

УДК 581*1

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.24

ДИАГНОСТИКА ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАСАЖДЕНИЙ ХВОЙНЫХ ПОРОД ПО БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В. Н. Карасев, М. А. Карасева

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: KarasevaMA@volgatech.net

Изучены особенности формирования биоэлектрических потенциалов (БЭП) и импеданса прикамбиального комплекса тканей (ПКТ) деревьев хвойных пород в лесных и городских насаждениях для экспресс-диагностики жизненного состояния деревьев. Деревья хорошего жизненного состояния имеют показатели БЭП 150–200 мВ, значения импеданса ПКТ 20–30 кОм. При значительном техногенном воздействии и нарушении обменных процессов у ослабленных деревьев параметры БЭП уменьшаются до 60–70 мВ. Нарушения водного режима, приводящие к ослаблению растений, диагностируются по изменению импеданса ПКТ, при ухудшении жизненного состояния импеданс ПКТ возрастает в два – три раза. Изменение биоэлектрических параметров свидетельствует об ухудшении жизненного состояния древесных растений на начальных этапах их ослабления. Показатели БЭП и импеданса ПКТ целесообразно использовать для ранней экспресс-диагностики при техногенных и климатических воздействиях.

Ключевые слова: диагностика; жизненное состояние; насаждения хвойных пород; биоэлектрический потенциал; импеданс прикамбиального комплекса тканей.

Введение. Особенности распространения электрических сигналов по организму растений на клеточном уровне обстоятельно изложены в работах исследователей [1, 2]. Менее изучено формирование биоэлектрических показателей древесных видов в природной среде.

Электрофизиологические методы позволяют изучать растение на уровне целого организма с сохранением его регуляторной системы. По значениям электрического сопротивления растительных тканей и величинам биоэлектрических потенциалов растений возможно определение функционального состояния живого организма, интенсивности и характера обмена веществ в связи с постановкой самых различных теоретических и практических задач [3–8]. В связи с глобальным изменением климата, значительным антропо-

генным воздействием на лесные и городские экосистемы актуальной проблемой является ведение мониторинга жизненного состояния хвойных древесных видов на ранних этапах ослабления и отбор устойчивых и продуктивных биотипов.

Цель исследований заключалась в определении информативности биоэлектрических параметров для экспресс-диагностики жизненного состояния хвойных пород, испытывающих постоянное климатическое и техногенное воздействие.

Объект и методы исследований. Объектами исследований явились искусственные насаждения сосны обыкновенной, лиственницы сибирской и ели европейской, произрастающие на территории государственного лесного фонда Республики Марий Эл, Республики Татарстан,

© Карасев В. Н., Карасева М. А., 2016.

Для цитирования: Карасев В. Н., Карасева М. А. Диагностика жизненного состояния насаждений хвойных пород по биоэлектрическим показателям // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С. 24–35. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.24

Чувашской Республики и городские насаждения г. Йошкар-Олы. Для диагностики состояния деревьев измерялись: БЭП, влажность и осмотический потенциал хвои, импеданс ПКТ, как коррелятивно связанный с водным режимом растений, активность каталазы, биометрические показатели.

Измерения БЭП производились высокоомным милливольтметром постоянного тока с использованием платиновых электродов (Экстра-999). Была принята схема отведения биопотенциалов – корневая шейка – ствол на высоте 1,3 м.

Импеданс ПКТ измерялся при помощи прибора Ц 4314 на частоте 500 Гц с использованием датчика от электронного влагомера древесины ЭВ-2К с незначительной переделкой; удалением центрального электрода и сохранением двух боковых, подключаемых к прибору для измерения импеданса. Расстояние между электродами 20,0 мм, длина активной части электродов 10,0 мм, диаметр – 1,0 мм [9]. Измерения проводились в середине вегетационного периода с северной стороны. Место введения электродов по высоте ствола зависело от высоты деревьев. Для деревьев высотой до 3 м электроды вводили в прикамбиальный комплекс тканей, включающий камбий, прилегающую к нему флоэму и новообразовавшуюся ксилему на высоте 0,7 м. Если высота деревьев превышала 3 м, то электроды

вводили в растительные ткани на высоте 1,3 м.

Интенсивность транспирации определялась по методике [10], содержание общего хлорофилла – фотоэлектроколориметрическим методом [11]. Влажность хвои и побегов определялась термовесовым методом, в процентах к абсолютно сухой массе. Осмотическое давление клеточного сока хвои изучалось рефрактометрическим способом [12]. Изучение активности каталазы проводилось по объёму выделенного кислорода [13]. Жизненное состояние растений оценивалось по методике Алексеева [14].

Результаты и их обсуждение. Установлена высокая взаимосвязь величин биоэлектрических потенциалов с интенсивностью ростовых процессов различных видов в природной среде. Быстрорастущие местные хвойные виды имеют высокие значения БЭП (150–200 мВ), медленно растущие интродуцированные виды (сосна горная) имеют показатели БЭП, не превышающие 50 мВ (табл. 1).

