



Диэлектрические характеристики образцов почв арктического и юго-западного региона Сибири

С.А. Варнаков, К.Н. Суслов,
А.С. Ященко, С.В. Кривальцевич

Омский научный центр СО РАН
(Институт радиофизики и
физической электроники)

Цели и задачи

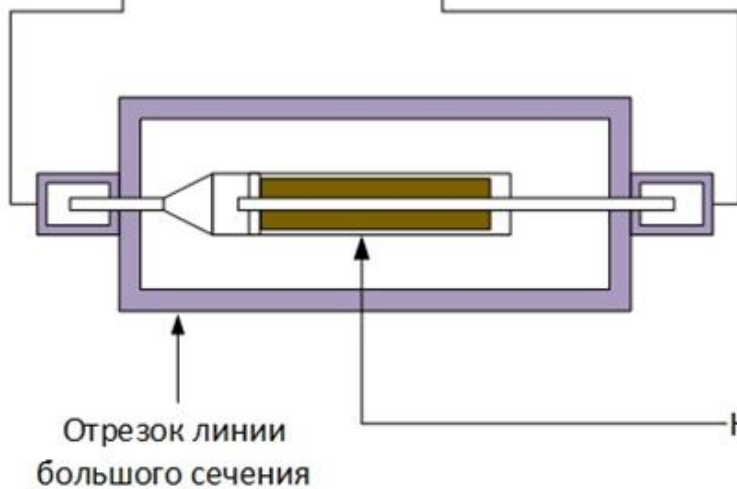
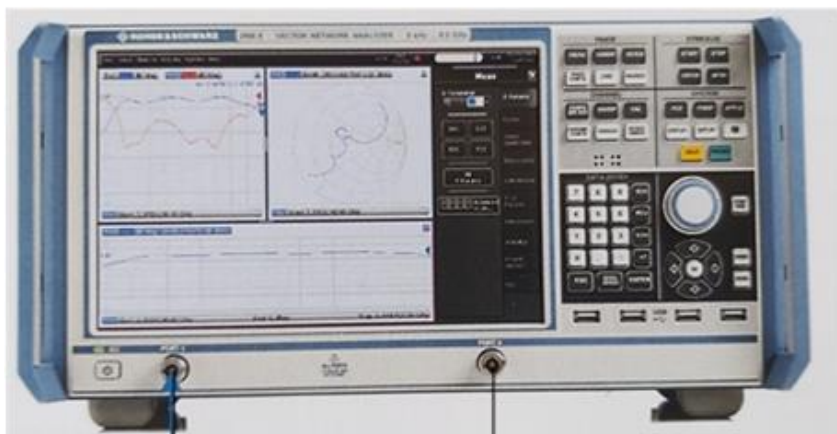
Цель данной работы:

Измерение спектров КДП почв в широком частотном диапазоне

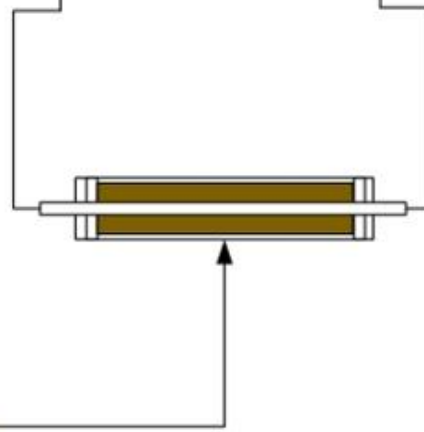
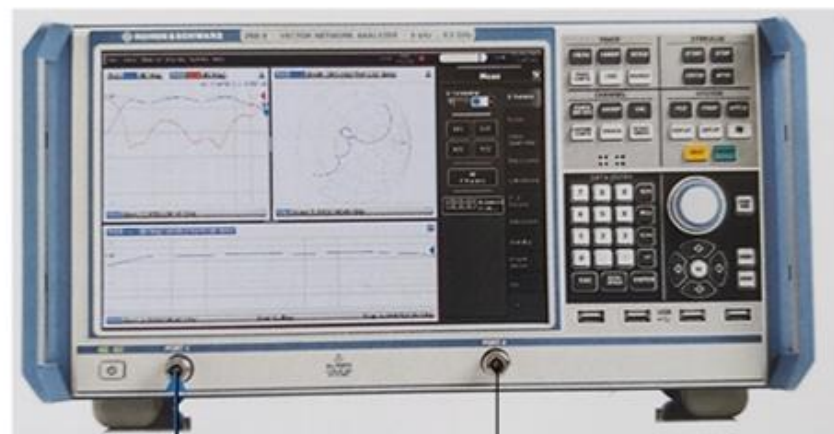
Задачи работы:

