

Однако возросший уровень активности фермента может свидетельствовать не только об активизации приспособительных свойств клетки хвои сосны, но и об ускорении процессов старения при длительном воздействии поллютантов. Подтверждением последнего служат результаты наших исследований о сокращении продолжительности жизни хвои до 1,5 – 3 лет.

ЛИТЕРАТУРА

Аксенова В.А., Кожанова О.Н., Рубин Б.А. О некоторых свойствах пероксидазы инфицированных тканей растений // Физиология растений. 1971. Т.18. Вып.2. С. 387 - 391.

Андреева В.А. Фермент пероксидаза. М.: Наука, 1988. 128 с.

Андреева В.А. Роль пероксидазы в защитном механизме растений, пораженных вирусами. Plant virology. Brno, 1981. P. 21-24.

УДК. 630.161.02

Д.Ю. Голиков., С.А. Шавнин

(Уральский государственный лесотехнический университет)

И.С.Овчинников

(Новоуральский лесхоз)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА СТВОЛА

Работа посвящена комплексной оценке состояния и экологическому мониторингу лесов при помощи лесоводственно-таксационных и физиологических методов. Рассмотрены границы применимости метода оценки системы водно-минерального транспорта ствола путем измерения электрического импеданса прикамбиального комплекса. Приведены данные о сезонно-возрастной динамике этой физиологической характеристики и по годам. Установлено, что оптимальными сроками проведения измерений для целей экологического мониторинга являются конец августа - сентябрь. Конк-

*ретный период устанавливается на основе сопоставления фено-
фаз контрольного и сильнозагрязненного участков. Показано, что
метод измерения электрического импеданса тканей ствола являет-
ся высокочувствительным и может использоваться в комплексной
оценке состояния насаждений.*

Одной из проблем экологического мониторинга лесов, подвержен-
ных антропогенному воздействию, является объективная оценка состо-
яния древостоев. Неспецифичность реакций биологических систем на
действие поллютантов обуславливает необходимость развития методи-
ческих основ комплексной диагностики, включающей в себя использо-
вание физиолого-биофизических и морфометрических характеристик.

Следует отметить, что морфометрические показатели имеют большое
время релаксации, т.е. заметные изменения этих параметров происходят
спустя длительное время после воздействия на растения. Эти изменения
стоят в самом конце цепи структурных и функциональных перестроек,
начинающихся с изменений на субклеточном, клеточном и тканевом уров-
нях. Для выявления таких изменений необходимо проводить изучение
физиологических процессов, протекающих на разных уровнях структу-
рной организации биологических объектов.

Высокая чувствительность физиологических показателей, с одной
стороны, определяет их высокую диагностическую эффективность, а с
другой - затрудняет использование данных характеристик в силу их вы-
сокого варьирования как в течение суток и периода вегетации, так и меж-
ду годами. Поэтому прежде чем использовать физиологические показа-
тели в качестве характеристик, описывающих состояние древостоев, важ-
но детально изучить их динамику, вызываемую естественными и
антропогенными факторами, т.е. учитывать фенологические фазы разви-
тия, возраст, положение объекта, метеоусловия и др.

Одним из перспективных методов изучения устойчивости расти-
тельных тканей к воздействию различных физических и химических
факторов является измерение их электрических свойств (Жучков, 1982).
Наиболее удобным в экспериментальном отношении и объективно от-
ражающим особенности роста, физиологического состояния и разви-
тия древесных растений является прикамбиальный комплекс тканей
ствола, изменения свойств которого могут быть оценены косвенно по
величине его электрического сопротивления (импеданса) (Каширо,
1976; Каширо и др., 1988).

Под электрическим импедансом Z понимают величину сопротивле-
ния электрическому току в средах, обладающих омическими, емкостны-

ми и индуктивными свойствами. Основной вклад в импеданс биологических тканей вносят активная (омическая) и емкостная составляющие.

Величина Z отражает особенности радиального роста и интенсивность водно-минерального обмена ствола. Изменение комплексного сопротивления тканей указывает на изменение их физико-химических свойств.