Величины БЭП являются интегральным показателем обменных процессов, протекающих в растении. Наиболее адаптированные к климатическим условиям региона, формирующие устойчивые насаждения, быстрорастущие интродуценты (лиственница сибирская, сосна кедровая сибирская) имеют значения БЭП, близкие к аборигенным видам (150–200) мВ (табл. 2).

Таблица 1

Величины биоэлектрических потенциалов и импеданса ПКТ здоровых деревьев

Статистические показатели	Биоэлектрический потенциал деревьев, мВ			Импеданс ПКТ, кОм		
	сосна обыкновенная	сосна горная	ель европейская	сосна обыкновенная	сосна горная	ель европейская
Мин.	150,0	50,0	154,0	17,0	18,0	19,0
Макс.	220,0	67,0	210,0	50,0	26,0	30,0
Хср.±m	184,0±3,9	59,3±1,3	196,0±6,0	35,2±1,4	22,3±0,95	21,3±0,41
C, %	15,0	9,6	15,0	13,4	13,5	5,7
P, %	2,1	2,2	4,3	3,9	4,2	2,6

Таблица 2

**Величины импеданса ПКТ и биоэлектрических потенциалов деревьев
различного жизненного состояния**

Статистические показатели	Импеданс ПКТ деревьев различного жизненного состояния, кОм			БЭП деревьев различного жизненного состояния, мВ		
	лидирующие	средние	ослабленные	лидирующие	средние	ослабленные
Ель европейская						
X ± m	16,4±0,53	25,6±0,88	47,9±3,78	186,3±11,62	144,4±6,0	97,0±3,51
C, %	10,7	12,9	33,5	25,0	15,0	11,5
Лиственница сибирская						
X ± m	15,4±0,30	28,6±0,90	149,4±11,80	211,5±10,60	66,8±5,90	47,3±3,80
C, %	15,2	19,9	50,1	15,2	30,9	32,6
Сосна обыкновенная						
X ± m	21,9±0,60	46,1±2,87	70,0±8,0	229,0±8,21	143,0±6,40	75,0±7,90
C, %	12,6	21,6	34,2	11,8	14,8	34,8

Лидирующие деревья всех изученных видов отличаются более высокими значениями БЭП, по сравнению с ослабленными, и более высокой оводнённостью прикамбиального комплекса тканей. В фазе индивидуального роста и в период смыкания хвойные растения имеют показатели БЭП 180–190 мВ, что обусловлено высокой интенсивностью основных физиологических процессов. Деревья сосны обыкновенной второго класса возраста среднего состояния имеют более низкие величины БЭП (90–110 кОм), растения лидеры в этом же насаждении отличаются более высокими показателями (150–210 кОм). Такая же закономерность отмечена для деревьев ели европейской, лиственницы сибирской.

При изучении взаимосвязи биоэлектрических потенциалов с биометрическими показателями и жизнеспособностью установлено, что величины БЭП имеют высокий коэффициент корреляции с физиологическим состоянием деревьев.

Связь состояния деревьев с параметрами БЭП значительная ($r = 0,72$).

Исследования [15, 16] показали, что деревьям лучшего состояния характерны более низкие значения импеданса ПКТ. У ослабленных растений значения импеданса в середине вегетационного периода варьируют в диапазоне 50–200 кОм. Данные дисперсионного анализа показывают, что величина импеданса ПКТ взаимосвязана с состоянием растения (табл. 3).

Для всех изученных пород табличный критерий меньше фактического критерия Фишера, стандартная ошибка менее 5%.

Низкие величины импеданса ПКТ стволов деревьев достоверно указывают на оптимальную влажность растительных тканей лидирующих деревьев кедра сибирского, лиственницы сибирской, сосны обыкновенной. Связь между влажностью растительных тканей и величинами импеданса ПКТ очень тесная и обратная ($r = -0,85 \dots -0,90$).

Таблица 3

Импеданс ПКТ растений различных категорий состояния

Порода	Возраст, лет	Импеданс ПКТ, кОм		Критерий Фишера		P, %
		здоровые	ослабленные	фактический	табличный	
Сосна обыкн.	20	38,1	53,8	19,27	5,12	0,17
Лиственница сибирская	40	39,7	66,7	22,66	4,49	0,02
Кедр сибирский	40	36,3	83,5	108,32	4,00	0,01

