УДК 630*236.4:630*51:633.878.32

МНОГООБРАЗИЕ МАСШТАБА И ФОРМЫ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ТОПОЛЯ ЧЁРНОГО В ОСОКОРНИКАХ ПОЙМЫ РЕКИ УРАЛ

Хлюстов В.К., Елекешева М.М.

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская
сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», Москва, e-mail: elekesheva@inbox.ru

Приведены результаты исследований закономерностей естественного формирования пойменных насаждений тополя черного (*Populus nigra*) в Западно-Казахстанской части бассейна р. Урал по среднестатистическим параметрам масштабов рядов распределения максимального и минимального диаметра, предельным отклонениям минимальных и максимальных диаметров от среднестатистических значений и коэффициентам вариации накопленной частоты по классам толщины. Были использованы общеизвестные теоретические разработки строения древостоев, которые базируются на параметрических и непараметрических методах анализа вариационных рядов. Основным условием построения адекватных моделей является использование рядов с постоянным числом классов распределения, которое равно 10. При этом использовалось научно-методическое решение выявления закономерностей строения древостоев по масштабу ряда (размаха варьирования), которое определяет форму рядов распределения. Было выявлено, что кривым распределения деревьев по толщине ствола в древостое присуща как левосторонняя, так и правосторонняя асимметрия, однако среднестатистическая форма близка к кривой нормального распределения. Наиболее чётко размах варьирования толщины деревьев связан со средним диаметром. Закономерное уменьшение коэффициента вариации накопленной частоты по классам толщины изменяется от значительной (100%) в первом классе до незначительной (3%) в девятом классе. Такая высокая изменчивость накопленной частоты характерна для насаждений тополя чёрного, которые в пойменных лесах постоянно подвергаются экстремальному воздействию природных факторов, связанных с подтоплением корневых систем деревьев. Приведенные особенности формирования тополевых насаждений могут быть полезны при проведении многомерной классификации рядов распределения и моделирования возрастного изменения структуры и строения древостоев.

Ключевые слова: строение древостоев, тополь чёрный, классы толщины деревьев, классификация вариационных рядов, накопленная частота, размах варьирования

THE SCALE VARIETY AND STRUCTURE FORMS OF FOREST STANDS OF BLACK POPLAR IN FLOODPLAIN OF THE URAL RIVER

Khlyustov V.K., Elekesheva M.M.

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,
Moscow, e-mail: elekesheva@inbox.ru

The results of studies of the natural formation of floodplain poplar black (*Populus nigra*) in the West Kazakhstan part of the Ural river basin on the average parameters of the scale of the series of distribution of the maximum and minimum diameter, the limit deviations of the minimum and maximum diameters from the average values and the coefficients of variation of the accumulated frequency were studied. Well-known theoretical development of the structure of stands, which are based on parametric and non-parametric methods of analysis of variational series were used. The main condition for the construction of adequate models is the use of series with a constant number of distribution classes, which is equal to 10. At the same time, a scientific and methodological solution was used to identify the regularities of the structure of stands on the scale of the series (the scope of variation), which determines the shape of the distribution series. It was found that the tree distribution curves for the trunk thickness in the tree stand are characterized by both left-hand and right-hand asymmetry, but the average form is close to the normal distribution curve. The most clear range of variation in the thickness of the trees is associated with the average diameter. The natural decrease in the coefficient of variation of the accumulated frequency in the thickness classes varies from a significant (100%) in the first class to a small (3%) in the ninth class. Such high variability of the accumulated frequency is typical for black poplar plantations, which in floodplain forests are constantly exposed to extreme effects of natural factors associated with flooding of the root systems of trees. The given features of the formation of poplar plantations can be useful in the multidimensional classification of the distribution series and modeling of age-related changes in the structure and structure of stands.

Keywords: the structure stands, black poplar, thickness classes of trees, classification of variational series, the cumulative frequency, variation range

Актуальность работы связана с необходимостью выявления закономерностей естественного формирования пойменных насаждений Западно-Казахстанской части бассейна реки Урал. До настоящего времени для этих лесов разработаны нормативно-справочные материалы, относящиеся только к стандартным и сортиментным та-

блицам, что крайне недостаточно для полной оценки ресурсно-экологического потенциала лесов региона. Следует признать, что «Нормативы для таксации лесов Казахстана», изданные в 1987 г., требуют модернизации информационного наполнения. Так, в них отсутствует системный комплекс решений по строению и продуктивности

древостоев, учитывающий всё многообразие экологических условий произрастания насаждений разного породного состава, полноты и густоты.

