

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

УДК 631.425

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2021.3.32>

Г. Н. Бузук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРОФНОСТИ ПОЧВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. СООБЩЕНИЕ 1. УСТРОЙСТВО И ЛАБОРАТОРНАЯ МЕТОДИКА

г. Витебск, Республика Беларусь

Целью настоящей работы была разработка устройства и методики определения трофности почвы с помощью электрофизического метода, в основе которого лежит измерение удельного электрического сопротивления (УЭС) почвы. В предложенном устройстве в качестве датчика используется установка F. Wenner. Устройство имеет модульную конструкцию и включает модуль повышения напряжения, ШИМ-генератор прямоугольных импульсов, инвертор прямоугольных сигналов и H-мост, который осуществляет переключение полярности питания с целью предотвращения поляризации электродов. Определены метрологические характеристики измерения удельного сопротивления, а также влияние глубины погружения электродов в исследуемый субстрат. Установлено его существенное влияние и нелинейный характер, который хорошо аппроксимировался степенной функцией. Предложены простейшие уравнения для приведения измеренных значений УЭС к определенному заглублению электродов в исследуемый объект. Методика может использоваться для оценки трофности почв в местах произрастания лекарственных растений.

Ключевые слова: геофизические методы, электрофизика почв, установка Wenner.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, несмотря на то что понятие трофности почв не имеет четкого определения и часто воспринимается как синоним понятий «богатство среды», «общая обеспеченность элементами питания», оно широко используется в экологических и геоботанических исследованиях [1].

Трофность почв по своей природе является комплексным фактором, который определяется содержанием в почве жизненно необходимых для роста и развития растений элементов минерального питания и их биодоступностью. Биодоступность элементов, в свою очередь, зависит от кислотности почв, их гранулометрического состава, ионообменной способности, содержания органического вещества (гумуса), влажности и т.д.

Отдельным, но мало изученным вопросом является роль трофности почвы для синтеза и накопления в продуцирующих их растениях вторичных метаболитов, в том числе фенольных соединений, алкалоидов, терпеноидов и др., содержа-

нием которых определяется фармакологическая, соответственно, лекарственная ценность растений. Проведенные нами исследования на примере чистотела большого (*Chelidonium majus* L.) позволили выявить тесную связь между накоплением основного алкалоида коптизина и трофностью почвы, которую определяли с помощью экологических шкал [2]. Однако использование экологических шкал требует хорошего знания флоры, поскольку основывается на анализе геоботанических описаний местообитаний растений. В связи с этим актуальным является разработка экспрессного неdestructивного инструментального способа оценки трофности почвы, пригодного для использования в фармакогнозии.

Оценка трофности почв методами инструментального анализа возможна, однако связана со значительными временными и материальными затратами и трудоемкостью.

В связи с этим достаточно актуальным является поиск экспрессных способов и методов оценки трофности почв. Одним

из таких экспрессных и неструктивных методов является оценка трофности почв по электропроводности (ЕС) или удельному электросопротивлению почвы (ER или УЭС). Электропроводность (ЕС) или обратно пропорциональная ей величина – электрическое сопротивление (ER) – постоянные характеристики вещества: $ЕС = 1 / ER$. Так как эти параметры связаны друг с другом, то не имеет особого значения, что измеряется – электропроводность или сопротивление [3, 4].

На измеряемые электропроводность или удельное сопротивление почвы значительное влияние оказывают температура и влажность. Значения температуры и влажности могут заметно изменяться в течение дней или даже часов.

На измеряемые электропроводность или удельное сопротивление почвы влияет уровень питательных веществ в ней и ее засоленность. Данные параметры могут изменяться как незначительно за длительный период времени, так и быстро при проведении ирригации почвы или в случае внесения удобрений. Другие свойства почвы, влияющие на электропроводность, изменяются намного медленнее, и к этой категории относятся такие свойства, как кислотность, гранулометрический состав, содержание органического вещества, емкость катионного обмена, специфика поверхности и т.д. [5].

Для нивелирования влияния влажности измерение электропроводности или удельного сопротивления почв проводят при достаточно высокой влажности, близкой к полной полевой влагоемкости (диапазоне капиллярного увлажнения). В поле такие условия обычно обеспечиваются гумидностью климата (преобладанием осадков над испарением) и сезоном года (весна, начало лета). Влияние температуры корректируется температурным коэффициентом [6–9].

В результате электропроводность почвы тесным образом зависит от таких свойств почвы, как гранулометрический состав (содержание песка и глины), емкость катионного обмена, содержание общего углерода и элементов минерального питания, определяющих в конечном итоге трофность почвы [10–12].

Важнейший момент в оценке электрических параметров почвы состоит в том, что он характеризует почвы в реальной об-

становке. Большинство же методов почвоведения основано на анализе отобранных и высушенных образцов, что существенно меняет оценку особенностей почв и их свойств [12].

