

исключив их на вырубках мшисто-ягодникового, лишайникового и разнотравного типов леса и улучшив в тех типах леса, где содействие естественному возобновлению не позволяет формировать хозяйственно ценные хвойные насаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Крылов Г.В. Леса Западной Сибири. - М.: АН СССР, 1961. - 256 с. [2]. Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Лесовозобновление в Коми АССР // Лесн. хоз-во. - 1980. - № 4. - С. 38-39. [3]. Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Формирование хвойных молодняков на вырубках северо-востока европейской части СССР. - Л.: Наука, 1989. - 144 с.

УДК 630*425

С.А. ШАВНИН, В.А. КАЛИНИН, В.А. СВЕШНИКОВ, Е.И. БОЙКОВА



Шавнин Сергей Александрович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Томский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной физики и биофизики Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет около 70 печатных работ в области биофизики растений, экологического мониторинга.



Бойкова Елена Ивановна родилась в 1947 г., окончила в 1970 г. Уральский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной физики и биофизики Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 22 печатные работы в области биофизики, физики твердого тела.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ В ЗОНЕ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РЕВДИНСКО-ПЕРВОУРАЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА

Приведены результаты исследований прироста, высоты, диаметра, импеданса прикамбиального комплекса ствола и содержания хлорофиллов в хвое искусственных молодняков сосны обыкновенной в зоне промышленных загрязнений.

Results of the investigations into young growth, height, diameter, impedance of near-cambium stem complex and chlorophyll content in the needles of common pine young plantations in the zone of industrial pollutions have been presented.

Одной из актуальных задач экологического мониторинга лесов и систем ведения лесного хозяйства является выполнение рекреационных лесохозяйственных мероприятий на лесопокрытых площадях, подверженных интенсивному промышленному загрязнению. Решение этой проблемы связано, в первую очередь, с картированием древостоев по степени их поражения. Например, оценивается степень поражения древостоев по неформализованным балльным шкалам на основании одного или нескольких внешних признаков [2]. Данный подход наиболее эффективен при учете розы ветров, концентрации загрязняющих веществ в снеговой воде и осадках либо расчетных концентраций загрязняющих веществ в приземном слое воздуха [4]. Другой, более формализованный, подход заключается в определении индекса деградации биогеоценоза [13]. Методика проведения мониторинга лесов [8] основана преимущественно на глазомерном определении степени дефолиации и формы кроны деревьев и, к сожалению, не содержит конкретных способов сочетания физиолого-биофизических и морфологических характеристик деревьев при детальном исследовании на постоянных пробных площадях.

Использование физиологических методов перспективно для диагностики состояния древостоев как на ранних, так и более поздних стадиях повреждения. Ключевыми вопросами при этом являются быстрота получения и совмещение данных с конкретными количественными таксационно-лесоводственными характеристиками. Принципиальная возможность комплексной диагностики состояния показана ранее [10]. Цель настоящего исследования заключается в дальнейшей отработке этого подхода при проведении более масштабного мониторинга лесонасаждений.

Комплексные лесоводственно-физиологические исследования состояния древостоев сосновых молодняков проводили в течение 1989-1990 гг. в зоне атмосферных загрязнений Ревдинско-Первоуральского

Таблица 1

**Выбросы СУМЗ основных загрязняющих веществ, т/год
(по данным заводской лаборатории)**

Вещество	1986	1987	1988	1989	1990
Мышьяк	908,3	639,5	639,4	639,1	619,9
Свинец	753,8	564,8	564,8	563,6	546,7
Медь	...	2617,9	2617,1	2610,3	2531,8
Цинк	...	1769,1	1769,0	1753,9	1701,4
Фтористый водород	1295,1	1241,8	1201,2	1015,5	1015,4
Оксиды серы	140 625,8	139 325,6	137 645,4	134 088,8	130 827,4
Оксиды азота	470,4	485,1	485,0	478,1	477,1
Пыль неорганическая	20 910,6	16 081,1	16 109,5	16 085,8	15 697,9

промышленного узла, на территории которого расположен ряд крупных промышленных предприятий – Средуралмедьзавод (СУМЗ), Первоуральские хромпиковый и динасовый заводы и др. Доминирующим источником атмосферного загрязнения в этом районе является постоянно действующий на протяжении более 50 лет СУМЗ, характеристика выбросов которого приведена в табл. 1.

