

УДК 630*11.51-7

П.М. Мазуркин, Н.В. Русинова

Мазуркин Петр Матвеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной экологии и технологии природопользования Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, эксперт СНГ по машиностроению, представитель Золотого фонда циклистов СНГ. Имеет более 500 печатных работ в области функционально-конструктивного блочно-модульного синтеза манипуляторных машин и биотехнических систем.



Русинова Наталья Владимировна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Марийский государственный технический университет, программист кафедры инженерной экологии и технологии природопользования. Имеет 3 печатные работы.

**ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ МЕСТА ПРОИЗРАСТАНИЯ
ЛИДИРУЮЩЕГО ДЕРЕВА**

На основе экспериментальных и расчетных данных установлена зависимость площади места произрастания лидирующего дерева ели и сосны от его возраста и числа окружающих деревьев.

лидирующее дерево, матмодель изменения площади произрастания (экспонента), смешанные леса, Поволжье.

Лес как биосистема, связанная сложными взаимоотношениями многих видов живых существ (от микроорганизмов до деревьев), находится под влиянием постоянно действующих внешних (например антропогенное воздействие) и внутренних (различные последствия конкуренции) факторов. Она способна восстанавливаться после небольших нарушений в процессе устойчивого роста и развития. Однако при значительных внешних воздействиях, особенно рубках леса, возврат к прежнему состоянию может оказаться невозможным [4].

Цель статьи – по экспериментальным данным определить вид математической модели, описывающей изменение площади места произрастания лидирующего дерева. Это поможет понять закономерности территориального распределения деревьев в ходе их жизненного цикла, а в хозяйственном отношении избежать нарушений экологического состояния биосистемы дерево – место произрастания, вызванных непродуманным антропогенным

воздействием человека (в частности при лесозаготовках и рубках ухода за лесом).

Условия мест произрастания деревьев-лидеров исследовали летом 1997 г. в смешанных лесах Таирского лесничества Кокшайского лесхоза Республики Марий Эл. Объектом изучения была ель. Благодаря своей теневыносливости она способна вытеснить остальные породы и сформировать первый ярус древостоя. Кроме того, в определенных лесорастительных условиях ель имеет высокоценную резонансную древесину.

На таксационном выделе из первого яруса выбирали деревья, лучшие по форме ствола и кроны, высоте и диаметру. Учитывали также соседние деревья. При этом лидер одной такой био группы приходился соседом лидера другой био группы. В результате замеров получили пробную площадь в виде многоугольника, вершины которого расположены в центрах стволов граничных деревьев.

В разновозрастном древостое деревья старшего поколения являются лидерами и оказывают угнетающее воздействие на остальные части насаждения. По данным статистического моделирования, площадь произрастания лидеров в ходе их роста изменяется по экспоненциальному закону

$$S_{л} = 1,6663 \cdot 10^{-6} Z_{ок}^{13,2342} \exp(-1,2041Z_{ок}) + 0,1406D_{1,3}^{1,7737}, \quad (1)$$

где $S_{л}$ – площадь произрастания лидера в био группах, м²;

$Z_{ок}$ – число деревьев вокруг лидера, шт.;

$D_{1,3}$ – диаметр лидирующего дерева, см.

Фактические \hat{S} и расчетные S значения площади произрастания лидеров приведены в табл. 1. Первая составляющая двухфакторной статистической модели (1) соответствует биотехническому закону [3] и характеризует процесс стрессового воздействия окружающих деревьев на лидирующее дерево. Причем для данного множества смежных био групп со своими лидерами существует оптимальное число соседних деревьев. С увеличением диаметра ствола дерева-лидера потребная площадь возрастает по аллометрическому закону.

По остаткам $\varepsilon = \hat{S} - S$ определяется относительная погрешность $\Delta = 100 \varepsilon / \hat{S}$, по максимальному значению которой Δ_{max} оценивается доверительная вероятность $100 - \Delta_{max}$. Из данных табл. 1 видно, что максимальная относительная погрешность формулы (1) равна 108,2 %, поэтому доверительная вероятность ее применения ниже нуля. Далее методом редукции исключаем наблюдение с высокой погрешностью и получаем формулу

$$S_{л} = 0,003639Z_{ок}^{11,0036} \exp(-1,3907Z_{ок}) + 0,6061D_{1,3}^{1,2045}. \quad (2)$$

Таблица 1

Изменение площади места произрастания елей-лидеров, м²

Z _{ок} , шт.	D _{1,3} , см	Модель (1)				Модель (1)			
		\hat{S}	S	ϵ	Δ , %	\hat{S}	S	ϵ	Δ , %
9	61	336,29	347,19	-10,9	-3,24	336,29	336,29	-0,0001	0
7	49	94,16	196,08	-101,9	-108,2	-	-	-	-
10	48	270,62	305,35	-34,7	-12,83	270,62	270,62	0,0002	0
6	52	245,22	179,78	65,4	26,69	245,22	245,22	-1,9e-0,7	0
9	48	357,78	275,74	82,0	22,93	357,78	357,78	-1,5e-0,5	0

