

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ (НА ПРИМЕРЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ)

Курило Ю.А., Григорьев А.И.

ФГБОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет», Омск, Россия, e-mail: curilo.yu@yandex.ru

Исследование электрического сопротивления (импеданса) древесных растений электрометрическим методом при действии неблагоприятных факторов, в том числе нефтешламовым загрязнении, служит одним из адекватных методических подходов к оценке состояния лесных экосистем. Обсуждаются ключевые вопросы, показывающие зависимость электрического сопротивления от экологических условий. Выявлена зависимость распространения электрического сопротивления в тканях древесных растений, в условиях нефтешламового загрязнения. Измерения проводятся внутрисклеточно прибором МУ, объектом служили деревья березы повислой. По результатам исследования установлена зависимость влияния нефтешламового загрязнения от электрического сопротивления тканей древесных растений электрометрическим методом. Выявлено, что нефть и продукты ее распада косвенно влияют на уровень электрического сопротивления, причем изменения происходят в зависимости от условий произрастания и физиологических особенностей деревьев.

Ключевые слова: высшие растения, прикамбиальный комплекс тканей, нефтешламовые загрязнения, электрическое сопротивление.

THE STUDY OF THE ELECTRICAL RESISTANCE OF WOODY PLANTS IN CONDITIONS OF OIL CONTAMINATION OF SOIL (FOR EXAMPLE BETULA PENDULA)

Kurilo Y.A., Grigoriev A.I.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia, e-mail: curilo.yu@yandex.ru

The study of electrical resistance (impedance) of woody plants electrometric method under the action of adverse factors, including oil pollution, is one of the adequate methodological approaches to the assessment of the status of forest ecosystems. Discusses key issues, showing the dependence of the electrical resistance from environmental conditions. The dependence of the distribution of electrical resistance in the tissues of woody plants. Measurements vnutrисклеточноi MY device, the object served as the trees of Betulapendula. According to a study the dependence of the effect of sludge contamination from the electrical resistance of the tissues of woody plants electrometric method. Revealed that oil and products of its decay indirectly affect the level of electrical resistance, and changing depending on the growth conditions and physiological characteristics of trees.

Keywords: higher plants, primarily complex tissues, oil pollution, the electrical resistance.

Нефть и продукты ее распада являются сильнейшим «стрессовым» фактором для высших растений, и их взаимодействие с клетками растений приводит к изменению сопротивления в клетках.

Изучение изменения уровня электрического сопротивления у древесных растений является важным признаком, отражающим степень негативного влияния на высшие растения нефтешлама, тем самым этот критерий может дополнять токсикологические, санитарно-гигиенические и др. показатели. При мониторинге лесных насаждений необходимо всестороннее и глубокое изучение внутренних и внешних процессов и условий, контролирующих рост и развитие, как на уровне отдельного дерева, так и сложного

лесорастительного комплекса, чтобы научиться управлять жизнедеятельностью лесных биогеоценозов. Естественно, что решение этих задач немыслимо без углубленных физиолого-биохимических и биофизических исследований, без совершенствования старых и разработки новых методов их проведения.

Изучением электрического сопротивления у различных видов и органов растений занимались такие исследователи, как Б.Н. Тарусов, П.А. Положенцев, Л.А. Золотов, П.Я. Голодрига, И.В. Рутковский, А.И. Григорьев, Р.Г. Шеверножук, Р.А. Коловский, Р.Ф. Погорелова, М.А. Карасева, В.Н. Карасев, А.А. Маторкин, В.А. Опритов, Л.Н. Воробьев, В. Демидчик и другие [2–5, 7–9, 12–17, 19–24], результаты исследования которых свидетельствуют о том, что изменение электрического сопротивления (импеданса) древесных растений при действии неблагоприятных факторов, в том числе нефтешламовом загрязнении, служит одним из адекватных подходов к оценке состояния лесных экосистем.

