

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ПРИГОРОДНЫХ СОСНЯКОВ КРАСНОЯРСКА

Основными антропогенными факторами, влияющими на ход развития пригородных насаждений Красноярска, как и любого другого крупного промышленного центра, являются загрязнение окружающей, в том числе воздушной среды, рекреационные нагрузки и связанные с рекреацией частые низовые пожары. Сложность выявления дигрессивных трансформаций древостоев под влиянием антропогенной нагрузки заключается в длительном скрытом характере изменений, обусловленном их высокой устойчивостью по сравнению с другими компонентами биогеоценозов [2].

Цель исследования - оценка влияния промышленного загрязнения и пожаров на устойчивость пригородных сосняков. Для изучения особенностей развития древостоев в условиях антропогенного пресса нами были заложены постоянные пробные площади (ПП) в средневозрастных сосняках, достаточно широко представленных в окрестностях Красноярска (табл. 1).

ПП 1 характеризует сильно загрязненный участок леса с наветренной опушки Березовского бора. ПП 2 - умеренно загрязненный участок в центре этого же лесного массива, расположенного в 8 км восточнее Красноярской ТЭЦ и в 7 км юго-восточнее Красноярского алюминиевого завода. ПП 3 и 4 представляют фоновые сосняки близ дачного пос. Овинный в 6-7 км к западу от городской черты Красноярска. Различия в загрязненности пригородных лесов обусловлены преобладанием западных ветров.

Лесоучетные работы в период с 2002 по 2004 гг. включительно проводили ежегодно. Для характеристики жизненного состояния деревьев определяли их категорию. По шкале действующих санитарных правил [5] к I категории относятся деревья без признаков ослабления, II - ослабленные, III - сильно ослабленные, IV - усыхающие, V - сухостой текущего года и VI - сухостой прошлых лет. Категорию состояния древостоя устанавливали как средневзвешенную по объему стволов. Методика натурных измерений и обработки материалов таксации ПП подробно изложена в работе [4]. Таксационная характеристика древостоев приводится в таблицах 2 и 3.

Сосняки Березовского бора сформировались в годы войны на бывших сенокосах, а сосняки в районе дачного пос. Овинный - на заброшенных пашнях. Особое внимание при подборе участков для закладки ПП уделялось сходству древостоев по возрасту, составу и таксационным показателям. Средний возраст сосны на ПП 1-4 практически одинаков. Все древостои по возрастной структуре относятся к одновозрастным (изменчивость среднего возраста 5-13 %). Характерной особенностью исследуемых сосняков является высокая полнота, в 1.4-1.6 раза превышающая стандартные значения (по таблице ЦНИИЛХ). Примесь березы и лиственницы незначительна. В насаждениях Березовского бора, загрязненных главным образом промвыбросами Красноярской ТЭЦ, обращает на себя внимание сильная запыленность стволов, особенно на опушке леса и наличие химических ожогов хвои (до 20 % кроны) более чем у 40 % деревьев. Здесь не встречается муравейников и обычных для бора зеленых мхов. По данным авторов [6] поверхность хвои сосен в Березовском бору загрязнена такими элементами, как *Pb*, *Cu*, *Zn*, *Co*, *Cr*, *Mn*, *Sr*, *Ni*, *F*, сумма которых в 8 раз превосходит их содержание в фоновых насаждениях. Отложения на поверхности хвои наиболее токсичного загрязнителя - фтора - превышает контроль в 2-16 раз, а в растениях напочвенного покрова накапливается в 10-100 раз больше микроэлементов, чем на контроле. В фоновых насаждениях близ пос. Овинный можно встретить лишь бытовой мусор, оставленный дачниками и отдыхающими. Рекреационная нагрузка (отдых населения и пастба скота) в равной мере отмечается во всех насаждениях. Рубки ухода, проводимые здесь по низовому методу, сводятся в основном к уборке сухостоя и свежего валежа. После схода снега весной и до появления разнотравья в мае возрастает вероятность низовых пожаров. Последний пожар на ПП 1 и 2 датируется 1998 г., а на ПП 3 и 4 - 2004 г. В первом случае пожар классифицируется как беглый и во втором как устойчивый (более интенсивный). Так, на ПП 4, расположенной на наветренном склоне, следы устойчивого низового пожара 1970 г. (пожарные подсушили комлевой части стволов у четверти всех деревьев) не заросли до сих пор.

