

ной следует считать сплошную безотвальную обработку на ровных участках и частичную обработку плужными бороздами на склонах до 12° .

3. Лесную рекультивацию на неспланированных боковых склонах, где весной происходят процессы смыва и размыва почвы, отмечаются оползни, необходимо признать бесперспективной.

4. В целом же меловые карьеры могут успешно использоваться для лесной рекультивации, поскольку выращиваемые на них насаждения в будущем смогут выполнить все лесоводственные, экономические и экологические функции, свойственные лесным формациям в обычных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопеня В.А., Максимович А.М., Хомич А.А. Основные направления рекультивации карьерно-отвалных ландшафтов: Обзор. информ. / БелНИИНТИ Госплана БССР. — Минск, 1981. 2. Застенский Л.С. Облесение карьеров нерудных ископаемых и выработанных торфяников. — Минск, 1982.

УДК 630*232 + 630*566

Ю.Д. СИРОТКИН, В.Т. СЛОБОДА,
Г.Я. КЛИМЧИК

ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ДЕРЕВЬЕВ ПО ВЫСОТЕ В СОСНОВЫХ КУЛЬТУРАХ РАЗНОЙ ИСХОДНОЙ ГУСТОТЫ

Воспроизводство лесных ресурсов путем создания и выращивания культур хозяйственно ценных древесных пород является одной из основных задач лесного хозяйства. В Белоруссии уже в настоящее время каждый 6-й гектар покрытой лесом площади представлен сосновыми культурами. Однако при проектировании лесокультурных мероприятий для мшистой серии типов леса, наиболее широко распространенной в лесах республики и некоторых сопредельных регионах, вопрос о выборе исходных показателей сосновых культур остается дискуссионным даже в отношении их густоты и схемы посадки [1, 2, 3 и др.]. Дело в том, что при выращивании лесных культур и при равных условиях эффект может быть различным, так как, несмотря на одинаковые исходную густоту и схему размещения растений, на него существенно влияют последующие рубки ухода. Поэтому при изучении закономерностей дифференциации и отпада деревьев в древостое в связи с условиями производства культур исследования необходимо проводить в насаждениях, где лесоводственные ухода не проводились. Это и было предусмотрено в наших экспериментах.

Объектами исследований были избраны опытные чистые культуры сосны обыкновенной разной исходной густоты, созданные посадкой в 1949 г. в кварталах 155–156 Негорельского лесничества однолетними сеянцами, выращенными из семян местного сбора. Почва здесь дерново-подзолистая, среднеоподзоленная, песчаная, развивающаяся на песке связном, подстилаемом мощными рыхлыми песками; тип леса — сосняк мшистый; эдафотоп — В₂. В течение первых лет жизни культур, до их смыкания, здесь проводились агротех-

Соотношение высот и диаметров деревьев по ступеням толщины в чистых 37-летних культурах сосны обыкновенной

Пробная площадь	Исходная густота	Размещение	Высоты по ступеням толщины, см									
			4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
1	2500	2,0 × 2,0	7,4	9,3	11,2	11,9	12,8	13,6	14,1	14,8	15,4	16,0
2	5000	2,0 × 1,0	9,6	10,4	11,6	12,5	13,6	14,3	15,0	15,8	15,7	16,4
3	10000	2,0 × 0,5	9,3	10,6	11,9	12,9	14,1	14,7	15,6	15,8	17,2	16,7
4	6667	1,5 × 1,0	—	11,2	12,0	13,1	14,3	15,0	15,3	15,8	16,4	—
5	13333	1,5 × 0,5	9,5	10,8	12,5	13,1	14,0	14,7	15,4	15,8	17,2	—
6	10000	1,0 × 1,0	9,6	10,6	11,8	12,8	13,6	14,0	15,1	—	14,8	—
Средние по пробам 2—6			9,5	10,7	12,0	12,9	13,9	14,5	15,3	15,8	16,3	16,6
Модель средних			9,5	10,7	11,9	13,0	13,8	14,6	15,2	15,8	16,2	16,6

нические мероприятия (рыхление и прополка сорняков). Рубки ухода в культурах не проводились. Заметим, что для зоны интенсивного ведения лесного хозяйства эти объекты достаточно уникальны и их исследование позволяет сделать некоторые выводы относительно оптимальной исходной густоты и схемы посадки культур (таблица), обеспечивающих наилучшие таксационные показатели древостоя при длительном отсутствии существенного антропоического воздействия.

