

УДК 630.56: 519.876: 502.3: 51

П.М. Мазуркин

Марийский государственный технический университет

Мазуркин Петр Матвеевич, родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Марийского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, академик РАЕ и РАЕН, член Европейской Академии Естествознания Республики Марий Эл, заслуженный деятель науки и образования. Автор 950 печатных работ в области экологической оценки территорий по свойствам деревьев и их популяций, а также долговременным результатам лесозаготовок, в том числе 215 авторских свидетельств и патентов. E-mail: kaf_po@mail.ru



ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗНОВОЗРАСТНОГО СОСНЯКА ПО ДИАМЕТРУ СТВОЛОВ ДЛЯ РУБОК ПОКОЛЕНИЙ ДЕРЕВЬЕВ

На примере разновозрастного сосняка Сибири показана возможность отбора поколений старых сосен для выборочной рубки поколений деревьев. Приведены статистические модели изменения диаметра ствола в коре от возраста по множеству из 202 деревьев, образующих кластеры по поколениям и их группам. Обоснован для оценки выбора поколений критерий в виде коэффициента корреляции, изменяющегося в зависимости от численности оставляемых и удаляемых из древостоя поколений деревьев по биотехническим закономерностям с волновыми составляющими.

Ключевые слова: сосняк разновозрастный, отбор поколений, влияние численности и возраста, рубки старых деревьев.

Введение. Любой таксационный показатель y в зависимости от возраста A (лет) дерева изменяется по биотехническому закону [3-5]:

$$y = a_1 A^{a_2} \exp(-a_3 A^{a_4}), \quad (1)$$

где y - таксационный показатель дерева [1, 2];

A - возраст дерева в момент измерений, испытаний или рубки, лет; a_1, a_2, a_3, a_4 - параметры биотехнической закономерности (1). Пусть известны поколения деревьев в данном лесном древостое. Тогда **активность рубки деревьев** можно обосновать по критерию адекватности закономерности (1). Вместо возраста в статье используются также численности оставляемых на доращивание поколений молодых особей и удаляемых из сосняка поколений старых деревьев.

Цель статьи - показать возможности использования данных натуральных экспериментов прошлых лет для обоснования закономерностей роста в течение почти пяти веков разновозрастного сосняка, а также демонстрация особенностей применения измеренной пробной площади как условного тренажера для назначения поколений деревьев в рубку.

Методика и объект. Пусть известны возрасты A и, например, диаметры в коре на высоте 1,3 м ствола каждого дерева. Примем, что все деревья являются учетными или испытываемыми учетными деревьями. В последнем случае требуется извлекать радиальные керны древесины из стволов около корневых шеек. Со временем появятся неразрушающие методы измерения диаметра и y учетных деревьев, например, ультразвуковым сканированием ствола около корневой шейки.

Тогда появляется возможность еще до проведения рубки, по результатам анализа биотехнических закономерностей типа $D_{1,3}^K = f(A)$ по формуле (1), а также показателя её адекватности по коэффициенту корреляции R , проводить осознанный отбор одного или нескольких старых поколений сосны для выполнения, например, постепенной рубки древостоя.

За объект исследования был принят разновозрастный сосняк из Сибири [1, 2] на пробной площади № 1963-4. В древостое находились 202 дерева, по которым был выполнен полный анализ ствола. Тщательные измерения и анализ каждого ствола, выполненные экспедицией П.М. Верхунова в 1963 году, позволили провести моделирование по данным прошлых экспериментов методом идентификации [6] устойчивых законов.

Сосны в разновозрастном сосняке на пробной площади № 1963-4 за 449 лет жизнедеятельности самой старой особи разделялись на пять поколений деревьев (табл. 1). При этом все 202 сосны пяти поколений функционально взаимосвязаны биотехнической закономерностью типа (1).