Существенное увеличение числа показателей, составляющих содержание таксационных таблиц, объёма цифровой информации, характеризующего состояние древесных ресурсов, привело к необходимости разработки и внедрению в производство информационно-справочных систем лесотаксационных нормативов. Актуальность темы напрямую связана с проблемой внедрения цифровой экономики в лесную отрасль.

Цель исследования: выявление закономерностей статистических моделей строения древостоев разного породного состава, полноты и густоты по группам типов лесов на примере роста и развития тополя черного в осокорниках поймы р. Урал в границах Западно-Казахстанской области. Представленной работой показаны возможные диапазоны изменения масштаба и формы кривых распределения деревьев по толщине для многомерной классификации вариационных рядов и построения нормативов роста, строения и продуктивности древостоев.

Материалы и методы исследования

Оценка качественного состояния лесов базируется на знании закономерностей роста и строения древостоев, которые определяют динамику их продуктивности. Под закономерностями строения древостоев понимается распределение числа деревьев, суммы площадей сечения, запаса, категорий крупности, дровяной древесины, фракционного состава фитомассы в размахе варьирования размера деревьев и, прежде всего, по толщине. Изучение динамики формирования структуры этих показателей в древостоях разной начальной густоты по типам лесорастительных условий имеет исключительно важное значение для выбора наиболее продуктивных, с лучшими товарными характеристиками древостоев. А это в свою очередь позволяет скорректировать и оптимизировать режим промежуточного и главного лесопользования, построить модели прогнозирования производительности лесов. Наряду с этим знание закономерностей динамики строения древостоев является теоретической основой разработки методов таксации и учёта лесного и лесосечного фонда, формирования товарно-денежного потенциала лесов.

Общеизвестна теория строения древостоев, базирующаяся на параметрических и непараметрических методах анализа вариационных рядов.

Параметрические методы строения древостоев

Широкое применение в лесной таксации при сглаживании отдельных рядов распределений числа деревьев по толщине получили модели двух параметрических кривых Гаусса (кривая нормального распределения) и четырёх параметрических кривых К. Пирсона (тип I) и Шарлье (тип A). Статистическими параметрами для построения теоретических кривых являются: средняя арифметическая величина ($\bar{X}$), стандартное отклонение (σ), асимметрия (As) и эксцесс (E).

Стандартное отклонение – это число, описывающее, насколько значения данных отличаются от среднего. Понятие стандартного отклонения является очень важным в статистике, поскольку оно представляет собой основной инструмент определения степени случайности отклонений отдельных значений от их среднего.

Асимметрия – скошенность ряда распределения возникает вследствие того, что какие-либо факторы действуют в одном направлении сильнее, чем в другом, или процесс развития явления таков, что доминирует какая-то причина. Кроме того, природа некоторых явлений такова, что имеет место асимметричное распределение

Эксцесс – крутизна ряда распределения, статистика, характеризующая степень остроты пика распределения случайной величины.

Указанные параметры определяются для каждого ряда использованием программы описательной статистики в среде MS Excel. Полученные значения параметров включаются в расчёт теоретических кривых распределения с последующим сравнением с эмпирическими рядами. Критериальная оценка соответствия теоретических распределений эмпирическому ряду осуществляется по критерию χ -квадрат Пирсона. Существующие методы строения древостоев подробно изложены в работе А.А. Макаренко [1]. По его рекомендации следует использовать метод построения рядов с постоянным числом классов, равным 10. Такое число отвечает требованиям математической статистики, обеспечивает нахождение достоверных параметров или статистик рядов распределения при минимально возможном числе наблюдений. Критически

оценивая параметрические методы строения древостоев, следует указать на наличие средних, слабых и недостоверных взаимосвязей между параметрами масштаба и формы рядов распределения, что ставит под сомнение результаты моделирования триады: ход роста – строение – продуктивность.