В конечном счете было показано, что электрическое сопротивление почв связано с урожайностью и другими показателями развития растений в той степени, в которой лимитирующим фактором для них являются свойства почвы [13–15].

Целью настоящей работы является создание устройства, пригодного для определения электросопротивления почвы в лабораторных и полевых условиях, а также обоснование методики его применения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для измерения электрического сопротивления использовали 4-электродную симметричную установку AMNB (рисунок 1) или установку F. Wenner [3, 4].

Для лабораторных опытов применяли установку с расстоянием между электродами 25 мм [16]. Длина электродов в установке составляла 90 мм, диаметр – 2 мм.

На электроды АВ установки подается напряжение питания, и в этой же цепи измеряется ток. На MN измеряют падение напряжения. Сопротивление рассчитывают по специальной формуле:

$$ER = k \cdot (U/I), \quad (1)$$

$$k = \pi \cdot (AM \cdot AN) / MN = 2 \cdot \pi \cdot MN = 2 \cdot \pi \cdot a, \quad (2)$$

где U – падение напряжения на электродах MN, mV;

I – сила тока, mA;

k – геометрический коэффициент установки;

π – 3,1415,

a – расстояние между электродами, мм.

Область исследования лежит между электродами АВ и определяется расстоянием (расстоянием между электродами А и В); ее глубинность в среднем составляет $0,52 \cdot a$.

В качестве источника питания использовали литий-ионный аккумулятор емкостью 10000 мАч. Регуляцию напряжения на токовых электродах АВ осуществляли с помощью DC-DC повышающего преобразователя XL 6009 или XL 4015, обе-

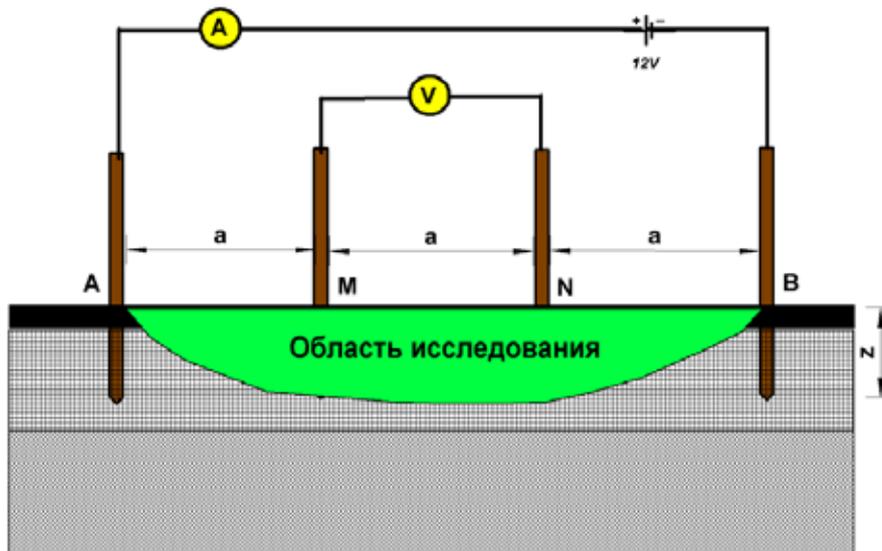


Рисунок 1. – Схема установки для определения удельного электрического сопротивления (УЭС) почвы

спечивающего регуляцию напряжения в пределах 5–45 вольт. Для снижения влияния поляризации электродов на результаты измерения сменяли полярность питания установки с частотой 20 Гц [17]. Для этой цели использовали схему, состоящую из генератора широтно-импульсной модуляции (ШИМ-генератора) прямоугольных импульсов (диапазон 1 Гц–150 кГц), инвертора сигнала на микросхеме SN74НС04N и H-моста (L298N). H-мост обеспечивал переключение полярности питания, поступающего с DC-DC преобразователя на токовые электроды АВ, с частотой, задаваемой ШИМ-генератором – 20 Гц. Скважность импульсов составляла 50% (длительность пика и интервал между ними равны). Для измерения силы тока и падения напряжения использовали два мультиметра ZT302 с функцией True RMS (истинное среднеквадратичное значение) и возможностью «замораживания (hold)» показаний. Измерить силу тока и падение напряжения простейшим мультиметром не представляется возможным.

В связи с высокой гетерогенностью образцов почвы для отработки методики использовали водный экстракт дерново-подзолистой почвы в соотношении 1:10 после отстаивания в течение 3–4 суток, а также почву, насыщенную водой до пол-

ного капиллярного увлажнения. Для этого к образцу сырой почвы при перемешивании постепенно добавляли воду до получения пасты, которую выдерживали в течение часа для самоуплотнения перед проведением измерений.