Таблица 1

Условия местопроизрастания древостоев на ПП

№ ПП	Год закладки	Площадь, га	Местоположение	Почва	Класс бонитета	Группа возраста	Тип леса
1	2002	0.14	Надпойменная терраса р. Енисей близ пос. Березовка. Рельеф ровный, 160 м над ур. м.	Лесная дерново-подзолистая супесчаная дренированная свежая	II	Средневозрастные	Сосняк разнотравный
2	2002	0.14	"	"	I	"	"
3	2002	0.14	Северный макросклон приенисейской возвышенности крутизной до 5° в районе дачного пос. Овинный, 320 м над ур. м.	Лесная дерново-подзолистая легкосуглинистая дренированная свежая	I	"	Сосняк травяно-зеленомошный
4	2002	0.13	"	"	I	"	"

Индекс категории жизненного состояния у большинства древостоев за 2 года учета повысился, то есть их состояние несколько ухудшилось (табл. 2, 3). Изменение состояния древостоев хорошо фиксируется также критерием упорядоченности (энтропии), определяемым по формуле К. Шеннона [7, 8]:

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log P_i, \quad (1)$$

где n - число состояний системы (древостоя); P_i - вероятность, с которой древостой принимает i состояние.

В данном случае i меняется по числу категорий жизненного состояния деревьев ($i = 6$),

Таблица 2

Таксационная характеристика древостоев на ПП по элементам леса на 1 га

№ ПП	Основной элемент леса	Год учета	Средние				ΣG , м ² /га	Запас, м ³ /га		Густота, шт./га	
			категория	возраст, лет	диаметр, см	высота, м		растущего леса	сухостоя	растущего леса	сухостоя
1	СП	2002	1.6	57	18.6	18.2	45.6	404	6	1671	56
		2004	1.7	59	19.1	18.6	47.1	423	7	1643	63
2	СП	2002	1.4	58	22.0	21.2	48.9	491	10	1286	36
		2004	1.5	60	22.5	21.6	50.4	514	7	1264	36
3	С	2002	1.3	62	20.4	21.2	46.9	476	8	1430	81
		2004	1.4	64	21.2	21.8	47.8	495	12	1356	119
4	С	2002	1.5	62	19.7	20.9	50.8	512	10	1664	172
		2004	1.5	65	20.3	21.5	52.2	537	12	1609	187

Таблица 3

Таксационная характеристика древостоев на ПП по ярусам на 1 га

№ ПП	Год учета	Состав	Категория	Ср. высота, м	Полнота	Запас, м ³ /га	
						растущего леса	сухостоя
1	2002	10СП+С1	1.6	18.2	1.4	419	6
	2004	10СП+С1	1.7	18.6	1.4	439	7
2	2002	9СП1С1 ед.Б	1.4	21.2	1.5	519	10
	2004	9СП1С1 ед.Б	1.6	21.6	1.5	543	7
3	2002	9С1Б ед.Л	1.3	21.0	1.5	528	9
	2004	9С1Б ед.Л	1.4	21.6	1.5	549	14
4	2002	9С1Л+Б	1.5	21.0	1.6	555	10
	2004	9С1Л+Б	1.5	21.5	1.6	582	13

а вероятностью P_i служит запас деревьев i категории состояния (табл. 4).

