

Электропроводные свойства сорных растений – объектов высоковольтного импульсного воздействия

*И. В. Юдаев, Ю. В. Даус

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО Донской ГАУ,
г. Зерноград, Ростовская обл., 347740, Россия, *e-mail: etsh1965@mail.ru

Поступила 01.10.2019
После доработки 06.11.2019
Принята к публикации 06.11.2019

Использовано удельное электрическое сопротивление для исследования засоренных участков как показатель, наиболее полно отражающий влияние их геометрических параметров. Анализ поведения и изменения удельного электрического сопротивления внутренних структур неповрежденной растительной ткани различных видов сорняков от частоты измерительного тока позволил констатировать: 1. кривые дисперсии удельного электрического сопротивления растительной ткани сорняков по частоте имеют одинаковый характер для различных видов сорных растений, разных периодов их развития, надземной стеблевой части сорняков, участка с корневой шейкой и корневой системы; 2. полученные результаты свидетельствуют, что самое большое удельное сопротивление имеют внутренние структуры тканей корневой системы сорных растений, а самое низкое – их надземной части; 3. в процессе развития сорных трав растительные ткани всех частей растения увеличивают значения своего удельного электрического сопротивления.

Ключевые слова: электроимпульсная прополка, периоды развития сорных растений, удельное электрическое сопротивление растительной ткани, дисперсия удельного сопротивления растительной ткани по частоте

УДК 631.171+58.037+58.088

DOI: 10.5281/zenodo.3747843

ВВЕДЕНИЕ

При борьбе с нежелательной растительностью и уничтожении сорняков электрическими импульсами высокого напряжения нагрузкой выходного блока электротехнологического агрегата (электропропольщика, электроимпульсного культиватора) – разрядного контура являются сами обрабатываемые сорные и нежелательные растения, попадающие на пути протекания тока. Электрическое сопротивление этой цепи определяется многими компонентами, но в основном сопротивлением ткани растительных объектов, которое зависит от большого количества влияющих факторов, и прежде всего, от вида и биометрических параметров сорных трав; фазы их развития; почвенно-климатических условий региона и места произрастания; рассматриваемого времени года; запаса минеральных и органических питательных веществ в почве и других условий [1]. Электропроводные свойства и параметры тканей различных частей сорных растений, и в первую очередь надземной и корневой, определяют не только характер протекающих процессов при электрическом воздействии, но и позволяют оценить количественные показатели такой обработки.

В качестве основной характеристики при анализе электропроводных свойств растительной ткани сорняков применяется зависимость полного сопротивления этой ткани от частоты измерительного тока, а для некоторых исследо-

ваний частотная зависимость активной или реактивной составляющих, которые в биофизике называют дисперсией импеданса или его составляющих по частоте. Использование этих характеристик позволяет качественно, наглядно и с достаточной степенью достоверности получить информацию об электропроводных свойствах тканей сорных растений как основного элемента нагрузки электротехнологического агрегата. Такой выбор также определяется тем фактом, что именно эта зависимость, при помощи которой можно достоверно получить данные об электропроводных свойствах путем измерения с применением простых и доступных измерительных аппаратных средств, принята многими исследователями-биофизиками и электрофизиологами для изучения электрофизических свойств клеток и тканей [1–8].

Данные, полученные из такого рода частотных зависимостей, по заключению ряда исследователей, дают возможность сделать вывод о том, как физиологически развивается растительный объект при созревании; повреждены или нет исследуемые внутренние структуры растительных тканей; поражено ли растение вирусами или болезнями; разрушены ли в растительной ткани мембраны клеток и клеточные стенки [9–14].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования и последующий анализ дисперсии импеданса растительной ткани сорных трав выполнены для