Для проведения измерений с различной степенью погружения электродов в исследуемый образец (экстракт или почву) установку (рисунок 1) закрепляли на штативе с зубчатым регулятором и линейкой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения метрологических параметров измерений, получаемых на собранной нами установке, было проведено 17 параллельных определений УЭС в водном экстракте дерново-подзолистой почвы. Данные подвергали статистической обработке. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Для оценки влияния глубины погружения электродов установки в экстракт или почву первоначально были проведены опыты с водным экстрактом из почвы как наиболее гомогенным объектом. Полученные данные представлены на рисунках 2–3.

Из представленных на рисунке 2 результатов видно, что сила тока увеличи-

Таблица 1. – Метрологическая характеристика измерений УЭС на установке

n	Min	Max	Mean	Std	CV	Sx%	Median
17	16,67	17,34	16,92	0,223	1,31	0,31	16,88

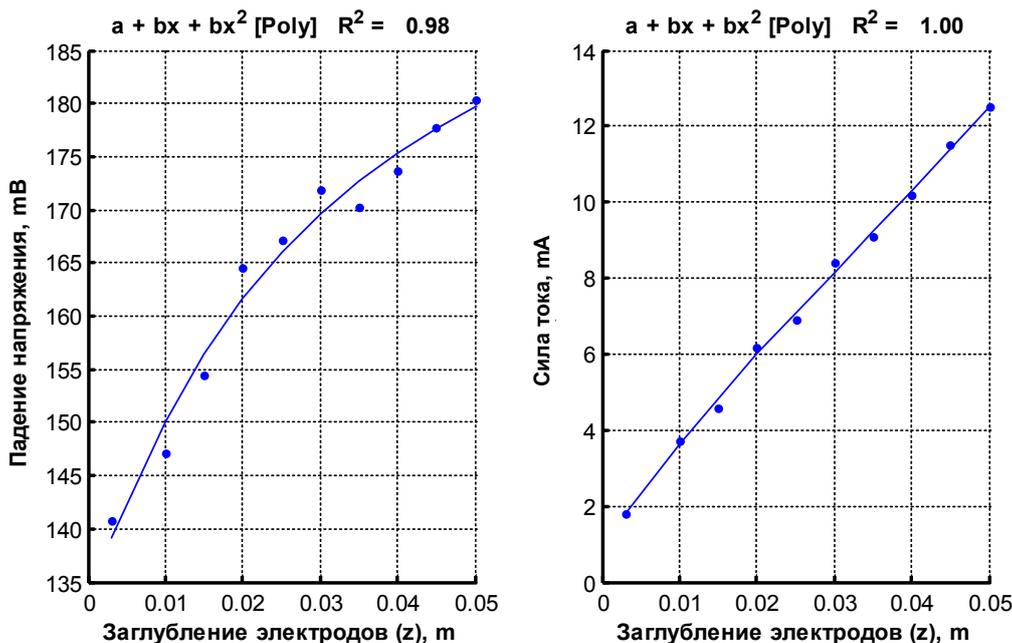


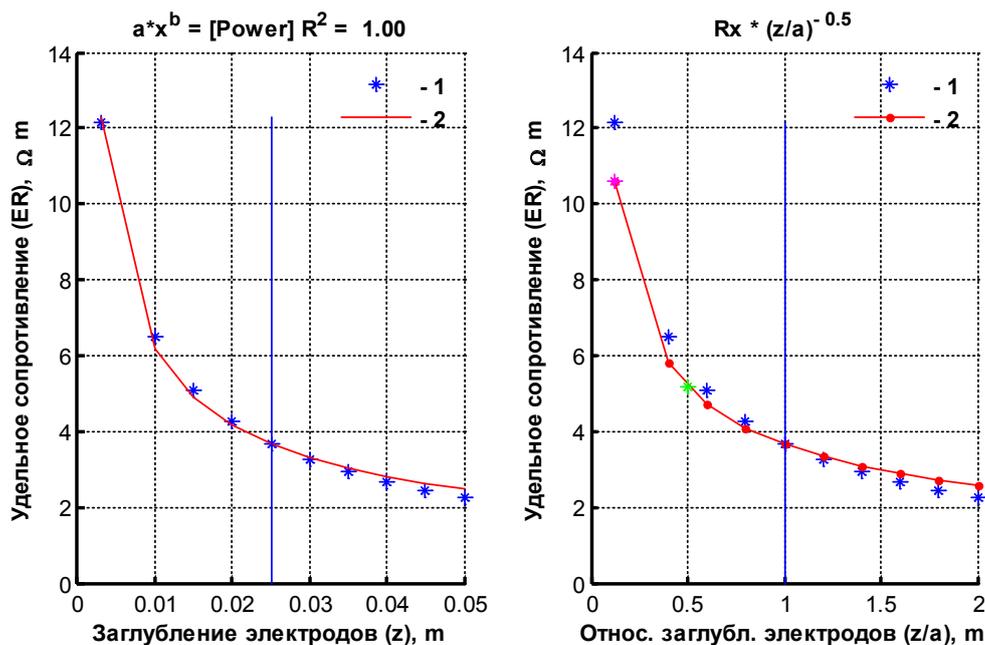
Рисунок 2. – Изменение силы тока и величины падения напряжения по мере погружения электродов в водный экстракт почвы

вается пропорционально (линейно) степени погружения электрода в экстракт, фактически пропорциональна площади электрода, в то время как аналогичная зависимость для падения напряжения носит нелинейный характер.