Таблица 4

Динамика состояния древостоев на ПП по критерию упорядоченности (энтропии)

№ ПП	2002 г.	2003 г.	2004 г.
1	0.43	0.44	0.45
2	0.38	0.39	0.40
3	0.29	0.29	0.32
4	0.38	0.38	0.38

Под воздействием загрязнения энтропия древостоев на ПП 1 и 2 монотонно возрастает. Энтропия древостоя на ПП 3 в 2004 г. увеличилась в результате пожара, а энтропия древостоя на ПП 4, ранее пройденного пожаром, не изменилась.

В 2003 г. текущий прирост запаса сосны в фоновых древостоях достоверно превышал таковой в загрязненных на 24 % (12.5 м³/га против 9.5), а после пожара в 2004 г. приросты древостоев сравнялись (показатели 9.5 и

11.5 м³/га достоверно не различаются). За 2003 г. в фоновых древостоях изменили состояние 26 сосен, из них 3 погибло и 5 перешло из сухостоя в валеж. В загрязненных древостоях за этот год изменили состояние 23 сосны, в том числе 6 погибло и 1 перешла из сухостоя в валеж (табл. 5).

После пожара 2004 г. в фоновых древостоях интенсивность переходов сосны по категориям состояния увеличилась. Изменили состояние 48 деревьев из них 14 отпало и 5 перешло из сухостоя в валеж. В загрязненных древостоях в 2004 г. изменили состояние 30 сосен, в том числе 1 усохла и 5 из сухостоя перешло в валеж (табл. 6).

В этой схеме переходов «конечным пунктом назначения» каждого дерева условно принят валеж. Чаще всего наблюдалось ухудшение состояния сосны на один балл, но имели место переходы в сторону ухудшения на два и даже на четыре балла. Случаев улучшения состояния не зафиксировано. Средневозрастная сосна в фоновых древостоях, по-видимому,

Таблица 5

Динамика переходов сосны по категориям жизненного состояния в 2003 г.

Экологическая группа	Категория состояния	Было в 2002 г., шт.	Переходы по категориям, шт.						Стало в 2003 г., шт.
			I	II	III	IV	Сухостой	Валеж	
Фоновые древостои	I	233	231	2	-	-	-	-	231
	II	68	-	63	5	-	-	-	65
	III	65	-	-	52	11	2	-	57
	IV	40	-	-	-	39	1	-	50
	Сухостой	33	-	-	-	-	28	5	31
Загрязненные древостои	I	188	186	2	-	-	-	-	186
	II	181	-	171	10	-	-	-	173
	III	44	-	-	38	4	2	-	48
	IV	10	-	-	-	6	4	-	10
	Сухостой	13	-	-	-	-	12	1	18

Таблица 6

Динамика переходов сосны по категориям жизненного состояния в 2004 г.

Экологическая группа	Категория состояния	Было в 2003 г., шт.	Переходы по категориям, шт.						Стало в 2004 г., шт.
			I	II	III	IV	Сухостой	Валеж	
Фоновые древостои	I	231	227	3	-	-	1	-	227
	II	65	-	57	8	-	-	-	60
	III	57	-	-	39	18	-	-	47
	IV	50	-	-	-	37	13	-	55
	Сухостой	31	-	-	-	-	26	5	40
Загрязненные древостои	I	186	180	6	-	-	-	-	180
	II	173	-	161	12	-	-	-	167
	III	48	-	-	41	6	1	-	53
	IV	10	-	-	-	10	-	-	16
	Сухостой	18	-	-	-	-	13	5	14

динамичнее таковой в загрязненных. В фоновых древостоях за год изменяют состояние 5.9-11.0 % деревьев, а в загрязненных - 5.3-6.9 %. Отпад (усыхание на корню) идет в основном за счет отстающих в росте деревьев IV категории состояния. В числе 24 выпавших за 2 года на ПП сосен оказалось только две субдоминантных. Следовательно, в древостоях, в том числе в загрязненных, преобладает дискриминационный отпад.

