

05.20.02 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

05.20.02

УДК 631.437.213

DOI: 10.24411/2227-9407-2020-10092

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА И УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ПОЧВ ГУМИДНОЙ ЗОНЫ

*M. V. Левшин**Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск (Россия)*

Аннотация

Введение: современным трендом в области производства растениеводческой продукции признано точное земледелие. Его базисом является внесение удобрений в зависимости от пестроты почвенного плодородия. С целью агрохимической оценки, отвечающей требованиям экономичности и экспрессности, необходима разработка высокоточных методов анализа. Современный электрофизический метод, основанный на электрическом сопротивлении, в почвенно-аналитической практике получил широкое распространение. Он зарекомендовал себя как удобный и экспрессный способ получения комплексной характеристики свойств почв. Общеизвестно, что в зоне преобладания аридных почв активно используется электрическое сопротивление и обратное ему – электропроводность для оценки степени засоления. Эффективное применение метода в гумидных зонах возможно только после оценки величины отдельных почвенных свойств на сопротивление индивидуально и в совокупности.

Материалы и методы: для того чтобы охватить больший спектр признаков, оказывающих влияние на электрические показатели основных типов почв Тамбовской области, были выбраны так называемые обыкновенные черноземы, черноземы солонцеватые и дерново-подзолистые и на базе этих типов почв исследована зависимость частотных характеристик от емкости катионного обмена, выявленная в образцах этих видов.

Результаты и обсуждение: по итогам измерений, при анализе полученных данных были составлены графики зависимостей удельного электрического сопротивления от ЕКО при разных частотах подаваемого сигнала. Зависимость удельного сопротивления почвы от емкости катионного обмена (ЕКО) при заданных уровнях частоты сигнала показала, что наиболее низкие значения удельное сопротивление почвы имеет при высоких частотах (10 и 20 МГц). На полученных графиках видно, что графики зависимостей принимают различные формы для разных типов почв.

Заключение: на примере черноземов обыкновенных, черноземов солонцеватых и дерново-подзолистых типов почв установлено, что электрическое сопротивление тесно связано с характеристиками подаваемого сигнала, а именно с частотой. Произведена оценка влияния частоты подаваемого сигнала на измеренное удельное электрическое сопротивление при разных уровнях емкости катионного обмена. Коэффициенты влияния уровня ЕКО различны. Коэффициент с ростом ЕКО сначала возрастает, достигая максимума, а затем снижается до начальных значений для черноземов обыкновенных. Для дерново-подзолистых наблюдается незначительно изменение коэффициента с ростом ЕКО, а с достижением определенного значения наблюдается его резкий рост. Черноземы солонцеватые показывают снижение коэффициента влияния с ростом ЕКО, достигает минимума, затем растет до максимальных значений.

Ключевые слова: гумидная зона, емкость катионного обмена, удельное электрическое сопротивление, частота переменного электрического поля, электрофизический метод оценки свойств почвы.

Для цитирования: Левшин М. В. Взаимосвязь частоты электрического сигнала и удельного сопротивления при электрофизическому подходе оценки свойств почв гумидной зоны // Вестник НГИЭИ. 2020. № 10 (113). С. 33–42. DOI: 10.24411/2227-9407-2020-10092

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FREQUENCY OF THE ELECTRIC SIGNAL AND RESISTIVITY IN THE ELECTROPHYSICAL APPROACH TO ASSESSING THE PROPERTIES OF SOILS IN THE HUMID ZONE

*M. V. Levshin**Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk (Russia)*

Abstract

Introduction: precision farming is recognized as a modern trend in the field of crop production. Its basis is the application of fertilizers, depending on the variegation of soil fertility. For the purpose of agrochemical assessment that meets the requirements of economy and expressiveness, it is necessary to develop highly accurate methods of analysis. The modern electrophysical method based on electrical resistance has become widespread in soil analytical practice. It has established itself as a convenient and rapid way to obtain a comprehensive characterization of soil properties. It is well known that in the zone of predominance of arid soils, electrical resistance and its opposite - electrical conductivity are actively used to assess the degree of salinity. Effective application of the method in humid zones is possible only after assessing the magnitude of individual soil properties for resistance individually and in aggregate.

Materials and methods: in order to cover a wider range of features affecting the electrical indicators of the main types of soils in the Tambov region, the so-called ordinary black earth, solonetzic black earth and soddy-podzolic black earth were selected, and on the basis of these types of soils, the dependence of frequency characteristics on the capacity of cation exchange was studied. identified in samples of these species.

Results and discussion: based on the results of measurements, when analyzing the data obtained, graphs of the dependences of electrical resistivity on cation exchange capacity were drawn up at different frequencies of the supplied signal. The dependence of the soil resistivity on the cation exchange capacity at the given signal frequency levels showed that the soil resistivity is lowest at high frequencies (10 and 20 MHz). The graphs obtained show that the dependence graphs take different forms for different types of soils.

