

В. Ф. Багинский

# ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ



В. Ф. Багинский

# ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ

*Утверждено*

*Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебника для студентов учреждений высшего образования  
по специальностям «Лесное хозяйство», «Ландшафтное проектирование  
и строительство» и по специальности магистратуры  
«Многофункциональное лесопользование»*

Минск  
РИВШ  
2024

УДК 630\*5(075.8)  
ББК 43.62я73  
Б14

Рецензенты:  
кафедра лесоустройства  
УО «Белорусский государственный технологический университет»;  
заместитель директора по научной работе ГНУ «Институт леса  
Национальной академии наук Беларуси», доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
академик Национальной академии наук Беларуси *В. В. Усеня*

**Багинский, В. Ф.**

Б14      **Лесная таксация : учебник / В. Ф. Багинский. – Минск : РИВШ, 2024. – 376 с.  
ISBN 978-985-586-783-9.**

В учебнике в соответствии с типовой учебной программой и образовательным стандартом Республики Беларусь по дисциплине «Лесная таксация» дано понятие и изложена история развития лесной таксации как составной части лесоводственной науки; показаны методы лесных измерений, методы определения объемов стволов и их частей, методы учета заготовленной лесной продукции, учета объемов растущих деревьев и запасов древостоя, сплошные и выборочные методы таксации, сортиментация древостоев, методы таксации леса на корню, методы учета запасов лесных массивов, прироста деревьев; описаны современные приборы и инструменты для измерений; рассмотрена динамика лесонасаждений.

Адресован студентам учреждений высшего образования по специальностям «Лесное хозяйство», «Ландшафтное проектирование и строительство» и по специальности магистратуры «Многофункциональное лесопользование».

УДК 630\*5(075.8)  
ББК 43.62я73

ISBN 978-985-586-783-9

© Багинский В. Ф., 2024  
© Оформление. ГУО «Республиканский  
институт высшей школы», 2024

---

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

---

Лесная таксация является одним из основных учебных предметов при подготовке инженеров лесного хозяйства. Он преподается на третьем курсе лесных вузов. На его аудиторное изучение выделено 96 часов, в том числе лекций 48 часов, лабораторных занятий 48 часов. Кроме того, проводится учебная практика в объеме 56 часов. Таким образом, всего для изучения курса лесной таксации выделено 154 часа.

Подготовке учебников по лесной таксации ведущие ученые России, СССР и зарубежных стран уделяли большое внимание еще с XIX в. Учебники постоянно совершенствовались, в них излагались новые достижения в лесоводственной и лесотаксационной науке. Последними учебниками для вузов в СССР были «Лесная таксация» профессора В. К. Захарова (1967) и «Лесная таксация» академика Н. П. Анучина (его 7-е издание опубликовано в 1982 г.). Это были добротные учебники, по ряду традиционных вопросов (учет лесопродукции, определение объемов стволов и т. д.) не потерявшие значения до сих пор. В то же время за прошедшие 40–45 лет лесная таксация как наука шагнула далеко вперед. Появились новые методы и результаты в исследовании сортиментной структуры древостоев, их динамики и строения, существенно изменились воззрения на закономерности изменения прироста. Коренным образом обновилась приборная и инструментальная база лесной таксации в связи с появлением электронных мерных вилок, высотомеров и многое другое.

Все это требовало существенного обновления учебного материала по лесной таксации. Поэтому появились учебные пособия О. А. Атрощенко «Лесная таксация» (2009) и «Таксация леса» (2013), а также учебник В. Ф. Багинского «Лесная таксация» (2018). Эти учебники и учебные пособия изданы небольшим тиражом и в настоящее время уже не удовлетворяют запросы студентов. Учитывая эти и другие обстоятельства, появилась острая необходимость в издании нового учебника, отвечающего современным требованиям к преподаванию дисциплины и особенностям обучения в учреждении высшего образования.

Издание настоящего учебника решает возникшую проблему. В предлагаемом учебнике соблюдены все требования образовательного стандарта Республики Беларусь и типовой учебной программы 2023 г. по дисциплине «Лесная таксация».

В учебнике описаны таксационные измерения, лесотаксационные приборы и инструменты, таксация древесных стволов, заготовленной лесопродукции и определение таксационных показателей лесных насаждений, а также перечислительная таксация древостоев, таксация лесного и лесосечного фонда. Уделено большое внимание приросту, производительности и ходу роста древостоев, включая их математическое моделирование, как научной основе оптимизации лесовыращивания. Изложены выборочные методы таксации леса. В каждой главе приводятся примеры применения данных методов в практике лесного хозяйства, в лесоустройстве и лесной науке.

Настоящий учебник станет основой при подготовке лекций, проведения лабораторных занятий, учебных и технологических практик для студентов и магистрантов. При написании учебника использованы отдельные положения, изложенные в более ранних учебниках В. К. Захарова и Н. П. Анучина, не потерявшие своего значения, и ряд позиций, освещенных в учебном пособии О. А. Атрощенко.

Автор выражает благодарность рецензентам: доценту кафедры лесоустройства БГТУ, кандидату сельскохозяйственных наук, доценту И. В. Толкачу и всему коллективу этой кафедры, а также заместителю директора по научной работе Института леса Национальной академии наук Беларуси, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, академику Национальной академии наук Беларуси В. В. Усене за нелегкий труд по рецензированию учебника и ценные замечания.

---

---

# ВВЕДЕНИЕ

---

---

1. *Определение лесной таксации как науки и ее методология.*
  2. *Связь лесной таксации с другими науками.*
  3. *История развития лесной таксации.*
  4. *Перспективы развития лесной таксации.*
- 
- 

## 1. Определение лесной таксации как науки и ее методология

Термин «таксация» имеет в своей основе латинское слово *taxo*, которое имеет значение «оцениваю», а в расширенном понимании – «выявляю, измеряю». Термин «таксировать», «такса» употребляется довольно широко в экономике, торговле и в других отраслях, где проводится какая-либо оценка.

Словосочетание «таксация леса», или «лесная таксация», характеризует учетные действия в лесу во всем их разнообразии: объем деревьев и их совокупностей, объем заготавливаемой лесопродукции, запас лесосырьевых ресурсов на больших территориях, прирост древесины и т. д. Приблизительно такое же значение имеет этот термин в языках других стран: в немецком – *Forsttaxation* или *Holzmesskunde*; английском – *Forstmensuration*; французском – *Dendrometrie*. Все эти значения показывают, что таксировать лес – это значит его оценивать в самом широком смысле слова.

Дисциплина «лесная таксация» в настоящее время разработана хорошо. Это обстоятельство обусловлено тем, что таксация леса имеет дело с измерениями, дающими объективную оценку изучаемых объектов, применяя методы математики. Вместе с тем лесная таксация как наука имеет свои методы и свою теорию. Она является фундаментом всех лесохозяйственных дисциплин. В любой из них те или иные сравнительные оценки роста леса, выявления его состояния, различного рода расчеты и прогнозы осуществляются путем использования методов лесной таксации.

Одновременно с лесохозяйственной характеристикой при таксации леса каждому участку дают лесопромышленную оценку, сводящуюся к определению запаса леса, выходу промышленных сортиментов (товаров) и выявлению условий эксплуатации. При проведении таксационных работ оценивают также водоохранное, защитное значение леса и определяют влияние лесного массива и отдельных его частей на успешность ведения сельского хозяйства и выращивание отдельных культур.

Хорошее знание лесной таксации особенно необходимо для молодого специалиста-лесовода. После поступления на работу в лесхоз на должность мастера леса или помощника лесничего (обычные первые должности для молодого специалиста) он в первые же недели службы отправится принимать работу у лесозаготовительной бригады, будет участвовать в отпуске древесины и в отводе лесосек. Все эти обязанности требуют хорошего знания лесной таксации. Более того, они связаны с учетом значительных материальных ценностей. Об этом тоже нельзя забывать, изучая лесную таксацию. Работа в лесоустройстве невозможна без очень хорошего знания таксации леса, так как таксатору необходимо при проведении лесоинвентаризации постоянно определять таксационные показатели древостоя, оценивать его запас, товарную ценность и т. д.

В настоящее время все изменения при проведении таксации леса выполняются с помощью современных измерительных, часто электронных, приборов, а обработка материала ведется на персональных компьютерах, что также рассматривается в курсе таксации леса.

Инженер-таксатор и лесовод должны уметь получить сведения не только о текущем состоянии лесных насаждений: запасе, сортиментной структуре и т. д., но и прогнозировать возможные изменения в связи с ростом леса и проводимыми хозяйственными мероприятиями. Эти знания дает изучение в курсе лесной таксации динамики древостоев и их прироста.

В Беларуси объектом учета обычно являются лесные массивы, разделяемые на отдельные участки, состоящие из больших совокупностей деревьев. Соответственно с этими центральными задачами рассматриваемого курса являются разработка методов учета этих множеств, количественная и качественная оценка древесных запасов и прироста древостоев.

В США и Великобритании рассматриваемый курс носит наименование «Forest Mensuration», что означает «Лесные измерения». Это название подчеркивает, что лесные измерения в этом курсе должны являться главной темой. Дальнейший прогресс в технике учета леса тесно связан с заменой визуальных оценок на более точные измерения, опирающимися на меру и число.

Обобщая изложенное, можем дать следующее определение лесной таксации как научной дисциплины.

**Лесная таксация** – наука, которая изучает методы измерения объемов деревьев, объемов заготовленной лесной продукции, запасов отдельных насаждений и целых лесных массивов, товаризацию древостоев, прирост отдельных деревьев и насаждений (древостоев), а также динамику древостоев с учетом ее оптимизации.

Научную дисциплину, изучающую методы измерения или учета леса, в странах Западной Европы называют дендрометрией. В переводе на русский язык этот термин означает измерение деревьев.

В лесной таксации применяются дедуктивный и индуктивный методы исследования. Дедуктивный метод, то есть переход от общего к частному, предполагает, что известны суть и форма причинно-следственных связей между исследуемыми явлениями. Закономерности (модели), которые получают, пользуясь дедуктивным методом, исходят из общих логических посылок и законов биологии, химии и физики. Например, изучая распределение деревьев в древостое по диаметру, можно в определенной мере воспользоваться дедуктивным методом, так как из курса биометрии знакома предельная теорема Ляпунова о том, что распределение множества биологических объектов по некоторому признаку, если влияние каждого из всех действующих факторов мало, подчиняется закону нормального распределения. Однако даже и в этом случае требуется уточнение моделей в связи с тем, что в лесах Беларуси ведется интенсивная хозяйственная деятельность и требования теоремы Ляпунова часто нарушаются.

Основным методом исследования при таксации леса является индуктивный, то есть переход от частного к общему. В этом случае собирается экспериментальный материал (закладываются пробные площади, используется лесоустроительная информация и т. д.), затем эти данные обобщаются и анализируются методами лесоводства, таксации, биометрии, системного анализа и на их основе выводят новые закономерности.

В соответствии с вышеизложенным курс лесной таксации подразделяется на следующие разделы:

1. Таксационные измерения и способы таксации, приборы и инструменты.
2. Таксация древесных стволов и заготовленной лесной продукции.
3. Таксация растущих деревьев.
4. Таксация насаждений.
5. Перечислительная и выборочная таксация леса.

6. Сортиментация леса.
7. Таксация древесного прироста и производительности насаждений.
8. Таксация лесных массивов и лесосечного фонда.
9. Прогноз изменения таксационных показателей или динамика древостоев.

В заключение следует отметить, что лесная таксация – интересная и захватывающая наука, имеющая важнейшее практическое значение в работе лесовода. Она базируется на уже полученных студентами курса знаниях математики, биометрии, дендрологии, ботаники и других наук.

## 2. Связь лесной таксации с другими науками

Лесная таксация связана практически со всеми лесными дисциплинами. Умение сделать точный учет древесины и ее прироста как результат работы лесовода необходимо и специалистам по лесной селекции, лесовосстановлению, защите леса от вредителей и болезней, а это все обеспечивается лесотаксационными методами.

Так, в вопросах изучения законов роста отдельных деревьев и насаждений она тесно соприкасается с ботаникой, дендрологией и лесоводством; для характеристики условий местопроизрастания, определяющих различную продуктивность лесов, использует данные почвоведения; при выявлении выходов отдельных лесных товаров или сортиментов таксация основывается на материалах, рассматриваемых в курсе лесного товароведения; для качественной характеристики древесины изучает пороки древесины, рассматриваемые в курсе древесиноведения и лесной фитопатологии; при учете запасов леса на значительных территориях и разграничений их по хозяйственной ценности необходимы знания по геодезии.

Рационально поставленное лесное хозяйство для повседневного разрешения вопросов, связанных с выращиванием леса, уходом за ним и рубкой, требует данных о запасах древесины, строении насаждений, их состоянии и приросте. При проектировании лесохозяйственных мероприятий, например, для выбора участка в рубку, назначения мер ухода за лесом, составления планов посева и посадки леса, в качестве первичных основных технических документов используют таксационные описания и планы лесонасаждений, составляемые после выполнения таксационных работ в лесу. Все это показывает, что методы лесной таксации широко применяют в лесоводстве, лесовосстановлении, для осуществления охраны и защиты леса.

Данные, получаемые лесной таксацией, используют для экономического обоснования строительства новых заводов и фабрик, реконструкции и расширения существующих деревоперерабатывающих предприятий, выбора места и направления вновь строящихся транспортных путей и магистральных трубопроводов, размещения лесозаготовок на территории лесного массива и разработки методов, обеспечивающих рациональную разделку деревьев на лесосеке.

К сказанному добавим, что все научные исследования по лесоводству, лесовыращиванию, лесной селекции и многим другим дисциплинам обязательно используют таксационные методы. Например, для того чтобы оценить эффект от рубок ухода за лесом, селекционного улучшения древостоев и других мероприятий требуется на основе таксационных измерений вычислить прирост древостоя, его средний диаметр и среднюю высоту, запас, а также выход различных сортиментов. Часто эти показатели необходимо давать как прогнозные. В этом лесная таксация подобна математике, без которой тоже не обходится ни одно исследование. В лесных науках в роли «лесной математики» выступает лесная таксация. Действительно, это наиболее математизированная дисциплина из всех наук о лесе. При изучении лесной таксации требуется знание биометрии, в частности, корреляционного и регрессионного анализа. Особое внимание обращается на изучение погрешностей, которые возникают с неизбежностью

при проведении измерений и исследований. Необходимо оценивать точность и достоверность получаемых величин и выводов. Поэтому в таксации, как ни в какой другой лесной науке, находят самое широкое применение методы вариационной статистики (биометрии).

Особенно тесно лесная таксация связана с лесоустройством. Лесоустройство представляет собой систему хозяйственных изысканий, расчетов и действий, направленных на всестороннее изучение лесов, их учет и разработку комплекса мероприятий по организации лесного хозяйства в изучаемом лесном массиве. Составляемый при лесоустройстве перспективный план ведения хозяйства в первую очередь основывается на данных лесной таксации. При решении вопросов где, как и сколько рубить, какие лесные участки требуют ухода за лесом, где создавать культуры в устраиваемом лесном массиве и других прежде всего используют таксационные описания.

### 3. История развития лесной таксации

Лесная таксация как наука неотделима от других лесных наук и практики лесного хозяйства. Продукцию леса всегда требовалось учитывать: измерять, взвешивать, обмерять, что предполагает использование таксационных методов. Поэтому историю таксации леса следует рассматривать в увязке с развитием лесного хозяйства и лесопользования. Обзорение мы начнем с описания развития леса и лесопользования на территории нашей страны.

История лесного хозяйства восходит к доисторическим временам. Потребление древесины, использование пищевых продуктов леса и дичи на территории Беларуси началось с появлением первых поселений среди лесов, то есть после отступления последнего ледника. Это произошло примерно 8–10 тыс. лет назад. Известно, что последний ледник на территории Беларуси достиг своего максимума, то есть районов нынешних Гродно, Вилейки, Орши, около 18 тыс. лет назад. После его отступления через 3 тыс. лет территория Беларуси представляла собой степную тундру. Такое сочетание растительности, когда на одной территории произрастали степные и тундровые растения, нигде и никогда больше не повторилось.

Лесная растительность у нас появилась, когда климат сильно изменился, что произошло в мезолите (4–10 тыс. лет до н. э.). В это время люди уже здесь жили, хотя в небольшом количестве. В шестом тысячелетии до н. э. климат стал теплее нынешнего. Вся местность покрылась лесами, появилось много диких животных, птиц, рыб. По имеющимся оценкам территория современного белорусского государства была покрыта лесом на 85–90 %. Остальные земли занимали открытые болота и воды.

Первое, что использовал человек в лесу, – это растительные пищевые продукты и дичь. В мезолите и в раннем неолите основными источниками пищи были охота и собирательство.

С развитием скотоводства и земледелия на территории Беларуси (поздний неолит) значение «даров леса» уменьшилось, но не исчезло. Постепенно увеличилось пользование древесиной, так как появились постоянные большие жилища из дерева. Дерево шло и на различные поделки: соху, лопату, лестницу, разные емкости и т. д. На это употребляли в основном хвойные породы деревьев, потому что они достаточно прочны и легки в обработке. Впоследствии начали строить деревянные укрепления.

Во все времена правовое регулирование осуществлялось лишь в отношении тех ресурсов, которые находились в дефиците. Но даже в период Киевской Руси древесина еще не стала дефицитным товаром. Мы не встречаем ограничений на ее заготовку. Различного рода запреты имеются в документах того времени на охоту, бортничество, углежжение, выпас скота. За последнее плата стала взиматься с XII в.

Н. М. Карамзин в труде «История государства Российского» пишет (глава III), что в своде законов «Русская правда», принятом князем Ярославом Мудрым, указывалось: «За бобра,

украденного из воды, определяется 12 гривен пени», а также: «Кто стянет бортные знаки или запашет межу полевою, или перегородит дворовую, или срубит бортную грань, или дуб граничный, или межевой столб, с того взять в казну 12 гривен». Отметим, что 12 гривен были большие деньги. Этой суммой определялся ущерб за удар мечом или уничтожение лошади. К примеру, за «рану легкую» полагалось уплатить 3 гривны. Такие же суммы штрафа были за уничтожение сетей птицелова, за сокола или ястреба. Древесина в этом документе упоминается лишь в контексте воровства готовых дров во дворе, где за каждый воз дров или сена полагался штраф 9 кун в казну, а хозяину за каждый воз по две ногаты.

С XII в. стала взиматься плата за выпас скота, охоту, бортничество – «медовый налог». Такое положение вполне объяснимо тем, что во все времена правовое регулирование осуществлялось лишь в отношении тех ресурсов, которые находились в дефиците.

Выше уже упоминалось, что лесная таксация как наука начала интенсивно развиваться тогда, когда появился рынок древесины и она стала товаром. Продаваемый лес необходимо было учесть и оценить. Для своего времени это было непросто. Приведем здесь отрывок из романа Л. Н. Толстого «Анна Каренина», чтобы лучше уяснить смысл оценки леса помещиками и купцами в XIX в. Беседуют К. Левин и С. Облонский (часть 2, глава XVI).

Левин: «А ты так уверен, что ты понимаешь всю грамоту о лесе. Она трудная. Счел ли ты деревья?»

– Как счесть деревья? – смеясь, сказал Степан Аркадьевич...»

– «Сочешь пески, лучи планет, хотя и мог бы ум высокий».

– Ну да, а ум высокий Рябинина (купец, покупатель леса – прим. автора) может, и ни один купец не купит не считая, если ему не отдают даром, как ты. Твой лес я знаю. Я каждый год там бываю на охоте, и твой лес стоит пятьсот рублей чистыми деньгами (за десятину – прим. автора), а он дал тебе двести в рассрочку. Значит, ты ему подарил тысяч тридцать».

– Ну, полно увлекаться, – жалостливо сказал Степан Аркадьевич, – отчего же никто не давал?

– Оттого, что у него стачки с купцами: он дал отступного... Ведь это не купцы, а барышники. Он и не пойдет на дело, где ему предстоит десять, пятнадцать процентов, а он ждет, чтобы купить за двадцать копеек рубль...»

Из этого краткого отрывка видно, что великий писатель в XIX в. прекрасно понимал значение учета леса, то есть важность лесной таксации. Впервые упоминание о необходимости учета древесины и ее охраны от несанкционированной вырубке появились на нашей территории в указе Сигизмунда II Августа в 1567 г. К этому времени леса начали активно рубить в связи с ростом городов и увеличением численности населения.

В то же время практически до середины XVIII в. при продаже древесины использовались относительно примитивные методы ее учета. Так, крупные партии леса передавали покупателю по площади, а малые – по числу стволов, подразделяя их на крупные и средние, а тонкомер в расчет не принимали. Описание простейших приемов учета лесоматериалов, а также запасов древесины на пробных площадях (пробах) встречается в книгах по лесоводству лишь с первой четверти XVIII в.

Лесная таксация в России, в состав которой вошла Беларусь по трем разделам Польши (1772, 1792, 1793), начала интенсивно развиваться с первых десятилетий XIX в. В России началом лесоустройства и таксации леса считается 1830 г. Именно тогда вышла первая инструкция «Об управлении по лесоустройству лесной части на горных заводах Уральского хребта». С 40-х гг. XIX в. начались регулярные работы по учету казенных и частных лесов России. Большое влияние на развитие лесной науки оказало создание «Лесного общества» и издание «Лесного журнала» (1870–1880).

Профессор В. К. Захаров в 1967 г. выделил три этапа развития лесной таксации.

В этом ряду первым было математическое направление, которое зародилось в XVIII в. Здесь господствовала немецкая школа форстматематиков. Ученые пытались создать универсальные

формулы для разрешения всех вопросов теории и практики лесной таксации. Это направление оказалось несостоятельным, так как биологическая природа объектов таксации и большая их изменчивость во времени под влиянием различных факторов не позволили выразить их развитие заранее установленными математическими формулами. По форме научного исследования – это метод дедукции (переход от общего к частному), характерный для математики.

Второй период характеризуется накоплением значительного эмпирического материала с использованием методов статистики, вычислением средних величин и установлением некоторых зависимостей между отдельными признаками. Это индуктивный метод, то есть восхождение от частных знаний к общим. Он начался в конце XVIII в., продолжался на протяжении всего XIX и в начале XX в., вплоть до советского периода.

Данное направление оказалось более плодотворным, чем математическое. Оно обеспечило накопление значительного фактического материала по таксационной характеристике отдельных деревьев и насаждений с составлением разных вспомогательных таблиц для использования их в практике лесного хозяйства. В частности, в 1846 г. в Баварии были составлены первые массовые таблицы объемов древесных стволов в зависимости от диаметра и высоты, получившие широкое распространение. Кроме того, появился ряд пособий по лесной таксации.

Отрицательной стороной этого направления явилось то, что в погоне за количеством опытного материала уделялось недостаточное внимание углубленному качественному его анализу, изучению закономерных связей между наблюдаемыми явлениями и фактическими данными.

Первая русская лесотаксационная литература была представлена преимущественно переводами немецких учебников, малопригодных для русских лесов. В 1840 г. опубликована оригинальная работа русского таксатора А. Варгаса де Бедемара «Исследование запаса и прироста насаждений С. – Петербургской губернии», выполненная с большим знанием и определившая на полстолетия работы подобного рода европейских авторов. Работа А. Варгаса не потеряла своего значения и до настоящего времени. За период с 1841 до 1878 г. появился ряд учебников и пособий по лесной таксации как переводных, так и отечественных: Ф. К. Арнольда, М. К. Турского и др.

Недостатки математического направления вызвали к жизни бурное развитие индуктивных методов, получивших широкое распространение в России со второй половины XX в. Возросло значение экспериментального материала, собираемого в большом количестве.

Этот второй этап связан с именем профессора А. Ф. Рудзского, который в 1880 г. опубликовал статью, решительно осуждавшую стремление немецких ученых лесоводов превратить лесную таксацию в лесную математику. Наряду с правильными суждениями в статье содержался ряд ошибочных трактовок о роли теории в лесной таксации: придавалось решающее значение практике. Последовательно проводя в жизнь свои взгляды, А. Ф. Рудзский издал в 1880 г. «Пособие для лесничих и лесовладельцев» и книгу «Лесная таксация», которая содержала лишь таблицы для таксации леса с пояснением о порядке их использования. Ошибочная оценка А. Ф. Рудзским роли теории в лесной таксации отрицательно повлияла на развитие отечественной лесотаксационной науки и вызвала длительный ее застой.

Несмотря на некоторые недостатки, второй этап развития таксации оказался плодотворным. В этот период было проведено накопление большого количества экспериментального материала, что позволило разработать первые массовые (объемные) таблицы (1846 г., Бавария). Появились новые учебники по лесной таксации.

Широкое развитие получила русская лесотаксационная наука в начале XX в. Из работ этого периода отметим следующие достижения:

1) удельные массовые таблицы объема и сбег древесных пород, составленные А. Крюденером (1913), общий объем – 20 томов;

2) массовые таблицы для стволов сосны по бонитетам, разработанные М. М. Орловым и Б. А. Шустовым (1912);

3) таблицы хода роста сосновых насаждений Архангельской губернии и еловых насаждений Северо-Восточной европейской части России, разработанные А. В. Тюриным (1913–1916);

4) таблицы хода роста порослевых дубовых насаждений южной России, разработанные Б. А. Шустовым (1914);

5) закон формы древесных стволов и всеобщие таблицы видовых чисел, разработанные М. Е. Ткаченко (1911) и ряд исследований других авторов.

Третий период развития лесной таксации наступил в годы советской власти, примерно с первой половины 20-х гг. XX в. Он характеризуется широкой разработкой теоретических положений в тесной увязке теории таксации с запросами производства. Еще в дооктябрьский период лесное хозяйство начало предъявлять повышенные запросы к точности учета леса на корню и в заготовленном виде, что в свою очередь требовало развития теории лесной таксации.

В этот период были разработаны методы учета заготовленной лесопродукции в соответствии с требованиями ГОСТ на отдельные сортименты. Осуществлен переход учета всей древесины на метрические меры и составлены многочисленные таблицы для таксации леса на корню. Активно изучался ход роста насаждений и др. Для нужд лесной промышленности предложены методы промышленной сортиментации леса на корню, отсутствовавшие в дореволюционный период. Обоснованы эффективные методы учета лесных ресурсов на обширных территориях с использованием выборочного метода и применением лесной аэрофотосъемки и аэротаксации. Широкое внедрение в практику лесотаксационных научных исследований получили методы математической статистики, обеспечивающие получение научно обоснованных результатов исследования при заранее установленном числе наблюдений. Внедрение в производство результатов многочисленных исследований оказало положительное влияние на организацию лесного хозяйства.

Литература по лесной таксации в советский период обогатилась выпуском большого числа учебников и научно-исследовательских работ. Особо отметим, что в 1923 г. вышел в свет капитальный труд профессора М. М. Орлова «Лесная таксация» (переиздавался в 1925 и 1929 гг.), обобщающий и подытоживающий научные достижения в области теории и практики как в нашей стране, так и в Западной Европе.

В 1927 г. профессором Г. М. Турским был издан учебник «Лесная таксация». В 1938 г. вышел в свет учебник «Таксация леса», написанный профессором А. В. Тюриным. Он переиздан в 1945 г. Необходимым дополнением к перечисленным учебникам являются лесотаксационные справочники профессоров М. М. Орлова (7 изданий); А. В. Тюрина, И. М. Науменко и П. В. Воропанова (2 издания); Н. В. Третьякова, П. В. Горского и Г. Г. Самойловича. В области изучения закономерностей в строении насаждений необходимо отметить работы А. В. Тюрина, а также Н. В. Третьякова, В. К. Захарова, Ф. П. Моисеенко и др.

В 1931 г. изданы «Массовые таблицы для основных древесных пород». Работа по их подготовке выполнялась по специальному правительственному заданию. Авторами таблиц явились профессора: Д. И. Товстолес, В. К. Захаров, Б. А. Шустов и А. В. Тюрин.

Особое место в истории лесной таксации, лесоустройства и всей лесной науки занимает профессор Санкт-Петербургского лесного института М. М. Орлов. Именно его усилиями с начала XX в. лесная таксация приобрела тот облик, который мы видим. Большое влияние на всю лесную науку и особенно практику лесоустройства оказала разработанная М. М. Орловым бонитетная шкала. В первой половине XX в. классификацию насаждений по бонитетам противопоставляли лесной типологии, разработанной профессором Г. Ф. Морозовым. М. М. Орлов и Г. Ф. Морозов были научными оппонентами, но уважительно относились

друг к другу. Их сторонники в 20-е гг. разделились на «типиков» (морозовцев) и «антипиков» (орловцев) по воспоминаниям Ф. П. Моисеенко. Некоторые известные ученые-таксаторы – «антипики» старшего поколения – даже в 70–80-е гг. XX в. критически относились к классификации древостоев по типам леса при составлении таблиц хода роста, например, профессор К. Е. Никитин. Время все расставило по местам – уже с 50-х гг. прошлого века типы леса и классы бонитета мирно сосуществуют, дополняя друг друга и занимая свою законную нишу в стройном здании лесной науки.

В послевоенное время развитие лесной таксации значительно ускорилось. В 1952 г. выпущен учебник «Лесная таксация» академика Н. П. Анучина. Выполнено много работ по исследованию хода роста насаждений, авторами которых были А. В. Тюрин, И. М. Науменко, М. В. Давидов, В. К. Захаров, Ф. П. Моисеенко и др.

По отдельным республикам и краям были составлены массовые таблицы местных древесных пород. Для сортиментации леса на корню разработан ряд сортиментных и товарных таблиц. Их авторами стали Н. П. Анучин, Ф. П. Моисеенко, Н. В. Третьяков и П. В. Горский и др. Получил широкое освещение вопрос о применении математической статистики в лесной таксации (работы профессора А. И. Кондратьева, В. К. Захарова, А. В. Тюрина, Ф. П. Моисеенко и др.).

И. М. Науменко проработал вопросы прироста насаждений. Н. П. Анучин впервые внес в теорию таксации леса номографический метод. В области разработки методов аэрофото съемки и внедрения ее в производство следует отметить ведущую роль профессора Г. Г. Самойловича.

Научно-исследовательскими институтами лесного хозяйства и лесными вузами выпущены многочисленные сборники научных трудов, охватывающие также вопросы теории и практики лесной таксации.

Три этапа развития лесной таксации, которые выделил В. К. Захаров, завершились в 60-е гг. XX в. Надо отметить, что между отдельными периодами никогда не было резкого перехода. Один период переходил в другой постепенно, и переходный этап растягивался на 5–15 и более лет. При этом новый период развития в полном соответствии с законом отрицания «снял» с предыдущего все лучшее.

В послевоенные годы начался и продолжался до 70-х гг. XX в. четвертый этап в развитии лесной таксации. Он характеризовал углубленным изучением древесного прироста и хода роста древостоев. Были значительно усовершенствованы методы товаризации древостоев. Все успехи в развитии лесной таксации связаны с именами ведущих ученых СССР.

В довоенное время и до 60–70-х гг. лидерами лесной таксации в нашей стране были академик Н. П. Анучин (МЛТИ) и профессора: А. В. Тюрин (ВНИИЛМ), В. К. Захаров (БЛТИ), Ф. П. Моисеенко (БелНИИЛХ), М. В. Давидов, К. Е. Никитин (УСХА), И. М. Науменко (ВЛТИ), М. Л. Дворецкий (ПЛТИ), Н. В. Третьяков, С. В. Белов, Г. Г. Самойлович (все ЛТА), П. В. Воропанов (БрТИ), В. И. Левин (АЛТК) и др.

С 70-х гг. начался пятый этап развития таксации. Этому времени была характерна быстрая компьютеризация лесного хозяйства. Применение компьютеров внешне выглядело как ускорение вычислительных работ, на самом деле компьютеры позволили сделать качественный скачок: появилась возможность обрабатывать огромные массивы информации, строить сложные математические модели.

Это привело к принципиально новым результатам в исследовании товарности древостоев (профессор А. Г. Мошкалев (ЛенНИИЛХ, ЛТА)). Новые подходы появились в исследовании хода роста и прироста: профессора В. В. Антанайтис (ЛитСХА), К. Е. Никитин (УСХА), В. В. Загреев (ВНИИЛМ), С. С. Шанин, Э. Н. Фалалеев (СибТИ) и др. Детально изучены искусственные леса: профессора В. В. Успенский (ВЛТИ), Л. Ф. Ипатов (АЛТИ), В. И. Рубцов (ВЛТИ) и др.

Большую работу по применению статистических методов таксации леса провели профессора А. Н. Федосимов, В. С. Чуенков (оба из ВНИИЛМа), А. З. Швиденко (УСХА), А. Кулешис (ЛитНИИЛХ) и др. Эти методы базируются на широком применении вычислительной техники и глубоком математическом анализе.

Выполнены значительные лесотаксационные исследования лесов на региональном уровне: Север Европейской части СССР – профессора И. И. Гусев, Л. Ф. Ипатов, доценты О. А. Неволин, Г. А. Войнов; Урал – профессора М. И. Гальперин, Е. П. Смолоногов; Сибирь – профессора П. М. Верхунов, С. С. Шанин, Э. Н. Фалалеев, В. В. Кузьмичев, И. В. Семечкин и др.; Кавказ – Г. Е. Комин, И. А. Гогошидзе, Т. Г. Чихладзе, Г. С. Дзедзисашвили; Казахстан – В. М. Кричун, А. А. Гурский, А. А. Макаренко и др.; Дальний Восток – профессора С. А. Шавнин, А. С. Шейнгауз; Прибалтика – профессора В. В. Антанайтис, А. А. Кулешис, И. И. Кенставичюс, Р. А. Юкнис, Р. Делтувас, А. Б. Тябьяра, А. А. Вянцкус, И. И. Матузанис, А. Нильсон и др.; Центр Европейской части России – профессора Е. С. Мурахтанов, Ф. В. Кишенков, Н. Н. Свалов, А. В. Вагин, доценты Ф. И. Садовничий, А. В. Богачев, Н. Н. Гусев, М. Н. Неруш и др.; Черноземная часть России – профессора В. В. Успенский, В. А. Бугаев, А. А. Лозовой и др.; Украина – профессора М. В. Давидов, К. Е. Никитин, А. З. Швиденко, С. Н. Козьяков, Е. И. Цурик, П. И. Лакида, С. М. Миклуш, доценты С. Н. Кашпор, Б. С. Дзядзевич, Ю. И. Савич, В. К. Поляков и др.

С конца 70-х и в 80-е гг. получили очень сильное развитие дистанционные методы таксации леса, ускорилась разработка биологического обоснования таксационных закономерностей и значительно расширились объекты исследования. Все это базировалось на использовании математических методов. Дистанционные методы, которые начали развиваться еще в 20-е гг. XX в., получили широкое внедрение в практику благодаря трудам Г. Г. Самойловича, С. В. Белова и др. В 70–80-е гг. лидером этого направления стал профессор В. И. Сухих. Под его руководством нашими учеными разработаны методы автоматизированного дешифрирования аэроснимков, позволившие устроить обширные лесные территории Сибири, где в ближайший ревизионный период не планировалось лесопользование. Они протаксированы методом камерального дешифрирования с приемлемой точностью.

Новые подходы к оценке таксационных параметров древостоев обосновали профессора В. В. Кузьмичев, А. З. Швиденко, О. А. Атрощенко; доценты В. В. Севастьянов, Г. Б. Кофман и др. Глубокое проникновение в биологическую сущность закономерностей динамики и продуктивности древостоев мы находим в работах профессоров В. В. Чуенкова, И. В. Семечкина, В. Ф. Лебкова, С. А. Дыренкова и др.

Важную роль в изучении фитомассы деревьев и древостоев сыграл профессор В. А. Усольцов. Его капитальные исследования фитомассы древостоев России и Евразии являются весьма значительным вкладом в теорию и практику. В этом же направлении весьма плодотворно работает профессор П. И. Лакида, который вывел закономерности и модели динамики фитомассы и всей продуктивности древостоев. Их значение выходит далеко за пределы лесов Украины, на материале которых выведены модели.

В 70-е гг. началось интенсивное изучение смешанных древостоев, где установлены новые закономерности их динамики и продуктивности (академик Л. А. Кайрюкштитс, профессора В. С. Чуенков, В. Ф. Багинский и др.). В этот же период было доказано, что динамика древостоев зависит от типов роста (профессора М. В. Давидов, В. В. Загреев).

На новый уровень было поднято изучение товарности насаждений. Здесь революционный переворот в 30–40-е гг. совершил профессор Ф. П. Моисеенко, а в 70–80-е гг. наиболее значительное развитие вопросы товаризации насаждений получили в трудах профессора А. Г. Мошкалева и его учеников А. А. Книзе, Г. М. Давидова, Л. Н. Яновского. Ими выявлены новые закономерности в товарной структуре древостоев и предложены методы составления сортиментных и товарных таблиц.

Существенно пополнили наши знания о строении, динамике и продуктивности молодняков профессора В. С. Моисеев, Л. Ф. Ипатов, В. В. Успенский, В. К. Поляков, В. Ф. Багинский, И. И. Григалюнас, Ю. И. Савич и др.

Значительное развитие лесная таксация получила в зарубежных странах. В учебниках всегда повторяются имена немецких, шведских, австрийских (в том числе венгерских, так как до 1919 г. Венгрия и Австрия составляли одно государство) ученых XIX в. и первой половины XX в.: Вейзе, Фекете, Шиффеля, Мааса, Герхардта, Шваппаха, Губера, Смалиана, Госфельда, Рикке и др.

В послевоенное время особо следует отметить австрийского ученого профессора В. Биттерлиха, сделавшего переворот в измерительной таксации леса. Большой вклад в лесотаксационную науку внесли М. Продан, Ш. Парде, Э. Эртельд, Е. Асманн, Ф. Франц, Ю. Гроховский, Т. Смит, П. Килкки, О. Диттмар, И. Бекинг, Ф. Корсунь, У. Крамер, Е. Гибсон и др. Особенно значим их вклад в моделирование лесоводственных и лесотаксационных закономерностей.

В конце XX в. и в первом десятилетии нашего века ряд причин (уход из жизни ряда крупных ученых: Н. П. Анучина, Ф. П. Моисеенко, А. Г. Мошкалева, К. Е. Никитина, М. В. Давидова, В. В. Успенского, В. С. Чуенкова, В. В. Загреева, П. М. Верхунова и др.; отход от активной работы в силу возраста В. В. Антанайтиса, Е. С. Мурахтанова, В. А. Бугаева и др.) привели к тому, что лесотаксационные исследования в Европейской части бывшего СССР ослабели. Зато значительно усилились исследования в Сибири и на Дальнем Востоке (профессора И. В. Семечкин, В. В. Кузьмичев, В. А. Соколов, М. А. Данилин, А. Е. Тетенькин, Н. В. Выводцев, В. В. Голиков, В. И. Седых, Р. А. Зиганиши и др.).

Большой вклад в развитие методов лесной таксации внесли белорусские ученые и практики. В 1842–1847 гг. проводилось первое лесоустройство лесного фонда Беловежской пуши. В начале XX в. белорусские леса становились объектом исследований ученых из Санкт-Петербурга (профессор П. Н. Вереха и др.), но самостоятельной лесной науки в Беларуси до советской власти не было.

Зарождение лесной науки в Беларуси относится к 1922 г. У ее истоков стояли академик Г. Н. Высоцкий, профессора В. И. Переход, В. В. Шкателов, С. П. Мельник, Л. И. Яшнов, А. В. Костяев, А. Д. Дубах и др. В этой славной когорте ученых мы видим и имена наших известных таксаторов – профессоров Д. И. Товстолеса, А. И. Кондратьева, В. К. Захарова. Со второй половины 20-х гг. к ним присоединяется Ф. П. Моисеенко.

Первые лесоустроительные работы в Беларуси начаты в 1924 г. преподавателями и студентами лесохозяйственного факультета Минского института сельского и лесного хозяйства. Проведено лесоустройство Верейцовского лесного массива – учебной базы института. Лесоустройство и таксация лесов выполнялась студентами старших курсов под руководством профессоров Д. И. Товстолеса, Г. Н. Высоцкого и В. И. Перехода. В 1939 г., когда было организовано Всесоюзное объединение «Леспроект», в Беларуси началось повторное лесоустройство.

С конца 20-х и начала 30-х гг. XX в. интенсивно разрабатываются нормативы для проведения таксации лесов республики. И. Д. Юркевич и В. С. Гельтман предложили классификацию типов леса Беларуси. Ф. П. Моисеенко составил сортиментные таблицы для учета леса на корню. Они выдержали четыре переиздания и применяются до сих пор. Им также опубликованы таблицы хода роста для еловых и дубовых древостоев. В. К. Захаров обосновал теорию единства и постоянства формы древесных стволов при анализе ее по относительным высотам, В. Е. Ермаков составил таблицы хода роста и продуктивности насаждений по типам леса.

Коллектив кафедры лесоустройства БТИ (В. К. Захаров, В. С. Мирошников, В. Е. Ермаков, О. А. Атрощенко, Д. В. Михнюк) занимался исследованиями формы древесных стволов, составлены таблицы объема и сбегу древесных стволов, видовых чисел, строения, роста, производительности и товарности древостоев. Лесотаксационный справочник сотрудниками этого института (ныне университета – БГТУ) издавался несколько раз.

В. К. Захаров принимал активное участие в разработке первых советских объемных таблиц (1931) и составил таковые для ели. О. А. Труль издал таблицы относительного прироста древостоев Беларуси. В. С. Мирошников и О. А. Труль составили местные таблицы хода роста сосновых и еловых насаждений, О. А. Атрощенко – хода роста и товарности березовых древостоев.

Большой вклад в развитие лесной таксации внесли ученые Института леса НАН Беларуси (до 01.01.1992 г. – БелНИИЛХ). Уже в довоенное время профессор Ф. П. Моисеенко на основе своих теоретических исследований формы ствола и строения древостоев по коэффициентам формы разработал новый принцип и структуру построения сортиментных таблиц, которыми мы пользуемся до сих пор. Он же впервые доказал, что прирост древостоев изменяется не пропорционально уменьшению полноты, а имеет более сложную связь с этим показателем.

В 30-е гг. прошлого века значительный вклад в развитие лесной таксации внесли также Ф. П. Михневич, А. Н. Мурашко, В. Н. Дракин и Д. И. Вуевский. Формула двух последних авторов (формула Дракина и Вуевского) на несколько десятилетий стала основной при описании динамики древостоев. К сожалению, талантливый молодой ученый Д. И. Вуевский погиб на фронте во время Великой Отечественной войны.

В послевоенное время сформирована научная школа Ф. П. Моисеенко: профессора В. Д. Арещенко, В. Ф. Багинский, кандидаты наук В. И. Мироненко, Л. Н. Толкачев и др., – которая внесла весомый вклад в лесную таксацию.

В. Ф. Багинский впервые издал нормативы для таксации леса в Белорусской ССР (1984), где привел обширный материал в виде лесотаксационных таблиц строения, хода роста и производительности насаждений основных древесных пород, товарные и сортиментные таблицы, нормативы для лесоинвентаризации, характеристику лесного фонда, таблицы прироста деревьев и древостоев. Этот справочник в 1984 г. был официально утвержден Минлесхозом БССР и Гослесхозом СССР в качестве нормативного документа для таксации белорусских лесов. Многие нормативы, приведенные в этом справочнике, действуют до сих пор.

Выпущены монографии «Повышение продуктивности лесов» (В. Ф. Багинский) и «Лесопользование в Беларуси» (В. Ф. Багинский и Л. Д. Есимчик). Последняя книга заслужила премию НАН Беларуси за 1997 г.

Большое внимание в Институте леса уделяли таксационному изучению смешанных древостоев. Установлены многие закономерности их роста, строения и продуктивности. В. Ф. Багинским предложена типизация строения и пространственной структуры древостоев. В 2007 г. вышла монография «Комплексная продуктивность земель лесного фонда» (авторы – В. Ф. Багинский, Л. Д. Есимчик, В. В. Гримашевич, А. Д. Самусев, И. В. Ермнина, Ф. Ф. Бурак, О. В. Лапицкая, З. Г. Валова и др., под ред. В. Ф. Багинского). В этой книге, явившейся результатом 30-летней работы, приведена полная продуктивность насаждений в разрезе типов леса: древесина ствола, ветви, зелень, недревесная продукция, экологические полезности и т. д. Показана также продуктивность земель, не покрытых лесом и не лесных в пределах лесного фонда. Такой справочник является уникальным, так как подобного в других странах нет.

Исследования по лесной таксации в настоящее время успешно продолжают в БГТУ, Институте леса НАН Беларуси, Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины.

Обобщая изложенное, отметим, что развитие лесной таксации, как и всей лесной науки, тесно связано с историей лесного хозяйства. Лесная таксация имеет давнюю и богатую историю, насчитывающую столетия. В настоящее время эта наука весьма востребована, она находится на подъеме и на новом этапе своего развития.

#### 4. Перспективы развития лесной таксации

Ряд положений лесной таксации уже относительно устоялись. Это дало повод одному из крупных ученых-таксаторов Н. П. Анучину в середине 70-х гг. прошлого века заявить, что лесная таксация как наука идет к своему закату и скоро изживет себя как элементарная география.

Но этот ученый ошибся. Лесная таксация как наука продолжает постоянно развиваться. Расширяется сфера применения лесной таксации, особенно на стыке с лесоводством, лесными культурами, экономикой лесного хозяйства. Внедряются современные технические средства, приводящие к изменению технологий применения методов этой дисциплины. Новые приборы и оборудование, созданные на основе IT-технологии, требуют нового осмысления ранее установленных закономерностей.

Многие традиционные проблемные понятия лесной таксации, такие как полнота древостоя, бонитет и другие, рассматриваются сегодня с новых позиций с учетом достижений биологии, лесоведения и решаются на основе математического моделирования.

В настоящее время, помимо наземных способов, при таксации леса широко используют дистанционные методы, включая аэро- и космическую съемку. Это направление быстро развивается и дает большой экономический эффект.

В настоящее время в условиях рыночной экономики очень важно знание экономических законов ведения лесного хозяйства. На первый план выходят проблемы оптимизации при реализации древесины, получение максимальной прибыли от лесного хозяйства. Здесь лесная таксация дает незаменимую информацию для расчетов, вступает в тесные связи с экономикой лесного хозяйства, их часто рассматривают как единое целое. Известные ученые-таксаторы часто являлись крупными экономистами, и наоборот (М. М. Орлов, Н. П. Анучин, Н. А. Моисеев, А. Г. Мошкалев, В. В. Антанайтис, Ф. П. Моисеенко, А. Д. Янушко, В. Д. Арещенко и др.). Перспективы развития лесной таксации на стыке с экономикой безграничны.

Лесная таксация, хотя и применяет специфические методы исследования, но своим объектом имеет лес, который так, как и другие биологические объекты, для процесса познания практически бесконечен, что дает безграничную перспективу для развития дисциплины, и эта перспектива просматривается очень ясно, отчетливо. Основными направлениями в таксации являются изучение смешанных и сложных насаждений как важных элементов биологического разнообразия лесных экосистем, использование математического моделирования для описания основных закономерностей строения и динамики древостоя, а также оптимизация динамики роста древостоя.

---

---

## Глава 1

# ТАКСАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ЛЕСОТАКСАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

---

---

1.1. Принципы измерений. Измерительные системы и шкалы. Единицы и ошибки измерений.

1.2. Лесотаксационные измерения в практике лесного хозяйства.

1.3. Классификация приборов и инструментов.

1.4. Основные лесотаксационные приборы и инструменты.

---

---

### 1.1. Принципы измерений. Измерительные системы и шкалы. Единицы и ошибки измерений

#### 1.1.1. Принципы измерений

Изучение методов лесных измерений является основой курса лесной таксации. В связи с этим рассмотрим некоторые теоретические предпосылки, характеризующие измерения как метрологические действия, опирающиеся на учение о мерах. Вопрос о лесотаксационных измерениях в настоящее время изучен достаточно полно. В наибольшей мере он нашел отражение в учебном пособии «Лесная таксация» О. А. Атрощенко, которое использовано при изложении настоящей главы.

**Измерением** принято называть действие, устанавливающее численное отношение между измеряемой величиной и заранее выбранной единицей измерения, которую нередко называют масштабом или эталоном.

Измерение является одной из древнейших операций, применяемых человеком в общественной практике. С развитием человеческого общества измерения приобретают все большее значение в разных областях производства, техники и науки. Удовлетворение многообразных потребностей общества немислимо без использования измерений в его различных формах. Весы, часы, термометры, барометры и другие измерительные приборы и инструменты находят самое широкое применение в нашей повседневной практике.

В современном производстве и науке большую роль играют высокоточные измерения. Соединение измерительных и регулирующих устройств позволяет автоматизировать ряд производств. Измерения имеют большое значение в развитии разных областей науки. Еще в XIX столетии Д. И. Менделеев писал: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немислима без меры».

Роль точных измерений особенно возрастает в наши дни. Овладение космосом, запуски космических кораблей, достижения в области биотехнологий и т. д. стали возможными в результате точных измерений и основанных на них расчетов. В естествознании измерения служат материалом для вскрытия законов изучаемых явлений. В научных дисциплинах законы формируются математически на основании измерений. Создание сложных компьютеров явилось базой для реализации результатов точных измерений.

Наиболее простыми являются единичные измерения. При единичном измерении мы получаем число, являющееся относительной величиной. Получение совокупности от такого рода единичных измерений является предварительной стадией в решении того или иного научного вопроса.

Измерения делятся на прямые, косвенные и совокупные.

**Прямыми** называют такие измерения, при которых результат получается непосредственно в процессе измерения. Примером прямого измерения является измерение длины предмета посредством прикладывания к нему градуированной линейки.

Являясь наиболее простыми, прямые измерения осложняются в тех случаях, когда требуются их выполнить с большой точностью. Тогда приходится определять погрешность измерительных приборов и находить все условия их применения.

**Косвенными измерениями** называют такие, которые получаются на основании прямых измерений нескольких величин, связанных с искомой величиной некоторыми уравнениями, дающими возможность вычислить значение последней по экспериментальным данным.

Косвенные измерения аналитически могут быть представлены уравнением  $y = F(x_1, x_2, x_3, \dots)$ , где  $y$  – искомое значение косвенно измеряемой величины;  $F$  – знак функциональной зависимости;  $x_1, x_2, x_3$  – значения величин, найденных при помощи прямых измерений.

Косвенные измерения в лесной таксации находят применение при выявлении показателей, характеризующих форму древесных стволов. Эта величина ( $f$ ) представляет собой отношение объемов стволов ( $V_{\text{ств}}$ ) и цилиндра, имеющих одинаковую высоту ( $h$ ) и диаметр на высоте 1,3 м ( $d$ ). Определяя объем цилиндра как  $gh$ , а объем ствола по отдельной методике, находим  $V = ghf$ . Здесь путем прямых измерений находим  $d$  и  $h$ , а  $f$  получаем косвенным путем.

**Совокупными измерениями** называют такие, при которых искомые величины определяют из совокупности прямых измерений и ряда вычислений, выполняемых по соответствующим уравнениям. Этот вид измерений находит применение чаще всего в лабораторной практике.

Результат совокупных измерений находят путем решения системы уравнений, коэффициенты в которых получены обычно прямыми измерениями. В последнее время совокупные измерения делят на следующие виды:

- собственно совокупные – одновременно измеряют несколько одноименных величин, например: диаметры на относительных высотах – результат – сбеги ствола;
- совместные – измеряют несколько разноименных величин – диаметры, высоты по стволу, результат – выход сортиментов.

Современные измерения основываются на известных уравнениях, отражающих существующие в природе связи между свойствами объектов (величинами), а совокупные – на уравнениях, отражающих произвольное комбинирование объектов с измеряемыми свойствами. Примером совместного измерения может быть определение объема ствола срубленного дерева по сложной формуле среднего сечения:

$$V = l(\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots + \gamma_n) + \gamma_{\text{вер}},$$

где  $\gamma_i$  – площади поперечных сечений отрезков, имеющих длину  $l$ .

Всякое измерение непосредственно связано с погрешностями, обусловленными целым рядом факторов. Для приближения результата измерения к действительному значению измеряемой величины разработаны методики, выявляющие возможные источники погрешностей.