Непараметрические методы строения древостоев

Методы основаны на построении вариационных рядов накопленного распределения частот и анализа изменений квантилей ряда. Широкое применение в исследованиях строения древостоев нашла модель аппроксимации эмпирических распределений Н.Л. Джонсона. Также нами использована модель В.К. Хлюстова с алгоритмом расчёта теоретических частот [2]. Для аппроксимации эмпирических распределений по указанными моделями на кафедре лесоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева была разработана программа «Лескаф».

Новое научно-методическое решение задачи динамики строения древостоев было найдено и предложено к внедрению более 10 лет тому назад [3]. Основным элементом этого метода моделирования возрастного распределения частот вариационного ряда является доказательство того, что любой размах варьирования ряда распределения делится на две равные части. Так, при 10 классовых промежутках середина ряда соответствует пятому классу, при 12 – шестому, при 14 – седьмому и т.д. Затем накопленная частота распределения, названная в теории таксации рангом деревьев, выражается в долях частоты, соответствующей середине ряда.

Экспериментальный материал и объём выполненных работ

Полевой таксационный материал был собран в осокорниках Западно-Казахстанской части поймы р. Урал. При этом полу-

ченные данные охватывают все лесорастительные условия тополя чёрного (табл. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Масштаб ряда, или иными словами, размах варьирования является основным показателем, определяющим форму рядов распределения. Еще на ранних этапах исследований строения древостоев В. Вейзе [4] и А.В. Тюриным [5] отмечено, что максимальная толщина деревьев в спелых древостоях составляет от 1,5 до 1,6 от среднего диаметра, а минимальная 0,3 и не зависит от полноты, бонитета и, в значительной степени, от возраста древостоев. Согласно этому положению наиболее чётко размах варьирования толщины деревьев связан со средним диаметром [6, 7]. Наглядно эта закономерность для тополя чёрного в осокорниках представлена на рис. 1.

Судя по графику, предельные границы толщины деревьев имеют некоторый разброс. Этот разброс становится шире по мере увеличения среднего диаметра древостоя. Интерпретируя указанную закономерность, представим вначале линии регрессии, соответствующие средним значениям минимальных диаметров и средним значениям максимальных диаметров. При этом уравнения регрессии имеют следующий вид:

$$d_{\min \text{ перп}} = 0,1089 * D^{1,3931}, \quad (1)$$

$$d_{\max \text{ перп}} = 6,5804 * D^{0,5939}. \quad (2)$$

Вместе с тем при оценке размаха варьирования следует учитывать возможные их варианты с учётом возможного отклонения от средней линии регрессии, которые с возрастом древостоя при его естественном формировании существенно не изменятся. Так, возможные варианты размаха варьирования могут иметь комбинации, представленные в табл. 2.

Таблица 1

Объекты для проведения статистического анализа

Группа типов леса	Количество пробных площадей, ед.	Количество измерений деревьев, ед.	
		диаметров	высот
Осокорники низинные прирусловые (Онпр)	17	4185	353
Осокорники низинные центральной поймы (Онц)	8	1809	53
Осокорники средних уровней прирусловой поймы (Оспр)	47	11109	648
Осокорники средних уровней центральной поймы (Оспц)	48	10128	228

Рис. 1. Линии регрессии размаха варьирования толщины деревьев в древостоях тополя чёрного (условные обозначения см. в тексте)

Таблица 2

Возможные варианты размаха варьирования рядов распределения числа деревьев по толщине

№ п/п	Левая граница	Правая граница
1	$1,15 * d_{\max \text{ перп}} = f(D)$	$0,7 * d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
2	$1,15 * d_{\max \text{ перп}} = f(D)$	$d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
3	$1,15 * d_{\max \text{ перп}} = f(D)$	$1,3 * d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
4	$d_{\max \text{ перп}} = 6,5804 * D^{0,5939}$	$0,7 * d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
5		$d_{\min \text{ перп}} = 0,1089 * D^{1,3931}$
6		$1,3 * d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
7	$0,88 * d_{\max \text{ перп}} = f(D)$	$0,7 * d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
8	$0,88 * d_{\max \text{ перп}} = f(D)$	$d_{\min \text{ перп}} = f(D)$
9	$0,88 * d_{\max \text{ перп}} = f(D)$	$1,3 * d_{\min \text{ перп}} = f(D)$

Таким образом, точное определение размаха варьирования является важнейшим звеном классификации рядов распределения.