Conclusion: on the example of ordinary black earths, solonetzic black earths and sod-podzolic types of soils, it was found that the electrical resistance is closely related to the characteristics of the supplied signal, namely, to the frequency. The effect of the frequency of the supplied signal on the measured electrical resistivity was estimated at different levels of the cation exchange capacity. The influence coefficients of the cation exchange capacity level are different. The coefficient with the growth of cation exchange capacity first increases, reaching a maximum, and then decreases to the initial values for ordinary black earth. For soddy-podzolic, there is a slight change in the coefficient with an increase in cation exchange capacity, and when a certain value is reached, its sharp increase is observed. Solonetzic black earth show a decrease in the influence coefficient with an increase in cation exchange capacity, reaches a minimum, then grows to maximum values.

Key words: humid zone, cation exchange capacity, electrical resistivity, frequency of alternating electric field, electrophysical method for assessing soil properties.

For citation: Levshin M. V. The relationship between the frequency of the electric signal and resistivity in the electrophysical approach to assessing the properties of soils in the humid zone // Bulletin NGIEI. 2020. № 10 (113). P. 33–42. (In Russ.). DOI: 10.24411/2227-9407-2020-10092

Введение

В почвоведении и смежных науках полевые методы электрофизики активно используются уже более полувека. В то же время законы изменения электрических свойств, в том числе электрического сопротивления, широко изучаются в различных природных средах: породах, образующих горные массивы, почвах, почвенных растворах [11].

При этом следует учитывать, что ряд свойств, влияющих на электросопротивление почвы, всегда очень широк [9; 10; 11]. К примеру, принимается за факт, что электросопротивление зависит от минералогического и гранулометрического состава, пористости, насыщенности почвенными растворами, плотности, состава среды, ее температуры и т. д. [6; 11; 12; 13]. Но в то же время утверждается, что эти свойства имеют определенный диапазон значений для определенных почв, поэтому возможно ожидать довольно четких зависимостей от конкрет-

ных свойств почвы с точки зрения электрического сопротивления почвы. Диапазон этих свойств для определенных групп почв, на наш взгляд, будет различным, но не широким и полностью конкретным. Эти зависимости кажутся настолько уникальными для каждого отдельного случая, что невозможно или неразумно идентифицировать какие-либо конкретные зависимости с учетом возможных приложенных усилий. Тем не менее это не совсем так. Общеизвестно, что каждый тип почвы характеризуется определенным диапазоном значений для каждого свойства. Так как свойства почвы описываются ограниченными диапазонами значений, электросопротивление, связанное с этими свойствами, будет иметь соответствующие характерные диапазоны значений. В этом случае можно работать в определенных областях свойств, чтобы получить четкие зависимости электрических сопротивлений от этих признаков на отдельных участках.

К настоящему времени были предприняты попытки определить зависимости электрического сопротивления от различных свойств почв [3; 5; 6; 7; 8]. В некоторых случаях обнаруживаются довольно близкие зависимости электросопротивления от целой группы свойств почвы, например от влажности. При этом выявить такие зависимости с питательными веществами – фосфором, калием и некоторыми другими не удалось. Таким образом, для успешной реализации использования электрофизических методов в почвоведении, и в частности в почвенной физике, необходимо определить взаимосвязь с такими свойствами почвы, которые являются базовыми для определения конкретной почвы и отражают ее точные характеристики. В этом отношении наиболее важным является гранулометрический состав, и в частности физическая глина. ФГ-индикатор дисперсного состояния почвы, который является неотъемлемым признаком любой почвы. Несомненно, привносит свое влияние и такой показатель, как содержание углерода, который не непосредственно, но косвенно характеризует плодородие почвы. Одним из первых трех важных показателей, учитывающих использование электрозвисимостей, является емкость катионного обмена, которая указывает на развитие поверхности дисперской почвенной среды и способность насыщать твердотельную фазу почвы носителями электричества, а именно катионами.

Сейчас сложно представить любую отрасль науки и технологий без использования современных, проверенных технологий. Сельскому хозяйству также необходимы современные подходы к освоению земель. Необходимы научно обоснованные методы и подходы для быстрого и своевременного получения информации об агропочвенном состоянии природных ландшафтов и сельскохозяйственных земель. Это позволит реализовать необходимый комплекс мероприятий по мелиорации земель, при необходимости мобилизовать сельскохозяйственные материальные ресурсы, а также сделать прогнозные выводы для оценки растений с точки зрения продуктивности, что по факту и является базовым условием проектирования ландшафтных систем земледелия.

Физическими характеристиками почвы, в первую очередь важными для продуктивности растений, являются следующие параметры – плотность почвы, воздушный и тепловой режим, гранулометрический состав почвы и т. д. Тем не менее все базовые физические свойства требуют трудоемкого и длительного процесса исследования. Итак, вопрос в том, как найти такой физический параметр почвы,

который бы характеризовал состояние почвы, и в то же время мог бы быть получен максимально быстро и мобильно.

