

УДК 630\*228.81:630\*182.51

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ\*

© 2007 г. В. В. Кузьмичев, В. В. Иванов, Н. Н. Кошурникова, П. А. Оскорбин

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН*

*660036 Красноярск, Академгородок*

*Поступила в редакцию 06.03.2006 г.*

Рассмотрено строение темнохвойных древостоев по толщине, взаимосвязи высот и диаметров деревьев пихты и ели, а также различия формы стволов этих пород. По особенностям строения выделены три группы древостоев. К первой относятся древостои, возникшие после катастрофических разрушений предшествующих сообществ, где подрост не пополняет древесный полог. Вторую группу образуют сбалансированные древостои с непрерывным переходом молодого поколения в древесный ярус, а к третьей - такие же древостои с частичным нарушением строения. Выявлено значительное сходство соотношений высот и диаметров деревьев пихты и ели, и более медленное увеличение высот деревьев кедра по мере нарастания диаметров.

*Темнохвойные древостои, строение, равновесное состояние старовозрастных лесов.*

Реализация концепции устойчивого развития регионов в многолесных районах Сибири тесно связана с комплексным и всесторонним использованием лесных ресурсов. В связи с этим становится очевидной необходимость сохранения и выращивания устойчивых древостоев.

Известно, что наименее подвержены нарушениям смешанные разновозрастные древостои, по отношению к которым используют понятия "первобытный" и "климаксовый" лес. Экологическая теория утверждает, что климаксовая растительность находится в динамическом равновесии с его внешней средой, и хотя имеют место компенсационные изменения, но сообщество как единое целое остается неизменным. Большинство таких лесов образовано теневыносливыми видами, в которых катастрофические явления редки и происходят на небольших площадях [9].

Поэтому представляется важным изучение строения разновозрастных темнохвойных древостоев южной тайги Западной Сибири, сохранившихся после значительных катастрофических нарушений как природного, так и антропогенного характера. В работе А.В. Сочавы с соавт. [6] было дано их описание и обосновано выделение в качестве самостоятельной лесной формации. Г.В. Крылов [4] провел районирование лесов Сибири и для южной тайги в пределах Западно-Сибирской равнины выделил районы с преобладанием темнохвойных пород.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектом исследований явились смешанные темнохвойные древостои юго-восточной окраины тайги Западной Сибири (Таежинский, Пировский, Большемуртинский лесхозы Красноярского края). В соответствии с районированием Г.В. Крылова [4] леса изучаемого района относятся к Кетско-Чулымской подпровинции мелколиственно-темнохвойных лесов.

Использовались данные 104 пробных площадей, характеризующих смешанные темнохвойные древостои, на которых проводился полный перечень и отбор моделей с последующим обмером их диаметра, высоты и возраста. С преобладанием пихты было около 70% проб, ели 20, кедр 10% (включены в рассмотрение три пробы с преобладанием осины и одна - сосны). В примеси имелись береза, осина, сосна и лиственница.

Число модельных и учетных деревьев одной породы колебалось от шести до ста и более, что позволяет говорить о разновозрастности древостоев, но не всегда о типе возрастной структуры. Тем не менее древостои на части пробных площадей можно отнести к абсолютно разновозрастным с постоянным пополнением древесного яруса за счет подроста. Так, по модельным деревьям пихты, взятым на 86 пробных площадях, разница возрастов менее 40 лет отмечена на 18, а более 80 лет - на 48. По моделям ели, взятым в 41 пробе, разница возрастов менее 40 лет встречалась в 7 пробах, а более 80 лет - в 30. Древостои с обособленными возрастными поколениями встречены не были.

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (03-04-20018).

Преобладающий класс бонитета изучаемых древостоев - третий, к нему относится более половины проб, к первому и второму классам - более 15%, а к четвертому и пятому - около 30%. Следует отметить некоторую условность определения класса бонитета для разновозрастных древостоев. В изучаемой выборке представлены преимущественно высокополнотные древостои (с полнотой 0.8 и выше), доля среднеполнотных (с полнотой 0.5-0.7) менее одной трети общего их числа.

