

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТКАНЕЙ ПРИКАМБИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СТВОЛА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕГО ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Анализ работ, посвященных диагностике заболеваний древесных растений, показал, что наиболее удобным в экспериментальном отношении и объективно отражающим особенности роста и развития древесных растений является прикамбиальный комплекс тканей ствола, анатомо-химические свойства которых могут быть оценены косвенно через их электрическое сопротивление.

Прохождение электрического тока через клетки и ткани объясняется присутствием в протоплазме, клеточных оболочках и межклеточниках носителей электрического заряда. Путь электрического тока через прикамбиальный комплекс тканей ствола у сосны можно представить в виде модели, в которой токопроводящими элементами являются клетки и межклеточные пространства. Прохождение электрического тока по межклеточникам ксилемы определяется ионным составом жидкости, заключенной в их полостях, и их поперечным сечением. Ток, проходящий через клетки, встречает на своем пути как бы конденсаторы, обкладками которых являются, с одной стороны, межклеточные растворы, с другой — растворы, находящиеся в клетках. Таким образом, электрическую модель клетки можно представить как последовательное соединение активных сопротивлений.

Различный путь проходит электрический ток в живой и мертвой древесине. Объясняется это возрастными изменениями клеток. Новообразовавшаяся древесина состоит из живых, физиологически активных клеток с высокой электропроводностью. В то время как путь электрического тока по элементам мертвой древесины возможен только через окаймленные поры трахеид.

Объединив отдельные цепочки, моделирующие путь электрического тока через ткани, получим модель пути электрического тока через прикамбиальный комплекс ствола сосны.

Остановимся на общих свойствах электрической модели: суммарное электрическое сопротивление модели будет тем больше, чем больше цепочек, образованных из последовательно и параллельно соединенных сопротивлений. Но так как расстояние между электродами постоянно, то изменение числа клеток определяется

их размерами. Чем клетки меньше, тем больше их находится между электродами и тем больше электрическое сопротивление цепи электрод—ткань—электрод. С другой стороны, чем больше таких цепочек подключается к электродам, тем меньше общее электрическое сопротивление модели. В приложении к тканям это будет означать, что чем больше клеток и межклеточников прикамбиального комплекса тканей соприкасаются с поверхностью электродов, тем меньше его электрическое сопротивление. Оно, по-видимому, определяется исключительно толщиной всего комплекса тканей.

Практическая проверка полученного вывода показала, что между толщиной прикамбиального комплекса тканей ствола сосны и его электрическим сопротивлением существует обратная зависимость, определяемая корреляционным отношением в пределах от 0,73 до 0,83 (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость между электрическим сопротивлением прикамбиального комплекса тканей ствола сосны и его толщиной (тип леса — сосняк брусничниковый)

Возраст насаждения	Величина корреляции	Объем выборки
60—65	0,83±0,51	170
75—85	0,80±0,42	130
100—110	0,78±0,38	150
120—130	0,76±0,036	140
140—150	0,75±0,039	150
160—170	0,73±0,035	140

Математическое выражение зависимости имеет следующий вид:

$$R_T = 0,5(T^{-2}25,817 - 43,236 T + 56,925), \quad (1)$$

где

R_T — электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей, тыс. Ом;

T — толщина комплекса тканей, мм.

Так как существует связь между толщиной и электрическим сопротивлением, то, по-видимому, должна существовать связь между толщиной слоя новообразовавшейся древесины (годовичным приростом по диаметру ствола) и электрическим сопротивлением прикамбиального комплекса. Практическая проверка подтверждает: между обоими факторами существует связь, определяемая корреляционным отношением в пределах от 0,81 до 0,73 (табл. 2).

Математическое выражение зависимости имеет следующий вид:

$$T_d = 0,5 - [(0,824 \ln R + 0,039R) + 6,449], \quad (2)$$

где T_d — толщина слоя новообразовавшейся древесины, мм;
 R — электрическое сопротивление прикамбиального комплекса, тыс. Ом.