В основе электрометрического метода положено изучение изменения электрического тока в тканях растений. Поэтому необходимо понимать, что при прохождении постоянного тока через живые клетки часто наблюдается дезинтеграция протоплазмы, что приводит к повреждению клеток и резкому повышению их электропроводности. Во избежание поляризации при определении сопротивления необходимо использовать переменный ток. Дисперсия электропроводности живых тканей является результатом того, что при низких частотах, как и при постоянном токе, электропроводность связана с поляризацией, следовательно, по мере увеличения частоты поляризуемые явления сказываются меньше. Дисперсия электропроводности, как и способность к поляризации, присуща только живым клеткам. Крутизна кривой дисперсии по мере отмирания ткани уменьшается, т.е. наблюдается заметное уменьшение низкочастотного сопротивления, тогда как высокочастотное сопротивление остается неизменным. Однако получить абсолютные значения величины сопротивления трудно, так как эта величина зависит от условий опыта, например, от площади электродов, от расстояния между ними, от плотности прилегания ткани к электродам, от толщины объекта и т.д. Величина электрического сопротивления вещества определяется количеством зарядов, способных к перемещению или смещению. При анализе электрических свойств тканей необходимо учитывать сложность структуры тканей. Ткани состоят из клеток, окруженных мембранами, обладающих низкой электрической проводимостью по сравнению с материалом, находящимся внутри клеток и окружающим клетки. Различные клеточные органеллы (ядро, митохондрии и т.д.) в свою очередь также снабжены мембранами. Раствор, окружающий субклеточные компоненты и заключенный внутри них, содержит много макромолекулярных образований. Внутриклеточная и тканевая жидкость содержит большое количество солей.

Огромное сопротивление, оказываемое живой клеткой прохождению электрического тока (т.е. прохождению ионов), в достаточной мере объясняется малой ионной проницаемостью протоплазматической оболочки даже при наличии в клетке значительного количества свободных ионов. Ионную концентрацию протоплазмы возможно исследовать, определив ее электропроводность токами различной частоты. В случае металлического проводника его сопротивление может быть вызвано как постоянным, так и переменным током. Электрическое сопротивление живой ткани значительно снижается по мере роста частоты переменного тока. Подобный результат можно объяснить только тем, что сопротивление живой ткани не является чисто омическим сопротивлением, так как последнее не зависит от частоты. Наряду с чисто омическим сопротивлением в клетке должно осуществляться так называемое реактивное сопротивление, величина которого является функцией от частоты тока. Реактивное сопротивление может зависеть от наличия в проводящей системе емкости или самоиндукции. Так как в биологических системах не содержится металлических проводников и нет условий для появления самоиндукции, то фактически единственным типом реактивного сопротивления в живой ткани является емкостное сопротивление. Омическое сопротивление почти не зависит от частоты тока, а емкостное – значительно уменьшается по мере увеличения частоты, и это приводит к увеличению проводимости всей емкостно-омической системы. Явление дисперсии электропроводности клеток есть результат уменьшения емкостного сопротивления с увеличением частоты. Суммарное сопротивление системы, состоящее из омического (R) и из реактивного (X) сопротивления, получило название импеданса (Z). По аналогии с омическим сопротивлением импеданс выражается отношением накладываемой разности потенциалов (E) к силе (i) вызываемого ею тока:

$$Z=E/i, \quad (1)$$

По мере возрастания частоты емкостное сопротивление падает, приближаясь к нулю. Поэтому импеданс всей системы в целом стремится к нулю – в противоположность живой ткани, стремящейся к весьма низкому, но вполне определенному пределу высокочастотной электропроводности. То есть живая протоплазма содержит значительное количество свободных ионов, не участвующих в проведении низкочастотного тока только вследствие наличия протоплазматической оболочки, очень мало проницаемой для ионов. Высокочастотный ток перескакивает через эту изолирующую оболочку, встречая только омическое сопротивление внешнего раствора по одну сторону ее, и клеточного содержимого – по другую. Протоплазматическую оболочку следует рассматривать как тончайшую мембрану, обладающую очень низкой ионной проницаемостью, в которой может проходить «утечка» тока. Исследование электропроводности мертвой ткани на низких и на высоких