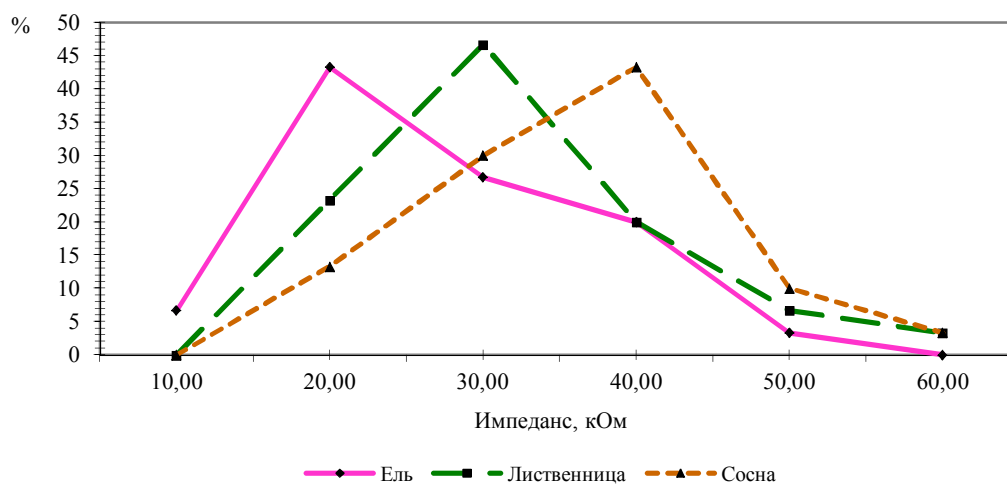
В период наибольшей интенсивности ростовых процессов для деревьев разного жизненного состояния отмечены наиболее существенные различия по величинам импеданса ПКТ. При подготовке к зимнему покою значения импеданса ПКТ возрастают до 300–400 кОм, весной с началом водного тока показатель снижается до определённых значений, характерных для данной древесной породы.

Средний коэффициент вариации величины электрического сопротивления в период интенсивного роста для деревьев хвойных пород в культурах отличного качества не превышал 15 % [17]. Изменчивость этого показателя увеличивается до 30 % в культурах, где в достаточной степени встречаются медленнорастущие, ослабленные деревья.

В табл. 4 приведены биометрические показатели и данные распределения деревьев по ступеням импеданса ПКТ сме-

шанных культур хвойных пород, созданных в условиях свежей сурамени в Шарангском лесничестве Нижегородской области. Возраст культур 28 лет. Посадка производилась вручную, расстояние между рядами 3,0 м, в ряду 0,5 м. Смешение пород рядовое, ряды сосны обыкновенной чередуются с рядами ели европейской и лиственницы сибирской.

Почти половина деревьев в культурах имеют показатели импеданса ПКТ, соответствующие жизненному состоянию деревьев лидеров (20–30 кОм). Более высокие значения импеданса ПКТ имеют ослабленные деревья, количество которых не превышает 20 %. Так как показатели импеданса ПКТ обусловлены состоянием водного режима прикамбиального комплекса тканей, то каждой породе свойственны свои пределы колебаний значений импеданса ПКТ, что видно на рисунке.



Распределение деревьев по величинам импеданса ПКТ

Таблица 4

Распределение деревьев по ступеням импеданса ПКТ, %

Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Ступени импеданса, кОм		
			20-30	31-40	41-50
Сосна обыкновенная	16,4±0,2	16,1±0,2	49,3	27,7	20,0
Ель европейская	12,5±0,3	10,3±0,3	43,3	43,4	13,3
Лиственница сибирская	16,3±0,2	14,8±0,3	52,0	28,3	9,7

Наиболее низкие показатели имеют деревья ели европейской, у сосны обыкновенной и лиственницы сибирской значения импеданса ПКТ несколько выше. Полученные данные свидетельствуют о видовой специфичности показателей водного статуса прикамбиального комплекса тканей.

В этих же культурах проводилась оценка их состояния по импедансу ПКТ и распределение деревьев по классификации Г. Крафта, которая широко используется лесоводами и характеризует степень дифференциации деревьев. По данной классификации все деревья делятся на пять классов. Главную часть яруса образуют первые три класса, деревья четвёртого и пятого классов формируют подчинённый ярус. Показатели импеданса ПКТ деревьев различных классов Крафта одновозрастного искусственного древостоя приведены в табл. 5.

Как уже было отмечено ранее, в данных древостоях искусственного происхождения основное количество деревьев относится к категории здоровых.

Деревья 1 и 2 классов по классификации Крафта, формирующие господствующий полог, имеют меньшие значения импеданса ПКТ (20–40 кОм) по сравнению с деревьями 4 и 5 классов. Более высокие показатели импеданса ПКТ свидетельствуют об ослаблении жизненного состояния. Изменчивость данного показателя у деревьев подчинённого яруса большая.

Крона деревьев 4 и 5 классов Крафта имеет меньшую массу хвои, чем у деревьев 1–3 классов, что обуславливает более напряжённое состояние водного режима растений, диагностируемого по высоким значениям импеданса ПКТ.

Проведённые нами ранее исследования показали, что параметры импеданса ПКТ обусловлены деятельностью корневых систем, что особенно характерно в период приживания растений, индивидуального роста и стрессах, обусловленных засухой [17, 18]. В период индивидуального роста климатические стрессы оказывают более значительное воздействие на растения искусственного происхождения по сравнению с растениями естественного происхождения.