Были рассмотрены общие ряды распределения числа стволов по толщине (без деления по составляющим породам и ярусам). Еще К.К. Высоцкий [1] рекомендовал такой подход к изучению смешанных древостоев, рассматривая их как органическое целое. Численности деревьев в них были выражены в промилле для устранения влияния разной густоты на параметры уравнений. В процессе исследования они были разделены на три группы. В первую включили пробы, где наибольшее число стволов в ступени толщины находилось внутри анализируемого ряда распределения. Для выравнивания их использовали функцию Вейбулла [2]:

$$n = A_1((A_3/A_2)((d/A_2)^{(A_3-1)})) \exp(-1(d/A_2)^{A_3}), \quad (1)$$

где  $n$  - число стволов ступени толщины,  $d$  - диаметр ступени,  $A_1$  - нормирующий множитель,  $A_2$  и  $A_3$  - параметры масштаба и формы.

Оказалось, что распределения с выраженным максимумом наблюдаются лишь в 35 пробах, для остальных наибольшее число стволов отмечено в тонкомерных ступенях. Параметр формы для этих распределений имеет значение меньше 1.7, поэтому их можно аппроксимировать при помощи экспоненциальной функции:

$$n = k \exp(-Ad), \quad (2)$$

где  $k$  - максимальная численность деревьев, шт. га<sup>-1</sup>,  $A$  - показатель крутизны кривой.

Среди древостоев этой группы были отмечены такие, у которых имелся также локальный максимум числа стволов внутри ряда распределения. Для выравнивания распределения числа стволов по толщине в древостоях этой группы использовали суммарное распределение (экспоненциальное и Вейбулла). Древостои с таким характером распределения отмечены на 31 пробной площади. Таким образом, экспоненциальная функция нашла применение для выравнивания распределений числа стволов по толщине в 42 пробах.

Хотя эта функция с давних пор использовалась для аппроксимации рядов распределения числа стволов по толщине в древостоях с равновесным состоянием, где постоянно идет отмирание старых деревьев и пополнение древостоя за счет подроста [13], в последние годы данное положение оспаривается. Например в работах [8, 11] выска-

зывается мнение о преобладании в этих лесах световой конкуренции и лучшем выравнивании рядов распределения степенной функцией. В работе [12] автор поддерживает такую точку зрения на основе анализа материалов по строению широколиственных листопадных лесов. В то же время в работе [7] показано, что в тонкомерной части таких древостоев отпад связан с конкуренцией, и более пригодна экспоненциальная функция, а в толстомерной - с различными нарушениями, и больше подходит степенная зависимость. В связи с этим для упомянутых выше 42 проб проверялась пригодность степенной функции при выравнивании рядов распределения числа стволов по толщине. Раздельное выравнивание тонкомерной и крупномерной частей древостоя требует подеревного перечета, а не по ступеням толщины, поэтому проверка этого варианта не проводилась.

Для анализа связи высот и диаметров использовались данные обмеров 2346 учетных и модельных деревьев пихты, 1559 ели и 417 кедра. Анализ связи высот и диаметров моделей проводился по формуле:

$$h = h_{\max}(1 - \exp(-Ad)) + 1.3, \quad (3)$$

где параметр  $A$  характеризует, в определенной степени, строение насаждения данного типа леса, параметр  $h_{\max}$  может служить для определения класса бонитета в разновозрастных лесах [10]. Для сравнения зависимости высот и диаметров ели и пихты, произрастающих в одном древостое, использовались данные 19 пробных площадей, на которых было срублено 856 деревьев пихты и 567 ели.

