенн

Таблица 2. Гранулометрический состав почвогрунтов в 1-м шурфе

Размер частиц, мм	Вес частиц, г	Доля, %						
	т. 0, H = 400 мм		т. 0, H = 700 мм		т. 1, H = 400 мм		т. 1, H = 700 мм	
2	0	0	1	1	1,81	1	0,03	0
1	1,52	1	6,23	3	4,74	2	1,45	1
0,7	3,39	2	7,23	4	7,81	4	0,82	0
0,5	5,29	3	12,73	6	9,93	5	1,69	1
0,25	59,76	30	85,7	43	73,01	37	54,5	27
0,1	95,87	48	76,16	38	70,93	35	92,39	46
<0,1	34,17	17	10,95	5	31,77	16	49,12	25

Таблица 3. Гранулометрический состав почвогрунтов во 2-м шурфе

Размер частиц, мм	Вес частиц, г	Доля, %						
	т. 0, H = 400 мм		т. 0, H = 700 мм		т. 1, H = 400 мм		т. 1, H = 700 мм	
2	0	0	2,63	1	0	0	0	0
1	3,19	2	5,16	3	0,2	0	1,05	1
0,7	4,83	2	3,76	2	1,82	1	0,45	0
0,5	5,21	3	2,96	1	2,93	1	1,08	1
0,25	56,79	28	60,26	30	63,86	32	91,46	46
0,1	91,64	46	106,44	53	99,71	50	89,83	45
<0,1	38,34	19	18,79	9	31,48	16	16,13	8

Анализ гранулометрического состава почвогрунтов показал, что исследуемые образцы легкие по механическому составу, но содержат много глинистых включений, количество которых по мере глубины уменьшается. Таким образом, грунты в зоне проведения полевых исследований представлены в верхнем слое супесью легкой, а в подстилающем слое – песком мелким.

На рис. 4, 5 и в табл. 4, 5 приведены результаты измерений затухания радиосигналов с использованием штыревых измерительных антенн в связи с изменением влажности почвогрунтов в горизонтальных (на глубине 70 см, расстоянии 100 см, при влажности 35,33 и 27 %) и вертикальных плоскостях (на расстоянии 50 см с интервалом в сутки, при влажности 43,33 и 25 %) с интервалом в сутки.

Определено, что органогенные почвогрунты имеют неоднозначную зависимость радиопрозрачности как от частоты радиосигнала, так и от влажности. Радиопрозрачность почвогрунтов с содержанием глея находятся

в обратной зависимости от влажности, хотя отмечаются отдельные стохастические аномалии затухания радиосигнала.

Выявлена векторная составляющая затухания радиосигналов в почвогрунтах естественного заложения. Структура почвогрунтов естественного залегания не изотропна, в первую очередь из-за различий в направлениях процессов гравитационного и фильтрационного формирования. Даже для относительно однородных слоев почвогрунтов характерно слоистое строение. Как следствие, радиопрозрачность в горизонтальном и вертикальном направлениях различается.

Для определения степени анизотропности естественных почвогрунтов проведена серия полевых измерений. Схема проведения исследования зависимости затухания радиосигнала по вертикали и горизонтали в почвогрунтах в полевых условиях с применением штыревых антенн приведена на рис. 6.

Результаты измерений затухания радиосигнала (TL) приведены в табл. 6.

Таблица 4. Затухание радиосигналов в горизонтальной плоскости при изменении влажности в почвогрунтах из 1-го шурфа

Частота, МГц	Затухания радиосигналов, dB	
	При влажности 35,33 %	При влажности 27 %
100	19,1	24,8
500	39,9	51,3
1000	50,8	57,5
1500	58,0	61,1
2000	64,3	64,6
2500	68,1	70,0
3000	69,5	72,6

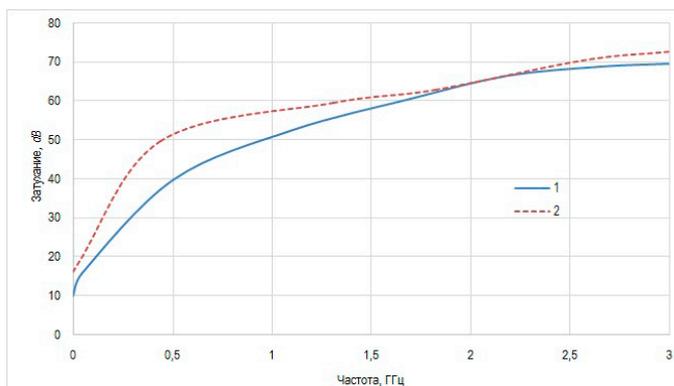


Рис. 4. График затухания радиосигналов (по данным табл. 4)

