

Использование верхних высот для построения бонитетной шкалы

В. В. КУЗЬМИЧЕВ, В. Г. РУССКОВ

Институт леса им В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28
E-mail: russvit@list.ru

АННОТАЦИЯ

Проанализирована возможность создания для сосны обыкновенной местной бонитетной шкалы по данным хода роста отдельных стволов с максимальными высотами. Обсуждаются два принципа классификации древостоев по ходу роста: 1) по параметрам функции Митчерлиха – b_1 (верхний предел), b_2 (крутизна), b_3 (форма), 2) по точке перегиба кривой роста дерева в высоту (h_m – высота в момент максимального прироста, t_m – возраст достижения максимального прироста).

Ключевые слова: ход роста, высота, момент максимального прироста, высота максимального прироста, бонитетная шкала, функция Митчерлиха.

В нашей стране используется единая общепринятая шкала деления насаждений по классам бонитета на основании возраста и средней высоты, созданная М. М. Орловым в 1911 г.

Она составлена для семенных и порослевых насаждений и доведена до 140 и 120 лет соответственно. В основу классификации положены высоты столетних насаждений, когда, как считалось, рост почти закончился. Разница высот в сто лет между классами бонитета была принята равной 4 м.

М. М. Орлов [1] отмечал несовершенство шкалы в силу недостаточной изученности хода роста насаждений. В то же время подчеркивались и достоинства – единый классификатор при оценке производительности насаждений разных районов в различных условиях произрастания и простота применения.

На протяжении долгого времени она удовлетворяла потребности лесного хозяйства,

несмотря на значительные расхождения с местными таблицами (иногда до 70 %), на что указывают данные различных исследований. Связано это, прежде всего, с низкой платой за отпуск леса на корню, которая зачастую не превышает 1 % от его действительной стоимости. Данное противоречие может быть снято с развитием лесного хозяйства и прямой заинтересованностью сторон в точности учета отпускаемого леса на корню и инвентаризацией его запаса (как это происходит в Северной Америке), что напрямую связано с точностью бонитетных шкал. Мировой опыт говорит о создании таблиц хода роста и местных бонитетных шкал для определенной породы и лесорастительного района по модельным деревьям с преимущественным использованием верхней высоты (средней высоты ста наиболее крупных деревьев). Поэтому необходимо создание местных бонитетных шкал, опирающихся на результаты анализов хода роста наибольших стволов, на которые не влияют конкурентные отношения и рубки ухода.

В Северной Америке модели бонитирования насаждений и таблицы позволяют определять индекс условий произрастания (site index) и прогнозировать рост насаждений по каждой породе [2]. Индекс определяют по значениям верхней высоты и возраста древостоя. В связи с этим представляет интерес проверить по данным хода роста отдельных стволов возможность создания для сосны обыкновенной местной бонитетной шкалы по верхним высотам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сотрудниками Института леса с 1965 г. проводятся наблюдения за ростом древостоев в разных частях Минусинских боров на ряде пробных площадей. Имеются данные по годичному приросту 139 модельных деревьев на 7 пробных площадях.

Для уточнения динамики роста в высоту измерены годичные приросты по высоте 126 модельных деревьев сосны обыкновенной, взятых на 9 пробных площадях в различных частях заповедника "Столбы", расположенного рядом с Красноярском.

Кроме того, заложены две пробные площади (на каждой 17 модельных деревьев) в средневозрастных насаждениях сосны обыкновенной (возраст около 60 лет): одна – около Красноярска в районе Николаевской сопки, вторая – на р. Елогуй, приблизительно 63° с. ш., для исследования географической изменчивости хода роста в высоту.

На пробных площадях производили сплошную перепись с отбором 12–25 моделей деревьев различных классов роста. У моделей измеряли годичные приросты в высоту от верхушки ствола до шейки корня.

Для аппроксимации роста в высоту использовалась формула А. Митчерлиха, в отечественной таксационной литературе известная как функция Дракина – Вуевского:

$$H = b_1(1 - \exp(-1(b_2A)))^{b_3}, \quad (1)$$

где H – текущая высота, b_1 – предельная высота дерева, b_2 и b_3 – параметры крутизны и формы кривой, A – возраст дерева. Замечательным свойством этой функции является наличие точки перегиба, имеющей биологический смысл. Точка перегиба соответствует достижению возраста максимального

прироста, или первой производной от функции Митчерлиха, и имеет координаты:

$$h_m = b_1(1 - 1/b_3)^{b_3}, \quad (2)$$

где h_m – высота дерева в момент максимального прироста,

$$t_m = 1/b_2 \ln(b_3), \quad (3)$$

где t_m – возраст максимального прироста.