Таблица 2

Зависимость между электрическим сопротивлением прикамбиального комплекса тканей ствола сосны и толщиной слоя новообразовавшейся древесины

Возраст насаждения	Величина корреляции	Объем выборки
60—65	$0,82 \pm 0,027$	371
75—85	$0,79 \pm 0,031$	430
120—130	$0,76 \pm 0,043$	369
160—170	$0,73 \pm 0,085$	228

Необходимо отметить, что величина связи мало зависит от условий произрастания исследуемых растений. Так, например, корреляционное отношение, характеризующее связь между толщиной новообразовавшейся древесины и электрическим сопротивлением, колеблется у деревьев в типе леса сосняк брусничниковый в пределах $0,76 \pm 0,058$, в сосняке разнотравном — $0,77 \pm 0,061$. Однако эта связь в значительной степени зависит от физиологического состояния деревьев. У поврежденных сосен при одинаковой толщине прикамбиального комплекса она находится в пределах от 0,64 до $0,34 \pm 0,16$. Объясняется такое явление изменением электрического сопротивления за счет снижения рН клеточного и межклеточного сока (табл. 3).

Таблица 3

Предел колебаний электрического сопротивления прикамбиального комплекса у процветающих и поврежденных сосен

Особенности деревьев	рН клеточных вытяжек	Пределы электрического сопротивления, тыс. Ом
Неповрежденные	7—6,8	4—30
Поврежденные	6—4,8	32—55

Необходимо отметить, что содержание воды в тканях прикамбиального комплекса ствола сосны зависит от особенностей ее роста и развития (табл. 4).

Таблица 4

Электрическое сопротивление деревьев сосны по классам Крафта

Класс Крафта	Содержание воды в прикамбиальном комплексе, %	Электрическое сопротивление, тыс. Ом
I	$65,3 \pm 0,4$	$6 \pm 2,3$
II	$64,5 \pm 0,3$	$10 \pm 2,2$
III	$60,3 \pm 0,7$	$23 \pm 0,6$
IV	$56,5 \pm 0,7$	$34,3 \pm 0,28$
V	$55,6 \pm 0,9$	$49,6 \pm 0,37$

На электропроводность электролитов и биологических объектов (тканей растений и животных) наиболее сильное воздействие оказывает температура. Она непосредственно влияет на замедление или ускорение движения ионов, косвенно — на весь комплекс физиологических процессов, направленность и скорость которых определяются температурой. Например, в конце сезона вегетации при снижении температуры воздуха и почвы в растениях протекают процессы обезвоживания. Часть воды теряется, а часть переходит в другое состояние. В результате ионный баланс в клетках значительно изменяется, уменьшается количество подвижных ионов. В связи с этим электрическое сопротивление тканей увеличивается. В начале вегетационного периода на электрическом сопротивлении тканей больше сказывается прямое действие температуры. В связи с этим нами выделены три периода в жизни растений.

Первый период, охватывающий начало вегетации, характеризуется неустойчивыми значениями электрического сопротивления тканей прикамбиального комплекса ствола сосны, второй период — относительно стабильным значением электрического сопротивления, третий период — неуклонным увеличением электрического сопротивления.

По-видимому, для сравнительных оценок электрических сопротивлений тканей различных деревьев наиболее приемлемы измерения, выполненные во второй период. Измерения в начале вегетации и в ее конце можно использовать для сравнения и изучения выхода различных деревьев из зимнего периода и их подготовки к зимовке.

Возможность введения температурной поправки, используемой при измерении электропроводности электролитов, по-видимому, неперспективна. Объясняется это более сложной зависимостью электрического сопротивления тканей деревьев, имеющих различный рост и развитие. Однако в пределах определенного периода вегетации, диапазона температур и групп растений, имеющих одинаковый рост и развитие, внесение такой поправки возможно. Так, например, для деревьев, которые можно отнести по классификации Крафта к согосподствующим, температурная поправка в середине вегетационного периода и в пределах диапазона температур от +6 до +30 С может быть определена по следующей формуле:

$$R_{20} = \frac{R_T}{1 - A(T^0 - 20)}, \quad (3)$$

где: R_{20} — величина приведенного электрического сопротивления тканей прикамбиального комплекса ствола сосны при 20°С, тыс. Ом;

R_T — электрическое сопротивление, полученное при данной температуре T^0 , тыс. Ом;

A — коэффициент, величина которого определяется условиями произрастания исследуемых растений.