Предварительный анализ полученных данных показал, что высоты ступеней толщины деревьев на пробной площади (ПП) 1, заложенной в культурах с наименьшей исходной густотой, значительно отличаются от таковых на других ПП. Поэтому они не учитывались при расчете средних для всех ПП показателей модельных деревьев по ступеням толщины. (Действительно, для кривой высот древостоя ПП 1, начиная со ступени толщины 10 см, отмечается наличие лага запаздывания по диаметру в 2 см и более.)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшее количество максимумов высот по ступеням толщины характерно для культур средней густоты при размещении их 1,5 × 1,0 м (ПП 4), и только при такой схеме посадки процесс естественного изреживания затрагивает все деревья с диаметром менее 5 см. Наибольшее количество минимумов высот ступеней (без учета ПП 1) наблюдается на ПП 2. Таким образом, если при данном режиме формирования древостоя преследуется цель оптимизации их сортиментного состава, исходные плотности посадки в 5000 и 6667 шт/га могут оказаться далеко не равноценными в этом отношении.

Влияние схемы посадки можно оценить путем сравнения показателей культур с одинаковой исходной густотой (10000 шт/га): при равномерном размещении их (ПП 6) высоты ступеней толщины, начиная с 12 по 18, на 0,5—0,7 м ниже, чем в культурах, размещенных по схеме 2,0 × 0,5 м (ПП 3). На основании анализа представленных в таблице данных можно выбрать уравнения

для моделирования кривой высот. Заметим, что максимальное изменение высоты при последовательном переходе от одной ступени толщины к другой в большинстве случаев наблюдается не в начале ряда высот. В древостое из-за неравномерного естественного изреживания культур иногда сохраняются деревья, биометрические показатели которых близки к таковым ранее отпавших. Это определяет и некоторые особенности формы кривых высот, характеризующих древостой искусственного происхождения. Уже на основании анализа распределения максимальных разностей смежных ступеней толщины можно предположить, что теоретическая кривая, отображающая связь высот и диаметров деревьев в древостое, должна иметь точку перегиба. Это подтвердилось при расчетах параметров кривых высот на ЭВМ. Хорошее качество аппроксимации экспериментальных данных было получено при помощи модифицированного уравнения Дракина—Вуевского:

$$h(d) = a \left[1 - \exp\left(-\frac{d - S_2}{b}\right) \right]^m + S_1, \quad (1)$$

где d — диаметр ступени толщины, см; $h(d)$ — средняя высота ступени толщины, м; a — масштаб моделирования по высоте, м; b — масштаб моделирования по диаметру, см; m — параметр формы кривой; \exp — знак экспоненты; S_1 — смещение по высоте, м; S_2 — смещение по диаметру, см.

При $S_1 = S_2 = 0$ формула (1) превращается в собственно уравнение Дракина—Вуевского с параметром $k = 1/b$.

На основе схем, предложенных В.Н. Дракиным и Д.И. Вуевским [4, 5], нами был разработан алгоритм вычисления параметров a , b , m , которые затем рассчитывались на ЕС ЭВМ при помощи написанной на языке ФОРТРАН 4 программы, предусматривающей возможность ввода в исходные данные смещений по высоте и диаметру. Было проведено несколько вариантов расчетов, что позволило принять общее смещение по высоте для ПП 2 — 6—9,5 м (для ПП 1 — 8,2 м). Смещение по диаметру задавалось равным 4 см (реже 3). Подчеркнем, что наличие в уравнении (1) 5 параметров не является его недостатком, так как 2 из них (смещения) получаются при исключении из расчетов размеров деревьев, находящихся на грани перехода в отпад, а ввод смещений равносителен переносу начала координат в первую точку кривой высот.

Параметры уравнения (1) вычислялись по данным усеченных рядов высот (цензурирование). При этом из расчета исключались показатели ступеней 4, 20 и 22 см, которые основываются на незначительном числе наблюдений (в среднем около 2,5%). Так как данные относительно указанных ступеней толщины часто базируются только на результатах единичных наблюдений, они не вполне надежны. Цензурирование целесообразно проводить и из лесоводственно-таксационных соображений, например, таблица "Ход роста полных сосновых культур Белоруссии (2-й класс бонитета)" [6] показывает, что в 30—40-летних насаждениях в отпад ежегодно переходит около 3% деревьев. Нами же зафиксировано всего 1,5% деревьев, диаметр которых не превышал 5 см, т. е. доля участия деревьев, относящихся к ступени 4, пренебрежимо мала. Приемы, аналогичные цензурированию, применяются и в практическом лесоустройстве, для которого ОСТ 56-76—83 [7] указывает, что для насаждений со средним диаметром до 16 см минимальный диаметр деревьев, включаемых в перерасчет, должен составлять 0,4 среднего диаметра.