1. Провести измерения КДП образцов почв северного и юго-западного региона Сибири в диапазоне частот от 100 до 4000 МГц;
2. Выполнить расчёт теоретических данных о зависимости диэлектрической проницаемости от влажности по модели Добсона;
3. Сравнить эмпирические данных о диэлектрической проницаемости с данными, рассчитанными по модели Добсона.

Измерение комплексного коэффициента передачи



Диапазон измерений, Гц: $3 \times 10^6 \div 100 \times 10^6$



Диапазон измерений, Гц: $100 \times 10^6 \div 5 \times 10^9$

Восстановление значений КДП из параметра S_{12}

Для восстановления КДП использовалась формула для расчета параметра S_{12} слоистой структуры:

$$\frac{1}{S_{12}} = \prod_{n=0}^{n=3} \frac{Z_n + Z_{\text{ВХ}(n+1)}}{Z_n + Z_{\text{ВХ}(n+1)}} e^{-ik_n d_n},$$

где $Z_{\text{ВХ}1}$, $Z_{\text{ВХ}2}$, $Z_{\text{ВХ}3}$ - комплексные входные сопротивления.

Комплексные входные сопротивления определяются по формуле:

$$Z_{\text{ВХ}n} = \frac{Z_{\text{ВХ}(n+1)} + Z_n \text{th}(ik_n d_n)}{Z_n + Z_{\text{ВХ}(n+1)} \text{th}(ik_n d_n)} Z_n,$$

где n - индекс слоя; i - мнимая единица; $k_n = k_0 \sqrt{\varepsilon_n}$ - комплексное волновое число i -го слоя, где ε_n - КДП n -го слоя; $k_0 = 2\pi f / c$ - волновое число в вакууме; d_n - толщина n -го слоя; $Z_n = Z_0 \sqrt{\varepsilon_n}$; $d_0 = 0$.

Модель Добсона

$$\varepsilon'_{\text{soil}} = \left[1 + \frac{p_b}{p_s} (\varepsilon'_{sm}{}^\alpha - 1) + m_v^{\beta'} \varepsilon'_{fw}{}^\alpha - m_v \right]^{1/\alpha}; \quad (1)$$

$$\varepsilon''_{\text{soil}} = [m_v^{\beta''} \varepsilon''_{fw}{}^\alpha]^{1/\alpha}; \quad (2)$$

$$\varepsilon'_{sm} = (1,01 + 0,44p_s)^2 - 0,062; \quad (3)$$

$$\beta' = 1,2748 - 0,00519P_{\text{sand}} - 0,00152P_{\text{clay}}; \quad (4)$$

$$\beta'' = 1,33797 - 0,00603P_{\text{sand}} - 0,00166P_{\text{clay}}; \quad (5)$$

Модель Добсона

где в формуле 4 и 5:

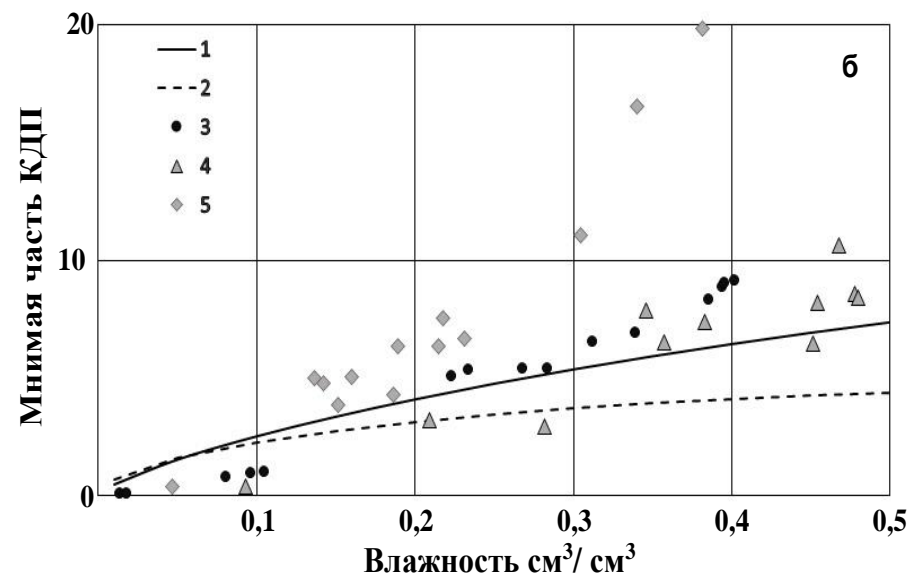
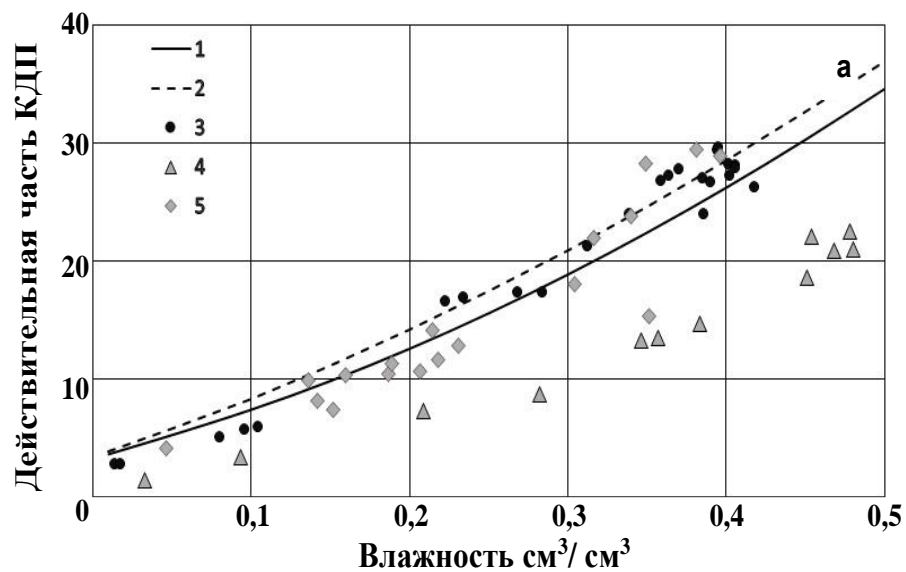
P_{sand} - процентное содержание по объему песка;

P_{clay} - процентное содержание по объему глины.

Физические параметры почвы разного типа

Структурный класс почвы	1 Песчаный суглинок	2 Суглинок
% песка	51,52	41,96
% глины	13,42	8,53
% ила	35,06	49,51
ρ_s	2,66	2,70
ρ_b (г/см ⁻³)	1,6006	1,5781

Зависимость действительной и мнимой части КДП от влажности



Частота 100 МГц (а, б); 500 МГц (в, г), 2500 МГц (д, е), 4000 МГц (ж, з). Температура +24°C.