Приведенный коэффициент A изменяется по тем же законам, что и величина среднего значения электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей ствола сосны, произрастающей в различных экологических условиях.

В качестве заключения рассмотрим один из параметров использования электрических свойств прикамбиального комплекса тканей для оценки деревьев и насаждений. Исследования проведены в насаждениях сосны (тип леса — сосняк брусничниковый, возраст насаждения 130—140 лет, полнота 0,8, сомкнутость 0,9, средняя высота деревьев 24 м, средний диаметр 30,2 см). Электрические измерения выполнялись с помощью специального электрического прибора (Каширо, 1960, 1976).

Как следует из результатов исследований, большая часть деревьев — 227 из 346 имеют электрическое сопротивление прикамбиального комплекса от 15 до 33 тыс. Ом. По морфологическим признакам эти деревья можно отнести к господствующим (классификация Крафта). Средний текущий прирост по диаметру ствола у них равен 1,44 мм/год (для расчета использована формула (2)). Деревья с электрическим сопротивлением от 6 до 15 и от 33 до 42 тыс. Ом можно отнести соответственно к господствующим и угнетенным. Прирост по диаметру ствола у этих деревьев 2 и 0,99 мм/год. Крайние группы — исключительно господствующие и отмирающие деревья, будут иметь электрическое сопротивление соответственно меньше 6 и больше 42 тыс. Ом. Средний текущий прирост по диаметру ствола у первых больше 2,4 мм/год, а у вторых меньше 0,8 мм/год. Причем электродные потенциалы, характеризующие окислительно-восстановительные свойства клеточного сока, у отмирающих меньше 40 мВ и соответствуют кислой реакции этого сока. При таком значении рН, как указывалось выше, связь между электрическим сопротивлением прикамбиального комплекса тканей и толщиной новообразовавшейся древесины слабая.

Интересно отметить, что среди деревьев, отнесенных по морфологическим признакам к господствующим и согосподствующим, есть сосны с низкими значениями рН (среди согосподствующих — 5—8%). И наоборот, среди угнетенных деревьев встречаются такие, у которых электродные потенциалы указывают на высокие рН.

Приведенные экспериментальные данные получены при измерении сопротивления прикамбиального комплекса ствола у 346 сосен. Однако для получения нужной информации достаточно было бы 79 измерений при точности 2 тыс. Ом, 35 измерений при точности 3 тыс. Ом и 13 измерений при 5 тыс. Ом. Практика проведенных измерений электрического сопротивления показывает, что для боль-

шинства работ, связанных с экологическими и лесоводственными исследованиями, а также для большинства практических работ, точность выполняемых измерений может не превышать 3—4 тыс. Ом. При этой точности отпадает необходимость учета прямого влияния температур воздуха, измерений с четырех сторон ствола, удаления корки на стволе.

Таким образом, электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей ствола сосны помогает определить средний текущий прирост деревьев изучаемого насаждения и особенности их роста и развития; электродные потенциалы, характеризующие рН клеточного сока, позволяют более точно выделить поврежденные деревья, когда они не имеют специфических признаков угнетения.

ЛИТЕРАТУРА

Каширо Ю. П. Быстрый способ определения текущего прироста древостоя с помощью электронного прибора//Тр. Урал. лесотехн. ин-та. Свердловск, 1960. Вып. 17. С. 106—110.

Каширо Ю. П. Методы и аппаратура для изучения внешней среды древесных растений на их начальных этапах онтогенеза//Тр. ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1976. Вып. 100. С. 56—98.