Таблица 5. Затухание радиосигналов в вертикальной плоскости при изменении влажности в почвогрунтах из 2-го шурфа

Частота, МГц	Затухания радиосигналов, dB	
	При влажности 43,33 %	При влажности 25 %
100	27,9	23,0
500	52,0	40,4
1000	64,1	50,1
1500	68,8	54,4
2000	71,2	57,7
2500	73,9	60,8
3000	75,8	64,9

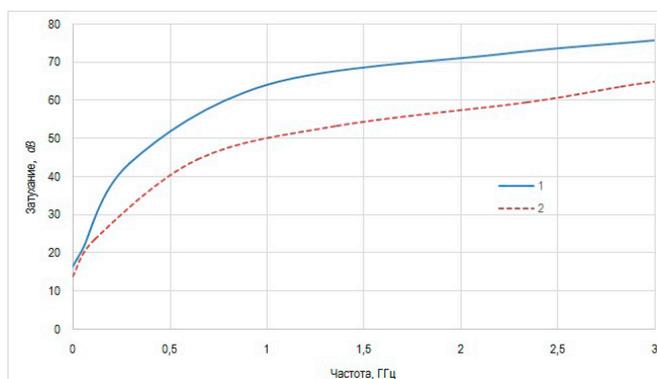


Рис. 5. График затухания радиосигналов (по данным табл. 5)

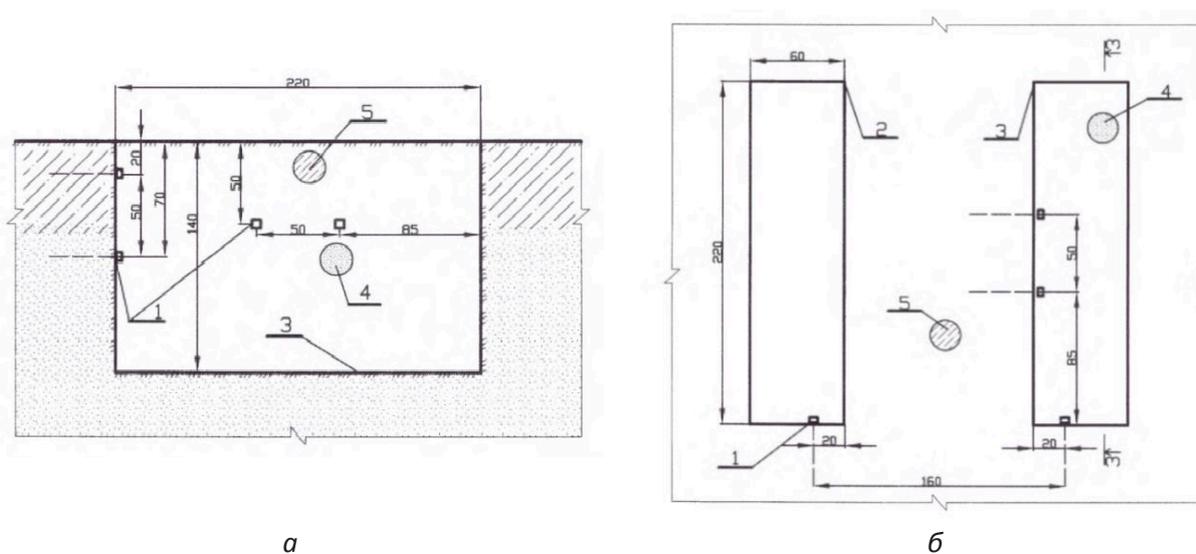


Рис. 6. Схема опыта: а – разрез шурфа; б – вид шурфов сверху; 1 – штыревая антенна; 2 – первый шурф; 3 – второй шурф; 4, 5 – точки отбора проб грунта с глубины шурфа и приповерхностного слоя

Таблица 6. Результаты измерений затухания радиосигнала

Частота, МГц	Затухание по горизонтали, dB	Затухание по вертикали, dB	tg φ
100	23,1	23,0	1,00
1000	54,4	50,1	0,92
2000	67,5	57,7	0,85
3000	72,6	64,9	0,89

На основании измеренных численных значений проведен анализ отклонения вектора радиопроницаемости от геометрического вектора направления радиосигнала (рис. 7, 8), который характеризуется углом ψ , а степень анизотропности радиопроницаемости – отклонением вектора радиопроницаемости от геометрического вектора, которое для упрощения дальнейших расчетов удобно представить, как tg сопряженного угла φ (рис. 7, 8).