В средневозрастных сосняках показатели категории состояния деревьев буквально дублируют их фитосоциальные ранги (классы Крафта), т. е., чем меньше дерево, тем хуже его состояние. Впрочем, эта особенность сосняков отмечалась исследователями и раньше [1]. Корреляция между категорией состояния и рангом дерева по толщине является обратной и тесной ($R = -0.74$; рис. 1).

В фоновых сосняках преобладают деревья I категории состояния, в загрязненных - соотношение деревьев I и II категории примерно равно. В то же время в фоновых древостоях угнетенных и ослабленных деревьев IV категории состояния накапливается больше, чем в загрязненных (рис. 2).

В процессе экогенеза деревья увеличивают свои размеры, изменяют фитосоциальный статус и категорию жизненного состояния. Итогом этих изменений, в конечном счете, является отпад. Если оценить матрицы вероятностей перехода деревьев по категориям состояния, абстрагируясь пока от прироста и ранга деревьев, ибо эти показатели тесно связаны с категорией (см. выше), то можно сконструировать имитационные модели изреживания древостоев в разных экологических условиях и выявить долю отпада, обусловленную загрязнением или пожаром. Для оценки матриц эм-

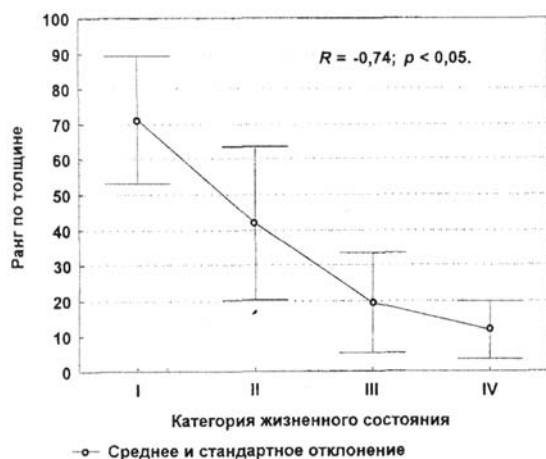


Рис. 1. Связь категории состояния сосны с рангом дерева по толщине

пирические данные переходов (табл. 5 и 6) мы представили в виде бинарного отклика (1 - для n_i - сохранивших i -ю категорию деревьев, 0 - для перешедших в другую) и выровняли логит регрессией. В этой модели данные типа: да, нет, превращаются в непрерывную переменную со значениями на отрезке $[0, 1]$:

$$P_1 = \exp(a_0 + a_1 * x_1 + \dots + a_n * x_n) / (1 + \exp(a_0 + a_1 * x_1 + \dots + a_n * x_n)), \quad (2)$$

где: P_1 - вероятность сохранения (изменения) категории жизненного состояния дерева за 1 год; a_i - оцениваемые коэффициенты модели; x_1 - экологическая группа древостоев (1 - фоновые, 2 - загрязненные); x_2 - категория жизненного состояния дерева (I - 1, II - 2, III - 3, IV - 4).

Выравнивание вели поэтапно, отдельно по годам учета. Вначале оценили шанс дерева остаться в прежней категории состояния, затем - вероятность снижения состояния на один и два балла. При этом достоверность модели по критерию χ^2 варьировала от очень высокой ($\chi^2 = 6.4-53.3$; $p \leq 0.000-0.042$) в случаях с вероятностями остаться в прежней категории или изменить ее на один балл до очень низкой ($\chi^2 = 0.11$; $p = 0.943$), в случае изменения состояния на два балла в 2004 г. Незначительные невязки сумм вероятностей по строкам ($Er_i = \sum P_i - 1$) разбросали пропорционально величине вероятностей P_i , так чтобы сумма последних в каждой строке матрицы равнялась единице (табл. 7).

