

Научная статья

Original article

УДК 535.5, 537.6

DOI 10.55186/25876740-2022-6-1-21

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ УЧЕБНОГО  
ХОЗЯЙСТВА «КАНОНЕРОВСКОЕ»**

**ECOLOGICAL SOILS DIAGNOSIS OF THE EDUCATIONAL FARM  
"KANONEROVSKOYE"**



**Косырев Николай Николаевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры агроинженерии, Ачинский филиал ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (662155 Россия, г. Ачинск, ул. Тарутинская, д. 4), тел. 8(902) 940-40-98, [kosyrev@inbox.ru](mailto:kosyrev@inbox.ru)

**Волкова Мария Андреевна**, студент 2 курса магистратуры кафедры радиоэлектроники ФГБОУ ВО Томский государственный университет, (634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36)

**Кочеткова Татьяна Дмитриевна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиоэлектроники ФГБОУ ВО Томский государственный университет, (634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36)

**Ульянова Ольга Алексеевна**, д.б.н., профессор кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (660049, Россия, г.Красноярск, пр.Мира 90)

**Nikolay N. Kosyrev**, candidate in physics, associate professor of Agriengineering Department , Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University, (4

Tarutinskaya str., Achinsk, Russia, 662155), tel. 8(902) 940-40-98, kosyrev@inbox.ru

**Maria A. Volkova**, post graduate student of Radioelectronics Department, Tomsk State University (36 Lenina str, Tomsk, Russia, 634050)

**Tatiana D. Kochetkova**, candidate in physics, associate professor of Radioelectronics Department, Tomsk State University (36 Lenina str, , Tomsk, Russia, 634050)

**Olga A. Ul'yanova**, doctor of biological sciences, Professor of Soil Science, Department , Krasnoyarsk State Agrarian University (90 Mira str., Krasnoyarsk, Russia, 660049)

**Аннотация.** В настоящей работе проведено экологическое исследование почв учебного хозяйства «Канонеровское» Ачинского филиала ФГБОУ ВО «Красноярского государственного аграрного университета». Определено содержание гумусовых веществ в щелочной вытяжке, проведена оценка загрязнения солями Cu, Ni, Mn, Zn, Pb, Cd, Co, Cr. Измеренные концентрации подвижных форм тяжелых металлов находятся в пределах ПДК. Обнаружено небольшое превышение концентрации сульфатов меди. На основе анализа спектров действительной и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости, а также диэльковлажностных зависимостей выявлены особенности, которые, возможно, в дальнейшем позволят дистанционно исследовать почву на предмет загрязнения солями тяжелых металлов.

**Abstract.** In the present work, an ecological investigation of the soils of the educational farm "Kanonerovskoye" of the Achinsk branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Krasnoyarsk State Agrarian University" was carried out. The content of humic substances in the alkaline extract was determined, and the contamination with salts of Cu, Ni, Mn, Zn, Pb, Cd, Co, Cr was assessed. The measured concentrations of mobile forms of heavy metals are within MPC. A slight excess of the concentration of copper sulfates was found. Based on the analysis of the spectra of the real and imaginary parts of the complex dielectric

permittivity, as well as the dielectric moisture dependences, features were revealed that, possibly, in the future will make it possible to remotely study the soil for contamination with salts of heavy metals.