Рассчитанные значения УЭС представлены на рисунке 3. Как можно видеть из представленных данных, с увеличением

погружения электродов в экстракт почвы УЭС нелинейно уменьшается. Зависимость хорошо аппроксимируется степенной функцией с коэффициентом детерминации, близким к 1, что указывает на практически функциональную связь.

Таким образом, глубина погружения электродов оказывает существенное влияние на величины УЭС. Из рисунка 3 мож-



Обозначения: 1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимация
Рисунок 3. – Зависимость УЭС от глубины погружения электродов в экстракт почвы

но видеть, что погружение электродов на глубину, равную межэлектродному расстоянию (обозначено вертикальной линией), ведет к снижению УЭС почти в три раза.

Далее нами были рассчитаны зависимости УЭС от относительной (по отношению к межэлектродному расстоянию – z/a) глубины погружения электродов в экстракт почвы. Зависимость оказалась практически идентичной первому случаю. Нами найдено уравнение, позволяющее рассчитать УЭС для различных глубин:

$$ER = R_x \cdot (z/a)^{-0.5}, \quad (3)$$

где R_x – наблюдаемое значение УЭС при погружении электрода в исследуемую среду на глубину z при межэлектродном расстоянии a .

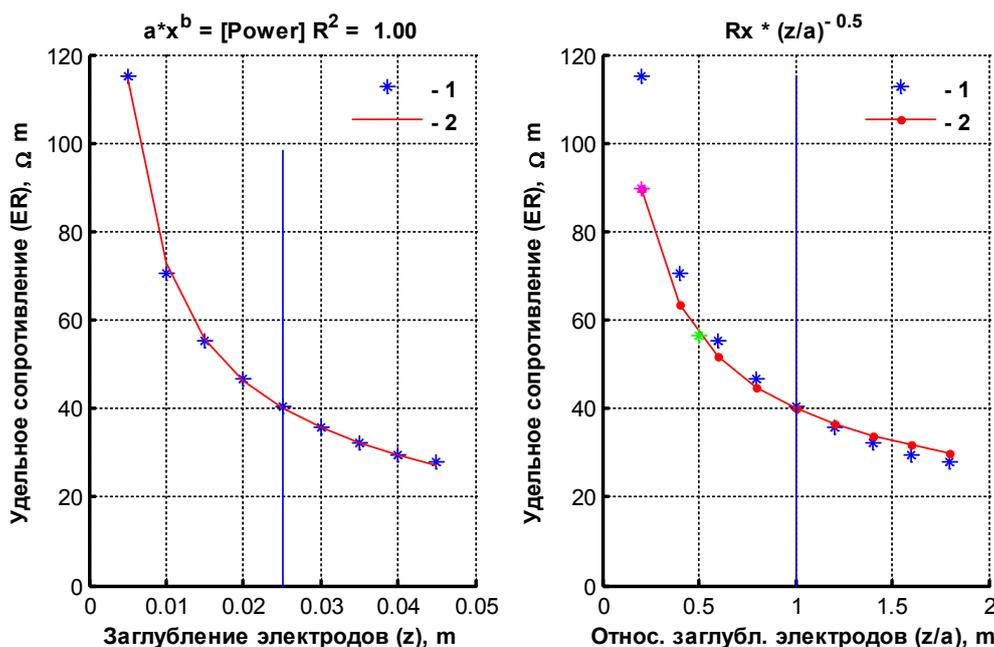
Предложенное уравнение позволяет привести значения УЭС к определенной глубине погружения электрода в исследуемый объект, что может быть важным при проведении сравнительных исследований. Для получения воспроизводимых и сопоставимых результатов нужно строго контролировать заглубление электродов. В противном случае высокая вариабельность, обусловленная влиянием степени заглубления электродов, может привести

к значительному «огрублению» полученных данных и не выявлению связей и достоверных различий там, где они на самом деле имеются.

Далее работа была продолжена с более гетерогенной, по сравнению с экстрактом почвы, средой, представляющей собой насыщенную до капиллярного увлажнения почву.

Полученные данные представлены на рисунке 4. Как и в случае с экстрактом почвы, зависимости силы тока и падения напряжения от заглубления электродов были практически идентичны таковым для экстракта почвы. Очень похожими оказались и зависимости УЭС от заглубления электродов в почву – аппроксимация степенной функцией и уравнением (3), позволяющим рассчитать УЭС для практически любых значений заглубления электродов в почву.