Получены распределения числа стволов по h_m и t_m . Выровненные по функции (1) значения высот нормировались на высоту максимального прироста (2) и на возраст максимального прироста (3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе хода роста модельных деревьев получены следующие результаты. Упорядоченность кривых большого роста выражается во взаимосвязи параметров b_1 , b_2 и b_3 функции Митчерлиха (1). Между параметрами формулы А. Митчерлиха (1) определена теснота связи путем вычисления коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Результаты представлены в табл. 1.

Теснота связи предельной высоты (b_1) с коэффициентом масштаба (b_2) меняется от 0,30 до 0,96 и имеет отрицательный знак. Связь предельной высоты (b_1) и коэффициента формы (b_3) кривой колеблется от 0,07 до 0,67, слабее выражена на пробных площадях 1_2004 и 3_2006 в заповеднике "Столбы" и связана в первом случае с разновозрастным древостоем, во втором – с наличием отставших в росте деревьев.

Наиболее тесная связь наблюдается между коэффициентами формы и масштаба b_2 и b_3 , что говорит о том, что в трехмерном пространстве функции времени они лежат в одной плоскости, а при проекции с этой плоскости на оси получается разброс значений текущего прироста в одном и том же возрасте (рис. 1).

Далее проверялась согласованность веера кривых, отобранных по максимальной высоте и усредненных для каждой пробы. Согласованного веера кривых не получается, классификация по такому принципу будет весьма условной, кроме того, наблюдается стягивание кривых ближе к предельному возрасту, что отмечается и другими авторами [3].

Значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между параметрами уравнения (1)

№ п/п	b_1 и b_2	b_1 и b_3	b_2 и b_3	Количество моделей
<i>Минусинские боры</i>				
159	-0,96	-0,59	0,75	14
157	-0,89	-0,62	0,79	19
180	-0,84	-0,65	0,77	14
98	-0,88	-0,84	0,89	15
161	-0,85	-0,38	0,83	37
4	-0,68	-0,57	0,95	27
95	-0,60	-0,23	0,80	14
<i>Заповедник "Столбы"</i>				
1_2004	-0,6	-0,07	0,63	14
2_2004	-0,8	-0,19	0,59	14
3_2004	-0,48	-0,34	0,66	15
1_2005	-0,46	-0,07	0,83	20
2_2005	-0,70	-0,66	0,97	10
3_2005	-0,76	-0,59	0,95	15
1_2006	-0,71	-0,28	0,75	18
2_2006	-0,68	-0,36	0,87	14
3_2006	-0,30	-0,09	0,65	6
<i>Николаевская сопка</i>				
1	-0,89	-0,40	0,66	17
<i>Река Елогуй</i>				
1	-0,34	-0,18	0,94	17

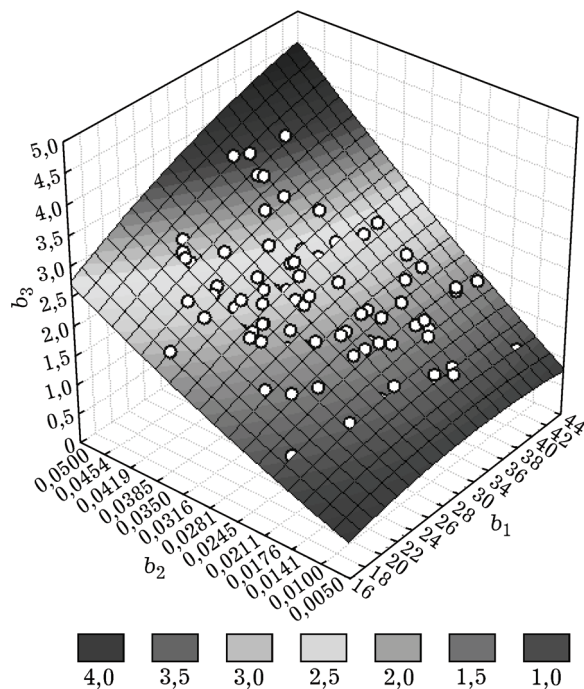


Рис. 1. График зависимости параметра формы функции Митчерлиха (b_3) от предельных значений высот (b_1) и параметра масштаба (b_2) на пробных площадях в заповеднике "Столбы". Коэффициент детерминации 0,68 %, стандартная ошибка 5,0