Таблица 5

Статистические показатели импеданса ПКТ деревьев различных классов Крафта

Класс Крафта	Диапазон значений <i>min – max</i> ,	$X \pm m$	Среднее квадратичное отклонение, σ	Коэффициент изменчивости, C (%)
Сосна обыкновенная				
1	21–42	$32,5 \pm 1,4$	6,2	19,0
2	24–44	$34,0 \pm 1,5$	5,4	16,0
3	32–44	$36,2 \pm 2,1$	4,3	12,0
4 и 5	36–62	$50,6 \pm 4,2$	9,4	18,7
Ель европейская				
1	14–33	$23,0 \pm 1,6$	5,9	25,6
2	30–38	$31,0 \pm 1,0$	4,5	14,6
3	30–50	$38,7 \pm 2,7$	5,2	13,4
4 и 5	32–60	$39,2 \pm 6,4$	19,2	48,9
Лиственница сибирская				
1	18–37	$27,4 \pm 1,5$	7,0	25,6
2	28–45	$36,5 \pm 2,8$	8,7	23,2
3	36–45	$37,6 \pm 3,3$	10,1	26,9
4 и 5	45–98	$63,0 \pm 6,2$	20,7	32,9

Так, при изучении состояния культур сосны обыкновенной установлены существенные различия в показателях импеданса ПКТ у деревьев различного происхождения. Среднее значение импеданса ПКТ стволов деревьев для естественных насаждений составляет 27,6 кОм ($m_x = \pm 1,97$; $C = 16,2\%$, $t_{\text{факт}} = 13,7$) и до 10 лет не подвергается резким колебаниям. У растений искусственного происхождения в первые годы после посадки наблюдается повышенное значение импеданса ПКТ (до 80 кОм), вследствие нарушения водного режима, вызванного послепосадочным стрессом. Но уже к 4 – 5 году водный режим таких растений восстанавливается и существенно не отличается от показателей водного режима деревьев естественных насаждений того же возраста при нормальном увлажнении.

При летних засухах значения импеданса ПКТ деревьев естественных насаждений почти в два раза меньше, что свидетельствует о их большей устойчивости к недостатку влаги. При изучении состояния лесных культур сосны обыкновенной, созданных в условиях свежего бора, установлено ослабление растений и ухудшение водного режима в засушливые периоды, что обусловлено наличием деформации корней отдельных растений. Влажность почвы в момент исследований снизилась до критических значений и составляла 7 – 8 %.

Наибольшее влияние засуха оказала на растения, имеющие деформированную корневую систему. Показатели роста 12-летних культур сосны обыкновенной, созданных в борových условиях, приведены в табл. 6.

Импеданс ПКТ как показатель водного режима прикамбиального комплекса тканей связан с деятельностью корневых систем и характеризует физиологическое состояние растений. Величина импеданса деревьев лидеров с хорошо развитой корневой системой ниже на 27 %, чем у деревьев среднего состояния, что свидетельствует об оптимальном водообеспечении. При изменении соотношения массы корней и массы ассимиляционного аппарата или утраты части кроны хвоегрызущими организмами значения импеданса прикамбиального комплекса тканей могут быть низкими, что необходимо учитывать при оценке состояния деревьев [9].

При наличии деформации корней деревьев сосны обыкновенной существенно различаются практически по всем биометрическим, физиологическим и биофизическим параметрам. Коэффициент детерминации, характеризующий связь степени деформации корневых систем с высотой для 6 – 9-летних культур сосны обыкновенной составляет 0,744 – 0,777, с влажностью хвои и побегов 0,761 – 0,910, массой хвои на одном дереве 0,729 – 0,750.

Таблица 6

Показатели роста сосны обыкновенной различных категорий состояния

Показатели	Лидеры	Средние	Превышение, %
Высота, м	1,8±0,04	1,3±0,04	38,4
Диаметр у основания ствола, см	3,0±0,08	2,1±0,07	42,8
Длина корневой системы, см	44,0±0,9	27,0±1,2	62,9
Импеданс ПКТ, кОм	24,2±1,1	33,5±1,33	-27,7
БЭП, мВ	216,2±9,2	170,2±11,3	27,0

Наибольшее техногенное и антропогенное воздействие испытывают древесные растения в городских условиях. Многие исследователи отмечают целесообразность использования для диагностики устойчивости и состояния городских насаждений показателей пигментного состава листьев и хвои [19, 20]. Для биоиндикации загрязнения городской среды могут использоваться методы определения активности окислительных ферментов: пероксида, полифенолаксидазы, каталазы и др. [21].

Для выявления критериев функционального состояния древесных растений в условиях урбанизированной среды проводили определение биоэлектрических параметров, содержание общего хлорофилла в хвое, активность каталазы, осмотический потенциал клеточного сока хвои ели колючей и лиственницы сибирской в различных экологических условиях г. Йошкар-Олы (табл. 7).