Современным трендом в области производства растениеводческой продукции признано точное земледелие [1; 2]. Его базисом является внесение удобрений в зависимости от пестроты почвенного плодородия. С целью агрохимической оценки, отвечающей требованиям экономичности и эспрессности, необходима разработка высокоточных методов. Фермеры могут получить более подробную информацию о пространственных характеристиках своих сельскохозяйственных земель, чем когда-либо прежде. Сопротивление почвы – одно из самых простых и дешевых средств измерения почвы, доступное сегодня фермерам, занимающимся точным земледелием.

Работы по комплексной оценке почвенного плодородия и окультуренности с учетом пестроты свойств полей весьма трудоемки и связаны с отбором огромного количества образцов, а также с их последующим анализом в лабораториях. Однако во многих случаях для оценки состояния почвенного покрова поля достаточно определить только степень выраженности одного или нескольких свойств, характеризующих окультуренность или плодородие, а при картографировании комплексных территорий бывает достаточно указать только генетическую принадлежность той или иной почвы [3; 5; 6; 7; 8].

Работу может значительно облегчить разработка и использование методов, позволяющих напрямую измерять любой обобщенный параметр, который характерен для большого набора свойств почвы или ее основных (базовых) характеристик, используемых для оценки состояния почвы. Одним из таких обобщенных параметров может быть электрическое сопротивление почвы, измеренное в поле или в лаборатории. Важная методическая особенность этой функции – чрезвычайно высокие измерения. Кроме того, большинство методов полевой электрографии, в которых используется электрическое сопротивление, могут измерять с поверхности, т. е. без надрезов и взятия проб дать информацию о любом слое исследуемой почвы [11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20].

В смежных с почвоведением науках и в самом почвоведении на протяжении более чем полувека усиленно изучаются закономерности электрических свойств почв в полевых условиях, в том числе и электросопротивления, для самых разных природных сред. В лабораторных условиях измерения сопротивления и электропроводности используют еще дальше [11]. Согласно результатам, полученным

ранее в России и за рубежом, электрические свойства почв зависят в различных почвенно-климатических зонах от «базовых», диагностических свойств.

Современный электрофизический метод, основанный на электрическом сопротивлении, в почвенно-аналитической практике получил широкое распространение. Он зарекомендовал себя как удобный и экспрессный способ получения комплексной характеристики свойств почв [3; 5; 6]. Общеизвестно, что в зоне преобладания аридных почв активно используется электрическое сопротивление и обратное ему – электропроводность для оценки засоления [10; 11]. Эффективное применение метода в гумидных зонах возможно только после оценки величины отдельных почвенных свойств на сопротивление индивидуально и в совокупности. Выполнение этой задачи даст точное определение возможности методов электрофизики [8; 11].

В наши дни существует несколько способов измерения электрических характеристик почв – это при переменном и постоянном электрическом поле. У каждого из них есть свои преимущества, а также недостатки. Главное требование к выбору способа измерения – это получение максимального количества данных для характеристики исследуемого объекта. На сегодня более технически совершенным способом признано измерение на постоянном электрическом поле [5; 6].

Однако при проведении измерений на переменном электрическом поле других характеристик, таких как удельное электрическое сопротивление почвы, недостаточное внимание, на наш взгляд, удалено зависимости результатов измерений от частоты переменного электрического тока.

Целью данного исследования является получение данных о влиянии частоты измерительного сигнала на получаемые значения удельного электрического сопротивления на фоне изменения показателя емкости катионного обмена (ЕКО).

Материалы и методы

Тамбовская область расположена в лесостепной зоне умеренного пояса. Для него характерно широкое распространение эрозионных форм рельефа, практически одинаковое количество выпадающих осадков и влаги, которая может испаряться с поверхности, расположение бок о бок лесов и степей вдоль бассейна реки на дерново-подзолистых почвах, черноземах солонцеватых и обыкновенных черноземах.

На севере лесостепная зона граничит со смешанными лесами, на юге – со степной зоной. Как уже было сказано, область простирается с севера на

юг на 245 км, поэтому характер северной и южной частей различается по климату, а также по характеру растительности.

Северная половина региона относится к лесостепной подзоне, а южная – к типичной лесостепной подзоне. Подзоны простираются широкими полосами по всему региону с запада на восток. Граница между ними расположена от г. Мичуринска на г. Тамбов и так далее в восточном направлении, чуть севернее Кирсанова.