Если значение погрешности измерения и ее знак известны, то приближение к действительному значению измеряемой величины осуществляется путем сложения поправки с наблюдаемым значением величины. В тех случаях, когда погрешность имеет оба знака (плюс и минус), она характеризует возможную максимальную погрешность измерения.

Величина погрешностей для отдельных приборов и инструментов обычно предусматривается соответствующими стандартами, устанавливаемыми на эти приборы и инструменты. В развитии технического прогресса огромное значение имеют автоматические измерения, производимые без непосредственного участия человека. Такие простейшие измерительные приборы, как часы, термометр, барометр, пружинные весы, с момента их изобретения являются автоматическими приборами.

К автоматическим относятся все измерения, осуществляемые регистрирующими, визуальными, интегрирующими и другими приборами, воспроизводящими измеряемую величину в виде указания на шкале. При таксации леса, осуществляющей массовые лесные измерения, автоматические приборы и инструменты до сих пор применяются недостаточно, но их внедрение начато и расширяется.

### 1.1.2. Измерительные системы и шкалы

Измерения, выраженные числом, относят к одной из четырех измерительных шкал:

1. **Номинальная шкала** – применяется тогда, когда признаки (идентичные) подсчитывают без оценки их качественного значения. Например, число типов леса подсчитывается на плане лесонасаждений, число деревьев определенной породы считаем без измерения их диаметров, высот и т. д. При обработке можно использовать статистики – моду, критерий Пирсона  $\chi^2$ .

2. **Порядковая шкала** – признаки группируются по порядку, в систему или ряд. Интервалы такой шкалы, как правило, неравны. Например, сортировка бревен, сортиментов: классификация качественных признаков растущих деревьев и т. д. При обработке таких данных ни среднее, ни среднеквадратическое отклонения не могут характеризовать совокупность. Допустимые статистики: мода (наибольшая частота), медиана (средняя), критерий Пирсона  $\chi^2$ , коэффициент ранговой корреляции и процентиля.

3. **Интервальная шкала** – предусматривает равные интервалы. Начало отсчета не находится на нуле, но фиксировано. Это различные температурные шкалы, а также разделение процесса по времени, то есть на дни, недели, месяцы, годы. Интервальная шкала определяет истинное количество, поэтому при обработке допустимо применение средней величины, дисперсии, коэффициента корреляции.

4. **Шкала отношений** – имеет равные интервалы и начало – ноль. Фундаментальные измерительные системы для длины, веса, времени и получаемые от них объемы, запасы, абсолютная температура, влажность основываются на данной шкале. В лесной таксации мы в основном имеем дело со шкалой отношений. Допустимо применение различных статистик для оценки показателей.

Непосредственно измеряемыми являются только три измерения: длина, вес (физическая – масса), время. Остальные данные (площадь, объем и т. д.) получаются на основе этих трех основных измерений. Например, 1 м – это длина. В то же время 1 м<sup>3</sup> – это длина, умноженная сама на себя три раза: 1 × 1 × 1 м. Таким образом, один метр – это основная единица измерения, а 1 м<sup>3</sup> – основная единица измерения объема древесины.

В истории человечества применялись различные единицы измерения. В настоящее время в мире используются две системы измерений: метрическая и британская. Последняя распространена в странах, которые говорят на английском языке.

Хотя лесное хозяйство большинства стран применяет метрическую систему (1 м, 1 м<sup>3</sup> и т. д.), в лесной торговле США, Англии и даже в отдельных государствах Центральной Европы используют британскую систему: дюйм, фут и т. д.

Метрическая система измерений постепенно завоевывает свои права: в СССР она введена в 1926 г., в Индии – в 1960 г., Англия в последние 20 лет пересматривает свои таксационные

таблицы, переводя их в метрическую систему измерений. Соотношение метрической и британской систем измерений представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Составление единицы измерений таксационных показателей в разных системах

Таксационные показатели	Британская система	Метрическая система
Диаметр дерева	1 дюйм	2,54 см
Высота дерева	1 фут	30,48 см
Длина	1 ярд	91,44 см
Длина	1 миля	1,6 093 км
Площадь	1 акр	0,40 469 га
Запас, объем	1 куб. фут	0,0 283 м <sup>3</sup>
Объем	1 куб. ярд	0,7 645 м <sup>3</sup>

Имеются и другие отличия, например, 1000 млн (10<sup>9</sup>) в США называют один биллион, а у нас и в других странах это один миллиард, а биллион – 10<sup>12</sup>. В США термин «миллиард» не используется. В настоящее время осуществлен переход к единой международной системе единиц измерений – системе СИ. Таксационные показатели деревьев и древостоев обозначаются соответствующими символами (таблица 1.2).

Таблица 1.2

Обозначение таксационных показателей

Наименование таксационных показателей	Дерево (ствол)	Древостой
Диаметр	$d$ , см	$D$ , см
Высота	$h$ , м	$H$ , м
Объем (запас)	$V$ , м <sup>3</sup>	запас $M$ , м <sup>3</sup>
Видовое число	$f$	$F$
Сумма пл. сечения	$g$ , м <sup>2</sup>	$G$ , м <sup>2</sup>
Видовая высота	$hf$ , м	$HF$ , м <sup>2</sup>
Объем лесоматериалов		$V$ , м <sup>3</sup>
	<b>Системы измерения</b>	
	<b>Метрическая</b>	<b>Британская</b>
Диаметр	см	дюйм
Площадь сечения	м <sup>2</sup>	кв. дюйм, кв. фут
Высота	м	фут
Объем	м <sup>3</sup>	куб. фут
Запас	м <sup>3</sup>	куб. фут
Объем лесоматериалов	пл. м <sup>3</sup> скл. м <sup>3</sup>	дискový фут куб. фут корд (5 пенев) пен корд 4 × 4 × 8 футов Ширина × высота × длина Дискový фут 12 × 1 × 12 Ширина × толщина × длина

Единицы угловых измерений (градусы, минуты, секунды) не различаются в метрической и британской системах.

Диаметры стволов и их частей у нас измеряют в сантиметрах, причем диаметр растущего дерева принято измерять на высоте груди (1,3 м). В США и Англии диаметр измеряют на высоте 4,5 фута (1,37 м), в Японии – на 1,25 м. Диаметры там измеряют в дюймах.

Площадь поперечных сечений стволов измеряют в сантиметрах квадратных и метрах квадратных. Единицы учета площади лесов – 1 м<sup>2</sup>, 1 ар (100 м<sup>2</sup>), 1 акр (447 м<sup>2</sup>) и 1 га – 10 000 м<sup>2</sup>. В британской системе все измерения проводятся в квадратных дюймах, квадратных футах, в квадратных ярдах и т. д. Кубатуру отдельных стволов или их частей, лесоматериалов оценивают объемом в плотных кубометрах. Плотный кубический метр – объем древесины куба 1 × 1 × 1 м. Складочный кубический метр – штабель круглых лесоматериалов или дров 1 × 1 × 1 м: древесина плюс пустоты

В США распространена единица учета пиломатериалов – досковый фут: длина доски 12 дюймов, ширина – 12 дюймов, толщина – 1 дюйм. Корд – складочная мера учета в США. Это – поленица из отрезков ствола шириной 4 фута, высотой 4 фута и длиной 8 футов (4 × 4 × 8), объемом 128 куб. футов. Объем древесины в штабеле оценивается в пенах. Он представляет собой штабель 6 футов высотой, в котором поленья уложены рядами накрест один к другому. Пять пенов принимаются за один корд.

Количество древесины на 1 га растущего леса (древостоя) называется запасом. Например: запас древостоя – 250 м<sup>3</sup>.

### 1.1.3. Ошибки измерений

Любые наблюдения и измерения могут иметь определенную точность и содержать ошибку, так как истинного значения измеряемой величины мы не можем точно знать – процесс познания бесконечен.

К. Е. Никитин, А. З. Швиденко выделяют следующие ошибки лесоводственной информации:

- ошибки наблюдений и измерений;
- погрешности инструментов и приборов;
- ошибки моделирования;
- ошибки вычислительных операций.

Диаметр дерева изменяется в разных направлениях. К тому же величина измерений зависит от времени суток. Определенную погрешность измерений имеют и инструменты. На ошибку измерений влияет схема выборки и т. д.

В геодезии понятие «ошибка» означает отклонение от «истинного» значения. Это понятие не ассоциируется с идеей «неправильное, ошибочное» измерение, а связано с его «неточностью». Причины такой неточности измерений приведены ниже.

1. *Особенности объекта измерения.* Некоторые физические объекты могут быть измерены более точно, так как они имеют более правильную геометрическую форму и постоянные границы объекта. Объем дерева или его части оценить труднее. Обычно объемы стволов приближают к формулам правильных тел вращения: параболоида, цилиндра, нейлоида. В то же время образующая древесного ствола, особенно растущего дерева, варьирует значительно. Страта леса (совокупность однородных участков) выполняется следующим образом: делают оценку типов леса, а затем организуют страты, объединяя однородные типы леса, возраста насаждений в одну страту. Площадь поперечного сечения ствола принимают за круг, хотя форма ствола может отличаться.

2. *Неточность измерительных инструментов и приборов.* Обычная мерная вилка дает систематическую ошибку в 3 %, точность высотомеров – 0,5–1 м.

3. *Влияние физических и топографических условий на измерения.* Температура, влажность воздуха, погодные условия (солнце, дождь и т. д.) влияют на точность измерений и деформацию инструмента.

4. *Неопределенность в процессе измерений.* Она заключается в том, что измерения диаметров деревьев делают в разных направлениях (север, юг, запад, восток) и группируют в ступени толщины. Проводят округления в показаниях высотомеров и т. д.

5. *Точность человеческого восприятия* – это особенно относится к оптическим приборам: реласкопу, призмам и др.

Многие из перечисленных источников ошибок измерений оценить весьма трудно, а иногда практически невозможно. Но наша задача – выявить различные виды ошибок измерений и их влияние на конечный результат.

Ошибки измерений и наблюдений можно подразделить на следующие виды:

- грубые ошибки – обычно неверная запись результатов. Методом контроля здесь явится повторная проверка записи другими исполнителями;

- односторонние ошибки постоянной величины определенного знака (положительные или отрицательные). Это – систематические ошибки, вызванные неисправностью прибора, недостатком метода, несоответствием математической модели т. д. Так, если мерная вилка имеет большой люфт, то диаметр деревьев занижаются; разорванная и склепанная мерная лента дает завышенную длину линии; простая формула срединного сечения (формула Губера) занижает объем стволов и т. д. Величину систематической ошибки можно оценить и скорректировать результат;

- двусторонние ошибки случайной величины и знака, называемые случайными ошибками, которые порождаются многочисленными факторами и присутствуют всегда, даже при очень точных измерениях. Так, на отсчет по шкале высотомера влияют освещенность, неровности поверхности земли, недостаточное равновесие маятника и др. Случайные ошибки установить в каждом отдельном случае трудно. К. Гаусс в начале XIX в. показал, что случайные ошибки подчиняются закону нормального распределения. Случайные ошибки характеризуются рядом признаков: а) малые отклонения от «истинного» значения встречаются более часто, чем большие; б) положительные (+) и отрицательные (–) отклонения равновероятны; в) хронологическая последовательность между большими малыми, положительными и отрицательными отклонениями не существует;

- односторонние ошибки случайной величины, называемые односторонними случайными ошибками, возникают тогда, когда случайная ошибка имеет один знак («+» или «–»). Например, глазомерный способ таксации леса дает заниженные «–» оценки запасов деревьев. Этот вид ошибок может дать неопределенная комбинация систематических и случайных ошибок.

Систематические, односторонние и случайные ошибки по-разному влияют на результаты измерений. Односторонние систематические ошибки постоянной величины дают смещение, значение которого увеличивается с увеличением числа измерений, так как ошибки аккумулируются непрерывно. Например, 20-метровая лента имеет систематическую ошибку в 2 см, то есть при измерении длины линии в 100 м – систематическая ошибка составит:  $2 \text{ см} \times 5 = 10 \text{ см}$ , а 1 км –  $10 \times 10 = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}$ .

Средняя величина серии чисто случайных ошибок (с «+» и «–») приближается к нулю с увеличением числа наблюдений. В этом случае средняя выборка при достаточно большом числе измерений (наблюдений) является несмещенной. Таким образом, случайные ошибки взаимно погашаются. Это возможно только в том случае, если случайные ошибки являются малыми по величине и при большом числе наблюдений.

Для того чтобы охарактеризовать случайную ошибку отдельного наблюдения ( $i$ ), используются три вида оценок: средняя ошибка ( $A_i$ ); стандартная ошибка ( $S_i$ ); вероятная ошибка ( $P_i$ ).

Если результат  $i$ -го измерения есть  $Y_i$ , а средние совокупности есть  $\bar{y}$  при  $n$  измерений, то отдельное отклонение равно:

$$d_i = y_i - \bar{y}.$$

Средняя ошибка (например, диаметра) вычисляется по следующей формуле:

$$A_i = \frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \cong \frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{n},$$

где  $|d_i|$  – модульная величина отклонения;  
 $n$  – число наблюдений.

Средняя ошибка используется при оценке точности инструментов и приборов.

Стандартная ошибка отдельного наблюдения:

$$S_i = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}}.$$

Стандартная ошибка – более надежная и эффективная оценка ошибки отдельного измерения или наблюдения.

Вероятная ошибка

$$P_i = \pm \left( \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{|d_i|^2}}{n\sqrt{n(n-1)}} \right).$$

Существует соотношение в теории ошибок:

$$A_i \cong 0,8; S_i \cong 1,2P_i.$$

Стандартная ошибка показывает пределы  $(\bar{y} \pm S_y)$  генеральной средней переменной, находящейся за пределами  $(\bar{y} \pm S_y)$  с вероятностью  $\beta = 0,68$ , например, 32 % всех отклонений. Средняя ошибка дает ранг (пределы) при  $t = 0,8$ ; вероятная  $t = 0,67$ , соответственно за пределом находятся между 45 % и 50 % всех отклонений.

**Пример 1.** Высота одного и того же дерева измерена высотомером Блюме – Лейсса 50 раз. Требуется провести расчеты по вышеприведенным формулам.

Имеем:

- среднее значение высоты  $\bar{h} = \frac{864,0}{50} = 17,28$  м ( $17,28 \pm 0,55$ );
- средняя ошибка измерений высот  $A_i = \frac{22,88}{\sqrt{50,49}} = \pm 0,462$  м =  $[0,85S_i]$ ;
- стандартная ошибка  $S_i = \sqrt{\frac{14,59}{49}} = \pm 0,546$  м;
- вероятная ошибка  $P_i = \frac{32,30^2}{50\sqrt{50,49}} = \pm 0,422$  м =  $[0,77S_i]$ .

С вероятностью 0,68 (68 %) можно утверждать, что действительная (истинная) высота дерева находится в пределах 16,73–17,83.

**Пример 2.** 20-метровая лента имеет стандартную ошибку  $S_i = \pm 2$  см. При измерении 1000 м делятся 50 измерений лентой.

Стандартная ошибка арифметического среднего:

$$S_i = \frac{S_i}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{50}} = \pm 0,283 \text{ см, то есть } m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Стандартная ошибка всей 1000-метровой длины:

$$S_i = n \times S = 50 \times 0,283 = \pm 14,15 \text{ см.}$$

К тому же результату ведет вычисление:

$$S_i = S_i \sqrt{n} = 2\sqrt{50} = \pm 14,15 \text{ см см, то есть } \sigma = m_x \sqrt{n}.$$

Таким образом, длина будет 999,86–1000,14 м с вероятностью 68 %.

Определение ошибок при обработке лесоводственной информации расчетным путем возможно далеко не во всех случаях и не для всех методов ее сбора и обработки, но только тогда, когда соблюдаются статистические предпосылки его сбора и обработки. Такая информация (данные) имеет право называться научно обоснованной.

Диаметр дерева на высоте груди является одним из наиболее важных таксационных показателей. Это обусловлено рядом обстоятельств:

1) диаметр – наиболее легко и точно определяемый таксационный признак; при необходимости он может измеряться у всех деревьев (сплошной пересчет), тогда как другие показатели измеряются с помощью выборки. Например, для определения средней высоты проводится выборка 12–15 деревьев;

2) диаметр на высоте груди обеспечивает основу для многих других вычислений:

- площадь сечения:  $g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2$ ;

- объем ствола:  $V_i = g_i h_i f_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 h_i f_i$ .

Многие показатели (высота, товарность) статистически зависят от диаметра дерева;

3) распределение деревьев по диаметру характеризует структуру насаждения, что важно при назначении рубок ухода, изучении роста древостоя, его сортиментации;

4) на основе измерений диаметров деревьев (пересчета) определяется сумма площадей сечения древостоя, которая используется в оценке полноты и запаса насаждения.

Рассмотрим ошибки измерений диаметров деревьев мерной вилкой. Инструментальные ошибки всегда являются систематическими ошибками. В процессе измерений эти систематические ошибки имеют случайное происхождение. Причины здесь могут быть разные:

1) отклонение от горизонтали мерной вилки при измерении диаметра дерева. Ошибка в площади сечения дерева в этом случае равна:

$$P_g (\%) = 100 \left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right),$$

где  $\alpha$  – угол между мерной вилкой и горизонталью.

При  $\alpha = 3^\circ$   $P_g = +0,25 \%$ ;

$\alpha = 6^\circ$   $P_g = +1 \%$  (+ положительная)

нарушение перпендикулярности подвижной ножки к линейке мерной вилки, то есть люфт. Получаем заниженные диаметры и отрицательную систематическую ошибку. Отклонения от перпендикулярности на 3–5 % дают погрешность в площади сечения на 5–10 % (отрицательная);

2) ошибки измерения диаметров мерной вилкой при несоблюдении высоты 1,3 м будут следующие. Если высота измерений равна 1,20 м, то относительная ошибка составит +2,4 %. При высоте 1,25 м относительная ошибка +1,2 %. На высоте измерений в 1,29 м относительная ошибка будет +0,24 % и т. д.

Ошибки в определении диаметров и площадей сечений деревьев могут быть также вследствие ошибок пересчета; ошибок наблюдения; ошибок из-за неправильной формы поперечного сечения; ошибок вследствие неправильного распределения деревьев по диаметру в пределах ступеней толщины и ошибок группировки результатов по ступеням толщины.

Ошибки пересчета связаны с дефектами мерной вилки и бывают самой различной величины. Ошибки наблюдения – неправильное положение мерной вилки или обмер (пропуск) повторно одного и того же дерева. Ошибки наблюдения при тщательном пересчете достигают 0,3 % от площади сечения. Ошибки из-за неправильной формы сечения составляют  $P_g = \pm 0,5 \%$ , неравномерность распределения –  $P_g = \pm 0,3 \%$  – 0,8 %. Ошибки группировки –  $\dot{P}_g =$  от +1 % до –1,5 %. Более подробно точность определения поперечных сечений стволов описана в главе 5.

Здесь можно отметить, что формы поперечных сечений древесных пород в коре не представляют правильных геометрических фигур, а лишь приближаются к ним – форме эллипса и круга, дающих близкие результаты.

## 1.2. Лесотаксационные измерения в практике лесного хозяйства

При таксации срубленного и растущего леса измеряют толщину стволов, длину заготовленных лесоматериалов, высоту растущих деревьев, площади сечений стволов и, наконец, определяют объемы, а в более редких случаях – массу (вес) лесной продукции.

При решении перечисленных таксационных задач опираются на меры длины, меры площадей, меры объемов и меры веса. Все эти виды измерений имеют свои учетные единицы.

В качестве эталона меры длины сто лет назад принят метр, сохраняемый в Бюро мер и весов на возвышенности Сен-Клу, вблизи Севера, в окрестностях Парижа.

По принципу десятичной системы метр разделен на 10 дециметров (дм), 100 сантиметров (см), 1000 миллиметров (мм).

Единицей площади является квадратный метр, то есть площадь квадрата, сторона которого равна 1 м. Ее обозначают м<sup>2</sup>. Единица в 100<sup>2</sup> раз меньше есть квадратный сантиметр (см<sup>2</sup>).

Единицей объема служит кубический метр (м<sup>3</sup>), то есть объем куба, боковое ребро которого равно 1 м, 1/10<sup>6</sup> кубического метра. Следует отметить, что в разных странах применяются разные системы мер и весов.

Мировые лесные конгрессы рекомендовали поощрять применение наиболее простой и совершенной системы – метрической. До тех пор, пока метрическая система как универсальная не будет принята и внедрена в практику, в качестве компромисса с существующими обычаями признано целесообразным результаты таксации выражать в единицах как местной, так и метрической системы.

В целях упрощения измерений и последующего нахождения объемов найденные величины диаметров округляются до ближайших четных размеров, а чаще всего до размеров, разнящихся между собой на 4 см (4; 8; 12; 16; 20 и т. д. см). Эти градации, применяемые при измерении диаметров, носят название ступеней толщины. Таким образом, при измерении толщины, или диаметра, стволов своеобразной учетной единицей является ступень толщины.

У растущих деревьев толщина ствола в большинстве европейских стран измеряется на высоте груди человека, что соответствует 1,3 м от шейки корня до места измерения. В Швеции и Финляндии измерения делают на высоте 1,3 м от высоты пня, то есть около 1,4–1,5 м от шейки корня. В Англии и США диаметры у растущих деревьев измеряют на высоте, равной 4,5 фута, что в переводе на метрические меры составляет 1,37 м. В Японии измерения диаметров у растущих деревьев проводят на высоте от земли, округленно равной 1,25 м. В горных условиях место измерения оговаривается дополнительно. Высоту растущих деревьев в Европе учитывают в метрах и десятых долях метра (дециметрах). Сверх установленных стандартных длин лесоматериалы должны иметь припуски по длине, учитываемые в сантиметрах.

Площади поперечных и продольных сечений стволов измеряют в квадратных сантиметрах (см<sup>2</sup>) и квадратных метрах (м<sup>2</sup>).

Единицами учета земель, занятых лесом, служат квадратный метр, ар (а), равный 100 м<sup>2</sup>, и гектар (1 га), содержащий в себе 10 000 м<sup>2</sup>, или 100 а.

В СНГ и большинстве европейских стран количество древесины измеряется в кубических метрах (кубометрах, м<sup>3</sup>).

В лесной таксации при рассмотрении вопросов об объемах находят применение три термина: кубатуру заготовленных лесоматериалов и готовых изделий чаще всего называют объемом; кубатуру отдельных растущих деревьев именуют массой и объемом; количество древесины, содержащейся в древостое, взятом в целом или на 1 га, – запасом.

Основные учетные единицы – кубические метры – делятся на плотные и складочные.

Плотный кубический метр – это такое количество древесины, которое занимает пространство, имеющее длину, ширину и высоту, равные 1 м. Все это пространство в плотном кубическом метре целиком занято древесиной без промежутков и пустот между отдельными отрезками.

Складочный кубический метр имеет ту же длину, ширину и высоту, но собственно древесиной заполнено не все занимаемое пространство, а лишь часть его. Между отдельными поленьями складочного кубометра остаются не заполненные древесиной пустоты.

Желая выразить реализуемую часть дерева объемом продукта, который будет из нее выработан, в США приняли лесочетную единицу, называемую досковым футом. Она появилась в первой половине XIX столетия и в Северной Америке получила весьма широкое распространение. Досковый фут представляет собой единицу измерения шириной 12 дюймов, толщиной 1 дюйм и длиной 12 дюймов.

Анализируя единицы измерения, применяемые в Северной Америке, Бетрам Хуш отмечает, что продолжающееся применение доскового фута вместо кубического, несмотря на явные его недостатки, указывает на силу привычки и традиции, побеждающие логику. Для лесного хозяйства и лесной промышленности было бы более выгодным, если бы кубический фут был принят в качестве единицы измерения объема.

Соответственно учетным единицам для определения объемов заготовленных лесоматериалов, растущих деревьев и запасов древостоев выведены формулы, по своей конструкции и параметрам резко отличные от наших таксационных формул. Вместе с этим специфика учетных единиц повлекла за собой разработку особой лесочетной техники.

Все это обусловило существенную разницу между нашей и американской теорией и практикой таксации леса.

В практике лесного хозяйства нашей страны используют следующие принципы точных измерений:

- Число стволов считают до единого дерева.
- Применяют метрическую систему мер.
- Измерение линий при отводах лесосек, участков лесных культур и так далее делают с точностью 1 м.
- Измерение диаметров древостоев при отводах лесосек выполняют с округлением до 4 см, в молодняках – до 2 см.
- Высоту ствола устанавливают с точностью 0,1 м.
- Объем дерева определяют с точностью 0,01 м<sup>3</sup>.
- Запас насаждений вычисляют с точностью до 1 м<sup>3</sup>.
- Сумму площадей сечений находят с точностью 0,1 м<sup>2</sup>.
- Прирост дерева исчисляют в дм<sup>3</sup>.
- Прирост древостоя находят в 0,1 м<sup>3</sup>.

При проведении научных исследований точность измерений может повышаться в зависимости от цели работ. В практике лесного хозяйства (отводы лесосек и т. п.) высота деревьев обычно указывается в метрах, запас в десятках кубометров и т. д.

### 1.3. Классификация приборов и инструментов

Приборы, дающие численное значение измеряемой величины по отсчетным приспособлениям (шкалам, циферблатам и др.), называются показывающими. Эти приборы предварительно подвергаются градуированию, результаты которого фиксируют на отсчетных приспособлениях.

Показывающие приборы делятся на приборы с визуальным отсчетом (например, термометр, тахометр, часы и др.) и самопишущие, которые записывают последовательные значения измеряемой величины за тот или иной промежуток времени: самопишущие амперметры, термографы, осциллографы и т. д. Наиболее распространены в практике приборы со шкалой и указателем в виде стрелки.

Особую группу составляют интегрирующие приборы, дающие в конечном итоге интегральное (суммарное) значение измеряемых величин за тот или иной промежуток времени, например, электрические счетчики.

Помимо перечисленных видов применяются измерительные приборы. Они разделяются на приборы ручного действия (ручной наводки), например, планиметр, высотометр, теодолит и др., и приборы автоматического действия – измерительные автоматы. Эта последняя категория приборов автоматически выполняет поставленную задачу измерения. Качество измерительных приборов обуславливается их правильностью, точностью, чувствительностью и постоянством.

**Правильностью измерительного прибора** называют степень приближения его показания к действительному значению измеряемой им величины. Правильность измерительного прибора характеризуют установлением систематических погрешностей, определяющих отклонение показаний прибора от действительного значения измеряемой величины.

**Точностью измерительного прибора** называют степень достоверности результата измерения, получаемого данным прибором. Она характеризуется алгебраической суммой погрешностей.

Отношение линейного или углового перемещения указателя к изменению значения измеряемой величины, вызвавшему это перемещение, называют **чувствительностью измерительного прибора**.

Наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее минимальное перемещение указателя, именуется **порогом чувствительности прибора**.

Степень приближения друг к другу повторных показателей, полученных в результате измерения одной и той же величины при одинаковых внешних условиях работы прибора, **называют постоянством измерительных приборов**.

Выше было отмечено, что в измерительных приборах результаты измерения фиксируются на отсчетных устройствах, называемых шкалами. Термин «шкала» происходит от латинского слова *scala* (скала), что в переводе на русский язык означает лестница. В соответствии с произношением, принятым в латинском языке, довольно часто вместо слова шкала говорят скала.

Шкала, или скала, представляет собой прямую или кривую линию, каждой точке которой соответствует определенное значение той переменной величины, для измерения которой она предназначена. Линия шкалы носит название ее основания или носителя. Кроме того, эту линию именуют осью шкалы. Для отыскания на шкале нужной точки или, иными словами, для прочтения по ней искомого результата некоторые точки шкалы снабжаются соответствующими пометками с таким расчетом, чтобы промежуточные значения между помеченными точками можно было с достаточной для практики точностью определить на глаз.

Отметка точек шкалы производится посредством различной длины штрихов, пересекающих линию (основание) шкалы в соответствующих точках. У некоторых из штрихов ставят цифры, указывающие числовые значения помеченных точек. Расстояние между соседними

штрихами, измеренное по линии шкалы, называют графическим интервалом шкалы. Разность между числовыми пометками соседних штрихов именуют числовым интервалом.

В лесной таксации числовые интервалы, наносимые на шкалы приборов, предназначенных для измерения толщины деревьев, называют ступенями толщины. Последние могут быть 1; 2; 4 и 5 см. В лесохозяйственной практике нашей страны приняты ступени толщины 4 см. В Западной Европе довольно часто применяют ступени толщины 5 см.

Штрихи на шкалах разных приборов часто называют делениями. Однако такое их название нельзя считать правильным, так как деление есть расстояние между штрихами.

Все лесотаксационные приборы делят на несколько классов:

- приборы для измерения длины линий, длины срубленного ствола или его отрезков и т. п. К ним же относятся оптические или лазерные дальномеры;
- приборы для измерения толщины деревьев: мерные вилки, штангенциркули (в молодняках) и т. п.;
- приборы для измерения высоты растущих деревьев – высотомеры;
- угломеры: реласкоп Биттерлиха, угловой шаблон, призма Анучина и др.;
- бурава для взятия кернов древесины;
- дендрометры – измерение диаметров дерева на любой высоте.

## 1.4. Основные лесотаксационные приборы и инструменты

### 1.4.1. Измерение длины линий

Для измерения длины сваленных деревьев и заготовленных из них лесоматериалов применяют мерные шести, мерные ленты и рулетки. Мерные ленты имеют длину 20 м и сделаны из металла. Из-за значительного веса они находят все меньшее употребление. Их практически вытеснили рулетки из легких искусственных материалов. Мерные шести обычно изготовляют из сухих тонких прямых стволиков. Для работы более удобны шести длиной 3 м. На шести наносят деления через каждые 10 см, отмечая метры и полуметры более заметными знаками.

Мерные ленты, или рулетки (рис. 1.1), служат чаще всего для измерения расстояний при отводах лесосек, длины круглого леса и поленищ, в которые уложено значительное количество дров.

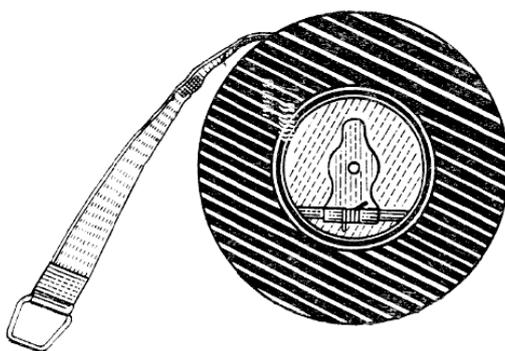


Рис. 1.1. Мерная рулетка

Длина рулетки бывает разной – от 5 до 50 м. Ранее их изготавливали из тонкой стали или плотного полотна. Деления нанесены в метрах и сантиметрах. Плотная тесьма рулетки со временем вытягивается, что приводит к систематическим ошибкам в измерении. Рулетки со стальной лентой для работы в лесу неудобны, так как нанесенные на них цифры плохо

заметны. Кроме того, стальные ленты хрупки и часто ломаются. Такие рулетки еще встречаются в лесхозах. В настоящее время используют легкие, прочные, не дающие усадку синтетические материалы. Это позволяет делать рулетки большей длины (до 50 м) и малого веса.

### 1.4.2. Мерные вилки

Толщину (диаметр) растущих или сваленных деревьев измеряют лесной мерной вилкой (рис. 1.2). В прежние времена ею также измеряли высоту растущих деревьев. Лесная мерная вилка – основной инструмент, применяемый при таксационных работах.

За длительный период развития таксационной техники сконструировано много разнообразных мерных вилок. Все их разнообразие можно свести к трем типам, схематическое изображение которых дано на рисунке 1.2.

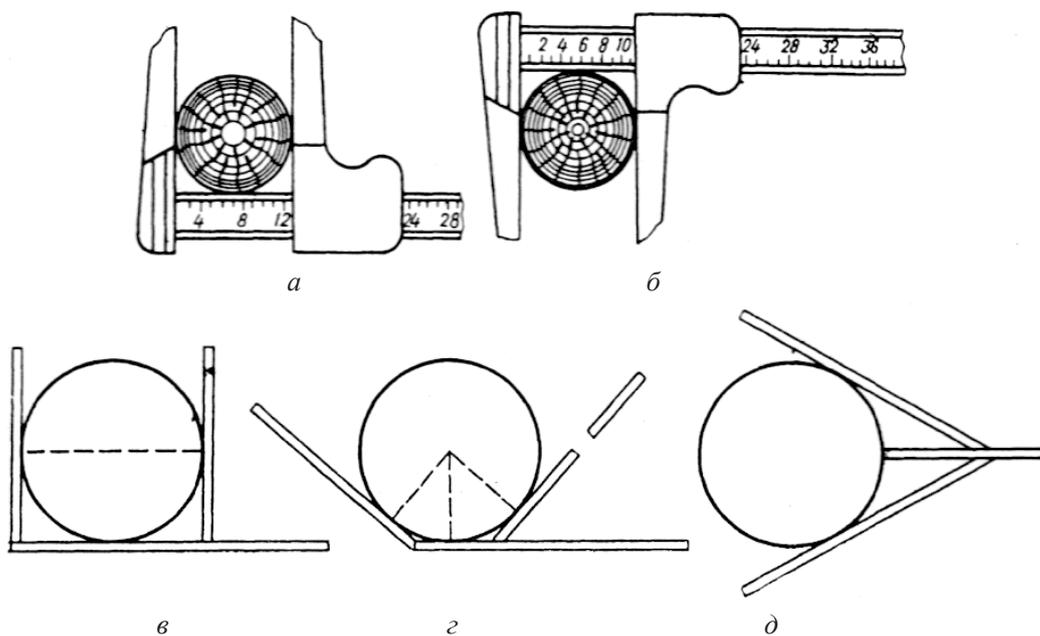


Рис. 1.2. Мерные вилки: *a, б, в* – традиционная мерная вилка; *г* – угловая мерная вилка; *д* – стержневая мерная вилка

Вилки первого типа состоят из мерной линейки с нанесенной на нее шкалой и двух параллельных брусков. Один из них неподвижно под прямым углом соединен с концом линейки. Второй брусок перемещается по линейке соответственно величине измеряемого диаметра ствола.

Вилку второго типа образуют закрепленные на линейке два бруска, являющиеся гранями угла величиной 120°. При этой конструкции вилкой диаметр ствола определяется путем измерения хорд круга.

Вилки третьего типа состоят из стержня, двух закрепленных на нем брусков, образующих острый угол, и подвижного штока, входящего внутрь стержня. По длине отрезка штока от боковой поверхности ствола до стержня вилки определяют диаметр ствола. В вилке этой конструкции возможна замена штока мерной нитью, огибающей часть окружности ствола, входящую в раствор вилки.

У стволов, имеющих гладкую кору и поперечное сечение, близкое по форме к кругу, диаметры измеряются с одинаковой точностью мерными вилками всех трех типов. При наличии существенных отклонений поперечных сечений стволов от формы круга с наибольшей точностью определяется толщина стволов мерной вилкой первого типа.

Наибольшее распространение получили мерные вилки первого типа. Традиционно (с XIX в.) эти вилки изготавливались из дерева. В настоящее время используют мерные вилки из пластмассы или легкого металла (в основном иностранные). У деревянных вилок линейка имеет трапециоидальное поперечное сечение, в котором одна узкая сторона (кромка) перпендикулярна широким сторонам. У них в широких сторонах линейки сделаны выемки глубиной 1 мм (рис 1.2, а, б), в которых нанесены перпендикулярно ее длине деления: с одной стороны – сантиметровые, где цифры даны через 4 см, с другой – полусантиметровые – с цифрами через 2 см. В современных вилах может быть и лишь одна 4-сантиметровая шкала.

У традиционной деревянной мерной вилки неподвижная ножка с утолщенным и уширенным основанием изготовлена из одного куска дерева. В основании ножки сделано сквозное продолговатое отверстие, в которое плотно входит конец линейки и скрепляется с ней двумя шурупами. Подвижная ножка также изготовлена из одного куска дерева. Один конец уширен. В нем сделан прямоугольный вырез, которым ножка надевается на линейку. Вырез с одной стороны закрыт съемной деревянной планкой, которая прикреплена к уширенной части ножки шестью шурупами. Вырез должен быть такого размера, чтобы ножка свободно передвигалась по всей длине линейки и в то же время плотно прилегала к ней, а рабочая плоскость ножки при всех положениях оставалась перпендикулярной линейке.

Подвижная ножка вследствие набухания, ссыхания или износа составляющих частей расшатывается и образует с линейкой угол, который бывает больше или меньше прямого. Для устранения этого недостатка вырез в подвижной ножке делали несколько больших размеров и помещали в нем металлический вкладыш, снабженный пружинками и стопорным винтом с барашком. При завинчивании стопорного винта вкладыш плотно закрепляет подвижную ножку в любом месте линейки перпендикулярно ей. При набухании деревянных частей линейки вкладыш отводят с помощью винта назад. В некоторых современных пластмассовых вилах этих приспособлений не делают, учитывая, что пластмассовые вилки не рассыхаются.

Плоскости рабочих сторон ножек перпендикулярны линейке. При полном сближении обеих ножек их рабочие плоскости плотно соприкасаются. При измерении толщины дерева подвижную ножку отводят по линейке в сторону и ствол заключают между неподвижной и подвижной ножками. Толщину дерева определяют по линейке, на которую насажены ножки.

Для измерения толщины растущих деревьев устанавливают градации или, как их называют, ступени толщиной в 2 или 4 см. Доли, составляющие меньше половины этих градаций, при измерении диаметров отбрасывают, а больше половины – принимают за целые числа.

Если на мерную вилку нанесены все деления подряд, начиная от 1 см, это затрудняет работу, так как при измерениях приходится каждый раз соотносить, что сделать с неполной дробной частью ступени, то есть когда следует ее отбросить и когда считать за целое. Поэтому на одну из линеек мерной вилки обычно наносят деления с округлением.

Из изложенного видно, что конструкций мерных вилок очень много. Они отличаются не только по устройству, но и по материалу, из которого изготовлены. В XIX и первой половине XX в. наиболее распространенными были деревянные мерные вилки, хотя встречались и металлические. Традиционная мерная вилка, которая еще в СССР была стандартизирована, имела вид, показанный на рисунке 1.3.

Стандартная мерная вилка на продольной планке обычно имеет две шкалы. Одна из них представляет собой обычную линейку, размеченную через 2 см, точка нуля (0) находится на пересечении неподвижной ножки и измерительной планки (рис. 1.3).

На другой стороне измерительной планки деления нанесены с округлением, через 4 см. Шкала построена таким образом, что мы сразу считываем толщину дерева, округленную до 4 см, то есть определяем 4 см ступени толщины. Шкала 4-сантиметровых ступеней толщины показана в таблице 1.3.

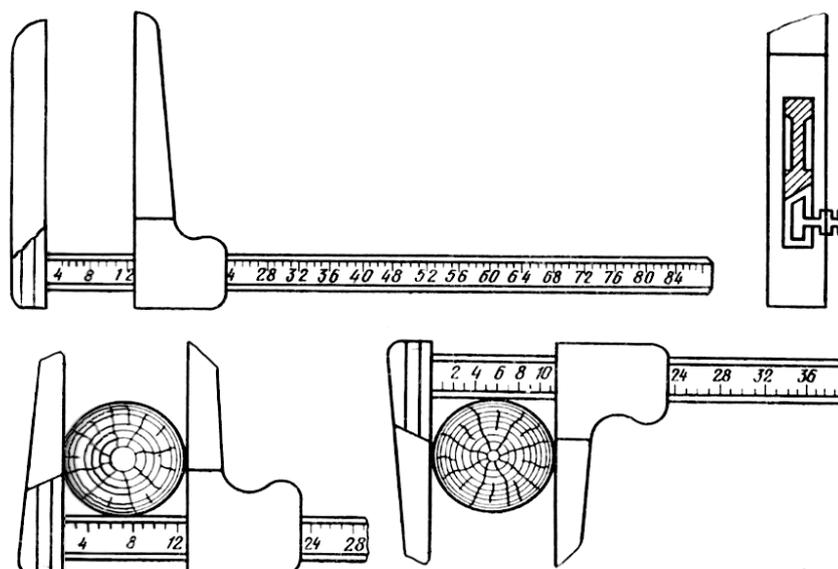


Рис. 1.3. Стандартная традиционная мерная вилка

Таблица 1.3

Шкала 4-сантиметровых ступеней толщины, в см

Степень толщины	Интервал	Степень толщины	Интервал	Степень толщины	Интервал
4	2,1–6,0	24	22,1–26,0	44	42,1–46,0
8	6,1–10,0	28	26,1–30,0	48	46,1–50,0
12	10,1–14,0	32	30,1–34,0	52	50,1–54,0
16	14,1–18,0	36	34,1–38,0	58	54,1–58,0
20	18,1–22,0	40	38,1–42,0	60	58,1–62,0

Длина измерительной планки деревянных мерных вилок до 70-х гг. XX столетия обычно составляла 1 м и больше. В настоящее время из-за снижения диаметров деревьев в лесосечном фонде длина линеек пластмассовых мерных вилок обычно равна 60–64 см.

Автору учебника неоднократно приходилось отвечать на вопросы, задаваемые не только лесниками, но и мастерами леса: «На мерной вилке есть две шкалы. Какая из них правильная?» Приходилось приводить вышеприведенные объяснения, поясняя, что верны обе шкалы, но шкала, градуированная через 4 см, размечена с округлением. Измерительная планка мерной вилки, которая позволяет сразу считывать результаты по 4-сантиметровым ступеням толщины, выглядит следующим образом (рис. 1.4).

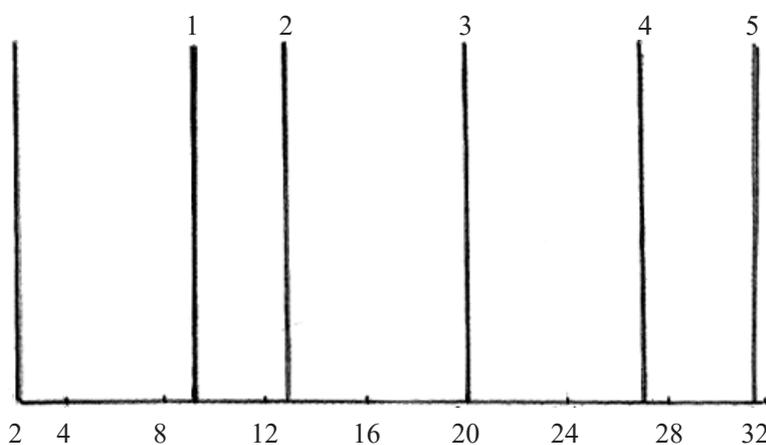


Рис. 1.4. Пример взятия отсчета по 4-сантиметровой шкале мерной вилки

Особенностью этой шкалы является то, что на пересечении измерительной планки и неподвижной ножки, то есть в начальной точке измерений ставится не 0, а 2 см. В результате вся шкала сдвигается на 2 см, то есть 4 см ступени толщины измеряемого дерева считаются сразу. При этом ступенью толщины будет то значение, которое видно последним перед подвижной ножкой.

Например, как показано на рисунке 1.4, при положении подвижной ножки в положении 1 ступень толщины будет 8; в положении 2 – 12; 3 – 16; 4 – 24; 5 – 28 и т. д. Действительно, фактический диаметр дерева в положении 1 равен 9 см, что попадает в интервал 6,1–10,0; в положении 3 диаметр равен 18,0 см (цифра 20 не видна), то есть попадает в интервал ступени толщины 16 (14,1–18,0) и т. д.

С 70-х гг. прошлого века шкала измерений на пластмассовых мерных вилках часто выглядят очень бледно, что приводит к трудностям при считывании показателей, особенно в ельниках. В этом случае рекомендуется подновить цифры белой краской.

Кроме традиционной мерной вилки, которая описана выше, предложено много других конструкций мерных вилок. В практике лесного хозяйства применяется мерная вилка, сконструированная научным сотрудником ВНИИЛМ В. В. Никитиным. Особенностью этой мерной вилки является то, что подвижная ножка у нее снабжена кареткой на двух шарикоподшипниках, катящихся по боковым граням линейки. В широкие стороны линейки врезана двойная масштабная шкала с миллиметровым и четырехсантиметровым делениями. Неподвижную ножку мерной вилки закрепляют на конце линейки штифтом с барашком в следующих положениях: для измерения по миллиметровой шкале на 0 (для точных измерений) и для измерения по 4 см шкале на делении 2 см.

Вилка конструкции В. В. Никитина изготавливается из текстолита. Этот материал прочен, обладает стойкостью против коррозии и набухания, что позволяет вести работу при дождливой погоде. Наличие шарикоподшипников в каретке подвижной ножки вилки обеспечивает легкость хода каретки и отсутствие перекосов, искажающих показания на линейке. Общая длина линейки 90 см, а ножек мерной вилки – 45 см, масса мерной вилки около 600 г.

В процессе выпуска (с 70-х гг. прошлого века) вилку В. В. Никитина упростили: убрали подшипники, ухудшилось написание цифр на шкале. Для того, чтобы хорошо видеть цифры, их приходится подписывать светлой краской. Текстолитовая вилка в настоящее время наиболее распространена.

Л. П. Зайченко сконструирована мерная вилка, представляющая собой дюралюминиевую линейку, на концах которой установлены ножки, шарнирно соединенные с линейкой. Шкалы для измерения диаметров нанесены на линейку вилки. При измерении диаметров левая ножка вилки фиксируется в определенном положении упором на линейке. Скошенная грань правой ножки в момент касания со стволом показывает на шкале его диаметр. Данная вилка портативна и удобна для перевозок.

Во ВНИИЛМе сконструирована мерная вилка ШИД-05. Она представляет собой полукруг, приставляемый к дереву. Измерения (с точностью 4 см) отмечают по шкале вилки. Ее удобство в том, что ею можно сделать измерения одной рукой.

В последнее время выпущены электронные мерные вилки. Именно эти мерные вилки в будущем станут самыми распространенными, вытеснив устаревшие приборы. Электронные мерные вилки представляют собой прибор в виде традиционной современной мерной вилки, но снабженной электронным устройством с датчиками. При измерении деревьев их толщина определяется с помощью датчиков автоматически и заносится в электронные носители памяти (F-диск). Работу по перечету здесь может выполнять один человек. Существенно упрощается обработка данных перечета – электронное устройство вилки подключается к компьютеру, и результат выдается в автоматическом режиме. В Беларуси уже имеются электронные мерные вилки Haglof. Их широкое применение пока сдерживает высокая цена импорта.

Для обмера деревьев с помощью мерных вилок традиционных конструкций требуются два или три человека: один обмеряет деревья, другой записывает результаты обмеров в ведомость, а третий ставит отметку на дереве. В практике лесного хозяйства бригаду составляют от 2 до 4 человек. Обычно отметку на дереве ставит сам мерщик. При хорошей реакции в спелом древостое или с примесью до 20–30 % другой породы мастер может успевать делать записи за двумя и даже тремя мерщиками. Состав бригады для проведения измерений диаметров деревьев (его называют перечетом) зависит как от возможностей записывающего, обычно мастера или помощника лесничего, так и от наличия людей (обычно лесников), которые могут быть привлечены в настоящий момент к этой работе.

Толщину растущих деревьев достаточно просто мы можем измерять не на всем протяжении ствола, а лишь в его нижней комлевой части. Измеряют ее на высоте 1,3 м от шейки корня, то есть на высоте груди человека среднего роста. Поэтому в таксации принято называть диаметр, измеренный на высоте 1,3 м от шейки корня, диаметром на высоте груди. Его обозначают  $D_m, d_m$ .

Анализируя значение отдельных таксационных показателей, отметим, что диаметр на высоте груди является наиболее легко и точно определяемым таксационным признаком. При необходимости он может измеряться у всех деревьев, тогда как все другие показатели измеряются только выборочно. Возможность простого определения диаметра позволяет вывести другие показатели с помощью статистических связей или оценить их по величине самого диаметра. Перечет деревьев в насаждении (измерение диаметров) служит основой всех других измерений и вычислений.

Имея в виду эти соображения, обмеру диаметров как основе таксации надлежит уделять наибольшее внимание. По мнению немецкого профессора М. Продана, направление наибольшего диаметра совпадает с направлением доминирующего ветра или с направлением склона. В связи с этим в каждом насаждении нужно определить направление наибольшего диаметра. Обмером деревьев под углом  $45^\circ$  к направлению наибольшего диаметра в значительной мере можно устранить ошибку в отклонении исчисляемых площадей сечений от истинных.

### 1.4.3. Мерные скобы

Толщину бревен большей частью измеряют в тонком конце, который принято называть верхним отрезом. Толщину верхнего отреза можно измерить несложными инструментами – мерной скобой (рис. 1.5) или складным метром. Применяются и другие виды простых линеек.

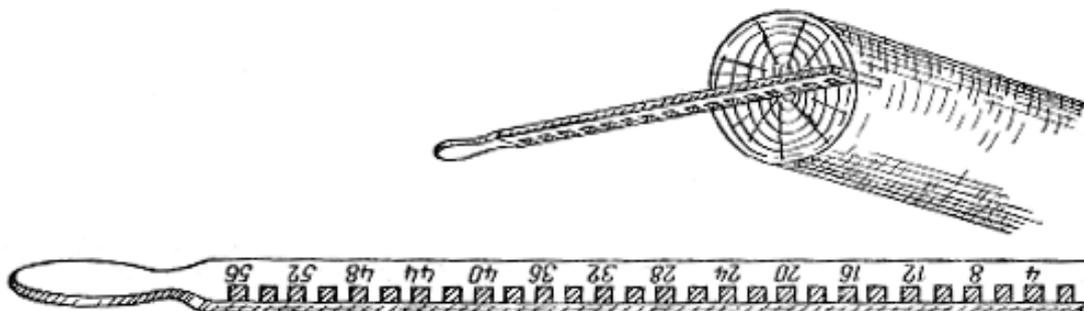


Рис. 1.5. Мерная скоба

Мерная скоба представляет собой брусок длиной до 80 см с нанесенными с двух противоположных сторон сантиметровыми и полусантиметровыми делениями. На одном конце мерной скобы грани округляют и придают им форму ручки. Второй конец оковывают железом,

имеющим выступ. Отсчет сантиметровых делений на линейке мерной скобы ведется в направлении от железного выступа к ручке.

При обмере бревен мерную скобу прикладывают к торцу или срезу бревна так, чтобы линейка проходила посередине среза, а железный выступ или крючок упирался в край среза. Деление линейки, с которым совпадает противоположный край, показывает толщину бревна в месте обмера. Толщиной всего бревна считают среднее между его наибольшим и наименьшим диаметрами, хотя обмер обычно делают в одном избранном направлении, например, с боков бревна.

#### 1.4.4. Высотомеры

За 200-летний период развития таксационной техники сконструирован целый ряд высотомеров, опирающихся на геометрические и тригонометрические построения.

Подробное описание старейших конструкций высотомеров было дано еще в учебнике по лесной таксации Удо Мюллера (Muller U., Lehrbuch der Hoizmesskunde, Berlin, 1915), а также в работе А. А. Буя (2008).

Результаты исследования точности и производительности 19 высотомеров приводит Ф. Корсунь в статье «Высотомер» в чехословацком «Лесном научном словаре». В этой статье все высотомеры делятся на две группы:

- а) высотомеры, требующие измерения базы, то есть расстояния от дерева до наблюдателя;
- б) высотомеры, не требующие этого измерения.

Каждая из этих двух групп, в свою очередь, делится на подгруппы. В конечном итоге, Ф. Корсунь, проводивший исследования в 50–60-х гг. XX в., дает довольно сложную классификацию высотомеров.

Наиболее производительными он считает высотомеры второй группы. Рассматриваемым ниже конструкциям высотомеров (Блюме – Лейсса, «Метра» и др.) Ф. Корсунь дает невысокую оценку. Эти высотомеры он называет сложными, дорогими и имеющими лишь теоретическое значение. Для измерения высот деревьев Ф. Корсунь предлагает использовать эклиметры (уклонометры). Однако, по его наблюдениям, производительность обмера высот эклиметрами ниже, чем высотомерами первой группы, требующими измерения базы. В настоящее время установлено, что Ф. Корсунь ошибался, а высотомеры Блюме – Лейсса нашли широкое применение.