Таблица 1

Параметры поколений сосны на пробной площади № 1963-4 по данным [1, 2]

Поколение	Параметры поколения сосны					Параметры модели (1)				R
	N , шт.	A_{\max} , лет	A_{\min} , лет	$D_{1,3\max}^K$, см	$D_{1,3\min}^K$, см	a_1	a_2	a_3	a_4	
I	7	449	404	66,4	42,4	6,80764e-66	28,82735	0,00493240	1,37555	0,2370
II	16	376	342	71,4	43,0	0,16566	1	0	1	0,2228
III	40	289	198	68,6	21,4	5,02162e-26	12,86645	0,00448050	1,37340	0,5551
IV	65	163	108	59,6	15,0	1,18640	0,72357	0,00010917	1,53826	0,1205
V	74	101	76	38,2	10,4	1,31384e-14	8,87748	0,00153570	1,78980	0,1554

В табл. 1 приняты следующие условные обозначения: N – численность лесных деревьев сосны; A_{\max} – максимальный возраст самой старой сосны; A_{\min} – минимальный возраст самой молодой в сообществе сосны; $D_{1,3\max}^K$ – максимальный диаметр ствола с корой на высоте 1,3 м; $D_{1,3\min}^K$ – минимальный диаметр ствола с корой; a_1, \dots, a_4 – параметры формулы (1); R – коэффициент корреляции модели типа (1).

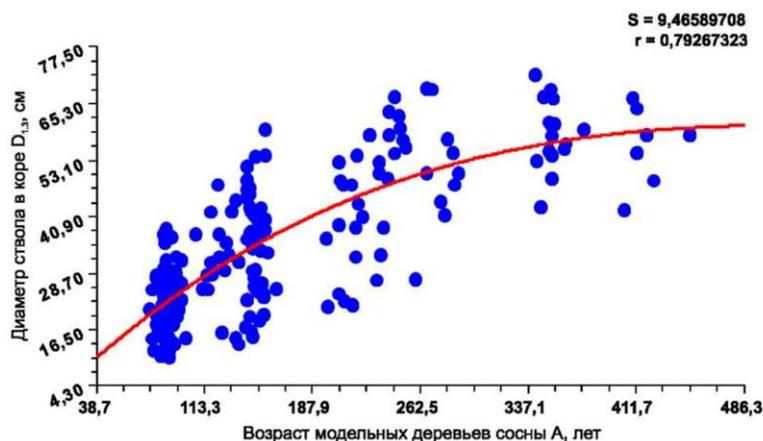


Рис. 1. Распределение 202 сосен и график биотехнической закономерности (2)