Исследования проводили в искусственных молодняках сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), созданных преимущественно в 1954-1955 и 1965-1968 гг. в ягодниковом и травяном типах леса. У 30-летних древостоев в зависимости от зоны поражения высота деревьев варьирует в пределах 4,2 ... 14,7 м, диаметр – 4,9 ... 13,4 см, а у 20-летних соответственно 5,1 ... 12,3 м и 4,3 ... 12,3 см. Сосняки, за исключением расположенных в зоне сильного поражения, имеют сомкнутость полога не менее 0,7, бонитет не ниже II класса, примесь других пород (главным образом березы) не более двух единиц состава. В насаждениях подбирали наиболее характерные участки, закладывали пробные площади (ПП) прямоугольной формы из расчета, чтобы на каждой было не менее 200 деревьев сосны. После сплошного перечета определяли средний диаметр деревьев сосны. Далее, в целях уменьшения варьирования данных физиологических измерений, отбирали 40 ... 50 деревьев с диаметром, близким к среднему (40-60-й ранги). У них измеряли диаметр на высоте 1,3 м, радиальный прирост за последние 5 лет и низкочастотное электросопротивление (импеданс) прикамбиального комплекса ствола [10]. У 5 деревьев собирали образцы хвои предыдущего года формирования из средней части кроны и в пластиковых мешках в увлажненном состоянии доставляли в лабораторию, где в тот же день спектрометрически определяли общее содержание хлорофилла [9]. Высоту, осевой и радиальный годичный прирост на каждой ПП измеряли по методу среднего дерева на 1-2 моделях [11].

Всего обследовано 35 ПП, расположенных на расстоянии 3 ... 35 км от СУМЗа. В статье приведены результаты исследований девятнадцати из них (табл. 2). Для древостоев одного возраста в качестве контроля использовано по одной ПП вне зоны влияния атмосферных загрязнений (ПП 57 для 20-летних и ПП 27 для 30-летних). Ввиду того, что лесные культуры создавали в разные годы, возраст древостоев варьирует от 17 до 37 лет, что значительно сказывается на значениях высоты и диаметра деревьев и не позволяет их использовать непосредственно при оценке состояния. Поэтому применяли приведенные к 20- и 30-летнему возрасту величины (высота и диаметр), которые вычисляли по формуле

$$a_{пр} = a + n\Delta a, \quad (1)$$

где $a_{пр}$ – приведенная величина;

a – фактическая измеренная величина;

Δa – среднегодовой прирост за последние 5 лет;

$n = 20 - N$ для возрастной группы 20 ± 5 лет и $n = 30 - N$ для возрастной группы 30 ± 5 лет (N – фактический возраст дерева).

Таблица 2

Описание сосновых лесонасаждений

№ ПП	Расстояние до СУМЗ, км	Направление от СУМЗ	Тип леса	Возраст, лет
45	3,5	В	Е-С.трав	32
50	4	»	С.яг	24
47	4	»	»	33
51	5	»	»	34
42	5,5	»	Е-С.яг	32
53	5,5	С-З	С.яг	19
18	5,5	Ю-В	Е-С.яг	37
30	6	С-З	С.яг	24
19	8	С-В	»	22
20	8	С	С.трав	32
21	9	С-В	Е-С.яг	17
38	9	»	»	25
54	9,5	Ю-З	Е-С.трав	23
12	10,5	Ю-В	С.яг	35
13	14	»	Е-С.яг	36
39	15	В	С.трав	28
57	21	Ю-З	Е-С.трав	23
29	30	В	С.яг	22
27	35	»	»	35

Примечание. С.яг – сосняк ягодниковый; С.трав – сосняк травяной; Е-С.яг – ельник-сосняк ягодниковый; Е-С.трав – ельник-сосняк травяной.