Таблица 2

Расчетные значения площади места произрастания елей-лидеров, м²

Z _{ок} , шт.	Диаметр лидера на высоте груди D _{1,3} , см								
	0	10	16	24	32	40	48	54	60
0	0	-9,7	-17,1	-27,9	-39,4	-51,5	-64,2	-74,0	-84,0
2	0,47	-9,2	-16,6	-27,4	-38,9	-51,1	-63,7	-73,5	-83,5
4	59,7	49,9	42,6	31,8	20,3	8,2	-4,5	-14,3	-24,3
6	320,4	310,7	303,3	292,5	280,9	268,8	256,2	246,4	236,4
8	470,4	460,7	453,3	442,6	431,0	418,9	406,2	396,4	386,4
10	339,5	329,8	322,4	311,7	300,1	287,9	275,3	265,5	255,5

Доверительная вероятность формулы (2) приблизилась к 100 %, поэтому возможно ее применение для последующих расчетов. Здесь же заметим, что совокупности биогрупп подобрать трудно из-за чрезвычайно большого их разнообразия, поэтому применение метода исключения резко отклоняющихся наблюдений в статистическом моделировании вполне возможно.

Для более точного изучения влияния фактора на лидирующее дерево были сделаны расчеты (табл. 2). Из них следует, что при отсутствии окружающих деревьев получается мнимая площадь. Она показывает область одиночно растущего дерева. С увеличением числа окружающих деревьев с определенного возраста начинается конкуренция за территорию, т. е. наблюдается «ход роста» площади.

На рис. 1 приведены графики хода роста площади произрастания, в которых сплошными линиями ограничены фактические границы интервалов

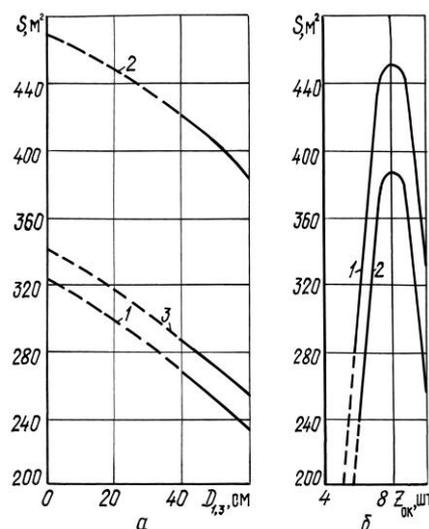


Рис.1. Графики изменения потребной площади произрастания деревьев ели: а – в зависимости от диаметра на высоте груди; 1 – 3 – Z_{ок} равно соответственно 6, 8, 10 шт.; б – в зависимости от числа окружающих деревьев; 1, 2 – D_{1,3} равно 16 и 60 см

изменения влияющих факторов (по табл. 1): $Z_{ок} = 6 \dots 10$ шт.; $D_{1,3} = 48 \dots 61$ см. Математическая модель вне этих интервалов должна быть проверена дополнительными экспериментами на биогруппах, содержащих деревья ели молодого возраста.

Как видно из табл. 2 и рис.1, площадь места произрастания лидирующего дерева с увеличением числа окружающих его деревьев растет до определенного предела, а затем начинает уменьшаться. По-видимому, этот скачок роста характеризует отрыв лидера от окружения. Критический возраст, при котором происходит это явление, можно определить по критическому значению диаметра ствола. При этом толщина дерева как бы заменяет его возраст [3].

Площадь места произрастания дерева изучали также по данным экспедиции, проведенной в 1963 г. в Сибири [1, 2]. Обработка первичной информации по разновозрастным соснякам позволила получить формулу для определения площади произрастания сосен первого поколения в виде

$$S_{л} = 1,7101Z_{ок}^{2,3041} - 1,3963 \cdot 10^{-9} D_{1,3}^{5,8370} . \quad (3)$$

Формула (3) характеризует изменение площади произрастания по обеим составляющим в соответствии с аллометрическим законом. Это указывает на то, что число деревьев, окружающих лидера, еще не достигает критического значения из-за соседства деревьев различных поколений. Для моделирования по карте опытной площади разновозрастного сосняка отбирали пять смежных биогрупп. Фактические и расчетные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение площади места произрастания лидеров первого поколения в разновозрастных сосняках, м²

$Z_{ок}$, шт.	$D_{1,3}$, см	\hat{S}	S	ε	Δ , %
8	42,4	164,41	201,58	-37,17	-22,61
9	52,6	292,09	254,70	37,39	12,80
9	74,8	146,70	149,16	-2,49	-1,70
12	66,2	460,75	464,94	-4,19	-0,91
5	56,2	52,84	46,93	5,91	11,18

Таблица 4

Расчетные значения площади места произрастания сосен-лидеров в разновозрастных сосняках, м²

$Z_{ок}$, шт.	Диаметр на высоте груди $D_{1,3}$, см								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0	0	0,001	-0,06	-0,6	-3,1	-11,5	-33,4	-82,2	-179,2
2	8,5	8,4	8,4	7,9	5,3	-3,1	-25,0	-73,7	-170,7