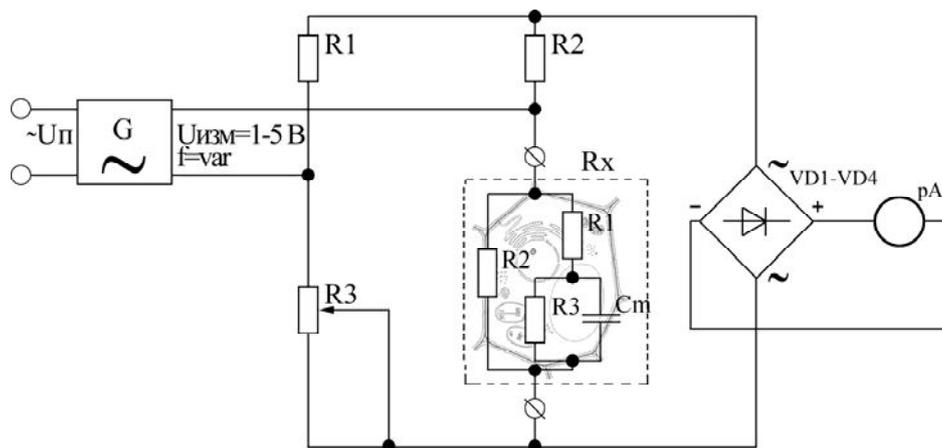


Рис. 1. Схема измерительного комплекса для исследования дисперсии сопротивления растительной ткани по частоте измерительного тока.

различных их биологических видов и фаз развития, а также для отдельных участков растений: стеблей, корней и участков, содержащих корневую шейку. Опыты проводились с сорными растениями, наиболее часто встречаемыми на землях южных регионов России. Это сорняки-однолетники: щирица запрокинутая (лат. *Amaranthus retrofléxus*), марь городская (лат. *Oxýbasis úrbica*, *Chenopódium úrbicum*), конопля сорная (лат. *Cánnabis ruderális*), горец вьюнковый (лат. *Fallópia convólvlus*), дурнишник обыкновенный (лат. *Xánthium strumárium*), а также многолетние, корнеотпрысковые сорные растения – осот розовый (лат. *Cirsium arvense*), осот полевой (лат. *Sónchus arvensis*), молочай лозный (лат. *Euphórbia virgáta*), молокан татарский (лат. *Lactúca tatárica*), вьюнок полевой (лат. *Convólvlus arvensis*). Частотные зависимости сопротивлений растительной ткани сорняков снимали, когда растения находились в различных стадиях своего развития: в фазах – стеблевания, цветения и плодоношения. Для проведения обобщенного качественного анализа было принято решение воспользоваться значением не сопротивления растительной ткани, а его удельным значением. Такой подход позволяет учесть зависимость сопротивления конкретного образца изучаемого участка сорного растения от его формы и геометрических размеров.

Экспериментальные исследования по снятию зависимости сопротивления растительной ткани от частоты измерительного тока проводили по стандартной методике, описанной в работах [1, 15–17]. Измерительный комплекс, схема которого представлена на рис. 1, состоял из низкочастотного генератора сигналов с выходным напряжением 1–5 В и регулируемой частотой измерительного тока; мостовой схемы, в плечи сравнения которой включены малоиндуктивные сопротивления, а в измерительное

плечо с помощью неполяризующихся электродов – сопротивление участка сорного растения, выпрямительного мостика, микроамперметра магнитоэлектрической системы или цифрового мультиметра в качестве нуля индикатора. Погрешность измерения сопротивления оценивали по измерению образцовых лабораторных сопротивлений и емкостей на всех выбранных частотах измерительного тока, она не превышала 10%.

Одним из основных элементов экспериментальных установок для проведения такого рода биофизических исследований является система электродов, с помощью которых к растительной ткани подводили измерительное напряжение и снимали необходимую информацию.

Как известно, неидеальные проводники, например проводники второго рода, к которым можно отнести и биологические ткани, под действием электрического поля поляризуются. Это в особенности проявляется в местах контактирования исследуемых биообъектов с измерительными электродами, так как образуется дополнительная поляризационная емкость или электродвижущая сила (ЭДС), вносящая искажения в получаемую информацию. Чтобы избежать такого влияния на результаты экспериментального исследования, выбирается соответствующая частота переменного измерительного тока, достаточная для сведения к минимуму эффекта поляризации, или применяются неполяризующиеся электродные системы.