Установлено снижение содержания хлорофилла в хвое деревьев магистраль-

ных посадок, произрастающих на территориях с повышенным уровнем техногенной нагрузки. Содержание пигментов в течение периода вегетации является довольно динамичным показателем, что отмечалось в исследованиях [22–24].

Исследования влияния техногенного загрязнения на пигменты хлоропластов показали, что пигментный аппарат при техногенном воздействии относительно стабилен. Разрушение пигментов листа наблюдается лишь в заключительной фазе процесса отмирания клеток.

Активность каталазы хвои ели колючей и лиственницы сибирской в магистральных посадках в зоне техногенного воздействия также имеет меньшие показатели по сравнению с деревьями в лесопарковой зоне.

Параметры активности каталазы хвои ели колючей в зелёных зонах и магистральных посадках отличаются большой изменчивостью, у лиственницы сибирской показатели активности данного фермента более стабильны.

Таблица 7

Показатели физиологического состояния ели колючей и лиственницы сибирской в различных экологических условиях г. Йошкар-Олы

Показатели	Условия роста					
	насаждения в зеленой зоне			магистральные городские насаждения		
	X	$\pm m_x$	C (%)	X	$\pm m_x$	C (%)
Ель колючая						
Содержание общего хлорофилла, мг/г сух. хвои	2,46	0,11	17,3	1,72	0,17	12,0
Осмотический потенциал, атм.	13,2	0,26	7,0	14,4	2,1	10,5
Активность каталазы, мл O_2	1,5	0,24	48,0	0,82	0,12	43,9
БЭП, мВ	97,0	3,51	11,5	70,0	4,4	21,0
Импеданс ПКТ, кОм	25,6	0,88	12,9	37,1	2,1	19,0
Лиственница сибирская						
Содержание общего хлорофилла, мг/г сух. хвои	3,76	0,16	12,9	2,56	0,11	17,4
Осмотический потенциал, атм.	13,01	0,12	2,8	15,7	0,5	10,0
Активность каталазы, мл O_2	3,08	0,06	5,5	2,1	0,18	21,8
БЭП, мВ	144,4	6,0	15,0	108,0	7,16	19,0
Импеданс ПКТ, кОм	27,9	1,6	58,0	47,6	2,6	66,0

Изменение качества и активности окислительно-восстановительного фермента каталазы может служить определённым показателем реакции растительного организма к неблагоприятным факторам окружающей среды и адаптации растений к условиям существования.

В магистральных городских насаждениях при значительном техногенном воздействии отмечены более высокие показатели осмотического потенциала клеточного сока хвои и импеданса ПКТ, что свидетельствует о напряжённом водном режиме в городских условиях. Показатели БЭП ели колючей и лиственницы сибирской в техногенной зоне имеют более низкие значения, свидетельствующие об ослаблении процессов их жизнедеятельности по сравнению с растениями в зелёной зоне. Исследования показали возможность экспресс-диагностики жизненного состояния деревьев при техногенном воздействии на ранних этапах их ослабления по величинам БЭП и импеданса ПКТ. При сложных типах повреждений целесообразно проведение комплексных исследований.

Выводы

1. Наиболее высокие значения БЭП (150 – 200 мВ) имеют деревья быстрорастущих хвойных пород, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской. С возрастом значения БЭП уменьшаются до 70 – 100 мВ. Изменчивость данного показателя для здоровых деревьев варьирует от 15 до 20 % и зависит от состояния растений,

возраста и жизнеспособности. Медленно растущие виды (сосна горная) имеют величину БЭП в пределах 50 – 67 мВ.

2. Деревьям лучшего состояния характерны более низкие значения импеданса ПКТ. У ослабленных растений значения импеданса варьируют в диапазоне 40 – 200 кОм. Здоровые деревья имеют изменчивость значений электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей 10 – 30 %, для ослабленных она достигает 200 % и более.

3. При нарушении деятельности корневых систем и водных стрессах (деформация корней, послепосадочная депрессия) высокую информативность имеют параметры импеданса ПКТ (коэффициент детерминации равен 0,909).

4. Деревья городских насаждений в магистральных посадках, испытывающие техногенное воздействие, имеют более низкие параметры осмотического потенциала хвои, активности каталазы и содержания общего хлорофилла по сравнению с насаждениями зелёной зоны. Данные показатели также характеризуют жизненное состояние деревьев и позволяют получить дополнительную информацию об их физиологическом состоянии.

5. Исследования показали возможность экспресс-диагностики жизненного состояния деревьев на ранних этапах их ослабления по величинам БЭП и импеданса ПКТ. При сложных типах повреждений целесообразно проведение комплексных исследований.