Поэтому нужны иные принципы классификации древостоев по ходу роста, в связи с чем представляется два возможных варианта:

1. По мнению Ю. П. Демакова [4], система классификации кривых роста должна иметь как минимум три уровня (входа): b_1 (верхний предел), b_2 (крутизна), b_3 (форма). Эти три признака, соответствующие параметрам функции Митчерлиха, отражают все многообразие кривых форм роста и являются главными классификационными признаками в делении насаждений на классы производительности, объективно отражающими качество среды обитания [5]. Но здесь имеется систематическая ошибка точности определения параметров функции, выражающаяся в том, что необходимо отбирать модели с уже четко выраженным замедлением роста в высоту, иначе погрешность определения параметров будет высока.

2. Другая идея – классифицировать древостои по высоте дерева в момент максимального прироста и по возрасту достижения максимального прироста.

Рассмотрим графики зависимости значений параметров функции Митчерлиха (рис. 2

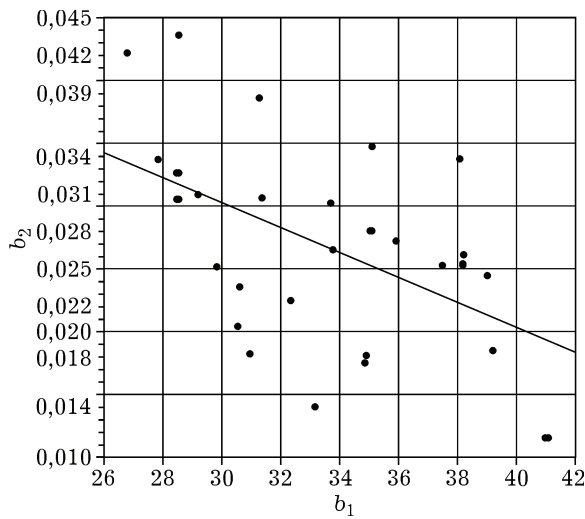


Рис. 2. График связи параметров b_1 и b_2 функции Митчерлиха, взятых у деревьев с максимальной высотой для всех пробных площадей (заповедник “Столбы”)

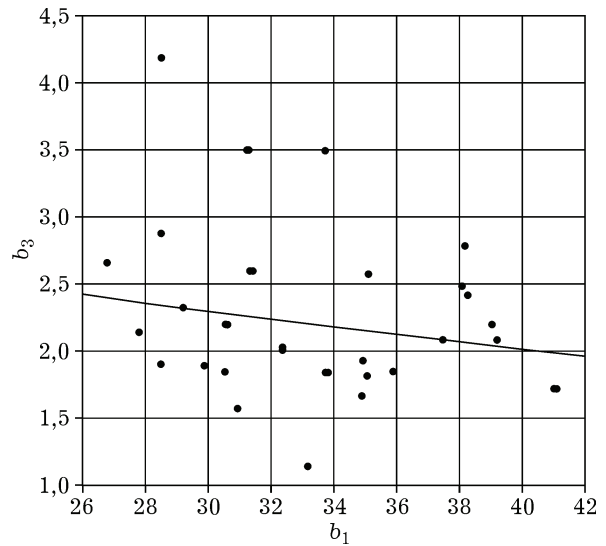


Рис. 3. График связи параметров b_1 и b_3 функции Митчерлиха, взятых у деревьев с максимальной высотой для всех пробных площадей (заповедник “Столбы”)

и 3) и график зависимости h_m и t_m (рис. 4) для моделей с максимальными высотами. При сравнительном рассмотрении и при анализе тесноты связи становится очевидным, что более предпочтителен второй подход. Результаты по заповеднику “Столбы” приведены в табл. 2.

Для иллюстрации далее рассматриваются распределения числа стволов по h_m (вы-

сота дерева в момент максимального прироста) и t_m (возраст наступления максимального прироста).

При анализе распределений по высоте максимального прироста и возрасту максимального прироста выявлено, что модели распределены практически по нормальному закону с одной модой. Таким образом, можно констатировать, что существует общий закон роста и достижения максимальных значений прироста в насаждениях, близких по району местообитания для большинства деревьев. С движением с юга на северо-восток несколько снижаются высота максимального прироста и возраст максимального прироста. Данный вывод подтверждают и другие исследования [6].