**Ключевые слова:** диэлектрическая проницаемость, тяжелые металлы, влажность почвы, гумусовые вещества, дегумификация

**Keywords:** dielectric constant, heavy metals, soil moisture, humic substances, dehumification

*Введение.* В настоящее время происходит переориентация почвоведения как науки [1], в связи с тем, что на смену долго лет господствующей агрономической парадигме приходит экологическая, т.к. в результате жизнедеятельности человека практически не осталось участков земной поверхности, которые бы не подвергались влиянию сельскохозяйственных и промышленных объектов [2]. Все чаще антропогенное воздействие приводит к необратимым последствиям на огромных территориях, соизмеримых с площадью небольшого государства. Черноземы, как наиболее часто используемые, зачастую совершенно нерационально, буквально за несколько десятилетий теряют свои уникальные качества, накопленные веками. Например, в работе [3] представлены результаты исследования, показывающего деградацию физических свойств черноземов, обусловленных уплотнением пахотных горизонтов, в связи с чем наблюдается резкое снижение плодородия. Другая проблема, с которой сталкивается современное сельское хозяйство – это дегумификация, т.к. ежегодно содержание гумуса уменьшается на 0,02-0,05 % [4]. И наконец, наиболее остро в настоящее время стоит вопрос загрязнения почв за счет поступления промышленных техногенных выбросов, содержащих тяжелые металлы и металлоиды. И хотя современное законодательство большинства стран сейчас достаточно жестко контролирует экологическую ситуацию, к сожалению, остались места, сильно загрязненные в результате предыдущей неразумной деятельности человека. Достаточно привести пример г. Норильска

Красноярского края, который «почетно» занимает первое место в мире по загрязненности. Среди европейских стран выделяется Франция, на северной части которой почвы сильно загрязнены тяжелыми металлами – следствие ранее находящихся здесь металлургических заводов [6], а на юго-востоке существует проблема техногенных отходов, обогащенных мышьяком [7]. В целом, загрязнение планеты продолжает увеличиваться, особенно в странах Азии, где стремительно развивается производство.

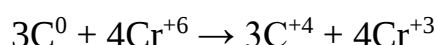
Таким образом, современная экологическая ситуация требует непрерывного мониторинга земель не только сельскохозяйственного назначения, но и городских территорий. В настоящее время существует два основных метода контроля: наземный [8] и дистанционный [9]. Наземные методы не обеспечивают необходимый охват большой площади, поэтому активно используются дистанционные методы, в основе которых лежат электромагнитные (ЭМ) волны микроволнового и оптического диапазонов.

В настоящей работе исследованы проблемы загрязнения солями тяжелых металлов почв учебного хозяйства «Канонеровское» Ачинского филиала ФГБОУ ВО «Красноярского государственного аграрного университета». Методом атомно-абсорбционной спектроскопии было определено содержание подвижных форм тяжелых металлов, а далее методом радиоспектроскопии изучено влияние концентрации тяжелых металлов на диэлектрическую проницаемость почвы. Данное исследование является логическим продолжением полученных ранее результатов [10], и здесь следует отметить, что в данной работе изучаются более низкие концентрации, приближенные к реальным условиям.

*Отбор почвенных образцов.* Почвенные образцы для проведения лабораторных анализов были отобраны на двух опытных полях учебного хозяйства «Канонеровское» в гумусовом горизонте на глубине от 8 до 15 см. Всего было взято по 30 проб с каждого поля. Для определения минимального количества наблюдений были сформированы смешанные образцы способом

выемок. Таким образом, для поля А было сформировано четыре, а для поля В два средних образца.

*Описание эксперимента.* Подвижные формы тяжелых металлов определялись в ацетатно-аммонийном буфере pH 4,8 на атомно-абсорбционном анализаторе PinAAcle 900T. Также исследовалось влияние засоления почв на диэлектрическую проницаемость с помощью измерения электромагнитного отклика почв в широком микроволновом диапазоне на основе методики, представленной в [11] с использованием векторного анализатора PNA E8663B, измеряющего компоненты матрицы рассеяния в диапазоне частот от 0,01 ГГц до 18 ГГц. Определение гумусовых веществ в щелочной вытяжке проводилось классическим методом Тюрина [8], основанным на окислении гумуса почв избытком  $K_2Cr_2O_7$ . Окисление происходит в сильноокислой среде и сопровождается восстановлением шестивалентного хрома в трехвалентный:



*Результаты и их обсуждение.* Содержание тяжелых металлов по данным атомно-абсорбционной спектроскопии приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в почвенных образцах

| Металл | Концентрация<br>(поле А), мг/кг | Концентрация<br>(поле В), мг/кг |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|
| Cu     | 3,342                           | 2,401                           |
| Ni     | 0,454                           | 0,582                           |
| Mn     | 48,28                           | 53,44                           |
| Zn     | 1,472                           | 1,397                           |
| Pb     | 2,654                           | 2,908                           |
| Cd     | 0,037                           | 0,095                           |
| Co     | 0,163                           | 0,238                           |
| Cr     | < 0,02                          | 0,042                           |