Вариантом снижения влияния поляризационных явлений на результаты измерений является правильный выбор материала измерительных электродов и их конструкции. Материал измерительных электродов оказывает влияние на значение поляризационного сопротивления, которое для таких металлов, как Zn, Cd, Pb, Au, Sn, Mo, Co, W и Cr, очень велико и поэтому эти

металлы для измерительных электродов мало-пригодны; Fe, Cu, Ni, Al, Ag обладают поляризационным сопротивлением порядка 2 Ом; тантал – около 0,28 Ом; гладкие металлы платина, палладий и родий – 0,19 Ом, монель-металл – 0,15 Ом, а титан – 0,13 Ом [18]. Часто в электрофизиологии и биофизике используют предложенные Ф. Кольраушем платиновые электроды, покрытые платиновой чернью с практически нулевым поляризационным сопротивлением, но область их применения сильно ограничена – они используются только в нейтральных и слабобазавленных растворах, причем только в тех случаях, когда полностью отсутствует опасность каталитического действия платины. Кроме материала электродов сильно влияет на поляризационное сопротивление состояние их поверхности. Так установлено, что конструктивное увеличение площади истинной поверхности электродов приводит к уменьшению поляризационных явлений.

Из работ [19–22] также известно, что на частотах переменного тока выше 1 кГц явление поляризации существенно ослабевает, а при частотах 10 кГц и выше практически исчезает, даже если применяются электроды из таких проводниковых материалов, как бронза, серебро, нержавеющая сталь.

Для большей надежности результатов, так как эксперименты проводились повторно много раз (от 5 до 15 измерений), измерительные электроды имели удобную и практичную конструкцию. Измерения осуществлялись на частотах измерительного тока от 20 Гц до 200 кГц. Для измерения сопротивления растительных тканей по всему внутреннему объему изучаемый участок сорного растения в лабораторных условиях зажимался между двумя электродами из нержавеющей стали, неполяризующиеся иммерсионные свойства которых устранялись за счет использования фетровых накладок, периодически смачивающихся 5% раствором NaCl. В полевых условиях использовались электроды, изготовленные из нержавеющей стали в форме приборных зажимов с фетровыми накладками, также периодически увлажнявшимися 5% раствором NaCl [1, 15, 22].

В качестве нуль-индикатора применялись микроамперметр типа М24 (с классом точности 1,0) или цифровой милльтиметр, включаемые через выпрямительный мостик. Шкала стрелочного прибора предварительно градуировалась. Для этого в измерительное плечо подключали магазины образцовых сопротивлений КМС-6 (с классом точности 0,2) и батарею образцовых конденсаторов для проведения опытов по физике и биофизике (точность $\pm 5\%$),

последние присоединяли к выходным зажимам генератора низкочастотных сигналов и производился отсчет делений по шкале прибора на всех измерительных частотах. По результатам измерений были составлены градуировочные таблицы и написана компьютерная программа на языке Turbo Pascal, которая позволяла быстро и качественно переводить показания прибора, выполнявшего функции нуль-индикатора в значения измеренных сопротивлений. Эта же программа пересчитывала значения сопротивлений в удельные электрические сопротивления растительной ткани участков сорняков, а затем уже в программе Excel строились кривые частотных зависимостей сопротивлений. Геометрические размеры участков сорных растений измерялись с помощью штангенциркуля с погрешностью 0,05 мм.

Цель представленной работы – анализ электропроводных свойств растительной ткани сорняков и нежелательных растений как объектов электроимпульсной прополки с использованием для этого характера изменения удельного электрического сопротивления растительной ткани по частоте измерительного тока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дисперсии удельного сопротивления различных участков некоторых видов сорных растений, находящихся в периоде развития «фаза цветения», представлены на рис. 2–4. Полученные частотные зависимости удельных сопротивлений растительной ткани исследуемых сорняков имеют одинаковый характер, но различные численные значения. На низких частотах (от нуля до 100–200 Гц) сопротивление не изменяется или изменяется незначительно, в диапазоне же частот от 100–200 Гц до 50–100 кГц сопротивление ткани снижается достаточно интенсивно в несколько (2–10) раз, а на более высоких частотах характер изменения сопротивления становился практически неизменным.