Средние показатели по районам представлены в табл. 3 и 4.

Коэффициент вариации не превышает 30 %, что говорит об однородности совокупности, и, возможно, он будет уменьшаться, если в выборку включать деревья с выраженным замедлением роста в высоту.

В этой связи появляется возможность классификации насаждений по этим показателям. Зная возраст достижения точки перегиба в росте деревьев по высоте для данной породы, можно перейти к единой эс-образной кривой, которая будет с известной точно-

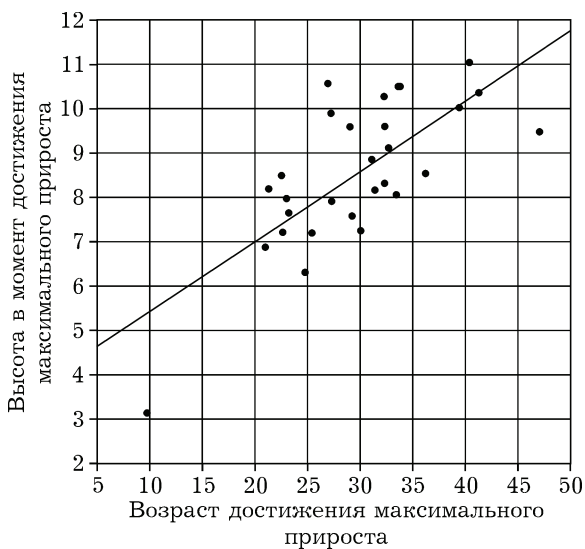


Рис. 4. График зависимости высот в момент достижения максимального прироста h_m от времени достижения максимального прироста t_m , взятых у деревьев с максимальной высотой для всех пробных площадей (заповедник “Столбы”)

Т а б л и ц а 2

Сравнения зависимостей между параметрами функции Митчерлиха и по возрасту и высоте достижения максимального прироста

Параметры	b_1 и b_2	b_1 и b_3	t_m и h_m
Коэффициент корреляции	-0,50	-0,29	0,73
Уравнения связи	$y = 0,04887 - 0,0006454x$	$y = 3,496 - 0,03643x$	$y = 3,8335 + 0,1585x$

Т а б л и ц а 3

Средние показатели распределений по возрасту максимального прироста по районам

Показатель	Минусинские боры	Заповедник "Столбы"	Николаевская сопка	Река Елогуй
Среднее	27,8	26,7	17,0	14,5
Стандартное отклонение	8,2	7,0	2,8	1
Коэффициент вариации	29,7	26,2	16,0	6,9

Т а б л и ц а 4

Средние показатели распределений по высоте максимального прироста по районам

Показатель	Минусинские боры	Заповедник "Столбы"	Николаевская сопка	Река Елогуй
Среднее	6,2	7,5	6,2	2,9
Стандартное отклонение	1,8	1,8	1,3	0,6
Коэффициент вариации	28,9	23,5	20,3	21,5

стью (вариацией признака) отображать все многообразие роста по данному таксационному показателю. Возраст достижения максимального прироста не превышает 40 лет, поэтому уже для средневозрастного насаждения можно определять форму кривой роста. Для того чтобы проиллюстрировать этот факт выровненной функцией (1), данные нормировались на высоту максимального прироста (2) и на возраст максимального прироста (3). Графики функций (рис. 5) совпадают, за исключением верхней части кривой, что связано с надежностью определения параметров функции роста для молодых деревьев.

Для построения бонитетной шкалы используем зависимости между параметрами функции Митчерлиха для верхних высот $b_3 = 3,5 - 0,0364 \cdot b_1$ и $b_2 = 0,00585 + 0,0927 \cdot b_3$.

В диапазоне реальных высот получим параметры для бонитетной шкалы.