Для дополнительного обоснования целесообразности цензурирования данных по ступеням толщины 20 и 22 см следует рассмотреть методику сбора экспериментального материала. В пределах ПП выделялись секции, предназначенные для дальнейшей детализации исследований по проценту сохранности культур и некоторым другим показателям. Так как изучаемые насаждения были близки к выходу из возрастной категории молодняков и представлены культурами с разной сохранностью, а также исходной густотой, секции нельзя было сделать одинаковыми по площади для всех ПП. Поэтому применялась принятая в лесной таксации схема определения площади секции, обеспечивающая набор необходимого числа наблюдений. В результате суммарный размер некоторых ПП оказался довольно значительным (до 0,32 га). Это относится и к общему числу деревьев на них (например, на ПП 2 было измерено 682 дерева). Увеличение объема выборки, конечно, улучшило точность определения средних таксационных показателей, но при этом возросла вероятность получения "рекордного" (превышающего остальные) показателя [8] что касается не только высоты или диаметра, но и показателей, характеризующих плодородие почвы, поскольку при увеличении размера ПП неизбежно возрастает и мозаичность почвенных условий. Кроме того, нельзя исключать возможность проявления несколькими (из 500—600 анализируемых) деревьями признаков иного генотипа. Такие экземпляры должны подвергаться специальному изучению для выявления возможности получения плюсовых деревьев. Следовательно, цензурирование показателей ступеней толщины 20 и 22 см, во-первых, дает возможность сопоставлять параметры уравнения (1), вычисленные по данным ПП с различным числом деревьев, во-вторых, устраняет возможную неоднородность наблюдений. Заметим, что усечение выборки для обеспечения однородности наблюдений с последующей оценкой урезанных средних [9] является достаточно распространенным приемом статистической обработки, определяющим иногда саму возможность удовлетворительной аппроксимации экспериментальных данных.

Качество аппроксимации рядов высот оценивалось прежде всего по максимальному отклонению значений, полученных с помощью уравнения (1), от экспериментальных данных. В перспективе это позволит перейти к оценке расхождения эмпирической кривой высот с ее математической моделью на основании теоретико-вероятностных представлений, и в частности расстояния Леви [10, 11]. С учетом технической точности замера высот нами была разработана шкала оценки качества аппроксимации кривой высот: максимальное отклонение до 0,2 м — отличное качество; до 0,3 м — хорошее, до 0,4 м — удовлетворительное. Отклонения оценивались только для ступеней толщины 6—18 см, поэтому требования к точности приближения нельзя считать чрезмерными. Ослабление требований к качеству аппроксимации приводит к нежелательному расширению набора пригодных для нее функций, в число которых попадает даже линейная зависимость. При расчетах на ЭВМ для большинства рядов высот, представленных в таблице, было получено отличное или хорошее качество аппроксимации опытных данных с помощью уравнения (1). При этом коэффициент корреляции составлял не менее 0,9938 при значимых T и F критериях. Результаты проведенной работы позволяют считать достаточно высоким и качество самой триады "модель—алгоритм—программа" расчета параметров уравнения Дракина—Вуевского.

Наличие надежного математико-программного инструментария (МПИ) позволило перейти к обобщению и разработке агрегированного описания связи h и d . Принадлежность объектов исследования к одному классу бонитета, цензурирование ступеней толщины 4, 20 и 22 см, существенная корреляция между отдельными рядами показателей позволили построить с помощью модифицированного уравнения на основании осредненных данных (ПП 2–6) общую модель связи высот и диаметров и вычислить ее параметры: $S_1 = 9,5$ м; $S_2 = 4,0$ см; $a = 9,012373$ м; $b = 10,85332$ см; $m = 1,118836$ (точность расчета последних трех параметров обычная для ЕС ЭВМ). Данные, генерируемые моделью на основе уравнения, были взяты в качестве объясняющей переменной и сопоставлены с экспериментальными при помощи стандартной программы линейного регрессионного анализа. Коэффициент корреляции оказался равным 0,9988, критерий – 45,44. Кроме того, произошла незначительная (меньше 0,02 м) корректировка параметров a и S_1 (максимальное отклонение составило менее 0,12 м). Анализ остатков показал, что их знаки чередуются. Объясняются моделью также и осредненные, т. е. ставшие более статистически устойчивыми данные по ступеням толщины 20 и 22 см, что дополнительно обосновывает целесообразность цензурирования отдельных рядов.