Профессор Жан Парде дает высотомерам следующую классификацию:

- высотомеры, при которых измерения проводятся с расстояния, равного высоте деревьев. Они обоснованы на принципе подобных и равнобедренных треугольников;
- высотомеры, при которых можно производить измерения высот на любом расстоянии от дерева (высотомер Блюме – Лейсса, зеркальный высотомер Фаустмана, высотомер Вейзе и др.);
- высотомеры, при которых не требуется измерение расстояния до дерева (высотомер Христана);
- высотомеры, при которых не требуется измерение расстояния до дерева и не нужна рейка, приставляемая к дереву. Этот способ основан на тригонометрическом решении треугольников. Он все же сложен для практического применения.

При пользовании всеми высотомерами, если визирование проводят только на вершину дерева, к результату добавляется высота до глаза наблюдателя.

В настоящее время принцип действия высотомеров в основном основывается на решении прямоугольных или иных треугольников путем измерения одной из его сторон (катета) и острого угла.

Допустим, что нужно измерить высоту дерева, показанного на рисунке 1.6.

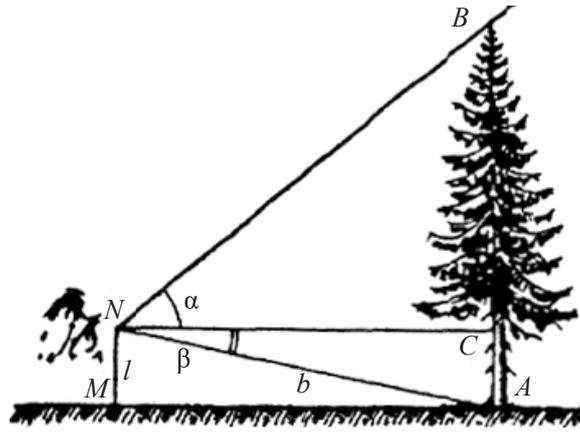


Рис. 1.6. Схема измерения высоты дерева высотомером

Для этого, отойдя от дерева на расстояние  $AM = b$ , примерно равное высоте дерева, надо измерить каким-либо инструментом, установленным на высоте  $MN = l$ , угол  $\alpha = \angle BNC$  между горизонтальной линией  $NC$  и линией визирования  $NB$ . Тогда высота дерева:

$$AB = H = NC \operatorname{tg} \alpha + l = b \operatorname{tg} \alpha + l,$$

где  $l$  – высота до глаз наблюдателя.

Вместо непосредственного измерения величины  $l = CA$  можно измерить угол  $\beta = \angle CNA$ , тогда

$$AC = NC \operatorname{tg} \alpha = b \operatorname{tg} \beta;$$

высота  $H = BC + CA$ , следовательно,

$$AB = b \operatorname{tg} \alpha + b \operatorname{tg} \beta = H = b(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta).$$

Для того, чтобы измерить дерево на пониженной поверхности земли  $AM$  (рис. 1.7), нужно измерить углы  $\alpha$  и  $\beta$ , визируя на основание ( $A$ ) и вершину дерева ( $B$ ).

В этом случае

$$AB = H = NC \operatorname{tg} \alpha + NC \operatorname{tg} \beta = NC(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta).$$

Для определения длины  $NC$  надо решить треугольник  $AMN$ , в котором  $\angle MNA = 90^\circ - \beta$ , отсюда

$$\sin \angle NAM = \frac{NM}{AM} = \frac{a}{b} \cdot \sin \alpha, \quad AN = \frac{b \cdot \sin \alpha \cdot NMA}{\sin \alpha}.$$

Наконец, из  $\triangle ANC$  следует  $NC = AN \cos \beta$ .

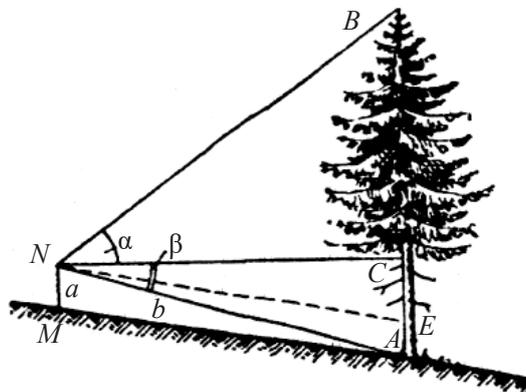


Рис. 1.7. Схема измерения высоты дерева на пониженном склоне

Если дерево находится на возвышенности (рис. 1.8), то высота его  $AB = BC - AC$ ,  $BC = NC \operatorname{tg} \alpha$ ,  $AC = NC \operatorname{tg} \beta$ . При этом величина  $NC$  определяется указанным выше способом, однако учитывая, что  $\angle MNA = 90^\circ + \beta$ .

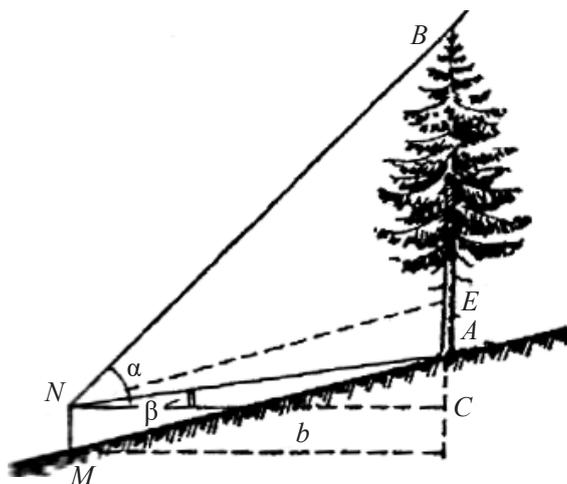


Рис. 1.8. Схема измерения высоты дерева на повышенном склоне

Высотомеры, основанные на решении треугольника, называют базисными, так как необходимо измерить величину расстояния от мерщика до измеряемого дерева, что является базисом. Базис необходимо измерять достаточно точно. Ошибка в длине базиса автоматически переносится на результат установления высоты дерева. Так, если длина базиса 20 м, а высота дерева равна 10, 20, 30, 40 м, то ошибка в базисе на 1 м, который мы будем считать равным 20 м (на самом деле он составит 19 или 21 м), приведет к погрешности в определении высоты в 0,5; 1,0; 1,5 и 2 м.

Действительно, тангенс угла  $\alpha$  при базисе в 20 м и высотах дерева в 10, 20, 30, 40 м будет равен 0,5; 1,0; 1,5; 2,0. При ошибке в базисе  $\pm 1$  м, то есть когда базис вместо 20 м равен 19 или 21 м, то тангенс угла  $\alpha$  в первом случае составит 0,53; 1,05; 1,57; 2,10, а во втором – 0,476; 0,95; 1,43; 1,90.

Тогда высоты на нашем приборе, который градуирован на базис 20 м, при занижении базиса на 1 м окажутся следующими: 10,5 м; 11 м; 31,5 м; 42 м. При завышении базиса на 1 м соответственно – 9,5 м; 19 м; 28,5 м; 39 м.

Современные высотомеры обычно снабжены дальномерами, что делает измерение базиса относительно легким делом. Старые высотомеры дальномеров не имеют. При отсутствии дальномера практические работники иногда отмеряют базис шагами. Это проще и легче, чем делать измерения мерной лентой или рулеткой, но точность здесь не гарантируется. Поэтому измерять базис шагами нельзя.

Безбазисные высотомеры используют принцип подобия треугольников. Из безбазисных известен высотомер Христена. Для проведения измерений высотомеров Христена требуется шест длиной 2–3 м, который приставляют к дереву. Затем отходят на такое расстояние, чтобы при визировании на шест его верхняя часть соответствовала отметке 2 (или 3 м) на высотомере. Визируя на вершину дерева (при этом удерживая на высотомере высоту шеста), находим отметку, которая соответствует высоте дерева (рис. 1.9). Отвесная линия  $ab$  параллельна стволу стоящего дерева  $AB$ . Здесь мы строим 2 подобных треугольника  $ABO$  и  $abO$ , где  $\frac{AB}{AC} = \frac{ab}{ac}$ . Тогда высота дерева ( $AC$ ) будет равна  $AC = \frac{AB \cdot ac}{ab}$ , так как  $BC = \text{const}$ , нанеся соответствующую градуировку на высотомер, нетрудно найти  $AC$ .

В лесхозах высотомеров Христена сегодня нет. К тому же из-за технических сложностей глазомерного визирования точность этого высотомера низкая – не точнее  $\pm 2$  м.

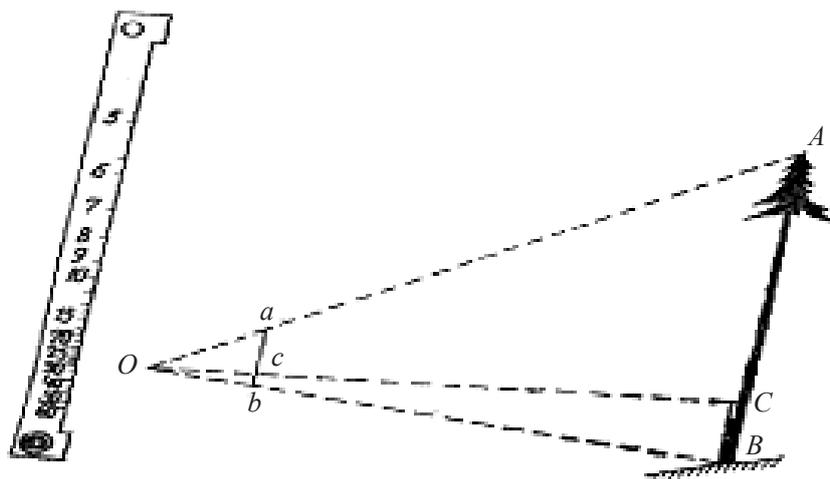


Рис. 1.9. Схема измерения высоты дерева безбазисным высотомером Христана

В настоящее время есть очень много конструкций высотомеров. В учебниках по лесной таксации описаны зеркальный высотомер (Фаустмана), высотомер Макарова, способ измерения высоты дерева с помощью специально размеченной мерной вилки, высотомер Никитина и др. Практически сегодня высотомеры Фаустмана, Вейзе, Вимменауэра и других можно встретить только в музеях. При желании описание этих приборов можно найти в учебниках по лесной таксации В. К. Захарова, Н. П. Анучина, О. А. Атрощенко и др. Высотомер Никитина не получил широкого распространения. К тому же качество его изготовления очень низкое, и пользоваться им можно с большой осторожностью и только после проверки.

Измерять высоту с помощью мерной вилки можно, если она имеет специальную разметку. Такую разметку наносили на деревянные мерные вилки до 70-х гг. прошлого века. В настоящее время мерные вилки, пригодные для измерения высоты, не выпускаются. Вызвано это низкой точностью измерения высот с помощью мерной вилки и наличием компактных и точных высотомеров.

В лесхозах еще можно встретить маятниковый высотомер Макарова. Хотя он портативен и удобен в работе, но в силу ряда технических характеристик не дает высокой точности, которая в лучшем случае составляет  $\pm 2$  м. Вызвано это тем, что маятник высотомера часто заедает, шкала слишком мелкая. Высотомер Макарова называют маятниковым. Он построен на тригонометрическом принципе (рис. 1.10).

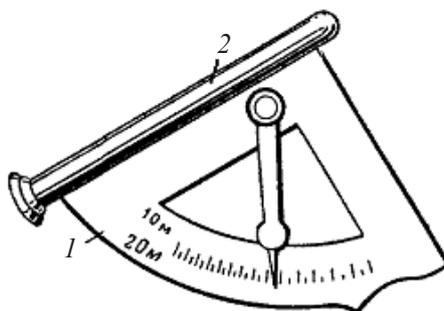


Рис. 1.10. Высотомер Макарова: 1 – металлический сектор; 2 – прицельная трубка

Высотомер состоит из металлического сектора (1), прикрепленного к трубке (2), предназначенной для визирования на вершину дерева. В верхней части сектора укреплен вращающийся на шарнире маятник с заостренной на конце стрелкой. Показания шкалы базиса – 10 и 20 м.

Для того чтобы измерить высоту дерева высотомером на горизонтальной поверхности, от него отходят на постоянную величину 10 или 20 м, считая от основания (постоянные базисы),

и визируют через трубку на вершину. Стрелка маятника укажет измеряемую высоту дерева в зависимости от базиса. К полученному результату необходимо прибавить высоту до уровня глаза наблюдателя.

Если дерево расположено на наклонной поверхности, то отмерив базис по горизонтальному положению 10 или 20 м, визируют на вершину дерева и делают отсчет согласно указаниям маятника, затем визируют на основание дерева, повернув высотомер на  $180^\circ$ . Оба отсчета складывают и получают высоту дерева, не делая добавок на высоту глаза наблюдателя.

Если дерево находится на возвышенности, измеряют базис по горизонтальному положению до основания дерева. При измерении высоты визируют вначале на его вершину, а затем на основание. Разность отсчетов дает высоту дерева без добавок на высоту глаза наблюдателя.

Теоретическое обоснование высотомера Макарова приведено на рисунке 1.11, где  $BA_2 = BC + CA_2 = H$  – высота дерева;  $AC = A_1A_2$  – базис.

Обоснования измерения  $H$  на понижении или повышении местности приведены выше; следует лишь учесть, что  $\angle\beta = 90^\circ - \alpha$ .

**Пример.** Длина базиса  $A_1A_2 = 20$  м, угол  $ABC = \alpha = 39^\circ$ , угол  $BAC = \beta = 90^\circ - \alpha = 51^\circ$ ,  $\text{tg} 59^\circ = 1,26$ ,  $BC = AC \text{tg} \beta = 20 \cdot 1,26 = 25,2$  м высота дерева  $H = BC + CA_2 = 25,2 + h$ ;  $h$  – высота глаза наблюдателя в точке  $A$  (в среднем 1,4 м); таким образом,  $H = 25,2 + 1,4 = 26,6$  м.

$$BC = AC \text{tg} \beta = AC \text{tg}(90^\circ - \alpha) = AC \text{ctg} \alpha; H = AC \text{ctg} \alpha + h.$$

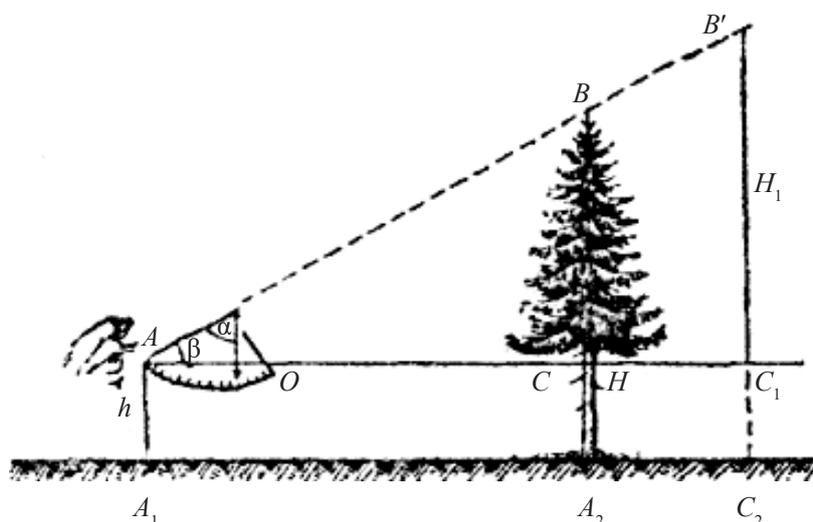


Рис. 1.11. Схема измерения высоты дерева высотомером Макарова

Угол  $\alpha$  образуется линией визирования на вершину дерева и линией отвеса (маятника). Для удобства практического использования высотомера на шкале его вместо градусной величины угла  $\alpha$  или угла  $\beta = 90^\circ - \alpha$  нанесены соответствующие им высоты, указываемые стрелкой маятника.

При постоянной величине базисов 10 или 20 м высота дерева непосредственно отсчитывается на шкале плюс  $h$  (высота глаза наблюдателя). Если базис равен 30 м, то надо сложить показатели шкалы для 10 и 20 м плюс  $h$ .

Крупным недостатком высотомера Макарова является его малый размер, что не обеспечивает точности визирования на вершину дерева и приводит к ошибке в отсчете высот. Высотомеры увеличенных размеров обеспечивают лучшие результаты.

Высотомеры, построенные на геометрическом принципе, основаны на подобии треугольников, один из которых проектируется на местности, другой – на приборе. Имеется много различных конструкций таких высотомеров, но принципиальная схема их устройства одинаковая (рис. 1.12).

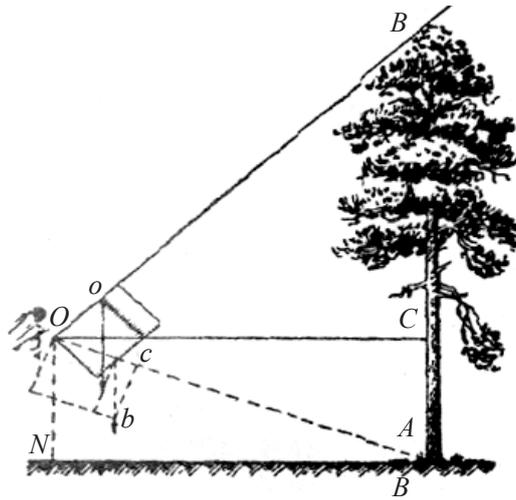


Рис. 1.12. Общая схема высотомеров, построенных по геометрическому принципу

На прямоугольной пластинке  $Oocb$  нанесены деления; в точке  $o$  укреплена нить  $ob$  отвесом; наблюдатель, находящийся в точке  $N$ , отстоящей от основания дерева на расстоянии  $NA$ , измеренном мерной лентой (базис), визирует на вершину дерева  $B$  вдоль стороны  $Oo$  прямоугольника. Нить отвеса  $ob$  укреплена в точке  $o$  на делении, отвечающем числу единиц измерения базиса  $NA$ . В этом случае нить отвеса пересечет в точке  $b$  цифру деления, соответствующую высоте  $BC$ .

Если дерево находится на горизонтальной поверхности, то для определения всей его высоты следует к величине  $BC$  прибавить высоту глаза наблюдателя  $h$ . Техника измерения строится на подобии треугольников  $OBC$  и  $obc$ , у которых  $\angle BOC = \angle boc$ , так как они образованы взаимно перпендикулярными сторонами, а стороны треугольников пропорциональны;  $BC : bc = OC : oc$ . Следовательно,  $BC = \frac{bc \cdot OC}{oc}$ .

Так как нить отвеса укреплена на цифре деления, отвечающего числу единиц измерения базиса  $NA$ , то нить отвеса в точке  $b$  будет непосредственно указывать величину  $BC$  в единицах измерения базиса.

При расположении дерева на пониженной поверхности необходимо проводить два отсчета: на вершину дерева и на основание; в этом случае высота дерева  $H$  будет слагаться из суммы двух отсчетов  $BC + CA$ , без прибавления величины  $h$ .

Если дерево расположено на повышенной поверхности, то высота его определяется как разность отсчетов по нити отвеса при визировании на вершину и основание дерева (рис. 1.13).

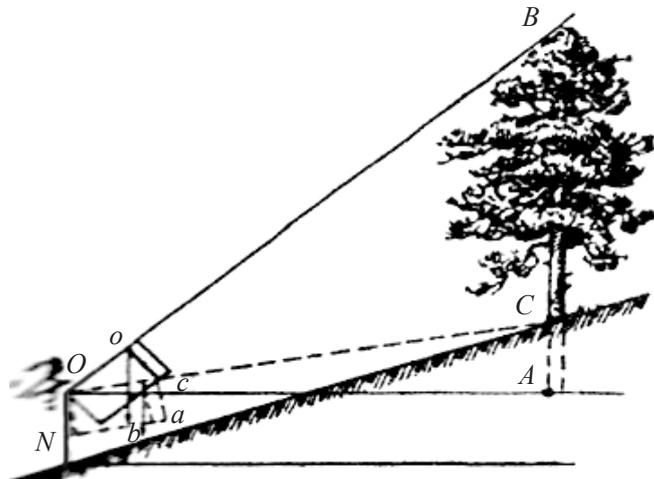


Рис. 1.13. Измерение высоты дерева, находящегося на возвышенности, при помощи высотомера, построенного на геометрическом принципе

В этом случае имеем две пары подобных треугольников:  $OBC$  и  $oba$ , а также  $OCA$  и  $oca$ . Исходя из подобия первой пары треугольников, отсчет на основание дерева  $C$  дает величину  $CA$ .

В предыдущих учебниках по лесной таксации описаны высотомеры «Метра» и Блюме – Лейсса. Высотомера «Метра» в лесном хозяйстве Беларуси нет. Высотомеры Блюме – Лейсса в 70-е гг. XX в. были приобретены в большом количестве лесоустройством. В лесхозы они не поступали. В небольшом количестве эти достаточно точные, удобные высотомеры еще сохранились. Поэтому дадим его описание.

*Высотомер Блюме – Лейсса* (рис. 1.14) имеет корпус в виде сектора круга. Глазной и предметный диоптры расположены на концах верхней грани корпуса высотомера. Рядом с предметным диоптром находится спусковой крючок, который закрепляет в нужном положении маятник высотомера. В верхней части корпуса имеется вырез, через который пропускают большой палец руки при визировании на вершину дерева.

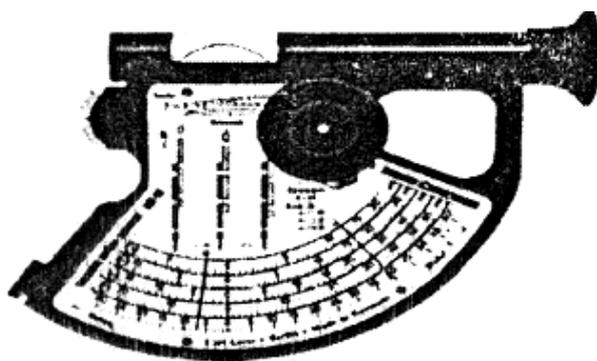


Рис. 1.14. Высотомер Блюме – Лейсса

На обратной стороне корпуса прикреплена табличка, содержащая поправки к измерениям при гористом рельефе. Эта же табличка позволяет перевести градусы уклона местности в проценты.

Высотомер изготовлен из легкого металла. Его механические части помещены внутри корпуса, что исключает повреждение механизма. Масса высотомера 320 г, размеры  $18 \times 15 \times 2$  см.

Высота деревьев определяется по четырем дугообразным шкалам с высотными делениями. Каждая шкала служит для визирования на дерево с различных расстояний: 15, 20, 30 и 40 м. С помощью пятой, нижней шкалы определяют в градусах крутизну склонов, проводят нивелирование дорог и канав. Все шкалы защищены стеклом. Высота деревьев и глубина пониженных мест, которые можно определять с помощью четырех шкал высотомера, приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Высота деревьев и глубина пониженных мест, измеряемые высотомером Блюме – Лейсса, в м

Расстояние до измеряемых предметов	Высота над уровнем глаза	Углубление по отношению к уровню глаза	Расстояние до измеряемых предметов	Высота над уровнем глаза	Углубление по отношению к уровню глаза
15	До 20	До 7,5	30	До 45	До 15,0
20	> 30	> 10,0	40	> 60	> 20,0

При измерении высоты дерева сначала необходимо определить расстояние от измеряемого дерева до таксатора. Для этой цели в высотомере имеется дальномер с прилагаемой к нему базисной складной лентой. Последняя закрепляется на измеряемом дереве с таким расчетом, чтобы ее нулевое деление было расположено на высоте глаз. Таксатор отходит от измеряемого дерева и, передвигаясь на несколько шагов вперед или назад, в оптическом измерителе ищет

одно из четырех чисел (15; 20; 30 или 40), находящихся на базисной ленте на том же уровне, что и нулевое деление. Допустим, что в оптическом измерителе получилось изображение, при котором нулевое деление стоит на одном уровне с делением 20. Это означает, что расстояние от основания ствола измеряемого дерева до уровня глаз таксатора равно 20 м.

Чтобы добиться точного определения расстояния при рассматривании через оптический измеритель базисной ленты, высотомер необходимо слегка поворачивать. Тогда получается наиболее ясное изображение базисной ленты.

Установив расстояние от пункта наблюдения до дерева, надо нажать на кнопку, находящуюся на обратной стороне высотомера. В результате освободится маятник. Сначала визируют на вершину дерева, а затем на его основание. Визирование должно продолжаться до тех пор, пока маятник не перестанет качаться, то есть не встанет в вертикальное положение. После этого, не переставая через диоптры визировать на вершину дерева, нажимают указательным пальцем на спусковой крючок. Тогда маятник остановится на том делении шкалы, которое будет определять высоту дерева от вершины до уровня глаза. Визирование на основание дерева происходит аналогично визированию на его вершину. С его помощью определяют расстояние от шейки корня дерева до глаза наблюдателя. Суммируя результаты отсчета на шкале при визировании на вершину и на основание дерева, находят его высоту.

Если таксатор находится в горах ниже уровня основания дерева, необходимо отсчет при визировании на основание вычесть из отсчета при визировании на вершину дерева. Когда дерево расположено на склоне крутизной более  $10^\circ$ , необходимо внести поправку на рельеф. В поправочной таблице находят величину поправки на высоту, соответствующую установленному углу наклона, и умножают ее на высоту дерева. Точность высотомера  $\pm 0,5$  м.

Устройство высотомера маятниковой конструкции, каким является высотомер Блюме – Лейсса, основано на тригонометрических расчетах (рис. 1.15).

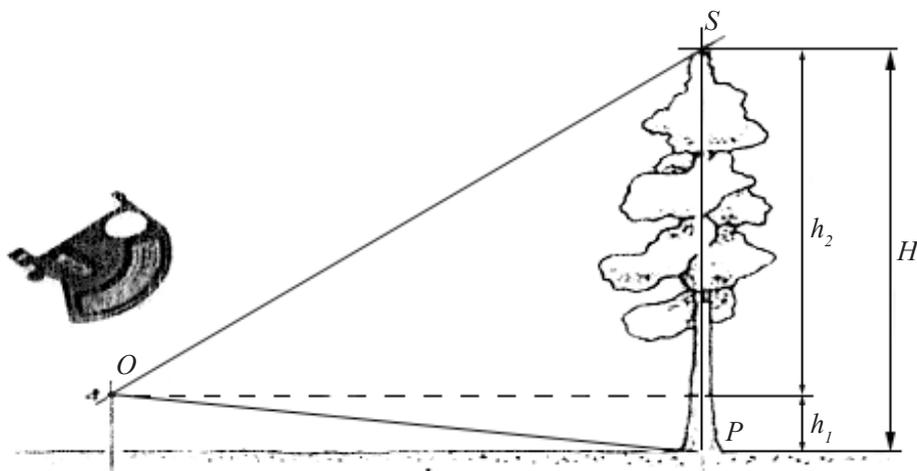


Рис. 1.15. Схема измерения высоты дерева высотомером Блюме – Лейсса

Предположим, надо измерить высоту дерева  $SP$ . Отойдем от дерева на расстояние  $OP = 10$  м и из точки  $O$  будем визировать на вершину измеряемого дерева. При этом маятник высотомера займет вертикальное положение. Маятник и визирная труба образуют угол, равный углу  $OSP$ . Угол  $SOP$  на рисунке обозначен через  $\alpha$ . Отношение длины  $SP$  к длине линии  $OP$  составляет тангенс угла  $\alpha$ . Длина линий  $OP$  принимается постоянной, равной 10 м.

Возьмем другой пример. Требуется измерить высоту у двух деревьев. Высота первого дерева от уровня глаза наблюдателя до вершины равна 10 м, второго дерева – 15 м ( $C_1B_1 = 10$  м,  $C_2B_2 = 15$  м). Соответственно этим условиям тангенс угла  $\alpha$ , образуемого маятником и визирной линией, будет следующим:

а) для первого дерева  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{C_1B_1} = \frac{10}{10} = 1;$

б) для второго дерева  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{C_2B_2} = \frac{10}{15} = 0,67.$

Аналогичным способом могут быть найдены тангенсы углов  $\alpha$ , образуемых маятником и линией визирования, для деревьев любой высоты. Тангенсу, равному 1, соответствует угол  $45^\circ$ , а тангенсу, равному 0,67, – угол  $33^\circ 40'$ . Эти углы наносят на сектор высотомера.

При их построении за вершину угла берут ось маятника параллельно визирной линии. Угол, равный  $45^\circ$ , на секторе отмечают делением и под ним ставят цифру 10. Маятник высотомера будет отсекают это деление тогда, когда высота дерева над уровнем глаза наблюдателя будет равна 10 м. Против деления, соответствующего углу  $30^\circ 40'$ , наносят цифру 15. Она определит высоту дерева, превышающего уровень глаза наблюдателя на 15 м. Аналогичным способом наносят на шкалу высотомера деления для определения всех прочих высот деревьев, различающихся между собой на 1 м.

Точность высотомера Блюме – Лейсса в 70-е гг. прошлого века проверена В. Ф. Багинским путем измерения высоты у ста модельных деревьев с последующей их рубкой и измерением высоты рулеткой с точностью до 5 см. Установлено, что она соответствует паспортным данным и находится в пределах 0,3–0,5 м.

В принципе, пользование любым высотомером несложно, если знать принцип их работы. К тому же к каждому высотомеру прилагается инструкция по работе с данным прибором.

В настоящее время лесоустройство и лесхозы переходят на новое поколение высотомеров – оптико-механические и электронные. Они выпускаются в Германии, Финляндии, Швеции и других странах. Характеристика этих приборов приведена в соответствии с названным описанием.

*Высотомер Suunto PM-5* (Финляндия) применяется в настоящее время в нашем лесном хозяйстве со второй половины 70-х гг. прошлого века. В силу его удачной конструкции и высокого качества изготовления он не потерял своего значения до сих пор. В лесхозах этот высотомер встречается редко, им чаще пользовались научные работники и лесостроители. Прибор представляет собой оптико-механический высотомер (рис. 1.16) для измерения высот деревьев с высокой точностью и оперативностью. Он позволяет также измерять углы уклона в градусах. Определение высоты дерева может вестись с двух базисных расстояний: 10 и 20 м.

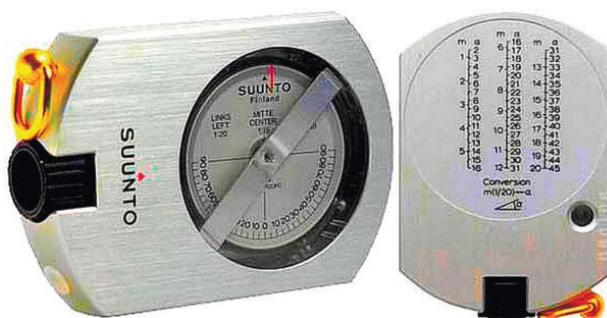


Рис. 1.16. Высотомер Suunto PM-5

Конструктивно прибор выполнен в легком анодированном алюминиевом корпусе и может легко помещаться в нагрудный карман куртки. В высотомере предусмотрена настройка резкости окуляра. После установления базисного расстояния наводка и взятие отсчета по шкале производятся одновременно. Регулирование или блокировка шкалы при этом не производится. В данной модели к показаниям прибора в этом случае необходимо прибавлять высоту визирования, которую также можно измерить, сняв отсчет по основанию дерева.

Высотомер выпускается в нескольких модификациях: с лампой подсветки (Active Beta Lighting) и с визирующим устройством для определения базисного расстояния по базисной ленте, помещенной на измеряемом дереве. Точность высотомера составляет  $\pm 2\%$ . Его проверка, проведенная В. Ф. Багинским одновременно с высотомером Блюма – Лейсса, показала, что точность прибора соответствует паспортным данным и не выходит за пределы 0,5 м.

*Suunto Tandem* (Финляндия). Прибор объединяет в одном анодированном алюминиевом корпусе высокоточный высотомер и буссоль. Конструкция высотомера в этом приборе аналогична конструкции высотомера Suunto PM-5. Комбинация двух приборов в одном корпусе является эффективным решением для специалистов, которым требуется одновременно производить замер высот и выполнять измерение углов на местности, то есть для использования при отводе и таксации лесосек. Общий вес прибора составляет всего 180 г.

*Silva Clino Master* (Швеция). Оптико-механический высотомер высокой точности, предназначенный для измерения высот деревьев и вертикальных углов (рис. 1.17).



Рис. 1.17. Высотомер Silva Clino Master

Конструктивно высотомер выполнен в анодированном алюминиевом корпусе карманного размера ( $75 \times 53 \times 16$  мм). Шкала высотомера помещена в специальную капсулу, заполненную демпфирующей жидкостью, что обеспечивает плавность вращения и демпфирование мелких колебаний. Измерение высоты может производиться с нескольких базисных расстояний: 10, 15, 20 и 25 м. На боковую поверхность высотомера нанесена сантиметровая шкала. Высотомер выпускают в нескольких модификациях: с линзой или призмой для визирования и снятия показаний; с подсветкой. Точность прибора –  $\pm 2\%$ . Небольшой вес (110 г) и компактные размеры делают прибор удобным в эксплуатации.

*Silva Survey Master* (Швеция). Патентованная технология объединения двух измерительных приборов в одном корпусе: высотомера Clino Master и буссоли Sight Master (рис. 1.18). Как и в случае Suunto Tandem, этот прибор является эффективным решением для работ, связанных с отводом лесосек (например, со съемкой с помощью буссоли) и определением высот модельных деревьев при таксации.

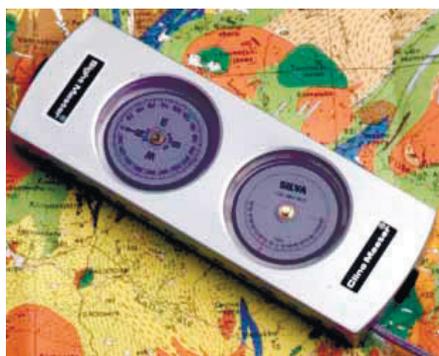


Рис. 1.18. Высотомер Silva Survey Master

Прибор выпускается в модификации с различными устройствами для визирования – с линзами или призмами. Вес прибора – 230 г.

*Haglof Electronic Clinometer* (Швеция). Электронный высотомер известной компании Haglof, выпускающей лесотаксационный инструмент.

Этот прибор (рис. 1.19) – самый простой в эксплуатации из электронных высотомеров, представленных ранее. Он специально предназначен для измерения высот деревьев и вертикальных углов. Малые размеры, сопоставимые с размерами спичечного коробка (63 × 44 мм) и низкий вес (50 г) делают его, вероятно, самым компактным высотомером для лесной таксации.



Рис. 1.19. Высотомер Haglof Electronic Clinometer

Кроме малых размеров, второй отличительной особенностью высотомера является его способность определять высоту дерева с любого базисного расстояния. Перед началом замера необходимо произвести замер базисного расстояния. Для лучшего результата оно должно примерно равняться высоте дерева. Величина базиса вводится в высотомер, после чего выполняется собственно измерение высоты: сначала визирование на основание дерева, а затем – на его вершину. Высотомер автоматически рассчитывает высоту дерева, и наблюдатель может считать показания в видоискателе высотомера. Прибор питается от одной батареи (тип АА). Точность измерений прибора высока – ошибка составляет всего  $\pm 0,2\%$ . В силу малых размеров и массы высотомера от таксатора требуется некоторый навык для точного визирования на вершину дерева и снятия показаний. Опыт использования этого прибора в лесном хозяйстве показал высокую эффективность его работы совместно с компактным лазерным дальномером *BOSCH DLE 50* (рис. 1.20).



Рис. 1.20. Дальномер BOSCH DLE 50

Названный дальномер измеряет расстояния до 50 м с очень высокой точностью. С помощью дальномера производится замер базисного расстояния, показания вводятся в высотомер, затем выполняется замер высоты дерева. Использование лазерного дальномера значительно

ускоряет работы по обмеру моделей по сравнению с применением обычной мерной ленты, а технологическое решение из комбинации этих двух приборов имеет привлекательную стоимость по сравнению с моделями со встроенным дальномером.

Для эффективной работы дальномера необходимо использовать светоотражатель, который помещается рядом с измеряемым деревом. Без использования отражателя дальность измерения снижается до 25–35 м.

*Vertex IV* (Швеция). Электронный высотомер компании Haglof (рис. 1.21).



Рис. 1.21. Высотомер Vertex IV

Это современное высокотехнологичное устройство для измерения высоты деревьев и расстояний в горизонтальной проекции, вертикальных углов и уклонов. В нем используется ультразвуковая технология для замера расстояния, позволяющая производить измерения в условиях высокой сомкнутости полога леса, при наличии густого подлеска и даже перекрытия измеряемого объекта густой растительностью. По своим техническим характеристикам и потребительским качествам прибор отвечает самым высоким требованиям.

Определение высоты дерева может вестись с любого базисного расстояния. Для определения базиса используется встроенный дальномер и специальный транспондер, который устанавливается возле измеряемого дерева (рис. 1.22).



Рис. 1.22. Транспондер и конусный отражатель, используемый с высотомером Vertex IV

Транспондер размещают на высоте, которая предварительно записывается в электронной памяти высотомера. Она устанавливается пользователем. Для проведения измерений таксатор отходит на расстояние, примерно равное высоте дерева, включает высотомер и выполняет последовательно визирование сначала на транспондер, а затем на вершину дерева. Высотомер рассчитывает высоту дерева с учетом высоты визирования и уклона местности, выводит ее на экран и сохраняет в электронной памяти прибора.

Высотомер можно применять для ограничения круговых площадок постоянного радиуса (КППР). Для этого в центре КППР помещают транспондер со специальным конусным отражателем, который поставляется отдельно. Визируя высотомер в направлении транспондера, наблюдатель определяет расстояние до центра КППР.

Высотомер оборудован инфракрасным передатчиком и радиомодулем Bluetooth. Данные четырех последних измерений могут быть переданы в компьютер или электронную мерную

вилку Haglof Digitech Professional или Mantax Digitech. Таким образом, совместное использование электронной мерной вилки и высотомера позволяет полностью сохранять данные таксации в электронной форме. Это обстоятельство делает удобной последующую обработку данных на компьютере, значительно ускоряя их ввод и обработку.

Высотомер имеет компактные размеры (80 × 50 × 30 мм), изготовлен в корпусе из анодированного алюминия и имеет незначительный вес – всего 160 г, включая батарею питания (элемент типа АА 1,5 Вольт). Прибор может эксплуатироваться в широком диапазоне температур, включая температуры ниже нуля (от –15 до +45 °С). Точность измерения расстояния – ±1 %.

На рисунке 1.23 изображен электронный высотомер компании Haglof *Vertex Laser L400* (Швеция).



Рис. 1.23. Высотомер Vertex Laser L400

Прибор предназначен для измерения высот, уклонов и расстояний. Для определения расстояния в высотомере используется лазерная технология. Наличие лазера позволяет определять расстояния до 350 м без отражателя и до 900 м с отражателем. При этом обеспечивается точность измерений до ±1 м на дистанции до 100 м. Модификация высотомера L400 объединяет в одном корпусе лазерный и ультразвуковой излучатели, что значительно повышает возможности использования прибора.

В настоящее время на рынке лесотаксационных инструментов представлено много различных конструкций высотомеров, которые можно применить в лесохозяйственной практике. Сравнительная характеристика описанных высотомеров приведена в таблице 1.5. Выбор модели определяется требованиями, предъявляемыми к решаемым практическим задачам.

Таблица 1.5

Сравнительная характеристика высотомеров

Название	Тип	Размеры, мм	Вес, г	Точность
Blume Leiss	Оптико-механический	140 × 130 × 21	260	2,5 %
Suunto PM-5	Оптико-механический	–	110	1–2 %
Suunto Tandem	Оптико-механический	–	180	1–2 %
Silva Clino Master	Оптико-механический	75 × 53 × 16	110	1–2 %
Silva Survey Master	Оптико-механический	160 × 54 × 16	230	1–2 %
Haglof Electronic Clinometer	Электронный	63 × 44 × 20	50	0,2°
Vertex IV	Электронный	80 × 50 × 30	160	1 %
Vertex Laser L400	Электронный	95 × 72 × 58	260	0,1°

Основной производственной задачей лесхоза, где требуется применение высотомера, является таксация лесосек при подготовке материалов отводов для отпуска древесины на корню в соответствии с действующими правилами. Так как основной объем этих работ выполняется лесничествами, оптимальным выбором в этом случае будут оптико-механические высотомеры: например, Suunto, Silva или электронный НЕС. Применение комбинированных приборов

(высотомер и буссоль) является оптимальным решением тогда, когда работы по отводу и таксации лесосеки выполняются одновременно.

Применение электронных высотомеров Haglof Vertex IV или Vertex Laser целесообразно рассматривать в комплексе с электронными мерными вилками Haglof, так как в этом случае сбор и обработка данных происходит полностью в цифровом виде. В силу более высокой стоимости такого технологического решения по сравнению с традиционным способом сбора и обработки полевого материала, комплексом этих электронных инструментов в первую очередь следует оснащать специализированные звенья или бригады, выполняющие работы по отводу и таксации лесосек. В данном случае два таксатора могут выполнить весь комплекс работ по таксации лесосеки с последующей обработкой полевых данных и подготовкой документации на персональном компьютере.

Есть еще много различных высотомеров, изготовленных в других странах: США, Китае, Японии и т. д. Все разнообразие высотомеров в учебном пособии описывать нет смысла, так как у наших предприятий их нет. В то же время лесхозы, имея валюту, заработанную за счет экспорта древесины, покупают различные высотомеры, в основном немецкие, финские и шведские. Зная существующие приборы и общие принципы их работы, несложно освоить любой новый высотомер.

#### 1.4.5. Угловые шаблоны и реласкоп

Для определения сумм площадей поперечных сечений таксируемых древостоев австрийский ученый Вальтер Биттерлих предложил весьма простой прибор, который он назвал Winkel-zahlprobe (рис. 1.24).

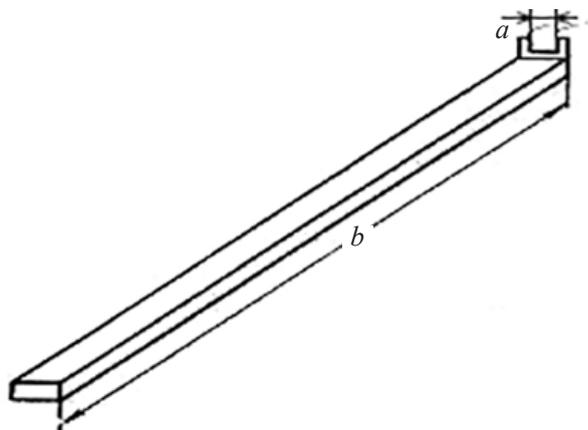


Рис. 1.24. Угловой шаблон Биттерлиха, или полнотомер

В нашей периодической печати его называют полнотомером, или угловым шаблоном. Он состоит из деревянного бруска длиной  $b$ , чаще всего равной 1 м. На одном из концов этого бруска привинчена металлическая прицельная рамка с вырезом  $a$ , являющимся предметным диоптром. При длине бруска 1 м ширина выреза на прицельной рамке будет равна 2 см. Отношение выреза к длине бруска составляет  $a : b = 2 : 100 = 1 : 50$ .

Способ определения суммы площадей поперечных сечений с помощью прибора Биттерлиха заключается в следующем. Подняв брусок на уровень глаза, ставят его в горизонтальное положение и, прижав торцевой частью к щеке, визируют поочередно на ближайшие деревья по продольной грани бруска через металлическую прицельную рамку, которая называется предметным диоптром. Ствол каждого из ближайших деревьев включают в прицельную рамку. Медленно поворачиваясь на месте, подсчитывают те деревья, стволы которых полностью закрывают просвет прицела. Деревья, лишь касающиеся линий прицельного угла, считают по два за одно.

Таким образом, в конечном итоге таксатор, находящийся в точке 0 (рис. 1.25, справа), вокруг себя заложит круговую пробную площадку, причем с увеличением диаметра деревьев радиус круговой площадки увеличивается. На приведенном примере (рис. 1.25) количество учтенных деревьев составляет 5 (4 дерева учитываем по 1 и два – по 0,5).

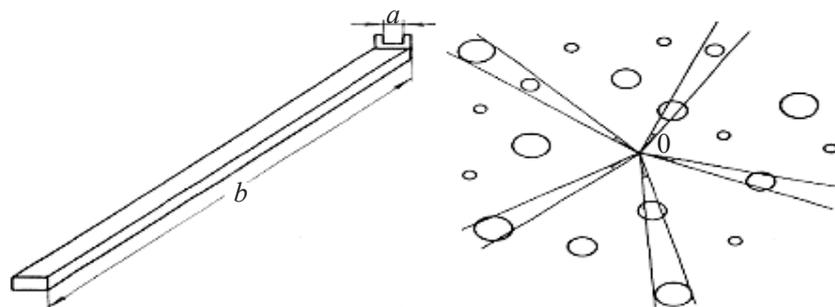


Рис. 1.25. Схема измерения угловым шаблоном Биттерлиха

Из отсчетов, полученных в нескольких кругах, закладываемых в разных частях таксируемого насаждения, устанавливают среднеарифметическое число деревьев  $N$ :

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n}$$

Это среднеарифметическое может быть найдено с любой степенью точности. Количество учтенных деревьев  $N$  равняется сумме площадей поперечных сечений  $\Sigma g$  всех деревьев, имеющих на 1 га таксируемого древостоя, выраженной в квадратных метрах ( $N = \Sigma g$ ). Теоретическое обоснование работы углового шаблона дано ниже при описании выборочных методов таксации.

Дальнейшее развитие идеи закладки угловых проб (WzPr) привело В. Биттерлиха к созданию оригинального оптического прибора, носящего название *зеркальный реласкоп* (рис. 1.26). Конструкция этого прибора все время совершенствуется, прибор разработан в нескольких вариантах.



Рис. 1.26. Реласкоп Биттерлиха

Зеркальный реласкоп представляет собой универсальный прибор, применяемый для определения:

- а) сумм площадей поперечных сечений деревьев, образующих насаждение;
- б) измерения высот;
- в) видовых высот и видовых чисел (значение этих таксационных показателей будет показано ниже);
- г) измерения коротких расстояний на местности;
- д) установления углов наклона местности.

Зеркального реласкопа в наших лесхозах нет. К тому же при приобретении этого прибора к нему прилагается подробная инструкция, поэтому подробное его описание излишне.

Таким образом, отметим, что В. Биттерлих для автоматического определения сумм площадей поперечных сечений деревьев на 1 га сконструировал два прибора: угловой шаблон (Die Winkelzahlprobe) и реласкоп, ставший в последующем универсальным инструментом.

В основе обоих приборов лежит одна и та же идея, сводящаяся к установлению постоянного соотношения между площадью поперечного сечения ствола и площадью круговой пробы. Эти две величины чаще всего относятся друг к другу как 1 : 10 000. При таком соотношении каждое учтенное дерево оказалось эквивалентным площади сечения в 1 м<sup>2</sup> на 1 га.

Установление этого соотношения в технике таксации леса является открытием огромного значения. Сама идея об этом соотношении и основанные на ней приборы В. Биттерлиха положили начало новой эпохе в развитии лесной таксации. За 200-летнюю историю развития этой научной дисциплины не было более крупного вклада в практику, чем открытие В. Биттерлиха.

В будущем таксационная мысль и новые поиски в лесной таксации должны быть направлены на дальнейшее использование плодотворной идеи В. Биттерлиха. Это тем более необходимо и потому, что при огромном значении идеи, лежащей в основе приборов В. Биттерлиха, созданные им приборы все же требуют совершенствования.

Ценное свойство реласкопа заключается в том, что это весьма портативный и универсальный прибор, позволяющий решать ряд таксационных задач. Однако работа с реласкопом в лесу чаще всего затруднена из-за недостатка света и трудности визирования через шкалы на деревьях, маскируемые подростом, подлеском и другими препятствиями. К тому же он очень дорог.

Учитывая эти недостатки приборов В. Биттерлиха, но и исключительную плодотворность самой идеи, положенной в их основу, Н. П. Анучин на основе теоретических разработок В. Биттерлиха создал новый таксационный прибор, который носит название «призма Анучина». Им же предложена и «трость таксатора», где использован принцип Биттерлиха. Эти приборы были распространены в лесоустройстве в 60–70-е гг. прошлого века. В настоящее время призма Анучина и трость таксатора не используются, а предпочтение отдается угловому шаблону. Подробное описание призмы Анучина и трости таксатора имеется в ранее изданных учебниках и учебных пособиях по лесной таксации.

#### 1.4.6. Бурав

Для установления интенсивности роста дерева в толщину измеряют ширину годичных слоев древесины. Для этого из ствола растущего дерева высверливают кусочки древесины в виде цилиндров, которые называют кернами. Прибор для их высверливания, если требуется изучить прирост за 5–10 лет, называется приростным буравом Пресслера. Он представляет собой пустотелую трубку, имеющую с одного конца винтовую нарезку (рис. 1.27). Другой конец трубки, четырехгранной формы, вставлен в поперечное отверстие второй трубки, которая служит ручкой бурава и в то же время его футляром. При ввинчивании приростного бурава в ствол дерева в полость трубки входит цилиндрок древесины.

На обратной стороне пластинки обычно нанесены деления, которые служат для измерения ширины годичных слоев. Чаще всего на цилиндрике древесины отсчитывают десять годичных слоев и по делениям на пластинке определяют их общую ширину.

Для взятия глубоких проб применяют возрастной бурав, которым можно извлекать керны длиной до 50 см (рис. 1.27). С помощью этого бурава определяют по годичным слоям возраст дерева.

При всей видимой простоте названных буравов, их изготовление представляет собой сложную техническую и технологическую задачу.

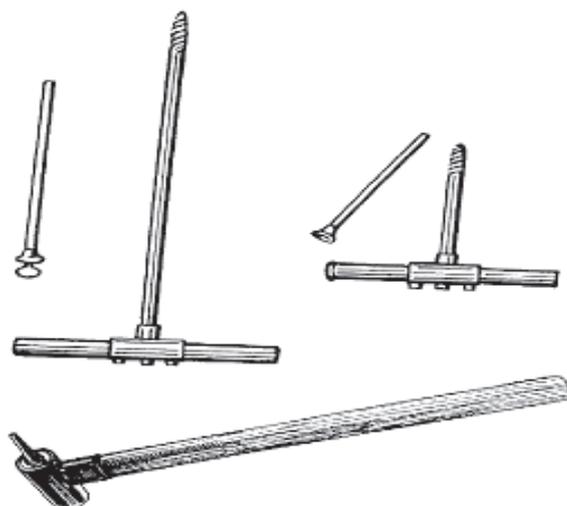


Рис. 1.27. Возрастной (слева) и приростной бурава

Приростной и возрастной бурава производят в Швеции, Финляндии, Германии, США, Китае. В СССР в 40–50-е гг. выпускали приростные бурава, но работать ими было практически невозможно из-за низкого качества. В Беларусь поступают бурава в основном из Швеции и Финляндии. Их цена высока (от 200–300 долл. США за единицу). Это вызвано сложностью изготовления прибора, высокими требованиями к качеству извлекаемого керна. В начале 90-х гг. прошлого века силами Гомельского политехнического института и Института леса была разработана, запатентована и выпущена опытная партия буравов. Они не уступали их импортным аналогам, а по качеству керна превосходили. Несмотря на удачную конструкцию и положительные отзывы пользователей, наладить его серийное производство не удалось. Поэтому в настоящее время приростные и возрастные бурава покупают по импорту.

#### 1.4.7. Приборы для подсчета годичных колец

Подсчет годичных колец и их измерение является трудоемким делом. Поэтому в настоящее время разработано много приборов, облегчающих эту работу. Наиболее совершенные из них выпускаются в Германии и Швеции. Прибор представляет собой иглу, связанную с компьютером. Работает от электросети или от аккумулятора. По разнице в сопротивлениях при прохождении ранней и поздней древесины ведется учет и измерение годичных слоев.