Запас древостоев элементов леса находили по модельным деревьям и таблицам объемов стволов [5], однако они не всегда точно отражают местные особенности формообразования потому, что не учитывают характер развития смешанных древостоев. По результатам обмеров 590 модельных деревьев пихты и 410 модельных деревьев ели провели сравнение их объемов и табличных данных. Для этой цели использовали соотношения объемов стволов и видовых цилиндров, которые характеризуются линейной зависимостью.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первую группу были включены древостои, возникшие после катастрофического разрушения предшествующего сообщества, где прекратилось пополнение древостоя за счет подроста. Они отличаются меньшей степенью разновозрастности и более компактным рядом распределения числа стволов по толщине. Среднее значение коэффициента детерминации при выравнивании их рядов равно 0.9 (с колебаниями от 0.65 до 0.98). Как известно [3], параметр масштаба распределения Вейбулла близок к значению среднего диаметра

древостоя. Для древостоев данной группы среднее значение этого параметра составляет 23 см с коэффициентом изменчивости 32%. Используя его величину и зная преобладающую породу в данном древостое, можно определить время возникновения леса после нарушения. Данную группу составляют древостои с доминированием пихты в составе, где разрушения наблюдались примерно 90-110 лет назад. Среднее значение параметра формы равно 2.6, следовательно, ряды отличаются сильной вытянутостью правой ветви распределения. Коэффициент его изменчивости составляет 40%. Отмечается тенденция увеличения параметра формы по мере возрастания значений параметра масштаба, что приводит к постепенному увеличению числа более толстых деревьев.

Древостои второй группы объединяют типичные сбалансированные смешанные разновозрастные древостои, где отношение числа стволов в соседних классах диаметров постоянно. Среднее значение коэффициента детерминации при использовании уравнения 2 составляет 0.88 (меняется от 0.5 до 0.99). Б. Зейде [13] отмечал, что коэффициенты уравнения (2) не имеют связи с древесной породой, высотой древостоев, местообитанием, климатом и т.п. В то же время они связаны между собой. Установленная зависимость между этими параметрами характеризуется полиномиальной кривой второго порядка (рис. 1):

$$\alpha = -0.0089 + 0.000237k - 0.0000000415k^2, \quad (4)$$

$$R^2 = 0.964.$$

Коэффициенты вариации параметров уравнения (2) составили:  $A$  - 91%,  $k$  - 76%, что указывает на большую неоднородность изучаемой совокупности.

Это может быть связано с заметным расширением доли участия пихты в составе древостоев, чему способствует потепление климата. Тем не менее деревья разных пород образуют сообщества с равновесным состоянием особей разных размеров. Наличие крупных деревьев приводит к уменьшению участия в сообществе тонкомера, и наоборот. Таким образом, древостои с преобладанием старых особей ели, кедра и других пород замедляют экспансию пихты.

Для проверки пригодности степенной функции (вместо экспоненциальной) при описании убывающих распределений числа стволов по толщине использовались данные 42 пробных площадей. Вычисления показывают, что среднее значение коэффициента детерминации для степенной зависимости равно 0.82 (от 0.40 до 0.96). Показатель степени меняется от 0.5 до 1.7, не достигая полученного в ряде работ значения 2.0. Это свидетельствует о меньшем соответствии степенной зави-

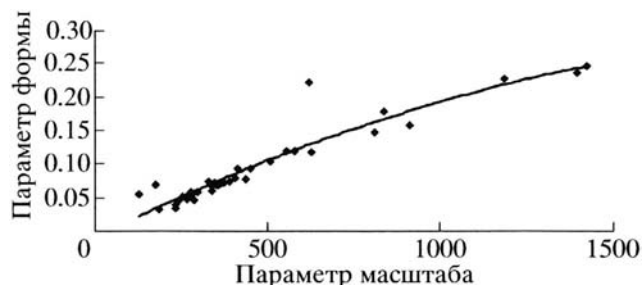


Рис. 1. Зависимости между параметрами уравнения экспоненциального распределения.

симости опытным данным и о своеобразии изучаемых лесов.