Применяемые до сих пор электроды были без изоляции и контактировали с экстрактом или почвой на величину погруженной части. Вместе с тем представляло интерес, как поведут себя изучаемые параметры при частичной изоляции электродов от экстракта или почвы. Для решения этой задачи электроды на всем протяжении изолировали с помощью термоусадочного пластика, оставляя для контакта обнаженными 3 мм кончиков электродов.



Обозначения те же, что на рисунке 3

Рисунок 4. – Зависимость УЭС от глубины погружения электродов в почву

Данные, полученные в опытах с экстрактом почвы и насыщенной водой почвой, представлены на рисунках 5–7. Как видно из данных, представленных на рисунке 5, зависимости силы тока и падения напряжения от степени заглубления частично изолированных электродов ведут себя противоположным образом по сравне-

нию с неизолрованными электродами (рисунок 2). В частности, наблюдается близкое к линейному падение напряжения, в то время как сила тока увеличивается нелинейно.

Однако рассчитанные значения УЭС, как и в предыдущем случае, хорошо аппроксимируются нелинейной степенной функцией (рисунки 6–7). Кроме того, удалось найти

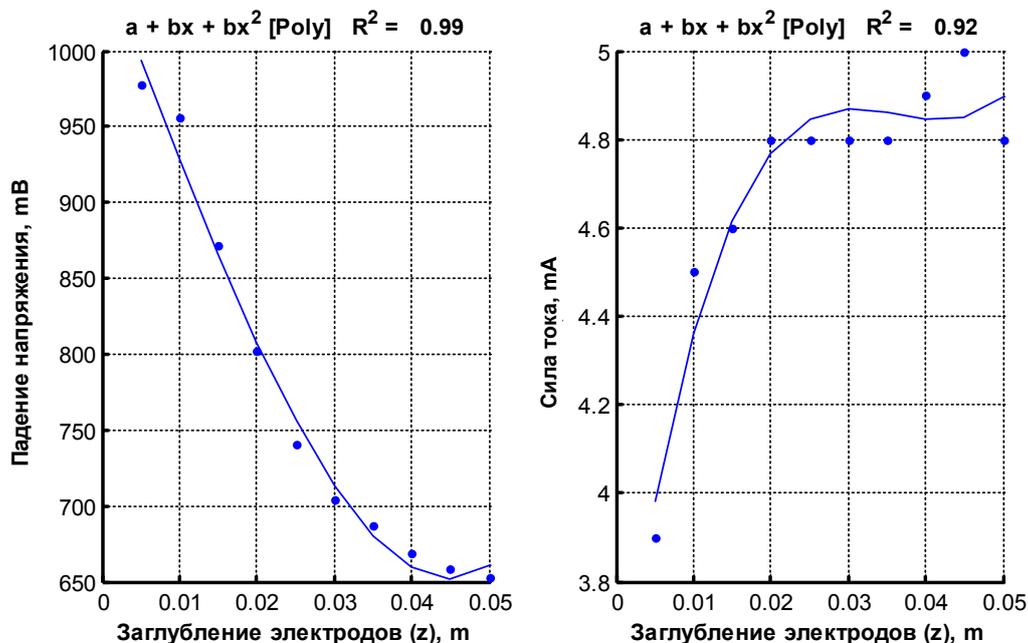
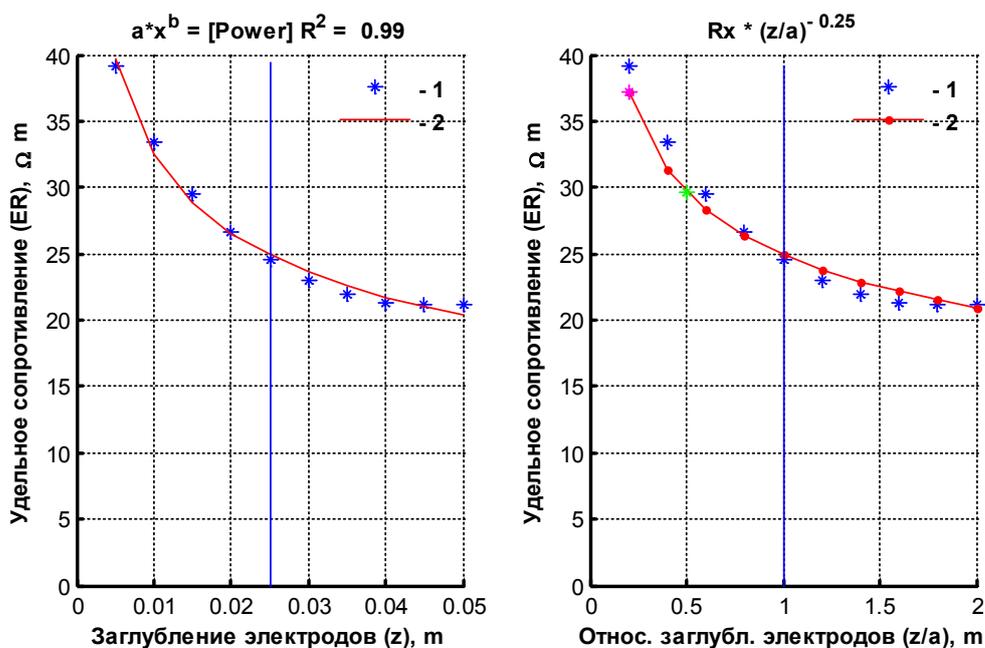