Рельеф района представляет из себя низменную, со средней высотой около 150 м над уровнем моря, равнину, которая характеризуется максимальным преобладанием речных форм рельефа. Помимо речных долин, все эрозионные формы имеют молодой постледниковый возраст, небольшие перепады высот и преобладание тектонического спада. Например, Тамбовская равнина в настоящее время проседает на 6–10 мм в год, а Приволжская возвышенность растет на ту же высоту (Протасова, Щербаков, 2003). Достаточная молодость рельефа обусловила небольшое расчленение поверхности реками, оврагами. Более 55 % поверхности – это плохо дренированная междуречная зона. На западе и юге бассейна находятся абсолютно плоские Междуречья с большим количеством впадин; на востоке и северо-востоке преобладают волнистые, крутые Междуречья. Характерной формой рельефа равнинности являются степные впадины, или так называемые блюдца. В отдельных хозяйствах Петровского, Мордовского и других районов они занимают до 14,5 % площади землепользования. Габариты впадин варьируется от 10 до 30 м в диаметре и 30–50 см в глубину. Реже встречаются крупные впадины диаметром 100–200 м, глубиной 1–2 м и отдельные крупные блюдца до 2–3 км, глубиной 3–5 м.

Для того чтобы охватить больший спектр признаков, оказывающих влияние на электрические показатели основных типов почв Тамбовской области, были выбраны так называемые обыкновенные черноземы, черноземы солонцеватые и дерново-подзолистые и на базе этих типов почв исследованы зависимость частотных характеристик от емкости катионного обмена, выявленная в образцах этих видов.

Отбор проб проводился в районах, не включенных в сельскохозяйственное производство. Электрическое сопротивление измерялось в лабораторных условиях, когда почва была увлажнена до состояния пасты.

В лабораторных условиях были определены: влажность термостатно-весовым методом и температура: с помощью цифрового мультиметра УТ61Э.

В качестве генератора электрического сигнала применялся двухканальный цифровой осциллограф ИСДС205Б, который может генерировать сигналы для 5 различных форм и выдавать синусоидальный выходной сигнал с частотой до 20 МГц.

Для непосредственных измерений были предложены электроды, основными элементами которых являются: медные пластины; кубовидный сосуд из стекла, не имеющий верхней грани; металлические основания, а также металлический экран для защиты от различных возмущений, помех, наводок и т. д. Отходящие провода также экранированы.

Всего с целью выполнения поставленных задач в полевых условиях было отобрано более 72 пробы почвы. При этом измерялось электрическое сопротивление в точках отбора проб как по горизонтали, так и по вертикали. Наряду с этими процедурами было выполнено морфологическое описание профиля почвы на ключевых участках.

Классические методы и инструменты использовались для определения физических и химических свойств почвы [11]. Влажность поля определялась на отобранных образцах почвы. Влажность опреде-

ляли классическим стандартным весовым методом. Также определялось общее содержание углерода в отобранных образцах с помощью экспресс-анализатора. Отобранные образцы почвы также подвергались гранулометрическому анализу. Как известно, под гранулометрическим составом почв и коренных пород понимается относительное содержание в почве основных почвенных частиц разного диаметра, независимо от их минерального и химического состава. Измерения проводились на лазерном дифракционном анализаторе [11].

В целях исследования было использовано три значения частоты подаваемого сигнала – 0,5, 10 и 20 МГц.

Для выполнения этой работы изначально предполагалось, что электрическое сопротивление имеет значение в любой точке исследуемого пространства, т. е. непрерывно.

Результаты и обсуждение

По итогам измерений при анализе полученных данных были составлены графики зависимостей удельного электрического сопротивления от ЕКО при разных частотах подаваемого сигнала.

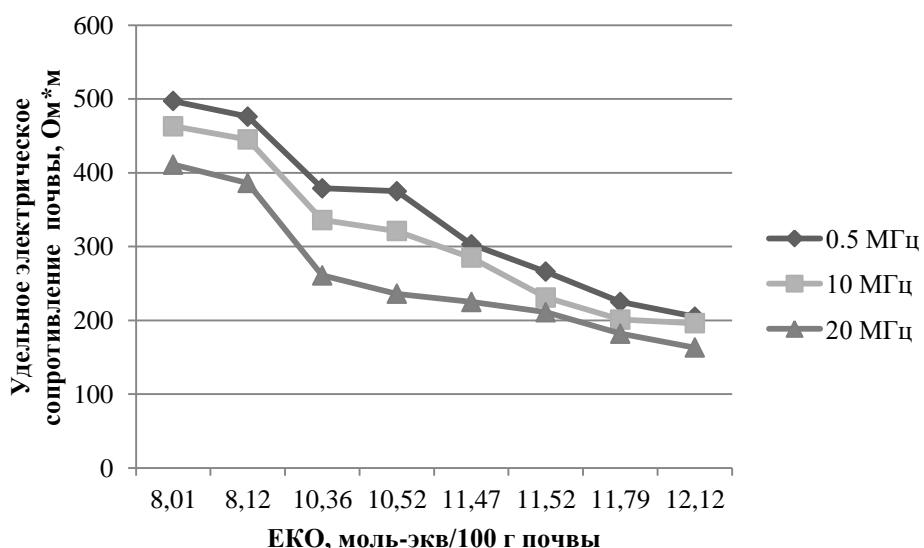


Рис. 1. Влияние частоты сигнала на результаты измерений удельного электрического сопротивления на примере чернозема обыкновенного в диапазоне 0,5–20 МГц

Fig. 1. Influence of the signal frequency on the results of electrical resistivity measurements on the example of ordinary black earth in the range of 0.5–20 MHz

Зависимость удельного сопротивления почвы от ёмкости катионного обмена (ЕКО) при заданных уровнях частоты сигнала показала, что наиболее низкие значения удельное сопротивление почвы

имеет при высоких частотах (10 и 20 МГц). На полученных графиках видно, что графики зависимостей принимают различные формы для разных типов почв.