Порядок изреживания древостоев в разных экологических условиях оценили по цепи Маркова. Согласно теореме [3] в однородной по времени марковской модели вектор вероятностей состояний системы $P(t_i)$ в момент времени t_i равен произведению вектора вероятнос-

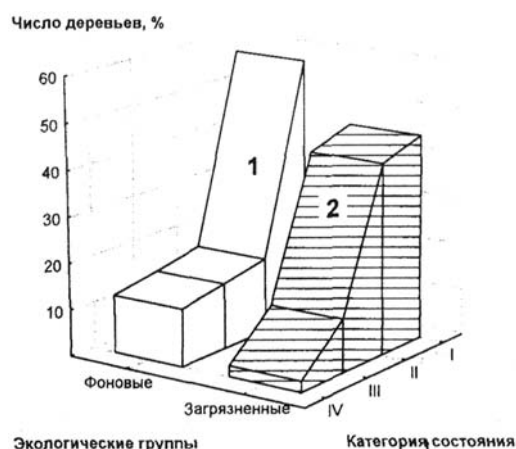


Рис. 2. Распределение сосны в фоновых и загрязненных древостоях по категориям жизненного состояния в 2002 г.

Таблица 7

Матрицы вероятностей изменения категории состояния сосны
в разных экологических условиях за 1 год

Категория	I	II	III	IV	Сухостой	Валеж		I	II	III	IV	Сухостой	Валеж
2003 г. (до пожара)													
Фоновые древостои (А)							Загрязненные древостои (В)						
I*	0.983	0.016	0.001	0	0	0		0.977	0.022	0.001	0	0	0
II	0	0.960	0.038	0.002	0	0		0	0.946	0.050	0.004	0	0
III	0	0	0.907	0.085	0.008	0		0	0	0.876	0.110	0.014	0
IV	0	0	0	0.792	0.180	0.028		0	0	0	0.731	0.223	0.046
2004 г. (после пожара)													
Фоновые древостои (Б)							Загрязненные древостои (Г)						
I	0.958	0.040	0.002	0	0	0		0.971	0.027	0.002	0	0	0
II	0	0.910	0.087	0.003	0	0		0	0.937	0.060	0.003	0	0
III	0	0	0.816	0.181	0.003	0		0	0	0.868	0.129	0.003	0
IV	0	0	0	0.659	0.337	0.004		0	0	0	0.742	0.254	0.004

*Например, из 1000 деревьев I категории состояния в фоновых древостоях через год в I категории останется 983 дерева, 16 перейдут во II категорию и одно дерево - в III-ю.

тей состояний $P(t_{i-1})$ в момент t_{i-1} на матрицу перехода $\Gamma(\tau)$:

$$P(t_i) = P(t_{i-1}) * \Gamma(\tau), \quad (3)$$

где τ - период времени в интервале от t_{i-1} до t_i .

Стартовое число деревьев сосны, принятое за 100 %, с эмпирическими распределениями по категориям состояния (рис. 2) умножали на матрицы вероятностей изменения категорий, получали новые распределения, умножали снова и т. д. Расчеты вели в предположении неизменности характера перехода деревьев по категориям состояния. Реальные и теоретические сценарии развития ситуации в будущем иллюстрирует рис. 3.

Умножение распределения сосны в фоновых древостоях 1 (рис. 2) на матрицу А (табл. 7) дает темп изреживания 1 (рис. 3). В результате такого темпа изреживания густота фоновых древостоев через 25 лет оказалась бы близкой к таковой древостоя на ПП 5, заложенной на Овинном в 2003 г. Этот сосняк характеризуется следующими показателями: $A = 87$ лет; $D = 29.7$ см; $H = 27.1$ м; $\Sigma G = 62.2$ м³/га; $P = 1.7$; $M = 797$ м³/га; и $N = 895$ шт./га. Нагрузка промышленного загрязнения, наблюдаемого в Березовском боре, увеличила бы отпад неадаптированных к загрязнению фоновых древостоев на 28 % (умножение распределения 1 на матрицу В дает изреживание 2). В действительности изреживание загрязненных древостоев идет даже медленнее, чем фоновых (если распределение 2 умножить на матрицу В получим изреживание 4). Причина этого замедления обусловлена различиями между распределениями 1 и 2, изображенными на рисунке 2. Повидимому, изменение распределения сосны по категориям жизненного состояния в загрязненных древостоях Березовского бора по сравнению