Для комплексной лесоводственно-физиологической оценки состояния деревьев рассчитывали обобщенный показатель состояния (ОПС) как средний геометрический для каждой отдельной характеристики древостоя. В свою очередь, показатели состояния (ПС) вычисляли с помощью функции желательности Харрингтона [1], позволяющей частично учитывать нелинейность зависимости эффект-доза, по модифицированной формуле

$$d_i = 100 \exp[-\exp(-y_i' + 2)], \quad (2)$$

где d_i – значение показателя состояния;

y_i' – кодированное значение измеренной характеристики i .

Величину y_i' рассчитывали по формуле

$$y_i' = A_0 + A_1 y_n, \quad (3)$$

где y_n – численное значение измеренной характеристики;

A_0, A_1 – постоянные,

$$A_0 = 2.75 \pm \frac{0,75 y_k}{t S}; \quad (4)$$

$$A_1 = \pm \frac{0,75}{t S}, \quad (5)$$

где S – среднее квадратичное отклонение измеренной характеристики y_k на контрольном объекте;

t – нормированное отклонение, величина которого задается в зависимости от значимости характеристики.

В целях уменьшения субъективности в выборе t худшим значениям y_n на ПП с плохим состоянием древостоев присваивали величину ПС = 20 баллов и t рассчитывали по формуле

$$t = \frac{0,75(y_k - y_n)}{1,226 S}. \quad (6)$$

Если y_n уменьшается под действием загрязнений, то в формуле (3) используют знак минус, а в формуле (4) – плюс. При увеличении y_n с ухудшением состояния знаки меняются на противоположные. Подробное обоснование выбора уравнений кодирования и расчета коэффициентов приведено в работе [10]. При ОПС более 50 баллов состояние оценивали как хорошее, 37 ... 50 – удовлетворительное, 20 ... 37 – плохое. Результаты измерений обрабатывали статистически.

Результаты измерений морфометрических и физиологических характеристик древостоев на ПП приведены в табл. 3. Анализ данных показывает, что с приближением к основному источнику загрязнений уменьшается средний диаметр, высота и радиальный прирост, а также увеличивается импеданс камбиального комплекса ствола (табл. 3), что свидетельствует о подавлении ростовых процессов, сопровождающемся уменьшением камбиальной активности, интенсивности ионного обмена и толщины проводящих тканей [5-7].

Таблица 3

Диагностические характеристики сосновых лесонасаждений ($\bar{X} \pm S$)