4	41,7	41,7	41,7	41,1	38,6	30,2	8,3	-40,5	-137,5
6	106,2	106,2	106,1	105,6	103,0	94,6	72,7	24,0	-73,0
8	206,0	206,0	205,9	205,4	202,8	194,5	172,6	123,8	26,8

Придавая конкретные значения переменным $Z_{ок}$ и $D_{1,3}$ через заданные интервалы, можно определить ход изменения площади произрастания сосен-лидеров. Результаты расчетов представлены в табл. 4, а графики изменения площади в пределах интервалов фактического изменения факторов $Z_{ок} = 5 \dots 12$ шт. и $D_{1,3} = 42,4 \dots 74,8$ см приведены на рис. 2. Сопоставление закономерностей (2) и (3) для ельников и сосняков показывает, что формула (3) является частным случаем уравнения (2). Поэтому можно принять, что площадь места произрастания лидирующих деревьев в биогруппах (как однородных, так и разнородных) изменяется по общему закону

$$S = a_1 Z_{ок}^{a_2} \exp(-a_3 Z_{ок}) \pm a_4 D_{1,3}^{a_5}, \quad (4)$$

в котором для сосен Сибири $a_3 = 0$, знак перед второй составляющей отрицателен (для деревьев ели положителен).

Из табл. 4 и рис. 2 видно, что с увеличением числа соседних деревьев площадь занимаемая сосной-лидером, уменьшается и в определенном возрасте возможен отрыв от окружающих деревьев.

Возраст, с которого начинается отрыв лидера от окружения, можно определить по критическому диаметру $D_{1,3}^{кр}$. Для этого в формуле (3) необходимо площадь произрастания принять равной нулю. Тогда получаем соотношение

$$1,701 Z_{ок}^{2,3041} = 1,3963 \cdot 10^{-9} D_{1,3}^{кр 5,8370}, \quad (5)$$

из которого выводится формула для расчета критического диаметра (при заданном числе окружающих деревьев) и критического окружения (при заданном диаметре ствола на высоте 1,3 м у лидера). Например, при $Z_{ок} = 2$ шт. образуется $D_{1,3}^{кр} \approx 45$ лет, а при $Z_{ок} = 6$ шт. соответственно $D_{1,3}^{кр} \approx 73$ года. Таким образом, из своего окружения дерево-лидер посте-

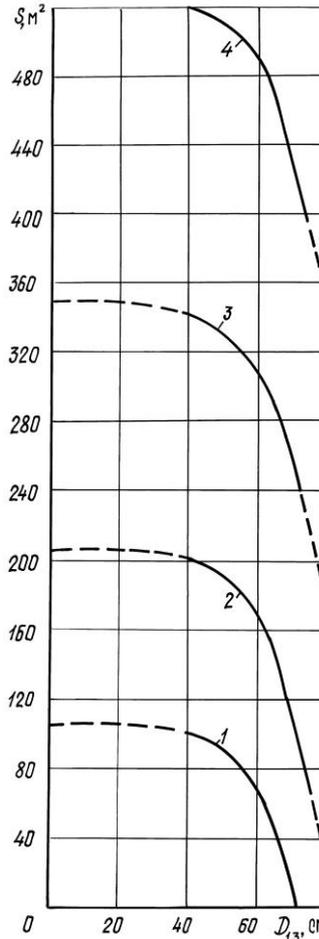


Рис. 2. Графики зависимости площади произрастания сосен-лидеров от изменения диаметра и числа окружающих деревьев: 1 – 4 – $Z_{ок}$ равно 6, 8, 10, 12 шт.

пенно вырывается по мере роста, и этот момент отрыва лидера зависит от числа окружающих его деревьев.

Сравнивая результаты, полученные для ельников Республики Марий Эл и сосняков Сибири, можно видеть, что площадь места произрастания сосны, уже ставшей лидером, находится в обратной зависимости от его возраста и числа окружающих деревьев. В ельниках с увеличением числа соседних деревьев наблюдается некоторое максимальное значение площади, затем оно снижается.

Таким образом, площадь места произрастания лидирующего дерева внутри биогруппы зависит как от параметров окружающих деревьев, так и от собственных факторов его роста и развития. Математическая модель (4) может быть рекомендована в качестве основы для идентификации экспериментальных данных по изучению мест произрастания деревьев в древостое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхунов П. М.* Закономерности строения разновозрастных сосняков. – Новосибирск: Наука, 1976. – 255 с.
2. *Верхунов П. М., Дворецкий М. Л.* Таксация модельных деревьев и их разнородных совокупностей: Учеб. пособие. – Горький: ГГУ, 1979. – 100 с.
3. *Мазуркин П. М., Колесникова А. А.* Моделирование в биометрии, экологии и природопользовании: Примеры для практических занятий и НИРС. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 52 с.
4. *Петров В.В.* Жизнь леса и человек. – М. : Наука, 1985. – 132 с.

Марийский государственный технический университет

Поступила 05.11. 98

P.M. Mazurkin, N.V. Rusinova

Changing of the Growing Area of the Leading Tree

The dependence of the growing area of the leading tree (spruce, pine) on its age and number of the trees in the environment has been established based on the experimental and estimated data.