Список литературы

1. Пятагин С.С. Распространяющиеся электрические сигналы в растениях // Цитология. 2008. Т. 50, № 2. С. 154-159.
2. Опритов В.А., Пятагин С.С., Ревитин В.Г. Биоэлектrogenез у высших растений. М.: Наука, 1991. 276 с.
3. Коловский Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений. Новосибирск: Наука, 1980. 176 с.
4. Шеверножук Р.Г., Высоцкий А.А. Некоторые итоги, проблемы и перспективы плюсовой

селекции // Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий. Воронеж, 2001. С. 32-33.

5. Рутковский И.В. Рекомендации по методике измерений электрофизиологических характеристик древесных растений с целью оценки их состояния и жизнеспособности. Пушкино: ВНИИЛМ, 1975. 18 с.

6. Rhos-Rojasa L, Franco T., Gurovich A. A. Electrophysiological assessment of water stress in fruit-bearing woody plants // Plant Physiology. 2014. Vol. 171. Pp. 799–806.

7. *Borges E., Sequeira M., Cortez A. F. V, et al.* Bioimpedance Parameters as Indicators of the Physiological States of Plants in situ // *International Journal on Advances in Life Sciences*. 2014. Vol. 6. Pp. 74-86.
8. *Oyarce P., Gurovich L.* Evidence for the transmission of information through electric potentials in injured avocado trees // *Plant Physiol.* 2011. Vol. 168. Pp. 103–108.
9. *Карасев В.Н., Карасева М.А.* Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности хвойных пород: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. 216 с.
10. *Иванов Л.А., Силина А.А., Цельникер Ю.Л.* О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // *Ботанический журнал*. 1950. Т. 35, № 2. С. 171.
11. *Годнев Т.Н.* Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Минск, 1952. 327 с.
12. *Гусев Н. А.* Состояние воды в растении. М.: Наука, 1974. 134 с.
13. *Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В.* Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L) в городских условиях: Монография. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2006. 130 с.
14. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // *Лесоведение*. 1989. № 4. С 51-57.
15. *Маторкин А.А., Карасева М.А., Карасев В.Н.* Оценка водного режима саженцев хвойных пород в послепосадочный период // *Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции / под ред. Е.А. Памфилова*. Брянск: БГИТА, 2007. Вып. 17. С. 197 – 200.
16. *Маторкин А.А., Карасева М.А.* Информативность импеданса прикамбиального комплекса тканей деревьев хвойных пород при диагностике их жизнеспособности // *Современная физиология растений: от молекул до экосистем: материалы докладов Международной конференции. Часть 2. Сыктывкар, 2007. С. 265-266.*
17. *Карасев В.Н., Карасева М.А.* Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2011. № 1. С 37-43.
18. *Карасев В.Н., Карасева М.А., Серебрякова Н.Е., Лазарева С.М.* Эколого-физиологическая оценка адаптации хвойных интродуцентов в Среднем Поволжье // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*. 2014. № 4 (23). С 55-67.
19. *Бухарина И.Л., Поварнищина Т.М., Ведерников К.М.* Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск: ИЖГСХА, 2007. 216 с.
20. *Алябьева Е.А., Сарбаева Е.В., Воскресенская О.Л., Воскресенский В.С.* Экологическая оценка городской среды. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2013. 96 с.
21. *Николаевский В.С.* Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МГУЛ, 1999. 193 с.
22. *Бессчетнова Н.Н.* Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по показателям пигментного состава хвои // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*. 2013. № 1 (17). С 5-12.
23. *Сергейчик С.А.* Древесные растения и окружающая среда. Минск: Урожай, 1985. 111 с.
24. *Карасева М.А., Карасев В.Н., Маторкин А.А.* Эколого-физиологические аспекты мониторинга зеленых насаждений при техногенном воздействии // *Проблемы экологии на пути к устойчивому развитию регионов: Материалы Второй международной научно-технической конференции*. Вологда: ВоГТУ, 2003. С 38-42.

Статья поступила в редакцию 15.02.16.

КАРАСЕВ Валерий Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – экология и физиология древесных растений. Автор 130 публикаций.

КАРАСЕВА Маргарита Антиповна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и интродукция древесных растений. Автор 140 публикаций.

UDC 581*1

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.24

DIAGNOSTICS OF SPECIES VIABILITY ON CONIFEROUS PLANTATIONS BASED ON BIOELECTRIC INDICATORS**V. N. Karasev, M. A. Karaseva**Volga State University of Technology,
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: KarasevaMA@volgatech.net

Key words: diagnostics; viability; coniferous plantations; bioelectric capacity; impedance of pre-cambial plant tissue.