Ход прироста по толщине у деревьев в течение вегетационного периода определяется точными приборами, так называемыми *прецизионными дендрометрами*. С помощью этого прибора можно определить ход прироста у растущего дерева в течение короткого промежутка времени: за час, день, неделю или месяц. В практике лесного хозяйства ими пользуются очень редко.

#### 1.4.8. Другие приборы

Для определения коэффициента полндревесности поленниц В. Биттерлих сконструировал специальный прибор, изображенный на рисунке 1.28.

Он представляет собой вырезанный из целлулоида шаблон, имеющий форму треугольника. В расширенную часть шаблона вписывается поперечное сечение ствола диаметром 24 см, радиусом 12 см. Расстояние от центра вписанного сечения до вершины угла (длина линии  $AB = \alpha$ ) принято равным 60 см. Отношение длины радиуса  $r$  к длине линии  $AB = \alpha$  составляет

$$\sin \alpha = \frac{r}{\alpha} = \frac{12}{60} = 0,2.$$

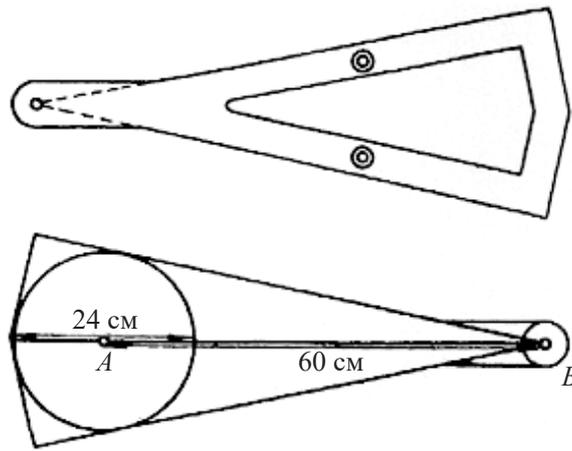


Рис. 1.28. Прибор Биттерлиха для определения полндревесности поленицы

Соответственно этому  $\alpha = r/0,2$ . На торцевой поверхности поленицы этим прибором описываем круг. Центром этого круга будет точка  $B$  – вершина треугольника.

При таком вращении шаблона по кругу учитываются все поленья, торцы которых своей толщиной полностью закрывают угол, образуемый сторонами треугольника.

В круге радиусом  $\alpha = r/0,2$  отсчитываем  $n$  поленьев радиусом  $r$ . Площадь описанного круга будет равна:

$$\pi\alpha^2 = \frac{\pi r^2}{0,2^2} = \frac{\pi r^2}{0,04}.$$

Сумма площадей сечения поленьев, заполнивших шаблон, будет равна  $n\pi r^2$ .

Площадь сечения поленьев  $1 \text{ м}^2$  поленицы примем равной  $F$ . Для ее определения составим следующую пропорцию:

$$\frac{1}{\frac{\pi r^2}{0,04}} = \frac{A}{n\pi r^2}, \text{ отсюда } F = 0,04n \text{ и } n = 25F.$$

Допустим, что на торцевой поверхности поленицы мы заложили описанным выше способом четыре пробы. На основании приведенных уравнений получаем следующее равенство:

$$(n_1 + n_2 + n_3 + n_4) = 4n = 100F.$$

Таким путем найденную сумму площадей сечений, приходящуюся на  $1 \text{ м}^2$  поленицы, выражаем в долях  $1 \text{ м}^2$ . В результате находим коэффициент полндревесности поленицы.

В основу рассмотренного нами метода определения коэффициента полндревесности полениц его автор В. Биттерлих положил идею угловой пробы, широко используемую при таксации растущего леса. Исследованиями Макконена установлено, что метод В. Биттерлиха дает хорошие результаты при значительном количестве проб и когда учитываемые мелкие сортаменты уложены в большие по размерам поленицы. На маленьких поленицах наблюдаются большие ошибки.

При штучном учете бревен и других лесоматериалов, при промере длины линий и выполнении ряда других работ приходится вести счет учитываемым объектам последовательно нарастающим итогом. Для этого вида работ целесообразно применение приборов, называемых счетчиками. Счетчик представляет собой цифровой математический прибор, осуществляющий простейший арифметический учет путем последовательного увеличения на единицу ранее накопленного счетчиком числа.

---

---

## Глава 2

### ТАКСАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ СТВОЛОВ

---

---

- 2.1. Методы определения объемов стволов.
  - 2.2. Форма древесных столов. Образующая древесного ствола. Формулы для определения объема ствола и их точность.
  - 2.3. Таксация стволов растущих деревьев.
  - 2.4. Объемные таблицы и определение запаса древостоев.
- 
- 

#### 2.1. Методы определения объемов стволов

При учете лесных богатств страны главное внимание уделяется определению запаса древесины. Запас древесины выражается в основном в объемных величинах – кубометрах. Общая кубатура древостоя складывается из объема отдельных деревьев. Поэтому первичная задача при таксации лесов – нахождение объемов отдельных деревьев или их частей. Все методы определения объемов стволов можно разделить на две группы – определение объемов срубленных стволов и нахождение объемов растущих деревьев.

##### 2.1.1. Определение объемов срубленных стволов. Ксилотрихический и весовой методы

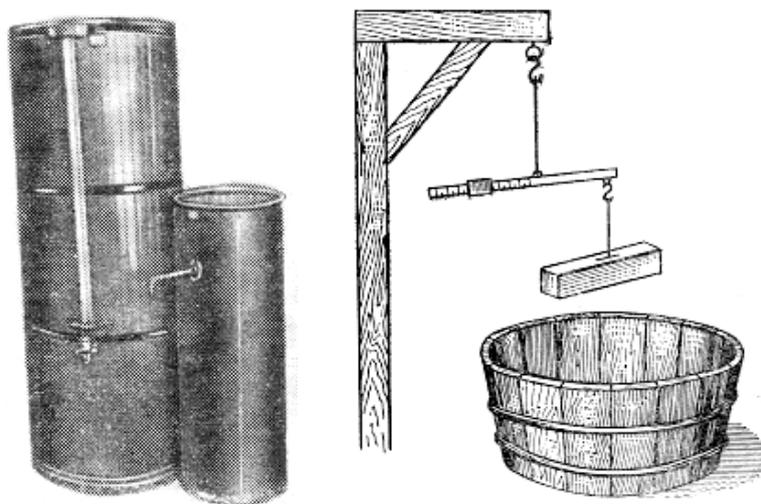
Для начала рассмотрим методы нахождения объема срубленных стволов, так как в этом случае мы можем провести любые измерения, многие из которых сделать на растущем дереве затруднительно. На срубленном дереве достаточно просто измерить его длину (высоту) и диаметр в любом месте дерева. Из курса математики мы знаем, что есть много формул для определения объема различных тел вращения: шара, цилиндра, параболоидов разных степеней, конуса, нейлоида. Поэтому, казалось бы, найти объем дерева не сложно.

На самом деле это не так. В отношении древесного ствола дело осложняется тем, что дерево не является каким-то одним определенным телом вращения, то есть точное нахождение его объема с помощью элементарных формул невозможно. К тому же следует учитывать, что определение объема ствола не должно отнимать много труда и средств, то есть быть рациональным и экономически обоснованным. Для определения объемов и массы любых тел есть надежные физические методы измерения – весовой и ксилотрихический.

Ксилотрихический способ основан на известном законе физики: тело, погруженное в жидкость, вытесняет ее в объеме, равном своему объему. Весовой способ основан на другом законе физики: тело, погружаемое в жидкость, теряет в весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость. Для взвешивания разных предметов существует много разновидностей весов – от очень точных, учитывающих доли грамма, до таких, которыми взвешивают машины и вагоны.

Прибор для измерения объема древесной массы первым способом называется ксилотрихом.

Ксилометр представляет собой металлический цилиндр или емкость иной формы (рис. 2.1). Ксилометр с переменным уровнем воды имеет сбоку цилиндра кран, в который выставлена стеклянная трубка. Позади трубки установлена шкала. Шкала может быть подвижной и неподвижной. Есть и другие конструкции этого прибора, имеющие меньший или больший объем.



Рису. 2.1. Ксилометры

Ксилометр наполняют водой до уровня, совпадающего с нулевым делением шкалы. Если шкала подвижная, совмещение уровня воды с нулевым делением достигается путем передвижения шкалы, совместив нуль шкалы с уровнем воды в трубке. Затем погружают в воду кусок древесины и, чтобы он не всплывал, давят на него металлическим сетчатым кругом. Круг снабжен стержнем, закрепленным сверху ксилометра.

При погружении куска древесины уровень воды повысится. Число делений на шкале, соответствующее этому уровню, и составляет объем куска в принятых для ксилометра объемных единицах. Отсчет нужно проводить возможно быстрее, чтобы часть воды не успела впитаться в погруженную древесину.

Ксилометрический способ точен, но трудоемок и дорог. Его применяют при научных исследованиях, когда нужно определить объем относительно небольшого количества древесины. В Беларуси объем вырубаемой древесины в последние годы достигает 22–26 млн м<sup>3</sup>, в России – 250–300 млн м<sup>3</sup>, а во всем мире он насчитывает 4–5 млрд м<sup>3</sup>. Понятно, что медленный и дорогой ксилометрический способ для исчисления таких объемов древесины не годится.

Сравнительно прост и дешев весовой способ измерения массы тел. Он успешно применяется для учета многих миллионов тонн зерна, металла, удобрений и других материалов. По весу нетрудно замерить и древесину. Осложняющим обстоятельством, затрудняющим применение этого метода, является различие в весе древесины в зависимости от ее влажности. При потере влаги древесина становится легче, причем эта потеря может происходить с неодинаковой скоростью. Наряду с потерей древесина способна и впитывать влагу. Чтобы привести вес древесины к «общему знаменателю», нужно проводить трудоемкие анализы. Поэтому по весу учитывают лишь небольшое количество наиболее ценной древесины, например, березу карельскую. Ее древесина ценится в 20–30 раз дороже, чем у обычной березы повислой. В силу описанных обстоятельств учет древесины во всем мире выполняют в основном в объемных единицах.

Для учета объемов деревьев необходимо знать форму древесных стволов – поперечную и продольную. Учитывая недостатки описанных методов, в практике лесной таксации объемы древесных стволов определяют с помощью различных математических формул. При этом проводят замеры диаметров дерева на различной высоте и измеряют высоту дерева. Эти замеры позволяют сделать математическое описание поперечной и продольной формы стволов.

## 2.2. Форма древесных стволов. Образующая древесного ствола. Формулы для определения объема ствола и их точность

### 2.2.1. Поперечная форма древесного ствола

Дерево состоит из корней, ствола, ветвей и сучьев, образующих крону. Наиболее ценной частью дерева, на долю которой приходится в среднем 60–85 % его объема, является ствол. Поэтому определение объема ствола составляет одну из главных задач лесной таксации.

Древесный ствол, как и отдельные его части, имеет некоторое сходство с правильными стереометрическими телами. Поэтому при определении объемов растущих и срубленных деревьев или частей ствола могут быть применимы законы и правила стереометрии.

Форма древесных стволов весьма разнообразна. У деревьев, выросших в густом лесу, стволы более правильной формы, у одиночно растущих деревьев – обычно неправильной, при этом у них сильно развита крона (рис. 2.2).

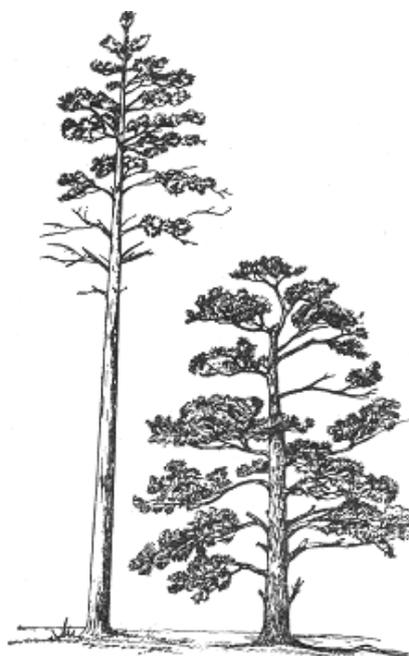


Рис. 2.2. Деревья, выросшие в насаждении (слева) и на свободе (справа)

Поперечные срезы древесных стволов, или, как принято их называть, поперечные сечения, по форме напоминают круги или эллипсы. Исследования показали, что у хвойных пород взаимно перпендикулярные диаметры в нижней трети ствола в среднем различаются на 3,7 %, а в средней части ствола – на 3,1 %.

Форму поперечных сечений древесных стволов уже более 100 лет назад детально изучали С. Е. Осетров и профессор В. Я. Добровлянский. С. Е. Осетров исследовал форму поперечных сечений (в коре), расположенных на высоте 1,3 м от шейки корня, у 27 еловых, 13 сосновых и 10 лиственных деревьев. Контуры срезов стволов были перенесены на бумагу и площади их исчислены геометрическим способом. Результаты этих вычислений приняты за истинные. Площади поперечных сечений, вычисленные по уравнениям площадей круга и эллипса, выразили в процентах от истинных площадей сечений. Полученные результаты приведены в таблице 2.1.

На основании данных таблицы 2.1 можно заключить, что формы поперечных сечений древесных пород в коре не представляют правильных геометрических фигур, а лишь приближаются к ним. Формулы эллипса и круга преувеличивают площади поперечных сечений стволов.

Наибольшее преувеличение (3,45–5,25 %) оказалось у лиственницы, сосна занимает среднее положение (1,77–2,71 %), наименьшее преувеличение дала ель (0,81–1,07 %). Формулы эллипса и круга дают близкие результаты.

Таблица 2.1

**Отклонения площадей поперечных сечений,  
вычисленных по формулам эллипса и круга, от истинных (по С. Е. Осетрову)**

Характер отклонения	Отклонения, % площадей, вычисленных по формулам эллипса и круга от истинных			
	эллипса	круга	эллипса	круга
<i>Ель</i>				
Среднеарифметическое	+0,81	+0,94	+1,04	+1,07
Наибольшее положительное	+2,51	+2,68	+3,21	+3,23
Наибольшее отрицательное	-0,39	-0,28	-0,30	-0,26
<i>Сосна</i>				
Среднеарифметическое	+1,77	+1,93	+2,66	+2,71
Наибольшее положительное	+5,35	5,46	+6,12	+6,13
<i>Лиственница</i>				
Среднеарифметическое	+3,45	+3,55	+5,23	+5,25

Профессор В. Я. Добровлянский исследовал девять сосновых стволов, разрезав их на части длиной 2,13 м. Каждый срез в коре и без коры он переносил на кальку и площади их вычислял планиметром. Результаты его исследований, дополнительно обработанные профессором А. В. Тюриным, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

**Отклонения площадей поперечных сечений,  
вычисленных по формуле эллипса, от истинных**

Характер отклонения	Отклонения от истинных, % площадей					
	По формуле эллипса $\frac{\pi ab}{4}$ на высоте от пня, м			По формуле эллипса $\frac{\pi a_1 b_1}{4}$ на высоте от пня, м		
	2,13	10,65	21,3	2,13	10,65	21,3
<b>В коре</b>						
Среднеарифметическое	+3,5	0,0	0,0	+3,5	+1,7	-0,2
Наибольшее положительное	+8,4	+2,7	+1,2	+6,4	+3,8	+4,2
Наибольшее отрицательное	-	-1,6	-2,4	-	-0,1	-5,2
<b>Без коры</b>						
Среднеарифметическое	+0,2	-0,3	+0,8	+0,1	+1,3	+1,1
Наибольшее положительное	0,15	+1,4	+2,9	+1,9	+3,9	+4,3
Наибольшее отрицательное	-0,7	-1,4	-4,0	-0,7	-0,8	-2,1

Наиболее близкие к истинным получаются площади сечений, вычисленные по формуле эллипса, определяемой по наибольшему и наименьшему диаметрам. Менее точные результаты получаются при определении площадей эллипсов по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. Наибольшее приближение площадей эллипсов наблюдается в средней (10,65 м) и верхней (21,3 м) частях стволов. Формула эллипса преувеличивает площадь сечения в коре нижней части ствола (2,13 м), что объясняется неровностями и трещинами коры в этой части ствола. Поперечные сечения стволов сосны без коры во всех частях ствола близки к площади эллипсов.

Сопоставление данных С. Е. Осетрова и В. Я. Добровлянского показывает, что при определении поперечных сечений нижней части ствола по формулам круга и эллипса погрешность исчисления возрастает с увеличением высоты измерения. В среднем она равна 1 %. У деревьев с толстой корой эта разница достигает 2–3 %, а с очень толстой – 4–5 %. При вычислении площадей поперечных сечений окоренных стволов формулы круга и эллипса дают для любого сечения по всей высоте ствола преувеличение на 0,5–1 %. В широкой таксационной практике ошибки, не превышающие приведенных выше, считаются неизбежными. Поэтому площади поперечных сечений находят по формуле круга, обеспечивающей точность до 3 %.

Площади кругов по сравнению с эллипсами дают незначительное превышение, вытекающее из следующего теоретического расчета:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} \left( \frac{a+b}{2} \right)^2 - \frac{\pi}{4} ab &= \frac{\pi}{4} \left( \frac{a^2 + 2ab + b^2}{4} - ab \right) = \frac{\pi}{4} \left( \frac{a^2 + 2ab + b^2 - 4ab}{4} \right) = \\ &= \frac{\pi}{4} \left( \frac{a^2 - 2ab + b^2}{4} \right) = \frac{\pi}{4} \left( \frac{a-b}{2} \right)^2. \end{aligned} \quad (2.1)$$

При равенстве  $a$  и  $b$  площади эллипса и круга равны. По мере увеличения разницы между величинами  $a$  и  $b$  расхождения в площадях увеличиваются. Таким образом, мы видим, что определение площади поперечного сечения по формуле круга не приводит к значимым ошибкам.

При проведении научных исследований чаще всего измеряют два противоположных диаметра дерева и выводят среднее значение. Еще более точные результаты получают, обмеряя окружность ствола рулеткой. Этот метод, как правило, используют при работе на постоянных пробных площадях, которые именуют стационарами.

Разница в диаметрах отдельных деревьев в древостое, которые измеряют в одном направлении, например, север-юг, носит случайный характер. Это значит, что отклонения от среднего значения, вычисленного по измерениям диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях, со знаком (+) и (–) примерно равны и взаимно погашаются. Поэтому в практике диаметры деревьев измеряют в одном выбранном направлении, что удовлетворяет требования к точности определения объемов ствола.

### 2.2.2. Форма продольных сечений древесных стволов. Продольная образующая древесного ствола

Если древесный ствол разрезать по сердцевине вертикальной плоскостью, то в сечении получится фигура, ограниченная кривой, которая расположена симметрично по отношению к вертикальной оси. При таком положении можно древесный ствол рассматривать как тело вращения, ограничиваемое некоторой кривой. Зная уравнения этой кривой, можно определить объем ствола (рис. 2.3).

Многочисленные исследования кривых, описывающих форму ствола, показали, что они неправильны и непостоянны. Уравнения, точно определяющего характер этих кривых, до сих пор не найдено.

Определить объем ствола аналитически можно было бы в том случае, если бы для каждого ствола было известно уравнение его поверхности:  $F(x, y, z) = 0$ , то есть вид функции  $F$ . Зная уравнения поверхности ствола, можно было бы вычисление его объема свести к интегрированию некоторой заданной функции.

Отсутствие общего уравнения поверхности ствола заставляет ограничиваться методом приближенных вычислений. Степень точности получающихся при этом результатов может быть очень высокой. Она зависит от погрешностей измерений, используемых в качестве основы при вычислении объемов.



Рис. 2.3. Кривые, используемые для описания образующей древесного ствола

Для упрощения исходят из предположения, что ствол есть тело вращения. В этом случае всякое сечение ствола плоскостью, перпендикулярной его продольной оси, есть круг. Однако изучение поперечного сечения ствола показало, что оно не является кругом. Поэтому, рассматривая древесный ствол как тело вращения, допускают определенную условность.

Ошибки в определении объема ствола, принятого за тело вращения, при таксации не превышают допустимых погрешностей. Если ствол считать телом вращения, задачу по определению его объема можно значительно упростить. В этом случае вопрос будет решаться не при помощи геометрии в пространстве, а посредством геометрии на плоскости и вместо изучения поверхности ствола будет изучаться его образующая.

Многочисленные исследования показали, что образующая древесного ствола слишком сложная кривая и на всем протяжении не может быть представлена одним аналитическим уравнением элементарной функции. Правильнее ее рассматривать как сочетание разных кривых. Поэтому и древесный ствол ближе к телу, состоящему из различных тел вращения.

В нижней части ствола образующая обычно имеет вогнутую форму, на большей части протяжения ствола она выпуклая и лишь на сравнительно коротких участках приближается к прямой.

Отрезки образующей ствола со значительной степенью точности характеризуются уравнением:

$$y^a = cx^b, \tag{2.2}$$

где  $y$  – радиус поперечного сечения ствола;

$c$  – постоянный коэффициент;

$x$  – расстояние этого сечения от вершины кривой.

Это уравнение характеризует обширный класс кривых, в аналитической геометрии называемых параболой. В числе этих парабол наиболее распространенная парабола второго порядка является частным случаем, когда показатель степени  $b$  равен 1, а показатель степени  $a$  равен 2:

$$y^2 = cx. \tag{2.3}$$

Все кривые такого рода проходят через начало координат, в котором находится вершина кривой.

По соотношению показателей степеней левой и правой частей уравнения можно судить о характере кривой. Если  $a > b$ , кривая оказывается выпуклой, если  $a < b$  – вогнутой. Изменяя значение показателей степени  $a$  и  $b$ , можно построить такую кривую, которая будет очень мало отклоняться от кривой, построенной на основании фактических обмеров ствола. При вращении кривых вида  $y^a = cx^b$  вокруг оси абсцисс получаем параболоиды вращения различных порядков. Кривые, являющиеся образующими параболоидов, характеризуются уравнением:

$$y^2 = Ax^m, \quad (2.4)$$

где  $A$  – параметр, определяющий размер кривой;

$m$  – показатель степени, характеризующей форму кривой.

Способы определения объема ствола основываются на принятии вида образующей ствола, характеризующейся уравнением (2.4).

У отдельных древесных пород в разных условиях роста и в разных частях ствола показатель степени  $m$  изменяется от 0 до 3. В зависимости от значения  $m$  уравнение принимает следующий вид:

$$\text{при } m = 0 \quad y^2 = A, \quad (2.5)$$

$$\text{при } m = 1 \quad y^2 = Ax, \quad (2.6)$$

$$\text{при } m = 2 \quad y^2 = Ax^2, \quad (2.7)$$

$$\text{при } m = 3 \quad y^2 = Ax^3. \quad (2.8)$$

В первом случае формула (2.5) – это уравнение прямой, параллельной оси абсцисс. При вращении ее вокруг оси абсцисс образуется цилиндр. Во втором случае – формула (2.6) – это уравнение параболы второго порядка. В третьем случае – формула (2.7) – две пересекающиеся прямые при вращении образуют обыкновенный прямобокий конус. И, наконец, в последнем случае – формула (2.8) – это уравнение носит название уравнения параболы Нейля, а при вращении кривой такого рода получается нейлоид.

Отдельные части ствола приближаются к этим четырем геометрическим формам: нижняя – к нейлоиду, срединная (отдельные короткие отрезки) – к цилиндру, верхняя – к конусу, а большая часть – к параболоиду второго порядка.

Д. И. Менделеев для определения объемов применил уравнение кубической параболы, характеризующее образующую древесного ствола. Исследования, проведенные лесоводом И. Белановским, подтвердили, что уравнения параболы могут быть использованы для изучения формы древесных стволов. Уравнение кубической параболы имеет следующий вид:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3, \quad (2.9)$$

где  $y$  – полудиаметры ствола на различной высоте;

$x$  – расстояние от шейки корня до места измерения диаметров;

$a, b, c, d$  – некоторые постоянные коэффициенты.

Если на древесном стволе измерить ряд полудиаметров  $y$ , отстоящих на разных расстояниях от шейки корня, и эти полудиаметры выразить в относительных числах по сравнению с полудиаметром на шейке корня, то в конечном счете, решая систему уравнений, можем найти неизвестные величины ( $a, b, c, d$ ), то есть некоторые постоянные для древесного ствола коэффициенты. Подставив их в вышеприведенную формулу, получим конкретное уравнение, характеризующее кривую данного древесного ствола. По этому уравнению можно определить диаметры ствола в промежуточных сечениях, непосредственно не обмерявшихся.

Допустим, что у ствола диаметр на  $1/4$  высоты (или на  $1/4x$ ) оказался равным 0,69, на  $1/2$  высоты (или на  $1/2x$ ) 0,55 и на  $3/4$  высоты (или на  $3/4x$ ) 0,35 диаметра нижнего сечения ствола.

Приняв  $x$ , или полную высоту ствола, за единицу, а диаметр в вершине ствола равным нулю, можем написать следующие четыре уравнения:

$$0,69 = a + b \frac{1}{4} \div c \left( \frac{1}{4} \right)^2 \div d \left( \frac{1}{4} \right)^3 = a + \frac{1}{4}b + \frac{1}{16}c + \frac{1}{64}d;$$

$$0,55 = a + b \frac{1}{2} \div c \left( \frac{1}{2} \right)^2 \div d \left( \frac{1}{2} \right)^3 = a + \frac{1}{2}b + \frac{1}{4}c + \frac{1}{8}d;$$

$$0,35 = a + b \frac{3}{4} \div c \left( \frac{3}{4} \right)^2 \div d \left( \frac{3}{4} \right)^3 = a + \frac{3}{4}b + \frac{9}{16}c + \frac{27}{64}d;$$

$$0 = a + b1 + c1 + d1 = a + b + c + d.$$

Решив систему уравнений с четырьмя неизвестными, находим коэффициенты:  $a = 0,8$ ;  $b = -0,5$ ;  $c = 0,3$  и  $d = -0,6$ . Величины этих коэффициентов подставим в уравнение:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 = 0,8 - 0,5x + 0,3x^2 - 0,6x^3.$$

Решение подобных задач показывает, что такие уравнения довольно хорошо характеризуют кривую, являющуюся образующей ствола на протяжении от  $1/8$  и примерно до  $3/4$  его длины, считая от комля. Нижняя, комлевая часть вследствие корневых наплывов имеет иной вид. Вершинная часть ствола по форме весьма изменчива, и ее образующая плохо характеризуется приведенным общим уравнением.

При исследовании несущих органов однолетних и многолетних растений ботаник С. Швенденер обнаружил, что форма их стеблей очень близка к форме бруса равного сопротивления. Такая форма стеблей позволяет растениям достигать наибольшей прочности при наименьшей затрате органического вещества.

К. Метцгер развил эту теорию дальше. Он исследовал стволы ели и вывел две формулы для определения их размеров. При этом К. Метцгер исключал из всех расчетов ветровую силу и переходил к определению относительных размеров ствола, используя какой-нибудь исходный диаметр. В качестве исходного значения он взял диаметр у начала кроны (рис. 2.4).

На основе того, что у бруса равного сопротивления кубы диаметров любых сечений ствола равны расстоянию от этих диаметров до центра тяжести кроны, диаметры ствола до начала кроны К. Метцгер определял по следующей формуле:

$$d_x = \delta^3 \sqrt{\frac{k + 3s}{k}}, \quad (2.10)$$

где  $d_x$  – любой диаметр ствола до начала кроны;

$\delta$  – диаметр у начала кроны;

$k$  – длина кроны;

$s$  – расстояние от  $d_x$  до начала кроны.

К. Метцгер считает изменение ветрового давления, действующего на крону, прямо пропорциональным изменению квадрата ее базиса и высоты, если она имеет форму треугольника. На основании этого получим:

$$d_k = \delta \frac{k_1}{k}, \quad (2.11)$$

где  $d_x$  – любой диаметр внутри кроны;

$k$  – длина кроны;

$k_1$  – расстояние от вершины кроны до  $d_k$ .

По мнению русского таксатора-практика П. Д. Козицына, диаметры стволов у безъядровых древесных пород, взятые на различном расстоянии от точки приложения силы, опрокидывающей ствол, находятся в следующем соотношении (рис. 2.4):

$$d_1^3 : d_2^3 : d_3^3 = l_1 : l_2 : l_3. \quad (2.12)$$

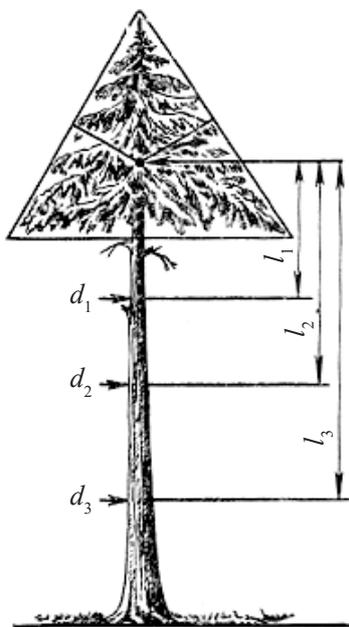


Рис. 2.4. Схема, иллюстрирующая изменение толщины ствола как бруса равного сопротивления

В этой пропорции:

$d_1^3, d_2^3, d_3^3$  – диаметры ствола в соответствующих сечениях;

$l_1, l_2, l_3$  – расстояния от точки приложения силы до указанных диаметров.

Стволы ядровых древесных пород, по мнению П. Д. Козицына, построены по законам полного бруса равного сопротивления. Диаметры ядровых пород и соответствующие им расстояния от точки приложения силы находятся в следующем соотношении:

$$d_1^{4,5} : d_2^{4,5} : d_3^{4,5} = l_1 : l_2 : l_3. \quad (2.13)$$

Сопоставление данных, полученных при измерении диаметров и вычислении их по приведенным формулам, показывает, что, хотя полностью они и не совпадают, но близки между собой.

В. Гогенадль считает, что при формообразовании ствола решающее значение имеет собственный вес дерева. Он рассматривает собственный вес дерева как сжимающую силу. Для определения размеров той части ствола, которая расположена ниже начала кроны, В. Гогенадль дает довольно сложную формулу, учитывающую объемный вес древесины, ее прочность на сжатие и диаметр у начала кроны.

Л. Тирен, исследовавший этот вопрос с математической стороны, пришел к выводу, что теория В. Гогенадля не выдерживает критики. Нельзя признать верным, что форма ствола зависит, прежде всего, от воздействия незначительных сил собственного веса дерева и что намного большие силы (изгиб) не оказывают на нее никакого влияния.

Виндгиш отмечает, что теория В. Гогенадля противоречит процессу роста дерева. По его формуле должны расширяться годовичные слои в нижней части ствола. На самом деле наблюдается обратное явление. Наиболее широкие годовичные кольца находятся в подкронной части ствола.

А. Илинен считает, что на форму ствола влияют одновременно несколько сил: собственный вес дерева как сжимающая и изгибающая сила и изгибающие моменты, вызванные действием ветра на крону и на ствол. На основе детальных исследований кроны ствола (изучение ее сопротивляемости, изменения ветровой скорости в разных местах кроны) этот ученый строит «редуцированную ветровую площадь» кроны, имеющую форму трапеции. Он приходит к выводу, что укорочение и растяжение крайних древесных волокон по всей длине ствола постоянно, а это означает, что форма ствола зависит от модуля упругости. В разных местах ствола модуль упругости различен.

На основании этого А. Илинен приравнивает форму ствола к форме бруса равного сопротивления. Для комлевых наплывов он выдвигает гипотезу о нелинейном распределении напряжения по поперечному сечению, которое ведет к расширению нижней части ствола. Решение проблемы комлевых наплывов с точки зрения теоретической механики очень трудно. Поэтому А. Илинен находит весьма сложное, но хорошо отображающее форму комлевых наплывов, эмпирическое уравнение. Теоретическое объяснение А. Илиненом зависимости формы ствола от протяженности кроны, безусловно, заслуживает внимания.

В 1913 г. П. Жаккард выдвинул свою транспирационную теорию. В ней он рассматривает дерево как тело равной водопроницаемости. Между транспирационной поверхностью кроны и водопроницающей площадью поперечного сечения ствола существует, по П. Жаккарду, такая зависимость:

$$\frac{LF}{TF} = \text{const}, \quad (2.14)$$

где  $TF$  – транспирационная поверхность кроны;

$LF$  – водопроницающая площадь поперечного сечения ствола.

П. Жаккард считал, что различная интенсивность транспирации кроны, которая зависит не только от величины поверхности кроны, но и от температуры, движения воздуха и других параметров, регулируется скоростью водоподдачи в верхние части ствола. Поэтому он полагал, что и уравнение (2.14) остается верным при различной интенсивности транспирации.

Однако правильность этого еще не доказана. Кроме того, до сих пор точно не установлено, сколько годовичных слоев и какая площадь внутри одного слоя принимают участие в водоподдаче. Некоторые исследователи (например, М. Рубнер) отрицают постоянство водопроницающих площадей.

В Швеции образующую древесных стволов, противостоящих разрушительным действиям ветра, собственного веса и веса кроны, рассматривают как логарифмическую кривую. Шведский ученый Г. Ф. Гойер при характеристике сбеге древесных стволов и определении диаметров сортиментов образующую древесных стволов приравнивает к логарифмической кривой и характеризует следующим уравнением:

$$d : D = C \lg [(c + L) : c], \quad (2.15)$$

где  $d$  – диаметр ствола на расстоянии  $L$  от вершины ( $L$  определяют в процентах от высоты ствола, уменьшенной на 1,3 м);

$D$  – диаметр ствола у основания, но чаще всего он берется на высоте груди;

$C$  и  $c$  – некоторые постоянные коэффициенты.

Для стволов осины это уравнение имеет следующие параметры:

$$\frac{d}{D} = 2,21g \frac{49,6 + l}{49,6}.$$

Диаметры, исчисленные по этому уравнению, в средней части ствола наиболее близки к действительным.

Рассматривая формирование древесных стволов, происходящее под влиянием ветра и силы тяжести, и учитывая при этом законы механики, можно, хотя и с некоторым приближением, установить диаметры ствола в разных сечениях. Полного же совпадения теоретически найденных диаметров с фактическими не наблюдается, так как древесный ствол, являющийся составной частью живого организма, формируется не только под влиянием механических сил, но и под воздействием физиологических процессов.

Поэтому действительная форма стволов оказывается сложнее, чем брусьев равного сопротивления, изготавливаемых по законам механики. Математические модели продольной формы ствола позволяют более адекватно описать образующую ствола, а с ее помощью вычислить его объем.

Из всего вышеизложенного вытекают, что, если вывести уравнение образующей древесного ствола то, вращая ее вокруг центральной оси, несложно вычислить объем образованного тела вращения. Это соображение стало отправной точкой многих исследований по установлению уравнения продольной образующей древесного ствола, которую при дальнейшем изложении будем называть просто образующей.

Наиболее интенсивно эти работы проводились в последние 50 лет. В этот период универсальную образующую древесного ствола пытались вывести многие ученые: К. Е. Никитин, А. Г. Мошкалев, И. И. Гусев, Н. Г. Воинов, А. Н. Петровский, В. П. Машковский, И. В. Толкач и др. Эти работы стали весьма актуальны в связи с потребностями лесопильного производства, где требовалось автоматизировать и оптимизировать раскряжевку стволов.

Наиболее простым решением представляется здесь использование уравнений полиномов высоких степеней. Действительно, повышая степень полинома до  $n - 1$ , где  $n$  – число замеров, мы можем провести линию практически по всем точкам замеров. На практике оказывается достаточным и даже предпочтительным увеличением степени полинома до 6–8. В этом случае отклонения выровненных значений диаметра в точках замера практически отсутствуют, не превышая в редких случаях 1–3 мм. Учитывая условия проведения измерений, точность измерительных приборов и ошибки исполнителя, такую точность вычисления диаметров в точках замеров можно считать достаточной.

Но уравнения образующей, выраженные полиномами высоких степеней, имеют существенный недостаток. Хорошо отражая характеристики конкретного ствола, они не могут быть использованы в качестве общей модели из-за значительного варьирования формы стволов. Поэтому высокие степени полиномов для описания образующих применяют, когда надо получить данные лишь о конкретном стволе.

Этот метод взят на вооружение В. Ф. Багинским при нахождении промежуточных (лежащих между проведенными замерами) диаметров на конкретных модельных деревьях для вычисления диаметров сортиментов в их верхнем отрезе, который обычно не совпадал с точками замера, выполняемыми через 1 или 2 м. При этом уравнение образующей вычислялось для каждого измеряемого ствола.

Для получения образующей ствола, которая может отражать общие закономерности, исследователи снижали степень полиномов, до 4–5 (Н. Т. Воинов, А. Н. Петровский, И. И. Гусев), но в этом случае величина ошибок, причем не всегда случайных, возрастала.

Названное обстоятельство вызвало к жизни исследования более сложных формул, описывающих образующую. Значительных успехов здесь достигли ученые кафедры лесоустройства и лесной таксации Белорусского государственного технологического университета: В. П. Машковский, И. В. Толкач, С. С. Цай и др. Предложенные ими формулы «работают» лучше вышеописанных, хотя тоже не лишены недостатков.

Плодотворным оказалось другое направление при описании образующей, которое почти 50 лет назад предложил К. Е. Никитин. Он применил для названных целей сплайн-функцию.

Известно, что самая нижняя часть ствола, где имеются корневые наплывы, близка к нейлоиду. Затем на протяжении 4–6 м ствол уподобляется цилиндру. В своей средней части он близок к параболоиду. При этом этот отрезок можно разделить на два участка, где параболоиды будут иметь разную степень. Вершина дерева близка к конусу. Руководствуясь описанным подходом, К. Е. Никитин определял объемы стволов для составления украинских сортиментных таблиц, вышедших в 1985 году. При таком подходе высокая точность наблюдается при экономии трудовых затрат на обмер модельных деревьев, где измерения проводят в 5–8 точках. Это направление развивалось и в БГТУ (А. В. Рябов, С. Н. Цай и др.).

### 2.2.3. Формулы для определения объема ствола

По диаметрам, измеренным на разной высоте ствола, определяемым по приведенным выше уравнениям, могут быть найдены площади поперечных сечений древесных стволов по следующей формуле:

$$g = A + Bx + Cx^2 + Dx^3, \quad (2.16)$$

где  $g$  – площадь поперечного сечения ствола;

$x$  – расстояние от шейки корня до рассматриваемого сечения;

$A, B, C, D$  – некоторые постоянные коэффициенты.

Определив площади поперечных сечений стволов, легко найти объем ствола или его части  $V$ . Этот объем можно рассматривать как сумму бесконечно тонких поперечных отрезков, имеющих высоту  $dx$  и площадь основания  $g$ .

Соответственно этому

$$V = \int_0^x g dx. \quad (2.17)$$

Подставим вместо  $g$  его значение, вычисленное по формуле (2.17):

$$V = \int_0^x (A + Bx + Cx^2 + Dx^3) dx. \quad (2.18)$$

Первообразная для  $x^n$  будет функция  $\frac{x^{n+1}}{n+1}$ , откуда

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3} + \frac{Dx^4}{4}. \quad (2.19)$$

Для определения объема ствола или его части сначала можно ограничиться двумя членами подынтегрального выражения. В этом случае:

$$g = A + Bx, \quad (2.20)$$

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2}. \quad (2.21)$$

Для нахождения коэффициента  $A$  и  $B$  берут два конкретных сечения:  $g_0$  у основания ствола и  $g_L$  – на расстоянии  $L$  от шейки корня (рис. 2.5). Затем составляют два уравнения, определяющих площади этих сечений:

$$g_0 = A + Bx_0 \text{ и } g_L = A + Bx_L. \quad (2.22)$$

В этих уравнениях  $x_0 = 0, x_L = L$ . Поэтому можем написать:

$$g_0 = A; g_L = A + BL. \quad (2.23)$$

Решая последнее уравнение, относительно  $B$ , получим:

$$B = \frac{g_L - A}{L} = \frac{g_L - g_0}{L}. \quad (2.24)$$

Подставив в формулу (2.19) вместо  $A$  и  $B$  вычисленные значения этих коэффициентов и вместо  $x$  равную ему величину  $L$ , получим:

$$V = g_0 L + \frac{g_L - g_0}{2} L = \frac{2g_0 L + g_L L - g_0 L}{2} = \frac{g_0 + g_L}{2} L. \quad (2.25)$$

Формула (2.25) в лесной таксации называется простой формулой Смалиана.

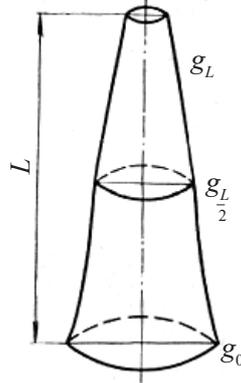


Рис. 2.5. Схема определения объема ствола по простым формулам

Возьмем одно поперечное сечение на половине целого ствола или его части, а второе в тонком конце. Местоположение первого сечения определяется величиной  $\frac{L}{2}$ , а второго – на расстоянии  $L$  от основного ствола. Обозначив первое сечение через  $g_{\frac{L}{2}}$ , можно записать:

$$g_{\frac{L}{2}} = A + \frac{BL}{2}, \quad (2.26)$$

а второе сечение  $g_L$  можно записать в виде:

$$g_L = A + BL. \quad (2.26^*)$$

Обе части первого уравнения увеличим в два раза:

$$2g_{\frac{L}{2}} = 2A + BL. \quad (2.27)$$

Из первого уравнения вычтем второе:

$$2g_{\frac{L}{2}} = 2A + BL - \frac{g_L = A + BL}{2g_{\frac{L}{2}} - g_L = A}. \quad (2.28)$$

Заменим во втором уравнении величину  $A$  выражением  $g_{\frac{L}{2}} - g_L$ , получим:

$$B = \frac{2 \left( g_L - g_{\frac{L}{2}} \right)}{L}. \quad (2.29)$$

Подставим найденные значения  $A$  и  $B$  в основную формулу (2.19):

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} = \left(2g_{\frac{L}{2}} - g_L\right) \cdot x^2 + \frac{2\left(g_L - g_{\frac{L}{2}}\right)^2 x^2}{2L}. \quad (2.30)$$

Заменяв  $x$  через  $L$ , получим:

$$V = \left(2g_{\frac{L}{2}} - g_L\right) \cdot L + \left(g_L - g_{\frac{L}{2}}\right) \cdot L = \left(2g_{\frac{L}{2}} - g_L + g_L - g_{\frac{L}{2}}\right) \cdot L = g_{\frac{L}{2}} L. \quad (2.31)$$

Обозначим поперечное сечение на половине ствола или его части  $g_{\frac{L}{2}}$  греческой буквой  $\gamma$  (гамма), тогда формула примет следующий вид:

$$V = \gamma L. \quad (2.32)$$

Эта формула (2.32) основная в лесной таксации. Она называется формулой срединного сечения, или формулой объема цилиндров. Впервые она была применена лесоводом Губером. В связи с этим ее называют простой формулой Губера.

Чтобы вывести следующую формулу, первое поперечное сечение возьмем на расстоянии от комля, равном  $1/3$  высоты ствола, а второе – в верхнем конце ствола или его отдельной части, обозначив первое сечение через  $g_{\frac{L}{3}}$  и второе через  $g_L$ .

Соответственно этим условиям составляем два уравнения:

$$g_{\frac{L}{2}} = A + \frac{BL}{3}; \quad g_L = A + BL. \quad (2.33)$$

Увеличим в три раза обе части первого уравнения, получим:

$$3g_{\frac{L}{2}} = 3A + BL. \quad (2.34)$$

Из уравнения вычтем (2.33) и получим в итоге:

$$A = \frac{3g_{\frac{L}{2}} - g_L}{2}.$$

Заменяв  $A$  выражением  $\frac{3g_{\frac{L}{2}} - g_L}{2}$ , находим, что

$$B = \frac{\left(3g_{\frac{L}{2}} - g_L\right)}{2L}. \quad (2.35)$$

Подставим в основную формулу (2.35) найденные значения  $A$  и  $B$  и заменив  $x$  через  $L$ , получим:

$$V = \left(\frac{3g_{\frac{L}{2}} - g_L}{2} + \frac{3g_L - 3g_{\frac{L}{2}}}{2 \cdot 2}\right); \quad L = \frac{6g_{\frac{L}{2}} - 2g_L + 3g_L - 3g_{\frac{L}{2}}}{4} = \frac{3g_{\frac{L}{2}} + g_L}{4} L. \quad (2.36)$$

Эта формула (2.36) называется формулой Госфельда.

Для целых стволов, у которых площадь поперечного сечения в верхнем конце равна нулю, формула Госфельда будет иметь такой вид:

$$V = \frac{3g_{\frac{L}{3}}}{4}L = 0,75g_{\frac{L}{3}}L. \quad (2.37)$$

В рассмотренных трех формулах были использованы два члена подынтегрального выражения. Для получения более точного результата можно взять три члена подынтегрального выражения.

В этом случае:

$$g = A + Bx + Cx^2, \quad (2.38)$$

а объем ствола или его части

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3}. \quad (2.39)$$

Для нахождения коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $C$  составляют три уравнения, определяющие площади поперечных сечений: в комлевом конце, на середине и в верхнем конце ствола или его части:

$$g_0 = A + Bx_0 + Cx_0^2; \quad g_{\frac{L}{2}} = A + \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{4}; \quad g_L = A + BL + CL^2. \quad (2.40)$$

$x_0 = 0$ , отсюда  $g_0 = A$ . Заменяя  $A$  через  $g_0$ , будем иметь

$$g_{\frac{L}{2}} = g_0 + \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{4}, \quad g_L = g_0 + BL + CL^2. \quad (2.41)$$

Обе части первого уравнения увеличим в четыре раза:

$$4g_{\frac{L}{2}} = 4g_0 + 2BL + CL^2. \quad (2.42)$$

Из этого уравнения вычтем второе:

$$\begin{aligned} 4g_{\frac{L}{2}} - g_L &= 4g_0 + 2BL, \\ 4g_{\frac{L}{2}} - g_L &= 3g_0 + BL. \end{aligned}$$

И в итоге получим  $BL$  выражением  $-g_L + 4g_{\frac{L}{2}} - 3g_0$ , получим:

$$CL^2 = 2g_L - 4g_{\frac{L}{2}} + 2g_0. \quad (2.43)$$

При трех членах подынтегрального выражения объем ствола или его части равны

$$V = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3}. \quad (2.44)$$

Заменяя  $x$  через  $L$ , получим

$$V = AL + \frac{BL^2}{2} + \frac{CL^3}{3} = \left( A + \frac{BL}{2} + \frac{CL^2}{3} \right) L. \quad (2.45)$$

Подставив вместо  $A$ ,  $B$  и  $C$  ранее найденные величины, будем иметь:

$$V = \left( g_0 + \frac{-g_L + 4g_{\frac{L}{2}} - 3g_0}{2} + \frac{2g_L - 4g_{\frac{L}{2}} + 2g_0}{3} \right) L =$$

$$= \left( 6g_0 - 3g_L + 12g_{\frac{L}{2}} - 9g_0 + 4g_L - 8g_{\frac{L}{2}} + 4g_0 \right) \frac{L}{6} = \left( g_0 + 4g_{\frac{L}{2}} + g_L \right) \frac{L}{6}.$$

Обозначив площадь сечения на середине длины через  $\gamma$ , получим:

$$V = (g_0 + 4\gamma + g_L) \frac{L}{6}. \quad (2.46)$$

Эта формула (2.46) пригодна для определения объемов всех тел вращения: цилиндра, параболоида, конуса и нейлоида. В математике она называется формулой Ньютона. В лесной таксации эту формулу первым применил немецкий лесовод Рикке. В связи с этим ее называют простой формулой Ньютона – Рикке.

Располагая поперечные сечения в иных точках, можно вывести другие формулы, определяющие объем ствола или его части. Кроме того, имеется ряд других эмпирических формул, но на практике они применяются редко.

При пользовании рассмотренными выше простыми формулами для определения объема древесный ствол или его часть уподобляют правильному геометрическому телу, в данном случае параболоиду, поскольку для образующей древесного ствола взято уравнение кубической параболы.

Обобщая изложенное, отметим, что для определения объемов ствола используют 3 наиболее распространенные формулы: Губера (2.32), Смалиана (2.26) и Ньютона – Рикке (2.45). Хотя формула Госфельда (2.36, 2.37) не уступает названным по точности, но ее в практике почти не используют из-за более сложной техники измерений, так как требуется находить диаметр на  $1/3$  длины ствола.

Простые стереометрические формулы не могут в полной мере отразить форму древесного ствола. Поэтому их точность невысока. Применение названных формул ограничено, и они используются лишь для ориентировочных оценок объемов стволов. Применение простых стереометрических формул (Губера, Смалиана) оправдано для коротких отрезков ствола (до 3 м, но лучше не более 2 м), которые обычно соответствуют правильным телам вращения. Для установления объемов стволов и более длинных его отрезков в науке, а при необходимости в практике, применяют сложные (секционные) стереометрические формулы.

#### 2.2.4. Сложные стереометрические формулы для определения объемов ствола

Наиболее точным способом вычисления объема ствола ( $V_{ст}$ ) является расчленение его на некоторое количество отрезков и нахождение объема ствола как суммы объемов этих отрезков ( $\sum V_i$ ), то есть  $V = \sum_1^n V_i$ . Ствол, как правило, делится на отрезки длиной 2 м, если его высота равна 14 м и более. При меньшей высоте ствола отрезки берут длиной 1 или 0,5 м (рис. 2.6).

Здесь требуется, чтобы количество отрезков было не менее 7–10 штук. При научных исследованиях в молодых культурах 3–5-летнего возраста бывает деление ствола и на отрезки меньшей длины.

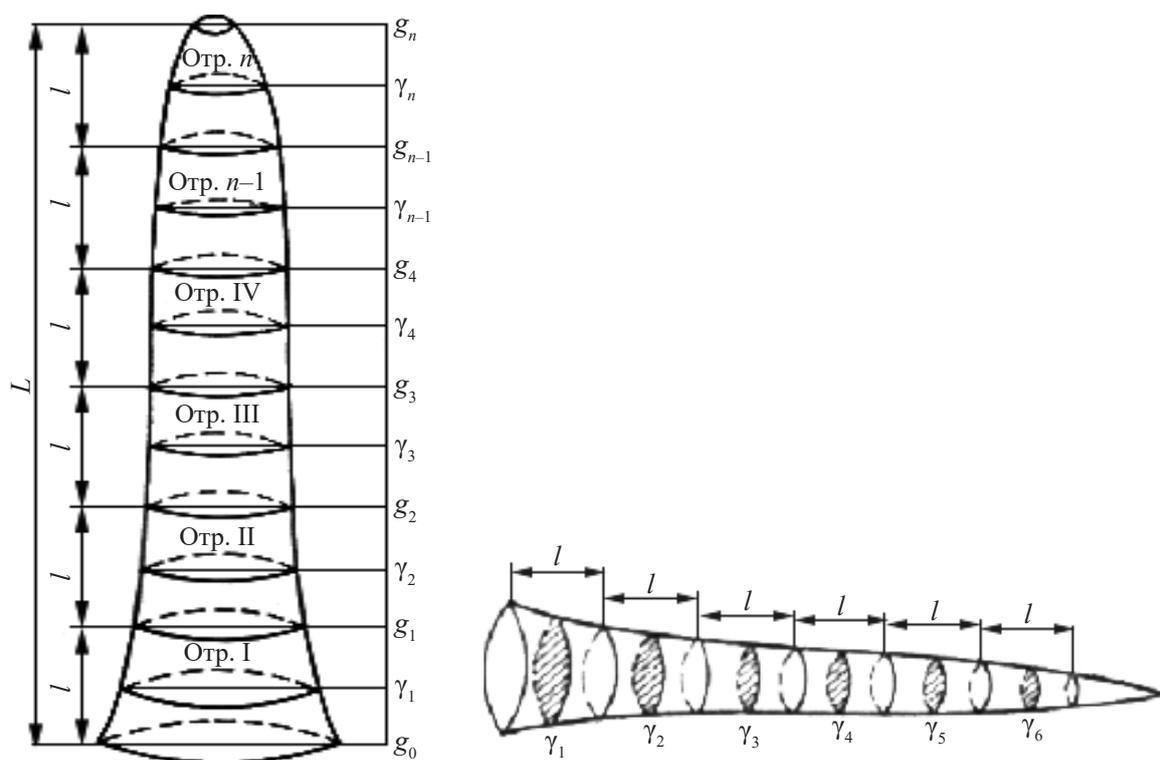


Рис. 2.6. Схема разделения ствола на отрезки для определения объема:  
 $l$  – длина отрезка;  $g$  – площади сечения;  $\gamma$  – площади сечений середины отрезков

Есть несколько способов определения объема ствола путем деления его длины ( $L$ ) на отрезки длиной  $l$ .