Однозначной разницы в значениях удельных сопротивлений однолетних и многолетних сорняков не наблюдается, что проявляется в смешивании, пересечении и наложении друг на друга зависимостей, характеризующих конкретную часть сорного растения (рис. 2–4). Следовательно, сделать вывод о том, что биологически более приспособленные к возобновлению и выживанию корнеотпрысковые многолетние растения обладают особенными, отлича-

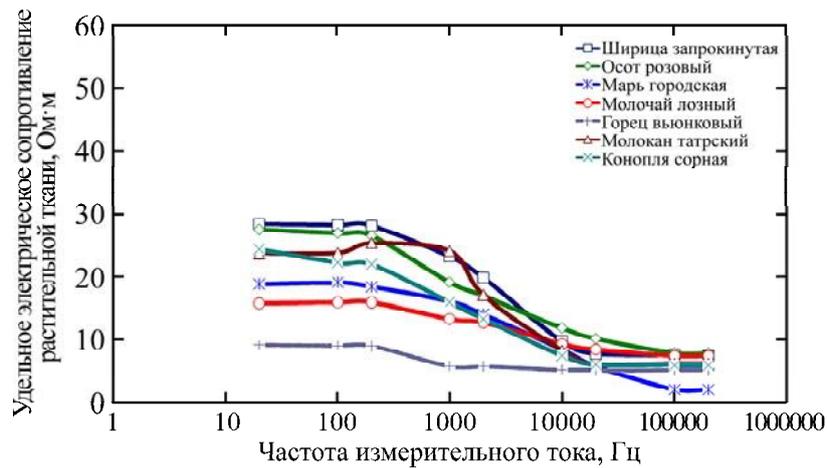


Рис. 2. Дисперсии удельного электрического сопротивления растительной ткани частей изучаемых участков стебля сорных растений по частоте измерительного тока.

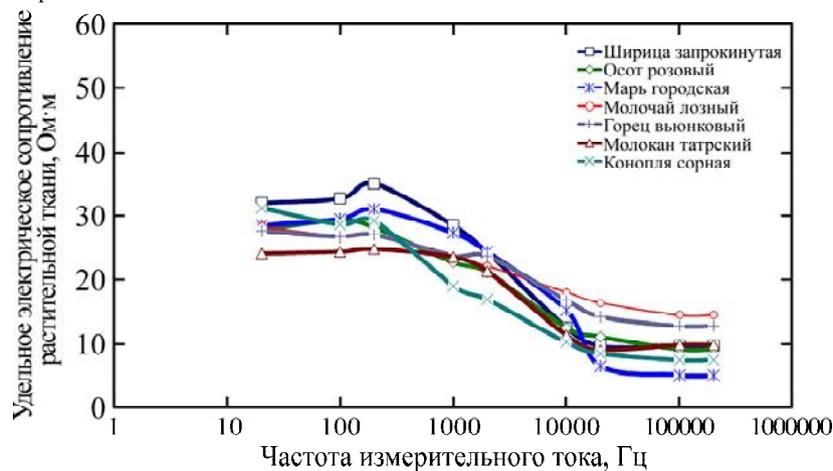


Рис. 3. Дисперсии удельного электрического сопротивления растительной ткани частей участка с корневой шейкой сорных растений по частоте измерительного тока.

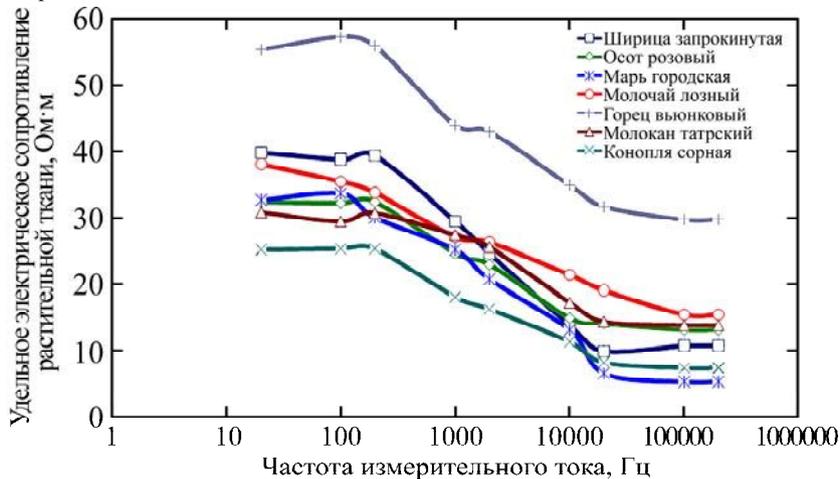


Рис. 4. Дисперсии удельного электрического сопротивления растительной ткани частей участков корневой системы сорных растений по частоте измерительного тока.