ABSTRACT

Introduction. Electric signals propagation in plants on the cellular level is thoroughly studied and described in detail in a number of research papers. However, the formation of bioelectric indicators of woody plants in the natural environment is understudied. The research is aimed at the detection of information capacity of bioelectric parameters for instant diagnostics of viability of coniferous species under continuous climate and anthropogenic impact. **The research is focused on the plantations of Scots pine, Siberian larch and Norway spruce growing in the Middle Volga Region.** Bioelectric potentials were measured using high-impedance millivoltmeter of direct current with platinum electrodes (Extra-999). Bioelectric potentials were referenced at root collar and at the height of 1.3m. Impedance of pre-cambial plant tissues was measured using C 4314 apparatus with 500 frequency using the sensing system of timber humidity electronic indicator EV-2K. The distance between the electrodes was 20.0 mm, the length of electrode active part was 10.0 mm, the diameter was 1.0 mm. All the measurements were carried out in the mid vegetation period from the north (shady) side at the height of 1.3 m. **Results.** Fast growing local coniferous species have high values of bioelectric potential (150-200 mV), while the slowly growing introductions (Mountain pine), the same values are below 50mV. Under significant anthropogenic disturbance the bioelectric parameters are between 60-70 mV. The dominant trees have higher bioelectric parameters and lower impedance parameters of pre-cambial plant tissue as compared to the weakened ones. There is direct and reverse interlinking between the humidity of plant tissue and pre-cambial plant tissue impedance ($r = -0.85 \dots -0.90$). The trees of 1st and 2nd class of Kraft's biological classification, forming the dominating canopy feature pre-cambial plant tissue impedance values between 20 and 40 kW. The trees of 4th and 5th class of Kraft's biological classification feature impedance values above 40kW. Under anthropogenic disturbance occurred in urban plantations the bioelectric values are going down, the total chlorophyll is decreasing and the catalase activity in needles is weakened. In weakened treed the osmotic potential and pre-cambial plant tissue impedance values are growing. The bioelectric parameters for Siberian larch planted along the main roads with anthropogenic disturbance is 108 mV, while the same indicator for the greenbelt is 144 mV. **Conclusion.** The trees with good viability characteristics demonstrate high bioelectric parameters of 150-200 mV. Weakened trees feature far lower values. Water regime abnormalities that result in plant weakening can be diagnosed by variations of pre-cambial plant tissue impedance values. Under deterioration of species viability the impedance value is increased by 2-3 times. Any changes in bioelectric parameters tell about deterioration of species viability on the initial weakening stages. Bioelectric potential and pre-cambial plant tissue impedance values should be used for early instant diagnostics of species viability under climate and anthropogenic impact.

REFERENCES

1. Pyatygin S.S. Rasprostranyayushchiesya elektricheskie signaly v rasteniyakh [Propagating electric signals in plants]. *Tsitologiya* [Cytology]. 2008. Vol. 50, No 2. Pp. 154–159.
2. Opritov V.A., Pyatygin S.S., Revitin V.G. Bioelektrogeneratsiya u vysshikh rasteniy. [Bioelectrogenesis in higher plants]. Moscow: Nauka, 1991. 276 p.
3. Kolovskiy R.A. Bioelektricheskie potentsialy drevesnykh rasteniy [Bioelectric potentials of woody plants]. Novosibirsk: Nauka, 1980. 176 p.
4. Shevernozhuk R.G., Vysotskiy A.A. Nekotorye itogi, problemy i perspektivy plusovoy selektsii [Outcomes, problems and prospects for the development of elite selection]. *Lesnaya genetika i sel-*

eksiya na rubezhe tysyacheletiy: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 25-29 iyunya 2001g. [Forest genetics and selection at the turn of millennium: Proceedings of research and practical conference, 25-29 June, 2001]. Voronezh: Istoki, 2002. Pp. 199-209.

5. Rutkovskiy I.V. Rekomendatsii po metodike izmereniy elektrofiziologicheskikh kharakteristik drevesnykh rasteniy s tselyu otsenki ikh sostoyaniya i zhiznesposobnosti [Recommendations on the measurement method used to process electrophysiological characteristics of woody plants in order to evaluate their condition and viability]. Pushkino: VNIILM, 1975. 18 p.

6. Rnos-Rojasa L., Franco T., Gurovich A. A. Electrophysiological assessment of water stress in fruit-bearing woody plants. *Plant Physiology*. 2014. Vol. 171. Pp. 799–806.

7. Borges E., Sequeira M., Cortez A. F. V., et al. Bioimpedance parameters as indicators of the physiological states of plants in situ. *International Journal on Advances in Life Sciences*. 2014. Vol. 6. Pp. 74-86.

8. Oyarce P., Gurovich L. Evidence for the transmission of information through electric potentials in injured avocado trees. *Plant Physiology*. 2011. Vol. 168. Pp. 103–108.

9. Karasev V.N., Karaseva M.A. Ekologo-fiziologicheskaya diagnostika zhiznesposobnosti khvoynykh porod: monografiya [Ecological and physiological diagnostics of coniferous species viability: monograph]. Yoshkar-Ola: PGU, 2013. 216 p.

10. Ivanov L.A., Silina A.A., Tselniker Yu.L. O metode bystrogo vzveshivaniya dlya opredeleniya transpiratsii v estestvennykh usloviyakh [On instant weighing method used to define transpiration in the natural environment]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical journal]. 1950. Vol. 35, No 2. Pp. 171.