Допустим, мы разделим ствол на « $n$ » равных частей. Площади сечений каждого отрезка обозначим как  $g_1, g_2, \dots, g_n$ . Объем каждого отрезка определяем по простой формуле Смалиана, то есть как  $\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \cdot l$ . Общий объем выразится как

$$V = [(g_0 + g_n) / 2 + (g_1 + g_2 + \dots + g_{n-1})]l. \quad (2.47)$$

Объем вершины ( $V_b$ ) определяем как объем конуса, то есть

$$V_b = \frac{g_n}{3} \cdot (L - \sum l). \quad (2.48)$$

Формула (2.47) называется сложной формулой Смалиана.

Наиболее часто в практике научных исследований применяют сложную формулу Губера или срединных сечений.

Обозначив площади сечений середины отрезков через  $\gamma$ , имеем

$$V = \gamma_1 + \gamma_2 l + \gamma_n l = l(\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n). \quad (2.49)$$

Известна также сложная формула Госфельда.

При определении объемов отдельных отрезков по формуле Госфельда, учитывающей сечение на  $1/3$  длины отрезка и в верхнем отрезке, общий объем ствола:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = (3p_1 + g_1) \frac{l}{4} + (3p_2 + g_2) \frac{l}{4} + (3p_3 + g_3) \frac{l}{4} + \dots + (3p_n + g_n) \frac{l}{4}. \quad (2.50)$$

В этой формуле сечения на одной трети отрезков  $\left( \frac{g_l}{3} \right)$  обозначены через  $p_1, p_2, p_3$  и т. д.

Преобразовав эту формулу, получим:

$$V = [g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n + 3(p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n)] \frac{1}{4}. \quad (2.51)$$

При двухметровой длине отрезков для определения объема ствола по формуле Госфельда необходимо измерить диаметры в верхнем сечении каждого отрезка и на 0,67 м от их нижних сечений.

В результате решения интеграла Эйлера получена следующая формула:

$$V = \frac{x}{8} \left( g_0 + 3g_{\frac{1}{3}} + 2g_{\frac{2}{3}} + g_1 \right). \quad (2.52)$$

При определении объемов стволов или их частей по формуле Эйлера получаются меньшие ошибки, чем по формуле Ньютона – Рикке.

При определении объемов отдельных отрезков по сложной формуле Ньютона – Рикке общий объем ствола будет равен:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_3 + \dots + V_n = (g_0 + 4\gamma_1 + g_1) \frac{1}{6} + (g_1 + 4\gamma_2 + g_2) \frac{1}{6} + (g_2 + 4\gamma_3 + g_3) \frac{1}{6} + \dots + (g_{n-1} + 4\gamma_n + g_n) \frac{1}{6}.$$

После соответствующего преобразования формула примет такой вид:

$$V = [g_0 + g_n + 2(g_1 + g_2 + \dots + g_{n-1}) + 4(\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n)] \frac{1}{6}. \quad (2.53)$$

Эта сложная формула (2.53) называется в математике формулой Симпсона для приближенного вычисления площади интегралов. Обычно ее используют для нахождения площади, ограничиваемой параболой.

При исчислении объема по формуле (2.53) надо знать диаметры для каждого отрезка в нижнем, срединном и верхнем сечениях.

В Беларуси при нахождении объема ствола его часто делят на 10 частей, это предложение профессора В. К. Захарова, о чем мы будем говорить ниже при изучении объемов растущих деревьев. В этом случае наилучшие результаты дает применение так называемой большой формулы Симпсона для приближенного решения интегралов:

$$i = \int_a^b f(x) dx = \int_{x_0}^{x_2} f(x) dx + \int_{x_2}^{x_4} f(x) dx + \dots + \int_{x_{n-2}}^{x_n} f(x) dx \approx \frac{b-a}{3n} [(y_0 + y_n) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2})], \quad (2.54)$$

где  $a$  и  $b$  – точки, ограничивающие  $x$ ;

$y_0, y_1, \dots, y_n$  – ординаты кривой;

$b - a$  – это высота (длина) ствола ( $H$ );

$n$  – число отрезков (обязательно четное), на которые разбита кривая.

$$\{y_0, y_1, \dots, y_{10}\} = \{g_0, g_1, \dots, g_{10}\}; g_{10} = 0.$$

Учитывая, что у нас  $n = 10$ ,  $b - a = H$ , то можем записать:

$$V_{\text{ств}} \approx \frac{H}{30} [g_0 + 4(g_1 + g_3 + g_5 + g_7 + g_9) + 2(g_2 + g_4 + g_6 + g_8)], \quad (2.55)$$

где  $H$  – высота ствола;

$g_0, g_1, \dots, g_{10}$  – площади сечения на  $0,0; 0,1; \dots; 1,0$  высоты ствола,  $g_i = \frac{\pi d_i^2}{4}$ .

Здесь  $d_i$  – диаметр ствола на соответствующей высоте.

При проведении обмеров модельных деревьев обычно применяют сложные формулы Губера (2.49) или Смалиана (2.47), а объем вершинки определяют по формуле конуса. Хорошие результаты дает использование формулы Симпсона (2.51). Ее применение ограничивается тем, что ствол необходимо разделить на четное число частей. Это не всегда удобно, так как надо каждый раз вырезать новую мерную палочку или пользоваться рулеткой, что менее технологично. По этой же причине деление ствола на 10 частей не нашло широкого применения и ограничивается в основном представителями белорусских научных школ. Технологический процесс измерений более рационален, если вырезать палочку длиной 1 или 2 м и проводить деление всех стволов на отрезки равной длины с ее помощью.

### 2.2.5. Точность формул для определения объемов стволов

Применяя различные формулы для определения объемов ствола, надо знать их точность.

Определение объемов целых стволов при помощи простых формул дает не очень точные результаты. Простая формула Смалиана и формула Симпсона систематически преувеличивают объемы целых стволов. Причиной этого являются корневые наплывы, площадь сечения которых эти формулы учитывают. Вызвано это различной формой ствола и ее варьированием. Варьирование объемов отдельных стволов характеризуется средним квадратическим отклонением от истинного объема, равным, примерно  $\pm 12\%$ .

Как показали исследования коллектива кафедры таксации Воронежского лесохозяйственного института, простая формула Смалиана при таксации дубовых стволов дает систематическое преувеличение в среднем на  $65\%$ , а простая формула Симпсона на  $23\%$ . Вычисление объемов целых стволов при помощи простых формул Губера и Госфельда дает ошибки в ту или другую сторону.

Точность простой формулы срединного при таксации отрезков ствола длиной 6,5 и 8,5 м изучалась Н. П. Анучиным. Было найдено, что у отрезков ствола указанной длины объемы, вычисленные по простой формуле Губера, имеют отклонение от истинных до  $+18\%$  и до  $-27\%$ .

Простая формула срединных сечений систематически преуменьшает объемы отрезков ствола длиной до 2–3 м в среднем на  $1\%$ . По исследованиям Ф. Корсуня, среднеквадратические ошибки простой формулы Губера при определении объема ствола изменяются от  $\pm 8,5\%$  до  $\pm 12,7\%$ . По данным А. Г. Мошкалева, формула Губера занижает объемы стволов на  $1,5$ – $2,5\%$ , а в комлевой части и по тонкомерным деревьям – значительно больше.

Сложные (секционные) формулы позволяют вычислить объемы стволов значительно точнее. В то же время по всем рассмотренным нами формулам объем древесных стволов или их частей определяется приближенно. При практической оценке этих формул надо знать погрешность, с которой по ним определяются объемы стволов.

Объемы, определяемые ксилметрическим способом, принято считать истинными. Объемы, находимые прочими способами, и выявленные расхождения выражают в процентах от объемов, найденных ксилметрическим способом.

Сопоставления объемов, вычисленных по сложным формулам и найденных ксилметрическим путем, были произведены более 100 лет назад в бывшей Петровской сельскохозяйственной академии, а ныне это Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева. Результаты исследований приведены в таблице 2.3.

Отклонения в объемах, вычисленных по сложным формулам от истинных значений

Формула	Отклонение общих объемов, %			Формула	Отклонение общих объемов, %		
	17 стволов березы	15 стволов сосны	3 ствола дуба		17 стволов березы	15 стволов сосны	3 ствола дуба
Губера	-0,9	-1,2	+1,9	Симпсона	+0,3	-0,2	+0,8
Смалиана	+0,8	-0,3	+0,2	Госфельда	-0,3	-0,6	-0,6

Как видно из таблицы 2.3, все четыре формулы дают близкие результаты, которые следует отнести за счет преувеличенных площадей сечения, вычисляемых по формуле круга. Формулы Симпсона и Смалиана имеют отклонения с положительным знаком. Формулы Губера и Госфельда – с отрицательным. Преувеличение объемов, получаемых по формулам Симпсона и Смалиана, следует отнести за счет преувеличения площадей сечений, вычисленных по площади круга.

Погрешности в определении объемов 1 и 2 м отрезков ствола даны в таблице 2.4. Из таблиц 2.3 и 2.4 следует, что объемы, вычисленные по формуле Госфельда и Губера, оказались преуменьшенными. Это преуменьшение не компенсируется преувеличенными площадями сечений, входящими множителями в эти формулы. Отсюда можно сделать вывод, что некоторое преуменьшение объемов является свойством этих двух формул.

Расхождения в результатах исчисления объемов по всем четырем формулам лежат в пределах 2 %. С практической точки зрения их следует признать несущественными и все четыре формулы равноценными.

Таблица 2.4

Средние ошибки и среднеквадратические отклонения в объемах 1 и 2 м отрезков ствола

Длина отрубков, м	Число измеряемых диаметров	Средняя систематическая ошибка, %	Среднеквадратическое отклонение, %	Длина отрубков, м	Число измеряемых диаметров	Средняя систематическая ошибка, %	Среднеквадратическое отклонение, %
2	2	-0,19	±1,78	1	2	-0,05	±0,96
2	4	-0,61	±1,43	1	4	-0,22	±0,49

Приведенные результаты проверки точности определения объемов по сложным формулам не показывают расхождений в объемах отдельных стволов, что является существенным недостатком.

По исследованиям Ф. Корсуня, проведенным в Чехословакии, ошибки сложной формулы Губера при 2-метровой длине отрезков колеблются в пределах от +4,13 до -4,53 %. Если длину отрезков уменьшить до 1 м и в каждом сечении измерить диаметры в четырех направлениях, то предельные ошибки будут изменяться от +1,15 до -1,85 %. Ф. Корсунь получил средние значения систематических ошибок и среднеквадратические отклонения (таблица 2.4). При установлении ошибок формулы Губера объемы, найденные по сложной формуле Симпсона, Ф. Корсунь принял за истинные.

Из всех сложных формул для практического применения наиболее удобна формула срединного сечения, предложенная Губером. Высокая точность полученных результатов дала основание Ф. Корсуню рекомендовать ее при самых точных исследованиях.

Следовательно, все сложные формулы дают почти одинаковую точность. Наиболее широкое применение имеет простейшая из них – формула срединных сечений.

Профессор Патроне многократно подчеркивает, что объем отрезков, вычисленный по формуле срединного сечения, имеет ошибку, зависящую от положения отрезка в стволе.

Ссылаясь на Ф. Корсуня, он отмечает, что для отрезков, включающих комлевую часть, ошибка равна  $-3,9\%$ , следующие затем отрезки имеют ошибку от  $-0,8$  до  $+4,9\%$ , а в вершинной части  $+0,4\%$ . По мнению профессора Патроне, формула срединного сечения дает удовлетворительные результаты для множества целых стволов.

В заключение анализа стереометрических формул профессор Патроне отмечает, что дендрометрия располагает рядом формул, определяющих объемы стволов и их частей. Однако каждая из них имеет ограниченное поле применения. Наиболее широко применяется формула срединного сечения. Она крайне проста, вычисления по ней производить легко, результаты получаются удовлетворительные. В обычных условиях, когда коэффициент абсолютной формы  $f_0$  близок к  $0,50$ , объем множества стволов определяется с ошибкой меньшей  $\pm 4\%$ , с тенденцией к отрицательному ее значению ( $-1-2\%$ ).

В конечном выводе профессор Патроне указывает, что ошибка является отрицательной для комлевого отрезка, положительной для отрезков, выпиленных из середины ствола, и почти нулевой для вершинных сортиментов. Объемы отдельных стволов она определяет с ошибкой  $\pm 8\%$  и объем множества стволов с ошибкой  $\pm 2\%$ .

Профессор М. Продан считает более целесообразным объемы нижнего отрезка вычислять не по сложной формуле срединного сечения, а по измененной, выведенной из формулы параболоида.

## 2.2.6. Погрешности измерений

При измерении диаметров и высоты деревьев неизбежны ошибки, обуславливающие погрешности в определении объемов деревьев. Чтобы установить влияние погрешностей измерений на точность определения объемов деревьев, проделаем ряд расчетов.

Вопрос об ошибках измерения диаметров, порождаемых неправильным положением вилки (непараллельностью при измерении ножек вилки) изучал румынский профессор Попеску-Зелетин. Он установил, что после длительного применения наблюдается нарушение перпендикулярности подвижной ножки к линейке мерной вилки. Вследствие этого измеряемые диаметры оказываются меньше действительных. Таким образом, получаются систематические ошибки. Все эти систематические ошибки имеют отрицательный знак.

Когда подвижная ножка отклонена от перпендикулярного положения на  $3-6\%$ , погрешность в определении площади сечения и объема ствола оказывается в пределах от  $5,2$  до  $10,5\%$ .

Поскольку рассматриваемые ошибки являются систематическими, имеющими всегда отрицательный знак, результаты измерений могут исправляться, если при этом нам известен угол.

Для устранения указанных ошибок мерные вилки в процессе их применения подлежат систематической проверке.

Объем цилиндра при диаметре основания  $D$  и высоте  $H$  равен:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H. \quad (2.56)$$

Если при измерении диаметра цилиндра сделана ошибка  $\pm d$ , то действительный объем цилиндра будет:

$$V_n = \frac{\pi}{4} (D \pm d)^2 H = \frac{\pi}{4} D^2 H \pm 2 \frac{\pi}{4} D d H + \frac{\pi}{4} d^2 H. \quad (2.57)$$

Вычтя из этого объема объем цилиндра, определяемый по формуле (2.56), получим величину погрешности в объеме, обусловленную ошибкой при измерении диаметра. Величина погрешности в объеме ( $m_v$ ) будет такова:

$$m'_V = \frac{\pi}{4} D^2 H \pm 2 \frac{\pi}{4} D d H + \frac{\pi}{4} d^2 H - \frac{\pi}{4} D^2 H = \pm \frac{\pi}{2} D d H + \frac{\pi}{4} d^2 H. \quad (2.58)$$

Второй член полученного выражения ( $\pi / 4 d^2 H$ ), определяющего ошибку в объеме, вследствие незначительной величины может быть исключен, и ошибка в объеме будет следующей:

$$m'_V = \pm \frac{\pi}{4} D d H. \quad (2.59)$$

Величину ошибки в формуле (2.59) выражают в процентах от объема цилиндра, определяемого по формуле

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{2} D d H : \frac{\pi}{4} D^2 H &= \rho'_V : 100; \\ \rho'_V &= \frac{400 \pi D d H}{2 \pi D^2 H} = \frac{200 d}{D}. \end{aligned} \quad (2.60)$$

На основании выведенной формулы (2.60) соответственно заданной точности определения объемов может быть установлена наибольшая допустимая погрешность в измерении диаметра. Например, при диаметре 25 см и погрешности в объеме 4 % ошибка в диаметре не должна превышать

$$\rho'_V = 4 = \frac{200 d}{25}; \quad d = \frac{4 \cdot 25}{200} = 0,5.$$

Та же формула позволяет по заданной величине ошибки в диаметре найти погрешность в объеме. Если в измерении высоты  $H$  допущена ошибка  $\pm h$ , она обуславливает следующую погрешность в объеме:

$$m'_V = \frac{\pi}{4} D^2 H \pm \frac{\pi}{4} D^2 h - \frac{\pi}{4} D^2 H = \pm \frac{\pi}{4} D^2 h.$$

Эта погрешность в процентах составит:

$$\pm \frac{\pi}{4} D^2 h : \frac{\pi}{4} D^2 H = \rho''_V : 100; \quad \rho''_V = \frac{100 h}{H}. \quad (2.61)$$

Пользуясь выведенной формулой (2.61), по заданной величине погрешности в объеме можно найти наибольшую допустимую ошибку в высоте. На основе этой формулы можно решить и обратную задачу, то есть по наибольшей ошибке в высоте установить погрешность в объеме. Сравнивая две выведенные формулы, заключаем, что при одинаковой относительной точности измерения диаметра и высоты, когда  $d : D = h : H$ , процент погрешности в объеме будет вдвое больше при ошибке в диаметре, чем при ошибке в высоте.

Ошибка в диаметре, выраженная в процентах от величины действительного диаметра, будет такой:

$$\rho_d = \pm \frac{100 d}{D}. \quad (2.62)$$

Сравнивая эту величину с процентом погрешности в объеме, обусловленным ошибкой в диаметре  $\rho_V = 200 d : D$ , можно сделать вывод, что процент погрешности в объеме равняется двойному проценту ошибки в определении диаметра, то есть

$$\rho_V = 2 \rho_d. \quad (2.63)$$

Если в диаметре допущена ошибка  $d$ , то площадь круга или поперечного сечения цилиндра будет иметь следующую погрешность:

$$m_g = \frac{\pi}{4}D^2 \pm 2\frac{\pi}{2}Dd + \frac{\pi}{4}d^2 - \frac{\pi}{4}D^2 = \pm \frac{\pi}{2}Dd \pm \frac{\pi}{4}d^2. \quad (2.64)$$

Второй член полученного выражения (2.63) является весьма незначительной величиной, поэтому им можно пренебречь и погрешность в площади сечения принять следующей:

$$m_g = \pm \frac{\pi}{2}Dd. \quad (2.65)$$

Погрешность в процентах, вычисленных по отношению к площади сечения, составит:

$$\pm \frac{\pi}{2}Dd : \frac{\pi}{4}D^2 = \rho_g : 100; \quad \rho_g = \pm \frac{200d}{D}. \quad (2.66)$$

На основании выведенной формулы можно заключить, что ошибка в диаметре влечет за собой равные проценты погрешности по объему и по площади сечения. Следовательно,

$$\rho_v = \rho_g = 2\rho_d''. \quad (2.67)$$

В теории ошибок доказывается, что относительная ошибка в процентах в объеме стереометрических тел:

$$\rho_v = \rho_g = 2\rho_d. \quad (2.68)$$

а при многих измерениях средняя величина этой ошибки определяется по формуле:

$$\rho_v = \sqrt{4\rho_d^2 + \rho_h^2}. \quad (2.69)$$

При массовых измерениях бывают ошибки различной величины. У отдельных измерений могут оказаться ошибки, разные по знаку. Нам необходимо определить их среднюю величину. Вывод ее затрудняется тем, что ошибки в сторону преувеличения будут компенсироваться ошибками в сторону преуменьшения, и в итоге средняя ошибка будет приближаться к нулю. Поэтому ошибки отдельных измерений можно возвести в квадрат, полученные числа сложить, затем разделить на число ошибок и из частного извлечь квадратный корень. В результате всех этих действий будет получена средняя величина ошибки, обычно называемая в вариационной статистике среднеквадратической ошибкой, которую обозначают греческой буквой «сигма» –  $\sigma$ .

Величина среднеквадратических ошибок, допускаемых при отдельных измерениях, устанавливается по следующей формуле, известной из теории ошибок:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}, \quad (2.70)$$

где  $\sum x^2$  – сумма квадратов отклонений отдельных измерений от их среднеарифметической величины;

$n$  – число наблюдений.

Формула (2.70) применяется, когда число наблюдений  $n$  не превышает 15. При большем числе наблюдений формула, определяющая среднеквадратическое отклонение, имеет следующий вид:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}. \quad (2.71)$$

Среднеарифметическая величина, выводимая на основании отдельных наблюдений, в свою очередь, имеет среднюю ошибку, определяемую по формуле

$$m = \frac{\pm\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2.72)$$

Пользуясь этими двумя формулами (2.71, 2.72), при многократных измерениях можно определить степень точности отдельных измерений и точность средней величины, вычисленной на основе этих измерений.

Согласно правилам биометрии при нормальном распределении изучаемых величин в 68 случаях из 100 ошибки не превышают среднеквадратической, в 27 случаях – удвоенной среднеквадратической и в 5 случаях – утроенной.

При обмере диаметров дерева делят на ступени толщины. В пределах каждой ступени толщины существуют более мелкие деления. В ступенях толщины, близких к среднему диаметру древостоя, число деревьев, входящих в эти мелкие деления, примерно равно. В ступенях толщины, имеющих диаметр больший и меньший среднего диаметра насаждения, количество деревьев в каждом мелком делении неодинаково. Для древостоя же в целом деревья внутри каждой ступени толщины на мелкие градации по толщине распределяются в среднем равномерно. Следовательно, при разделении деревьев на ступени толщины число деревьев, диаметры которых преуменьшаются, примерно равно числу деревьев, диаметры которых преувеличиваются.

При определении площадей поперечных сечений деревьев такого уравнивания отклонений не наблюдается. Площадь поперечного сечения, как известно, равна квадрату диаметра ( $D^2$ ), умноженному на постоянный коэффициент  $\pi/4$ . У деревьев, имеющих диаметры большие, чем половина ступени, отклонение в площадях поперечных сечений не будет компенсироваться преувеличением площадей поперечного сечения деревьев, имеющих диаметры, меньшие половины ступени толщины.

Отсюда можно заключить, что учет деревьев по ступеням толщины ведет к некоторому систематическому преувеличению сумм площадей сечений.

Максимальная ошибка в определении диаметра при делении деревьев по ступеням толщины равна половине ступени. Если считать, что деревья в пределах ступени толщины распределяются равномерно, средняя ошибка в определении диаметра будет равна половине максимальной.

Допустим, что диаметры деревьев мы учитывали в четных сантиметрах. Следовательно, максимальная ошибка в определении диаметра будет в этом случае равна 1 см, а средняя – 0,5 см. При учете диаметров с интервалом в 4 см максимальная ошибка равняется 2 см и средняя – 1 см. При диаметре древесных стволов 20 см средние ошибки 0,5 и 1 см соответственно составляют 2,5 и 5 %. Такие ошибки влекут за собой удвоенную ошибку измерений объема, то есть в первом случае 5 %, а во втором 10 %.

В нашем примере они соответственно составят:

$$m = \frac{\pm 5}{\sqrt{n}} \text{ и } m = \frac{\pm 10}{\sqrt{n}}.$$

Определение объемов, как мы видим, неизбежно связано с ошибками, поэтому при вычислении необходимо округлять цифры до определенного числа десятичных знаков. При таксации отдельных деревьев объем их вычисляют обычно до 0,0001 м<sup>3</sup>. При массовом учете такая точность не нужна, и объем в таблицах объемов бревен округляют до 0,001 или даже до 0,01 м<sup>3</sup>. Количество древесины на единице площади (1 га) обычно округляют до целых кубических метров, а при глазомерной таксации – до десятков кубометров. Цифры, характеризующие запасы лесных массивов, округляют до сотен и даже тысяч кубометров.

Следует отметить общие свойства ошибок, известные из теории ошибок: малые ошибки встречаются чаще, чем большие; возможность ошибок с положительным и отрицательным знаком одинаково вероятна; с увеличением числа наблюдений сумма ошибок приближается к нулю.

Ошибки делятся на систематические и случайные. Систематическими называют ошибки с одним знаком, случайными – с обоими знаками, то есть положительным и отрицательным.

Для характеристики величины ошибок чаще всего среднеквадратическую ошибку определяют по приводившейся выше формуле (2.60):

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}.$$

Среднеквадратическая ошибка суммы определяется из следующего выражения:

$$\sigma = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}, \quad (2.73)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$  – среднеквадратические ошибки отдельных слагаемых.

Среднеквадратическую ошибку разности находят по формуле:

$$\sigma_r = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (2.74)$$

где  $\sigma_1$  – среднеквадратическая ошибка уменьшаемого;

$\sigma_2$  – среднеквадратическая ошибка вычитаемого.

Предположим, что при измерении диаметров допущена абсолютная ошибка  $m_d$ . Она повлечет за собой ошибку  $m_g$  в площади сечения, определяемую по формуле 2.75.

Сумма площадей сечений множества деревьев будет иметь следующую абсолютную ошибку:

$$m_g = \pm \sqrt{\frac{\pi^2 d_1^2 (m'_d)^2}{4} + \frac{\pi^2 d_2^2 (m''_d)^2}{4} + \dots + \frac{\pi^2 d_n^2 (m^n_d)^2}{4}},$$

или

$$m_g = \pm \sqrt{\frac{\pi^2}{4} [d_1^2 (m'_d)^2 + d_2^2 (m''_d)^2 + \dots + d_n^2 (m^n_d)^2]}. \quad (2.75)$$

Предположим, что при измерении толщины всех деревьев допущена одинаковая ошибка, равная  $m_g$ . Тогда ошибка в сумме площадей сечения всех деревьев будет следующей:

$$m_g = m_d \sqrt{\pi \left( \frac{\pi}{4} \sum d^2 \right)} = m_d \sqrt{\pi \sum g}. \quad (2.76)$$

Ошибка в площади сечения, выраженная в процентах, окажется такой:

$$\rho_g = \frac{m_g \cdot 100}{\sum g} = \frac{100 m_d \sqrt{\pi \sum g}}{\sum g}. \quad (2.77)$$

Сумму площадей сечений ( $\sum g$ ) заменим произведением площади сечения среднего дерева  $g$  на общее число деревьев  $N$ , составляющих данное множество. Тогда будем иметь:

$$\sum g = gN = \frac{\pi}{4} D^2 N. \quad (2.78)$$

Подставив  $(\pi / 4) D^2 N$  вместо  $\sum g$  в ранее приведенное выражение, в конечном итоге получаем следующую упрощенную формулу:

$$\begin{aligned}
 p_g &= 100m_d \sqrt{\frac{\pi d N}{g N}} = \frac{100m_d \sqrt{\frac{\pi^2 D^2 N}{4}}}{\frac{\pi D^2 N}{4}} = \frac{4 \cdot 100m_d \sqrt{\pi^2 D^2 N}}{2\pi D^2 N} = \frac{200m_d \pi D \sqrt{N}}{\pi D^2 N} = \\
 &= \frac{200m_d \sqrt{n}}{DN} = \frac{2p_d \sqrt{N}}{N} = \frac{2p_d}{\sqrt{N}}.
 \end{aligned}
 \tag{2.79}$$

Согласно этой формуле для приближенного вычисления ошибки надо удвоенную ошибку в измерении среднего дерева разделить на квадратный корень из общего количества обмеренных деревьев.

Автором настоящего учебника сделана проверка точности определения суммы площадей сечения при проведении пересчетов по ступеням толщины в 1, 2, 4 см. Результаты подтвердили вышеприведенные данные при среднем диаметре 16 см и более. В данном случае важно, чтобы количество разрядов (ступеней толщины) статистической совокупности было в пределах от 7–8 до 12–16.

Таким образом, можно заключить, что при учете отдельных деревьев необходимо измерять диаметры как можно точнее, в противном случае при вычислении объема деревьев получатся существенные ошибки. При массовом же учете леса в измерении диаметров отдельных деревьев допустимы значительные округления, которые существенного влияния на суммарный результат не окажут, так как разные знаки взаимно уничтожаются.

М. Продан в книге «Messung der Waldbestände» («Измерение насаждений») подробно останавливается на установлении ошибок при определении диаметров и площадей сечений. Он указывает, что эти ошибки состоят из ошибок пересчета; так называемых ошибок наблюдения; ошибок из-за неправильной формы поперечного сечения; ошибок, порождаемых неравномерным распределением деревьев в пределах ступеней толщины, и ошибок округления.

Ошибки пересчета связаны с дефектами мерной вилки. Они могут быть самой различной величины. Ошибки наблюдения возникают от неправильного положения вилки при пересчете и субъективных ошибок (обмера одного дерева два раза или его пропуска). При тщательном пересчете, по мнению Продана, ошибки наблюдения достигают 0,3 % от площади сечения. Ошибки из-за неправильной формы ствола составляют  $\pm 0,5$  % от площади сечения. Ошибки, порождаемые неравномерным распределением деревьев в пределах ступеней толщины, зависят от характера распределения деревьев в данной ступени. Они составляют в более мелких ступенях толщины  $\pm 0,1$ – $0,3$  %, в более крупных  $\pm 0,03$ – $0,8$  % от площади сечения деревьев, входящих в эту ступень. Ошибки округления колеблются от  $-1,5$  % до  $+1$  %. Данные М. Продана совпадают с результатами исследований, проводившихся в СССР А. Г. Мошкалевым и другими учеными.

### 2.2.7. Область применения стереометрических формул для определения объемов стволов

Описанные методы определения объемов стволов и их частей по вышеприведенным формулам применяются в основном при проведении научных исследований. В практике лесного хозяйства они не используются из-за трудоемкости. Для учета объемов стволов и сортиментов применяют специальные таблицы, о которых сказано ниже.

В то же время в практике иногда случаются споры по поводу объема того или иного ствола, встречаются очень толстые деревья, для которых нет соответствующих таблиц. Бывает, что требуется определить объемы стволов для тех древесных видов, для которых таблицы не составлены, например, для экзотов. В таких случаях применяют вышеописанные методы и в практике.

Обобщая изложенное, сделаем следующие выводы:

- точными способами определения объема стволов являются ксилотрихический и весовой. Но первый из них трудоемок, а второй требует измерения влажности древесины, потому что в практике они почти не применяются;
- ствол дерева имеет сложную форму, которую нельзя описать одной элементарной формулой;
- точность простых формул определения объема ствола низкая ( $\pm 20\text{--}40\%$ ), и эти формулы можно использовать только для примерных расчетов;
- точность секционных формул находится в пределах  $\pm 1,5\text{--}2\%$ ;
- в научных исследованиях для вычисления объема ствола используют формулы Смаллиана, Губера и Симпсона;
- формула Симпсона дает наивысшую точность, но требует делить ствол на четное количество частей, что технологически неудобно;
- относительные ошибки измерения диаметра влияют в 2 раза сильнее, чем ошибки измерения длины ствола или его частей;
- для конкретных стволов образующая с высокой точностью может быть описана уравнениями полиномов 6–8-й степеней;
- модель продольной образующей ствола, используемая для их совокупности, может быть выражена полиномом 4-й степени или (лучше) более сложными уравнениями. Хорошие результаты здесь дает применение сплайн-функции;
- описанные методы определения объемов применяются при проведении научных исследований. В практической работе лесоводов их используют в исключительных случаях.

## 2.3. Таксация стволов растущих деревьев

### 2.3.1. Изменчивость формы растущих деревьев

Определение объемов растущих деревьев гораздо труднее, чем срубленного ствола. Дело в том, что на срубленном стволе сделать замеры через 1,2 м или через 0,1 м не составляет большого труда. Подобные измерения на растущем дереве нецелесообразны. Хотя современные измерительные приборы позволяют измерять диаметр дерева на любой высоте, но такие приборы дороги, а замеры требуют значительного времени. Кроме того, остается нерешенной проблема учета объема дерева без коры.

Определение объема растущих деревьев осложняется тем обстоятельством, что форма деревьев весьма изменчива. Деревья, растущие на свободе, имеют отличие в форме ствола от деревьев, растущих в густом насаждении. Поэтому при одинаковых диаметрах и высотах их объемы будут разными. Даже выросшие в одном насаждении деревья отличаются по форме ствола.

При таксации большого числа деревьев, отличающихся различными количественными значениями таксационных признаков, индивидуальный учет формы каждого отдельного дерева практически невозможен, поэтому в лесной таксации в этом случае широко используется теория средних величин, разработанная в курсах математической статистики.

Для достаточного числа наблюдений изменчивость таксационных признаков характеризуется вариационной кривой. При этом наибольшее число наблюдений приходится на некоторую среднюю величину, от которой идет симметричное уменьшение численности изучаемого признака в обе стороны, то есть как в сторону увеличения, так и уменьшения. В графической форме эта закономерность может быть выражена кривой нормального распределения Гаусса – Лапласа.

Перечисленные трудности вынудили ученых найти иные методы определения объемов деревьев. При разработке таких методов в первую очередь изучалась форма ствола.

Ранее в главе 6 мы определили, что уменьшение диаметра дерева от его комля к вершине называется сбегом. Этот усредненный показатель учитывали при разработке таблиц объемов бревен в зависимости от длины и диаметра в верхнем отрезе. Форма ствола может быть выражена через его сбеги.

Величиной сбega, выяснив закономерности его изменения, можно воспользоваться и при определении объемов деревьев. Графическое изображение продольной образующей ствола показывает, что сбеги имеют определенные закономерности, которые учитывают при вычислении объема дерева. Зная варьирование показателей формы ствола, нетрудно вычислить необходимое число замеров для корректного описания формы ствола с заданной точностью. Таким образом, проблема определения объема ствола сводится к установлению закономерности его сбega и нахождению показателей, характеризующих форму ствола, которые являются аргументами в моделях, выражающих объемы растущих деревьев.

### 2.3.2. Сбег ствола. Таблицы сбega стволов

Выше мы определили, что сбегом называется уменьшение диаметра ствола от его основания к вершине. Различают следующие виды сбega.

*Абсолютный* – характеризует изменение диаметров ствола в сантиметрах на протяжении всей его длины от основания до вершины через равные интервалы: 1, 2 м и т. д. Такой сбеги дает возможность определить объем всего ствола и отдельных его частей, наглядно представить форму ствола. Он является основным таксационным признаком ствола. С его помощью получают математические модели объема ствола, устанавливают зависимость Д-Н.

*Относительный* – может быть получен из абсолютного сбega, если принять один из диаметров ствола на определенной высоте за 100 % и выразить диаметры на остальных высотах в процентах от принятого исходного диаметра. Обычно за 100 % принимают диаметр на высоте груди (1,3 м) или на 0,1 Н.

*Средний* – это изменение диаметра в среднем на 1 м длины. Он получается путем деления разности двух диаметров (верхнего и нижнего), взятых на протяжении длины ствола, на длину этой части ствола и выражается в сантиметрах на 1 м длины. Средний сбеги обычно применяется в отношении части ствола (обычно бревен); иногда определяется и для целого ствола путем деления диаметра ствола на высоте груди на длину ствола, уменьшенную на 1,3 м. Такой сбеги не характеризует формулу древесного ствола, которая может быть различной при одинаковом среднем сбеге.

Величина сбega является основанием для вычисления диаметров на различной высоте ствола. Для практического использования разрабатывают специальные таблицы, которые называют таблицами сбega. Для этого проводят замеры большого числа деревьев для каждой древесной породы: в пределах нескольких тысяч штук. Полученное значение усредняют и выравнивают графически или аналитически в пределах породы диаметра и высоты. Затем эти данные приводят в систему, выравнивая по высотам и диаметрам. В результате получается стройная система цифр, которая характеризует величину сбega различных древесных пород в пределах диапазона их диаметров и высот.

Обмеры стволов обычно делают через 1 или 2 м или через 0,1 Н. На этом материале строят таблицы сбega. Полученные величины после усреднения выравнивают графически или аналитически. В последние годы преобладает аналитический метод. Таблицы сбega обычно объединяют с таблицами объемов. Они имеют следующий вид (таблица 2.5).

Объем и сбег стволов I разряда высот (по Д. И. Говстолеусу)

Диаметр на высоте груди, см	Высота, м	Объем стволов, м <sup>3</sup>	d V	Высота стволов, м																	% коры	% сучьев
				1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27					
24	25	0,511	d	25,2	22,1	20,3	18,9	17,7	16,6	15,4	14,0	12,4	10,5	7,7	4,1	–	–	12	12			
			V	0,100	0,077	0,065	0,056	0,049	0,043	0,037	0,031	0,024	0,017	0,009	0,003	–	–					
		0,445	d	22,3	20,1	19,0	18,0	16,9	15,9	14,8	13,5	11,9	10,0	7,2	3,6	–	–	12	12			
			V	0,078	0,063	0,057	0,051	0,045	0,040	0,034	0,029	0,022	0,016	0,008	0,002	–	–					
28	27	0,732	d	29,3	25,9	23,9	22,2	20,9	19,7	18,5	17,0	15,3	13,3	11,1	7,8	3,9	–	13	12			
			V	0,135	0,105	0,090	0,077	0,069	0,061	0,054	0,042	0,037	0,028	0,019	0,010	0,002	–					
		0,641	d	25,9	23,6	22,3	21,1	20,0	19,0	17,9	16,5	14,8	12,8	10,6	7,3	3,4	–	13	12			
			V	0,105	0,087	0,078	0,070	0,063	0,057	0,050	0,043	0,034	0,026	0,018	0,008	0,002	–					
32	28	0,988	d	33,3	29,7	27,5	25,5	24,1	22,7	21,3	19,9	18,1	16,1	13,8	10,7	6,9	2,6	13	12			
			V	0,174	0,139	0,119	0,102	0,091	0,081	0,071	0,062	0,051	0,041	0,030	0,018	0,007	0,001					
		0,867	d	29,5	26,9	25,5	24,2	23,1	21,9	20,6	19,3	17,6	15,6	13,3	10,2	6,4	2,1	13	12			
			V	0,137	0,114	0,102	0,092	0,084	0,075	0,067	0,058	0,049	0,038	0,028	0,016	0,006	0,001					

### 2.3.3. Коэффициенты формы и видовые числа

#### Коэффициенты формы

Использование показателей сбега дерева для выражения его формы с последующим определением объема дерева можно реализовать путем введения дополнительных показателей, характеризующих форму ствола. Эти показатели получили название коэффициентов формы и видовых чисел.

Относительный сбега стволов по относительным высотам выражается через коэффициенты формы. Они представляют собой отношение диаметра на любой высоте к диаметру на некоторой константной высоте, чаще всегда на 1,3 м. Этот способ впервые был предложен Шиффелем на рубеже XIX–XX вв. в отношении четырех коэффициентов формы ( $q_n$ ).

Основной методический недостаток предложения Шиффеля – это зависимость коэффициента формы от высоты ствола: диаметры измеряют на относительных высотах (0,25 Н; 0,50 Н; 0,75 Н), а сопоставляют с диаметром на постоянной абсолютной высоте 1,3 м.

Наибольшее использование в лесной таксации приобрела величина  $q_2$  ( $q_2 = d_{0,5} : d_{1,3}$ ), называемая вторым коэффициентом формы. Она приближенно характеризует степень сбежистости нижней половины стволов. Коэффициент формы  $q_2$ , несмотря на некоторые его недостатки, отмеченные выше, имеет особо важное значение для разработки методов таксации древостоев. Это заключается в том, что  $q_2$  характеризует сбежистость ствола, то есть его форму: полнодревесную, сбежистую и т. д.

Значение средней величины можно получить с любой степенью точности, если знать коэффициент варьирования ( $V$ ) для  $q_n$  и требуемую точность исследования ( $p$ ), на основании формулы:

$$n = \frac{V^2}{p^2} t^2. \quad (2.80)$$

Как установлено исследованиями Ф. П. Моисеенко, В. К. Захарова и др. изменчивость  $q_2$  в одном древостое невысока. Коэффициент вариации лежит здесь в пределах  $\pm 3$  %. Средняя форма древостоя, как показали работы названных авторов, достаточно устойчива. Это позволяет, найдя средний  $q_2$  для насаждения, принять его в качестве теоретической основы для дальнейшего определения объемов деревьев.

Профессор Н. В. Третьяков выдвинул иной показатель сбежистости ствола, названный им классом формы, а именно:  $q_{2/1} = d_{1/2} : d_{1/4}$ ;  $q_{3/1} = d_{3/4} : d_{1/4}$ , то есть отношения диаметров на относительных высотах 1/2 к 1/4 и 3/4 к 1/4 высоты.

По величинам  $q_{2/1}$  и  $q_2$  можно судить о сбежистости стволов, различая три категории:

$q_{2/1} = 0,75$  – стволы сильносбежистые;  $q_2 = 0,55–0,60$ ;

$q_{2/1} = 0,80$  – стволы среднесбежистые;  $q_2 = 0,65–0,70$ ;

$q_{2/1} = 0,85$  – стволы малосбежистые;  $q_2 = 0,75–0,80$ .

Варьирование индивидуальной формы древесных стволов приводит к переменным значениям показателей классов формы  $q_{2/1}$  и  $q_{3/1}$ . Применяя эти показатели к правильным телам вращения с постоянной формой, получаем константные значения  $q_{2/1}$  и  $q_{3/1}$ . Так, для параболоида 2-го порядка  $q_{2/1} = 0,815$ ; для конуса  $q_{2/1} = 0,675$  и нейлоида  $q_{2/1} = 0,545$ . Если для этих же тел взять отношения диаметров на высоте 1/2 Н к диаметру при основании, то есть  $d_{1/2} : d_0 = q_{1/0}$ , то получим для цилиндра  $q_{1/0} = 1,00$ ; параболоида  $q_{1/0} = 0,707$ ; конуса  $q_{1/0} = 0,500$ ; нейлоида  $q_{1/0} = 0,354$ .

Предложение Н. В. Третьякова не нашло широкого применения, и ученые в своих исследованиях используют показатель  $q_2$ .

Профессор В. К. Захаров в основу исследования формы ствола принял отношение диаметров по десяти секциям к диаметру на высоте 0,1 Н, то есть  $q_n = d_n : d_{0,1}$ .

Ранее отмечено, что стволы бывают сбежистые, полндревесные и средней формы с наличием многих переходных форм между этими группировками. Это приводит к тому, что при одинаковых диаметрах на высоте 1,3 м и высотах объемы отдельных деревьев различны, что обуславливается различиями их формы. Для объективной характеристики формы стволов большинство исследователей для выражения форм ствола использовали коэффициенты формы  $q_n$ , но в основном применяли только величину  $q_2$ .

### Видовые числа

Для того чтобы на основе измерения диаметра на высоте 1,3 м и высоты стоящего дерева установить его объем, одних значений коэффициентов формы оказалось недостаточно. Потребовалось ввести в теорию таксации леса новое понятие – видовое число  $f$ , разработать учение о видовых числах и связанных с ними коэффициентах формы  $q_n$ .

В основу теории видовых чисел была положена высказанная Паульзенем в начале XIX ст. мысль о сравнении объемов стволов с объемами правильных стереометрических тел вращения и получении из такого сравнения некоторого измерителя, дающего возможность найти объем древесного ствола. С этой целью было принято брать отношение объема ствола ( $V$ ) к объему одномерного цилиндра ( $C$ ), имеющего со стволом одинаковую высоту  $H$  и площадь сечения  $g$ , измеренную на высоте 1,3 м (рис. 2.7). Это отношение получило название видового числа (от немецкого слова Formzahl) и обозначается буквой  $f$ .

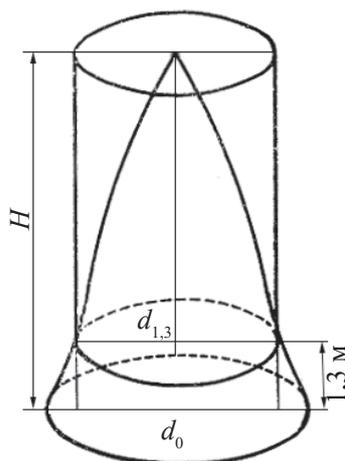


Рис. 2.7. Схема определения старого видового числа стволов ( $f$ )

Следовательно,

$$f_s = \frac{V}{C} = \frac{V}{gH}; \quad (2.81)$$

откуда

$$V = Cf_s = gHf_s = \frac{nd^2}{4} Hf, \quad (2.82)$$

где  $V$  – объем ствола;

$C$  – объем цилиндра, одномерного со стволом;

$d$  – диаметр ствола на высоте 1,3 м.

Это видовое число получило название «старое видовое число».

Из формулы (2.82) видно, что объем ствола равен произведению объема цилиндра на видовое число. Таким образом, видовое число является переводным коэффициентом для перехода от объема цилиндра к объему ствола.

Таким же путем можно вычислить видовое число для всего дерева, то есть объема ствола с кроной:

$$f_B = \frac{V_B}{B}.$$

Разность между видовыми числами объема дерева  $f_B$  и объема ствола  $f_s$  составит видовое число объема сучьев  $f_a$ , то есть  $f_a = f_B - f_s$ .

Следовательно, мы получили три формулы объемов:

- объем ствола

$$V_s = ghf_s = \frac{nd^2}{4} hf_s; \quad (2.83)$$

- объем дерева

$$V_B = ghf_B = \frac{nd^2}{4} hf_B; \quad (2.84)$$

- объем сучьев

$$V_a = ghf_a = \frac{nd^2}{4} hf_a. \quad (2.85)$$

Для облегчения пользования приведенными формулами можно составить таблицы объемов для определенных соотношений диаметров и высот и отвечающих им значений видовых чисел. Такие таблицы строят для отдельных древесных пород по схеме, указанной в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Схема таблиц объемов по  $d_{1,3}$  и  $H$

Высота ствола, м	Объем стволов, м <sup>3</sup> , при диаметре на высоте 1,3 м							
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_n$
$H_1$	$V_{11}$	$V_{12}$	$V_{13}$	...				
$H_2$		$V_{22}$	$V_{23}$	$V_{24}$	...			
$H_3$		$V_{32}$	$V_{33}$	$V_{34}$	$V_{35}$	...		
$H_4$			$V_{43}$	$V_{44}$	$V_{45}$	$V_{46}$	...	
$H_n$				$V_{54}$	$V_{55}$	$V_{56}$	$V_{57}$	...

Объемы даны на пересечении соответствующих линий  $d$  и  $H$ . Эти таблицы предназначены для таксации совокупности деревьев, а не единичных стволов. В отношении последних могут быть значительные погрешности в тех случаях, когда их форма отличается от средней формы стволов, объемы которых даны в таблицах.

Для пользования таблицами объемов необходимо установить предварительно общую численность совокупности деревьев, распределенную по однородным группам. Группы составляют по одинаковым ступеням толщины (1; 2; 4 см) и одинаковым ступеням или классам высоты. Ступени высоты обычно принимают 1 м, а классы высоты – 2–3 м. Такие группы совокупностей формируются в процессе проведения перечета деревьев (таблица 2.7).

Таблица 2.7

Схема распределения совокупности деревьев по ступеням толщины и классам высоты

Ступень толщины	Число стволов по высотам				
	$h_1$	$h_2$	$h_3$	–	$h_n$
$d_1$	$n_1$	$n_2$	–	–	–
$d_2$	–	$n_3$	$n_4$	–	–
$d_3$	–	$n_5$	$n_6$	$n_7$	
и т. д.					

Из данного перечета видно, что при одинаковом диаметре высоты стволов, и объемы их будут различны. Запас такой совокупности  $V$  при пользовании указанной таблицей вычисляется по следующей формуле

$$V = v_1 n_1 + v_2 n_2 + v_3 n_3 + \dots + v_n n_n, \quad (2.86)$$

где  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$  – число стволов по ступеням толщины и высоты;

$v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$  – объем одного ствола по таблице при данных соотношениях  $d$  и  $H$ .

Изложенная схема таксации растущих деревьев носит общий характер и требует дальнейшего исследования и анализа. Удобство нахождения объема ствола по формуле  $V = ghf$  заключается в том, что нам требуется измерить только диаметр на 1,3 м и высоту дерева. Видовое число ( $f$ ) непосредственно не вычисляют, как будет показано ниже. Для их нахождения пользуются закономерными связями  $f$  с  $q_2$  и  $H$ . В настоящее время разработаны специальные таблицы, в которых показаны средние величины видовых чисел в зависимости от высоты. Имея такие таблицы, нетрудно составить таблицы объемов, где входами будут  $h$  и  $d$ , а среднее видовое число, выступающее сомножителем в формуле  $V = ghf$ , в натуре не определяют.

### Различные видовые числа и взаимосвязь их с коэффициентами формы

Приведенное нами старое видовое число ствола  $f = \frac{V}{C}$  с точки зрения зависимости его от различных факторов и выражений этой зависимости соответствующими формулами нуждается в анализе.

Если исходить из формы древесного ствола, отвечающей форме параболоида 2-го порядка, то формула видового числа может быть выражена в следующем виде:

$$f = \frac{V}{C} = \frac{\pi R^2 H}{\pi R^2 H} = \frac{1}{m+1} \cdot \frac{R^2}{r^2},$$

где  $R$  – радиус параболоида при основании;

$r$  – радиус параболоида на высоте 1,3 м;

$m$  – показатель степени, характеризующий форму образующей, для параболоида  $m = 1$ .

Но для параболоида квадраты радиусов относятся как  $m$ -ые степени высот, следовательно,

$$\frac{R^2}{r^2} = \left( \frac{H}{H-1,3} \right)^m.$$

При  $m = 1$  формула видового числа будет иметь вид:

$$f = \frac{1}{m+1} \cdot \frac{H}{H-1,3}.$$

Разделив в последнем выражении числитель и знаменатель на  $H$ , получим конечную формулу для  $f$ :

$$f = \frac{1}{m+1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1,3}{H}}. \quad (2.87)$$

Из формулы (2.87) видно, что видовое число  $f$  является функцией двух переменных величин:  $m$  и  $H$ . Допуская, что одна величина постоянна, а другая имеет различные значения, можно проанализировать влияние одной из величин на видовое число. При увеличении  $m$  видовое число уменьшается, а при уменьшении  $m$  увеличивается.

При постоянном значении  $m$ , когда форма ствола неизменна, величина  $f$  находится в обратной зависимости от  $H$ , то есть с увеличением  $H$  уменьшается значение  $f$  и наоборот.

Для параболоида формула видового числа  $f$  с увеличением высоты  $H$  будет иметь вид:

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1,3}{H}}. \quad (2.88)$$

Изменение  $f$  в зависимости от высоты  $H$  приводится ниже (таблица 2.8).

Таблица 2.8

Изменение видовых чисел в зависимости от высоты

Высота $H$	5	10	13	15	20	26	30
Видовое число $f$	0,675	0,575	0,556	0,550	0,535	0,526	0,522

Таким образом, наблюдается обратная зависимость  $f$  от  $h$ . Поэтому при одинаковой  $h$  величина  $f$  по мере увеличения  $d_{1,3}$  снижается на 2–3 %. Если в формуле (2.81) принять  $H = 2,6$  м, то получим видовое число  $f = 1$ .

Обратная зависимость старого видового числа от высоты при неизменности формы выражается кривой, имеющей вид гиперболы (рис. 2.8), которая характеризуется уравнением общего вида:

$$f = a + \frac{b}{H}. \quad (2.89)$$

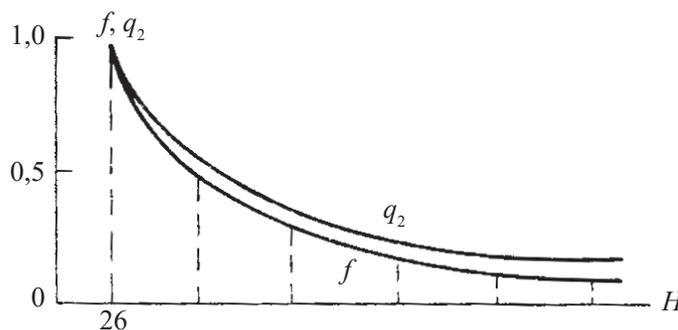


Рис. 2.8. График изменения средних видовых чисел и коэффициентов формы  $q_2$  в зависимости от высоты

Из приведенной зависимости  $f$  от  $H$  видно, что старое видовое число зависит от  $H$ . Поэтому таблицы видовых чисел тоже строят в зависимости от  $H$ . Часто бывает удобнее в таблицах проставить не сами видовые числа, а произведения величин  $hf$ . Эта величина называется видовой высотой.