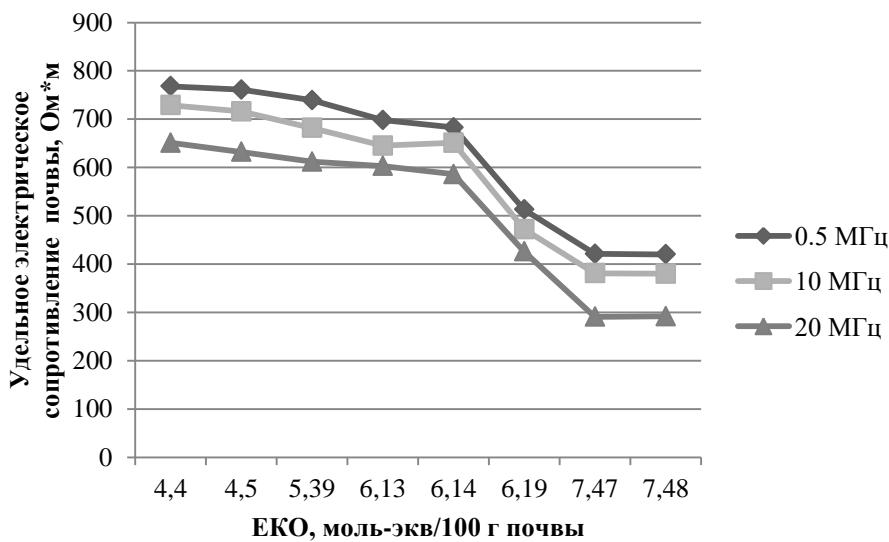


Рис. 2. Влияние частоты сигнала на результаты измерений удельного электрического

сопротивления на примере дерново-подзолистой почвы в диапазоне 0,5–20 МГц

Fig. 2. Influence of the signal frequency on the results of electrical resistivity measurements
on the example of sod-podzolic soil in the range of 0.5–20 MHz

Обычно частотная зависимость почвы, которая относится к капиллярно-пористым материалам, в теории диэлектриков объясняется поляризацией этих материалов в электрическом поле.

С целью оценки влияния частоты сигнала вычислим ее по основной формуле:

$$V = \frac{g(0,5)-g(20)}{g(0,5)}, \quad (1)$$

где $g(0,5)$ и $g(20)$ – удельное электрическое сопротивление на частотах подаваемого сигнала 0,5 и 20 МГц.

На рисунке 4 с целью иллюстрации приведены графики, характеризующие влияние частоты сигнала (V) в зависимости от ЕКО для черноземов обыкновенных, черноземов солонцеватых и дерново-подзолистых.

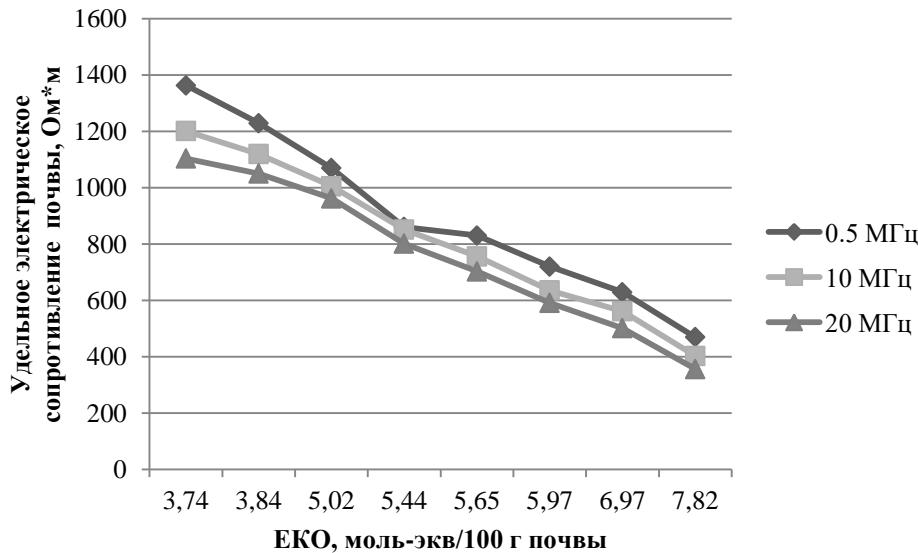


Рис. 3. Влияние частоты сигнала на результаты измерений удельного электрического
сопротивления на примере чернозема солонцеватого в диапазоне 0,5–20 МГц

Fig. 3. Influence of the signal frequency on the results of electrical resistivity measurements
on the example of saline black earth in the range of 0.5–20 MHz

Таким образом, произведя расчеты, получим
сравнительные данные степени влияния частоты на

сопротивление при разных уровнях ЕКО для исследуемых типов почв.