11. Godnev T.N. Stroenie khlorofilla i metody ego kolichestvennogo opredeleniya. [Chlorophyll structure and method of its quantitative definition]. Minsk: Izd. AN BSSR. 1952. 327 p.

12. Gusev N. A. Sostoyanie vody v rastenii [The condition of water in plants]. Moscow: Nauka, 1974. 134 p.

13. Voskresenskaya O.L., Sarbaeva E.V. Ekologo-fiziologicheskie adaptatsii tui zapadnoy (*Thuja occidentalis* L.) v gorodskikh usloviyakh: Monografiya [Ecological and physiological adaptation of white cedar (*Thuja occidentalis* L.) in the urban environment]. Yoshkar-Ola: Mar. gos. un-t, 2006. 130 p.

14. Alekseev V.A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derevev i drevostoev [Diagnostics of trees and forest stands viable condition]. *Lesovedenie* [Forest science]. 1989. No 4. Pp. 51-57.

15. Matorkin A.A., Karaseva M.A., Karasev V.N. Otsenka vodnogo rezhima sazhenstev khvoynykh porod v posleposadochnyy period [Assessment of water regime in coniferous seedlings during postplanting period]. *Aktualnye problemy lesnogo*

kompleksa: sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii / pod red. E.A. Pamfilova [Vitaly important issues of the forest complex: collections of research works based on the results of research and technical conference]. Bryansk: BGITA, 2007. Iss. 17. Pp. 197 – 200.

16. Matorkin A.A., Karaseva M.A. Informativnost impedansa prikambialnogo kompleksa tkaney derevev khvoynykh porod pri diagnostike ikh zhiznesposobnosti [Information capacity of the impedance of pre-cambial tissue complex in coniferous species when evaluating their viability]. *Sovremennaya fiziologiya rasteniy: ot molekul do ekosistem: materialy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii* [Contemporary physiology of plants: from molecules to ecosystems: proceedings of presentations from the International conference]. Part 2. Syktyvkar, 2007. Pp. 265-266.

17. Karasev V.N., Karaseva M.A. Osobennosti vodnogo rezhima derevev eli evropeyskoy v rannevesenniy period [Characteristic features of water regime in spruce trees during early spring]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. [Izvestia of the higher educational institutions. Forest journal]. 2011. No 1. Pp. 37-43

18. Karasev V.N., Karaseva M.A., Serebryakova N.E. et. al. Ekologo-fiziologicheskaya otsenka adaptatsii khvoynykh introdutsentov v Srednem Povolzhe [Ecological and physiological assessment of adaptation applicable to coniferous introduced species in the Middle Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2014. No 4 (23). Pp. 55–67.

19. Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Veder-nikov K.M. Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede [Ecological and biological characteristics of woody plants in the urbanized environment]. Izhevsk: IzhGSKHA. 2007. 216 p.

20. Alyabyшева E.A. Sarbaeva E.V., Voskresenskaya O.L., Voskresenskiy V.S. Ekologicheskaya otsenka gorodskoy sredy [Environmental assessment of the urban environment]. Yoshkar-Ola: Mar. gos. un-t, 2013. 96 p.

21. Nikolaevskiy V.S. Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii [Ecological evaluation of environmental pollution and the condition of ground ecosystems by means of phytoindication]. Moscow: MGUL, 1999. 193 p.

22. Besschetnova N.N. Mnogomernaya otsenka plyusovykh derevev sosny obyknovennoy po pokazatelyam pigmentnogo sostava khvoi [Multidimensional evaluation of elite Scots pine species based on indicators of needle colour combination]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vest-

nik of Volga State of Technology University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2013. No 1 (17). Pp. 5-12.

23. Sergeychik S.A. Drevesnye rasteniya i okruzhayushchaya sreda [Woody plants and environment]. Minsk: Urozhay, 1985. 111 p.

24. Karaseva M.A., Karasev V.N., Matorkin A.A. Ekologo-fiziologicheskie aspekty monitoringa zelenykh nasazhdeniy pri tekhnogennom vozdeystvii

[Ecological and physiological aspects of monitoring green plantations under anthropogenic impact]. *Problemy ekologii na puti k ustoychivomu razvitiyu regionov: Materialy vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Environmental issues aimed at sustainable development of the regions: materials of the 2nd international research and technical conference]. Vologda: VoGTU, 2003. Pp. 38-42.

The article was received 15.02.16.

Citation for an article: Karasev V. N., Karaseva M. A. Diagnostics of Species Viability on Coniferous Plantations Based on Bioelectric Indicators. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2016. No 2(30). Pp. 24-35. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.24

Information about the authors

KARASEV Valery Nikolaevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Landscape Design Botany and Dendrology, Volga State University of Technology. Research interests – ecology and physiology of woody plants. Author of 130 publications.

KARASEVA Margarita Antipovna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Species and Mechanization of Forestry Works, Volga State University of Technology. Research interests – artificial reforestation, woody plants introduction. Author of 140 publications.