Таким образом, в процессе развития происходит постоянное воздействие факторов среды, и в силу этого отклонение и возвращение к генетической программе, которая с течением времени либо выполняется и особь достигает своих предельных значений, либо происходит сбой программы, что ведет к угасанию роста растительного организма и в ито-

ге – к отпаду. Весь процесс роста можно описать одной функцией роста, которая является реализацией генетической программы развития в данном месте произрастания. В ходе развития древостоя деревья, бывшие когда-то лидерами, утрачивают свое доминантное положение, но с течением времени могут вернуть его, т. е. процесс отклонения от генетической программы индивидуален для каждо-

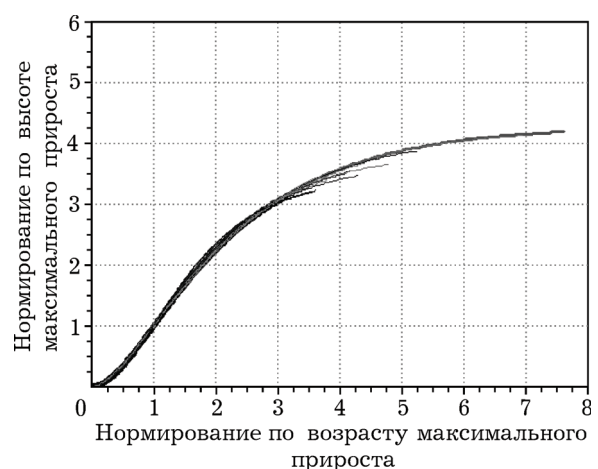


Рис. 5. Нормированные кривые роста деревьев с максимальными высотами на всех пробах в заповеднике "Столбы"

Т а б л и ц а 5

Параметры функции Митчерлиха для верхних высот для построения бонитетной шкалы пропорционального веера высот

b_1	b_2	b_3
20	0,0315	2,77
24	0,0302	2,62
28	0,0289	2,48
32	0,0275	2,33
36	0,0262	2,19

го дерева и смещен относительно друг друга по оси времени. Есть отставшие в росте деревья, наследственные свойства которых не соответствуют данным условиям произрастания. Они выпадают в ходе конкурентной борьбы. Этим объясняются в большей степени пересечения и несогласованность веера кривых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Упорядоченность кривых большого роста выражается во взаимосвязи параметров предельной высоты (b_1), масштаба (b_2) и формы (b_3) функции Митчерлиха (1). Наблюдается тесная связь между параметрами b_2 и b_3 , что говорит о том, что в трехмерном пространстве функции времени они лежат в одной плоскости, а при проекции с этой плоскости на оси получается разброс значений текущего прироста в одном и том же возрасте.

2. При анализе распределений максимального прироста по высоте и возрасту дости-

жения максимального прироста установлено, что эти показатели распределены практически по нормальному закону и выборка однородна. Таким образом, можно констатировать, что существует общий закон роста и большинство деревьев почти одновременно достигает максимальных значений прироста в насаждениях, близких по местообитаниям. С движением с юга на северо-восток несколько снижаются высота достижения максимального прироста и возраст его наступления. Зная возраст достижения максимальных значений прироста для данной породы, можно перейти к единой эс-образной кривой, которая будет отображать все многообразие роста по данному таксационному показателю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов М. М. Лесная таксация. Л.: Лесное хоз-во и лесная пром-сть, 1929. 532 с.
2. Свалов Н. Н. Прогнозирование роста древостоев // Сер. "Лесоведение и лесоводство". Т. 2. Методы учета и прогноза лесных ресурсов. М., 1978. 110 с.
3. Garcia O. Toward new site index curves for Douglas-fir in the Netherlands. Working Paper // Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Economics and Natural Resources, Unit of Forestry. 1996. P. 1–12.
4. Демаков Ю. П. Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе // Лесной журн. 2002. № 4. С. 32–36.
5. Руссков В. Г. Особенности роста в высоту сосны обыкновенной в Восточной Сибири // Там же. 2008. № 3. С. 34–39.
6. Гутман А. Л., Успенский В. В. Базисный возраст и закономерности роста древостоев // Там же. 1991. № 2. С. 6–10.

Use of Maximal Heights for the Construction of the Growth Class Scale

V. V. KUZ'MICHEV, V. G. RUSSKOV

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: russvit@list.ru

Possibility to construct the growth class scale for *Pinus sylvestris* on the basis of the data on the course of growth of separate trunks with maximal height was analyzed. Two principles of the classification of tree stands over growth course are discussed: 1) over the parameters of Mitscherlich function – b_1 (upper limit), b_2 (slope), b_3 (shape), 2) over the inflection of the curve of tree elongation (h_m is the height at the moment of maximal apical growth rate, t_m is the age of achievement of the maximal apical growth rate).

Key words: course of growth, height, moment of maximal apical growth rate, height of maximal apical growth rate, growth class scale, Mitscherlich function.