Рисунок 5. – Изменение силы тока и величины падения напряжения по мере погружения частично изолированных электродов в водный экстракт почвы



Обозначения те же, что на рисунке 3

Рисунок 6. – Зависимость УЭС от глубины погружения частично изолированных электродов в экстракт почвы

уравнение, позволяющее рассчитать УЭС для различных глубин при использовании частично изолированных электродов:

$$ER = R_x \cdot (z/a)^{-0,25}, \quad (4)$$

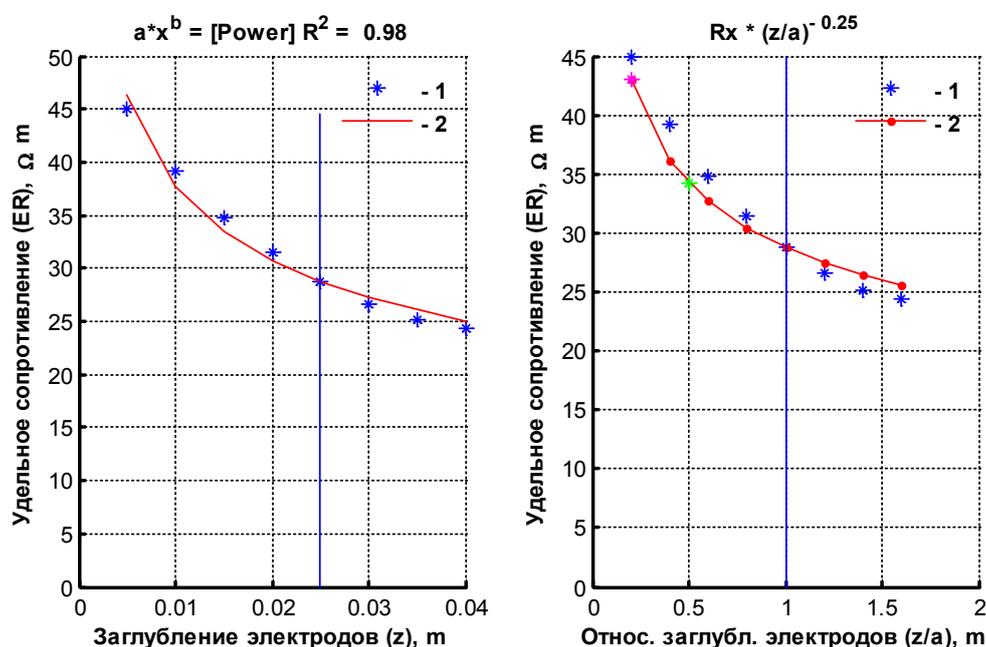
где R_x – найденное значение УЭС при погружении электрода в исследуемую среду на глубину z при межэлектродном расстоянии a .

Разница состояла лишь в степени: -0,5 для неизолированных электродов и -0,25 для частично изолированных.

Таким образом, учет степени заглубления электродов при определении удельно-

го электрического сопротивления почвы является важным в плане снижения вариабельности получаемых результатов. В литературе же по этому поводу существуют весьма расплывчатые рекомендации – от 2–3 см или до 0,1 межэлектродного расстояния a [17–20]. Иногда вообще степень заглубления электродов в почву игнорируется, а внимание концентрируется на величине разносов (расстоянии между электродами) и глубинности метода [3, 20], который определяется величиной разноса электродов.

Разработанная методика может в дальнейшем использоваться для прогнозирования накопления вторичных метаболитов в лекарственном растительном сырье.



Обозначения те же, что на рисунке 3.

Рисунок 7. – Зависимость УЭС от глубины погружения частично изолированных электродов в почву

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований создана портативная, пригодная для работы как в лабораторных, так и полевых условиях установка, позволяющая определять УЭС и, соответственно, трофность почвы. На модельных объектах, в качестве которых использовали водный экстракт почвы и почву, насыщенную водой до полного капиллярного увлажнения, установлено сильное влияние степени заглубления электродов на получаемые значения УЭС. Зависимость УЭС от степени заглубления электродов хорошо аппрок-

симируется степенной функцией. На основании связи относительного заглубления электродов и УЭС предложены простейшие уравнения для вычисления значений УЭС для заданных заглублений электродов. Выявлено сильное влияние частичной изоляции электродов на определение УЭС. Все вышеизложенное следует учитывать при проведении исследований с использованием удельного электрического сопротивления почв в качестве суррогатного показателя ее трофности. Методика может использоваться для оценки свойств почвы в местах произрастания лекарственных растений.