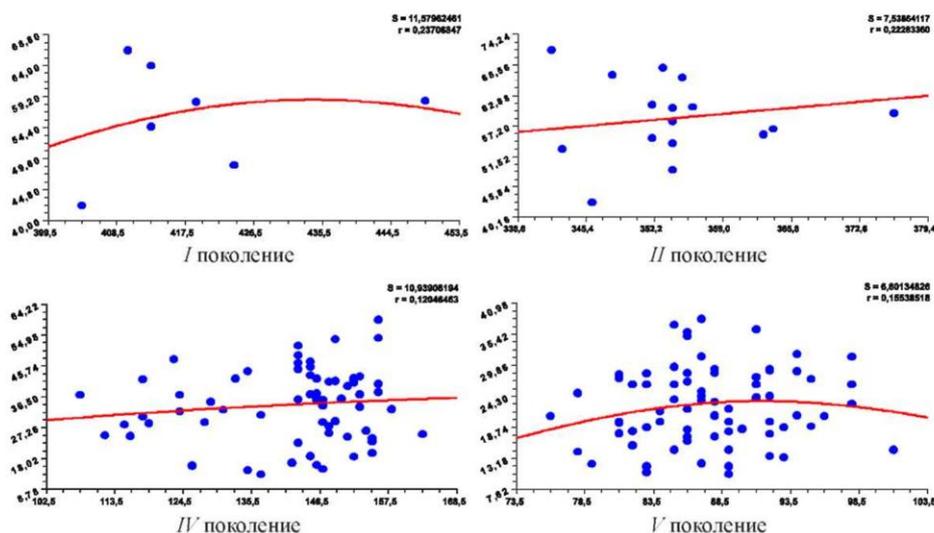


Рис. 2. Функционально слабо связанные поколения сосен на пробной площади 1963-4

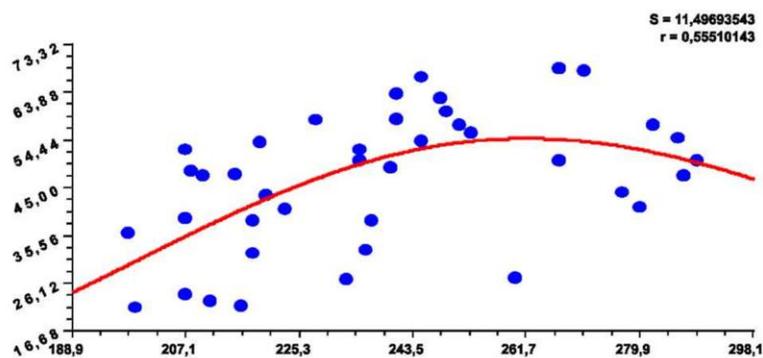


Рис. 3. Средняя связь между соснами III поколения по диаметру ствола в коре (здесь и далее абсцисса – возраст деревьев (лет), а ордината диаметр (см) в коре)

Результаты и обсуждение. На рис. 1 показан график изменения диаметра в коре $D_{1,3}^k$ в зависимости от возраста A по формуле

$$D_{1,3}^k = 0,24595 A^{1,05164} \exp(-0,0020573 A), \quad (2)$$

а на рис. 2 и рис. 3 приведены графики по всем пяти поколениям табл. 1.

В ходе проведения лесосечных и лесоскладских работ можно считать хлысты и сортименты по патенту [8] некротными отрезками ствола. Поэтому анализ стволов [3] при заготовке сортиментов практически возможен.

Примем условно три интервала изменения коэффициента корреляции: $R \geq 0,7$ – сильная функциональная (биоэнергетическая) связь между деревьями в древостое, его био группе или куртине; $0,3 \leq R \leq 0,7$ – средняя теснота связи по значениям таксационного параметра между деревьями; $R \leq 0,3$ – слабая связь между отдельными деревьями и их поколениями.

Интересен тот факт, что все поколения сосен по рис. 1 имеют сильную связь между собой с коэффициентом корреляции 0,7927, а в отдельности поколения сосен получают слабую (рис. 2) и среднюю (рис. 3) связь.

Таким образом, вне зависимости от поколений, то есть естественной кластеризации биологических особей из-за действий низовых пожаров в сосняке, на пробной площади все 202 сосны имеют сильную биоэнергетическую связь, в частности, по биотехнической функции $D_{1,3}^k = f(A)$.

Извлекаемые и оставляемые деревья. С инженерно-экологических позиций выборочная и даже сплошная рубка является извлечением из леса таких удаляемых деревьев, которые по биотехническим закономерностям имеют слабые биоэнергетические связи между собой [7].

Для этого необходимо рассмотреть последовательные варианты сочетаний пяти поколений сосны. При этом вначале примем допущение, что все поколения деревьев равны по статистической значимости.

Но направленность процесса исключения (элиминирования) понятна из распределения точек на рис. 1.

Здесь четко видно, что молодые деревья имеют наибольшую скученность. А с возрастным поколением разброс между деревьями по толщине нарастает. Поэтому от пятого к третьему поколению, по мере увеличения возраста A , происходит разрежение, а затем к первому поколению эти разреженности постепенно уменьшаются по размерам. В итоге возрастную структуру разновозрастного сосняка можно представить в виде физической модели системы концентрических колец, где размеры и пространственные очертания деревьев изменяются.

В соответствии с таким представлением в табл. 2 приведены параметры удаляемых и оставляемых в сосняке поколений деревьев (рис. 4).