Следует отметить, что лишь только медь в поле А немного превышает ПДК (для меди равна 3 мг/кг). Концентрации остальных металлов находятся в пределах нормы. В этой связи, влиянию именно примесей солей  $CuSO_4$  (в сравнении с  $NiSO_4$  и  $NaSO_4$ ) на диэлектрическую проницаемость почвы и будет

посвящено дальнейшее исследование. Но, поскольку известно, что содержание гумуса в почвах существенно влияет на диэлектрическую проницаемость, сначала исследуем почвенные образцы на содержание гумусовых веществ (Таблица 1 и рисунок 1), чтобы исключить взаимное влияние примесей и возможной дегумификации. В качестве контрольного образца была выбрана легкая

Таблица 2 – Содержание гумусовых веществ в исследуемых образцах

| Номер образца | Шифр образца | Гумусовые вещества , мг/кг |
|---------------|--------------|----------------------------|
| 1             | 1A           | 472                        |
| 2             | 2A           | 434                        |
| 3             | 3A           | 459                        |
| 4             | 5A           | 321                        |
| 5             | 5B           | 359                        |
| 6             | 6B           | 221                        |
| 7             | 1T           | 484                        |

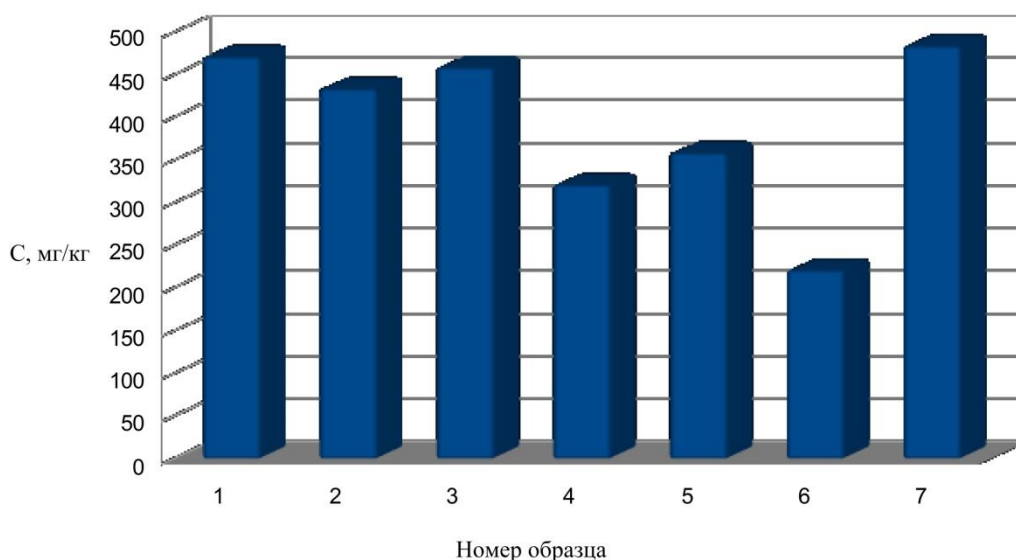


Рисунок 1 - Содержание гумусовых веществ в исследуемых образцах

суглинистая почва, отобранная в экологически благоприятном районе без техногенного воздействия (Ханты-Мансийский автономный округ, р. Юган). Как можно видеть из таблицы 1, содержание гумусовых веществ в контрольном образце близко к значениям, полученных на почвах учебного хозяйства. Следовательно, использование такого почвенного образца для искусственного засоления, позволит максимально приблизиться по гумусу к реальным условиям. Контрольные образцы почвы увлажнялись водными растворами солей и выдерживалась не менее 5 дней для равномерного пропитывания. Тот факт, что в результате были получены значения концентраций примесей на порядок меньше чем в работе [10] наряду с таким же содержанием гумуса, позволит смоделировать электромагнитный отклик для почв, близких по составу к исследуемым объектам. В ходе эксперимента были измерены модуль и фаза комплексного коэффициента передачи образцов при различной концентрации солей и влажности. Рассчитаны значения комплексной диэлектрической проницаемости. Случайная погрешность измерений для действительной части диэлектрической проницаемости составила приблизительно 6,19%, для мнимой приблизительно 8,16 %.