SUMMARY

G. N. Buzuk

DETERMINATION OF SOIL TROPICITY BY ELECTROPHYSICAL METHOD. MESSAGE 1. DEVICE AND LABORATORY TECHNIQUE

The purpose of this work was to develop a device and technique for determining the soil trophicity using the electrophysical method based on the measurement of the soil specific resistivity (SR). In the proposed device the F. Wenner installation is used as a sensor. The device has a modular design and includes a voltage boosting module, a PWM generator of rectangular pulses, a rectangular signal inverter and an H-bridge that switches the polarity of the power supply in order to prevent polarization of the electrodes. The metrological characteristics of the specific resistivity measurement as well as the influence of the electrodes immersion depth in the substrate studied are determined. Its significant influence and nonlinear character which was well approximated by the power function were established. The simplest equations for bringing the measured values of the RS to a certain depth of the electrodes in the object studied are proposed.

Keywords: geophysical methods, soil electrophysics, Wenner installation.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветов, Н. А. Понятие трофности в связи с антропогенной эвтрофикацией верховых болот Ханты-Мансийского Приобья / Н. А. Аветов, Е. А. Шишконокова // Бюл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. – 2013. – № 71. – С. 36–51.

2. Погоцкая, А. А. Морфометрия *Chelidonium majus* L.: взаимосвязь размеров, формы листа и содержания алкалоидов и фенольных соединений / А. А. Погоцкая, Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестн. фармации. – 2010. – № 3. – С. 26–39.

3. Поздняков, А. И. Электрофизика почв / А. И. Поздняков, А. Д. Позднякова. Москва–Дмитров: [б. и.], 2004. – 48 с.

4. Поздняков, А. И. Полевая электрофизика почв / А. И. Поздняков. – Москва: Наука / Интерпериодика, 2001. – 430 с.

5. Рязанцев, П. А. Использование электро-разведочных методов для картирования почвенных неоднородностей / П. А. Рязанцев, О. Н. Бахмет // Почвоведение. – 2020. – № 5. – С. 535–546.

6. Comparing temperature correction mod-

els for soil electrical conductivity measurement / R. Ma [et al.] // Precision Agriculture. – 2011. – Vol. 12, N 1. – P. 55–66.

7. The temperature correction for the electrical resistivity measurements in undisturbed soil samples: Analysis of the existing conversion models and proposal of a new model / A. Besson [et al.] // Soil Science. – 2008. – Vol. 173, N 10. – С. 707–720.

8. Friedman, S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review / S. P. Friedman // Computers and electronics in agriculture. – 2005. – Vol. 46, N 1/3. – P. 45–70.

9. Corwin, D. L. Past, present, and future trends of soil electrical conductivity measurement using geophysical methods / D. L. Corwin // Handbook of Agricultural Geophysics / editors: B. J. Allred, J. J. Daniels, M. R. Ehsani. – New York: CRC Press, 2008. – P. 17–44.

10. Поздняков, А. И. Электрофизический подход к оценке некоторых элементов окультуренности и плодородия легких почв гумидной зоны / А. И. Поздняков, П. И. Елисеев, Л. А. Поздняков // Почвоведение. – 2015. – № 7. – С. 832–842.

11. Поздняков, А. И. Электрические параметры почв и почвообразование / А. И. Поздняков // Почвоведение. – 2008. – № 10. – С. 1188–1197.

12. Поздняков, А. И. Электрическое сопротивление как возможный показатель окультуренности пахотных супесчаных почв гумидной зоны / А. И. Поздняков, П. И. Елисеев, А. В. Русаков // Вестн. Москов. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 54–60.

13. Singh, G. Spatial relation of apparent soil electrical conductivity with crop yields and soil properties at different topographic positions in a small agricultural watershed / G. Singh, K. W. J. Williard, J. E. Schoonover // Agronomy. – 2016. – Vol. 6, N 4. – P. 57.

14. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements / A. Stadler [et al.] // Europ. j. of agronomy. – 2015. – Vol. 64. – P. 8–20.

15. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield maps / C. M. Anderson-Cook [et al.] // Soil Science Soc. of America J. – 2002. – Vol. 66, N 5. – P. 1562–1570.

16. Поздняков, А. И. Электрофизические методы исследования почв (методическое пособие для практики по физике почв) / А. И. Поздняков. – Москва: Московский гос. ун-т. – 2009. – 38 с.

17. IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a grounding system: standard 81-2012 / Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2012. doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6392181

18. Unde, M. Soil Resistivity Measurement

and Interpretation Technique / M. Unde, V. Tathe // Intern. J. of Engineering Research and Applications. – 2020. – Vol. 10, Iss. 5. – P. 25–30.

19. Faleiro, E. Improved measurements of the apparent resistivity for small depths in Vertical Electrical Soundings / E. Faleiro, G. Asensio, J. Moreno // J. of Appl. Geophysics. – 2016. – Vol. 131. – P. 117–122.