тельными электропроводными свойствами, не представляется возможным.

Получается, что сорные растения различных биологических групп одной фазы развития и произрастающие на одной почвенной площади имеют удельные электрические сопротивления очень близкие по значению, как, например, сопротивления растительной ткани стеблей или корневой системы однолетнего сорняка щирицы запрокинутой (лат. *Amaranthus retroflexus*)

и корнеотпрыскового, трудноискоренимого многолетника, бича полей и посевов юга России – осота розового (лат. *Cirsium arvense*).

Частотные зависимости изменения удельных сопротивлений растительных тканей стеблей (рис. 2), корневой системы (рис. 4) и участка с корневой шейкой (рис. 3) также имеют одинаковый характер. Оценивая количественно сопротивления тканей этих участков растений, можно констатировать, что существует различие

в их значениях. Самое высокое удельное электрическое сопротивление имеют участки корневой системы сорняков, а самое низкое – стебля. Так, например, у осота розового (лат. *Cirsium arvense*) при измерениях на частоте 100 Гц удельные сопротивления тканей корня, части с корневой шейкой, стебля соответствовали следующим значениям: 32,24 Ом·м; 29,36 Ом·м; 27,03 Ом·м; на частоте 10 кГц – 14,86 Ом·м; 12,48 Ом·м; 11,99 Ом·м; а на частоте 100 кГц – 13,06 Ом·м; 9,19 Ом·м; 8,0 Ом·м соответственно. Разность между сопротивлениями на низких и высоких частотах стеблевой части сорных растений выше, чем у корневой системы, и поэтому скорость снижения сопротивления с ростом частоты измерительного тока для тканей стебля также будет больше.

Как уже отмечалось, электропроводные свойства тканей сорных растений зависят от большого числа факторов, в том числе и от фазы их развития. Анализ такой зависимости позволяет проследить, как с периодом развития изменяется электрическое сопротивление тканей стеблей и корневой системы сорняков, и определить оптимальные сроки их электрической обработки с целью необратимого их повреждения, при условии расходования для этого оптимальной (минимальной) дозы повреждающей энергии.

Общий характер зависимости с течением времени остается также неизменным, происходит лишь колебание количественных значений удельных сопротивлений. С увеличением продолжительности развития значение удельного электрического сопротивления как у тканей стебля, так и у тканей корневой системы возрастает. Это особенно четко проявляется у растительной ткани щирицы запрокинутой (лат. *Amaránthus retrofléxus*) и конопли сорной (лат. *Cánnabis ruderalis*).

Интерес представляют результаты исследований электропроводных свойств корнеотпрысковых многолетних растений, например молочая лозного (лат. *Euphórbia virgáta*). Дисперсии удельного сопротивления тканей стебля и корневой системы по частоте для различных периодов развития этого сорного растения представлены на рис. 5.

Дисперсии удельного сопротивления стеблевой части молочая лозного (лат. *Euphórbia virgáta*) возрастают, то есть увеличивают свои численные значения со сменой периода развития (рис. 5а). В период развития, соответствующий фазе стеблевания, ткани растения еще молодые и содержат большое количество водных включений, что определяет высокие электропроводные свойства растительных тканей этого

участка растения. К цветению и началу плодоношения в надземной части растения образуется большое число толстых, плотных клеток эпидермиса, а также отмерших клеток и клеток кутикулы. Кроме этого, количество млечного сока или латекса у молочая лозного (лат. *Euphórbia virgáta*) в жаркую погоду уменьшается [23], что, на наш взгляд, и определяет увеличение значения удельного сопротивления тканей стебля.