1 - расчёт по модели Добсона для суглинка;

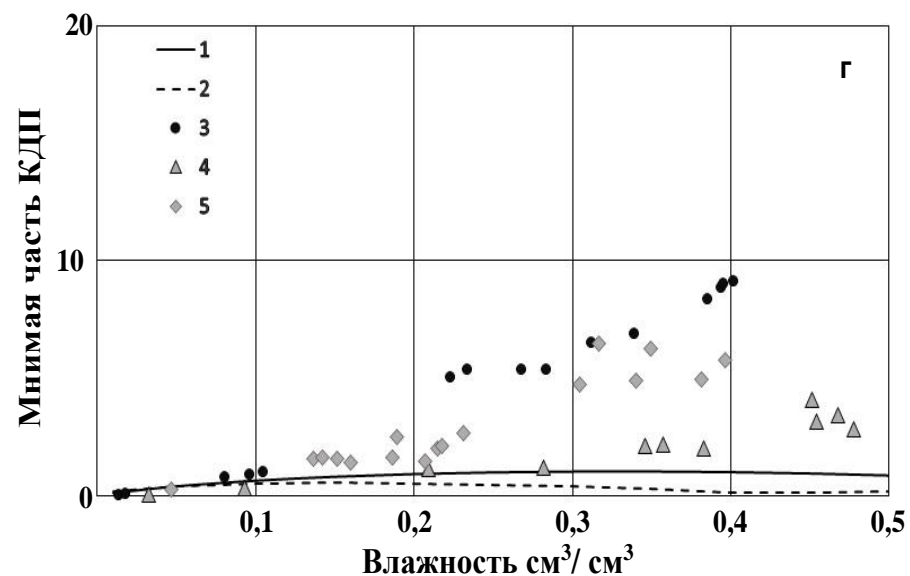
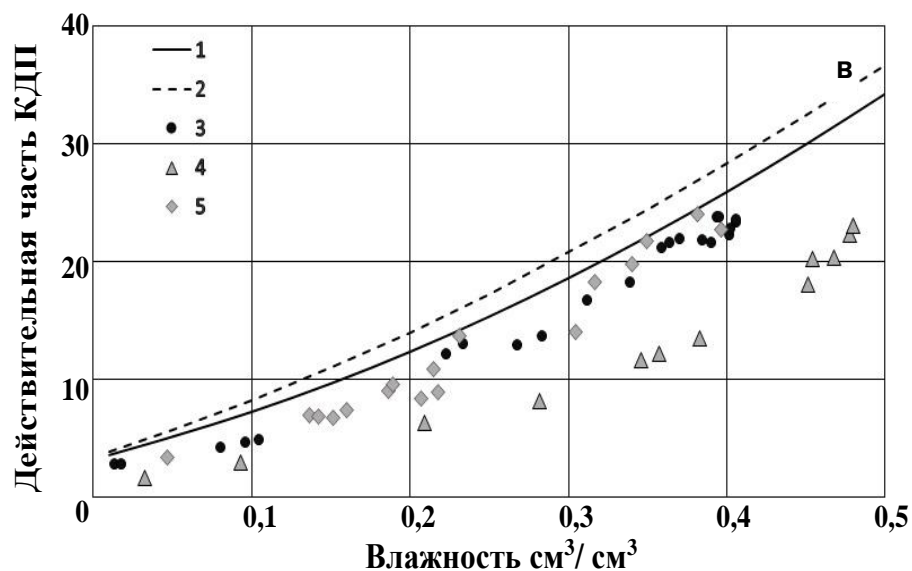
2 - расчет по модели Добсона для песчаного суглинка;

3 - экспериментальные результаты образцов почвы Омской области;

4 - экспериментальные результаты образцов почвы вблизи города Норильск;

5 - экспериментальные результаты образцов почвы Тагульского месторождения

Зависимость действительной и мнимой части КДП от влажности



Частота 100 МГц (а, б); 500 МГц (в, г), 2500 МГц (д, е), 4000 МГц (ж, з). Температура +24°С.