частотах показало, что ее импеданс весьма мало зависит от частоты. Большая часть этого импеданса является настоящим омическим сопротивлением, причем последнее представляет величину, близкую к внутренней электропроводности той же ткани в живом состоянии. Метод измерения электропроводности позволяет работать с живыми организмами, не нарушая их целостности, и может быть применен ко всем живым клеткам и тканям. Для характеристики проведения тока живыми клетками прибегают к эквивалентным схемам, т.е. к таким комбинациям омического сопротивления и емкости, которые в первом приближении могут моделировать электрические параметры живых клеток. В случае последовательного соединения ток, идущий через омическое сопротивление (J_r), равен току, идущему через емкость (J_c):

$$J_r = J_c. \quad (2)$$

Все это свидетельствует о том, что ЭС является весьма тонким показателем функционального состояния растительного организма. Вместе с тем вопрос о биофизической роли ЭС у высших растений, в частности, в условиях нефтешламового загрязнения [1, 10, 22].

Методика определения электрического сопротивления ПКТ

При регистрации электрического сопротивления ПКТ (прикамбиального комплекса тканей) стволов деревьев березы повислой, произрастающих в бассейне буферного пруда ОАО «Газпромнефть – ОНПЗ» (г. Омск), оценивали распространение сигнала с двух противоположных сторон. Предварительно стамеской очищали ствол березы от коры (размер очищенного участка 10 X 5 мм). Измерительные элементы – иглы из хромированной стали [25] – вводятся под углом 90 ° относительно оси ствола, на высоте 130 см от поверхности почвы (согласно методике Шеверножука [23]). Динамика электрического сопротивления у березы повислой наблюдалась с периодичностью 5 дней в начале и конце периода вегетации, в период вегетации (июнь – сентябрь) измерения проводили с интервалом 10 – 15 дней (в не дождливые дни). Определение сопротивлений проводилось в 5-кратной повторности с двух противоположных сторон ствола дерева.

За период исследования проведено 1315 измерений березы повислой на 30 модельных деревьях.

Наблюдения за ходом развития фенологических фаз в вегетационные периоды проводили по методикам Г.Н. Зайцева и Плотниковой [6, 18].

Характеристика гидротермического режима воздушной среды в районе исследований составлялась по данным метеостанции ГУ «Омский ЦГМС –Р».

Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики, корреляционного, регрессионного и дисперсионного однофакторного анализов с

использованием пакета Statistica. Сравнения вариантов опыта проводились по критериям Стьюдента и Фишера.

Обсуждение результатов исследования

Нефтьшлам влияет на электросопротивление в древесине ствола деревьев. С целью подтверждения и более строгого обоснования данного вывода были исследованы изменения биоэлектрического сопротивления березы повислой при различных количественных воздействиях химического (нефтьшламового) стрессора [10,11]. Исследования проводили на экспериментальной площадке на березе повислой (таблица).

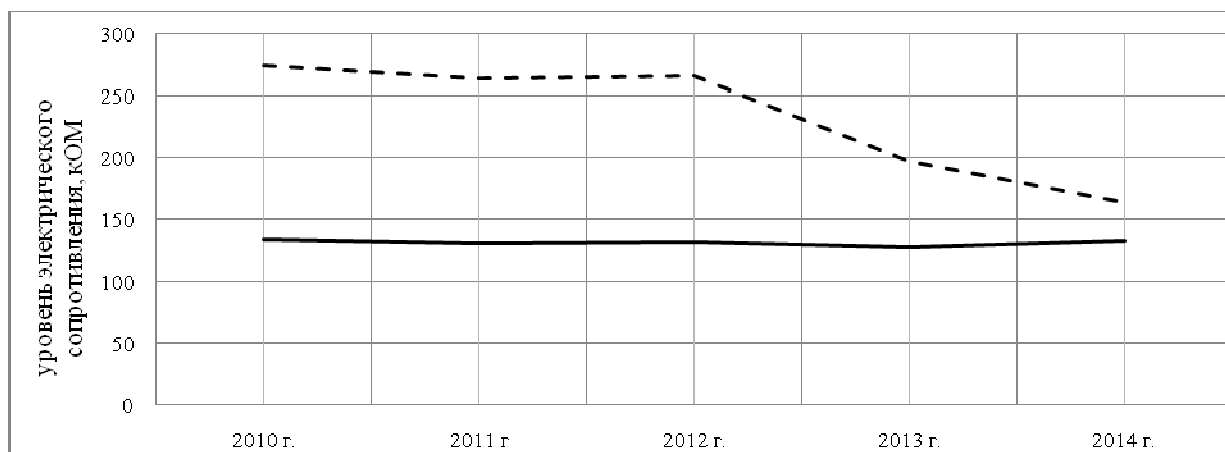
Динамика электрического сопротивления березы повислой при различных сроках действия нефтьшлама, кОм