№ ПП	Приведенная высота, м	Приведенный диаметр, см	Радиальный прирост за 5 лет, мм	Прирост по высоте за 5 лет, м	Содержание хлорофилла, мг/г сухой массы	Импеданс прикамбиального комплекса, кОм
45	9,3 ± 1,1	13,0 ± 3,1	4,0 ± 2,4	1,3 ± 0,5	2,324 ± 0,424	16,4 ± 3,6
50	5,5 ± 0,6	5,7 ± 0,7	4,3 ± 1,7	0,9 ± 0,3	2,565 ± 0,387	19,5 ± 3,4
47	12,7 ± 1,5	10,8 ± 1,0	3,1 ± 1,5	0,8 ± 0,4	3,778 ± 0,355	20,5 ± 4,1
51	13,2 ± 2,5	11,3 ± 0,9	3,6 ± 1,3	1,4 ± 0,5	3,635 ± 0,360	19,5 ± 3,6
42	10,3 ± 1,7	11,4 ± 0,9	4,9 ± 1,5	1,4 ± 0,3	3,830 ± 0,104	15,4 ± 2,2
53	5,9 ± 0,5	4,4 ± 0,5	2,0 ± 0,8	1,5 ± 0,2	3,510 ± 0,247	25,3 ± 4,1
18	11,6 ± 1,5	11,7 ± 1,2	3,4 ± 1,6	1,5 ± 0,2	3,864 ± 0,149	19,8 ± 3,4
30	4,9 ± 0,6	3,7 ± 0,3	4,4 ± 1,1	1,5 ± 0,4	...	22,8 ± 4,1
19	6,6 ± 0,6	5,1 ± 0,5	3,4 ± 1,6	1,8 ± 0,3	3,637 ± 0,113	21,6 ± 3,4
20	10,9 ± 1,8	10,9 ± 0,9	7,0 ± 2,3	1,9 ± 0,3	...	14,2 ± 2,2
21	6,5 ± 0,9	5,4 ± 0,6	4,8 ± 1,7	2,1 ± 0,5	...	20,7 ± 3,4
38	7,8 ± 0,7	7,1 ± 0,9	5,5 ± 1,9	1,7 ± 0,5	3,469 ± 0,335	15,9 ± 1,9
54	9,5 ± 1,8	11,3 ± 1,1	7,9 ± 1,9	2,5 ± 0,4	...	16,0 ± 2,7
12	11,5 ± 2,0	10,1 ± 1,7	3,1 ± 1,4	1,8 ± 0,2	...	15,8 ± 2,2
13	12,9 ± 1,9	10,4 ± 1,1	2,5 ± 1,3	1,3 ± 0,3	3,680 ± 0,367	19,3 ± 3,8
39	12,9 ± 1,5	11,6 ± 0,5	3,9 ± 1,5	2,4 ± 0,4	4,057 ± 0,819	17,5 ± 2,3
57	7,6 ± 2,5	9,3 ± 3,5	11,5 ± 2,2	2,9 ± 1,0	2,554 ± 0,454	15,5 ± 1,8
29	6,8 ± 0,7	8,6 ± 1,6	11,3 ± 3,3	2,8 ± 0,5	...	15,5 ± 2,0
27	11,8 ± 2,5	13,8 ± 5,8	5,5 ± 1,8	1,5 ± 0,5	...	16,1 ± 1,7

Значение ОПС определяли отдельно по совокупности морфометрических характеристик и их сочетанию с ПС отдельных физиологических параметров. При этом для приведенных высот и диаметров всех возрастов и приростов по диаметру у 30-летних древостоев $t = 1$, для приростов по высоте у 20- и 30-летних соответственно 1,25 и 1,30, для радиальных приростов у 20-летних $t = 2,6$, для содержания хлорофиллов в хвое $t = 1,7$; для импеданса прикамбиального комплекса ствола 20- и 30-летних древостоев соответственно 3,4 и 1,6.

Сравнение результатов расчета ОПС по комплексу характеристик, включающему приросты по высоте и диаметру и приведенные диаметры и высоты, с показателями состояния по импедансу прикамбиального комплекса и общему содержанию хлорофилла в хвое (табл. 4), показывает, что ПС по отдельным физиологическим характеристикам не совпадают и могут быть как больше, так и меньше ОПС по морфометрическим данным. Последний, например, на ПП 45 составляет 47,1 балла, тогда как ПС по импедансу и хлорофиллу равны 59,8 и 20,6 соответственно. Это свидетельствует об удовлетворительном состоянии ростовых процессов в древостое, хорошем развитии прикамбиального комплекса ствола и в то же время значительном повреждении

фотосинтетического аппарата. Причины поражения хвои не всегда известны. В частности, мог быть залповый выброс поллютантов или кислотный дождь, которые в конечном итоге и привели к ухудшению общего состояния древостоя.