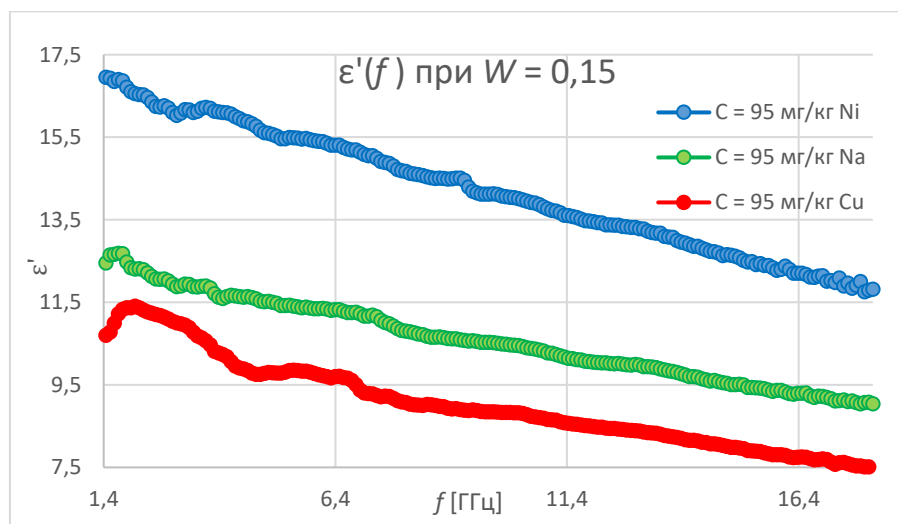


Рисунок 2 – Зависимость  $\epsilon'(f)$  при влажности образцов  $W = 0,15$  г/г, одной концентрации  $C=95$  мг/кг и различных примесей  
Построены графики зависимости действительной  $\epsilon'$  (рисунок 2) и мнимой  $\epsilon''$  (рисунок 3) частей диэлектрической проницаемости от частоты при влажности образцов  $W = 0,15$  г/г, одной концентрации  $C=95$  мг/кг и различных примесей.

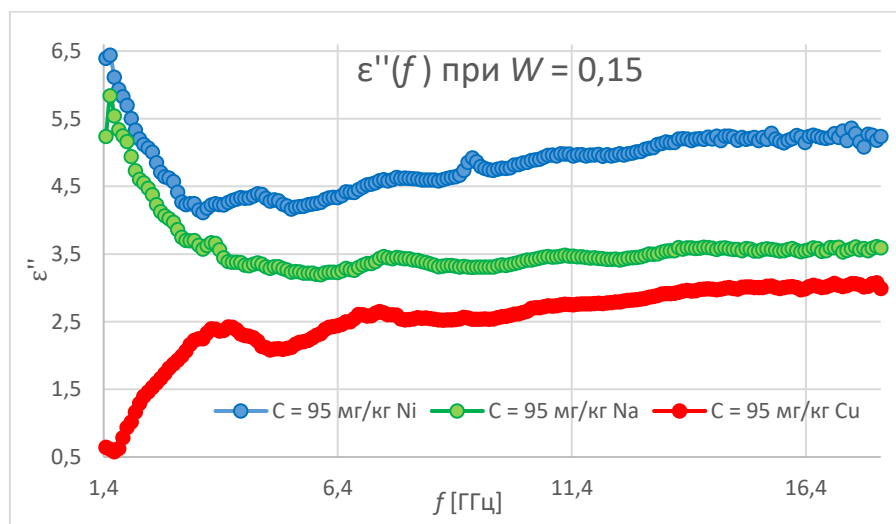


Рисунок 3 – Зависимость  $\varepsilon''(f)$  при влажности образцов  $W = 0,15$  г/г и концентрации  $C=95$  мг/кг и различных примесей

