

ние вырубок и пр.) и о возможностях использования МДП в других направлениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Апостолов Ю. С. Таксация лесов с вертолетов.—М.: ЦНИИТЭлеспром. Лесн. хоз-во, 1965.—333 с. [2]. Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве / В. И. Сухих, С. Г. Синицын, Ю. С. Апостолов и др.—М.: Лесн. пром-сть, 1979.—287 с. [3]. Дворяшин М. В., Кармазин А. У. Лесная крупномасштабная аэрофотосъемка с вертолетов.—М.: Лесн. пром-сть, 1978.—72 с. [4]. Дмитриев И. Д., Данюлис Е. П., Кропов П. А. Лесная аэрофотосъемка и авиация. Лесотаксационное и лесохозяйственное дешифрирование аэроснимков.—Л.: Изд-во ЛТА, 1976.—168 с. [5]. Дмитриев И. Д., Мураханов Е. С., Сухих В. И. Лесная аэрофотосъемка и авиация.—М.: Агропромиздат, 1989.—343 с. [6]. Кармазин А. У., Таланцев Н. К. Вертолеты в лесном хозяйстве.—М.: Лесн. пром-сть, 1974.—120 с. [7]. Руководство по аэрофотосъемочным работам.—М.: Воздушный транспорт, 1988.—334 с. [8]. Самойлович Г. Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве.—М.: Лесн. пром-сть, 1964.—486 с.

Поступила 25 марта 1991 г.

УДК 630\*385.1 : 630\*5

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ НА ОСУШЕННЫХ БОЛОТАХ

А. С. АЛЕКСЕЕВ, Б. В. БАБИКОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Воздействие осушения переувлажненных лесных земель на рост проявляется в течение длительного периода времени, и важно иметь прогноз на будущее. Наши исследования проведены на примере сосновых древостоев на верховом и переходном болотах, осушенных открытыми каналами глубиной около 1 м, при расстояниях между ними соответственно 65 и 130 м. Зольность торфа для этих типов болот составила 3,5...4,2 и 5...6 %.

Известно, что лесоводственный эффект осушения в значительной степени определяется его нормой. При названных расстояниях между каналами их действие четко прослеживается на всей ширине полосы. Уровень грунтовых вод на верховом болоте посередине между каналами был равен в среднем 27 см (за май—сентябрь), вблизи каналов 32...35 см, на переходном болоте соответственно 50 и 60...65 см, т. е. степень осушения различна.

Поскольку вблизи каналов грунтовые воды опускаются глубже, то и рост леса здесь лучше. Это дает возможность проанализировать рост в сходных лесорастиельных условиях при разных уровнях грунтовых вод (табл. 1).

Таблица 1

Тип болота	Номер пробной площади	Уровень грунтовых вод, см, по месяцам					
		V	VI	VII	VIII	IX	средний
Переходное	22	34	53	69	82	82	64
	23, 23а	20	43	66	74	75	55
Верховое	33	21	34	38	41	39	35
	34	14	26	32	34	30	27
	35	19	32	35	40	36	32

Влияние осушения можно оценить по изменению диаметра, высоты, запаса и других таксационных показателей древостоя. Среди них наиболее легко определяемым и достаточно надежным признаком является диаметр. По экспериментальным данным об его изменении за ряд лет можно составить прогноз состояния древостоя используя метод математического моделирования. В настоящей работе исходными служили данные периодических (через 4...6 лет) перечетов деревьев на постоянных пробных площадях.

До осушения на верховом болоте возраст деревьев составлял 40...60 и 80...120 лет (древостой разновозрастный), на переходном 30...40 лет. После осушения рост древостоя на верховом болоте характеризуется III—V, на переходном I—II классами бонитета. Различия в состоянии древостоев и условиях роста позволили выполнить более полную проверку предлагаемого метода прогноза. В этих целях построены две различные математические модели, в которых общее число древостоев было распределено по ступеням толщины (размерным классам).

В результате осушения верхового болота в древостое появляется большое количество подроста, постоянно пополняющего размерные классы с большими диаметрами.

Разумно предположить, что число размерных классов  $n$  убывает с увеличением диаметра деревьев  $a$  по закону Гомпертца [2, 4]

$$-\frac{1}{n} \frac{dn}{da} = \gamma e^{\beta a}, \quad (1)$$

где  $\beta, \gamma$  — параметры распределения.

Из выражения (1) получаем

$$n = n_0 e^{-\frac{\alpha}{\beta} [e^{\beta a} - e^{\beta a_0}]} \quad (2)$$

где  $n_0$  — число деревьев начальной (наименьшей) ступени толщины;  $a_0$  — начальная ступень толщины.