Основной целью исследований являлось изучение возможностей оперативного экологического мониторинга лесов, выполняемого с помощью измерения физиологических характеристик древостоев на примере импеданса. При этом основными задачами исследований являлись оценка состояния сосновых молодняков 2-3 классов возраста, расположенных на территории Новоуральского лесхоза, относящейся к относительно слабозагрязненным районам, и сопоставление результатов оценки состояния сосновых древостоев с помощью измерения импеданса ствола за период 1998-2000 гг.

ОБЕКТЫ И МЕТОДЫ

Описание района исследований

Район исследований расположен в пределах Новоуральского лесхоза (Свердловской области), его территория примыкает к Верхнетагильско-Кировоградскому промышленному узлу и городу Новоуральску.

Аэропромышленные загрязнения района исследований связаны с деятельностью предприятий городов Верхнего Тагила, Кировграда, Новоуральска, Верх-Нейвинска, Первоуральска и Ревды. Основные поллютанты - это прежде всего диоксид серы, диоксид азота, неорганическая пыль, а также соединения свинца. Климатические факторы и рельеф местности в целом малоблагоприятны для рассеивания атмосферных загрязнений.

Методы исследований

В основу морфофизиологической оценки состояния древостоев положен метод обследования пробных площадей. На каждой пробной площади выделяли и маркировали группу из 20 модельных деревьев с диаметрами, наиболее близкими к среднему. У каждого дерева из этой группы определяли диаметр, радиальный прирост ствола на высоте груди за последние 5 и 10 лет. У трех модельных деревьев определяли высоты и приросты по высоте за эти же периоды. Всего было заложено 44 пробные площади I-III классов возраста в сосновых молодняках. Из всего массива для целей дальнейшего экологического мониторинга было отобрано 15. Три пробные площади из них заложены в сосняках третьего класса возраста (ПП 22, 32, 42), а остальные относятся ко второму классу. Расчет по-

казателей состояния произведен отдельно для каждого класса возраста. Контрольными являются ПП 13 и ПП 22.

Физиологическое состояние системы водно-минерального транспорта ствола у 20 модельных деревьев на каждой пробной площади определяли с помощью измерения электрического импеданса прикамбиального комплекса. Измерение производили на частоте 1 кГц с помощью портативного импедансметра ИД-2, разработанного на кафедре биофизики УГЛТА. При измерении импеданса (Каширо, 1976; Каширо и др., 1988) стальные игольчатые неизолированные электроды диаметром 1 мм (расстояние между иглами 1 см) вводились в ствол дерева на высоте 1,3 м на глубину 2 см в радиальном направлении перпендикулярно поверхности так, что измерялся суммарный импеданс комплекса тканей флоэма - камбий - ксилема. Измерения проводили с южной, западной и восточной экспозиций ствола с последующим усреднением полученных величин.