(приведены усредненные данные за экспериментальные периоды)

Модельная, группа	Экспериментальный период					Среднее отклонение величины ЭС за рассматриваемый период
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	
Контрольная группа	134,7	132	132,9	128,3	133,7	2,5
Экспериментальная группа	274,5	264,2	266,1	197,1	163,9	49,6
Относительное отклонение (%)	103,8	100,2	100,23	53,6	22,6	76,1

Полученные нами экспериментальные данные показали, что в контрольной группе (группа «А»), произрастающей в естественных условиях, среднее значение уровня электрического сопротивления в течение исследуемого периода изменяется незначительно, что составило 2,5. В группе экспериментальной (группа «В») среднее изменение уровня электрического сопротивления в рассматриваемый период составляет 49,6 (таблица). Наблюдается тенденция снижения уровня ЭС (в два раза).

На начальном этапе исследования наблюдается резкий скачок сопротивления – средний уровень сопротивления был вдвое больше среднего уровня электрического сопротивления в контрольной группе, это связано с поступлением в корневую систему большего числа продуктов нефтьшлама, затем наблюдается незначительное изменение уровня электрического сопротивления, а в настоящий период времени нами зафиксировано снижение уровня электрического сопротивления в экспериментальной группе, что непосредственно связано с процессами жизнедеятельности растения, деревья березы повислой адаптируются к новым стрессовым условиям, и процессы их жизнедеятельности восстанавливаются (рисунок).



Условные обозначения: ——— контрольная группа, - - - экспериментальная группа.

Изменения электрического сопротивления березы повислой за исследуемый период в контрольной и экспериментальной группах

Корреляционный анализ показал прямую зависимость уровня сопротивления от нефтешлама. Было установлено, что по критериям Фишера и Стьюдента данная зависимость является достоверной ($F_t > F_t$, $t_t < t_t$). Зависимость сопротивления от нефтешлама во всех группах значима и соответствует приведенному условию.

В целом, в ходе проведенного исследования установлено, что заведомо не одинаковые стресс-воздействия, влияя на биоэлектрическую активность клеток высшего растения, вызывают вполне закономерные, поэтапные изменения, которые сходны по характеру действия. Поскольку биоэлектрическое сопротивление играет важную роль в жизнедеятельности растительных клеток, то его уместно рассматривать в качестве биофизического показателя для оценки развития древесных растений в условиях нефтешламового загрязнения.

Список литературы

1. Буреш Я., Петрань Н., Захар И. Электрофизиологические методы исследования. – М., 1964. – 411 с.
2. Воробьев Л.Н., Кишенков Ф.В. Исследование биоэлектрических потенциалов в клетках древесных растений // Экология и биогеоцетология. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – С. 128–132.
3. Голодрига П.Я., Осипов А.В. Экспресс-метод и приборы для диагностики морозостойчивости растений // Физиология и биохимия культурных растений. – 1972. – Т. 4. – Вып. 6. – С.650–655.
4. Григорьев А.И. Электропроводность желудей у деревьев дуба, различающихся по срокам пожелтения и сбрасывания листьев // Материалы II межвузов. конф. молодых ученых