Параметры  $\gamma$  и  $\beta$  распределения (2) оценены на основе материалов наблюдений за состоянием древостоев на трех пробных площадях в 1967—1984 гг. (табл.

Таблица 2

Номер пробной площади	1967		1975		1979		1984	
	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$
33	0,063	0,327	0,249	0,085	0,135	0,118	0,152	0,065
34	0,139	0,133	0,172	0,175	0,112	0,193	0,171	0,105
35	0,088	0,242	0,185	0,155	0,096	0,191	0,147	0,101

На основе этих параметров рассчитывали теоретические значения числа размерных классов по всем пробным площадям за годы исследования и по критерию Пирсона  $\chi^2$  сравнивали их с экспериментальными данными. Результаты сравнения для пробной площади 33 представлены в табл. 3.

Табличное значение критерия Пирсона, характеризующее хорошую степень совпадения экспериментальных и теоретических данных (с вероятностью 0,9), равно 16,812, высокую (с вероятностью 0,95) — 12,592. Данные табл. 3 свидетельствуют о хорошем совпадении показателей. На остальных пробных площадях оно также имеет место.

Интегральной характеристикой состояния древостоев является средняя скорость  $\varphi$  сокращения числа размерных классов с увеличением их размера:

$$\bar{\varphi}(\alpha_m, \alpha_0) = \frac{1}{\alpha_m - \alpha_0} \int_{\alpha_0}^{\alpha_m} \gamma e^{\beta \alpha} d\alpha. \quad (3)$$

Здесь  $\alpha_m$  — максимальный диаметр деревьев.

Таблица 3

$\alpha$ , см	1967			1975			1979			1984		
	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$
2	141	141	0,000	348	348	0,000	286	286	0,000	235	235	0,000
4	114	118	0,140	183	183	9,639	194	194	10,702	193	162	5,932
6	69	84	2,664	85	85	0,188	119	119	0,000	108	107	0,009
8	25	44	7,849	35	35	0,457	64	64	0,352	84	66	4,909
10	10	12	0,333	14	12	0,333	31	29	0,093	51	38	4,291
12	2	1	1,000	4	4	0,000	13	11	0,364	17	20	0,450
14	2	0	2,000	1	1	0,000	3	3	0,000	8	10	0,400
16	0	0	0,000	1	0	1,000	1	1	0,000	3	4	0,250
18	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000	1	2	0,500
$\Sigma$	—	—	13,986	—	—	11,617	—	—	11,511	—	—	16,741

Результаты расчета значений  $\bar{\varphi}$  приведены в табл. 4.

Как видно из таблицы, осушение наибольшим образом отразилось на состоянии древостоя вблизи каналов на пробной площади 33, в 1984 г. значение  $\bar{\varphi}$  уменьшилось на 80 % по сравнению с 1967 г. На пробных площадях 34 и 35 снижение составило соответственно 10 и 20 %.

Величина  $\bar{\varphi}$  как интегральная характеристика состояния древостоев зависит от среднего уровня грунтовых вод. Чем он ниже, тем меньше  $\bar{\varphi}$  и эффективнее осушение. Линейная зависимость  $\bar{\varphi}$  от времени [3], выражаемая уравнением  $\bar{\varphi} = at + b$  (где  $t$  — время), позволяет дать прогноз на перспективу (табл. 5, прогноз на 1989 г.). Как видим, состояние

Таблица 4

Номер пробной площади	Значения $\bar{\varphi}$			
	1967	1975	1979	1984
33	1,532	0,567	0,436	0,304
34	0,529	1,055	0,848	0,481
35	0,437	0,604	0,546	0,350

Таблица 5

Номер пробной площади	Параметры регрессии		Коэффициент корреляции	Прогноз на 1989 г.	
	a	b		$\bar{\varphi}$	Ошибка
33	-0,027	0,553	0,987	0,175	0,091
34	-0,064	1,072	0,997	0,176	0,067
35	-0,029	0,624	0,977	0,218	0,124

древостоев на всех трех пробных площадях приблизительно сравнивается.

На пробных площадях переходного болота распределение общего числа древостоев по размерным классам определяется другими закономерностями. Уравнение динамики имеет вид

$$\frac{dn}{d\alpha} = k(\bar{\alpha} - \alpha)n + \varepsilon n, \quad (4)$$

где  $\bar{\alpha}$  — диаметр, на который приходится максимальное число деревьев;  
 $k, \varepsilon$  — параметры модели; параметр  $\varepsilon$  описывает в количественной форме положительное влияние осушения на состояние древостоев.

Из формулы (4) имеем

$$n = \bar{n} e^{-\frac{k}{2}(\bar{\alpha} - \alpha)^2 - \varepsilon(\bar{\alpha} - \alpha)}, \quad (5)$$

где  $\bar{n}$  — число деревьев диаметром  $\bar{\alpha}$ .