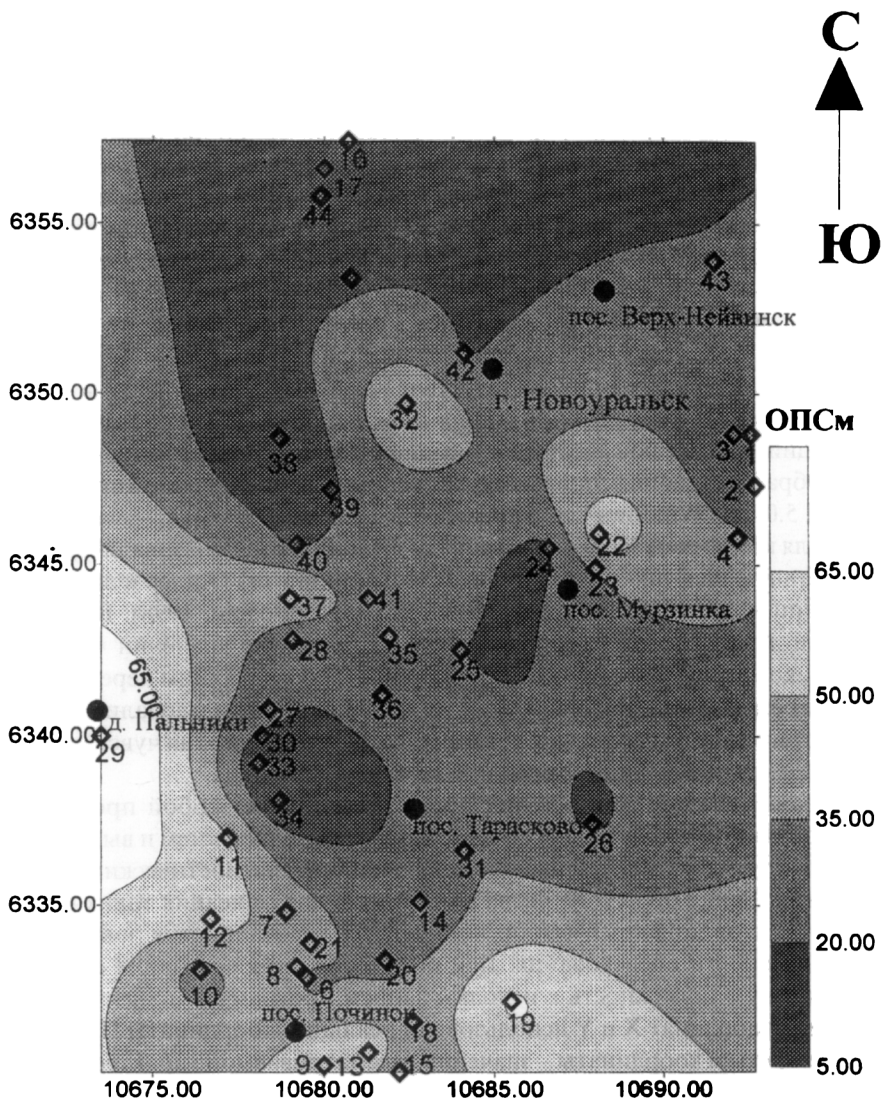
Обработку данных производили с использованием пакетов программ "Excel 5.0 для Windows" и "Statistica 5.0".

Для комплексной оценки состояния древостоев использовали модель, основанную на функции желательности Харрингтона (Адлер и др., 1976; Калинин и др., 1989; 1991; Shavnin et. al., 1997; Фомин, 1998). В основе модели лежит способ преобразования натуральных значений частных признаков в шкалу кодированных откликов с последующим переводом в шкалу безразмерных величин. При их обобщении использовали среднее геометрическое значение, для которого характерна высокая чувствительность к малым величинам усредняемых параметров.

Экологическое зонирование лесов представляет собой процедуру обобщения комплекса данных о состоянии лесных экосистем и выделения границ отдельных зон, отличающихся по набору диагностических характеристик. Ввиду большого числа параметров для описания таких сложных объектов конечный выбор конкретных характеристик зависит от направленности обследования. Для получения карт состояния строили виртуальную поверхность с использованием программы «Surfer 32». В качестве координат X и Y использовали реальные координаты ПП, в качестве третьей координаты – значения рассматриваемой характеристики (Фомин, Шавнин, 1999; Шавнин и др., 1999).

Результаты и их обсуждение

Результаты оценки состояния древостоев по комплексу основных диагностических характеристик в 1998 г. (морфометрическим показателям состояния) на 44 пробных площадях приведены на рисунке. Анализ данных зонирования показывает, что максимальную степень угнетения в



Карта- схема состояния лесов на территории Новоуральского лесхоза.

ОПСм - обобщенный морфометрический показатель состояния

- ◆ - пункт наблюдения
- - населенный пункт

Величины значений электрического импеданса ствола и показателей состояния на 15 пунктах наблюдения сети экологического мониторинга лесов в 1998-2000 гг.