В таком виде коэффициент анизотропности радиопроницаемости почвогрунтов естественного заложения определяется по формуле:

$$\text{tg } \varphi = TL_V / TL_H, \quad (1)$$

где TL_V – затухание радиосигнала в вертикальном направлении, dB;

TL_H – затухание радиосигнала в горизонтальном направлении, dB;

L_V – расстояние между антеннами по вертикали;

L_H – расстояние между антеннами по горизонтали;

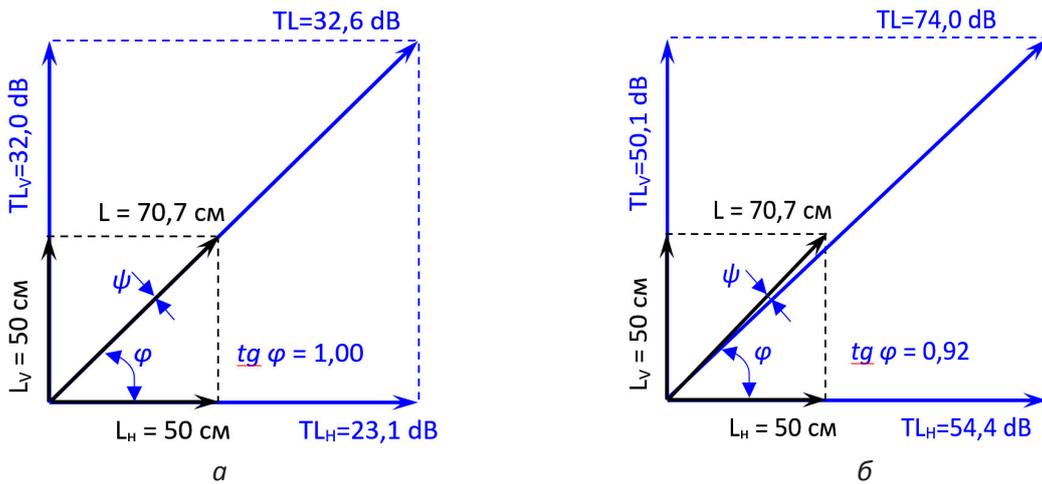


Рис. 7. Векторная диаграмма отклонения радиопроницаемости от геометрического направления радиосигнала: а – 100 МГц; б – 1000 МГц

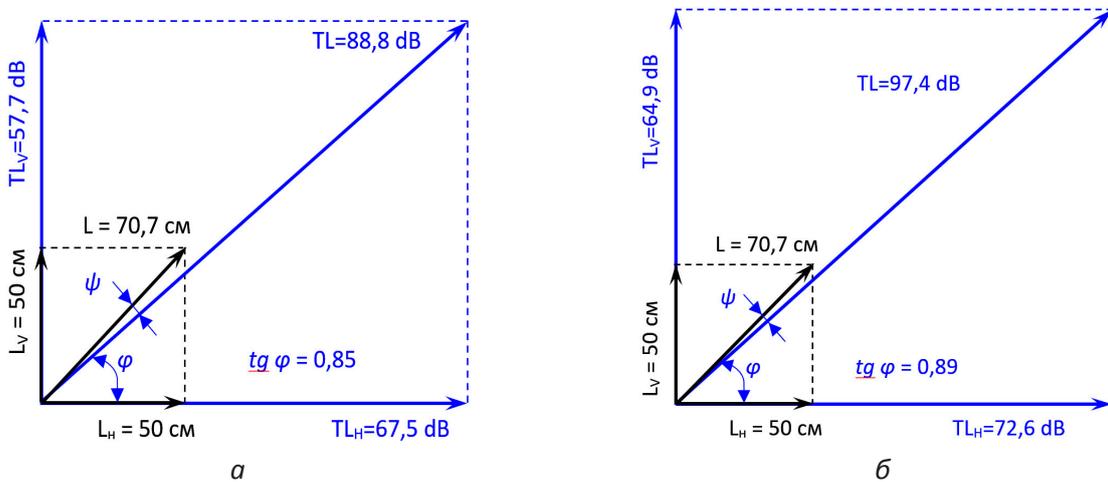


Рис. 8. Векторная диаграмма отклонения радиопроницаемости от геометрического направления радиосигнала: а – 2000 МГц; б – 3000 МГц