Многообразие формы кривых распределения деревьев по толщине требует систематизации (классификации) рядов с учётом размаха варьирования диаметров [8–11]. Для решения этой задачи использованы непараметрические методы строения древостоев.

Наряду с регрессиями масштаба рядов распределения приводится графическая интерпретация предельных и среднестатистических кривых распределения частот, что позволяет судить о широком диапазоне возможных вариантов встречаемости рядов распределения. На рис. 2 явно просматриваются ряды, как с левосторонней, так и с правосторонней асимметрией.

Рис. 2. Предельно асимметричные и среднестатистическое распределения частоты встречаемости деревьев по толщине (условные обозначения см. в тексте)

В соответствии с методикой моделирования строения древостоев, накопленное распределение частот в ряду с предельной правосторонней асимметрией ($As > 0$) ранг деревьев в центральном (пятом) классе насчитывает 90%. В ряду с предельной левосторонней асимметрией ($As < 0$) ранг деревьев в центральном (пятом) классе составляет 27%. Среднее распределение числа деревьев по всей совокупности вариационных рядов близко по форме к кривой нормального распределения, с максимумом частот в центральном классе.

Следует отметить закономерное уменьшение коэффициента вариации накопленной частоты по классам толщины от значительной (100%) в первом классе, до незначительной (3%) в девятом классе. Такая высокая изменчивость накопленной частоты характерна для насаждений тополя чёрного осокорниковой формации, которая в пойменных лесах р. Урал постоянно подвергается экстремальному воздействию факторов, связанных с подтоплением корневых систем деревьев [12–14].

Указанные особенности формирования насаждений тополя чёрного следует учитывать при проведении многомерной классификации рядов распределения

и моделирования возрастного изменения строения древостоев.

Выводы

Среднестатистические параметры масштаба рядов распределения по максимальному и минимальному диаметру деревьев имеют взаимосвязь со средним диаметром с показателями детерминации $R^2_{\max} = 0,776$, $R^2_{\min} = 0,749$. Предельные отклонения минимальных и максимальных диаметров от среднестатистических значений, полученных по модели, находятся в диапазонах: $0,70 \cdot d_{\min, \text{перп.}} \div 1,30 \cdot d_{\min, \text{перп.}}$ и $0,88 \cdot d_{\max, \text{перп.}} \div 1,15 \cdot d_{\max, \text{перп.}}$.

Форме рядов распределения древостоев присуща как левосторонняя, так и правосторонняя асимметрия. Предельные значения ранга деревьев в пятом классе варьируют от 27 до 90%. Среднестатистическая форма распределения соответствует кривой, близкой к кривой нормального распределения.

Коэффициент вариации накопленной частоты по классам толщины уменьшается от значительной (100%) в первом классе до незначительной (3%) в девятом классе, что, очевидно, связано с пониженной экологической устойчивостью деревьев, находящихся в нижней части полога.