Видовые числа были предложены почти 200 лет назад. С тех пор не прекращались попытки их усовершенствовать, не отказываясь от мысли определить объем ствола по формуле (2.82). Усовершенствования видовых чисел состояли в основном в том, что ученые отрицали высоту 1,3 м в качестве места измерения диаметра (площади сечения) цилиндра, заменяя ее другими величинами.

В. Гогенадль предложил видовые числа, названные им истинными ( $f_{\lambda,0,1}$ ), исходя из объема ствола, определяемого по срединным диаметрам пяти секций, длина каждой из них  $l = 0,2L$ . Формула видового числа по Гогенадлю  $f_{\lambda,0,1} = (V_{\text{ств}} : g_{0,1})L$ , в которой  $g_{0,1}L$  – объем цилиндра с площадью сечения на  $0,1L$  и высотой  $L$ , составляет:

$$f_{\lambda,0,1} = 0,2(1,00 + \eta_{0,3}^2 + \eta_{0,5}^2 + \eta_{0,7}^2 + \eta_{0,9}^2). \quad (2.90)$$

Если в формулу (2.88) вместо постоянной величины 1,3 и переменного отношения  $1,3 : H$  ввести постоянную величину  $\frac{1,3}{H} = \frac{1}{20} = 0,05$ , то она примет следующий вид:

$$f = \frac{1}{m+1} \cdot 1,05^m. \quad (2.91)$$

Видовые числа, полученные по формуле (2.81) и предложенные в 1873 г. М. Р. Пресселром, получили название нормальных видовых чисел. Нормальное видовое число  $f$  не зависит от  $H$  и остается неизменным при одинаковой форме стволов (в отношении правильных тел вращения). Так, для параболоида при всех высотах  $f = 0,526$ , для конуса  $f = 0,368$ , для нейлоида  $f = 0,289$ .

Если измерять диаметр ствола на  $0,1H$ , то формула примет вид:

$$f_n = \frac{1}{m+1} \cdot 1,10^m, \quad (2.92)$$

то есть величина  $f_n$  обуславливается лишь влиянием формы ствола и не зависит от  $H$ .

В результате исследований, проведенных В. К. Захаровым, было установлено, что средняя форма древесных стволов, выраженная в относительных величинах, является для данной породы величиной константной. Следовательно, среднее  $f_n$  приобретает значение постоянной величины, вычисляемой по формуле:

$$f_n = \frac{V}{g_0 H}, \quad (2.93)$$

откуда объем ствола

$$V = g_{0,1} H f_n. \quad (2.94)$$

Ученые БГТУ установили, что среднее значение  $f_n$  по приведенным материалам составляет для стволов сосны в коре 0,520, без коры 0,538, для ели соответственно 0,540 и 0,547. Ими же выявлено, что варьирование  $f_n$  небольшое: 2,31–4,60 %. Распределение числа стволов по индивидуальным  $f_n$  характеризуется кривой нормального распределения.

В. К. Захаров рекомендовал использовать преимущества нормальных видовых чисел для установления взаимосвязи  $f_n$  с другими таксационными признаками деревьев и древостоев насаждений. В отношении деревьев в насаждении им была установлена тесная корреляционная связь между  $d_{1,3}$  и  $d_{0,1}$ ; коэффициент корреляции оказался  $r = 0,982 \pm 0,0033$ ; корреляционное отношение  $v = 0,982 \pm 0,0033$ . Линейная связь между указанными диаметрами в рассмотренных объектах выразилась уравнением:

$$d_{0,1} = 0,80 + 0,925 d_{1,3}. \quad (2.95)$$

В. К. Захаров считал, что приведенные взаимосвязи  $f_n$  с другими таксационными признаками открывают возможности широко использовать преимущества нормальных видовых чисел в теоретических исследованиях и практической деятельности. Вводить в уравнение в качестве аргументов нормальные видовые числа удобнее всего через видовые высоты ( $Hf_n$ ). При постоянной величине средних  $f_n$  по породам составление таблиц для  $Hf_n$  не представляет особых затруднений.

В таблице 2.9 приведены выдержки значений  $Hf_n$  для сосны ( $f_n = 0,520$ ) в сопоставлении со стандартной таблицей для  $Hf_s$  по высотам.

На графике прямые видовых высот  $Hf_n$  и  $Hf_s$  в зависимости от  $H$  пересекаются на высоте 12 м, после чего  $Hf_n$  по абсолютной величине выше  $Hf_s$ ; до высоты 12 м наблюдаются обратные соотношения.

Значения  $Hf_n$  для сосны в сравнении с  $Hf_s$  по стандартной таблице

$H$	$Hf_n$	$Hf_s$	$H$	$Hf_n$	$Hf_s$
8	4,16	4,56	20	10,40	9,38
10	5,20	5,36	22	11,44	10,18
12	6,24	6,17	24	12,48	10,98
14	7,28	6,97	26	13,52	11,78
16	8,32	7,77	28	14,56	12,58
18	9,36	8,58	30	15,60	13,39

Учитывая, что варьирование  $f_n$  почти вдвое меньше изменчивости старых видовых чисел при наличии тесной связи между  $q_{0,5/0,1}$  и  $f_n$ , рекомендуется таксацию модельных и учетных деревьев проводить с использованием индивидуальных нормальных видовых чисел, полученных по материалам объектов исследования, то есть  $V = g_{0,1}(Hf_n)$ . Этот прием может быть обоснован также и для определения запасов насаждений:

$$V = \sum g_{0,1}(Hf_n).$$

В широкую практику описанный метод внедрен не был. Возможно, здесь сказались трудности измерения диаметра на высоте 0,1 Н.

В 1894 г. Г. Шпейдель рекомендовал применять в практике абсолютные видовые числа. Для их определения ученый построил цилиндр, с которым следовало сопоставлять объем ствола не по площади сечения на высоте 1,3 м, а у основания ствола, вычислив его диаметр  $d_0$  по связи с  $d_{1,3}$ . Исходя из основного свойства образующей параболоида: квадраты диаметров относятся между собой как соответствующие им высоты, получим

$$d_0^2 : d_{1,3}^2 = H : (H - 1,3),$$

откуда

$$d_0^2 = \frac{d_{1,3}^2 H}{H - 1,3}. \quad (2.96)$$

С этой целью были составлены вспомогательные таблицы значений  $d_0$  по  $d_{1,3}$  и  $H$ .

Положительной стороной абсолютного видового числа является то, что при одинаковой высоте ствола и диаметре на высоте 1,3 м оно отражает различия формы стволов. Тем не менее в практике абсолютные видовые числа не получили применения, так как в этом случае необходимы дополнительные вычисления  $d_0$  даже при использовании готовых таблиц.

Еще менее приемлемым для практического использования оказалось предложение Риникера получать видовые числа делением объема ствола выше 1,3 м на объем цилиндра той же высоты. По этому способу объем нижней секции длиной 1,3 м нужно было бы определять дополнительно.

Таким образом, несмотря на приведенные выше недостатки старых видовых чисел, они оказались наиболее приемлемыми и прочно вошли в теорию и практику лесной таксации.

Проведенные исследования старых видовых чисел позволили впервые в Баварии (1846) разработать таблицы средних видовых чисел и использовать их для составления первых таблиц объемов растущих стволов, известных под названием баварских.

Для составления названных таблиц были использованы обмеры свыше 40 тысяч стволов разных древесных пород. Баварские таблицы видовых чисел как средних величин были составлены по породам, ступеням толщины и высотам. Кроме того, были приняты три группы возрастов: до 60 лет, от 61 до 90 лет и старше 91 года. Полученные средние величины по приведенным группам обмеров сглаживались простейшим графическим способом.

Баварские таблицы объемов, несмотря на местный характер, на протяжении почти полстолетия были единственными и нашли успешное применение и за пределами Баварии, в том числе в царской России в 1869–1886 гг.

По образцу баварских таблиц немецкими опытными станциями в конце XIX столетия был составлен ряд таблиц средних видовых чисел, а на основе их – таблицы объемов древесных стволов.

Видовые числа древесных стволов, характеризующие соотношения объемов ствола и одномерного цилиндра, давали лишь относительное представление о полнодревесности стволов. Между тем лесохозяйственная практика нуждалась в разработке методов по характеристике формы древесных стволов, отражающей их сбеги. Как уже отмечалось, в 1899 г. А. Шиффель предложил для этой цели принимать соотношения диаметров ствола, измеренных на разных высотах – у основания, на  $1/4H$ ,  $1/2H$  и  $3/4H$  – к диаметру на высоте 1,3 м.

Эти отношения были названы коэффициентами формы:

$$q_0 = \frac{d_0}{d_{1,3}}; \quad q_1 = \frac{d_{1/4}}{d_{1,3}}; \quad q_2 = \frac{d_{1/2}}{d_{1,3}}; \quad q_3 = \frac{d_{3/4}}{d_{1,3}}.$$

Анализируя величины этих коэффициентов и их соотношения, Шиффель установил, что величины  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  для известной высоты ствола находятся между собой в определенной постоянной взаимосвязи, что позволяет по одной из них определять величины двух других. В результате дальнейших исследований была установлена взаимосвязь коэффициентов формы  $q_2$  с видовыми числами и высотами, выраженная эмпирическими формулами.

Простейшую взаимосвязь  $f$  и  $q_2$  можно видеть из следующих сопоставлений.

Объем ствола по простой формуле срединного сечения:

$$V = gH.$$

Объем одномерного цилиндра

$$C = g_{1,3}H,$$

где  $g_{1,3}$  – площадь сечения на высоте 1,3 м.

Отсюда видовое число

$$f = \frac{V}{C} = \frac{\gamma H}{g_{1,3}H} = \frac{\delta^2}{d_{1,3}^2} = q_2^2, \quad (2.97)$$

где  $\delta^2$  – диаметр ствола на половине высоты. Это приближенная формула выведена Вейзе и носит его имя.

Таким образом, видовое число  $f$  равно квадрату коэффициента формы  $q_2$ . Следовательно, точность вычисления  $f$  по этому способу обуславливается точностью определения объема стволов по простой формуле срединного сечения. В отношении отдельных стволов формула (2.86) может давать отклонения до  $\pm 15$ – $20$  % и больше. Если брать средние величины  $f$  для нескольких стволов, то может быть получена удовлетворительная точность.

При высоте ствола  $H$ , равной 2,6 м, измерение диаметров на высоте 1,3 м и половине высоты  $1/2H$  приходится на одну и ту же высоту, следовательно, в этом случае  $f = q_2 = 1$ . При последующем увеличении  $H$  средний  $q_2$  уменьшается, но по своей абсолютной величине остается больше видового числа, так как  $f = q_2^2$ .

Связь видовых чисел с коэффициентами формы ( $q_i$ ) в зависимости от высоты в еловых древостоях показана в таблице 2.10.

Таким образом, начиная с высоты 12 м, приведенная взаимосвязь  $f = q_2^2$  дает удовлетворительные результаты для стволов ели со средней формой  $q_2 = 0,7$ .

Связь видовых чисел с коэффициентами формы  $q_2$ 

Показатели	Значение коэффициента формы при высоте, м										
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Среднее $q_2$ в 0,001	767	733	718	709	703	698	695	693	691	688	687
Среднее $f$ в 0,001	637	565	528	507	493	483	475	469	465	461	458
$f = q_2^2$	588	537	515	503	494	487	483	480	477	473	472
Отклонение от $f$ , %	7,3	12,1	2,6	0,8	0,8	0,8	1,6	2,1	2,6	2,6	2,5

В 1891 г. О. Кунце при изучении закономерностей изменения видовых чисел также исходил из отношений диаметров  $\delta$  и  $d_{1,3}$ , то есть  $q_2 = \frac{\delta}{d_{1,3}}$ . На конкретном материале отдельных древесных пород (сосны, ели, бука) он опытным путем исследовал разность между ними. В результате была предложена формула, названная именем этого автора:

$$q_2 - f = C. \quad (2.98)$$

Было установлено, что для стволов длиной 15–18 м и более разность  $C$  является для отдельных пород величиной постоянной и составляет: для сосны – 0,20; ели – 0,21; бука – 0,22–0,23; березы – 0,22; осины – 0,24; черной ольхи – 0,22 и липы – 0,21.

В общем виде формула Кунце для  $f$  имеет вид:

$$f = q_2 - C.$$

Как показали исследования профессора А. В. Тюрина, формула Кунце дает лучшие результаты по сравнению с формулой (2.87). По исследованиям В. К. Захарова средняя величина  $C$  для отдельных пород составила следующие значения: сосна – 0,211; ель – 0,219; черная ольха – 0,211; осина – 0,217; дуб – 0,197; ясень – 0,200; кедр – 0,207. Приведенные значения  $C$  получены на значительном экспериментальном материале и отличаются большой устойчивостью по породам.

Всеобщие таблицы видовых чисел позволяют получить уточненные значения  $C$  в зависимости от высот стволов и коэффициентов формы  $q_2$ .

А. Шиффель пришел к выводу, что кривые изменения видовых чисел выражаются уравнением следующего общего вида:

$$f = a + bq_2 + \frac{c}{q_2 H}, \quad (2.99)$$

где  $f$  – видовое число ствола;

$q_2$  – коэффициент формы;  $q_2 = \frac{d_{1/2}}{d_{1,3}}$ ;

$H$  – высота ствола;

$a, b, c$  – некоторые постоянные коэффициенты.

Исходя из анализа экспериментального материала, Шиффелем были установлены цифровые параметры приведенного уравнения и получены четыре уравнения для вычисления видовых чисел, а именно: для лиственницы, сосны, пихты, ели. Сравнивая результаты, Шиффель убедился, что влияние древесной породы при одинаковых  $q_2$ ,  $H$  и  $d_{1,3}$  на величину видового числа и объема древесных стволов настолько незначительно, что представляется возможным пользоваться любой из приведенных формул. Для всех хвойных пород он рекомендовал в качестве общей формулу, выведенную для ели. Таким образом, для всех древесных пород объем ствола было предложено вычислять по формуле:

$$V = g_{1,3} H \left( 0,14 + 0,66q_2^2 + \frac{0,32}{q_2 H} \right). \quad (2.100)$$

При анализе видовых чисел можно видеть, что величина  $f$  является функцией двух переменных величин  $q_2$  и  $H$ . При неизменности величины  $H$  и повышении  $q_2$  видовое число увеличивается. Наоборот, при одинаковых  $q_2$  видовое число находится в обратной зависимости от  $H$ , то есть уменьшается.

В 1908 г. Д. Маас (Швеция), анализируя видовые числа стволов сосны и ели в зависимости от  $H$  и  $q_2$ , пришел к выводу, что при одинаковых  $H$  и  $q_2$  влияние древесной породы настолько незначительно, что позволяет составить для них единую таблицу видовых чисел (таблица 2.11).

Таблица 2.11

Значения видовых чисел по классам коэффициента формы  $q_2$

Высота, м	Значения видовых чисел по классам коэффициента формы $q_2$				
	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
10	0,464	0,501	0,537	0,574	0,610
12	0,444	482	520	559	597
14	431	471	510	550	589
16	420	461	502	542	582
18	411	453	494	535	576
20	405	447	488	529	571

В 1911 г. профессор М. Е. Ткаченко продолжил исследования Шиффеля и Мааса относительно лиственных пород и сформулировал закон формы древесных стволов. Этот закон звучит следующим образом.

Стволы хвойных и лиственных пород, взятые из древостоев, растущих при любых естественноисторических условиях, подчиняются одному и тому же **закону формы стволов: при равных высотах, диаметрах и коэффициентах формы  $q_2$  стволы всех древесных пород имеют близко равные видовые числа, а следовательно, и близко равные объемы.**

Таким образом, в таблицах М. Е. Ткаченко не учитывается влияние условий местопроизрастания на видовые числа при одинаковых высотах и коэффициентах формы  $q_2$ . Основываясь на таких выводах, профессор М. Е. Ткаченко составил таблицу всеобщих видовых чисел в зависимости от высот и коэффициентов формы  $q_2$  (таблица 2.12).

Таблица 2.12

Таблица всеобщих видовых чисел в зависимости от  $h$  и  $q_2$  (по М. Е. Ткаченко)

Высота, м	Видовые числа при разных коэффициентах формы $q_2$ по высотам					
	0,55		0,65		0,75	
	$M \pm t$	процент погрешности (P)	$M \pm t$	процент погрешности (P)	$M \pm t$	процент погрешности (P)
12	0,405 ± 0,0180	±4,4	0,471 ± 0,0042	±0,9	0,550 ± 0,0052	±0,9
14	0,396 ± 0,0171	±4,3	0,463 ± 0,0043	±0,9	0,544 ± 0,0058	±1,1
16	0,389 ± 0,0166	±4,3	0,457 ± 0,0037	±0,8	0,540 ± 0,0056	±1,0
18	0,383 ± 0,0155	±4,0	0,454 ± 0,0040	±0,9	0,537 ± 0,0054	±1,0
20	0,379 ± 0,0156	±4,1	0,450 ± 0,0034	±0,8	0,534 ± 0,0052	±1,0
22	0,374 ± 0,0137	±3,7	0,447 ± 0,0032	±0,7	0,531 ± 0,0046	±0,9
24	0,371 ± 0,0138	±3,7	0,444 ± 0,0023	±0,5	0,529 ± 0,0049	±0,9
26	0,367 ± 0,0120	±3,3	0,441 ± 0,0020	±0,5	0,527 ± 0,0050	±0,9
28	0,364 ± 0,0108	±3,0	0,439 ± 0,0022	±0,5	0,527 ± 0,0048	±0,9
30	0,361 ± 0,0091	±2,5	0,437 ± 0,0027	±0,6	0,525 ± 0,0044	±0,8
32	0,35 ± 0,0083	±2,3	0,436 ± 0,0028	±0,6	0,524 ± 0,0044	±0,8
34	0,357 ± 0,0079	±2,2	0,434 ± 0,0034	±0,8	0,523 ± 0,0048	±0,9

Высота, м	Видовые числа при разных коэффициентах формы $q_2$ по высотам					
	0,55		0,65		0,75	
	$M \pm m$	процент погрешности (P)	$M \pm m$	процент погрешности (P)	$M \pm m$	процент погрешности (P)
36	$0,356 \pm 0,0076$	$\pm 2,1$	$0,433 \pm 0,0036$	$\pm 0,8$	$0,522 \pm 0,0048$	$\pm 0,9$
38	$0,354 \pm 0,0073$	$\pm 2,1$	$0,431 \pm 0,0044$	$\pm 1,0$	$0,521 \pm 0,0050$	$\pm 1,0$
40	$0,352 \pm 0,0064$	$\pm 1,8$	$0,430 \pm 0,0048$	$\pm 1,1$	$0,520 \pm 0,0052$	$\pm 1,0$

Из таблиц, приведенных М. Е. Ткаченко и Маасом, видно, что с увеличением видовых чисел повышаются значения  $q_2$  при данной высоте и, наоборот, при одинаковых  $q_2$  видовые числа уменьшаются по мере увеличения высот  $h$ .

### Средняя форма древесных стволов

Значительная изменчивость формы древесных стволов ставит перед теорией и практикой лесной таксации вопрос об изучении средней формы.

В лесотаксационной литературе среднюю форму стволов обычно выражают через средний коэффициент формы  $q_2$ .

По исследованиям профессора В. К. Захарова, коэффициенты формы  $q_2$  крупномерных стволов дуба в возрасте 200–280 лет, срубленных в количестве 550 шт., на лесосеках сплошной рубки, распределены по  $q_2$  следующим образом (таблица 2.13).

Средний коэффициент формы у него составил:  $q_2 = 0,676 \pm 0,0034$ ,  $\sigma = \pm 0,079 \pm 0,0024$ ,  $V = 11,8 \%$ ,  $p = 0,5 \%$ .

Таблица 2.13

### Средняя форма стволов дуба (по В. К. Захарову)

Коэффициент формы, $q_2$	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
Число стволов, шт.	5	15	35	80	125	154	81	42	15
%	0,9	2,7	6,4	14,6	22,4	28,0	14,4	7,6	2,7

Анализируя приведенный характер варьирования формы стволов дуба, автор в 1929 г. установил закономерный характер распределения числа стволов каждого однородного древостоя по коэффициенту формы  $q_2$  как в целом, так и по ступеням толщины и графически выразил его кривой нормального распределения Гаусса – Лапласа.

Указанная закономерность в отношении стволов ольхи черной была впервые выявлена профессором Ф. П. Моисеенко, который в дальнейшем собрал значительный материал по данному вопросу для других древесных пород. Ф. П. Моисеенко на материале 19 192 раскряжеванных и измеренных модельных деревьев установил следующие закономерности изменения коэффициентов формы  $q_2$ .

- Средние коэффициенты формы по породам в Европейской части СССР (кроме лесов Европейского Севера) довольно устойчивы – изменчивость  $q_2$  составляет 2,5–3,5 %.

- Коэффициент формы отдельных деревьев в древостое варьирует значительно сильнее по сравнению со средними  $q_2$  насаждений, и его величина колеблется в пределах 6–12 %.

- Распределение  $q_2$  отдельных стволов в древостое описывается кривой нормального распределения.

На основе названных исследований Ф. П. Моисеенко еще в 30-е гг. XX в. предложил составлять объемные и сортиментные таблицы для средней формы ствола, что сегодня общепринято в теории и практике лесной таксации. В настоящее время приведенная закономерность является теоретической основой для таксации древостоев по средней форме стволов отдельных пород.

По исследованиям различных авторов, установлены средние величины  $q_2$  для главнейших пород: березы – 0,65; сосны – 0,67; дуба – 0,68–0,69; ели, осины, ольхи черной, пихты – 0,70.

Если в формулу Шиффеля (2.90)

$$f = 0,14 + 0,66q_2^2 + \frac{0,32}{q_2H}$$

вместо  $q_2$  подставить для данной породы абсолютную величину среднего  $q_2$ , то формула приобретет вид:

$$f = a + \frac{b}{H}.$$

Следовательно, видовое число при этом будет зависеть от  $H$ , а не от изменения  $q_2$  по высотам.

В отношении коэффициентов формы имеются и другие суждения. Так, профессор А. В. Тюрин при составлении таблиц объема и сбега стволов березы и осины не установил тесной связи между  $q_2$  и  $H$ . Ф. П. Моисеенко на основе опытных материалов для составления объемных таблиц и таблиц хода роста выявил слабую корреляцию между коэффициентами формы  $q_2$  и  $q_1$  и отсутствие корреляционной связи между  $q_2$ ,  $q_{2/3}$  и  $q_3$  и высотой деревьев.

Ф. П. Моисеенко доказал, что форма ствола формируется в молодом возрасте и зависит от густоты насаждения. После 50 лет эта форма остается стабильной и не зависит от полноты. Следствием является то, что связь  $q_2 - H$  существует для малых высот (до 15–16 м), а затем она становится очень слабой. Поэтому, если рассматривать связь  $q_2$  с высотой для всего диапазона высот, начиная от 4–5 метров до самых больших значений (35–40 м), то такая зависимость обнаруживается. Но если отбросить деревья, имеющие низкие высоты, то окажется, что коэффициент корреляции  $q_2 - H$  является незначимым.

Выводы о единстве средней формы отдельных древесных пород находят подтверждение и в работах Д. И. Товстолеса. Сопоставив таблицы объема и сбега стволов сосны по европейской части СССР с местными таблицами по Боярскому лесничеству Киевской области, он обнаружил их полное совпадение. Д. И. Товстолес пришел к выводу, что совпадение объемов всеобщих таблиц с местными доказывает единство формы стволов в сосновых лесах от крайнего севера до крайнего юга СССР и их близко равную полндревесность в пределах одного бонитета. Отсюда следовало, что есть полная возможность пользоваться всеобщими таблицами для таксации сосновых насаждений, не уклоняющихся резко от средней полндревесности.

Средние видовые числа древостоев в зависимости от высоты вычислены для разных древесных пород и географических районов. Для Беларуси они определены В. Ф. Багинским. Уравнения связи видовых чисел со средней высотой имеют вид:

- сосна  $F = 1,268 / H + 0,4092 \quad (5 \leq H \leq 35);$
- ель  $F = 1,004 / H + 0,4343 \quad (5 \leq H \leq 35);$
- береза  $F = 0,980 / H + 0,3988 \quad (11 \leq H \leq 34);$
- осина  $F = 0,887 / H + 0,4196 \quad (11 \leq H \leq 34);$
- черная ольха  $F = 0,737 / H + 0,4521 \quad (11 \leq H \leq 34);$
- дуб  $F = 0,855 / H + 0,4333 \quad (11 \leq H \leq 34).$

По этим уравнениям вычислены средние видовые числа насаждений названных древесных видов. Они приведены в справочнике «Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР» (М., 1984). Для примера в таблице 2.14 даны величины  $F$  для разных пород.

Исследования видовых чисел и их связь с другими таксационными показателями, проведенные в 60–70-х гг. прошлого века, существенно пополняли наши знания в этом вопросе.

Показано (Ф. П. Моисеенко, П. В. Горский, В. Ф. Багинский), что изменчивость видовых чисел уменьшается с возрастом (и высотой) и составляет в молодняках 10–20 %, в старших возрастах 5–8 %, а  $q_2$  соответственно 8–10 и 4–5 %.

Таблица 2.14

Средние видовые числа древостоев Беларуси

Средняя высота, м	Видовые числа для пород					
	сосна	ель	дуб	береза	осина	ольха черная
5	0,643	0,652	0,621	0,609	0,617	0,618
10	0,529	0,541	0,517	0,502	0,516	0,525
15	0,491	0,504	0,483	0,466	0,482	0,493
20	0,472	0,485	0,465	0,448	0,466	0,478
25	0,460	0,474	0,455	0,437	0,456	0,468
30	0,453	0,467	0,448	0,430	0,449	0,462
35	0,447	0,461	0,443	0,425	0,444	0,458

Вычисления видовых чисел проводятся в основном по уравнению гиперболы, где используется зависимость  $f-H$ . В начале XX в. предлагалось (С. Эйде) описывающее видовое число в уравнение связи вводить в качестве аргумента также диаметр ( $D$ ). В этом случае  $f$  определялось по уравнению:

$$f = a_1 + (a_2 D + a_3) / H.$$

Дальнейшие исследования показали, что диаметр не оказывает существенного влияния на  $f$ . Высота и диаметр имеют высокую взаимную корреляцию. Коэффициент корреляции достигает здесь 0,9–0,95. Введение в одно уравнение двух взаимно коррелированных аргументов неправомерно из-за высокой меры неопределенности. Поэтому один из аргументов, который оказывает меньшее влияние, опускается. В данном случае это диаметр.

В молодняках связь диаметра и высоты не столь тесная. Поэтому здесь оправдано в качестве аргумента использовать и диаметр. Это было подтверждено исследованиями И. И. Григальюнаса, В. С. Моисеева, В. Ф. Багинского. Ими установлено влияние на видовое число диаметра. Эта связь выражается гиперболической зависимостью вида:  $F = f(HD)$ .

**Практическое использование видовых чисел**

Практическое использование видовых чисел заключается в том, что они входят сомножителем в основное уравнение для определения запаса древостоя:  $M = GHF$ . В этой формуле величины  $G$  и  $H$  находят путем измерения в лесу. Величину  $F$  определяют по исследованиям большого количества стволов деревьев, выводя ее значения из уравнения  $F = a_0 + \frac{a_1}{H}$ . Знание зависимости  $f-q_2$  позволяет облегчить нахождение видового числа. Вместо достаточно сложного вычисления объема ствола нам достаточно измерить два его диаметра (на 1,3 м и на 0,5H), что гораздо проще. В силу небольшого варьирования показателей формы ствола и высокой корреляции между  $f$  и  $q_2$  точность вычислений остается высокой.

Значение средних видовых чисел записывают в специальные таблицы в зависимости от высоты. В этом случае величина запаса при заданных  $H$  и  $G$  находится по таблице без измерения видового числа. В практике именно такие таблицы служат для определения объемов деревьев и запаса древостоя. Таким образом, чисто теоретическая величина «видовое число» приобретает важное практическое значение.

### 2.3.4. Приближенные формулы для определения объема стоящих деревьев

Для ориентировочных оценок, а также, когда нет соответствующих справочников, разработан ряд формул для определения объема деревьев. Молодому специалисту они пригодятся, когда его начнут «экзаменовывать» на производстве, спрашивая объем того или иного дерева в лесу, особенно весьма крупных размеров.

Если в общей формуле объема растущего дерева

$$V = gHf = \frac{\pi d^2}{4} Hf \quad (2.101)$$

допустить, что произведение  $Hf = 40/\pi = 12,74$  (это справедливо при  $H = 25$  м и  $f = 0,5$ ), то формула примет вид:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{40}{\pi} = 10d^2.$$

Так как диаметры измеряются в сантиметрах, то есть в 0,01 м, то  $d^2 = 0,0001$  м и объем ствола выразится:

$$V = 10d^2 \cdot 0,0001 = 0,001d_{1,3}^2, \quad (2.102)$$

то есть нужно измерить диаметр на высоте 1,3 м в сантиметрах, возвести его в квадрат и в произведении отделить справа налево три десятичных знака; в результате получаем объем ствола в кубических метрах.

По исследованиям В. Денцина, предложившего эту формулу, она верна в отношении стволов сосны и ели для высоты 30 м, а для ели и дуба – 26 м. На каждый лишний или недостающий метр высоты ствола надо вносить поправку в полученный по формуле объем: для сосны  $\pm 3\%$ ; ели  $\pm 3-4\%$  и дуба  $\pm 5\%$ . Приведенная формула не дает высокой точности и может быть использована лишь для суждения о приближенной величине объема ствола.

Стремясь к уточнению приближенных формул, Н. Н. Дементьев предложил формулу, включающую, помимо  $d_{1,3}$ , высоту ствола. Установив, что при  $q_2 = 0,65$  видовое число  $f$  может быть принято равным 0,425, он подставил эту величину в общую формулу объема растущего ствола  $V = gHf$  и получил:

$$V = gHf = \frac{\pi d^2}{4} H \cdot 0,425 = (3,14 \cdot 0,425 d^2 H) / 4 = 0,333 d^2 H = d^2 H / 3. \quad (2.103)$$

Для стволов, имеющих иные  $q_2$ , в формулу к высоте ствола вносится поправка, и формула приобретает вид:

$$V = d^2 \cdot (H + h) / 3. \quad (2.104)$$

На каждые  $0,05q_2$  следует прибавлять или убавлять 3 м. Так, для стволов, у которых  $q_2 = 0,70$ , поправка +3 м; при  $q_2 = 0,75$  поправка +6 м; при  $q_2 = 0,60$  поправка со знаком минус, то есть –3 м и т. д. Сопоставление объемов, полученных по формуле (3.4), с данными объемных таблиц показало, что значения объемов близко совпадают.

Профессор Б. А. Шустов предложил формулу объема древесного ствола, выведенную из отношений  $q_2 : f$ , которые, по его исследованиям, носят константный характер: для сосны  $q_2 : f = 1,468$ , для дуба  $q_2 : f = 1,476$ , для ели  $q_2 : f = 1,450$ .

Исходя из этих соотношений получена формула объема по трем измерениям  $d_{1,3}$ ,  $d_{1/2}$  и  $H$  на основе следующих выводов:

$$\text{имеем } q_2 : f = 1,468 \text{ или } \frac{d_{1/2}}{d_{1,3}} = 1,468.$$

Таким образом, в окончательном виде имеем

$$V = 0,534 d_{1/2} d_{1/3} H. \quad (2.105)$$

Например,  $d_{1,3} = 20$  см;  $d_{1/2} = 14$  см;  $H = 23$  м; тогда

$$V = 0,534 \cdot 0,20 \cdot 0,14 \cdot 23 = 0,342 \text{ м}^3.$$

По таблицам Союзлеспрома объем такого ствола  $V = 0,332 \text{ м}^3$ .

Пользоваться перечисленными методами определения объема стволов следует только для приближенных расчетов. Для точного определения объема стволов необходимо использовать соответствующие таблицы.

## 2.4. Объемные таблицы и определение запаса древостоев

### 2.4.1. Запас насаждения и классификация методов его определения

**Запас насаждения (древостоя)** – это сумма объемов составляющих его деревьев, он обозначается буквой  $M$ . В то же время термин «запас насаждения» не в полной мере характеризует ценность древостоя. Различают запас общий, эксплуатационный и товарный.

**Общий запас** – это запас всего древостоя. Он складывается из запаса стволовой древесины и фитомассы.

Таксация имеет дело в основном с запасом стволовой древесины, хотя в последние годы все большее внимание уделяется всей надземной фитомассе.

**Эксплуатационный запас** – это запас древостоя, который может быть вырублен в ближайшие 10–20 лет. Его составляют спелые, зрелые и перестойные древостои.

**Товарный запас** – это запас той части древостоя, которая имеет сбыт, то есть будет использована в народном хозяйстве. Его еще называют ликвидным запасом или ликвидом. Последнее выражение употребляется чаще, хотя правильнее говорить «товарный». В лесхозах обычно употребляют слово «ликвид».

Товарный запас представляет собой общий запас минус отходы, то есть деловую и дрова. Все расчеты лесопользования обычно ведут в ликвиде (товарном запасе), так как для потребителя важен именно этот запас.

**Лесосечными отходами**, то есть остающимися на месте вырубки или не используемыми в дальнейшем остатками древесины, в настоящее время считается кора деловых сортиментов, сучья, ветви, которые не могут быть по соответствующему стандарту отнесены к дровам, пни, корни, древесная зелень. В составе отходов выделяют лесосечные – это та часть отходов, которая остается на лесосеке после заготовки и вывозки древесины: сучья, ветви, древесная зелень, пни и т. д. Другие отходы образуются в результате переработки древесины: кора деловых сортиментов, опилки, обрезки и т. д. Доля отходов, остающихся только при раскряжке ствола (без кроны, пней и корней), колеблется в пределах 9–12 %, где основной объем составляет кора деловых сортиментов. Общий объем лесосечных отходов, если учитывать сучья, фитомассу, пни и корни, достигает 45 % от запаса стволовой древесины.

Понятие «отходы» с течением времени меняется. Расширение возможностей технологической переработки древесины постепенно уменьшает количество отходов. В настоящее время лесосечные отходы рассматриваются как топливное сырье для ТЭЦ. При этом пока экономически нецелесообразно использовать как топливо древесную зелень, пни и корни. К тому же на сбор лесосечных отходов есть биологические и экономические ограничения, которые диктуют необходимость оставлять на лесосеке 40–50 % отходов как удобрение. Древесная зелень и мелкие порубочные остатки необходимо оставлять на лесосеке с целью поддержания

биологического разнообразия насекомых и микрофлоры. В настоящее время в Беларуси В. Г. Шатравко разработал нормативы оставления лесосечных отходов. (Имеются нормативы оставления лесосечных отходов, которые вошли составной частью в «правила рубок леса».)

Запас древостоя можно определить разными способами, а именно:

- сделать обмеры всех деревьев, вычислив объем каждого, и сложить результаты, то есть

$$M = \sum_{i=1}^n V_n;$$

• отобрать модельные деревья и определить их объем. Объем каждого модельного дерева ( $V$ ) умножить на число стволов ( $n$ ), которые представляет модель и сложить результаты, то есть

$$M = \sum_{i=1}^n V_i n_i.$$

В практике лесного хозяйства и в лесоустройстве запас древостоя устанавливают разными способами:

- глазомерно с применением специальных таблиц;
- измерительным методом, используя угловой шаблон Биттерлиха или призму Анучина;
- перечислительным методом. В этом случае делается перечет деревьев по ступеням толщины и определяются высоты деревьев. Запас насаждения находится по специальным таблицам, которые будут рассмотрены ниже.

Основным методом, который применяют в практике лесного хозяйства для определения запаса древостоя, является использование объемных (их еще называют массовые) таблиц. При этом наиболее точные результаты получают, когда измерение проводят для совокупности деревьев. Тогда случайные ошибки с «+» и «-» взаимно погашаются.

Массовые таблицы объемов стволов представляют собой ряд цифровых данных, расположенных в определенной системе и характеризующих средние объемы древесных пород. Объемные таблицы называют массовыми не потому, что объем иногда употребляют как синоним понятию «масса древесины». Массовыми их называют потому, что такие таблицы должны употребляться для совокупности (массы) деревьев. На одной лесосеке таких деревьев обычно имеется несколько сотен. Поэтому случайные ошибки от определения объема одного дерева взаимно погашаются, и результаты получаются достаточно точными.

В названных таблицах объемы определяют, проводя измерения следующих показателей:

1) диаметров на высоте 1,3 м;

2) высоты ствола. При этом устанавливают его форму или полнодревесность. Такие таблицы составляют по материалам обмера большого числа деревьев. При этом их объемы вычисляют по секционным стереометрическим формулам. Весь материал обмеров группируют по однородным категориям. Полученные средние величины сглаживают графически или математически и располагают конечные результаты в определенной последовательности в соответствии с принятой формой таблиц.

В зависимости от величины района сбора основного материала, численности его, а также предполагаемой территории применения составленных таблиц различают местные и общие таблицы. В XIX – начале XX в. в отдельных случаях местные таблицы составляли на одно лесничество и даже его часть – лесную дачу. Со второй половины XX в. от такой практики отказались из-за ненужности слишком мелких районов применения объемных таблиц.

По мере накопления значительных материалов по таксации деревьев разных пород, возрастов, размеров, условий местопроизрастания, собранных на значительной территории, при одновременном улучшении методики обработки материала перешли к составлению общих массовых таблиц объемов древесных стволов.

Углубленное изучение закономерностей в строении насаждений, о чем будет изложено ниже, привело к установлению связей между таксационными признаками деревьев и древостоев насаждений независимо от областей роста, пород, возрастных категорий, что свидетельствует о единстве законов развития древесных стволов отдельных пород на обширных территориях.

Эти соображения при условии соответствующей дифференциации общих таблиц делают излишним составление местных таблиц для использования их на ограниченной территории. В 70–80-е гг. в СССР были определены лесотаксационные районы, где следует применять единые объемные и сортиментные таблицы. Всего для территории СССР (22 млн км<sup>2</sup>) было выделено 17 районов. Беларусь в этой системе представляет один район, то есть объемные и сортиментные таблицы должны применяться на всей территории единообразно.

В настоящее время в мировой практике лесного хозяйства применяют разные массовые таблицы. Исходя из сочетания основных сомножителей объема ствола ( $d_{1,3}$ ,  $H$ ,  $f$ ) существующие массовые таблицы объемов древесных стволов могут быть подразделены на следующие виды.

**Массовые таблицы типа баварских.** Объем ствола по этим таблицам находят на основании измерений диаметра на высоте 1,3 м и высоты  $H$  для некоторой средней формы ствола, представленной в таблицах. Для отдельных видов таблиц этого типа дополнительно учитываются элементы лесобиологического порядка: возрастные группы, области роста, вариации формы стволов и др.

К этому типу относятся следующие таблицы:

- 1) баварские;
- 2) общегерманские;
- 3) удельные таблицы Крюденера;
- 4) ряд таблиц других российских и советских авторов.

В таблицах данного типа для одинаковых ступеней толщины предусмотрено значительное число высот, следовательно, такое же количество отдельных объемов стволов.

**Массовые таблицы по разрядам высот.** Объемы стволов приводятся на основе измерения диаметров стволов на высоте 1,3 м; отнесения таксируемой совокупности деревьев к одному из разрядов высот, представленных в таблицах, при заранее установленных соотношениях между диаметрами и высотами и некоторой средней формы стволов, принятой в таблицах.

Таким образом, для таксируемой совокупности деревьев высота для каждой ступени толщины непосредственно не устанавливается, а весь объект таксации относится к одному из разрядов высот, имеющих в таблицах.

В таблицах по разрядам высот соотношения между  $d$  и  $H$  оформляются в виде соответствующих кривых высот по числу их разрядов. Для каждой ступени толщины приводится столько объемов, сколько разрядов высот представлено в таблицах. В свою очередь, число разрядов высот различно в разных таблицах и обычно включает 3, 4, 5 и более разрядов.

К этому типу таблиц относятся следующие:

- 1) русские временные массовые таблицы (1886);
- 2) современные таблицы по разрядам, изданные в 1931 г. Союзлеспромом;
- 3) ряд таблиц зарубежных стран.

**Многоразрядные (их еще называют безразрядными) объемные таблицы.** По внешнему виду они напоминают баварские. Но высоты каждого дерева не измеряют. Определение высоты каждой ступени толщины проводится по кривой высот, которую вычисляют для каждой лесосеки по замерам 12–15 учетных деревьев. Вычисление объемов деревьев проводится аналогично как и по баварским таблицам.

**Таблицы объемов стволов по коэффициентам формы  $q_2$ .** В таблицах этого типа объемы стволов даются на основе трех измерений для каждого ствола, а именно:

- 1) диаметра на высоте 1,3 м ( $d_{1,3}$ );

- 2) высоты ствола  $H$ ;
- 3) второго коэффициента формы  $q_2 = d_{1/2} : d_{1/3}$ .

К таким таблицам относятся:

- 1) таблицы Шиффеля для сосны, ели, пихты, лиственницы;
- 2) таблицы Мааса для сосны и ели;
- 3) таблицы Ионсона для сосны и ели.

Из приведенной структуры четырех типов таблиц видно, что число признаков, по которым учетные единицы объединяются в совокупности, называемые входами таблиц, различно. В таблицах первого и третьего типа входами являются порода, диаметр на высоте 1,3 м и высота ствола, в таблицах второго типа – порода, диаметр и разряд высот и, наконец, в четвертом типе – диаметр на высоте 1,3 м; высота  $H$  и коэффициент формы  $q_2$ . Что касается древесной породы, то она в таблицах данного вида может отсутствовать. Так, таблицы Мааса и Ионсона пород Швеции без подразделения на породы, что отвечает выводам ранее рассмотренных соотношений между видовыми числами, высотами и коэффициентами формы  $q_2$ .

#### 2.4.2. Объемные таблицы типа баварских

Первые таблицы объемов появились в 1846 г. в Баварии, поэтому и названы *баварскими*. Исходным материалом для составления таблиц послужили данные обмера в лесах Баварии свыше 40 тысяч стволов разных пород. Собранный материал был подвергнут статистической обработке с вычислением средних величин и последующим их графическим сглаживанием.

Группировка опытных материалов в процессе их обработки проводилась по породам,  $d_{1,3}$ ,  $H$  и возрастным категориям: средневозрастные – до 60 лет, приспевающие – 61–90 лет и спелые – свыше 90 лет. Первоначально были разработаны таблицы средних видовых чисел по указанной группировке, при помощи которых объемы стволов вычислялись по формуле  $V = gHf$ .

Измерив  $d_{1,3}$  и  $H$ , искомый объем ствола легко найти в соответствующей таблице на пересечении граф диаметра и высоты. Количество высот, а следовательно, и объемов стволов для отдельных диаметров, составляет 30, что дает широкие возможности подбора объемов по  $d$  и  $H$ .

Баварские таблицы долгое время были единственными, они нашли практическое использование и за пределами Баварии, например, в царской России. Для того чтобы их применить, сначала проводят пересчет деревьев по породам и ступеням толщины и вычисляют запас данной совокупности по форме, приведенной в таблице 2.15.

Таблица 2.15

##### Форма учетной ведомости для определения запаса древостоя с помощью таблиц типа баварских

Ступени толщины, см	Высота, м	Число стволов, шт.	Объем одного ствола, м <sup>3</sup>	Запас всех стволов, м <sup>3</sup>
...	...	...	...	...
итого				

Массовые таблицы типа баварских ранее находили применение для таксации совокупности отдельных деревьев, обладающих каким-либо однородным качественным признаком, например, отобранные и заклеянные стволы сосны для заготовки спецсортиментов, стволы березы, дающие фанерные бревна, и т. п. Эти деревья выбирались, главным образом в довоенное время при проведении подневольно-выборочных рубок. Такие рубки были распространены для отбора деревьев, предназначенных на экспорт или используемых в военных целях. В настоящее время подневольно-выборочные рубки в нашей стране не проводятся.

При подневольно-выборочных рубках дерева, как правило, выборочно отбираются на значительной площади, они территориально разъединены, зачастую произрастают в разнообразных условиях внутренней и внешней среды. В процессе роста такие деревья не влияли друг на друга, поэтому не наблюдалось закономерных соотношений между  $d$  и  $H$ , характерных для совокупности деревьев, растущих в составе насаждений. В этом случае перерасчет деревьев проводили не только по ступеням толщины, но и по классам высот 2–3 м.

К таблицам описанного типа относятся и *общегерманские массовые таблицы*, опубликованные в 1876 г. По методам построения и результатам применения они близки к баварским таблицам. Материалом для построения таблиц послужили обмеры более 60 тысяч древесных стволов в разных областях Германии.

Для стволов средней формы объемы даны в двух вариантах: объем всего ствола (Baumholz) и объем крупной древесины (Derbholz), включающей объем ствола толщиной до 7 см в вершине. По разности этих объемов можно определить кубатуру сучьев и мелкой древесины.

Для стволов дуба в таблицах приводятся объемы средней формы при  $q_2 = 0,70$ ; при таксации сбежистых ( $q_2 = 0,60$ ) и полнодревесных ( $q_2 = 0,80$ ) стволов нужно увеличивать или уменьшать средние объемы на 6–8 %.

Объемы стволов по германским таблицам в сопоставлении с баварскими дают некоторое преувеличение: от 2 до 8 %. Это объясняется тем, что модельные деревья, использованные для составления таблиц, отбирались как средние модели, где стволы с пороками развития браковались. Поэтому они оказались лучшей формы, чем использованные для составления баварских, взятых в порядке сплошных рубок. Порядок пользования германскими таблицами аналогичен, как и для баварских. Общегерманские таблицы предусматривали две области роста: северную и южную Германию, а также возрастные группы деревьев: до 40 лет, 41–80 и выше 80 лет.

В России подобные таблицы (их называют «удельные массовые таблицы А. Крюденера») разработаны в начале XX в. Они составлены в период 1908–1913 гг. в России удельным лесничим А. Крюденером на основании большого фактического материала. При этом обмерено свыше 108 тысяч модельных деревьев разных пород.

Методика составления этих таблиц предусматривала влияние на объем и сбег стволов (помимо обычных таксационных признаков) естественноисторических факторов: области роста; условий местопроизрастания, характеризующихся типами леса; возрастных категорий и типов деревьев по форме.

Предусматривалось две области роста – северная и южная Россия, причем границы между ними были указаны довольно схематично.

Типы леса, дающие близкие по таксационным признакам объемы и сбег стволов, объединялись в группы. Для сосны было выделено пять групп, для ели и березы – четыре, для остальных пород этот признак не учитывался. По утверждению профессора М. М. Орлова, деление на группы типов леса приближается к классификации по бонитетам. Для сосны также предусматривались три возрастные категории: от 65 до 90, от 95 до 120 и от 125 до 150 лет.

В целях индивидуализации формы стволов в таблицах А. Крюденера были приняты следующие типы деревьев:

- 1) деревья полнодревесные, выросшие в сомкнутых насаждениях;
- 2) деревья средней полнодревесности;
- 3) сильно сбежистые, выросшие в изреженных насаждениях.

Особенностью таблиц А. Крюденера является наличие данных по сбегу стволов по секциям длиной в 2 аршина (1,42 м), а также толщины коры на разных высотах. Измерения в соответствии с действовавшей тогда системой единиц приведены в старых русских мерах: аршинах, вершках, футах. Весь материал опубликован в 20 томах. Порядок пользования этими таблицами такой же, как и баварскими.

Таблицы А. Крюденера, составленные в русских мерах, не могли получить широкого производственного использования, особенно с введением метрической системы измерения в лесном хозяйстве. Таблицы к тому же имеют ряд недостатков:

1) отсутствует единство методики сбора и обработки материала: не использованы известные к тому времени более совершенные способы обработки экспериментальных данных;

2) собранный обширный основной материал не был опубликован, также не получили должного освещения и способы его обработки, что лишило возможности критически оценить достоверность конечных результатов;

3) введение возрастных категорий, а также областей роста не является обоснованным и необходимым;

4) форма древесных стволов была установлена по приложенным фотографиям, а не путем объективных критериев, обоснованных измерениями диаметров и высот.

Несмотря на отмеченные методические недостатки, таблицы А. Крюденера содержат богатый материал по характеристике объема и сбегу древесных пород, который может быть использован не только для производственных задач, но и для научно-исследовательских целей. Отметим, что таблицы А. Крюденера составлены на основе самого обширного экспериментального материала среди всех имеющихся таблиц такого рода. Это делает их очень ценными для проведения различных исследований.

Как отмечено выше, на основе материалов своих таблиц А. Крюденер составил таблицы объемов бревен различных пород, причем таблицы объемов еловых бревен составлены на основе обмера 26 тысяч бревен. Таблицы А. Крюденера в 1926 г. М. К. Турским были пересчитаны в метрические меры и названы таблицами Крюденера – Турского. В настоящее время они утверждены в качестве ГОСТ 2708-44, которые после небольших уточнений применяются как ГОСТ 2708-75.

### 2.4.3. Массовые таблицы по разрядам высот

Таблицы типа баварских получили исключительное применение в лесном хозяйстве западноевропейских стран. Огромные масштабы русского дореволюционного, а также советского и современного лесного хозяйства требовали упрощения техники таксации леса на корню и вместе с тем обеспечения необходимой ее точности. Ввиду этого в России и в СССР широкое применение получили объемные таблицы по разрядам высот.

Первыми таблицами этого типа были опубликованные в 1886 г. «Русские временные массовые таблицы», которые использовались на протяжении сорокапятилетнего периода и были заменены только в 1931 г. Количество разрядов в этих таблицах было небольшим. Для стволов дуба принято четыре разряда высот, а для остальных пород – по три разряда. Объемы давались для средней формы стволов.

Таблицы объемов дополнены данными сбегу стволов, на основе чего были составлены простейшие сортиментные таблицы, позволяющие проводить материальную и денежную оценку леса на корню с использованием таксовых цен. Именно этими таблицами пользовались купцы, скупая лес у помещиков, о чем было рассказано в главе 1.

Суть разрядов высот состоит в том, что разряд определяется по соотношению диаметра и высоты по специально разработанной таблице. Число разрядов высот зависит, от диапазона высот и диаметров конкретной породы. У древостоев, имеющих большие высоты, как правило, и более высокий разряд высот (рис. 2.9). В то же время судить о разряде высот только по средней высоте нельзя.

При одинаковой высоте деревья одной породы могут иметь разные диаметры даже в одном типе леса и при одинаковом классе бонитета в зависимости от условий выращивания древостоев: густые, редкие. Аналогично при одинаковом диаметре древостой могут иметь

разные высоты в зависимости от возраста и условий произрастания, что видно на рисунке 2.10. На этом рисунке три дерева, расположенные слева, имеют одинаковую высоту, но разные диаметры и будут принадлежать к разным разрядам высот. Дерево сосны, имеющее высоту 24 м и диаметр 28 см, будет относиться ко II разряду высот, а дерево такой же высоты с диаметром 20 см к I разряду высот.