Из рисунков 2,3 следует, что частотные зависимости  $\varepsilon'$  исследуемых образцов с содержанием Cu, Ni, Na имеют качественно похожий характер, проявляющийся для увлажненных образцов в уменьшении численных значений  $\varepsilon'$  с ростом частоты. Это может быть связано с тем, что структурные элементы смеси, участвующие в дипольной поляризации, все меньше успевают менять ориентацию с ростом частоты. Мнимая часть  $\varepsilon''(f)$ , начиная с 6 ГГц возрастает с ростом частоты, что свидетельствует о приближении к области аномальной дисперсии, характеризующейся максимумом поглощения электромагнитной энергии. Однако в диапазоне частот 1,4-6 ГГц характер кривых отличается, что требует дополнительных исследований. Так, соли никеля вызывают возрастание ДП в области низких частот, что объясняется образованием насыщенного раствора, характеризующегося высокой проводимостью и образующегося в результате адсорбции воды водно-растворимыми солями  $\text{NiSO}_4$ . Возможно, такое поведение может служить критерием идентификации определенного вида соли. Кроме того, следует отметить, что зависимости  $\varepsilon'(f)$  и  $\varepsilon''(f)$  для образцов с Ni, имеют более ярко выраженную «крутизну», чем для образцов с Cu и Na. Можно предположить, что молекулы  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  связывают молекулы воды, следовательно, при одинаковой влажности,

концентрации соли и частоте диэлектрическая проницаемость образцов с данными примесями меньше, чем у образцов с примесью никеля.