Список литературы / References

1. Макаренко А.А. Строение древостоев. Алма-Ата: Кайнар, 1982. 68 с.
- Makarenko A.A. The Structure of Forest stands. Alma-Ata: Kainar, 1982. 68 p. (in Russian).
2. Хлюстов В.К. Методическое пособие по выполнению курсовой работы учебной дисциплины системный анализ и моделирование экосистем. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. 177 с.
- Khlyustov V.K. Methodical manual on the implementation of the course work of the discipline system analysis and modeling of ecosystems. M.: Izd-vo RGAU-MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2010. 177 p. (in Russian).
3. Хлюстов В.К., Хлюстов Д.В. Новый способ моделирования возрастной динамики строения древостоев на примере культур лиственницы Сукачева // Второе региональное совещание «Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство» (г. Архангельск, 22–25 сентября 2008 г.). Архангельск: Архангельский ГТУ, 2008. С. 21–28.
- Khlyustov V.K., Khlyustov D.V. A New way of modeling the age dynamics of the structure of stands on the example of the cultures of larch Sukachev // Vtoroe regional'noe soveshchanie «Listvennichnye lesa Arhangel'skoj oblasti, ih ispol'zovanie i vosproizvodstvo» (g. Arhangel'sk, 22–25 sentyabrya 2008 g.). Arhangel'sk: Arhangel'skij GTU, 2008. P. 21–28 (in Russian).
4. Weise W. Ertragstafeln für die Kiefer. Berlin: Springer, 1880. 157 p.
5. Тюрин А.В. Строение нормальных насаждений // Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо. 1923а. № 1. С. 10–14.
- Tyurin A.V. Structure of normal plantings // Lesnoe hozaystvo, lesopromyshlennost' i toplivo. 1923a. № 1. P. 10–14 (in Russian).
6. Поляков А.Н. Рост и строение берёзовых древостоев лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2012. № 1. С. 72–80.
- Polyakov A.N. The growth and structure of birch stands of the forest experimental garden, Russian state agrarian University-MTAA named after K.A. Timiryazev // Izvestiya TSKHA. 2012. № 1. P. 72–80 (in Russian).
7. Поляков А.Н. Рост и строение дубовых насаждений Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2010. № 6. С. 27–35.
- Polyakov A.N. The growth and structure of oak stands of the Forest experimental garden, Russian state agrarian University-MTAA named after K. A. Timiryazev // Izvestiya TSKHA. 2010. № 6. P. 27–35 (in Russian).
8. Данилов Д.А. Показатели строения сосново-еловых черничных древостоев, не затронутых лесохозяйственными рубками // Вестник Башкирского ГАУ. 2013. № 3 (27). С. 122–125.
- Danilov D.A. Structure of pine-spruce myrtillus stands not under silviculture // Vestnik Bashkirskogo GAU. 2013. № 3 (27). P. 122–125 (in Russian).
9. Киселева В.В., Коротков С.А., Карминов В.Н., Стоноженко Л.В. О некоторых закономерностях в строении ельников Северо-Восточного Подмосквия // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 1. С. 158–171.
- Kiselyova V.V., Korotkov S.A., Carminov V.N., Stonozhenko L.V. Some regularities in the structure of spruce forests of the North-East of the Moscow region // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. 2016. V. 20. № 1. P. 158–171 (in Russian).
10. Неруш М.Н. Особенности роста и строения смешанных дубовых древостоев // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. № 39. С. 15–17.
- Nerush M.N. Peculiarities of growth and structure of mixed oak stands // Aktual'nye problem lesnogo kompleksa. 2014. № 39. P. 15–17 (in Russian).
11. Неруш М.Н. Особенности строения смешанных древостоев дуба черешчатого // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 44. С. 50–52.
- Nerush M.N. Features of the structure of mixed stands of English oak // Aktual'nye problem lesnogo kompleksa. 2016. № 44. P. 50–52 (in Russian).
12. Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Исаев А.В. Закономерности строения и развития древостоя на плантации лиственницы сибирской в краткойпойменном экотопе // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1 (33). С. 36–49.
- Demakov Yu.P., Krasnov V.G., Isayev V.A. Structural and developmental patterns of the stand in the siberian larch plantations in the bottomland ecotop // Vestnik Povolzhskogo GTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2017. № 1 (33). P. 36–49 (in Russian).
13. Кутявин И.Н. Роль возрастной структуры древостоев в строении коренных сосняков бассейна Верхней и Средней Печоры // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 5 (187). С. 10–13.
- Kutyavin I.N. The role of the age structure of stands in the structure of indigenous pine forests of the upper and Middle Pechora basin // Vestnik IB Komi NC UrO RAN. 2014. № 5 (187). P. 10–13 (in Russian).
14. Кутявин И.Н. Строение древостоев и состояние подростов старовозрастных сосняков в Предгорьях Урала (бассейн Верхней Печоры) // Лесоведение. 2013. № 1. С. 46–55.
- Kutyavin I.N. Structure of Stands and Regrowth State in Old-Growth Pine Forests of the Ural Piedmont (the Upper Pechora River Basin) // Lesovedenie. 2013. № 1. P. 46–55 (in Russian).