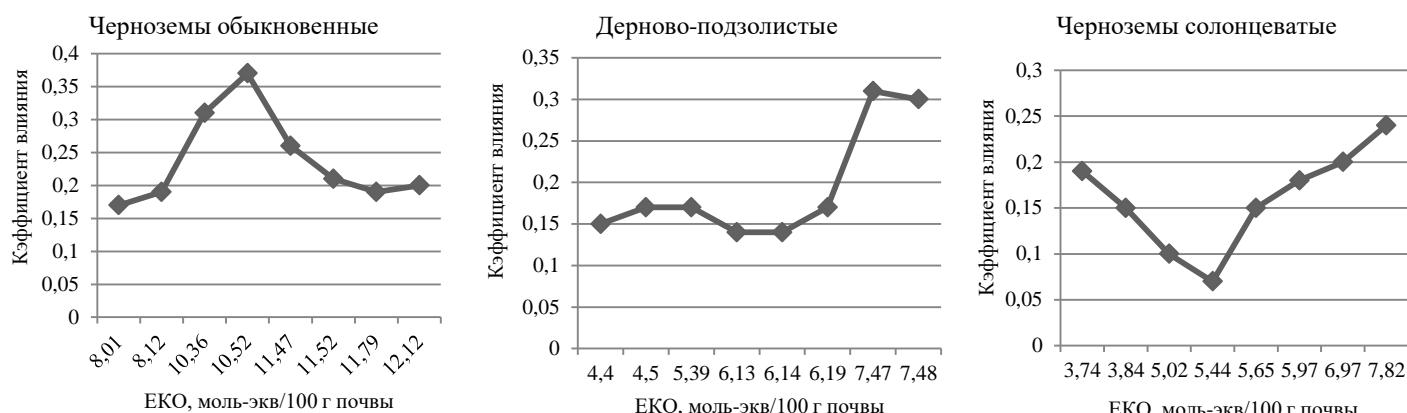


Рис. 4. Оценка коэффициента влияния частоты сигнала на удельное электрическое сопротивление на фоне увеличения емкости катионного обмена, рассчитанная по формуле 1
Fig. 4. Estimation of the coefficient of influence of the signal frequency on the electrical resistivity against the background of an increase in the cation exchange capacity, calculated by formula 1

Исходя из данных рисунка 4 можно видеть, что с повышением ЕКО в черноземах обыкновенных, в диапазоне 8,01–10,52 мэkv/100 г коэффициент влияния возрастает до максимального значения. С дальнейшим ростом значения ЕКО в образцах коэффициент снижается и принимает первоначальное значение. В образцах дерново-подзолистой почвы с повышением ЕКО в диапазоне 4,4–6,19 мэkv/100 г происходит незначительное колебание значения коэффициента, в диапазоне 6,19–7,48 мэkv/100 г коэффициент принимает максимальное значение. В черноземах солонцеватых с ростом ЕКО в диапазоне 3,74–5,44 мэkv/100 г наблюдается снижение коэффициента. При значениях ЕКО 5,44–7,82 мэkv/100 г коэффициент достигает максимума. Для выявления объективных причин необходимо анализировать минералогический и гранулометрический состав.

Заключение

На примере черноземов обыкновенных, черноземов солонцеватых и дерново-подзолистых типов почв установлено, что электрическое сопротивление тесно связано с характеристиками подаваемого сигнала, а именно с частотой. Произведена оценка влияния частоты подаваемого сигнала на измеренное удельное электрическое сопротивление при разных уровнях емкости катионного обмена. Коэффициенты влияния уровня ЕКО различны. Коэффициент с ростом ЕКО сначала возрастает, достигая максимума, а затем снижается до начальных значений для черноземов обыкновенных. Для дерново-подзолистых наблюдается незначительно изменение коэффициента с ростом ЕКО, а с достижением определенного значения наблюдается его резкий рост. Черноземы солонцеватые показывают снижение коэффициента влияния с ростом ЕКО, достигая минимума, затем растет до максимальных значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бойцова Л. В., Маглыши Е. Г. Точная система удобрения в различных ландшафтно-экологических условиях // Плодородие. 2012. № 5. С. 4–5.
- Измайлова А. И., Личман Г. И., Марченко Н. М. Точное земледелие: проблемы и решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. № 5. С. 9–14.
- Кондрашкин Б. Е., Поздняков А. И., Самсонова В. П., Кондрашкина М. И. Оценка зависимости удельного электрического сопротивления от базисных свойств агросерых почв Брянского ополья // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2011. № 2. С. 36–39.
- Крамкова Т. В., Голованов Д. Л. Состояние и перспективы оценки земель и почв России // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования». 2012. Кн. 3. С. 138–140.
- Поздняков А. И., Елисеев П. И. Зависимости удельного электрического сопротивления от некоторых свойств легких пахотных почв в окультуренных ландшафтах гумидной зоны // Вестник Оренбургского Государственного Университета. 2012. № 10 (146). С. 96–102.