Таблица 2

Отбор поколений сосны на пробной площади № 1963-4 для первого приема постепенных рубок лесных деревьев

Удаляемые из древостоя поколения деревьев для заготовки древесины						Оставляемые в лесном древостое поколения деревьев на доразращивание					
Поко- ление	Параметры поколения сосен			Параметры модели (1)		Поко- ление	Параметры поколения сосен			Параметры модели (1)	
	$N_{уд}$ шт.	A_{max} лет	A_{min} лет	№	$R_{ост}$		$N_{уд}$ шт.	A_{max} лет	A_{min} лет	№	$R_{ост}$
–	0	–	–	–	0	I–V	202	449	76	(2)	0,7927
I	7	449	404	табл. 1	0,2370	II–V	195	376	76	(6)	0,7816
I–II	23	449	342	(3)	0,0375	III–V	179	289	76	(7)	0,7111
I–III	63	449	198	(4)	0,5850	IV–V	139	163	76	(8)	0,5547
I–IV	128	449	108	(5)	0,6691	V	74	101	76	табл. 1	0,1554

Исходное состояние сосняка определяется поколениями $I–V$ и формулой (2) биотехнической связи между всеми соснами по рис. 1.

Удаляемые из древостоя поколения сосны. Пусть количество удаляемых в первый прием рубки поколений сосны возрастает и для таких сочетаний получены закономерности типа $D_{1,3}^k = f(A)$ срубаемых деревьев:

сосны I и II поколений (рис. 4)