Таким образом, можно сделать вывод об относительной независимости оценок состояния на различных уровнях организации и важности их освещения при полной диагностике объекта. Следует отметить также, что комплексная оценка по всей совокупности измеренных характеристик отличается от ОПС по биометрическим показателям в среднем на 2 ... 5 баллов. Незначительность расхождений объясняется общей направленностью диагностики на сравнение интенсивности ростовых процессов: 4 из 6 использованных величин непосредственно определяются скоростями роста в высоту и по диаметру. Вместе с тем использование физиологических параметров позволяет повысить объективность оценки, что особенно важно при определении повреждений на ранних стадиях.

Таблица 4

Показатели состояния сосновых лесонасаждений ($d \pm S$)

№ ПП	ОПСМ	ПСИ	ПСХл	ОПСМИ	ОПС
45	47,1 ± 11,2	59,8 ± 30,8	20,7 ± 13,5	49,4 ± 10,6	42,7 ± 8,9
50	31,2 ± 3,2	45,9 ± 15,2	28,0 ± 13,6	33,7 ± 3,5	32,8 ± 3,8
47	41,5 ± 9,4	20,4 ± 36,7	55,5 ± 1,8	36,1 ± 14,5	38,7 ± 12,9
51	52,6 ± 8,1	28,9 ± 35,3	59,9 ± 1,8	46,7 ± 12,7	48,7 ± 11,1
42	53,2 ± 6,4	67,7 ± 15,7	53,8 ± 3,4	55,8 ± 5,9	55,5 ± 4,9
53	29,9 ± 2,2	20,2 ± 16,5	61,1 ± 1,4	27,6 ± 4,8	31,6 ± 4,6
18	50,6 ± 9,9	26,9 ± 33,0	52,7 ± 13,0	44,6 ± 13,0	45,8 ± 11,2
30	29,3 ± 2,1	30,9 ± 18,6	-	29,6 ± 3,9	-
19	36,4 ± 3,3	36,4 ± 15,4	59,9 ± 3,4	36,4 ± 4,1	39,6 ± 3,7
20	63,1 ± 5,2	75,6 ± 12,6	-	65,4 ± 4,8	-
21	40,3 ± 3,4	40,5 ± 15,7	-	40,3 ± 4,2	-
38	41,0 ± 6,1	60,9 ± 7,4	59,9 ± 10,1	46,8 ± 5,0	49,7 ± 4,5
54	61,6 ± 4,0	60,5 ± 10,2	-	61,4 ± 3,8	-
12	49,1 ± 9,4	64,7 ± 17,3	-	51,9 ± 8,5	-
13	44,0 ± 10,1	31,9 ± 38,7	58,6 ± 11,3	41,3 ± 12,6	43,7 ± 11,2
39	60,5 ± 8,7	49,9 ± 22,1	46,1 ± 28,7	58,2 ± 8,5	55,9 ± 8,9
57	62,4 ± 9,2	62,4 ± 6,5	62,4 ± 12,9	62,4 ± 7,5	62,4 ± 6,6
29	58,6 ± 4,7	62,4 ± 7,3	-	59,4 ± 4,1	-
27	62,4 ± 10,5	62,4 ± 13,8	-	62,4 ± 8,8	-