Соотношение параметров модели  $\varepsilon/k$  дает количественную характеристику положительного влияния осушения, так как показывает, насколько возрастает диаметр  $\bar{\alpha}$ , на который приходится максимальное число деревьев.

При  $dn/d\alpha = 0$  получаем значение диаметра наибольшего числа деревьев при наличии осушения

$$\alpha_{\max} = \bar{\alpha} + \frac{\varepsilon}{k}. \quad (6)$$

В табл. 6 приведены оценки параметров  $\varepsilon, k$  и их соотношения для трех пробных площадей за 1971—1984 гг.

В табл. 7 представлены теоретические значения числа размерных классов, рассчитанные по формуле (5) и для сравнения (по критерию Пирсона) данные измерений (пробная площадь 22).

Для удобства вычислений в таблице использован условный масштаб диаметра, характеризующего размерные группы. Действительный диаметр равен табличному значению плюс два.

Стандартный критерий Пирсона при 5 %-м уровне значимости и десяти степенях свободы равен 18,307, т. е. больше расчетных. Для двух других пробных площадей результаты сравнения аналогичны.

Таблица 6

Номер пробной площади	Параметр	Значения параметров по годам			
		1971	1975	1979	1984
22	$\epsilon$	0,068	0,168	0,264	0,432
	$k$	0,137	0,057	0,045	0,049
	$\epsilon/k$	0,496	2,947	5,867	8,816
23	$\epsilon$	0,231	0,070	0,226	0,400
	$k$	0,184	0,050	0,043	0,050
	$\epsilon/k$	1,255	-1,400	5,256	8,000
23а	$\epsilon$	-0,044	0,155	0,262	0,433
	$k$	0,110	0,072	0,049	0,059
	$\epsilon/k$	-0,400	2,153	5,347	7,339

Таблица 7

$\alpha$ , см	1971			1975			1979			1984		
	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$	$n^3$	$n^T$	$\chi^2$
0	14	14	0,000	5	8	1,125	0	3	3,000	0	0	0,000
2	44	37	1,324	16	16	0,000	0	6	6,000	0	0	0,000
4	55	55	0,000	38	25	6,760	12	12	0,000	3	3	1,333
6	34	48	4,031	31	31	0,000	26	18	3,555	11	6	4,167
8	21	24	0,373	23	31	1,890	30	24	1,500	15	11	1,454
10	7	7	0,000	17	24	2,042	22	23	0,043	19	17	0,235
12	0	1	1,000	13	15	0,267	27	23	6,966	20	20	0,000
14	0	0	0,000	11	8	1,125	18	18	0,000	17	19	0,210
16	0	0	0,000	2	3	0,333	11	11	0,000	16	16	0,000
18	0	0	0,000	2	1	1,000	6	6	0,000	6	10	1,600
20	0	0	0,000	0	0	0,000	1	3	1,333	1	6	4,167
22	0	0	0,000	0	0	0,000	1	1	0,000	2	2	0,000
24	0	0	0,000	0	0	0,000	0	0	0,000	2	1	1,000
$\Sigma$	—	—	6,728	—	—	14,542	—	—	16,127	—	—	14,166

Анализ данных табл. 6 показывает наличие тесной линейной связи между смещением точки максимума распределения деревьев по размерным классам и временем  $t$ . На этой основе можно прогнозировать состояние древостоев на перспективу по линиям регрессии  $\epsilon/k = at + b$  (табл. 8).

Таким образом, учитывая выражение (6), при  $\alpha = 6$  см, мы видим, что к 1989 г. показатели состояния древостоев приблизительно сравни-

Таблица 8

Номер пробной площади	Параметры регрессии		Коэффициент корреляции	Прогноз на 1989 г.	
	$a$	$b$		$\epsilon/k$ , см	Ошибка
22	0,647	0,484	0,999	12,13	0,96
23	0,563	0,411	0,960	10,59	4,78
23а	0,610	-0,201	0,991	10,78	2,94

ваются. Несколько лучшие данные на пробной площади 22 являются следствием более низкого уровня грунтовых вод (см. табл. 1).

В 1989 г. была проведена таксация древостоев на пробных площадях 33, 34, 35, 22 и 23. Результаты учета приведены в табл. 9.

Таблица 9

Ступень толщины $\alpha$ , см	Распределение деревьев по ступеням толщины на пробных площадях				
	33	34	35	22	23
2	141	111	110	—	—
4	103	88	92	—	—
6	76	69	73	—	—
8	37	39	45	6	10
10	27	28	30	12	6
12	11	13	15	13	5
14	9	3	7	15	13
16	2	2	—	16	9
18	—	—	—	16	5
20	—	—	—	9	10
22	—	—	—	4	3
24	—	—	—	4	3
26	—	—	—	—	2

Данные табл. 9 позволяют проверить прогноз состояния древостоев сосны, приведенный в табл. 5 и 8. Сравнение характеристик состояния исследуемых древостоев сосны показано в табл. 10.