Отмечено превышение затухания радиосигнала в горизонтальной плоскости в сравнении с таковым в вертикальной плоскости. Например, для частоты 100 МГц коэффициент анизотропности составит: $\text{tg } \varphi_{100} = 23,0 / 23,1 = 0,996$.

Результаты расчета $\text{tg } \varphi$ для других частот, а также итоги измерения анизотропности приведены в табл. 7; графическое представление данной величины – на рис. 9.

Анализ результатов векторной составляющей затухания радиосигналов в почвогрунтах естественного заложения свидетельствует о неравномерности анизотропных свойств их радиопроницаемости в зависимости от частоты. Значимость коэффициента превышает 5 % на частоте 600 МГц, при этом анизотропностью на низких частотах можно пренебречь.

Таблица 7. Результаты измерений анизотропности

Частота, МГц	$\text{tg } \varphi$
100	1,00
1000	0,92
2000	0,85
3000	0,89

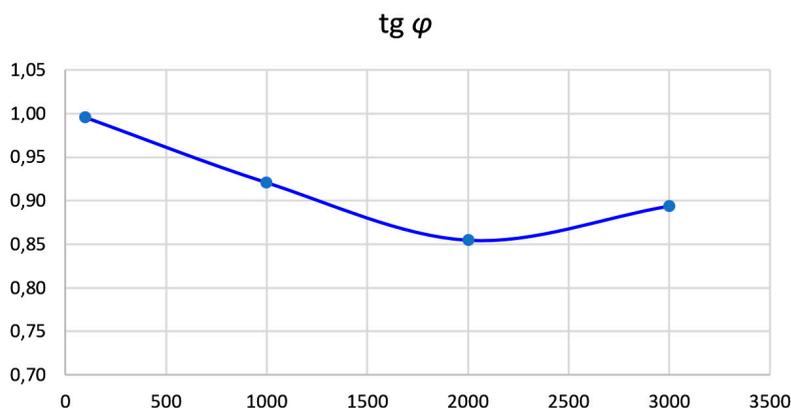


Рис. 9. Зависимость коэффициента $\text{tg } \varphi$ от частоты радиосигнала для суглинистого почвогрунта

Выводы

Прохождение радиосигнала через различные виды и комбинации почвогрунтов при некотором различии уровней их затухания показывает динамику нарастания затухания радиосигнала при увеличении частоты выше

500 МГц. На практике для передачи информационных потоков посредством радиопередачи через слой почвогрунтов на расстоянии до 1,5 м можно использовать частотный диапазон до 500 МГц [6].

Библиографический список

1. Родос, Л. Я. Электродинамика и распространение радиоволн (распространение радиоволн) : учеб.-метод. комплекс / Л. Я. Родос. – С.-Петербург : Изд-во СЗТУ, 2007. – 90 с.
2. Безверхняя, Е. И. Температурная зависимость диэлектрических свойств почв Васюганских болот / Е. И. Безверхняя. – Томск : ТГУ, 2019. – 29 с.
3. Расчет ослабления в свободном пространстве : рекомендация МСЭ-R P.525-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf. – Дата доступа: 21.10.2023.
4. Справочник по распространению земных волн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-59-2014-PDF-R.pdf. – Дата доступа: 23.10.2023.
5. Анженков, А. С. Радиопроницаемость мелиорированных земель на примере торфяных почв, подстилаемых песком / А. С. Анженков, В. П. Закржевский, И. О. Мосенз // Мелиорация. – 2021. – № 4 (98). – С. 14–17.
6. Электрические характеристики земной поверхности : рекомендация МСЭ-R P.527-4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-4-201706-!!PDF-R.pdf. – Дата доступа: 23.10.2023.

Поступила 14 ноября 2023 г.