Анализ древостоев третьей группы начинали с сосняка в возрасте около 200 лет, где древостой популяется темнохвойными породами, и осинников (с участием темнохвойных пород) в возрасте 100 лет. Тонкомерная часть в них преобладает по числу стволов, в то же время ярко выражен максимум для числа стволов преобладающей по запасу породы. Ряды распределения в древостоях третьей группы хорошо выравниваются суммой уравнений (1) и (2). Коэффициенты данного уравнения не имеют определенной трактовки и не привязаны четко к значениям высоты или диаметра. Однако параметр масштаба в той части уравнения, которая представлена функцией Вейбулла, соответствует среднему диаметру крупномерного древостоя (в сосняке и осинниках). Поэтому можно считать, что и в темнохвойных древостоях с локальным максимумом этот параметр позволяет определить время, прошедшее после нарушения, приведшего к возмущению в древостое и появлению "волны" (рис. 2).

Наблюдается постепенное перемещение "волны" по экспоненциальной кривой и ее постепенное уменьшение, что связано с неравномерностью прироста деревьев и более сильным отпадом в группах особой близкого возраста. В данной группе также преобладают древостои с высоким процентом участия пихты в составе. Средний возраст произошедших нарушений для большинства проб составляет 110 лет, и лишь для небольшого числа исследуемых объектов он равен 90 годам и менее.

Сравнение зависимостей высоты деревьев пихты и ели в 19 пробах показало, что чаще всего (в 46% случаев) наблюдается пересечение кривых для деревьев с диаметром около 28 см. В тонких ступенях пихта в среднем выше ели, а для толстых деревьев наблюдается обратная зависимость (рис. 3).

На остальных пробных площадях в 26% случаев значения высот пихты при больших диаметрах оказались выше, чем у ели. В 32% случаев ель и пихта растут параллельно, не пересекаясь, на 21% проб при одинаковых диаметрах деревьев ель выше пихты, на 11% проб наоборот пихта выше.

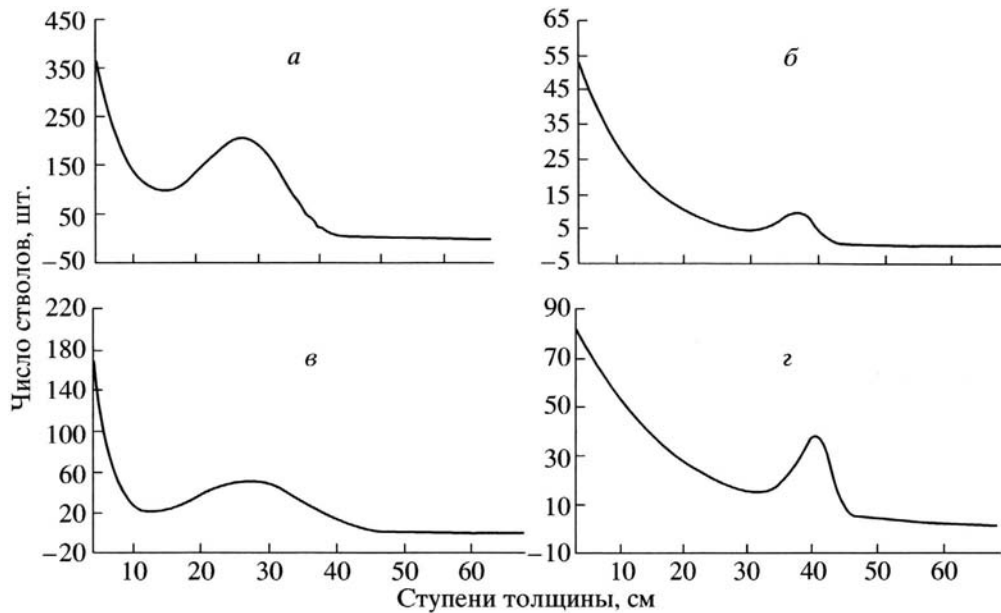


Рис. 2. Движение "волны" возмущения по кривой экспоненциального распределения: а - возраст нарушения 120 лет; б - возраст нарушения 130 лет; в - возраст нарушения 110 лет; г - возраст нарушения 140 лет.