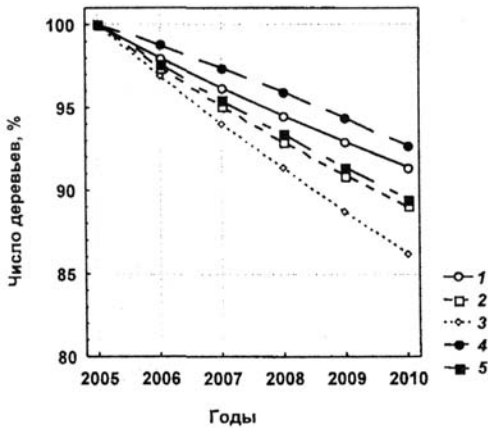


Рис. 3. Порядок изреживания средневозрастной сосны: 1 - при беспожарном развитии фоновых древостоев; 2 - в случае загрязнения фоновых древостоев; 3 - в фоновых древостоях при ежегодных весенних пожарах; 4 - в загрязненных древостоях Березовского бора по сценарию беспожарного развития; 5 - в загрязненных древостоях при ежегодных пожарах.

нию с фоновыми вызвано адаптацией их к действию поллютантов и пыли. Древостои с распределением типа 2 показывают большую устойчивость и к пожарам. Отпад в фоновых древостоях после пожара повышается на 61 % (3), а в загрязненных - на 45 % (5).

Из сказанного можно заключить, что промышленное загрязнение и пожары являются главными факторами воспитания сосны и формирования облика пригородных сосняков. Загрязнение не увеличивает отпад сосны, поскольку древостои, растущие «под трубой» проходят процесс адаптации и изменяют соотношение категорий жизненности деревьев в сторону укрепления их устойчивости. Однако, из-за химических ожогов хвои, запыления устьиц и нарушения газообмена и транспирации у деревьев в загрязненных древостоях наблюдается снижение текущего прироста по запасу в среднем на 24 %. В результате низового пожара темп изреживания древостоев возрастает на 45-61 %. При этом выпадают преимущественно отставшие в росте и ослабленные деревья IV категории состояния.

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ и ККФН по гранту 03-04-96126.

Библиографический список

1. Абатуров А. В. Возрастная структура и состояние лесов ближнего Подмосковья //

Мат-лы 5-й межд. конф. «Проблемы лесной фитопатологии и микологии». - М., 2002. - С. 13-16.

2. Алексеев В. А., Доченжер Л. С. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение // Лесоведение. - 1981. - № 5. - С. 64-70.

3. Иванова В. М., Калинина В. Н., Нещумова Л. А., Решетникова И. О. Математическая статистика - М.: Высш. Школа, 1981. - 371 с.

4. Поляков В. И., Полякова Г. Г. База данных постоянных пробных площадей для слежения за состоянием древостоев // Лесная таксация и лесоустройство. Междунар. науч. - практич. журнал. - 2003. - № 1(32). - С. 71-76.

5. Санитарные правила в лесах Российской Федерации // Лесное законодательство Российской Федерации. Сборник нормативных правовых актов. - М.: ПАИМС, 1998. - С. 310-329.

6. Татаринцев А. И., Скрипальщикова Л. Н. Основные фитоценозы в зоне многолетнего воздействия антропогенных нагрузок // Геогр. и прир. рес. - 2003. - № 3. - С. 53-56.

7. Фарбер С. К., Соколов В. А., Баранчиков Ю. Н. и др. Оценка неопределенности перехода лесной системы к новым исходам // Лесная таксация и лесоустройство. Междунар. науч.-практ. ж. - 2003. - № 1(32). - С. 108-110.

8. Цветков В. Ф., Цветков И. В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения - Архангельск, 2003. - 354 с.