- Волго-Вятского региона. Секция: Биология и сельское хозяйство. – Йошкар-Ола, 1973. – С.11–13.
5. Григорьев А.И. Эколого-физиологические основы адаптации древесных растений в лесостепи Западной Сибири: монография. – Омск, 2008. – 196 с.
 6. Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. – М.: Наука, 1981. – 120с.
 7. Карасев В.Н., Карасева М.А., Маторкин А.А. Многофункциональный цифровой комплекс для экспресс диагностики физиологического состояния древесных растений в лесных экосистемах и городских зеленых насаждениях // Современные проблемы почвоведения и экологии: сб. статей. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – С. 54–56.
 8. Карасев В.Н. Эколого-физиологическая диагностика деревьев хвойных пород в Среднем Поволжье. – Йошкар-Ола, 2006. – 142с.
 9. Коловский Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений. – Новосибирск: «Наука» Сибирское отделение, 1980. – 176с.
 10. Курило Ю.А., Григорьев А.И., Донец Е.В. Методические особенности исследования электропроводности у древесных растений // Естественные науки и экология. Ежегодник. Вып.13: межвуз. сб. науч. трудов. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2008. – С.66–71.
 11. Курило Ю.А., Григорьев А.И. Электрическое сопротивление как показатель устойчивости древесных растений в условиях нефтяного загрязнения // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 5. – С.111–116.
 12. Маторкин А.А., Карасева М.А. Диагностика устойчивости и жизнеспособности насаждений лиственницы сибирской при техногенном воздействии // Актуальные проблемы современной науки: сб. статей 4-ой Международной конференции молодых ученых и студентов. Естественные науки. Ч 11: Экология. – Самара: Изд-во СамГТУ, 2003. – С.78–81.
 13. Маторкин А.А., Карасева М.А. Информативность импеданса прикамбиального комплекса тканей деревьев хвойных пород при диагностике их жизнедеятельности // Современная физиология растений: от молекул до экосистемы: материалы докладов Международной конференции. Ч. 2. – Сыктывкар, 2007. – С.265–266.
 14. Опритов В.А. Биоэлектрогенез и мембранный транспорт у растений // Международный тематический сборник науч. трудов ГГУ. – Горький, 1989. – 88 с.
 15. Погорелова Р.Ф. Водный режим и импеданс дуба северного в условиях ЦЧО // Лесная интродукция: сб. науч. трудов. – Воронеж: Изд-во ЦНИИЛГиС, 1983. – С.122–125.
 16. Погорелова Р.Ф. Экспресс-оценка зимостойкости древесных растений биофизическим методом // Современные методы лесной генетики и селекции: сб. науч. трудов. – Воронеж, 1984. – С.129–134.

17. Положенцев П.А., Золотов Л.А. Динамика электрического сопротивления тканей луба сосны как индикатор изменения их физиологического состояния // Физиология растений. – 1970. – Т.17. Вып.4. – С.830 – 835.
18. Плотникова Л.С. Научные основы интродукции и охраны древесных растений флоры СССР. – М.: Наука, 1988. – 264с.
19. Рутковский И.В. Применение электрофизиологических методов при сортоиспытании тополей // Лесная генетика, селекция и семеноводство. – Петрозаводск, 1970. – С.160–164.
20. Синюхин А.М., Рутковский И.В. Регистрация жизнеспособности древесных растений электрофизиологическим методом // Физиология растений. – 1966. – Т.13. Вып.2. – С.349–358.
21. Тарусов Б.Н. Электропроводность как метод определения жизнеспособности ткани // Архив ботанических наук. – 1938. – Т.52. Вып.2. – С.5–16.
22. Тарусов Б.Н. Основы биофизики и биофизической химии. Ч. 1. – М., 1960. – С.176–195.
23. Шеверножук Р.Г. Биоэлектрическая активность ели в насаждениях, методика ее измерения // Лесной журнал. – 1968. – № 4. – С.36–40.
24. Шеверножук Р.Г. О возможности использования биоэлектрических реакций проростков сосны на специальные биоэкологические тесты для ранней диагностики и отбора высокопродуктивных форм // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород: сб. науч. трудов. Вып. 2. – Воронеж: Изд-во ЦНИИЛГ и С, 1975. – С.54–59.
25. Schmitz J. Die Wirkung von Schwefeldioxid auf die Biorhythmic der Pflanzen // Allgemeine Forst Zeitschrift, AFZ 8.1986. – P. 177–179.

Рецензенты:

Богданов И.И., д.б.н., профессор, профессор кафедры экологии и природопользования ОмГПУ, г. Омск;

Мкртчян О.З., д.б.н., профессор, профессор кафедры биологии и биологического образования ОмГПУ, г. Омск.