№ ПП	Средние значения, кОм X±δ			Показатели состояния, баллы		
	2000	1999	1998	2000	1999	1998
1	18,96±3,32	23,45±3,74	16,42±2,68	34	18	56
2	22,20±4,00	26,06±4,90	16,91±3,26	12	6	54
4	22,07±3,11	26,00±4,78	16,63±3,94	13	6	55
6	23,84±4,78	24,35±5,35	26,57±5,84	5	13	9
11	17,08±2,60	18,74±2,53	13,87±1,96	49	50	66
13	15,09±2,00	16,78±2,02	14,87±2,88	62	62	62
14	22,08±4,27	25,36±4,43	25,10±6,06	13	8	15
22	20,07±4,63	22,81±4,20	15,45±3,33	62	62	62
27	19,59±3,34	20,74±3,67	17,75±2,57	29	36	50
32	23,18±4,66	22,80±3,49	19,35±3,75	5	62	44
35	18,60±2,31	17,07±1,98	13,57±2,17	37	61	67
38	23,54±3,65	25,86±5,77	20,58±4,01	6	7	36
42	17,17±2,88	28,55±4,32	28,69±3,66	92	5	5
43	18,53±2,60	19,44±3,87	28,32±3,86	38	45	5
44	19,94±4,78	26,37±7,10	17,63±2,93	27	5	50

данном районе испытывают лесонасаждения, расположенные на севере и северо-западе (пробные площади (ПП) 16, 44, 5, 42, 38, 39, 40), юго-западе (33, 34) и в центральной частях (24, 26) лесхоза. Для выяснения причин этого явления было проведено повторное обследование в 1999-2000 гг. древостоев на 15 пробных площадях (таблица), предложенных в качестве основных пунктов наблюдения в системе экологического мониторинга лесов территории Новоуральского лесхоза. При повторном обследовании измеряли электрический импеданс прикамбиального комплекса ствола.

Устойчивые тенденции в изменении показателей состояния (ПС) наблюдались на пяти ПП. Из них на ПП 11, 27 и 38 на протяжении всех трех лет происходило снижение величин ПС. На ПП 6 и 14 состояние сохранялось устойчиво низким. На остальных пробных площадях наблюдались колебания величин ПС (за исключением контрольных). Угнетенное состояние древостоев на ПП 6 связано, по-видимому, с влиянием загрязне-

ний от СУМЗа и высокой рекреационной нагрузкой. Ростовые характеристики на ПП 14 снижены, и ПС по импедансу не превышает 15 (состояние сильно угнетенное). По-видимому, причиной этого на ПП 14 является неблагоприятное сочетание лесорастительных условий. На ПП 11 хотя и наблюдается снижение ПС, но абсолютные величины этого показателя не выходят за интервал значений, характерных для не отличающихся от контроля насаждений. Угнетение насаждений на ПП 27 не связано с загрязнением или другими антропогенными факторами и объясняется, по-видимому, последствиями снеголома 1995 г. Низкие скорость роста и ПС по импедансу на ПП 38 связаны с влиянием загрязнений от Новоуральска, поскольку эта пробная площадь расположена на горе Перевал, к подножию которой примыкает город. Дополнительным фактором, влияющим на состояние древостоев, является их загущенность. Изреживание с помощью рубок ухода позволит улучшить состояние сосняков в этом районе.

Одним из наиболее неожиданных результатов работ, выполненных в 2000 г., является резкое улучшение ПС по импедансу на ПП 42 и относительно высокий ПС на ПП 43. Пробная площадь 42 расположена на территории г. Новоуральска. Морфометрические показатели на этой ПП низкие, и в 1998-1999 гг. величина ПС также была минимальной. Это свидетельствует о существенном запаздывании перестройки системы водно-минерального обмена у сосны под влиянием атмосферных поллютантов. По-видимому, величина этого сдвига по сравнению со сроками развития в контроле составляет не менее двух недель. Об этом свидетельствует сезонная динамика изменений импеданса. В 2000 г. измерения импеданса проводили в течение одной недели (конец августа – начало сентября). Этот период соответствует, как было установлено ранее (Голиков, 2000), стабилизации данной диагностической характеристики в контроле. Однако в зоне действия городских загрязнений, по-видимому, деревья сосны находились в фазе, предшествующей переходу к покою, и имели высокий уровень водно-минерального обмена. Приведенные выше рассуждения справедливы также и для ПП 43.