$$D_{1,3}^k = 0,00024975 A^{2,34423} \exp(-0,00012095 A^{1,59338}); \quad (3)$$

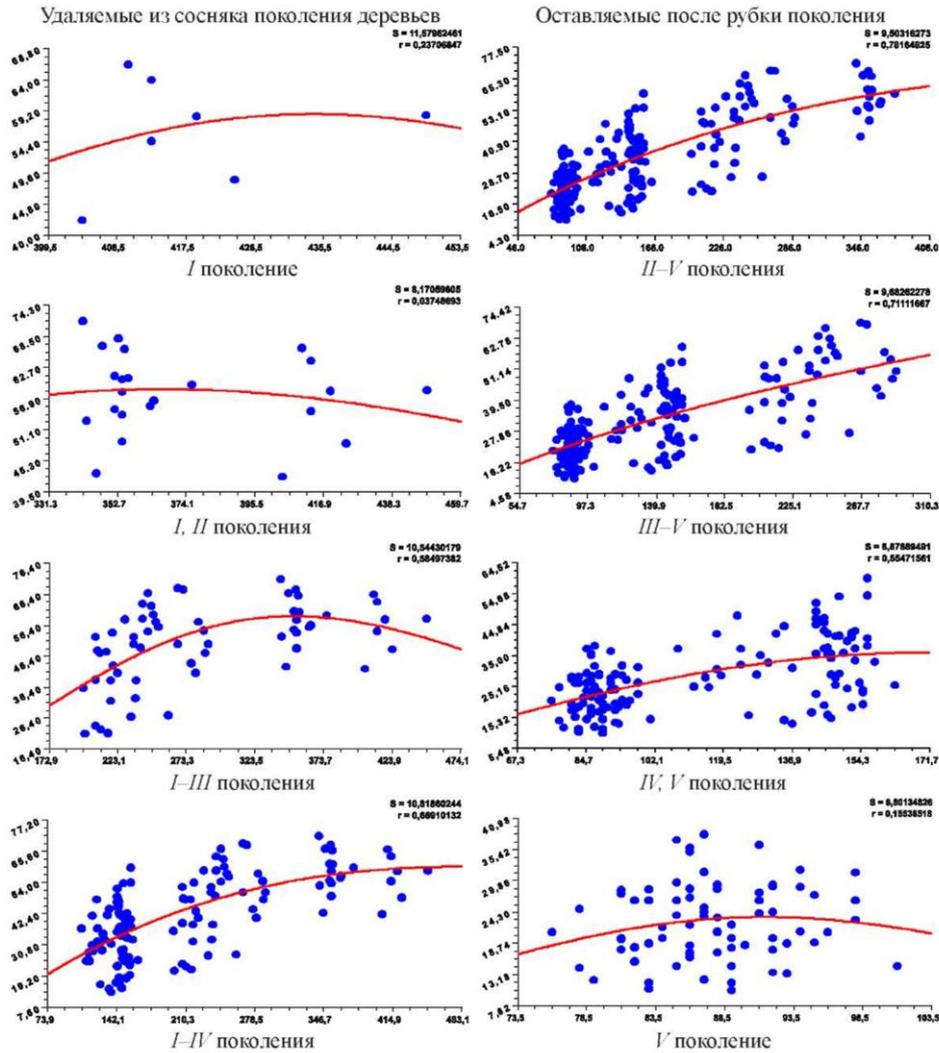


Рис. 4. Парные сопоставления двух частей сосняка по группам поколений сосен

сосны I-III поколений

$$D_{1,3}^{\kappa} = 0,00026415A^{2,35487} \exp(-0,00013198A^{1,59092}); \quad (4)$$

сосны I-IV поколений

$$D_{1,3}^{\kappa} = 0,40807A^{0,91687} \exp(-0,00014869A^{1,36300}). \quad (5)$$

Оставляемые после рубки деревья. Совокупности оставляемых на дальнейшее доращивание молодых деревьев определяются моделями:

после рубок с удалением сосен I поколения оставшиеся 195 сосен II-V поколений получают закономерность вида (рис. 4)

$$D_{1,3}^{\kappa} = 0,48887A^{0,87375} \exp(-0,00024043A^{1,23414}); \quad (6)$$

после удаления сосен I, II поколений оставшиеся 179 сосен III-V поколений получают закономерность вида

$$D_{1,3}^k = 0,63326 A^{1,19394} \exp(-0,60664 A^{0,23657}); \quad (7)$$

после удаления сосен I–III поколений оставшиеся 139 сосен IV, V поколений получают закономерность вида

$$D_{1,3}^k = 0,013956 A^{1,74059} \exp(-0,00038785 A^{1,54505}). \quad (8)$$

Изменение коэффициента корреляции. Из данных табл. 2 видно, что коэффициент корреляции R с увеличением ранга r варианта для групп оставляемых поколений убывает, причем по закону гибели с дополнительным кризисным спадом по показательному закону, по формуле

$$R_{осм} = 0,79467 \exp(-7,52821 \cdot 10^{-5} r^{6,30890}) - 0,016903 r^{2,16489}. \quad (9)$$

Таким образом, удаление отдельных деревьев и их групп в лесном девственном древостое всегда приводит к снижению биоэнергетических связей между членами популяции.

Это влияние на принятый критерий еще четче видно с учетом численности оставляемых сосен $N_{осм}$ по биотехническому закону

$$R_{осм} = 2,87951 \cdot 10^{-7} N_{осм}^{3,31307} \exp(-0,013506 N_{осм}^{1,00221}). \quad (10)$$

Формула (10) оказалась тенденцией (трендом), и после структурно-параметрической идентификации удалось с высокими значениями коэффициента корреляции (0,9177 и 1,0000) получить дополнительные составляющие (рис. 5) трехчленной биотехнической закономерности с двумя волновыми колебательными возмущениями оставляемых на дальнейший рост популяций сосен.