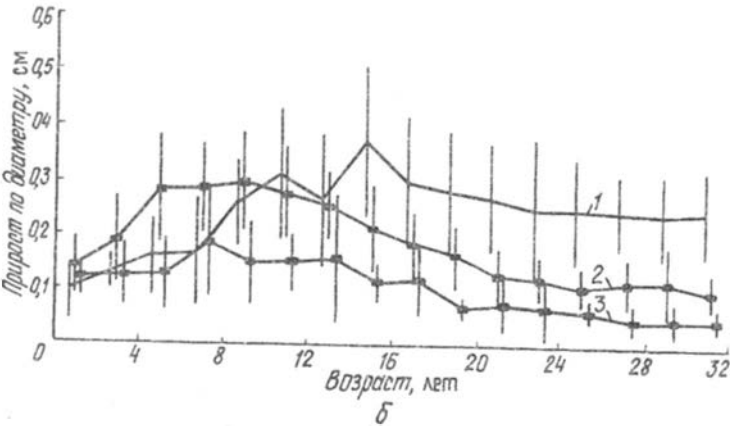
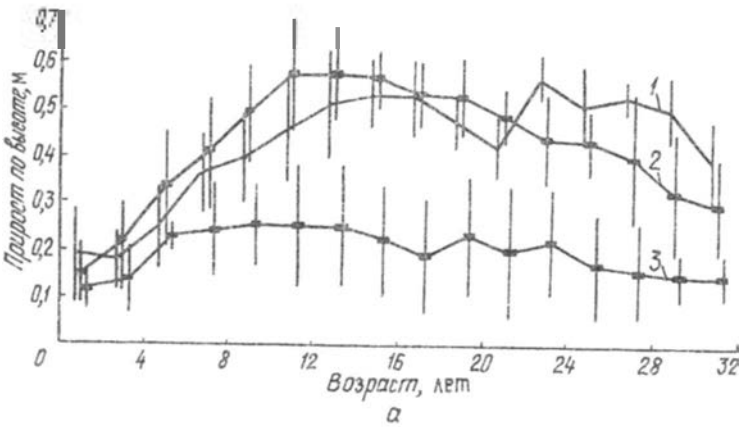
Примечание. ОПСМ – обобщенный показатель состояния по морфометрическим данным; ПСИ – показатель состояния по импедансу прикамбиального комплекса тканей ствола; ПСХл – по содержанию хлорофилла; ОПСМИ – по морфометрическим данным и импедансу; ОПС – по всем показателям.

Анализ изменений ОПС древостоев свидетельствует о том, что по мере удаления от основного источника атмосферного загрязнения (СУМЗ) состояние сосновых молодняков, как правило, улучшается (табл. 4). Вместе с тем сравнение ОПС древостоев, находящихся на примерно одинаковом расстоянии от СУМЗа в разных направлениях, показывает, что повреждение более выражено и наблюдается на больших расстояниях в юго-восточном (ПП 12 и 13) и северо-восточном (ПП 21 и 38) направлениях в соответствии с розой ветров (доминируют западные, северо-западные ветры) и рельефом местности (на востоке расположен горный массив, задерживающий распространение поллюгантов).

Совпадающие по предлагаемой градации ОПС ПП могут быть объединены в три зоны поражения. Сложный характер границ зон сочетается с мозаичностью их расположения. В качестве примера рассмотрим ПП 45, ОПС которой по комплексу морфометрических и физиологических характеристик равен 42,7 баллов (состояние удовлетворительное). Вокруг нее на расстоянии от 2 до 0,5 км расположены ПП 50 и 47, ОПС которых составляет соответственно 32,8 (состояние плохое) и 38,7 (состояние удовлетворительное). Данный факт может быть объяснен тем, что ПП 45 находится в складках местности, защищающих насаждение от прямого воздействия поллюгантов. Кроме того, следует отметить, что этот древостой расположен в типе леса ельник-сосняк травяной в пойме р.Чусовой на богатых почвах, имеющих активный гидрологический режим, что также повышает его устойчивость.

Другая важная причина, определяющая сложную форму границ и мозаичность расположения зон поражения, – наличие нескольких источников загрязнения в регионе. В частности, более низкие по сравнению с ближайшими древостоями значения ОПС ПП 13, 30, 53, 21 и 19 связаны, по-видимому, помимо рельефа местности с воздействиями выбросов других предприятий г. Ревды и Первоуральска. Таким образом, экспресс-диагностика по комплексу морфометрических и физиологических характеристик древостоев является достаточно чувствительной и позволяет установить дополнительные факторы, влияющие на состояние насаждений.