1 - расчёт по модели Добсона для суглинка;

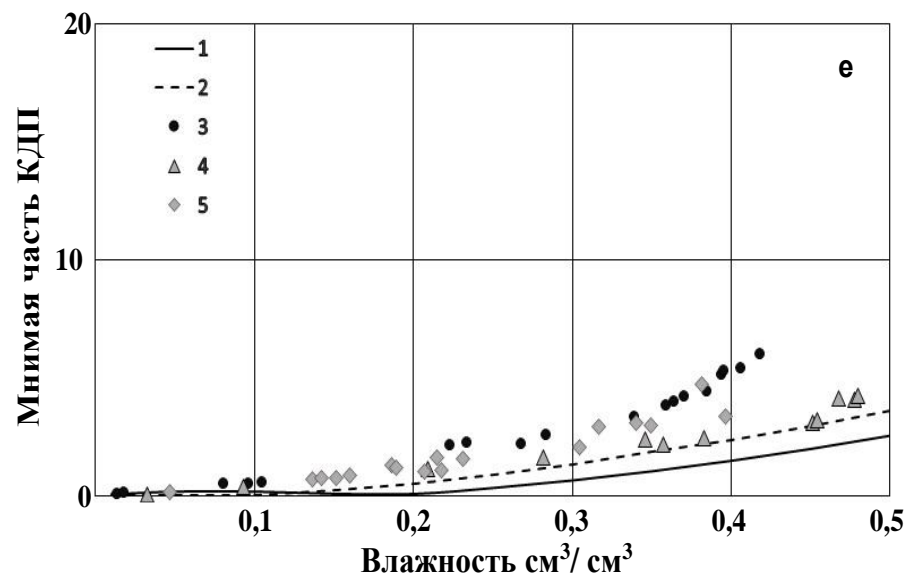
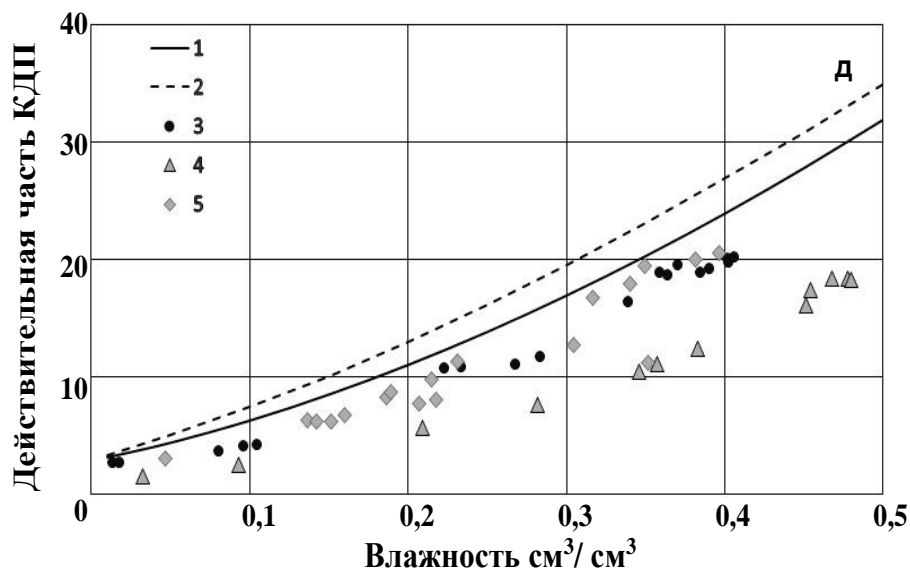
2 - расчет по модели Добсона для песчаного суглинка;

3 - экспериментальные результаты образцов почвы Омской области;

4 - экспериментальные результаты образцов почвы вблизи города Норильск;

5 - экспериментальные результаты образцов почвы Тагульского месторождения

Зависимость действительной и мнимой части КДП от влажности



Частота 100 МГц (а, б); 500 МГц (в, г), 2500 МГц (д, е), 4000 МГц (ж, з). Температура +24°C.