После параметрической идентификации получили закономерность

$$R_{осм} = R_1 + R_2 + R_3, \quad (11)$$

$$R_1 = 2,88078 \cdot 10^{-7} N_{осм}^{3,31319} \exp(-0,013501 N_{осм}^{1,00214});$$

$$R_2 = A_1 \cos(\pi N_{осм} / P_1 - 0,26036);$$

$$A_1 = 1,65904 \cdot 10^{-7} N_{осм}^{2,97978} \exp(-0,021005 N_{осм}^{1,01512});$$

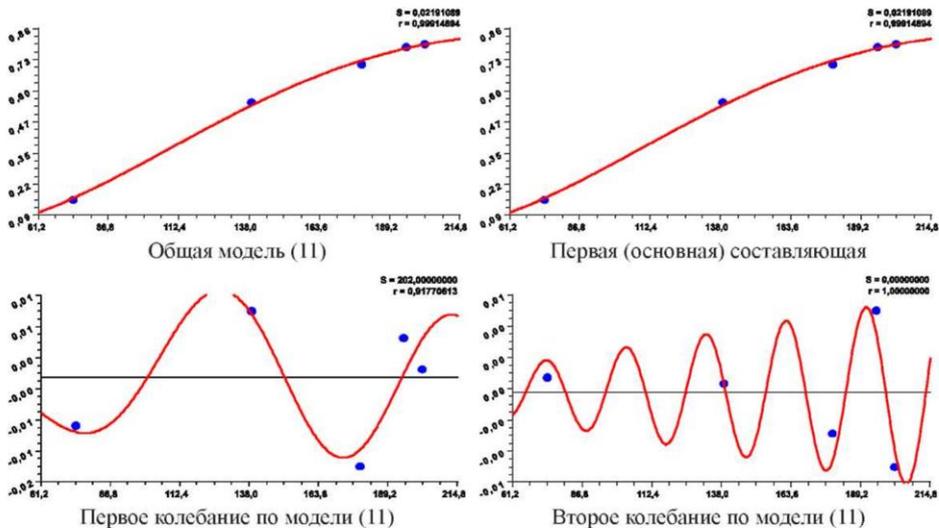


Рис. 5. Графики трехчленной модели (11) и её составляющих

$$P_1 = 73,32589 - 0,098725 N_{осм}^{1,00494}; R_3 = A_2 \cos(\pi N_{осм} / P_2 + 0,20895);$$

$$A_2 = -3,30795 \cdot 10^{-5} N_{осм}^{1,07217}; P_2 = 14,64639 - 0,00025498 N_{осм},$$

где A_1, A_2 – амплитуды (половины) колебательного возмущения сосен по критерию «коэффициент корреляции» адекватности закономерностей,

P_1, P_2 – половины периодов волнового возмущения по значениям коэффициента корреляции оставляемых на доращивание сосен, шт.

Корреляционный коэффициент как критерий оценки биоэнергетических связей в древостое оказался весьма чувствительным показателем для определения численности оставляемых в древостое сосен.

Повышение активности рубки. Увеличение группы удаляемых сосен приводит к биотехнической трехчленной закономерности (рис. 6) вида

$$R_{y\partial} = R_1 + R_2 + R_3, \quad (12)$$

$$R_1 = 0,11898 N_{y\partial}^{2,16739} \exp(-0,50626 N_{y\partial});$$

$$R_2 = 1,21235 \cdot 10^{-7} N_{y\partial}^{4,41433} \exp(-0,046051 N_{y\partial}), R_3 = A \cos(\pi N_{y\partial} / P);$$

$$A = 0,00083418 N_{y\partial}^{1,08340} \exp(-0,054419 N_{y\partial}), P = 26,38433.$$

Нарращивание множества удаляемых сосен приводит к двум максимумам. Первый образуется в интервале от нуля до 25 сосен, то есть охватывает два поколения старых сосен. Второй находится в интервале 95–100 шт. Нужно было в 1963 г. удалить только совокупность разновозрастных сосен в виде *I, II* поколений. Как видно из данных табл. 2, они мало связаны при общем коэффициенте корреляции всего 0,0375.