20. Зубкова, Т. А. Электрическое сопротивление структурных элементов биогеоценозов / Т. А. Зубкова, Н. А. Мартынова, В. М. Белоусов // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер.: Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 82–89.

REFERENCES

1. Avetov NA, Shishkonakova EA. The concept of trophicity in connection with anthropogenic eutrophication of raised bogs in the Khanty-Mansiysk Ob region. *Biul Pochvennogo in-ta im VV Dokuchaeva*. 2013;(71):36 – 51. (In Russ.)

2. Pogotskaia AA, Buzuk GN, Sozinov OV. Morphometry of *Chelidonium majus* L.: relationship between leaf size, shape and content of alkaloids and phenolic compounds. *Vestn farmatsii*. 2010;(3):26-39. (In Russ.)

3. Pozdniakov AI, Pozdniakova AD. Electrophysics of soils. Moskva–Dmitrov, RF; 2004. 48 s. (In Russ.)

4. Pozdniakov AI. Field electrophysics of soils. Moskva, RF: Nauka/Interperiodika; 2001. 430 s. (In Russ.)

5. Riazantsev PA, Bakhmet ON. The use of electrical exploration methods for mapping soil heterogeneities. *Pochvovedenie*. 2020;(5):53-46. doi: 10.31857/S0032180X20050123. (In Russ.)

6. Ma R, McBratney A, Whelan B, Minasny B, Short M. Comparing temperature correction models for soil electrical conductivity measurement. *Precis Agric*. 2011;12(1):55-66. doi: 10.1007/s11119-009-9156-7

7. Besson A, Cousin I, Dorigny A, Dabas M, King D. The temperature correction for the electrical resistivity measurements in undisturbed soil samples: Analysis of the existing conversion models and proposal of a new model. *Soil Sci*. 2008;173(10):707-20. doi: 10.1097/SS.0b013e318189397f

8. Friedman SP. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Comput electron agric*. 2005;46(1/3):45-70. doi: 10.1016/j.compag.2004.11.001

9. Corwin DL. Past, present, and future trends of soil electrical conductivity measurement using geophysical methods. In: Allred BJ, Daniels JJ, Ehsani MR, editors. *Handbook of Agricultural Geophysics*. New York, USA: CRC Press; 2008. p. 17- 44

10. Pozdniakov AI, Eliseev PI, Pozdniakov

LA. Electrophysical approach to the assessment of some elements of cultivation and fertility of light soils in the humid zone. *Pochvovedenie*. 2015;(7):832-42. doi: 10.7868/S0032180X15050068. (In Russ.)

11. Pozdniakov AI. Electrical parameters of soils and soil formation. *Pochvovedenie*. 2008;(10):1188-97. (In Russ.)

12. Pozdniakov AI, Eliseev PI, Rusakov AV. Electrical resistance as a possible indicator of the cultivation of arable sandy loam soils in the humid zone. *Vestn Moskov un-ta Ser 17 Pochvovedenie*. 2012;(2):54-60. (In Russ.)

13. Singh G, Williard KWJ, Schoonover JE. Spatial relation of apparent soil electrical conductivity with crop yields and soil properties at different topographic positions in a small agricultural watershed. *Agronomy*. 2016;6(4):57. doi: 10.3390/agronomy6040057

14. Stadler A, Rudolph S, Kupisch M, Langensiepen M, Kruk J, Ewert F. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements. *Eur J Agron*. 2015;64:8-20. doi: 10.1016/j.eja.2014.12.004

15. Anderson-Cook CM, Alley MM, Roygard JKF, Khosla R, Noble RB, Doolittle JA. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield maps. *Soil Sci Soc Am J*. 2002;66(5):1562-70. doi: 10.2136/sssaj2002.1562

16. Pozdniakov AI. Electrophysical methods of soil research (methodological guide for practice in soil physics). Moskva, RF: Moskovskii gos un-t; 2009. 38 s. (In Russ.)

17. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Standard 81-2012 - IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a grounding system. 2012. doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6392181

18. Unde M, Tathe V. Soil Resistivity Measurement and Interpretation Technique. *Int J Eng Res Appl*. 2020;10(5):25-30

19. Faleiro E, Asensio G, Moreno J. Improved measurements of the apparent resistivity for small depths in Vertical Electrical Soundings. *J Appl Geophy*. 2016;131:117-22. doi: 10.1016/j.jappgeo.2016.05.016

20. Zubkova TA, Martynova NA, Belousov VM. Electrical resistance of structural elements of biogeocenoses. *Izv Irkutskogo gos un-ta Ser Nauki o Zemle*. 2011;4(2):82–9. (In Russ.)

Адрес для корреспонденции:

г. Витебск, Республика Беларусь,

тел. +375-29-715-08-38,

e-mail: buzukg@mail.ru,

профессор, доктор фармацевтических наук,

Бузук Г.Н.

Поступила 14.09.2021 г.