По указанной схеме данными общей модели объяснялись отдельные ряды связи высот и диаметров. Для ПП 2–4 было получено хорошее, а для остальных удолетворительное качество аппроксимации с коэффициентами корреляции не менее 0,9937. При этом происходила уже существенная корректировка параметров масштаба моделирования и смещения по высоте. Это не касалось культур с равномерным размещением, для которых исходное смещение изменилось незначительно. Несколько обобщенно отмеченную корректировку можно охарактеризовать как уменьшение параметра масштаба по высоте для сосновых культур с междурядьями менее 2 м до 8,6 м и увеличение его для остальных объектов до 9,3–9,5 м. Смещение по высоте, наоборот, уменьшилось для культур с междурядьями 2 м и увеличилось до 9,9 м при междурядьях 1,5 м. Отметим, что ПП 2–5 характеризуются одинаковыми высотами ступени 18. Поэтому увеличение параметра масштаба и уменьшение смещения по высоте, характерное для культур с междурядьями в 2 м, объясняется наличием в ступенях древостоя 6, 8 и 10 см деревьев с меньшей высотой, чем в культурах с междурядьями 1,5 м. Аналогичный вывод можно сделать и на основании анализа коэффициентов при объясняющей переменной: для культур с междурядьями 2 м он больше единицы, для остальных сосняков – меньше единицы. На этом основании можно предположить, что размещение с междурядьями 2 м способствует более длительному существованию в древостое деревьев, уступающих по высоте даже некоторым осредненным модельным деревьям ступеней 6–10 см.

Возможность применения общей модели для отображения связи высот и диаметров изученных объектов к конкретному ряду h и d посредством корректировки только двух параметров a и S_1 важна при разработке агрегированного математического описания строения древостоев и позволяет провести предварительный отбор его вариантов. Так, при огрублении описания и трактовке уравнения (1) как функциональной зависимости по заданному закону распределения случайного аргумента $(d - S_2)/b$ однозначно определяется законом распределения функции:

$$\frac{R(d) - S_1}{a} = \left[1 - \exp\left(-\frac{d - S_2}{b}\right) \right]^m. \quad (2)$$

Для формулировки вероятностных представлений о характере развития изучаемых объектов интересна интерпретация функции (2) как изоморфной функции распределения порядковых статистик, взятых из некоторого исходного показательного распределения [12], что позволяет применять модифицированное уравнение (1) в качестве имитационной модели кривой высот сосновых культур разной густоты. При этом обеспечивается возможность математического описания роста и связи высот и диаметров на базе единой формализации (1).

В заключение следует подчеркнуть, что приведенные данные указывают на целесообразность создания сосновых культур в условиях мшистой серии типов леса БССР средней исходной густоты (6670 шт/га) с размещением посадочных мест $1,5 \times 1,0$ м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубцов В.И. и др. Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне. — М., 1976.
2. Миронов В.В. Экология хвойных пород при искусственном лесоразведении. — М., 1977.
3. Кретов Е.С. О густоте и размещении культур сосны в связи с рубками ухода // Лесн. хоз-во. — 1977. — № 7.
4. Дракин В.Н., Вуевский Д.И. Новая формула хода роста древостоев по высоте и диаметру и ее применение к исследованию зависимости между высотой и диаметром // Зап. БЛТИ. — 1940. — Вып. 5.
5. Дракин В.Н., Вуевский Д.И. Упрощенная схема вычисления параметров уравнения $y = a(1 - e^{-kt})^m$, характеризующего ход роста насаждений по высоте // Сб. тр. БЛТИ. — 1940. — Вып. 6.
6. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / Под общ. ред. В.Ф. Багинского. — М., 1984.
7. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. — М., 1983.
8. Гуммель Э. Статистика экстремальных значений. — М., 1965.
9. Смольяк С.А., Титаренко Б.П. Устойчивые методы оценивания (статистическая обработка неоднородных совокупностей). — М., 1980.
10. Коваленко И.Н., Филиппова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. — М., 1973.
11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / Карлюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. — М., 1985.
12. Слобода В.Т. Некоторые вопросы построения имитационных моделей роста древостоев // Комплексное ведение хоз-ва в сосновых лесах. — Гомель, 1982.

УДК 630*624.3

С.С. ШТУКИН

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАНТАЦИОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КРУПНОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ

Крупномерная древесина хвойных пород — наиболее ценный вид продукции лесного хозяйства. Спрос на нее постоянно возрастает [1], и удовлетворить его можно путем ускоренного выращивания сосны и ели на специальных плантациях. По мнению И.С. Мелехова [2], разработка технологии выращивания целевых лесных культур является основной задачей современного лесоводства.