1 - расчёт по модели Добсона для суглинка;

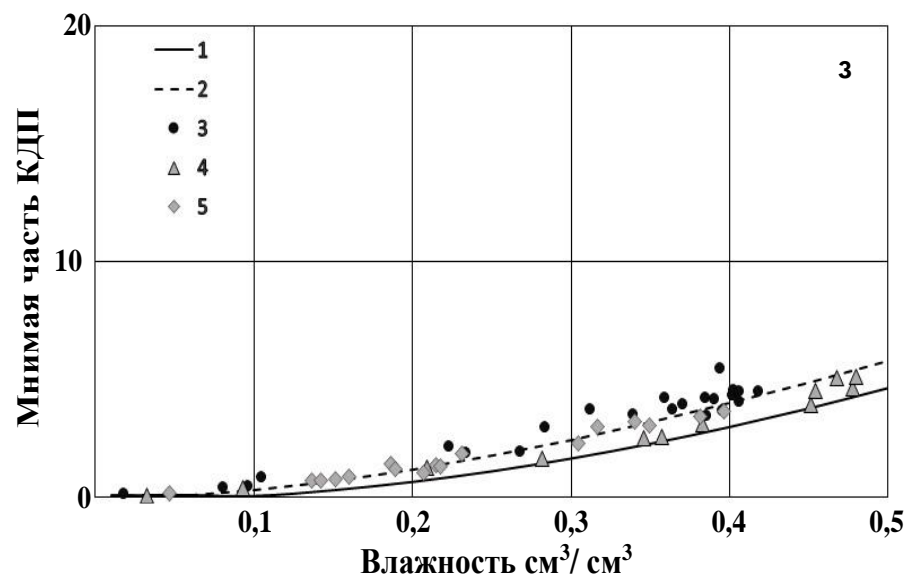
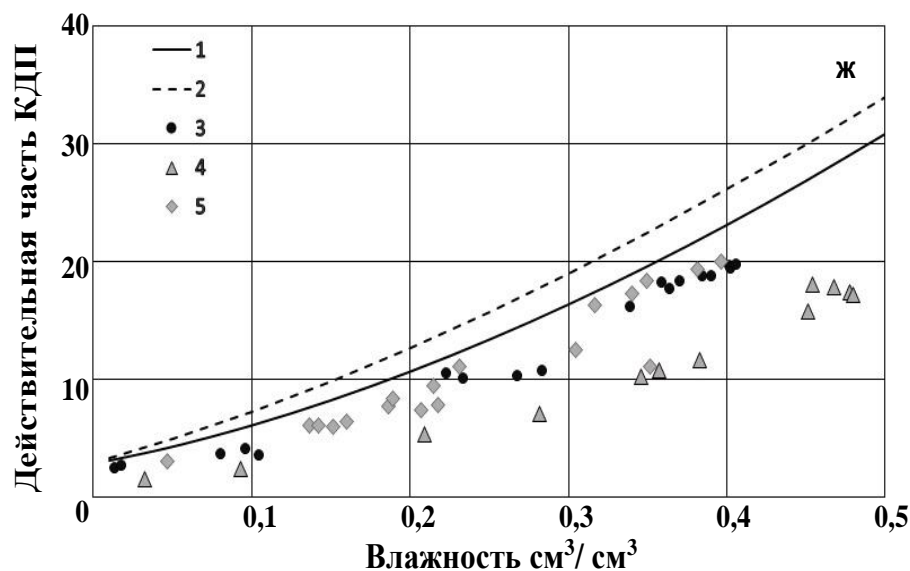
2 - расчет по модели Добсона для песчаного суглинка;

3 - экспериментальные результаты образцов почвы Омской области;

4 - экспериментальные результаты образцов почвы вблизи города Норильск;

5 - экспериментальные результаты образцов почвы Тагульского месторождения

Зависимость действительной и мнимой части КДП от влажности



Частота 100 МГц (а, б); 500 МГц (в, г), 2500 МГц (д, е), 4000 МГц (ж, з). Температура +24°C.