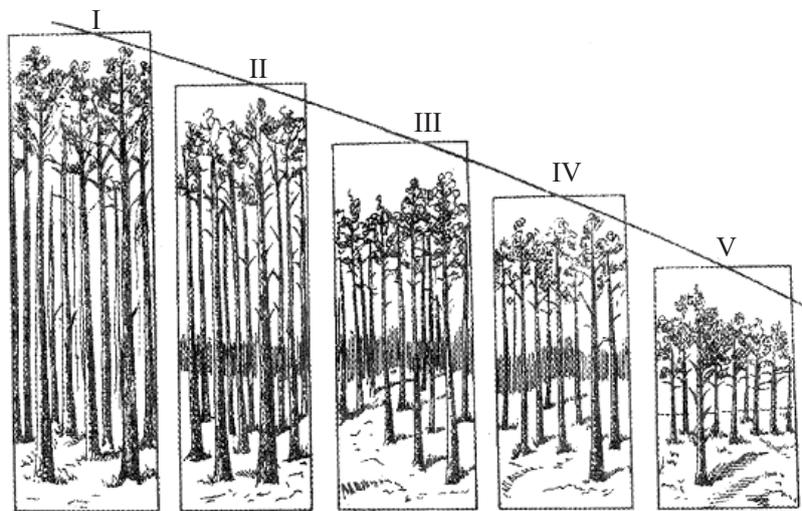


Рис. 2.9. Схема распределения насаждений по разрядам высот

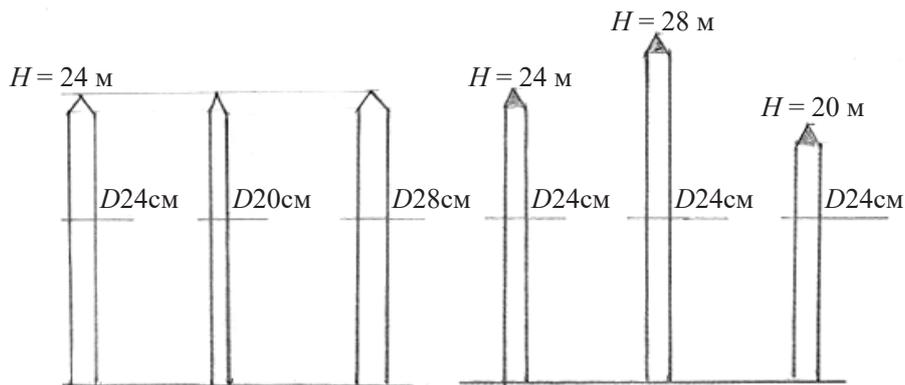


Рис. 2.10. Соотношение диаметров и высот в разных насаждениях

Правые три дерева имеют одинаковые диаметры, но разные высоты. Дерево с диаметром 24 см и высотой 28 м относится к разряду высот Ia, а дерево этого же диаметра с высотой 20 м соответствует уже IV разряду высот.

Приведенная ниже таблица 2.16 представляет собой фрагмент таблицы для определения разрядов высот.

Таблица 2.16

**Фрагмент таблицы для установления разряда высот древостоев ели (по В. К. Захарову)**

Диаметр на высоте груди, см	Высота (м) по разрядам					
	Ia	I	II	III	IV	V
20	26,0–24,1	24,0–22,1	22,0–20,1	20,0–18,1	18,0–16,1	16,0–14,0
24	28,0–26,1	26,0–24,1	24,0–22,1	22,0–20,1	20,0–18,1	18,0–16,0
28	31,0–29,1	29,0–29,6	26,5–24,1	24,0–22,1	22,0–20,1	20,0–18,0
32	32,0–30,1	30,0–28,1	28,0–26,1	26,0–23,6	23,5–21,1	21,0–19,0
36	34,0–32,1	32,0–29,6	29,5–27,1	27,0–24,6	24,5–22,1	22,0–20,0
40	35,0–33,1	33,0–30,6	30,5–28,1	28,0–25,6	25,5–23,1	23,0–21,0

Способ применения таблиц несложен. Для каждой породы на таксируемом участке путем замеров ряда высот из средних ступеней толщины определяем разряд высот. После чего для каждой ступени подбираем в таблице соответствующего разряда средний объем ствола. Умножая средний объем на число стволов по перечету, получаем объем ступени, затем суммируя объемы всех ступеней, определяем объем всех стволов, включенных в перечень, по формуле:

$$V = v_1 n_1 + v_2 n_2 + \dots + v_n n_n.$$

Положительным качеством данных таблиц является простота. Однако их применение в практике выявило значительные недостатки, приводящие в отдельных случаях к недопустимым погрешностям, в особенности при таксации древостоев высокой продуктивности, для которых таблицы давали систематические преуменьшения, достигавшие, например, для сосны, 30 %.

Причины этих погрешностей:

- 1) недостаточное число разрядов высот;
- 2) искусственный характер построения кривых высот, не отвечающий соотношениям  $d$  и  $H$  в природе;
- 3) для стволов дуба, наоборот, наблюдались для отдельных ступеней толщины преувеличения объемов, связанные с погрешностью установления их повышенной средней формы.

Отмеченные недостатки привели в 1928 г. к решению о необходимости замены русских временных массовых таблиц более совершенными, однако с сохранением основных преимуществ этого типа таблиц.

В начале XX в. в России и в первые годы становления СССР у нас применялись объемные таблицы по классам бонитета. Их составителем был М. М. Орлов и другие ученые.

Отличительными признаками таблиц по бонитетам является то, что соотношения между  $d$  и  $H$  в таблицах построены на основе классов бонитетов. Число разрядов высот в них установлено по числу классов основных бонитетов.

Деление на классы бонитета является основой классификации лесов при таксации и лесоустройстве и характеризует условия местопроизрастания по внешним признакам: средней высоте насаждения в определенном возрасте. Такая классификация проводится на основании специальной общепонитировочной шкалы по средним высотам и возрастам древостоев.

Первые таблицы, составленные по бонитетам, были опубликованы в 1912 г. М. М. Орловым и Б. А. Шустовым для стволов сосны. Выбор той или иной таблицы рекомендовалось устанавливать по средней высоте и возрасту насаждений, то есть в пределах бонитета предусматривалась одна кривая соотношений  $d$  и  $H$  для таксации спелых насаждений.

Высота насаждения при прочих равных условиях является функцией двух переменных величин: возраста и условий местопроизрастания. Следовательно, при таксации древостоев приспевающих и средневозрастных насаждений по таким признакам возникают погрешности, избежать которые можно двумя путями.

Первый путь – составить для каждого бонитета два или три класса высот. При этом значительно бы увеличивалось число разрядов высот, что лишало таблиц этого типа основного их преимущества – простоты построения и легкости пользования. Второй путь – во всех случаях подбирать соответствующий разряд таблиц по соотношению диаметров и высот, а не по высоте и возрасту и, следовательно, заменить название таблиц – по разрядам высот, а не по бонитетам. Такое изменение структуры и названия таблиц в настоящее время считается общепринятым.

Влияние возраста не учитывается ни формулой объема отдельного ствола  $V = gHf$ , ни формулой запаса всех деревьев таксируемой совокупности  $V = GHf$ , где  $G$  – сумма площадей сечений всех деревьев таксируемой совокупности.

Составленные М. М. Орловым в разные периоды таблицы объемов стволов по бонитетам как для сосны, так и для других пород не были свободны от ряда методических и технических недостатков, послуживших материалом для критической их оценки в лесотаксационной литературе, после чего они подвергались переработке и исправлениям с сохранением, однако, основной структуры их построения. В силу перечисленных недостатков данные таблицы не получили широкого применения в практике.

Наряду с описанными таблицами, но с уточнением и усовершенствованием методики разными авторами был составлен ряд местных и общих таблиц по бонитетам. Так Б. А. Шустов составил такого типа таблицы для лесов Украины; для лесов Беларуси в 1928 г. В. К. Захаров составил таблицы объемов и сбега стволов восьми древесных пород, в которых были устранены основные недостатки применявшихся русских временных массовых таблиц.

В силу перечисленных и иных причин объемные таблицы по бонитетам не соответствовали научно-обоснованным требованиям к точности таких нормативных материалов. Их главный недостаток, когда при одинаковых диаметрах могли быть разные высоты, а при одинаковых высотах могли быть разные диаметры, не мог быть устранен никаким образом. Это приводило к большим ошибкам в определении объема. В силу изложенного таблицы по бонитетам в конце 20-х гг. в было решено заменить на объемные таблицы по разрядам высот.

#### 2.4.4. Таблицы объемов стволов по коэффициентам формы

Первыми по времени составления и разработке методики таблицы этого вида были разработаны в Австрии А. Шиффелем для сосны, ели, пихты и лиственницы (1899–1908). Объемы стволов приводятся здесь на основе трех измерений:  $d_{1,3}$ ,  $h$  и  $q_2$ . Для составления таблиц использован относительно небольшой по численности материал, собранный в лесах Австрии; для ели обмерено по однометровым секциям 2529 стволов, для сосны – 1181, для лиственницы – 818 и для пихты – 703.

По коэффициентам формы принята градация через 0,02, что приводит к разнице двух смежных объемов при одинаковых  $d$  и  $H$  в размере 3–4 %, следовательно, величина в 0,01 коэффициента формы  $q_2$  оказывает влияние на 1,5–2 % на объем. Образец таблиц А. Шиффеля для ели высотой 22 м показан в таблице 2.17.

Таблица 2.17

Образец таблицы А. Шиффеля по  $q_2$

Коэффициент формы	Класс полндревесности и форма	Протяженность кроны, % от $H$	Диаметр на высоте 1,3 м	Объем, м <sup>3</sup>			Диаметр, см		
				ствола	крупной древесины	дерева	1/4H	1/2H	3/4H
0,82	IV	34	16	0,268	0,261	0,304	15,1	13,1	9,0
			18	0,340	0,336	0,385	17,0	14,8	10,1
			20	0,419	0,413	0,475	18,8	16,4	11,2
			22	0,507	0,501	0,574	20,7	18,0	12,3

Применение таблиц А. Шиффеля требует непосредственного измерения трех величин:  $d_{1,3}$ ,  $H$  и  $q_2$ . Трудность измерения  $q_2$  на стоящих деревьях явилась препятствием для применения таблиц А. Шиффеля на практике. Несмотря на их бесспорные теоретические преимущества, таблицы могут быть использованы лишь при проведении научно-исследовательских работ.

Метод А. Шиффеля был применен Маасом (Швеция), который составил в 1908 г. таблицы по коэффициентам формы  $q_2$  для стволов сосны и ели по более крупным градациям коэффициента формы  $q_2$ , а именно: 0,60; 0,65; 0,70; 0,75 и 0,80 (таблица 2.18).

Таблица 2.18

Образец таблиц объемов стволов по А. Маасу.  
Класс формы  $q_2 = 0,70$

Диаметр на высоте 1,3 м, см	Объем, м <sup>3</sup> , при высоте, м							
	8	9	10	11	12	13	14	и т. д.
12	0,051	0,056	0,061	0,066	0,071	0,076	0,081	
13	0,060	0,065	0,071	0,077	0,083	0,089	0,095	
14	0,069	0,076	0,083	0,089	0,096	0,103	0,110	
15	0,080	0,087	0,095	0,103	0,110	0,118	0,125	
и т. д.								

Чтобы иметь возможность использовать таблицы в производстве, на основе измерений диаметра ствола на высоте 6 м была составлена вспомогательная таблица для установления  $q_2$  на стоящем дереве. Для этой цели сконструировали особую мерную вилку, укрепленную на шесте длиной 6 м, причем вилкой измеряли также высоту дерева и диаметр на высоте 1,3 м.

На основе взаимосвязи между диаметрами на высотах 1,3 м,  $1/2H$  и высотой в таблице приводится  $q_2$ .

Для таксируемого древостоя допускался единый средний  $q_2$ , по которому и таксировались все стволы данного насаждения. Наконец, рекомендовалось брать для высот до 21 м объем и сбег из класса  $q_2 = 0,70$ , а при больших высотах из класса 0,65.

Как отмечает В. К. Захаров, таблицы Мааса нашли применение на практике в начале XIX в. в скандинавских странах. Большая сложность при пользовании данными таблицами существенно ограничила их практическое применение. В нашей стране эти таблицы не использовались, несмотря на то, что таблицы, где учтена форма ствола, являются наиболее точными. Не имеют распространения эти таблицы и в зарубежных странах.

#### 2.4.5. Современные таблицы объемов стволов

##### Объемные таблицы Союзлеспрома

Недостатки объемных таблиц, которые описаны выше, вынудили в конце 20-х гг. прошлого века принять решение о разработке новых объемных таблиц. Развернувшееся к этому времени массовое строительство заводов и фабрик, многократно возросший экспорт древесины потребовали расширения объемов лесозаготовок. Эту древесину надо было учесть точно и с относительно небольшими затратами труда. Решение о составлении новых таблиц было принято органом управления лесным хозяйством того времени – Союзлеспромом СССР в 1928 г. Поэтому эти таблицы названы таблицами Союзлеспрома.

В 20-е гг. для учета древесины применялись многочисленные таблицы, имевшие местное значение, часть из которых описана выше: таблицы А. Б. Шустова, В. К. Захарова и др. Различные таблицы по учету запасов леса на корню, применявшиеся в отдельных республиках и областях, не могли унифицировать методы учета древесины на корню.

Ввиду этого в 1928 г. постановлением Правительства СССР было возложено на Управление лесами Наркомзема РСФСР составление единых массовых таблиц и таблиц сбega древесных стволов для основных пород, которые обеспечили бы высокую точность учета леса на корню и его определенную унификацию.

Этот вопрос обсуждался на специальном совещании с участием крупнейших специалистов в области лесной таксации. Совещание установило требования к точности таксации по объемным таблицам, признав, что таксация растущего леса должна производиться с точностью определения запаса  $\pm 10\%$ , а в наиболее интенсивных хозяйствах с точностью  $\pm 5\%$ . Требование к точности определения запаса древостоя  $\pm 10\%$  сохраняется до сих пор.

Подлежащие составлению единые таблицы по разрядам высот должны были предусматривать три категории формы древесных пород: сбежистую, среднюю и полнодревесную, выраженные через коэффициенты формы  $q_2$ . Число разрядов высот принималось по числу бонитетов. Таблицы объемов должны быть дополнены данными о сбеге стволов, процентами объема коры и сучьев.

Составление всеобщих таблиц объема и сбега было поручено ведущим ученым-таксаторам того времени профессорам: Д. П. Товстолесу – по сосне; по ели – В. К. Захарову; по дубу – Б. А. Шустову и по березе и осине А. В. Тюрину.

Совещание утвердило единую структуру таблиц по типу разрядных. Методику составления каждый автор выбирал самостоятельно. Поэтому полученные результаты отразили индивидуальные решения отдельных методических вопросов проведения работы. Для составления таблиц были использованы обмеры модельных деревьев, проведенные при лесоустройстве: сосны (2716), ели (4838), дуба (5542), березы (998), осины (478).

Массовые таблицы для сосны, ели, дуба, березы и осины по разрядам высот были опубликованы в 1931 г. Союзлеспромом СССР вместе с подробным описанием методики их составления каждым автором и переданы для применения в производство. В лесотаксационной литературе они называются таблицами Союзлеспрома и находят применение с 1932 г. до настоящего времени, несмотря на некоторые их недостатки.

В Советском Союзе таксация леса на корню производилась в большинстве случаев по массовым таблицам по разрядам высот, дополненным данными о сбеге стволов. В настоящее время по разрядным таблицам работают в России, Беларуси, Казахстане, Украине.

#### 2.4.6. Безразрядные или многоразрядные таблицы

В БелНИИХе (ныне Институт леса НАН Беларуси) Ф. П. Моисеенко и В. Ф. Багинским разработан новый подход к составлению объемных таблиц. Он сочетает преимущества в точности таблиц типа баварских (по  $H$  и  $D$ ) и простоту разрядных таблиц. Ф. П. Моисеенко назвал их многоразрядными. В широкой практике такие таблицы носят название безразрядных.

Соотношения диаметров и высот (кривые высот) одних и тех же пород для разных древостоев различаются. Например, если возьмем кривые высот из объемных таблиц разных авторов (В. К. Захаров, А. В. Тюрин, Ф. П. Моисеенко, Н. В. Третьяков, П. В. Горский и др.), то увидим существенные отличия (рис. 2.11–2.13).

Аппроксимация опытных данных для нахождения связи высоты и диаметра разными учеными проводилась как графически, так и аналитически, что принципиально не влияло на результат, хотя аналитическое выравнивание предпочтительнее в силу отсутствия субъективизма при выборе и проведении кривых, выражающих связь  $H - D$ . При этом разными учеными применялись разнообразные уравнения. Для анализа и выбора лучших уравнений нами было проанализировано 10 наиболее распространенных уравнений, используемых для связи  $H - D$ . В их число входили полиномы разных степеней (2–4), простые и усложненные гиперболы, различные логарифмические кривые и т. д. Оказалось, что в разных случаях лучшую аппроксимацию дают разные кривые. Многообразие используемых функций вызвано совпадением их графиков на определенном отрезке задания кривых.

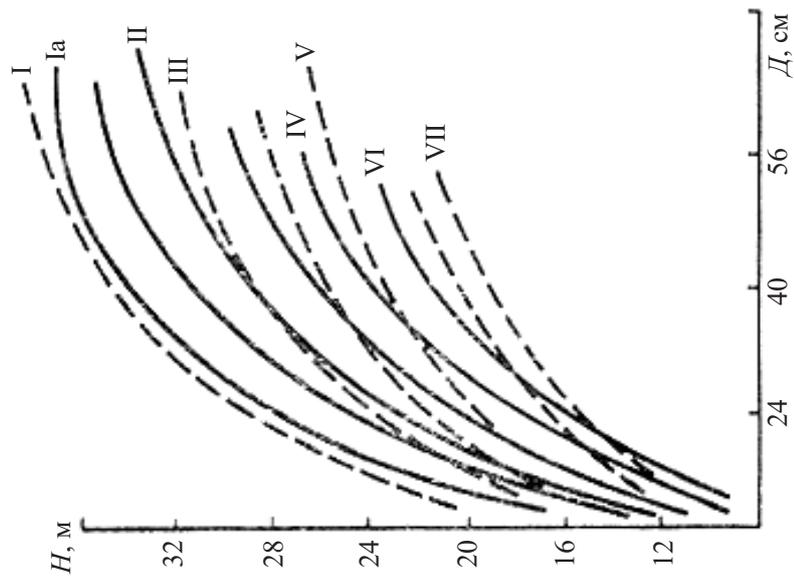


Рис. 2.11. Кривые высот для древостоев ели по разрядам из объемных таблиц В. К. Захарова (—) и Н. В. Третьякова (----)

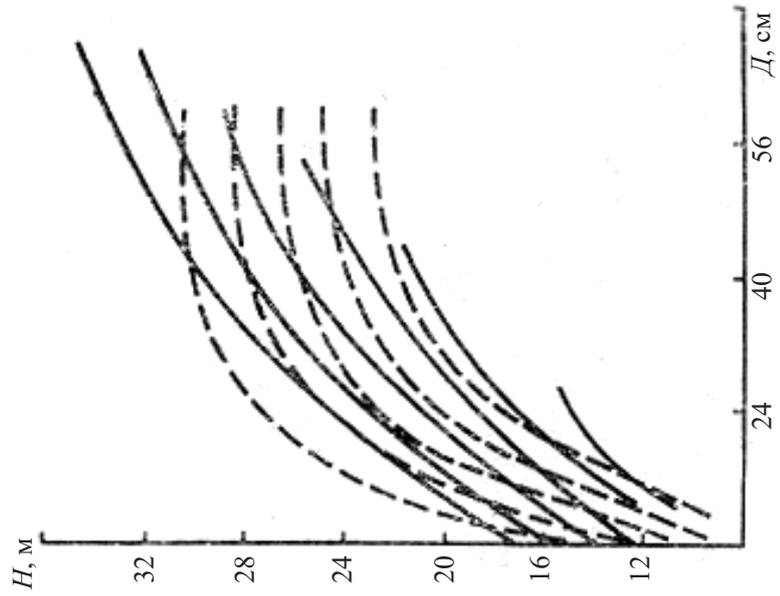


Рис. 2.12. Кривые высот для древостоев березы по разрядам из объемных таблиц А. В. Тюрина (—) и Ю. Бутенаса (----)

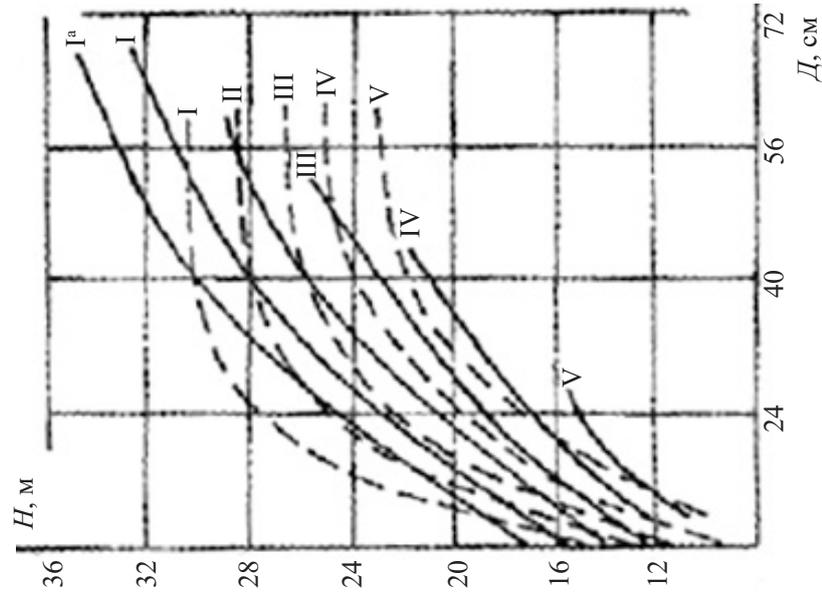


Рис. 2.13. Кривые высот ольхи по разрядам из объемных таблиц Ф. П. Моисеенко (—) и Н. В. Третьякова (----)

В большинстве случаев наилучшие результаты давало применение уравнения  $y = a_0 + a_1 d^C$ , рекомендованное К. Е. Никитиным, и полином 3-ей степени, использованный А. Г. Мошкалевым.

Но параметры уравнений, как правило, значительно различались для древостоев разных пород, возраста, класса бонитета, а также и для отдельных пробных площадей, близких по названным показателям, но подверженных неоднозначным рубкам ухода. Анализ 200 пробных площадей показал, что в пределах одного разряда высот есть разные кривые высот: крутые, пологие и т. д. Для примера на рисунке 2.14 приведены кривые высот для еловых насаждений II разряда высот, которые подтверждают сказанное.

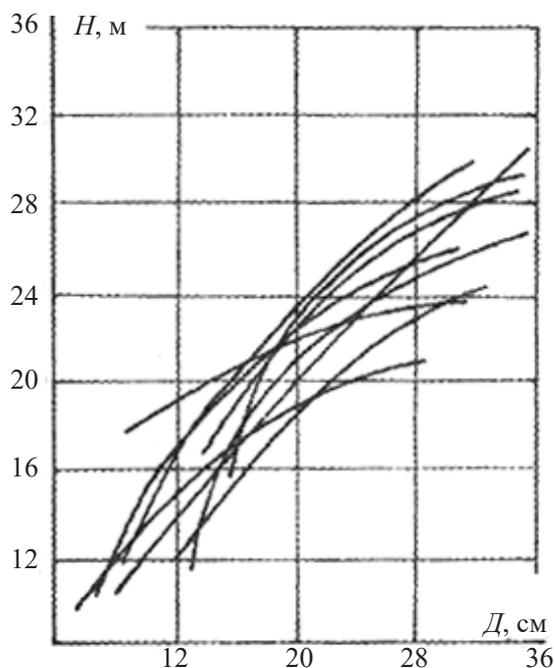


Рис. 2.14. Кривые высот древостоев ели II разряда

Безусловно, кривые высот можно каким-то образом группировать, но погрешности определения конкретных высот в этом случае остаются. На основании изложенного пришли к выводу, что каждое насаждение, особенно в зоне интенсивного ведения хозяйства, имеет свое индивидуальное соотношение  $H - D$ , которое достоверно может быть установлено только по замерам 12–15 высот в натуре.

Отсюда следует, что никакие разрядные схемы не смогут охватить разнохарактерность соотношений между  $H$  и  $D$  отдельных древостоев. В этом причина различий между кривыми высот в разных объемных таблицах. Значит, разрядные объемные таблицы в силу особенностей их построения не могут учесть индивидуальное соотношение  $H - D$  древостоя. Поэтому и отдельные насаждения таксируются с ошибками, которые иногда доходят, по нашим данным, до 10 %.

При таксации совокупности древостоев суммарная погрешность уменьшается и не выходит за пределы  $\pm 5\%$ , но часто надо иметь точный выход древесины и на одной лесосеке. В то же время разрядные таблицы очень удобны для практики и находят повсеместное применение.

На первый взгляд, они подобны баварским, то есть объемы (а для сортиментных таблиц и выход сортиментов) находят здесь по диаметру и высоте дерева. Отличие многоразрядных таблиц от таблиц типа баварских заключается в том, что высота устанавливается не для каждого конкретного дерева, а для ступени толщины, и берется она из графика высот конкретного древостоя. Для этого у 12–15 деревьев измеряют высоты и строят кривую высот. Ее параметры несложно вычислить на компьютере при автоматизированной материально-денежной оценке лесосек. Трудоемкость полевых работ здесь не увеличивается: для определения разряда высот надо измерять примерно такое же количество высот.

Затем для каждой ступени толщины берут ее высоту из графика высот (по аналитическому выражению) и по  $D$  и  $H$  проводят сортиментацию, аналогично, как и по таблицам типа баварских. Точность таксации здесь в целом повышается. Но главное значение имеет то, что исключаются грубые ошибки для отдельных насаждений, и на каждой лесосеке гарантируется точность в пределах 8 %. По данным профессора К. Е. Никитина, повышение точности учета за счет использования таких таблиц составляет 3 %, то есть общая точность учета запаса повышается до  $\pm 7$  %.

Идея многорядных таблиц (их в настоящее время обычно называют безрядными) нашла практическое воплощение. Один из вариантов материально-денежной оценки лесосек для Украины, разработанный под руководством К. Е. Никитина, основан на идее безрядных таблиц. Такие же таблицы есть для ряда районов России, для Грузии и других мест. В БелНИИЛХе подобные таблицы были составлены Н. Т. Воиновым для осины. Их отклонения от рядных составляют по общему запасу для отдельных древостоев до 9 %.

Таким образом, безрядные или многорядные объемные и сортиментные таблицы, сохраняя простоту построения и использования рядных таблиц, в то же время по точности таксации приближаются к таблицам типа баварских, соединяя положительные и устраняя отрицательные качества каждой из этих типов таблиц. Практика русского лесного хозяйства в конце XIX в. пришла к необходимости построения массовых таблиц по разрядам высот. Это направление явилось передовым и перспективным, его признало и западноевропейское лесное хозяйство. Количество рядов постепенно возрастало от 3 в первых русских временных массовых таблицах до 7–8 и даже 10–12. Переход на многорядные объемные и сортиментные таблицы является логическим продолжением и развитием идеи рядных таблиц.

Эти таблицы позволяют учесть с большей полнотой сложные взаимосвязи и закономерности в конкретных древостоях, вызванные географическими, биологическими и экологическими особенностями роста насаждений и хозяйственным воздействием на них. Более полный учет имеющихся закономерностей в многорядных таблицах обеспечивает наибольшую отдачу от претворения в жизнь идеи рядных таблиц на современном техническом уровне, доведя их точность до имеющихся требований по отношению к отдельным единицам учета.

В настоящее время безрядные таблицы находят широкое применение в практике лесного хозяйства. Выше уже упомянуты новые украинские и грузинские таблицы, составленные не как безрядные, хотя там сохранились таблицы и по разрядам высот. Имеются безрядные таблицы для Северо-Запада России. В настоящее время Гомельлеспроектом по методике В. Ф. Багинского разработаны новые объемные и сортиментные таблицы. Они являются безрядными. Эти таблицы приняты для использования в лесном хозяйстве Беларуси. Применение новых таблиц обеспечивает повышение точности таксации лесосек на 6–8 %.

#### 2.4.7. Общая оценка массовых таблиц

При оценке массовых таблиц необходимо исходить из удобства и простоты их применения, а также точности конечных результатов таксации. По первому признаку таблицы могут быть расположены в следующей последовательности:

- а) по разрядам высот;
- б) безрядные (многорядные);
- в) типа баварских;
- г) по коэффициентам формы.

*При оценке точности они располагаются в обратном порядке.*

При этом нужно помнить, что **массовые таблицы предназначены для определения объемов совокупностей деревьев**; в отношении единичных деревьев могут получаться недопустимые погрешности.

При установлении точности таксации по таблицам того или иного типа нужно, прежде всего, исходить из формулы объема стоящего дерева  $V = ghf$ , а в отношении множества деревьев из формулы  $V = GHF$ .

Как известно из теории погрешностей, точность произведения величин равна корню квадратному из суммы квадратов точности сомножителей:

$$P_V = \sqrt{p_g^2 + p_H^2 + p_f^2}.$$

Так, если допущены погрешности  $p_g = 5\%$ ,  $p_H = 4\%$ ,  $p_f = 2\%$ , то совместное их влияние на объем одного ствола ступени составит:

$$P_V = \sqrt{5^2 + 4^2 + 2^2} = \sqrt{45} = 6,7.$$

Это и есть относительная ошибка в исчислении объема  $v$  отдельного дерева ступени толщины. В отношении запаса всей ступени  $p'_v$  уменьшится в  $\sqrt{N}$ , где  $N$  – число деревьев ступени, например, если

$$P_v = 6,7\%; N = 16, \text{ то } p'_v = 1,7\%.$$

Для установления относительной ошибки  $P_v$  – запаса всего древостоя найдем предварительно его абсолютную ошибку  $\sum m$ , зная величины абсолютных ошибок по отдельным ступеням толщины, то есть  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ . Для отдельных ступеней абсолютная ошибка  $m_1 = v_1 p'_v$ , где  $p'_v = p/100$  от запаса каждой ступени.

В результате ошибка всего запаса:

$$\sum m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_n^2},$$

но  $m/v = p/100$ , откуда  $m = vp/100$ , следовательно:

$$m_1 = v_1 p_1 / 100; m_2 = v_2 p_2 / 100; m_n = v_n p_n / 100.$$

Подставляя полученные значения в формулу для определения  $\sum m$ , получим абсолютную погрешность определения запаса:

$$\sum m = \frac{1}{100} \sqrt{v_1^2 p_1^2 + v_2^2 p_2^2 + v_3^2 p_3^2 + v_n^2 p_n^2}.$$

Если располагать абсолютной погрешностью и величиной общего запаса  $\sum v$ , то относительная погрешность в процентах ( $P_v$ ) всего запаса составит:

$$P_v = \frac{\sum m \cdot 100}{\sum v} = \frac{\sqrt{v_1^2 p_1^2 + v_2^2 p_2^2 + v_3^2 p_3^2 + \dots + v_n^2 p_n^2}}{\sum v}.$$

Пусть имеем следующий запас древостоя по ступеням толщины, м<sup>3</sup>:

$$4,1 + 13,2 + 21,3 + 45,2 + 40,4 + 14,5 = 138,7 \text{ м}^3;$$

$P_v$  по ступеням толщины 2,3; 1,7; 2,1; 3,1; 2,8; 1,5.

Подставляя приведенные величины в формулу, получим:

$$P_v = \frac{\sqrt{35\,443,5}}{138,7} = \frac{188,2}{138,7} = 1,36\%.$$

Среднеарифметическая ошибка –  $P_v = 2,25\%$ ; средневзвешенная по ступеням толщины –  $P_v = 2,54\%$ .

Таблицы по коэффициентам формы требуют непосредственного измерения трех величин объемов стволов ( $g, H$  и  $f$  через  $q_2$ ) и обеспечивают высокую точность при таксации и совокупности деревьев, соответствующую точности определения объема по сложным стереометриче-

ским формулам. В таблицах типа баварских объемы приводятся на основе непосредственного измерения двух величин объема  $d$  и  $H$ ; третий компонент объема – видовое число – включено в процессе составления таблиц как некоторая средняя величина.

В безразрядных таблицах высоты ступени толщины определяют по кривой высот. Это приводит к ошибкам для отдельных ступеней толщины до 4–6 %.

Следовательно, на конечные результаты даже при точном измерении  $d$  и  $H$  окажет влияние степень соответствия средней формы таксируемой совокупности стволов, аналогичной табличной величине.

Точность таблиц этого типа можно считать равной  $\pm 3$ –5 %.

Особое положение занимают таблицы по разрядам высот. При пользовании ими непосредственно измеряют лишь диаметры стволов на высоте 1,3 м, в отношении высот устанавливают разряд высот (но не высоты по ступеням толщины непосредственно), так как в пределах данного разряда соотношения между  $d$  и  $H$  по ступеням толщины даются в таблицах; средняя форма стволов также принимается по таблице.

Таким образом, погрешности от применения разрядных таблиц могут возникать по следующим причинам:

- а) вследствие погрешности при измерении диаметров стволов;
- б) при неправильном установлении разряда высот;
- в) при степени соответствия соотношений  $d$  и  $H$  в таблицах характеру этих соотношений в таксируемом объекте;
- г) при степени соответствия средней формы таксируемых стволов, аналогичной табличной величине.

Наибольшая погрешность, составляющая 10–15 %, возникает от неверного установления разряда высот. Таблицы Союзлеспрома предусматривают от 5 до 8 разрядов высот и позволяют подобрать близкие показатели для разнообразных таксируемых объектов. Следовательно, на величину погрешности, помимо ошибок технического характера, будут оказывать влияние факторы конструктивного порядка таблиц.

Вполне понятно, что разрядные таблицы являются менее совершенными по сравнению с другими типами таблиц, но зато они имеют несомненное преимущество по удобству и простоте их применения.

Как известно, при составлении разрядных таблиц Союзлеспрома было предъявлено требование: обеспечить точность таксации в пределах до  $\pm 10$  %. Практическую их точность нужно принять в пределах 5–7 %. Таблицы этого типа в наших условиях, учитывая огромные масштабы производства, имеют самое широкое применение.

М. Л. Дворецкий исследовал точность объемов стволов ели по таблицам Союзлеспрома. Оказалось, что вероятная ошибка находится в следующей зависимости от числа взятых учетных деревьев  $n$  (таблица 2.19). Вероятная величина  $P_v$  вычислена по формуле:

$$P_v = \frac{V}{\sqrt{n}} \sqrt{1-r^2},$$

где  $V$  – коэффициент изменчивости объемов стволов древостоя,  $V = 75$  %;

$r$  – коэффициент корреляции между площадями сечения на высоте 1,3 м и объемами стволов,  $r = 0,95$ .

Таблица 2.19

**Ошибки определения запаса в зависимости от объема выборки (%)**

$n$	10	15	20	25	30	40	50	60	100
$P_v$	7,4	6,1	5,2	4,8	4,3	3,7	3,3	3,0	2,3

Таким образом, с увеличением количества обмеренных деревьев случайная ошибка нахождения их объемов существенно уменьшается: при возрастании числа деревьев с 10 до 100 ошибка уменьшилась в 3,2 раза.

Безразрядные таблицы за счет уменьшения ошибок при вычислении высоты ступеней толщины позволяют снизить общую ошибку определения запаса на 2–3 процента, обеспечив таксацию каждой лесосеки с точностью 8 % при достоверности 99,9 %.

#### 2.4.8. Объем сучьев и технической зелени

В настоящее время требуется определять не только объемы стволов, но и сучьев, а также технической зелени. Объемы сучьев определяют несколькими способами:

- через видовые числа сучьев;
- по замерам сучьев;
- по объему сучьев в складочных м<sup>3</sup>.

Известна формула Шиффеля для определения видовых чисел сучьев:

$$f_c = 0,08 + 10q_2 + 1,6H.$$

Затем объем сучьев получают по формуле  $V_c = q_m H f_c$ .

В. В. Голиков определил объем сучьев, замеряя их диаметры и длину. При этом использовал как простую, так и сложную формулу Губера. Так же поступал и В. Ф. Багинский при определении объемов сучьев в культурах сосны.

Можно определить объем сучьев, обрубив и сложив их с каждого дерева, а затем установить связь

$$V_c = f(D, H) \text{ или } V_c = f(V_d).$$

Величины, полученные разными способами, приведены в разных справочниках.

Объем древесной зелени обычно выражается в весовых единицах.

Для Беларуси эти данные получены профессором А. М. Кожевниковым, профессором Л. П. Смоляком и др. и приведены в справочниках. Объем зелени находят как

$$V_3 = f(A, D, H, П).$$

Наиболее полные исследования запаса фитомассы дерева, включая ветви, сучья, корни, листву и хвою, выполнил профессор В. А. Усольцев (Екатеринбург) и профессор П. И. Лакида (Киев).

#### 2.4.9. Определение запаса древостоев в практике лесного хозяйства

В практике лесного хозяйства запас древостоя определяют путем его таксации. Есть несколько методов таксации запаса.

**Перечислительная таксация.** В этом случае на интересующем нас участке измеряют толщину всех деревьев. При пользовании разрядными таблицами для установления разряда высот измеряют высоту 9 деревьев из средних ступеней толщины. Разряд высот находят по специальным таблицам, форма которых приведена выше (таблица 2.16).

На производстве величину ступени толщины принимают 4 см. В лесной таксации известна формула Кунце (1891), по которой устанавливают величину ступени толщины:

$$C = \frac{D_m}{5} \sqrt{p},$$

где  $C$  – величина ступени толщины;

$D_m$  – средний диаметр древостоя;

$p$  – требуемая точность определения объема ствола.

Подобную формулу для молодняков вывел В. А. Юденков (1970):

$$C = \frac{D_m}{10} \sqrt{\frac{p(0,4 D_m + 2)}{0,3 D_m + 0,5}}$$

Дробность ступеней толщины при  $p = 1\%$  приведена в таблице 2.20.

Таблица 2.20

Дробность ступеней толщины при  $p = 1\%$

Средний диаметр древостоя, см	2-4	4-1-8	8; 1-16	более 16
Дробность ступеней толщины	0,5	1,0	2,0	4,0

Технику перечета мы в настоящей главе не рассматриваем. Ей будет посвящена отдельная глава.

**Выборочные методы таксации** делятся на выборочно-перечислительные и выборочно-измерительные.

*Выборочно-перечислительные методы* включают закладку пробных площадей. Это могут быть ленточные пробы, круговые площадки, пробные площади другой формы: квадратные, прямоугольные и т. д. Особенность этого метода в том, что на пробах делается сплошной пере-чет деревьев, а запас на выделе находится по соотношению. Замеры высот проводятся как при сплошном пере-чете:

$$M_v : M_{пр} = S_v : S_{пр},$$

где  $M_v$  – запас на выделе;

$M_{пр}$  – запас на пробе;

$S_v$  – площадь выдела;

$S_{пр}$  – площадь пробы.

Техника работ будет рассмотрена ниже.

*Выборочно-измерительный метод* заключается в закладке реласкопических пробных площадок по специальной схеме и определении  $\sum q$  с площадью углового шаблона.

Средняя высота определяется по замерам 9–12 высот из средних ступеней толщины, а лучше из всех ступеней с построением связи  $D - H$ . Это метод применяется в основном в лесо-устройстве. Его преимущество – в простоте и низкой трудоемкости при относительно высокой точности: 10–15 % на выделе с достоверностью 0,68. Недостаток – нельзя точно определить выход сортиментов на одной лесосеке.

Подробно эти методы описаны ниже при изложении методов отвода и таксации лесосек.

Хотя правилами по отводу и таксации лесосек разрешается пользоваться как методами перечислительной таксации, так и выборочно-перечислительной таксацией, но в практике бел-орусского лесного хозяйства запас древостоя чаще всего находят путем сплошного пере-чета по ступеням толщины с дальнейшим использованием объемных таблиц.

Выборочные методы определения запаса древостоя обычно используются лесоустрой-ством при проведении лесоинвентаризации. Выборочные методы, как правило, не обеспе-чивают гарантированной точности ( $\pm 10$ ), которые требуются при таксации каждой лесосе-ки. В лесоустройстве точность таксации запаса на выделе составляет 10–15 % в зависимости от характеристики насаждения и его возможного поступления в рубку на ближайшие 10 лет. При этом достоверность определения запаса соответствует одной  $\sigma$  или 68 %.

Для решения тех задач, которые стоят перед лесоустройством, эта достоверность до-статочная. В лесном хозяйстве точность таксации каждой лесосеки, отведенной в главное

пользование, должна обеспечивать уровень вероятности в 99,9 %, что и определяет применение сплошного пересчета.

На основании изложенного приходим к следующим выводам:

- запас древостоя разделяют на общий, эксплуатационный и товарный. Последний в практике часто именуют ликвидным, или просто ликвидом;
- определение запаса древостоя можно делать разными методами: по модельным деревьям, глазомерно, выборочно-измерительными методами. В практике лесного хозяйства запас насаждения определяют по объемным (массовым) таблицам;
- первые массовые таблицы составлены в 1846 г. в Баварии. Этот тип таблиц назван баварскими. Их особенностью является то, что для нахождения объема ствола необходимо измерять диаметр на 1,3 м и высоту каждого дерева. По образцу баварских таблиц был составлен еще ряд таблиц, из которых наиболее значимыми явились таблицы А. Крюденера, разработанные в России в 1908–1913 гг. Таблицы типа баварских применялись почти до конца XIX в. Из-за сложности пользования их к концу XIX в. заменили на таблицы по разрядам высот;
- в XIX – начале XX в. был составлен ряд объемных таблиц (Шиффеля, Мааса и др.), учитывающих форму ствола, но широкого распространения в практике они не получили;
- с 1886 г. и по настоящее время у нас используют объемные таблицы по разрядам высот, хотя конкретные таблицы с того времени изменились;
- в начале XX в. были сделаны попытки составить объемные таблицы по бонитетам (М. М. Орлов, Б. А. Шустов и др.), но такие таблицы не прижились из-за того, что при одинаковом классе бонитета (при равных высотах) деревья имеют разный диаметр на 1,3 м из неоднородности условий выращивания в густом, редком лесу;
- разряд высот определяется в пределах древесной породы по соотношению диаметра и высоты в древостое независимо от возраста и класса бонитета. Для определения разрядов высот существуют специальные таблицы;
- с 1931 г. у нас применяют объемные таблицы Союзлеспрома, составленные по разрядам высот для сосны, ели, дуба, березы и осины. Для других пород (липа, граб, клен и т. д.) подобные таблицы составлены в более позднее время. Для Беларуси последние таблицы составлял профессор Ф. П. Моисеенко;
- объемные таблицы Союзлеспрома дополнены таблицами сбега и данными об объемах 1 м отрезков ствола от комля к вершине;
- точность определения запасов по объемным таблицам, используемым в настоящее время,  $\pm 10\%$  с достоверностью 99,9 %. При достоверности 68 % ( $1\sigma$ ) точность составит 6–7 %. Повышение точности учета требует изменения технологии учета при значительном возрастании затрат, что признано нерациональным. Точность учета повышается с увеличением количества измеряемых объектов;
- в настоящее время все большее распространение получают многорядные (безрядные) таблицы. По внешнему виду они подобны баварским, но высоту каждой ступени толщины находят по кривой высот, выводимой для каждой лесосеки. За счет уточнения высоты точность учета запаса повышается на 1–3 %;
- в практике для определения запаса древостоя используют перечислительный, выборочно-перечислительный, выборочно-измерительный и глазомерный методы таксации. При применении первых трех методов запас в конечном итоге определяют по объемным таблицам.

---

---

## Глава 3

# ТАКСАЦИЯ ЗАГОТОВЛЕННОЙ ЛЕСОПРОДУКЦИИ

---

---

- 3.1. Классификация заготовленной лесопродукции.
  - 3.2. Таксация круглых лесоматериалов.
  - 3.3. Таксация делового коротья и дров.
  - 3.4. Таксация лесоматериалов после первичной обработки.
- 
- 

### 3.1. Классификация заготовленной лесопродукции

Лесной продукцией и продуктами ее переработки в соответствии с Техническим кодексом Установившейся практики – ТКП 5.4.04-2005 (04100) является древесная продукция, производимая в результате лесозаготовки, а также изготавливаемая из нее продукция лесопильного, деревообрабатывающего, целлюлозно-бумажного и мебельного производства.

Учет заготовленной лесопродукции имеет очень большое значение. Именно заготовленная лесопродукция является основанием для начисления зарплаты рабочим на лесозаготовках. Она же основной товар на рынке лесоматериалов. Объемы заготовки древесины в Беларуси составляют около 17–21 млн м<sup>3</sup> в год. Вывозка, продажа, экспорт и импорт лесопродукции – все это требует тщательного учета.

Готовая лесопродукция является значительной материальной ценностью, за правильный учет которой, ее сохранность и реализацию лесоводы несут не только моральную, но и материальную и иную ответственность. Поэтому важен ее точный учет.

Ошибки в учете лесопродукции приводят к конфликтным ситуациям между поставщиками и потребителями древесины. В Швеции и Финляндии для избежания конфликтов при учете заготовленного леса в 70–90-е гг. прошлого века существовала специальная нейтральная служба лесных измерений. Она финансировалась на паритетных началах покупателями и продавцами древесины. В настоящее время учет древесины там автоматизирован, что исключает спорные моменты.

Основными нормативными документами, которые используют для учета заготовленной лесопродукции являются Государственные стандарты Республики Беларусь: СТБ 1711-2007 «Лесоматериалы круглые хвойных пород», СТБ 1712-2007 «Лесоматериалы круглые лиственных пород». Этими стандартами определены технические требования: размеры, характеристики, упаковка и маркировка и др.

Заготовленные лесоматериалы делятся на отдельные группы лесопродукции. Поскольку из древесины вырабатывают много разной продукции, то необходима ее классификация. В этой главе мы рассматриваем только древесину, которая заготовлена в лесу или подверглась первичной обработке без изменения ее физико-механических свойств. Поэтому учет таких материалов, как бумага и другая продукция из древесины, полученная путем химической или физической трансформации, здесь не рассматривается.

Лесная продукция делится на ту, что заготовлена непосредственно в лесу или находится на верхнем и нижнем складе, и на полученную путем механической обработки древесины: распиловкой, строганием, колкой.

Отдельные виды лесной продукции называют **сортиментами**.

В лесу и на нижнем складе заготавливаемой лесопродукцией являются хлысты древесные (стволы деревьев с обрубленными сучьями), различные бревна и кряжи, дрова, сырье для технологической переработки и др. При первичной механической обработке получают различные доски, брусья и т. д.

Вся заготовленная древесина условно делится на деловые сортименты и дрова.

**Деловые сортименты** – это заготовленная древесина, которая используется в круглом виде (строительные бревна, столбы, рудничная стойка и т. д.) или являющаяся сырьем для переработки и получения других материалов: пиловочные бревна (для распиловки), фанерное, клепочное, спичечное бревно (для получения фанеры или спичек, клепки), тарное бревно (для получения тарной дощечки), баланс (сырье для получения целлюлозы и бумаги) и другие, то есть сортиментами будет вся древесина, которая не используется как топливо.

Древесина для топлива именуется **дровами**. В настоящее время из дров выделяется особый сортимент – сырье для технологической переработки. Из него делают щепу, из которой производят ДВП, ДСП и целлюлозу.

Та часть дерева, которая не используется, называется отходами. К ним относятся кора, пни, корни, мелкие ветви. Взгляд на отходы с течением времени меняется. Например, при широком применении биотоплива как местного сырья для энергетики большинство древесных отходов превращается в топливо. Древесные отходы становятся дровами, иногда даже получают иное название – топливное сырье.

По степени обработки и способам производства сортименты можно разделить на следующие классы:

- 1) круглые деловые лесоматериалы, боковая поверхность которых сохраняет форму древесного ствола;
- 2) дрова – отрезки ствола, оставленные в круглом виде или расколотые на части;
- 3) пиленые лесоматериалы, получаемые путем продольной распиловки круглого леса;
- 4) колотые лесоматериалы, вырабатываемые путем раскалывания отрезков древесного ствола: клепка, полоз, спицы для колес и т. д.;
- 5) сортименты, обрабатываемые строганием: строганная фанера, используемая для облицовки мебели, и др.;
- 6) лесоматериалы, получаемые путем обработки чураков лущением: шпон различного названия;
- 7) лесопродукция из корневых и прикорневых частей деревьев: болванки для хомутов, коры для судостроения и т. п.;
- 8) сортименты, изготавливаемые из коры древесных и кустарниковых пород: мочало, дубильное корье и т. п.

Учет всех сортиментов проводят без коры. Учет дров ведут в коре, так как кора тоже служит топливом.

Все классы сортиментов имеют различное народнохозяйственное значение.

Наибольшее количество сортиментов включают классы круглых деловых и пиленых лесоматериалов. Сортименты группы 4, 7 в настоящее время в промышленных масштабах не используются. Строганная фанера находит применение в ограниченных количествах из-за того, что для ее производства требуются высококачественные (крупные) бревна, которых недостаточно. Она идет на изготовление высококачественной мебели.

В класс круглых деловых сортиментов входят лесоматериалы, перечисленные ниже.

- Не требующие продольной распиловки: бревна строительные, для деревянного судостроения, свай и мостов, столбов воздушных линий связи, рудничная стойка для каменноугольной и горнорудной промышленности, кругляк тонкий, разделяющийся на подтоварник и жерди.

- Применяемые как сырье для изготовления пиленых сортиментов (пиловочник) и представляющие собой очищенные от сучьев отрезки ствола длиной чаще всего не менее 3 м и толщиной от 14 см и выше (называют бревнами). В литературе можно встретить старое название бревен лиственных пород – кряжи: спичечный, клепочный кряж. В настоящее время из-за недостатка крупной и средней деловой древесины в распиловку пускают и бревна тоньше 14 см.

- Используемые как сырье для изготовления колотых сортиментов: бревна для выработки клепки, обода, полоза, спиц. В настоящее время эти сортименты находят весьма ограниченное применение.

- Идущие для изготовления строганных сортиментов на специальных станках: бревна и чураки – отрезки бревен, длина которых соответствует размерам фанерных и других станков; для производства строганной фанеры, для стружечного производства.

- Используемые как сырье для лущения: бревна и чураки для выработки лущеного, фанерного, спичечного и другого шпона.

- Применяемые как сырье для целлюлозно-бумажного производства: балансы.

- Служащие сырьем для химической переработки: выработки дубильных экстрактов, для углежжения, сухой перегонки.

В зависимости от области применения к лесным сортиментам предъявляют определенные требования в отношении их размеров, качества, характера обработки, способов учета, хранения и пр. Все эти требования отражены в особых документах, называемых стандартами. В СССР они назывались ГОСТами – государственными общесоюзными стандартами или ОСТами – отраслевыми стандартами. Иногда эти названия продолжают по привычке употреблять и у нас. В России эти наименования сохранены.

В Беларуси для классификации и оценки лесопродукции существуют Государственные стандарты Беларуси – СТБ. Каждый стандарт имеет номер и дату введения. Например, СТБ 1711-2007 «Лесоматериалы круглые хвойных пород». Технические условия. Дата введения 01.05.2007.

Под **стандартом на лесные материалы** следует понимать типовой вид данного сортимента, удовлетворяющий определенным условиям и обязательный для применения всеми отраслями.

Сортимент, который по размерам, качеству, обработке и другим признакам соответствует установленному образцу (стандарту), называется **стандартным**.

Приведение ряда однородных объектов, например, пиловочных бревен, к единому образцу (стандарту) и установление качественных показателей и требований, предъявляемых к сортименту, называется **стандартизацией**.

Основные СТБ на лесоматериалы – «Лесоматериалы круглые хвойных пород» и «Лесоматериалы круглые лиственных пород». Они практически повторяют соответствующие ГОСТы, которые действовали в СССР с 1988 г. Есть много других стандартов на лесоматериалы: для экспорта, стойки рудничные, заготовки из древесины, хлысты древесные, балансы для экспорта и т. д. Технические требования к некоторым сортиментам, имеющим только внутриотраслевое или ограниченное использование, регулируются техническими условиями (ТУ).

Из-за того, что СТБ на лесоматериалы круглые практически повторяют ГОСТы 1988 г., они имеют и те же недостатки. ГОСТы 1988 г. разрабатывались в период сильного дефицита древесины. Поэтому они в большей степени учитывают интересы производителя (бывшего Минлесбумпрома), то есть не вполне отвечают рыночным требованиям. Поэтому пришлось вводить особые стандарты для экспорта. Наши СТБ на лесоматериалы круглые желательно

пересмотреть, сделав их более рыночными, то есть в большей степени учесть запросы потребителя. Тогда не надо будет поставлять древесину на внутренний рынок и на экспорт по разным стандартам.