Из биологических особенностей развития корнеотпрысковых сорняков также известно, что в начальный период развития и перед цветением эти растения интенсивно расходуют запасенные в корнях питательные вещества (например, инулин), которые идут на рост и развитие надземной части. Начиная же с момента созревания, то есть со второй половины летнего периода года, эти сорные растения, наоборот, начинают накапливать в корневой системе пластические, питательные вещества [23–25]. Возможно, именно этими биологическими особенностями можно объяснить то, что у растительной ткани корня молочая лозного (лат. *Euphórbia virgáta*) кривая дисперсии удельного сопротивления, соответствующая началу цветения, расположена ниже остальных зависимостей, соответствующих другим периодам развития (рис. 5б), что можно объяснить как раз истощением запасов питательных веществ в корневой системе.

Получается, что электрическая обработка именно в этот период развития (окончание стеблевания – начало цветения) корнеотпрысковых сорных растений может максимально ослабить и повредить их корневую систему, основной эпицентр их размножения. Но одновременно с этим необходимо учесть, что многие сорняки, начав цветение, даже необратимо поврежденные и уничтоженные в этот период развития, формируют семянки, как, например, осоты или одуванчик, поэтому обработку таких сорных растений целесообразнее всего начать во время фазы развития, соответствующей стеблеванию.

Так как при электроимпульсной обработке засоренных земельных участков попадают в общей массе сорные растения разных биологических видов, различных периодов развития, то необходимо иметь представление о разбросе значений электрического сопротивления растительной ткани разнообразных участков сорняков этих биологических групп. Для получения такой информации проведены отдельные экспериментальные исследования, результаты которых представлены в таблице.