6. Поздняков А. И. Теория и методы физики почв / Коллективная монография под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. М. : «Гриф и К». 2007. 616 с.
7. Поздняков А. И., Елисеев П. И., Русаков А. В. Электрическое сопротивление как возможный показатель окультуренности пахотных супесчаных почв гумидной зоны // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. Издательство Московского государственного университета. 2012. № 2. С. 54–60.
8. Поздняков А. И., Елисеев П. И. Электрофизические методы экспрессной оценки топографии распределения базовых свойств легких почв гумидной зоны // Естественные и технические науки. М. : Издательство «Спутник». 2012. № 4 (60). С. 128–131.
9. Шенцова Е. С., Лыткина Л. И., Саранов И. А., Полянский К. К. Оценка сорбционных свойств сорбента на основе диоксида кремния // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1. С. 269–275. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-269-275>
10. Федотова А. В., Яковлева Л. В. Новый подход к экологической оценке засоленных почв // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования». Петрозаводск. 2012. Кн. 3. С. 150–151.
11. Шеин Е. В. Курс физики почв. М. : Изд-во Моск. Ун-та, 2005. 430 с.
12. Лысухин Д. В. Агрохимическая характеристика почв центральной, восточной и южной зон Курганской области // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 4. С. 35–41.
13. Назарова И. В., Храмкова Т. Д. Динамика содержания гумуса в пахотных почвах Алтайского края // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 4. С. 42–45.
14. Grisso R., Alley M. M., Holshouser D., and Thomason W. E. Precision farming tools: soil electrical conductivity. VCE PubVirginia Coop. Ext., Blacksburg, 2009. P. 442–508.
15. Halvoison A. D., Rhoades J. D. Field mapping soil conductivity to delineate dryland saline seeps with four electrode technique // Soil Sci. Soc. Amer J. 1976. V. 40. P. 571–574.
16. Halvorson A. D., Reule C. A. Estimating water salinity with geophysical earth resistivity equipment // Soil Sci. Soc. Am. J. 1976. V. 40.
17. Johnson C. K., Eskridge K. M., Corwin D. L. Apparent soil electrical conductivity: Applications for designing and evaluating field-scale experiments // Comp. Electron. Agric. 2005. № 46. P. 181–202.
18. Lesch S. M., Corwin D. L., Robinson D. A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils // Comp. Electron. Agric. 2005. № 46. P. 351–378.
19. Kitchen N. R., Sudduth K. A., Drummond S. T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils // J. Prod. Agric. 1999. V. 12. P. 607–617.
20. Lesch S. M., Corwin D. L., Robinson D. A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils // Comp. Electron. Agric. 2005. № 46. P. 351–378.

Дата поступления статьи в редакцию 28.07.2020, принятая к публикации 24.08.2020.

Информация об авторах:

ЛЕВШИН МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ,

аспирант

Адрес: ФГОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, 393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101

E-mail: elseti.pts-3@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Boytsova L. V., Maglysh E. G. Tochnaya sistema udobreniya v razlichnykh landshaftno-ekologicheskikh usloviyakh [Precise fertilizer system in various landscape and environmental conditions], *Plodorodie* [Fertility], 2012, No. 5, pp. 4–5.
2. Izmajlov A. I., Lichman G. I., Marchenko N. M. Tochnoe zemledelie: problemy i resheniya, [Precision farming: problems and solutions], *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machines and technologies], 2010, No. 5, pp. 9–14.