Таким образом, существенные изменения состояния древостоев по данной характеристике в 2000 г. по сравнению с 1999 г. не являются следствием улучшения экологической обстановки в городе. Полученные результаты позволяют заключить, что для получения объективной информации о состоянии сосновых насаждений на территории города с помощью характеристик водно-минерального транспорта необходимо учитывать изменения сроков прохождения отдельных фенофаз. Оптимальным периодом измерения импеданса для целей диагностики является тре-

тья декада сентября. При этом необходимо учитывать погодно-климатические особенности конкретного года, т.е. массовому сбору данных по всей территории должны предшествовать предварительные измерения на контрольной и наиболее загрязненной пробных площадях.

Частичная корректировка результатов, полученных в 2000 г., возможна с помощью использования данных измерения импеданса ствола на ПП 42 и 43 в сентябре 1999 г. Наибольшее изменение сроков наступления фенофаз происходит в зонах сильного загрязнения, к которым относятся ПП 42 и ПП 43. Соответствующие измерения в 1999 г. производились в середине сентября, т.е. погрешность, вносимая сдвигом сроков наступления глубокого покоя, минимальна. Следует отметить, что данные, полученные с учетом корректировки по двум точкам, в значительной мере совпадают с результатами 1999 г.

Выводы

Ввиду низкой трудоемкости, высокой чувствительности и точности метода измерения электрического импеданса прикамбиального комплекса ствола, а также важности данного показателя водно-минерального обмена для целей диагностики этот параметр целесообразно считать одной из базовых физиологических характеристик при проведении локального экологического мониторинга лесов.

Использование физиологических методов при одноразовом обследовании, как правило, влечет искажение общей комплексной оценки состояния древостоев.

В зонах сильного атмосферного загрязнения на территории г. Новоуральска происходит задержка наступления фазы глубокого покоя у деревьев сосны. Ее величина составляет около двух недель. Задержка связана с нарушением водного обмена в тканях ствола. Данный феномен необходимо учитывать при проведении экспресс-диагностики состояния лесонасаждений. Рекомендуется сбор данных о состоянии системы водно-минерального обмена в данном районе проводить в третьей декаде сентября.

Для повышения надежности экологического зонирования лесов в зонах антропогенных воздействий с использованием физиологических методов необходимо, по крайней мере на начальном этапе, провести цикл ежегодных обследований на протяжении 3-5 лет.

ЛИТЕРАТУРА

Адлер Ю.П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

Голиков Д.Ю. Влияние фитотоксичности почв на состояние сосновых молодняков (в условиях Уральской горно-лесной области): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 18 с.

Жучков А.В. Об исследовании электропроводности биологических систем // Успехи современной биологии. 1982. Т. 94. Вып. 3(6). С. 404-420.

Калинин В.А. Модель оценки состояния пораженных древостоев // Актуальные проблемы экологии: экологические системы в естественных и антропогенных условиях среды. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. С. 41-43.

Калинин В.А. и др. Модель оценки состояния пораженных древостоев // Экология. 1991. №3. С.21-28.

Каширо Ю.П. Методы и аппаратура для изучения внешней среды древесных растений на их начальных этапах онтогенеза // Тр. ИЭР и Ж УНЦ АН СССР. 1976. Вып. 100. С. 56-98.

Каширо Ю.П., Хасанов Н.Х., Дорожкин Е.М. Электрическое сопротивление тканей прикамбиального комплекса ствола у сосны обыкновенной и его диагностические возможности // Леса Урала и хоз-во в них. Свердловск, 1988. Вып.14. С. 183-188.

Фомин В.В. Морфофизиологическая оценка состояния сосновых молодняков в зоне действия атмосферных загрязнений Первоуральско-Ревдинского промышленного узла: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 1998. 23 с.

Фомин В.В., Шавнин С.А. Использование геостатического пакета и ГИС в экологическом мониторинге лесов // Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем: Тез. докл. междунар. совещ. Красноярск, 1999. С. 62-63.

Шавнин С.А. и др. Использование экологического картирования в оценке влияния аэропромышленных загрязнений на леса // Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем: Тез. докл. междунар. совещ. Красноярск, 1999. С. 142-143.

Shavnin S.A., Fomin V.V., Marina N.V. Application of the generalized state index determination to ecological monitoring of forests in polluted areas. // Measurements and Modelling in Environmental Pollution. Editors: R. San Jose, C.A. Brebbia. Computational Mechanics Publications. Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, UK, 1997. P. 399-407.