1 - расчёт по модели Добсона для суглинка;

2 - расчет по модели Добсона для песчаного суглинка;

3 - экспериментальные результаты образцов почвы Омской области;

4 - экспериментальные результаты образцов почвы вблизи города Норильск;

5 - экспериментальные результаты образцов почвы Тагульского месторождения

Выводы

Проведен ряд измерений КДП образцов северного и юго-западного региона Сибири в диапазоне частот от 100 до 4000 МГц со средней погрешностью, не превышающей 7%.

Выполнен расчёт теоретических данных о зависимости диэлектрической проницаемости от влажности по модели Добсона для суглинистой и песчано-суглинистой почвы, проведено сравнение с экспериментальными данными.

Необходимо проведение дальнейших измерений различных образцов почв, с целью накопления эмпирических данных о КДП, при помощи метода, применённого в настоящем исследовании.

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 122011200349-3)

Спасибо за внимание!

Список литературы

1. Хакиев З.Б., Явна В.А., Сулавко С.Н., Кислица К.Ю. Определение комплексной диэлектрической проницаемости и влажности грунтов методом георадиолокации // 12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016
2. А. В. Клоков, А. С. Запасной, В. П. Якубов, С. Э. Шипилов Особенности геолокации водоносных горизонтов почв // XXIV Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн»: сборник трудов. Иркутск, ИСЗФ СО РАН, 2014, С. 3.206–210.
3. Справочник по распространению земных волн URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-59-2014-PDF-R.pdf (дата обращения: 15.02.2022).
4. Electrical characteristics of the surface of the Earth. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-6-202109-!!!PDF-E.pdf (дата обращения: 11.02.2022).
5. Dobson M.C., Ulaby F.T., Hallikainen M.T., El-Rayes M.A. Microwave dielectric behavior of wet soil. Part II: Dielectric mixing models // IEEE Trans. on Geosci and Remote Sens. Vol. GE-23, No.1, P. 35-45, 1985.
6. Bobrov P. P., Kroshka E. S., Lapina A. S., Repin A. V. Relaxation model of complex relative permittivity of sandstones for the frequency range from 10 kHz to 1 GHz / 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS), 2017.
7. Бобров, П.П. Спектроскопическая модель диэлектрической проницаемости почв, использующая стандартизованные агрофизические показатели / П.П. Бобров [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2008. – № 1. – С. 15–23.

Список литературы

8. Bobrov P.P., Repin A.V., Rodionova O.V. Wideband Frequency Domain Method of Soil Dielectric Properties Measurements // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2015. V. 53. № 5. P. 2366–2372. doi: 10.1109/TGRS.2014.2359092.
9. FAO/UNESCO Soil Map of the World URL: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/ru/> (дата обращения: 21.02.2022).
10. Кривальцевич С. В., Яценко А. С. Направленные характеристики элементарного излучателя, расположенного над поверхностью промерзающей почвы // Актуальные проблемы радиофизики : IX Международная научно-практическая конференция, Томск, 20–22 октября 2021 г. : сборник трудов. Томск : Издательский дом ТГУ, 2021. С. 78–79.
11. Яценко А. С. Влияние слоисто-неоднородной подстилающей поверхности на процесс распространения земной волны // Актуальные проблемы радиофизики : IX Международная научно-практическая конференция, Томск, 20–22 октября 2021 г. : сборник трудов. Томск : Издательский дом ТГУ, 2021. С. 80–81.
12. Яценко А. С., Кривальцевич С. В., Беляева Т. А. Анализ данных о диэлектрической проницаемости почв и их влияние на результат расчёта ослабления земной волны // Техника радиосвязи. 2020. Выпуск 2 (45). С. 48–58. DOI: 10.33286/2075-8693-2020-45-48-58.
13. Суслов К. Н., Яценко А. С., Кривальцевич С. В. Диэлектрические характеристики почв Арктического региона // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 9. С. 127–134. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202109-12>.