В целях выявления закономерностей развития древостоев с различной степенью антропогенной нагрузки исследован ход роста 20-30-летних искусственных молодняков по высоте и диаметру. Полагали, что модельные деревья, взятые в древостоях с близкими условиями местопроизрастания и одинаковой степенью поражения, относятся к одной генеральной выборке. Поэтому данные прироста отдельных модельных деревьев объединяли в статистические ряды по степени поражения: нет поражения – ОПС > 50, среднее – 50 ... 30, сильное < 30 баллов. Наглядно динамика прироста по высоте и диаметру трех упомянутых категорий древостоев представлена на рисунке.



Прирост по высоте (а) и диаметру (б) древостоев:
 1 – ОПС > 50; 2 – ОПС = 30 ... 50; 3 – ОПС < 30 баллов

У древостоев, пораженных в средней степени, достоверное падение прироста по высоте и диаметру происходит после 10-15-летнего их возраста, тогда как в непораженных такого снижения в данном возрасте не наблюдается. Это приводит к смещению максимума прироста с 15 ... 25 лет для непораженных насаждений к 8 ... 12 годам для пораженных (ОПС = 30 ... 50). У древостоев, пораженных в сильной степени (ОПС < 30), на протяжении всего изученного периода жизни достоверные максимумы прироста по высоте и диаметру отсутствуют. В этих насаждениях абсолютные значения прироста достоверно ниже, чем в непораженных.

Данные исследований хода роста сосновых молодняков свидетельствуют об уменьшении интенсивности ростовых процессов в зонах среднего и сильного поражения. Ввиду того, что в течение минимум 5 лет, предшествующих исследованиям, объем выбросов основного источника загрязнений не увеличивался (табл. 1), снижение приростов в зоне среднего поражения в последние 15 ... 20 лет обусловлено, по-видимому, известным ускорением сроков биологического развития

растений в условиях антропогенного стресса [12], уменьшением биологической продуктивности древостоев (связанной, в частности, с поражением фотосинтетического аппарата) и сопряженного с ним общего энергетического обмена [3].

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности метода определения обобщенного показателя состояния в региональном экологическом мониторинге, проводимом с использованием комплекса лесоводственных и физиологических характеристик древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Адлер Ю.П., Маркова Е.М., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 278 с. [2]. Антанайтис В.В. Мониторинг лесов и лесоустройство // Мониторинг лесных экосистем: Тез. докл. науч. конф. 5-6 июня 1986. - Каунас-Академия, 1986. - С. 5-6. [3]. Барахтенева Л.А., Николаевский В.С. Влияние сернистого газа на фотосинтез растений. - Новосибирск.: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. - 84 с. [4]. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 448 с. [5]. Каширо Ю.П. Электрический способ оценки приживаемости саженцев сосны в культурах // Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. - Свердловск, 1970. - Вып. 67. - С. 294-301. [6]. Каширо Ю.П., Хасанов Н.Х., Дорожкин Е.М. Электрическое сопротивление тканей прикамбиального комплекса у сосны обыкновенной и его диагностические возможности // Леса Урала и хозяйство в них. - Свердловск.: Изд. УрГУ, 1988. - Вып. 14. - С. 183-188. [7]. Мамаев С.А., Шавнин С.А. Динамика некоторых биофизических характеристик однолетних побегов сосны обыкновенной при переходе в состояние покоя // Лесн. хоз-во. - Свердловск, 1976. - С. 156-159. [8]. Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов СССР. - Пушкино, 1987. - 45 с. [9]. Методы биохимического анализа растений / Под ред. В.В. Полевого. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. - 192 с. [10]. Модель оценки состояния пораженных древостоев / В.А. Калинин, В.И. Крюк, Н.А. Луганский, С.А. Шавнин // Экология. - 1991. - № 3. - С. 21-28. [11]. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. - М.: Наука, 1967. - 95 с. [12]. Николаевский В.С. Биологические основы газустойчивости растений. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. - 278 с. [13]. Степанов А.М. Методология биоиндикации и фонового мониторинга экосистем суши // Экотоксикология и охрана природы. - М.: Наука, 1988. - С. 28-108.