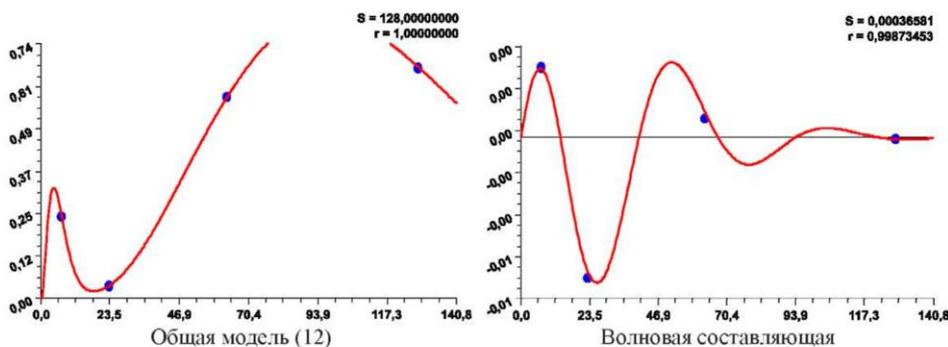


Рис. 6. Графики трехчленной модели (12) и её волновой составляющей

Поэтому деревья *III–V* поколений не нужно было удалять в 1963 г., а оставить их на дальнейшее развитие и рост, так как они определяли высокую связность в целом по разновозрастному сосняку.

Заключение. На пробной площади 1963–4 сосняка нужно было за модельные деревья принять старые сосны первого и второго поколений, то есть всего 23 сосны по данным табл. 2. Остальные 179 сосен третьего, четвертого и пятого возрастных поколений нужно было принять за учетные деревья, при необходимости отобрав из них испытуемые методом радиального ядра учетные сосны.

Эффективность нового способа проявляется в том, что он позволяет анализировать модельные деревья, выбранные из старых деревьев, со стволами непра-

вильной стереометрической формы по образующей вдоль ствола. Причем кратность длин секций не имеет существенного значения при использовании метода математического описания всей боковой образующей (или её части с непрерывной кривизной) на основе упомянутого ранее биотехнического закона проф. П.М. Мазуркина.

Такое моделирование позволяет узнать о биотехнических закономерностях, например, у семенных деревьев долгожителей. Тем самым можно реконструировать прошлое поведение того древостоя, из которого несколько десятков лет назад были оставлены по правилам сплошных рубок семенные 20-25 деревьев на гектаре лесного земельного участка. В итоге по модельным деревьям, выбранным из семенников, удастся не только реконструировать прошлое поведение старых особей, но и сравнить их с выросшими из семян лесными деревьями этой же главной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхунов П.М.* Закономерности строения разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. Новосибирск: Наука, 1976. 255 с.
2. *Верхунов П.М.* Прирост запаса разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. Новосибирск: Наука, 1979. 254 с.
3. *Верхунов П.М.* Таксация древесного ствола лесных насаждений: учеб. пос. / П.М. Верхунов, П.М. Мазуркин. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. 72 с.
4. *Мазуркин П.М.* Дендрометрия. Статистическое древоведение / П.М. Мазуркин. Учеб. пос. Часть 1. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 308 с.
5. Там же. Часть 2. 205 с.
6. *Мазуркин П.М.* Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пос. / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 292 с.
7. *Мазуркин П.М.* Экологическое равновесие древостоя / П.М. Мазуркин, Е.А. Степкина. М.: Изд-во «Академия Естествознания», 2009. 240 с.
8. Пат. 2201593 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 N 33/46, A 01 G 23/00, A 01 G 23/02. Способ анализа древесного ствола / Верхунов П.М., Мазуркин П.М. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. № 2001116223/13; заявл. 13.06.01; опубл. 27.03.2003, Бюл. № 5.

Поступила 14.01.09

P.M. Mazurkin

Mari State Technical University

Partition law of tree diameters in multiple-aged pine stand for selective felling

Possibility of selection of aged pine trees generations for sample felling in Siberian multiple-aged pine stands is shown. Statistic models of stem diameter (including bark) fluctuation depending on trees age are developed. Correlation coefficient for biotechnical characteristics of breeds of trees is validated.

Key words: pine multiple-aged stand, generations sampling, number and age effect, old trees felling.