Таблица 10

Характеристика состояния древостоя	Номер пробной площади	Значение характеристик	
		прогнозируемое	фактическое
$\bar{\varphi}$	33	0,175	0,176
	34	0,176	0,192
	35	0,218	0,150
$\alpha_{\max}$	22	18	16...18
	23	16	14

Данные таблицы позволяют сделать вывод, что в целом, с учетом статистической ошибки, прогноз состояния древостоев сосны на осушенных болотах подтвердился. Таким образом, размерная структура древостоев сосны и вычисляемые на ее основе характеристики могут служить критериями для оценки и прогноза состояния насаждений, испытывающих внешнее воздействие [1].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев А. С. Анализ размерной структуры спелых и перестойных древостоев основных лесообразующих пород // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение.—Л.: ЛТА, 1990.—С. 4—9. [2]. Гаврилов Л. А., Гаврилова Н. С. Биология продолжительности жизни.—М.: Наука, 1986.—169 с. [3]. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования.—М.: Статистика, 1977.—200 с. [4]. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике.—Л.: ЛГУ, 1984.—288 с.

Поступила 1 марта 1991 г.

УДК 630\*281 : 581.165.712

## К ПРОБЛЕМЕ ВЕГЕТАТИВНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

О. М. ШАПКИН, И. И. ПОПИВЩИЙ

Московский лесотехнический институт  
ЦНОСС. НПО «Фундук»

Известно, что начиная с 7—8-летнего возраста маточного дерева укореняемость черенков ели резко снижается [5]. Она может быть повышена при помощи физического и химического воздействия [1—3].

Нами предпринята попытка укоренить зимой в теплице черенки 12-летних деревьев ели, представляющих семенное потомство плюсовых деревьев. Комплекс факторов физического воздействия включал освещение двух одинаковых групп черенков лампами накаливания и люминесцентными ЛБ-80, химического — обработку базальных окончаний черенков дистиллированной водой (контроль) или 0,25 %-ми растворами яблочнокислого калия и лимонной кислоты (фактор 1), а также опрыскивание надземной части укореняющихся черенков растворами янтарной кислоты, ССС и 3,4-м-диоксибензойной кислоты (фактор 2).

Результаты укоренения черенков ели различных клонов в зависимости от способов освещения и химической обработки перед помещением в субстрат приведены в табл. 1.

Из 3000 высаженных черенков укоренились 670, или 22,3 %. Из 30 клонов № 2, 9, 11, 12, 14 и 20 имели незначительную укореняемость только под лампами ЛБ-80. Превосходство клона № 25 было достоверно в остальных 24 случаях, № 29 — в 14, № 27 — в 13, № 4 — в 11, № 19 — в 10, № 24 — в 8, № 5 — в 1 из 23 случаев. При освещении лампами накаливания результаты были намного хуже.

Предварительное замачивание черенков в растворах химикатов привело к заметному снижению укореняемости по сравнению с контролем. Варьирование, вызванное химической обработкой, составило 4 % общего (освещением — 29,7 %). Критерий Фишера по фактору 2  $F = 1,599$  при  $F_{0,95} = 234$ , т. е. опрыскивание надземной части черенков не играет существенной роли в их укоренении.

Варьирование результатов укоренения в зависимости от типа клона составило 29,02 % общего; от освещенности — 12,08 %, вызванное взаимодействием этих факторов — 10,26 %, предварительной химической обработкой — 14,81 %, остаточное — 33,83 %. Заметно положительное влияние обработки яблочнокислым калием на укореняемость черенков клонов № 19, 24, 25 и 29, у клонов № 4 и 27 такая закономерность не отмечена. Для большинства клонов с низкой укореняемостью воздействие химической обработки было отрицательным.

Зависимость между длиной черенков и их укореняемостью устанавливали используя коэффициенты корреляции Бравэ — Пирсона и их достоверность. Для группы черенков, укоренявшихся под лампами накаливания,  $r = -0,203 \pm 0,132$  при  $n = 60$ ,  $t = 1,538$  при  $t_{0,05} = 2,00$ , т. е. коэффициент корреляции недостоверен ввиду отсутствия исследуемой связи в данной выборке. Для группы черенков под лампами ЛБ-80  $r = -0,352$ ,  $t = 3,940$  при  $t_{0,001} = 3,390$ , т. е. коэффициент корреляции