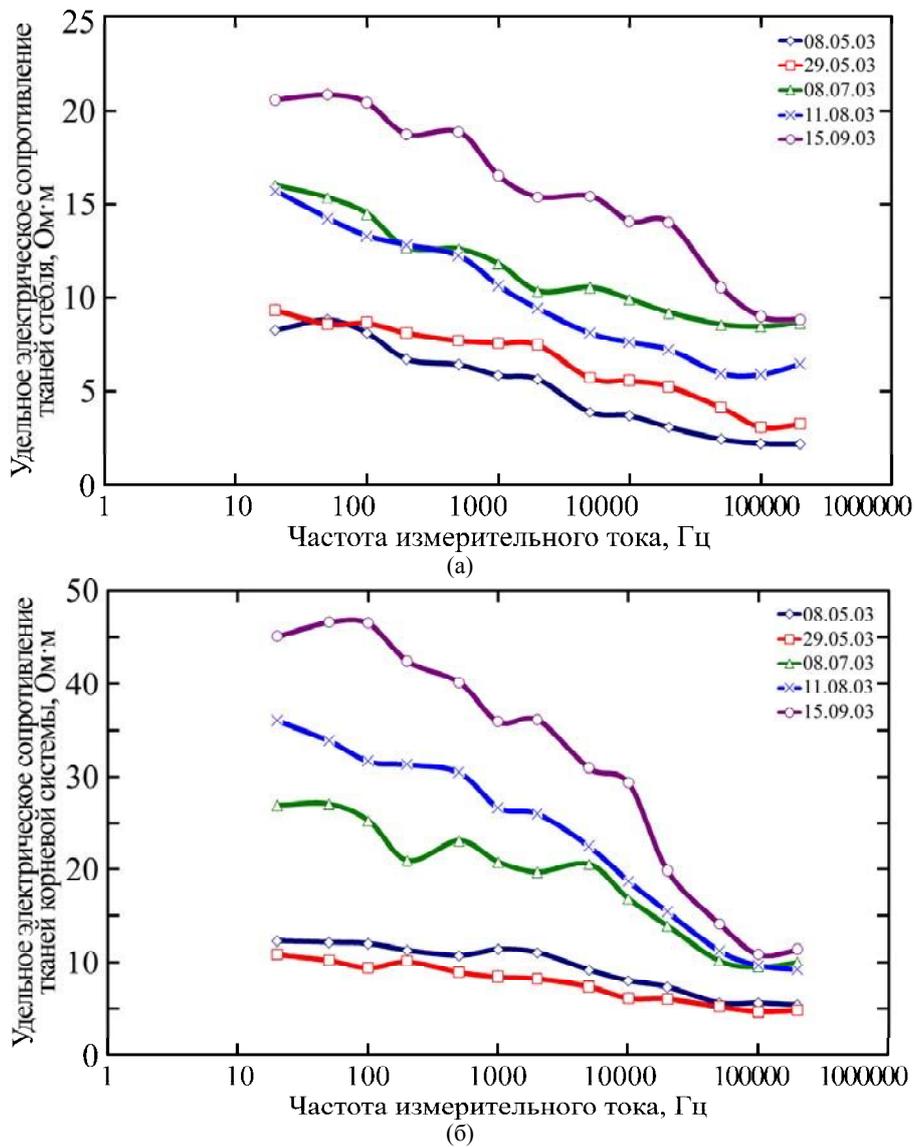


Рис. 5. Дисперсия удельного электрического сопротивления растительной ткани участков стебля (а) и корневой системы (б) молочая лозного (лат. *Euphórbia virgáta*) по частоте измерительного тока в зависимости от периода развития сорного растения.

Удельное сопротивление растительной ткани надземной части (стеблей) и корневой системы корнеотпрысковых сорных растений, измеренное на частоте переменного тока 10 кГц

| Вид сорного растения | Удельное электрическое сопротивление растительной ткани, Ом·м | | | |
|--|---|------------------|-------------------------------------|------------------|
| | фаза развития «стеблевание» | | фаза развития «начало плодоношения» | |
| | стебель | корневая система | стебель | корневая система |
| Осот розовый (лат. <i>Cirsium arvense</i>) | 11,02 | 14,40 | 11,82 | 17,12 |
| Осот полевой (лат. <i>Sónchus arvénsis</i>) | 5,24 | 10,43 | 8,52 | 18,45 |
| Вьюнок полевой (лат. <i>Convólulus arvénsis</i>) | 5,28 | 11,98 | 7,32 | 24,38 |
| Молочай лозный (лат. <i>Euphórbia virgáta</i>) | 5,32 | 15,66 | 9,54 | 20,89 |
| Молокан татарский (лат. <i>Lactúca tatárica</i>) | 6,79 | 11,91 | 8,43 | 19,02 |
| Щирица запрокинутая (лат. <i>Amaránthus retrofléxus</i>) | 9,04 | 10,32 | 9,77 | 12,53 |
| Горец вьюнковый (лат. <i>Fallópia convólulus</i>) | 3,59 | 12,91 | 5,20 | 31,24 |
| Марь городская (лат. <i>Oxýbasis úrbica, Chenopódium úrbicum</i>) | 5,42 | 8,21 | 8,74 | 9,40 |

Анализ представленных в таблице экспериментальных данных также свидетельствует, что значение удельного электрического сопротивления тканей различных участков сорных трав увеличивается с изменением их периода развития. Диапазон значений удельного сопротивления растительной ткани стебля и корневой системы сорняков различных биологических групп для периода развития, соответствующего фазе стеблевания, составляет 3,59–11,02 Ом·м и 8,21–15,66 Ом·м. Удельное сопротивление растительной ткани стебля и корня для фазы развития, соответствующей началу плодоношения, равны 5,20–11,82 Ом·м и 9,40–31,24 Ом·м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ характера изменения зависимости удельного электрического сопротивления внутренних структур неповрежденной растительной ткани различных видов сорных растений от частоты измерительного тока, построенных по результатам проведенных исследований, позволяет сделать следующие заключения:

– экспериментально установлено, что кривые дисперсии удельного электрического сопротивления внутренних структур растительной ткани сорняков по частоте имеют одинаковый характер для: 1) различных видов сорных растений; 2) разных периодов их развития; 3) надземной стеблевой части сорняков, участка с корневой шейкой и корневой системы;

– результаты исследований показывают, что самое большое удельное сопротивление имеют внутренние структуры растительных тканей корневой системы сорных растений, а самое низкое – их надземной части;