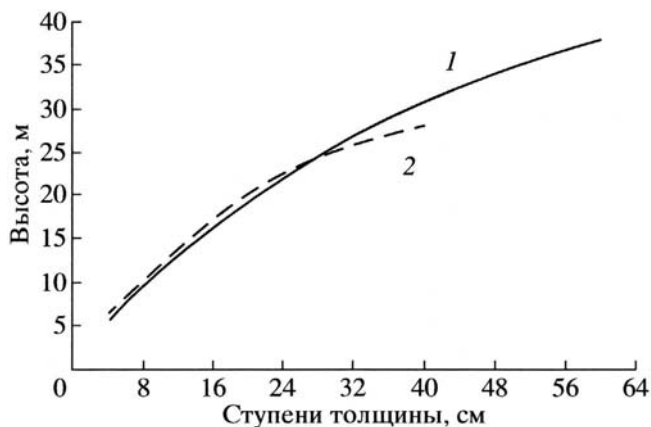


Рис. 3. Характерное соотношение высот и диаметров в исследуемых древостоях: 1 - ель, 2 - пихта.

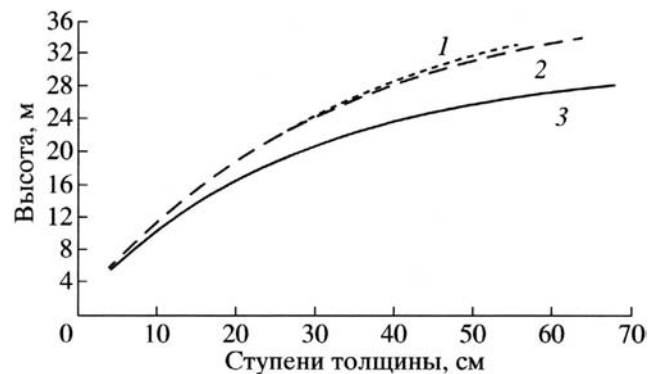


Рис. 4. Соотношение высот и диаметров деревьев в разновозрастных темнохвойных древостоях: 1 - пихта, 2 - ель, 3 - кедр.

Зависимости высот деревьев одной древесной породы от их толщины довольно близки для деревьев, растущих в разных типах леса, а средние линии для ели и пихты почти совпадают. Для кедр наблюдается замедленное увеличение высот деревьев по мере их роста в толщину (рис. 4).

Сравнение зависимостей объемов деревьев пихты и ели от произведений высот деревьев на площадь сечения (на высоте груди) проводилось с использованием линейных уравнений.

Для пихты данная зависимость по таблицам объемов имеет следующий вид:

$$y = 0.05 + 0.426x \quad (5)$$

и по модельным деревьям

$$y = 0.033 + 0.419x. \quad (6)$$

Значения коэффициентов очень близки, следовательно, расхождение имеет небольшую величину, и применение таблиц объемов деревьев пихты является обоснованным.

Для ели по табличным данным получена следующая зависимость:

$$y = 0.084 + 0.418x \quad (7)$$

и для модельных деревьев

$$y = 0.097 + 0.355x. \quad (8)$$

Наглядно данные соотношения представлены на рис. 5. Следовательно, при использовании табличных данных для вычисления объемов стволов ели происходит завышение фактического запаса элемента леса, и целесообразно составить новые таблицы объемов. Обращает на себя внимание

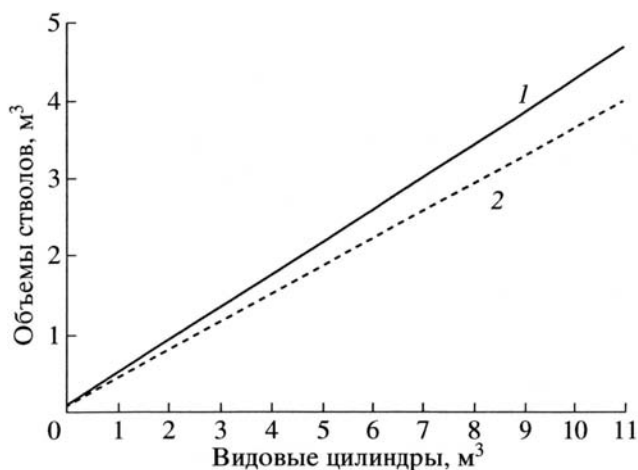


Рис. 5. Соотношение объемов стволов и видовых цилиндров ели по табличным и фактическим данным: 1 - по таблице, 2 - по моделям.