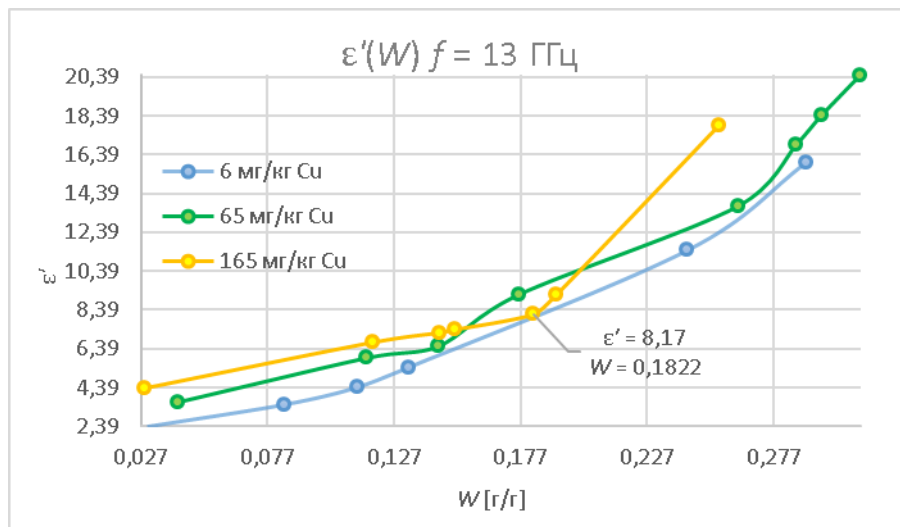


Рисунок 4 – Зависимость  $\epsilon'(W)$  образца при разных концентрациях Cu

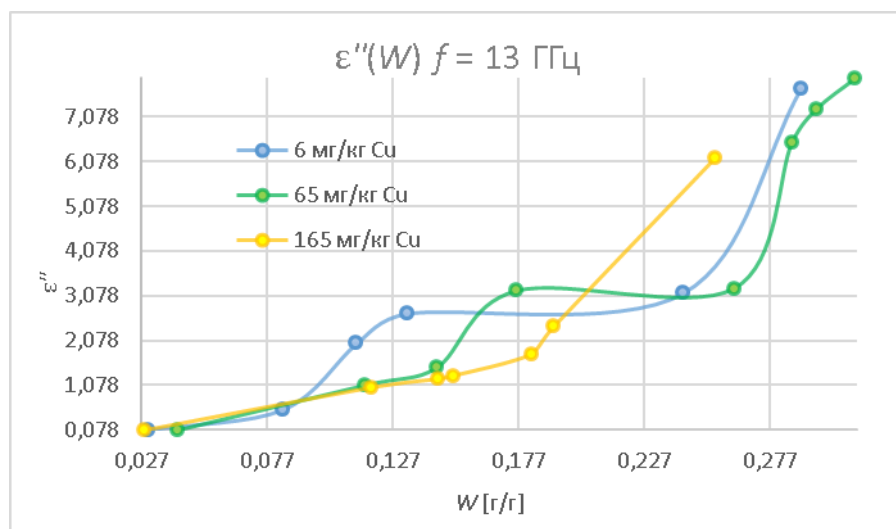


Рисунок 5 – Зависимость  $\epsilon''(W)$  образца при разных концентрациях Cu

Зависимости  $\epsilon'(W)$ ,  $\epsilon''(W)$  для образцов, содержащих Cu в концентрациях 6, 65, 165 мг/кг показали, что внесение примеси в образец увеличивает количество связанной влаги в нем, при 165 мг/кг Cu  $W_{\text{свmax}} = 0,1822$ . Увеличение в образце связанной влаги объясняется тем, что соли  $\text{CuSO}_4$  при увлажнении образуют кристаллогидраты. А относящаяся к кристаллогидратам вода является кристаллизационной и находится в группе химически связанной влаги.

*Выводы.* В результате комплексного исследования почв учебного хозяйства «Канонеровское» с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии, измерений электромагнитного отклика коаксиально-волновым методом, а также химического анализа по методу Тюрина, была проведена оценка экологического состояния исследуемого почвенного покрова. Полученные значения содержания гумуса в щелочной вытяжке в сравнении с проведенными ранее исследованиями позволяют сделать вывод об отсутствии дегумификации в данных почвах Ачинского района. Измеренные концентрации подвижных форм тяжелых металлов находятся в пределах ПДК. Обнаружено небольшое превышение концентрации сульфатов меди. Анализ спектров действительной и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости, а также диэльковлажностных зависимостей выявил особенности, которые, возможно, в дальнейшем позволят дистанционно исследовать почву на предмет загрязнения солями тяжелых металлов.

### Литература

1. Ibanez J.J. Future of soil science // The future of soil science / Ed. A.E. Hartemink. Wageningen: IUSS, 2006.
2. Ю.Н. Водяницкий. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2008 – 85с
3. Бондарев А.Г., Кузнецова И.В. Проблема деградации физических свойств почв России и пути ее решения // Почвоведение. -1999. - № 9. -С. 1126-1131.
4. Ковда В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. — М.: Наука, 1981.
5. Мандрыгина В.Н. Диэлектрическая проницаемость почв с различным содержанием гумуса и влияние на нее гидрофобных и гидрофильных загрязнителей / В.Н. Мандрыгина. – [Моск. пед. гос. ун-т] М., 2004.
6. Manceau A., Lanson B., Schlegel M.L., Harge J.C., Musso M., Eybert-Berard L., Hazemann J-L., Chateigner D., Lamble G.M. Quantitative Zn speciation in

smelter-contaminated soils by EXAFS spectroscopy // American J. Sci. 2000. V. 300, P. 289-343.

7. Morin G., Juillot F., Casiot C., Bruneel O., Persone J.-C., Elbaz-Poulichet F., Leblanc M., Ildefonse P., Calas G. Bacterial formation of tooeleite and mixed arsenic (III) or arsenic (V) – iron (III) gels in the Carnoules acid mine drainage, France. XANES, XRD, and SEM study // Environ. Sci. Technol. 2003. V. 37. P. 1705-1712

8. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. – 487 с

9. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов / А.М. Шутко. – Наука, 1986.