– в процессе развития сорных трав растительные ткани стебля и корневой системы увеличивают значения своего удельного электрического сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдаев И.В., Баев В.И., Бренина Т.П., Елисеев Д.С. *Сорные растения как объект электрической прополки: биологические особенности и электрофизические свойства*. Волгоград: Станица-2, 2004. 128 с.
2. Hall J.L., Flowers T.J., Robert R.M. *Plant cell structure and metabolism*. London: Longman Group Limited, 1974. 426 p.
3. Vozary E., Benko P. *J Phys Conf Ser*. 2010, **224**, 1–4.
4. Rehman M., Abu Izneid A.J.A., Abdullah M.Z., Arshad M.R. *Int J Food Sci Technol*. 2011, **46**, 1303–1309.
5. Kuson P., Terdwongworakul A. *J Food Eng*. 2013, **116**(1), 50–56.
6. Muñoz-Huerta R.F., Ortiz-Melendez A.D.J., Guevara-Gonzalez R.G. et al. *Sensors*. 2014, **14**(7), 11492–11503.
7. Grossi M., Ricco B. *JSSS*. 2017, **6**, 303–325.
8. Baev V.I., Yudaev I.V., Petrukhin V.A. et al. Electrotechnology as one of the most advanced branches in the agricultural production development. In book «Handbook of research on renewable energy and electric resources for sustainable rural development». Hershey, Pennsylvania: IGI Global, 2018. P. 149–175.
9. Бокиев А.А. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2000, **10**, 10–11.
10. Гордеев А.С. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1998, **7**, 10–6.
11. Repo T., Korhonen A., Laukkanen M. et al. *Biosyst Eng*. 2014, **121**, 139–149.
12. Nakonieczna A., Paszkowski B., Wilczek A. et al. *Food Control*. 2016, **66**, 116–129.
13. Watanabe T., Ando Y., Orikasa T. et al. *J Food Eng*. 2017, **194**, 9–14
14. Ando Y., Mizutani K., Wakatsuki N. *J Food Eng*. 2014, **121**(1), 24–31.
15. Баев В.И., Бородин И.Ф. *Электроимпульсная предуборочная обработка растений подсолнечника и табака*. Волгоград: Станица-2, 2002. 230 с.
16. Климов, А.А., Савчук В.Н., Баев В.И. *ЭОМ*. 1970, **1**, 66–71.
17. Yudaev I.V. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2019, **55**(2), 219–224.
18. Геращенко С.И., Геращенко С.М., Киреев А.В., Чистова Ю.С. *Труды научно-технической конференции «Безопасность информационных технологий»*. Пенза: ПГУ, 2001. С. 45–47.
19. Рубин А.Б. *Современные методы биофизических исследований*. М.: Высшая школа, 1988, 359 с.
20. Schwan H.P. *Ann Biomed Eng*. 1992, **20**(3), 269–288.
21. Searle A., Kilrup L. *Physiol Meas*. 2000, **21**, 271–283.
22. Mirtaheri P., Grimnes S., Martinsen O.G. *IEEE transactions on biomedical engineering*. 2005, **52**(12), 2093–2099.
23. Лотова Л.И. *Морфология и анатомия высших растений*. М.: Эдиториал УРСС, 2001, 528 с.
24. Косулина Л.Г., Луценко Э.К., Аксенова В.А. *Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды*. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 2010, 236 с.
25. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. *Физиология растений*. М.: Высшая школа, 2006, 742 с.

Summary

In the case of electroimpulse cultivation, the main purpose of the treatment is irreversible damage to plant tissues of weeds and their subsequent death. On clogged massifs, even at processing under favorable conditions, there can be found plants of various biological species, of different development periods, various spatial configurations, etc. As the main characteristic at studying the electrical conductive properties of the plant tissue of weeds, the dependence of the total resistance of this tissue (or its active component) on the frequency of the measuring current is used, which in biophysics is called the dispersion of impedance or its components in frequency. For the present research, the electrical resistivity of the studied areas was used as the indicator that most fully reflects the influence of their geometric parameters. The analysis of the behavior and changes in

the specific electrical resistivity of the internal structures of an intact plant tissue of various weed types on the frequency of the measuring current made it possible to state: 1. the dispersion curves of the specific electrical resistivity of the weed plant tissue by frequency are the same for: various weed types; different periods of their development; the aboveground stem part of weeds, the part with the root neck and root system; 2. the obtained results indicate that the highest specific resistance is observed in the internal structures of the tissues of the weed root system and the lowest are in the aerial parts; 3. in the process of development of weeds, plant tissues of all parts increase the values of their specific electrical resistance.

Keywords: electroimpulse weeding, development periods of weeds, specific electrical resistance of plant tissue, dispersion of specific resistance of plant tissue by frequency