меньшая полндревесность стволов ели по сравнению с пихтой.

**Выводы. 1.** В темнохвойных разновозрастных древостоях часто наблюдается сбалансированное распределение общего числа стволов по толщине, описываемое экспоненциальной функцией.

2. Для части древостоев на фоне убывающего распределения наблюдаются локальные максимумы, соответствующие нарушениям непрерывного процесса пополнения древостоев из подроста.

3. Возникшие после катастрофических разрушений предшествующих сообществ древостои характеризуются близкими к симметричным одновершинными распределениями.

4. Средние линии связи высот и диаметров деревьев пихты и ели в разновозрастных древостоях почти совпадают; для кедра наблюдается более медленное увеличение высот по мере роста диаметров деревьев.

5. Деревья пихты более полндревесны по сравнению с елью. Таблицы объемов стволов ели

для южной тайги Западной Сибири нуждаются в уточнении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий К.К.* Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 177 с.
2. *Ганина Н.В.* Распределение деревьев по диаметру с помощью функции Вейбулла // Лесоведение. 1984. № 2. С. 26-32.
3. *Каплунов В.Я., Кузьмичев В.В.* Динамика рядов распределения числа стволов по толщине // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. Новосибирск, 1987. Вып. 1. С. 70-77.
4. *Крылов Г.В.* Леса Западной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 255 с.
5. Лесотаксационный справочник для южнотаежных лесов Средней Сибири. М.: МПР РФ, Государственная лесная служба, 2002. 166 с.
6. *Сочава Б.В., Исаченко Т.И., Лукичева А.Н.* Общие черты географического распространения лесной растительности Западно-Сибирской низменности // Изв. ВГО. 1953. Т. 85. № 2. С. 125-138.
7. *Coomes D.A., Duncan R.P., Allen R.B., Truscott J.* Disturbances prevent stem size-density distributions in natural forests from following scaling relationships // Ecology letters. 2003. № 6. P. 980-989.
8. *Enquist B.J., Niklas K.J.* Invariant scaling relations across tree-dominated communities // Nature. 2001. V. 410. № 5. P. 655-660.
9. *Jones E.W.* The structure and reproduction of the virgin forest of the North Temperate Zone // The new Phytologist. London: Cambridge university press, 1945. V. 44. № 2. P. 130-148.
10. *Meyer H.A.* A mathematical expression for height curves // J. Forestry. 1940. V. 48. № 5. P. 415-420.
11. *Niklas K.J., Midgley J.J., Rand R.H.* Tree size frequency distributions, plant density, age and community disturbance // Ecology letters. 2003. № 6. P. 405-411.
12. *Shimano K.* A power functions for forest structure and regeneration pattern of pioneer and climax species in patch mosaic forests // Plant Ecology. 2000. № 146. P. 207-220.
13. *Zeide B.* Exponential diameter distribution: interpretation of coefficients // Forest Science. 1984. V. 30. № 4. P. 907-912.

## Specific Features of the Structure of Dark Coniferous Forests in the Southern Taiga of Western Siberia

V. V. Kuz'michev, V. V. Ivanov, N. N. Koshurnikova, and P. A. Oskorbin

Mixed dark coniferous forests at the southeastern boundary of the Western Siberian taiga were the objects under study. On 104 sample plots, the total enumeration of trees and selection of tree models were carried out. The diameters, heights, and age of these model trees were determined. The model trees were divided into three groups depending on the distribution of their stems by thickness. The data of measuring 2346 fir trees, 1559 spruce trees, and 417 cedar trees were used for the determination of relations between heights and diameters of the trees and their thickness. The comparison of these relations for the same tree species showed that they were similar to those for trees growing in different forests, whereas their mean values for spruce and fir were almost identical. The comparison of the factual and table data on spruce stem volumes showed that the results obtained for the forest stocking were overestimated. This fact attests that new tables of tree volumes should be compiled.