10. М.А. Волкова, Э.Я. Град, Т. Д.Кочеткова, О. А. Ульянова. Метод оценки загрязнения почв солями тяжелых металлов // Материалы IX международной студенческой научной конференции: «Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века», Ачинск (23 апреля 2021 г.) – С. 58-85

11. В.Л. Миронов, С.А. Комаров, Ю.И. Лукин Д.С. Шагов. Методика измерения частотного спектра комплексной диэлектрической проницаемости почв //Радиотехника и электроника.-2010.-Т.55, № 12.-С. 1465-1470

12. Беляева Т.А. , Бобров А.Л., Бобров П.П., Галеев ОБ. , Мандрыгина В.Н. Определение параметров моделей диэлектрической проницаемости почв с различной плотностью и различным содержанием гумуса по данным экспериментальных измерений в частотном диапазоне 0,1 - 20 ГГц // Исследование Земли из космоса. - 2003. - №5. - С. 28-34

### References

1. Ibanez J.J. Future of soil science // The future of soil science / Ed. A.E. Hartemink. Wageningen: IUSS, 2006.

2. YU.N. Vodyanickij. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh. М.: Pochvennyj institut imeni V.V. Dokuchaeva, 2008 – 85s

3. Bondarev A.G., Kuznecova I.V. Problema degradacii fizicheskikh svoystv pochv Rossii i puti ee resheniya // Pochvovedenie. -1999. - № 9. -S. 1126-1131
4. Kovda V. A. Pochvennyj pokrov, ego uluchshenie, ispol'zovanie i okhrana. — M.: Nauka, 1981.
5. Mandrygina V.N. Diehlektricheskaya pronicaemost' pochv s razlichnym sodержaniem gumusa i vliyanie na nee gidrofobnykh i gidrofil'nykh zagryaznitelej / V.N. Mandrygina. – [Mosk. ped. gos. un-t] M., 2004.
6. Manceau A., Lanson B., Schlegel M.L., Harge J.C., Musso M., Eybert-Berard L., Hazemann J-L., Chateigner D., Lamble G.M. Quantitative Zn speciation in smelter-contaminated soils by EXAFS spectroscopy // American J. Sci. 2000. V. 300, P. 289-343.
7. Morin G., Juillot F., Casiot C., Bruneel O., Persone J.-C., Elbaz-Poulichet F., Leblanc M., Ildefonse P., Calas G. Bacterial formation of tooeleite and mixed arsenic (III) or arsenic (V) – iron (III) gels in the Carnoules acid mine drainage, France. XANES, XRD, and SEM study // Environ. Sci. Technol. 2003. V. 37. P. 1705-1712
8. Arinushkina E. V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. M.: MGU, 1970. – 487 s
9. Shutko A.M. SVCH-radiometriya vodnoj poverkhnosti i pochvogrunтов / A.M. Shutko. – Nauka, 1986.
10. M.A. Volkova, EH.YA. Grad, T. D.Kochetkova, O. A. Ul'yanova. Metod ocenki zagryazneniya pochv solyami tyazhelykh metallov // Materialy IX mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii: «Nauchno-obrazovatel'nyj potencial molodezhi v reshenii aktual'nykh problem XXI veka», Achinsk (23 aprelya 2021 g.) – S. 58-85
11. V.L. Mironov, S.A. Komarov, YU.I. Lukin D.S. Shagov. Metodika izmereniya chastotnogo spektra kompleksnoj diehlektricheskoy pronicaemosti pochv //Radiotekhnika i ehlektronika.-2010.-T.55, № 12.-S. 1465-1470

12. Belyaeva T.A. , Bobrov A.L., Bobrov P.P., Galeev OB. , Mandrygina V.N. Opredelenie parametrov modelej dielektricheskoy pronikaemosti pochv s razlichnoj plotnost'yu i razlichnym sodержaniem gumusa po dannym ehksperimental'nykh izmerenij v chastotnom diapazone 0,1 -20 GGc // Issledovanie Zemli iz kosmosa. - 2003. - №5. - S. 28-34

© Косырев Н.Н., Волкова М.А., Кочеткова Т.Д., Ульянова О.А. 2022.  
*International agricultural journal*, 2022, № 1, 341-353.

**Для цитирования:** Косырев Н.Н., Волкова М.А., Кочеткова Т.Д., Ульянова О.А. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ УЧЕБНОГО ХОЗЯЙСТВА «КАНОНЕРОВСКОЕ» //International agricultural journal. 2022. № 1, 341-353.