3. Kondrashkin B. E., Pozdnjakov A. I., Samsonova V. P., Kondrashkina M. I. Otsenka zavisimosti udel'nogo elektricheskogo sопротивления ot bazisnykh svoystv agroserykh pochv Bryanskogo opol'ya [Assessment of the dependence of electrical resistivity on the basic properties of agro-gray soils of the Bryansk field], *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17, pochvovedenie* [Moscow University Bulletin. Series 17, soil science], 2011, No. 2, pp. 36–39.
4. Kramkova T. V., Golovanov D. L. Sostoyanie i perspektivy otsenki zemel' i pochv Rossii [Dependences of electrical resistivity on some properties of light arable soils in cultivated landscapes of the humid zone], *Materialy dokladov VI s"ezda Obshchestva pochvovedov im. V. V. Dokuchaeva «Pochvy Rossii: sovremennoe sostoyanie, perspektivy izucheniya i is-pol'zovaniya* [VI Congress reports materials of the V. V. Dokuchaev Soil Scientists Society «Soils of Russia: current state, prospects for study and use»], 2012, Kn. 3, pp. 138–140.
5. Pozdnyakov A. I., Eliseev P. I. Zavisimosti udel'nogo elektricheskogo sопротивления ot nekotorykh svoystv legkikh pakhotnykh pochv v okul'turennnykh landshaftakh gumidnoy zony [Electrophysical methods for rapid assessment of the topography of the distribution of the basic properties of light soils of the humid zone], *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], 2012, No. 10 (146), pp. 96–102.
6. Pozdnyakov A. I. Teoriya i metody fiziki pochv [Theory and methods of soil physics], Kollektivnaya monografiya pod redaktsiey E. V. Sheina, L. O. Karpachevskogo Moskva: «Grif i K». 2007. 616 p.
7. Pozdnyakov A. I., Eliseev P. I., Rusakov A. V. Elektricheskoe sопротивление kak vozmozhnyy pokazatel' okul'turennosti pahotnykh supeschanykh pochv gumidnoy zony [Electrical resistance as a possible indicator of cultivation of arable sandy loamy soils of the humid zone], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. [Moscow University Bulletin. Series 17: Soil Science], Moscow State University Publishing House, 2012, No. 2, pp. 54–60.
8. Pozdnyakov A. I., Eliseev P. I. Elektrofizicheskie metody ekspressnoy otsenki topografii raspredeleniya basovykh svoystv legkikh pochv gumidnoy zony [Electrophysical methods for rapid assessment of the topography of the distribution of the basic properties of light soils of the humid zone], *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], Moscow: Publishing house «Sputnik», 2012, No. 4 (60), pp. 128–131.
9. Shentsova E. S., Lytkina L. I., Saranov I. A., Polyansky K. K. Ocenka sorbcionnyh svoystv sorbenta na osnove dioksida kremniya [Assessment of sorption properties of sorbent based on silicon dioxide], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2019, Vol. 81, No. 1, pp. 269–275. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-269-275>
10. Fedotova A. V., Yakovleva L. V. Novyy podkhod k ekologicheskoy otsenke zasolennykh pochv [A new approach to the environmental assessment of saline soils], *Materialy dokladov VI s"ezda Obshchestva pochvovedov im. V. V. Dokuchaeva «Pochvy Rossii: sovremennoe sostoyanie, perspektivy izucheniya i ispol'zovaniya. Petrozavodsk* [Materials of reports of the VI Congress of the Society of Soil Scientists. V. V. Dokuchaeva “Soils of Russia: current state, prospects for study and use. Petrozavodsk], 2012, Kn. 3, pp. 150–151.
11. Shein E. V. Kurs fiziki pochv [Soil physics course], Moscow: Moscow University Publishing House, 2005. 430 p.
12. Lysuhin D. V. Agrohimicheskaya harakteristika pochv central'noj, vostochnoj i yuzhnoj zon Kurganskoj oblasti [Agrochemical characteristics of soils in the Central, Eastern and southern zones of the Kurgan region], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology in agriculture], 2019, Vol. 33, No. 4, pp. 35–41.
13. Nazarova I. V., Hramkova T. D. Dinamika soderzhaniya gumusa v pahotnyh pochvah Altajskogo kraja [Dynamics of humus content in arable soils of the Altai territory], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology in agriculture], 2019, Vol. 33, No. 4, pp. 42–45.
14. Grisso R., Alley M. M., Holshouser D., and Thomason W. E. Precision farming tools: soil electrical conductivity, *VCE PubVirginia Coop. Ext., Blacksburg*, 2009. pp. 442–508.
15. Halvoison A. D., Rhoades I. D. Field mapping soil conductivity to delineate dryland saline seeps with four-electrode technique, *Soil Sci. Soc. Amer J.*, 2008, No. 40, pp. 571–574.
16. Halvorson A. D., Reule C. A. Estimating water salinity with geophysical earth resistivity equipment, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2008, No. 40, pp. 321–326.
17. Johnson C. K., Eskridge K. M., Corwin D. L. Apparent soil electrical conductivity: Applications for designing and evaluating field-scale experiments, *Comp. Electron. Agric.*, 2005, No. 46, pp. 181–202.

18. Lesch S. M., Corwin D. L., Robinson D. A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils, *Comp. Electron. Agric.*, 2005, No. 46, pp. 351–378.
19. Pellerin L., Wannamaker P. E. Multi-dimensional electromagnetic modeling and inversion with application to near-surface earth investigations, *Comp. Electron. Agric.*, 2005, No. 46, pp. 71–102.
20. Seyfried M. S. Field calibration and monitoring of soil- water content with fiberglass electrical resistance sensors, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2007, No. 57, pp. 1432–1436.

The article was submitted 28.07.2020, accept for publication 24.08.2020.

Information about the authors:

LEVSHIN MIXAIL VIKTOROVICH,

postgraduate student

Address: Michurinsk state agrarian University, Russia, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatsionalnaya str., 101

E-mail: elseti.pts-3@mail.ru

Author have read and approved the final manuscript.