### 3.2. Таксация круглых лесоматериалов

Для определения объема бревен и других деловых круглых сортиментов могут быть использованы рассмотренные выше формулы определения объемов стволов и их частей. Более точно, но с большей затратой труда объем круглого леса можно определить по сложным формулам.

Наиболее широко при вычислении объемов круглого леса применяется простая формула срединного сечения ( $V = \gamma L$ ) – формула Губера. Для упрощения работы заранее вычисляют объем бревен различной длины в зависимости от диаметра, обуславливающего величину поперечного сечения. Полученные данные сводят в таблицу (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Объем круглого леса, вычисленный по формуле срединного сечения

Длина сортиментов, м	Объем сортиментов, пл. м <sup>3</sup> , при диаметре на середине длины, см						
	20	21	22	23	24	25	26
4	0,126	0,138	0,152	0,166	0,181	0,196	0,212
5	0,157	0,173	0,190	0,208	0,226	0,245	0,265
6	0,188	0,208	0,228	0,249	-,271	0,294	0,319
7	0,220	0,242	0,266	0,291	0,317	0,344	0,372
8	0,251	0,277	0,304	0,332	0,362	0,393	0,425

Таблицы такого рода часто называют таблицами объемов цилиндров.

Таблицы объемов цилиндров в развернутом виде, предусматривающие различные сочетания длины и толщины сортиментов, имеются в лесных справочниках.

#### 3.2.1. Таблицы объемов бревен и метод их составления

При определении объемов круглых сортиментов по таблице 3.2 надо измерить длину сортимента и его диаметр на середине длины. Измерение диаметра на середине длины очень трудоемко, так как для этого надо раскатать штабеля, определить середину длины бревна и снять в этом месте кору. Вспомним, что все замеры диаметров сортиментов делают без коры.

В широкой практике применяют таблицы объемов, требующие измерения длины сортиментов и диаметров в тонком конце – в верхнем отрезе (таблица 3.2).

Таблица 3.2

Определение объема сортиментов по длине и диаметру в верхнем отрезе

Длина сортиментов, м	Объем сортиментов, пл. м <sup>3</sup> , при диаметре в верхнем отрезе, см						
	20	21	22	23	24	25	26
4,0	0,15	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25
5,0	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32
6,0	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39
6,5	0,26	0,28	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43
7,0	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,47
8,0	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,55

Эти таблицы имеют ряд преимуществ. Основное из них заключается в том, что для измерения диаметра в конце бревна не требуется раскатывать штабеля и снимать кору на обмеряемой части бревна. При всех последующих расчетах, связанных с распиловкой бревен на доски или использованием их в круглом виде, оперируют диаметром бревен в верхнем отрезе.

Таблицы, определяющие объем бревен по длине и диаметру в верхнем отрезе, составляют опытным путем на основе детальных обмеров большого числа бревен. Диаметры обмеряют через 1 или 2 м, затем вычисляют объем каждого бревна, чаще всего, по сложной формуле срединных сечений. Результаты вычислений группируют по длине бревен и их диаметрам в верхнем отрезе. Для бревен, имеющих одинаковую длину и одинаковый диаметр в верхнем отрезе, складывают объемы и полученную сумму делят на число таких бревен. Полученный для данной группы бревен среднеарифметический объем вписывают в таблицу.

Допустим, что мы имеем  $n$  бревен длиной  $L$  с одинаковым диаметром в верхнем отрезе. Находим по сложной формуле срединного сечения объем каждого бревна:

$$\begin{aligned} V_1 &= (\gamma'_1 + \gamma'_2 + \gamma'_3 + \dots + \gamma'_t)l; \\ V_2 &= (\gamma''_1 + \gamma''_2 + \gamma''_3 + \dots + \gamma''_t)l; \\ V_3 &= (\gamma'''_1 + \gamma'''_2 + \gamma'''_3 + \dots + \gamma'''_t)l; \\ &\dots\dots\dots \\ V_m &= (\gamma_{1m} + \gamma_{2m} + \gamma_{3m} + \dots + \gamma_{tm})l. \end{aligned}$$

Табличный объем одного бревна находим по следующей формуле:

$$V_{\text{cp}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{n}. \quad (3.1)$$

При массовом обмере бревен максимальных и минимальных размеров оказывается немного, поэтому среднеарифметические объемы, вычисленные на основании малого числа наблюдений, будут недостаточно точными, и их необходимо выравнивать графически или аналитически.

В настоящее время выравнивание делается аналитическим путем. Применение компьютеров делает эту работу, считавшуюся в докомпьютерную эпоху сложной и трудоемкой, достаточно простой. В то же время необходимо использовать и графические построения, которые тоже выполняет компьютер. Графики позволяют избежать грубых ошибок, соблюдать определенную закономерность в изменении объемов бревен, исключают возможность пересечения линий объемов для бревен одной длины, но разных диаметров (и наоборот) и т. д. К тому же вид графика помогает по специальным таблицам графиков функций подобрать аналитическое выражение, которое наилучшим образом отразит закономерное изменение объемов бревен при увеличении (уменьшении) длины и диаметра в верхнем отрезе.

Ф. Корсунь нашел, что объем бревна  $V$  как функцию длины  $L$  можно определять по простой формуле:

$$V = KL^m. \quad (3.2)$$

Этой же формулой можно было выразить также объем бревна как функцию толщины  $d$ . Таким образом, в конечном итоге объем бревна находится по формуле:

$$V = KL^m d^n. \quad (3.3)$$

Постоянные  $K$ ,  $m$ ,  $n$  определяются по опытным данным. Обработав результаты обмеров бревен применительно к формуле (3.3), Ф. Корсунь установил, что  $K$ ,  $m$  и  $n$  выражаются весьма громоздкими (дробными) числами. Однако в современных условиях при наличии компьютеров это обстоятельство не является препятствием для использования этих формул при составлении объемных таблиц. Сегодня разными учеными предложены и другие формулы для нахождения объема бревен.

### 3.2.2. Сбег ствола и его влияние на объем бревна

Диаметр древесного ствола от комля к вершине постепенно уменьшается. Это уменьшение, приходящееся на единицу длины ствола (чаще всего на 1 м), называется сбегом. Сбег может быть абсолютным или относительным.

**Абсолютный сбег** равен разности между диаметрами двух сечений ствола, расположенных одно от другого на расстоянии 1 м.

Допустим, что диаметр ствола на расстоянии 1 м от комля ( $D_1$ ) равен 30 см, а на расстоянии 2 м от комля ( $D_2$ ) – 29 см. Тогда разность между этими двумя диаметрами, равная 1 см, и составляет абсолютный сбег на данном участке ствола.

При определении относительного сбega диаметр ствола, измеряемый на высоте груди, принимают за 100 %. Все прочие диаметры, измеряемые в разных сечениях, выражают в процентах от диаметра на высоте груди. В результате получают процентный ряд, характеризующий относительное изменение диаметра ствола, или относительный сбег. Если диаметр сечения, отстоящего от диаметра на высоте груди на 1 м, равен 96 %, относительный сбег составит 4 %.

На отдельных участках ствола величина сбega различна: в нижней части из-за корневых наплывов он будет довольно большим, в средней части ствола уменьшается и к вершине снова возрастает.

При оценке различий в сбеге у отдельных бревен принято устанавливать средний сбег. **Средний сбег**  $S_{\text{ср}}$  равен разности между диаметрами в нижнем  $D_{\text{н}}$  и верхнем  $d_{\text{в}}$  отрезе, деленной на длину бревна  $L$ :

$$S_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{н}} - d_{\text{в}}}{L}. \quad (3.4)$$

У бревен, заготовленных из комлевой части ствола, на первом метре от комля довольно часто имеются корневые наплывы. Чтобы исключить влияние корневых наплывов при установлении среднего сбega таких бревен разность между диаметром сечения, находящегося на высоте 1 м от комля  $D_1$ , и верхним диаметром  $d_{\text{в}}$  делят на длину бревна  $L$ , уменьшенную на 1 м:

$$S_{\text{ср}} = \frac{D_1 - d_{\text{в}}}{L - 1}. \quad (3.5)$$

При установлении величины среднего сбega образующие боковой поверхности бревен принимают условно за прямую. Между тем известно, что образующая древесных стволов представляет собой сочетание ряда кривых.

При распиловке бревен на доски, а также при использовании их в строительстве учитывают диаметр верхней части бревен, не превышающей по длине 3 м. Различия в сбеге в остальной части бревна с производственной точки зрения интереса не представляют. При распиловке бревен на длинные доски, имеющие геометрически правильную форму (параллелепипеды), безразлично, будет ли бревно иметь форму усеченного конуса, где образующей является прямая, или форму параболоида с выпуклой образующей. В обоих случаях периферическая часть бревна окажется в отходах. На участке ствола длиной 3 м разница в диаметрах при конической и параболической форме этих участков не превышает нескольких миллиметров, то есть находится в пределах точности обмера. Поэтому при использовании древесины в народном хозяйстве определяют лишь среднюю величину сбega.

Вопрос о величине среднего сбega изучался Н. П. Анучиным и А. Г. Мошкалевым. Первый автор на основании обмеров свыше 4 тыс. бревен установил, что величина среднего сбega

находится в прямой зависимости от толщины бревен. Зависимость эта характеризуется следующим уравнением:

$$S_{\text{cp}} = \alpha + bD, \text{ а конкретно } S_{\text{cp}} = 0,39 + 0,021D, \quad (3.6)$$

где  $D$  – диаметр, см. Для комлевых бревен он измеряется на расстоянии 1 м от комля, а для всех остальных – в нижнем торце.

Чтобы определить, как изменяется величина сбега у отдельных бревен, были вычислены среднеквадратические отклонения от средних норм (таблица 3.3).

Таблица 3.3

Среднеквадратические отклонения сбега от средних норм у бревен разной толщины

Толщина бревен (комлевых – на расстоянии 1 м от комля, всех остальных – в нижнем торце), см	Средний сбег, см	Средне- квадратическое отклонение, см	Коэффициент вариации, %
15	0,77	0,34	44,4
20	0,84	0,32	38,1
25	0,89	0,29	32,6
30	0,94	0,27	28,7
35	1,06	0,32	31,9
40	1,18	0,37	31,4
45	1,37	0,36	26,3
50	1,67	0,63	38,3
55	1,87	0,87	47,5
В среднем	0,96	0,38	38,5

Как видно из таблицы 3.3, наибольшее изменение в сбеге наблюдается у крупных бревен. Это объясняется тем, что бревна средней толщины заготавливают в большинстве случаев из срединных частей стволов, имеющих более правильную форму. Среднеквадратические отклонения составляют округленно от 1/4 до 1/2, а в среднем почти равны 1/3 величины абсолютного сбега. Средний коэффициент вариации равен 38,5 %, средний сбег 0,96 см на 1 м длины бревна. Следовательно, по закону нормального распределения у 68 бревен из каждых 100 расхождение со средней величиной сбега не будет превышать  $\pm 0,38$  см на 1 м длины бревна, а средний сбег – 0,59–1,33.

А. Г. Мошкалев установил, что величина сбега зависит от полноты, густоты, возраста и других таксационных показателей насаждений. Уравнение, описывающее величину диаметра на любой высоте, которая зависит от сбега, должно содержать не менее двух аргументов.

Анализ опытных данных показывает, что сбег сосновых и еловых бревен изменяется примерно в одних и тех же пределах, и средние величины его близки между собой. Поэтому для этих пород могут применяться одни и те же таблицы объемов бревен.

При изучении влияния сбега на объем бревна его делят на две части: боковую, или периферическую, которая называется зоной сбега, и цилиндрическую (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Разделение бревна на цилиндрическую часть и зону сбега

Объем цилиндрической части бревна называется цилиндрической кубатурой. Она определяется как объем цилиндра, основанием которого является верхний торец бревна, а высота

равна длине бревна. У бревен, имеющих одинаковые длину и верхние диаметры, независимо от различий в их сбеге цилиндрическая кубатура будет одинаковой. Чем больший сбег имеет бревно, тем больший процент его объема приходится на зону сбега. У бревен средней длины (6 м) зона сбега составляет 20,8 % объема бревна, у длинных (10 м) – 31,1 %, то есть в 1,5 раза больше. У двухметровых бревен объем зоны сбега в 2,4 раза меньше, чем у бревен средней длины.

В отношении толщины бревен установлена следующая зависимость: чем бревно толще, тем объем зоны сбега (в %) меньше. Так, у шестиметровых бревен при толщине 15 см объем зоны сбега составляет 24,2 %, при толщине 25 см – 19,4 %, при толщине 40 см – 16,7 %.

Сбег у отдельных бревен сильно изменяется. При пользовании таблицами объемов бревен, которые требуют измерений верхних диаметров и длины бревен, величина этих изменений не учитывается. Следовательно, ошибки в определении объема бревен по таким таблицам объясняются неточным учетом зоны сбега.

Так как на долю зоны сбега у коротких бревен приходится наименьшая часть их объема, то неточный учет особенностей их сбега не приводит к большим ошибкам при определении общего объема бревен. Например, у двухметровых бревен зона сбега в два раза больше средней величины в соответствующих таблицах. Этот сбег дает ошибку при определении по таблицам общего объема бревен лишь на 8,7 %. У длинных же бревен всякие отклонения в величине сбега влияют на фактический объем бревен значительно сильнее.

При средней величине сбега 0,96 см и диаметре в верхнем отрезе 20 см срединный диаметр шестиметровых бревен будет равен:

$$20 + 0,96 \cdot 3 \approx 23 \text{ см.}$$

Изменение сбега характеризуется отклонением  $\pm 0,38$  см. Соответственно этому диаметры шестиметровых бревен средней толщины на половине их длины будут следующими:

$$23 \pm 0,38 \cdot 3 = 23 \pm 1,14 \text{ см.}$$

Следовательно, отклонение от величины срединного диаметра бревна составляет:

$$\pm \frac{1,14 \cdot 100}{32} = \pm 5 \text{ \%}.$$

Ошибка в определении диаметра приводит к удвоенной ошибке в определении площади круга. При учете бревен по диаметрам в верхнем отрезе срединные диаметры этих бревен находят с погрешностью  $\pm 5$  %, которая в свою очередь влечет за собой удвоенную погрешность в определении срединных сечений бревен, то есть  $\pm 10$  %.

Как уже говорилось, объем бревна можно определить, умножив площадь его срединного сечения на длину. При этом способе относительная ошибка в вычислении срединного сечения вызывает такую же относительную ошибку в определении объема бревна. При средней длине бревен 6 м определение их объемов по таблицам, для пользования которыми необходимо измерять верхние диаметры и длину бревен, сопряжено с ошибками, в среднем равными  $\pm 10$  %. В 68 случаях из 100 ошибка в определении объемов бревен не превышает  $\pm 10$  %, в 27 случаях  $\pm 20$  % и в 5 случаях  $\pm 30$  %.

С увеличением толщины бревен ошибки в объемах уменьшаются, с увеличением длины возрастают, с уменьшением длины падают.

При составлении таблиц объемов обмеряют бревна, имеющие разный сбег. При обработке результатов обмера сильный сбег бревен компенсируется малым. В результате оказывается, что среднеарифметические объемы, содержащиеся в таблицах объемов бревен, соответствуют их среднему сбегу. Поэтому объем бревен, имеющих средний сбег, будет найден по таблицам наиболее точно.

Таблицы для определения объемов бревен по срединным диаметрам дают возможность в известной мере учитывать особенности сбега отдельных бревен. Из двух бревен, имеющих одинаковые диаметры в верхнем отрезе но разный сбег, срединный диаметр окажется большим у бревна с большим сбегом. Соответственно этому фактический объем у более сбежистого бревна также будет больше, чем у малосбежистого.

При пользовании таблицами для определения объемов бревен по диаметрам в верхнем отрезе различие в сбеге учесть нельзя: бревна с разным сбегом, но одинаковыми диаметрами в верхнем отрезе будут одинаковыми по объему.

Наибольшие отклонения в сбеге по сравнению с бревнами, для которых составлены таблицы, будут иметь малосбежистые и сильносбежистые бревна, поэтому при определении объемов таких бревен по таблицам получатся наибольшие ошибки. Объемы сильносбежистых бревен таблицы преуменьшают, а малосбежистых – преувеличивают (рис. 3.2). С увеличением длины бревен в обоих случаях расхождение фактических объемов с табличными увеличивается.

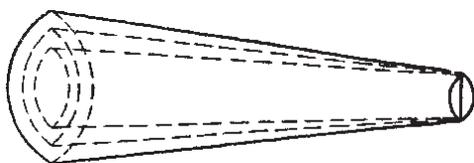


Рис. 3.2. Схема бревен с разным сбегом

При приемке больших партий бревен, среди которых есть малосбежистые, сильносбежистые и со средним сбегом, таблицы, по которым объемы определяют по длине и верхнему отрезу, дают удовлетворительные результаты: преуменьшение объемов одних бревен перекрывается преувеличением других и в среднем получается объем, близкий к действительному.

Для таксации бревен в прошлом применялись таблицы объемов бревен Арнольда, Тура, Турского, Рудского, Климашевского, Орлова и др.

Более обширный фактический материал был использован при составлении таблицы объемов бревен для разных пород под руководством А. А. Крюденера. Для сосновых и еловых бревен составлены таблицы по отдельным разрядам сбега и особые таблицы для комлевых и некомлевых бревен. В результате всестороннего изучения вопроса о таксации бревен Крюденер пришел к выводу, что для определения объемов бревен всех пород пригодна таблица объема бревен, составленная им для еловых комлевых бревен по одному среднему сбегу. В этой таблице для диаметров в верхнем отрезе через каждую четверть вершка (1,12 см) и для длины через каждый аршин (0,711 м) ствола даны объемы в кубических футах.

Таблицы объемов бревен были составлены А. Крюденером на основе его же таблиц объемов и сбега стволов, определяющих диаметры стволов от комля к вершине через каждые 2 аршина длины стволов.

При составлении таблиц объемов бревен стволы разных размеров он условно делил на отдельные бревна и применительно к диаметрам в разных сечениях находил их объемы. Для бревен, имеющих одинаковые длину и диаметр в верхнем отрезе, но полученных из разных стволов, находили среднеарифметические объемы. Среднеарифметические объемы бревен и их диаметры в верхнем отрезе для бревен одной длины наносили на график, и получались кривые объемов для каждой ступени длины бревен. При окончательном определении объемов кривые выравнивали.

Таблицы объемов бревен А. Крюденера были переведены в 1926 г. профессором Г. М. Турским в метрические меры и с тех пор стали называться таблицами Крюденера – Турского.

Проверка таблиц Крюденера – Турского, сделанная в конце 20-х гг. прошлого века, показала их точность в пределах  $\pm 9-11\%$ . К тому же они давали систематическую ошибку

от  $-1,2$  до  $+3,3$  %. Это были неприемлемые ошибки. Поэтому в 1944 г. на основе названных таблиц составлены новые (Н. П. Анучиным) и оформлены в виде ГОСТ 2708-44. В 70-е гг. в этот ГОСТ были внесены некоторые поправки, и сегодня объемы бревен находят по ГОСТ 2708-75. Форма таблиц сохранилась. В Беларуси в настоящее время тоже пользуются этими таблицами. В конце 80-х гг. прошлого века учеными (ВНИИЛМ, ЛенНИИЛХ) были выдвинуты обоснованные предложения по уточнению таблиц объемов круглых лесоматериалов. Был начат сбор экспериментального материала, но в связи с распадом СССР эти работы прекратились.

Современные таблицы объемов бревен уже считаются недостаточно точными. Но так как других нет, то их применяют. В ближайшие годы целесообразно пересмотреть эти таблицы. Главная причина этого состоит в том, что величина сбега ствола определяется условиями формирования древостоев, особенно в возрасте до 40–50 лет. За последние 50–60 лет, прошедшие со времени составления ГОСТ 2708-75, условия выращивания древостоев, особенно их густота и полнота, изменились, что ведет к другим величинам среднего сбега. Поэтому нужны новые таблицы объемов бревен, базирующихся на экспериментальном материале, собранном в современных белорусских лесах.

### 3.2.3. Объемы вершинных лесоматериалов

Проверка показала, что объемы сортиментов, заготавливаемых из комлевых и срединных частей стволов, должны регулироваться отдельным стандартом (ГОСТ 2708-75), в соответствии с которым определяются с удовлетворительной точностью.

Чтобы избежать преуменьшения объемов лесоматериалов, заготавливаемых из вершинных частей стволов, которые имеют малые размеры по толщине, казалось бы, необходимо (по ГОСТ 2708-75) учитывать все мелкие сортименты. Однако это привело бы к искусственному преувеличению объемов тонких сортиментов, заготавливаемых из комлевых и срединных частей стволов, так как при одинаковых диаметрах в верхнем отрезе сбеги у вершинных сортиментов значительно больше, чем у комлевых и срединных.

Относительно тонкие бревна из комлевой и средней частей ствола в больших объемах получают при проведении прореживаний и проходных рубок. Существенное различие в форме комлевых и срединных сортиментов, с одной стороны, и вершинных – с другой, исключает возможность составить единые таблицы объемов круглых лесных материалов, позволяющие определять с одинаковой точностью объемы сортиментов, заготавливаемых из разных частей стволов.

Поэтому были составлены отдельные таблицы объемов вершинных лесоматериалов. В различных условиях произрастания удельный вес вершинных лесоматериалов в общем объеме лесной продукции неодинаков. Для составления таблиц в различных условиях роста древостоев было обмерено 4011 2-метровых отрезков вершинных сортиментов, и на основе этих обмеров выведены среднеарифметические объемы вершинных сортиментов разных размеров.

Для суждения о точности и варьировании объемов отдельных сортиментов наряду со среднеарифметическим объемом были вычислены среднеквадратическое отклонение  $\pm\sigma$ , средняя ошибка  $\pm m$ , коэффициент вариации  $\pm c$  и показатель точности  $\pm p$ .

Среднеарифметические объемы, положенные в основу таблиц, установлены с высокой точностью. Для большинства размеров вершинных лесоматериалов показатель точности  $\pm p$  не превышал 1–3 %. По мере увеличения длины лесоматериалов точность среднеарифметических объемов уменьшается. С увеличением толщины вершинных лесоматериалов точность увеличивается. Следовательно, при определении по вновь составленным таблицам объемов более толстых сортиментов ошибка будет меньше, чем при определении объемов тонких лесоматериалов.

Как известно, при одних и тех же длине и толщине в верхнем отрезе объемы вершинных лесоматериалов бывают различны. По мере увеличения длины лесоматериалов эта разница в объемах возрастает: у 1-метровых отрезков коэффициент вариации в среднем равняется  $\pm 8\%$ , у 5–6-метровых  $\pm 15\%$ .

С увеличением толщины лесоматериалов коэффициент вариации уменьшается. У наиболее тонких сортиментов из средних по длине вершинных лесоматериалов он составляет около  $\pm 30\%$ , у средних сортиментов (толщиной 8–10 см)  $\pm 15\text{--}20\%$  и у более толстых (14–15 см) равен  $\pm 8\text{--}12\%$ .

Коэффициент вариации в объемах комлевых и срединных бревен при средней их длине 6,5 м равен  $\pm 9\%$ . У вершинных лесоматериалов он в 1,5–2,5 раза больше. Таким образом, при определении по ГОСТ 2708-75 объемов комлевых и срединных бревен неизбежна случайная ошибка, в среднем равная  $\pm 9\%$ . При учете объемов вершинных лесоматериалов по новым таблицам случайная ошибка будет в 1,5–2,5 раза большей, то есть достигнет 13–23%. Таким образом, для достижения точности учета партии бревен до 3% требуется, чтобы в этой партии было не менее 9–10 срединных и 90–100 вершинных бревен.

Меньшая точность учета вершинных бревен является следствием значительных различий в форме (сбеге) вершинных сортиментов. Уточнить учет объемов, основанных на большом числе измерений, невозможно. Единственный способ учета этих различий – переход на измерение диаметров на середине или в обоих концевых сечениях сортиментов.

Специальные исследования показали, что если на логарифмическую бумагу нанести по оси абсцисс логарифмы диаметров, а по оси ординат логарифмы среднеарифметических объемов сортиментов различной длины, получившаяся на графике линия будет близка к прямой.

Чтобы иметь объективные основания выровнять график, для всех сортиментов различной толщины на логарифмическую бумагу наносили три точки: среднеарифметический объем сортимента и объемы сортиментов, увеличенные и уменьшенные по сравнению со среднеарифметическим на тройную ошибку среднеарифметического объема. Выравненную прямую объемов проводили на логарифмическом графике с таким расчетом, чтобы она пересекла большинство точек, определяющих среднеарифметические объемы, и в то же время не выходила из полосы, отграничиваемой точками, характеризующимися тройными ошибками среднеарифметических величин.

С выравненных прямых линий были сняты отсчеты, определяющие объемы вершинных сортиментов. По этим данным строили второй график. По оси абсцисс наносили длину, а по оси ординат объем вершинных сортиментов различной толщины. В результате был получен веер кривых объемов. После незначительного выравнивания с этого графика были сняты отсчеты, определяющие объемы вершинных сортиментов толщиной в верхнем отрезе от 3 до 15 см и длиной от 1 до 7 м с интервалом по длине 0,1 и 0,25 м. Все эти объемы сведены в таблицу, которая принята в качестве дополнения к ГОСТ 2708-44 и перешли затем в ГОСТ 2708-75.

Введение отдельных таблиц для определения объемов вершинных лесоматериалов обязывает при сдачах-приемках учитывать эти лесоматериалы отдельно от прочих.

К категории вершинных следует относить лесоматериалы, имеющие на 1 пог. м длины сортимента сбег не менее 1 см и много сучков и утолщений (наплывов) вокруг них, что придает им своеобразную узловатость и неправильную геометрическую форму. Почти всегда из-за большого числа сучков они относятся к низшим сортам.

Во время раскряжевки хлыстов на сортименты на вершинные отрезки следует наносить специальные знаки. Это налагает на лесозаготовителей ответственность за правильное отнесение сортимента к категории вершинных, так же, как и за правильное определение сорта лесоматериалов.

ГОСТ 2708-75 преуменьшает объемы вершинных лесоматериалов в среднем на 26,1 %. Если объемы по ГОСТ 2708-75 принять за 100 %, то по таблицам, составленным для вершинных лесоматериалов, объемы будут равны 135,3 %, то есть увеличатся на 35,3 %. К сожалению, в практике отдельный учет вершинных бревен обычно не ведется. Тем самым лесхозы, проводя отпуск этих лесоматериалов, обманывают сами себя, преуменьшая отпускаемую кубатуру бревен, полученных из вершинной части.

Деловые лесоматериалы длиной более 2 м, деревянное долготье длиной более 3 м, лесоматериалы до 2 м для лущения и строгания и спецсортименты подлежат поштучному учету в плотных м<sup>3</sup>. Для этого следует произвести необходимые замеры и вычислить объем сортимента. В практике его определяют по таблицам объемов круглых лесоматериалов (ГОСТ 2708-75). При пользовании таблицами по ГОСТ 2708-75 объем бревен находят, замерив их длину и диаметр в верхнем отрезе. Диаметры круглых материалов замеряют без коры.

В отдельных случаях пользуются таблицами объемов лесоматериалов по длине и диаметру на середине длины сортимента. Эти таблицы менее удобны, так как диаметр на середине трудно замерить в штабелях, и необходимо в этом месте сортимент очищать от коры. Поэтому такие таблицы применяют лишь тогда, когда по каким-либо причинам не представляется возможным использовать таблицы по ГОСТ 2708-75.

Объемы бревен, определенные по их длине и диаметру в верхнем отрезе, проанализированы Н. Н. Дементьевым. Им установлены переводные коэффициенты, названные видовыми числами бревен. Они представляют собой отношение объема бревна к объему цилиндра, имеющему длину, равную длине бревна и диаметр, равный диаметру бревна в верхнем отрезе. Для бревен разной длины установлены следующие переводные коэффициенты.

Диаметр бревна, м.....	2,	4,	6,	8,	8,5
Переводные коэффициенты.....	1,15	1,17	1,21	1,26	1,28

Чтобы определить объем бревен, нужно эти коэффициенты умножить на объем цилиндров

$$V_{\text{бр}} = FgL = \frac{F\pi d^2 L}{4}, \quad (3.7)$$

где  $V_{\text{бр}}$  – объем бревна, м<sup>3</sup>;

$F$  – переводной коэффициент или видовое число бревна;

$g$  – площадь сечения бревна в верхнем отрезе, м<sup>2</sup>;

$d$  – диаметр бревна в верхнем отрезе, м;

$L$  – длина бревна, м.

Подставив значения видовых чисел бревен в формулу (3.7) и произведя необходимые вычисления, получим следующий результат.

Для бревен длиной до 8 м включительно объем бревна можно вычислить по формуле:

$$V_{\text{бр}} = d^2 L. \quad (3.8)$$

Для бревен длиной 8,5 м и более формула объема бревна приобретает следующий вид:

$$V_{\text{бр}} = d^2(L - 3). \quad (3.9)$$

При отсутствии соответствующих таблиц объем бревен можно вычислить по формулам (3.8) и (3.9).

Для определения объемов хлыстов в Беларуси используют ОСТ13-232-87 «Хлысты древесные...». Объем хлыстов определяют по породам в зависимости от их длины и диаметра на 1 м от комлевого среза.

### 3.2.4. Обмер круглого леса и его маркировка

При учете круглого леса важно соблюдать правила обмера, сортировки и маркировки. Правила приемки, методы контроля, сортировка, маркировка и транспортирование регламентируются. В пунктах раскряжевки деловые сортименты толщиной 14 см и более маркируют. Мелкие лесоматериалы и сортименты длиной до 2 м не маркируются (за исключением ценных спецсортиментов). Данные о мелких лесоматериалах и коротье приводят в спецификациях без маркировки.

Государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 2426-2015 для целей сертификации используется ТКП 5.4.04-2005 (04100). Эти правила приняты вместо ГОСТ 2292-88, действовавшего до 2015 г. Маркировкой лесной продукции в соответствии с названным СТБ является информация в виде надписей, цифровых, цветовых и условных обозначений, наносимых на продукцию, упаковку, этикетку или ярлык для обеспечения идентификации и условия обработки при погрузочно-разгрузочных работах, транспортировке и хранении.

Длину хвойного круглого леса учитывают с точностью до 0,5 м. Доли меньше 0,5 м при обмере в расчет не принимаются. Длину лиственных бревен (пиловочных, фанерных, спичечных и др.) учитывают с точностью до 0,1 м. Для измерения длины круглого леса применяют шесты, рулетки и реже складные метры.

На лесных складах бревна одинаковой длины обычно укладывают в отдельные штабеля. При укладке штабелей необходимо следить за тем, чтобы торцы отдельных отрезков с тыловой стороны штабеля находились по возможности в одной плоскости, то есть не выдавались вперед или внутрь штабеля. Такая тщательная укладка дает возможность при приемках измерить длину 1–2 бревен и результаты этого измерения распространить на все бревна, уложенные в штабель. Однако государственные стандарты на круглые сортименты требуют обязательной проверки длины каждого бревна, и лишь по соглашению между приемщиком и сдатчиком разрешается обмерять длину только части бревен.

При определении толщины круглого леса форму торца принимают за круг, у которого измеряют диаметр. В действительности поперечное сечение ствола, как было сказано выше, отличается от круга, и поэтому при установлении толщины бревна измеряют в торце наибольший и наименьший поперечники и из полученных величин выводят среднее, которое называют средним диаметром. Диаметры круглых сортиментов очень редко бывают равны целому числу сантиметров. Дробные диаметры нужно округлять до целых: если для учета толщины круглых сортиментов принята градация 1 см, доли сантиметра меньше 0,5 см отбрасывают, доли 0,5 см и больше принимают за целый сантиметр. Стандарты на пиловочные и строительные бревна предусматривают округление диаметров до четных сантиметров: нечетные целые сантиметры увеличивают до ближайших четных, а все доли сантиметра в расчет не принимают.

Согласно учению о погрешностях измерений из-за округления диаметров до целых ступеней толщины у большей части бревен при определении диаметра допускается ошибка, равная в среднем  $1/3$  величины ступени. При ступенях толщины 1 см ошибка составляет 0,3 см, а при учете диаметров в четных сантиметрах – 0,6 см. Если за среднюю толщину бревен принять 20 см, эти ошибки соответственно составят 1,5 и 3 % от величины диаметра.

Ошибки в диаметре влекут за собой удвоенную ошибку в объеме. Отсюда следует, что при округлении диаметров до целых сантиметров ошибка в объеме будет равна  $\pm 3$  %, а при учете диаметров в четных сантиметрах  $\pm 6$  %. При массовом учете бревен эти ошибки будут иметь положительный и отрицательный знаки, которые в результате взаимно уничтожатся. Поэтому стандарты на пиловочные и строительные бревна для партий бревен не менее 100 шт. допускают обмер только одного диаметра, но при условии, что у всех бревен он будет

обмеряться в одном направлении. Бревна, уложенные в штабеля, лучше измерять в направлении, образующем с горизонтальной плоскостью угол примерно 45°.

При обмере бревен толщину коры не учитывают. Если верхний отрез бревна сделан на сучьях, имеющих наплывы, его обмеряют, отступив несколько от места утолщения к комлю. Диаметр в этом случае измеряют мерной вилкой.

Приемка заготовленной древесины осуществляется в соответствии с правилами приемки, указанными в СТБ 2426-2015. На каждую отгружаемую партию лесоматериалов оформляется документ о качестве, в котором должны быть указаны следующие параметры: наименование изготовителя, наименование продукции, порода древесины, сорт, размеры (диаметр в сантиметрах, длина в метрах), объем партии в кубометрах, дата отгрузки. Все документы подписывает лицо, ответственное за приемку. Лесоматериалы, отгружаемые заказчику, должны быть расфасованы по размерам, породам и качеству.

Маркировка круглых лесоматериалов может быть поштучной или групповой. Поштучная маркировка наносится на каждый круглый лесоматериал и должна содержать сведения о нем, достаточные для идентификации и приемки (обозначения диаметра, сорта и др.). Реквизиты поштучной маркировки наносятся на верхние торцы круглых лесоматериалов красками или мелками, а также ярлыками, микрочипами и др. Групповая маркировка должна содержать реквизиты партии и сведения о лесоматериалах в штабеле. Реквизиты групповой маркировки наносятся на ярлык, прикрепляемый к штабелю круглых лесоматериалов. Средства маркировки и способы ее нанесения согласовываются с заказчиком и указываются в контракте.

При сдаче-приемке леса обычно возникает вопрос, куда отнести размер, стоящий на грани двух смежных ступеней толщины. При учете бревен в четных сантиметрах отнесение бревен, имеющих диаметры, равные нечетному числу сантиметров, в высшую четную ступень приводит к преувеличению объема. При средней толщине бревен 20 см увеличение диаметра на 1 см вызывает ошибку в объеме в среднем на 10 %.

В связи с этим возникает вопрос, как часто в пределах двухсантиметровой ступени толщины встречаются бревна, диаметр которых точно равен нечетному числу сантиметров. Каждая такая ступень толщины содержит 20 ступеней, дробность которых равна 1 мм. Следовательно, из каждых 100 бревен, содержащихся в двухсантиметровой ступени толщины, на одномиллиметровую ступень приходится в среднем 5 бревен. Отсюда можно принять, что в пределах этой ступени толщины на размер, равный полному числу нечетных сантиметров без десятых долей, также приходится 5 бревен. При округлении диаметров до высших четных сантиметров в объеме каждого из этих бревен получится ошибка в среднем 10 %. Если разложить ее на все бревна, она составит:

$$K = \frac{10 \cdot 5}{100} = 0,5.$$

Такая величина ошибки получится при бревнах со средним диаметром 20 см, при более толстых бревнах она будет меньше.

Выше было отмечено, что припуск по длине круглых сортиментов в среднем составляет 1 % длины, а по объему 0,8 %. Последняя величина, не включаемая при приемке в кубатуру бревен, с излишком компенсирует преувеличение объемов от округления нечетных диаметров до высших четных размеров.

При приемке бревен их длину, толщину и сорт отмечают на верхнем торце мелком, краской, нумераторными или маркировочными молотками. Обмер и учет бревен производят вдвоем: мерщик обмеряет мерной скобой диаметры бревен в верхнем отрезе, а счетчик записывает их в учетную ведомость, примерная форма которой приведена ниже (таблица 3.4).

Объемы сортиментов, указываемые в учетной ведомости, находят по таблицам объемов бревен.

Форма учетной ведомости

Диаметр в верхнем отрезе, см	Пиловочник				Строительные бревна				Фанерный кряж			
	длиной, м											
	5		6,5		6,5		8,5		4		6	
	шт.	м <sup>3</sup>	шт.	м <sup>3</sup>	шт.	м <sup>3</sup>	шт.	м <sup>3</sup>	шт.	м <sup>3</sup>	шт.	м <sup>3</sup>
12												
14												
16												
18												
20												
и т. д.												

Специфика сортиментов обуславливает методы их учета и хранения. В практике лесного хозяйства наиболее часто приходится сталкиваться с таксацией круглых лесоматериалов и дров. С остальными видами лесной продукции мастер леса встречается редко.

Для указания сортов применяют арабские или римские цифры 1 (I) – первый сорт; 2 (II) – второй сорт и т. д. На рисунке 3.3 приведены знаки для маркировки лесоматериалов. Величина знаков должна составлять 30–50 мм.

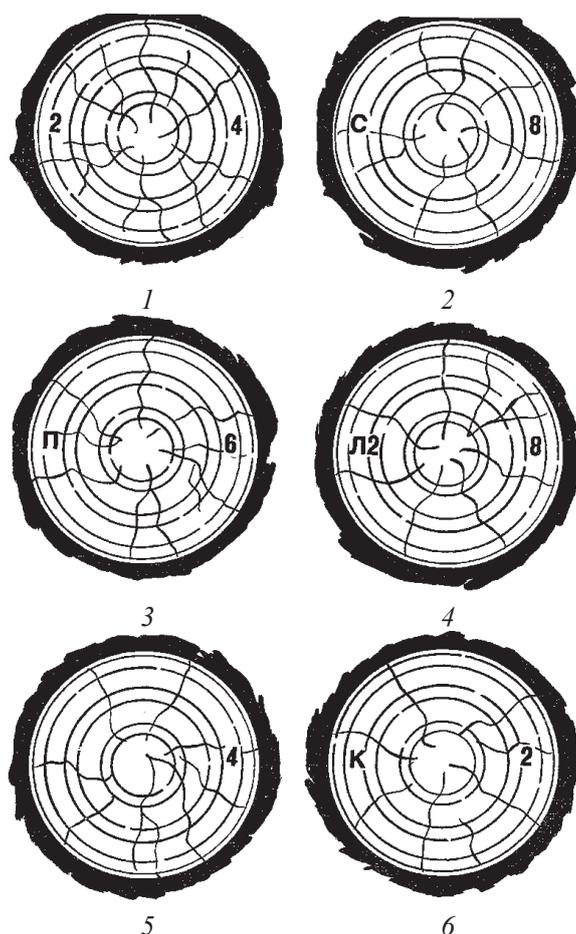


Рис. 3.3. Пример маркировки лесоматериалов:

- 1 – бревна пиловочные второго сорта диаметром 14, 24, 34 см и т. д. для машиностроения;  
 2 – бревна диаметром 18 см для разделки на рудничные стойки; 3 – бревна диаметром 26 и 36 см для выработки резонансных пиломатериалов; 4 – лесоматериалы второго сорта диаметром 18, 28 см и т. д. для лущения и строгания; 5 – дровяное долготье диаметром 14, 24 см и т. д.;  
 6 – лесоматериалы диаметром 22 см для выработки вискозной целлюлозы

По стойкости лесоматериалов к повреждению насекомых, грибами и растрескиванию они делятся на стойкие и нестойкие. Стойкими к повреждениям насекомыми являются береза, граб, клен, ольха, осина, тополь. Ель, сосна, дуб, ильмовые, ясень – нестойкие. К поражению грибами стойкие дуб, ильмовые, клен, ясень, а ель, сосна, береза, граб, ольха, осина, тополь, липа – нестойкие. По отношению к растрескиванию стойкие ель, сосна, ольха, осина, липа, тополь, береза, а граб, ильмовые, клен, дуб, ясень – нестойкие.

Различают влажный и сухой способы хранения. В производственных условиях обычно применяют влажный, то есть осуществляют плотную укладку с корой или без нее, а также хранят лесоматериалы в хлыстах. При сухом способе требуется рядовая укладка с окоркой.

Продолжительность хранения зависит от класса стойкости древесины, климатической зоны и типа склада, вида укладки и мер защиты. Всех типов складов 3. Складирование древесины в лесу на лесосеке и у лесовозных дорог относится к первому типу складов. Стойкие неокоренные лесоматериалы на лесосеке без применения мер защиты можно хранить весь теплый период (май – сентябрь), для нестойких лесоматериалов в этом случае требуется применять меры защиты сортиментов, иначе срок хранения ограничивается 1–3 месяцами.

В лесничестве учет готовой продукции ведется по породам и сортам, а продукции, заготовленной по хозрасчетной деятельности, – и по сортиментам.

### 3.2.5. Установление сортности сортиментов

Сортность сортиментов устанавливают по СТБ 1711-2007 «Лесоматериалы круглые лиственных пород» и СТБ 1712-2008 «Лесоматериалы круглые хвойных пород». В названных СТБ приводится перечень сортиментов. Они делятся на следующие группы: лесоматериалы для распиловки и строгания, лесоматериалы для выработки оцилиндрованных изделий, лесоматериалы для выработки шпона, лесоматериалы для выработки целлюлозы и древесной массы (балансы), лесоматериалы для использования в круглом виде. В специальной таблице указаны конкретные сортименты, древесные породы, из которых они заготавливаются, требуемая сортность сортиментов, их минимальный диаметр в верхнем отрезе или диапазон (см) диаметров в верхнем отрезе (например, балансы осинового – диаметр 10–24 см), длина сортимента (м) и градация по длине.

Значительный ассортимент сортиментов, но далеко не полный, обычно заготавливают на нижних складах леспромхозов. В лесхозах этот ассортимент обычно ограничен 5–6 наименованиями: пиловочник, подтоварник, баланс и т. д. При выдаче заданий рабочим на заготовку определенных сортиментов их технические параметры по размерам и сортности требуемой лесопроизводства следует сверить с соответствующим СТБ.

Все деловые лесоматериалы по крупности делятся на крупные, средние и мелкие (таблица 3.5).

Таблица 3.5

Деление хвойных и лиственных деловых лесоматериалов по крупности  
(по СТБ 1711-2007 и СТБ 1712-2007)

Группа лесоматериалов	Диаметр в верхнем срезе, см	Градация по диаметру, см
мелкие	от 6 до 13 включительно	1
средние	от 14 до 24 включительно	2
крупные	от 26 и более	2

Сорт древесины определяется наличием сортообразующих пороков: сучья, кривизна, различные гнили и т. д. В упомянутых СТБ в специальной таблице приведены пороки древесины, нормы ограничения этих пороков для каждого сорта. Всего по СТБ выделяются три сорта

древесины. Высшим считается 1-й сорт – это наиболее качественные сортаменты с отсутствием или минимальным количеством пороков.

В хвойных древостоях Беларуси при их вырубке в порядке рубок главного пользования наиболее распространенными пороками являются сучья и кривизна. В лиственных (особенно у осины и ольхи черной) к ним добавляется ядровая гниль. При проведении рубок промежуточного пользования, особенно санрубок, в числе основных пороков присутствуют различные гнили, так как убираются больные и поврежденные деревья.

Нормативы по кривизне для хвойных более жесткие, чем для лиственных. Это объясняется как биологическими свойствами деревьев разных видов, так и тем, что лиственные сортаменты обычно короче, а длинные используются в менее ответственных сооружениях. Разрезав длинные бревна на 2–3 части, можно существенно уменьшить кривизну, то есть повысить сорт сортамента. Кривизна бывает простая (изгиб с одной стороны) и сложная, когда бревно изогнуто в разные стороны. Допуски по сортности сложной кривизны в два раза жестче, чем по простой.

Количество пороков древесины значительно, но кроме сучьев, кривизны и ядровой гнили остальные встречаются значительно реже. При определении сортности сортаментов следует обязательно сверяться с СТБ. При этом особенно настороженно следует относиться к заболонной и наружной трухлявой гнили, которая в основном резко снижает качество древесины вплоть до перевода в дрова и отходы.

При установлении сорта сортамента главное – знать основные принципы и методы этой работы. Здесь не приводятся конкретные параметры пороков, так как без постоянной практики они быстро забываются. При работе в лесничестве специалист будет пользоваться соответствующим СТБ, где все эти параметры приведены.

### **3.3. Таксация делового коротья и дров**

#### **3.3.1. Учет делового коротья**

Значительная часть деловых лесоматериалов, которые короче 3 м, называют коротьем. Коротье учитывается в складочной мере, а затем с помощью переводных коэффициентов пересчитывают складочные м<sup>3</sup> в плотные. В складочных мерах учитывают рудничную стойку, балансы и другие мелкие сортаменты. Лесоматериалы длиной 2 м и менее обмеривают в складочной мере без учета коры.

Рудничную стойку во время ее заготовки или позже подвергают топорной окорке, во время которой все сучки и наплывы обычно срубают заподлицо. Поэтому поленицы, сложенные из рудничной стойки, более плотные и имеют более высокий коэффициент полндревесности.

На заготовку балансов (сырья для выработки бумаги) используют части стволов более правильной формы, хорошо очищенные от сучьев. В Беларуси поставка балансов производится, как правило, без окорки.

Учет в складочных метрах сводится к определению геометрического объема полениц и штабелей, в которые сложены лесоматериалы. Штабеля бывают рядовые с прокладками, плотной кладки (без прокладок), пачковые и пачково-рядовые (рис. 3.4 и 3.5).

В отдельный штабель укладывают однородный по назначению и качеству сортамент одинаковой длины. Лесоматериалы укладываются комлями и вершинами в разные стороны и должны быть выровнены по одной из сторон штабеля. Интервалы между штабелями и поленицами должны быть не меньше их высоты.

Для определения объема штабелей их обмеряют, соблюдая следующие правила. Ширину штабеля принимают равной номинальной длине уложенных в него лесоматериалов без учета

припусков и допусков. Высоту определяют как среднеарифметическое значение измерений высоты через каждый 1 м длины штабеля.

Короткие штабеля следует обмерять не менее чем в трех местах: у краев и посередине. Высоту, длину и ширину штабеля определяют с точностью до 1 см, при этом толщину прокладок не учитывают. Длину боковых клеток штабеля принимают за 0,8 их протяженности. Объем штабеля определяется умножением длины на ширину и высоту.

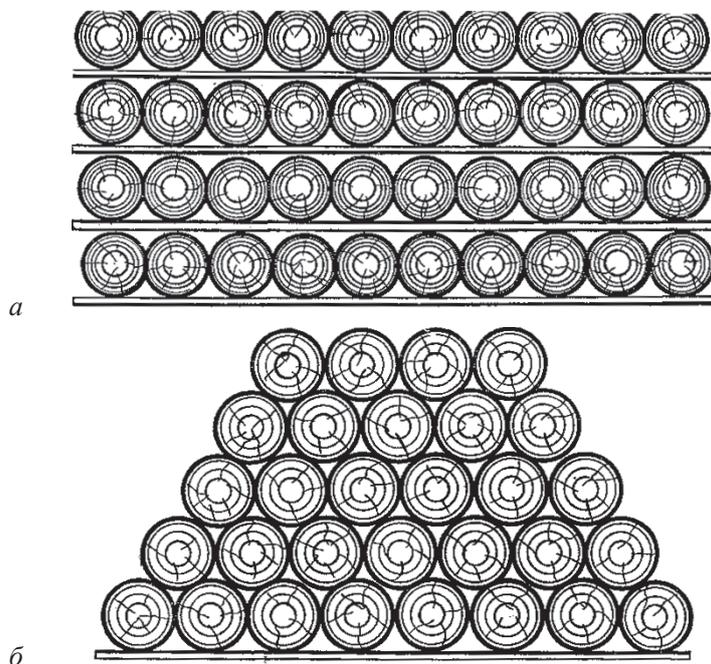


Рис. 3.4. Способы укладки штабелей:  
*a* – рядовой с прокладками; *б* – рядовой без прокладки (плотная укладка)

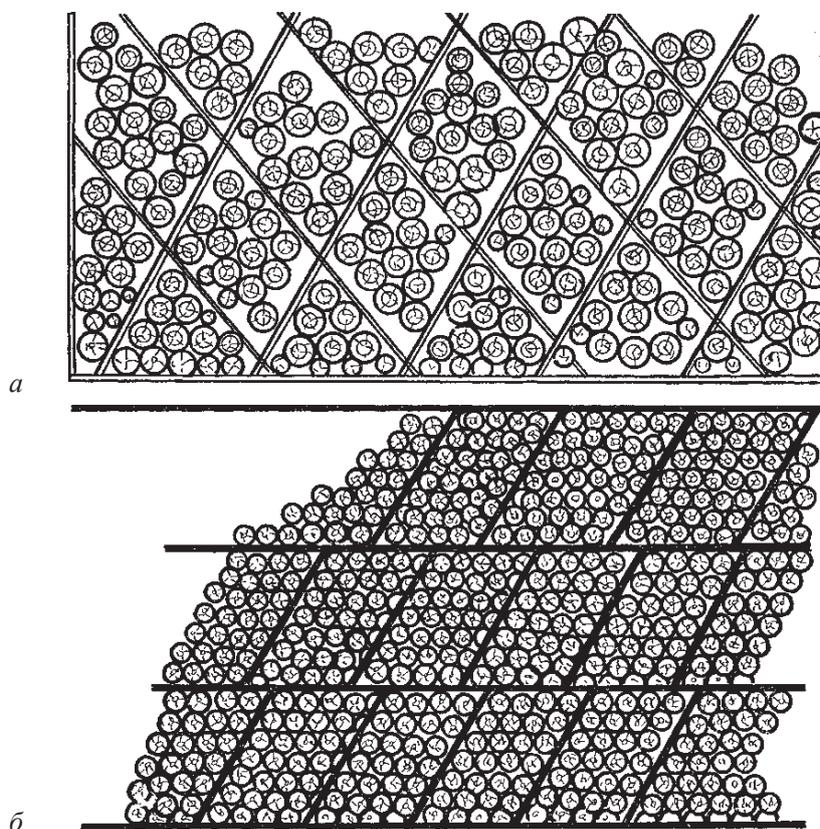


Рис. 3.5. Способы укладки штабеля: *a* – пачковый; *б* – пачковорядный

Коэффициенты для перевода складочных м<sup>3</sup> в плотные приведены в ГОСТ 2292-88. Для лесоматериалов длиной до 1 м в коре коэффициент полндревесности штабелей составляет: для сосны 0,69, для ели – 0,71, для березы и осины – 0,7. При длине от 1 до 2 м эти же коэффициенты будут равны: для сосны – 0,67, ели – 0,69, березы и осины – 0,68. Коэффициенты приведены для нормальной кладки.

Нормальной считается такая кладка, при которой отношение протяженности чистой древесины (за вычетом пустот) по диагонали к полной длине последней равно коэффициентам, приведенным в ГОСТ 2292-88. Плотность кладки и кубатуру штабелей из смеси пород или при возникновении споров определяют следующим образом. На лицевой стороне каждого пробного штабеля намечают прямоугольник высотой, равной высоте штабеля, и длиной основания не менее 8 м. Стороны прямоугольника очерчивают мелком или краской. В прямоугольнике проводят диагональ, которая должна пересекать торцы не менее 60 шт. кругляков. Длину диагонали измеряют с точностью до 1 см. Затем устанавливают протяженность чистой древесины (без пустот) по длине диагонали, которую меряют по торцам кругляков с точностью 0,5 см на каждом торце (доли 0,3 и менее отбрасывают, а 0,3 см и более считают за 0,5 см).

Коэффициент полндревесности, выраженный в долях единицы (с точностью до 0,01) устанавливают путем деления суммы протяжения торцов кругляка по диагонали на длину всей диагонали. Если длина штабеля короче 8 м, проводят две диагонали и т. д., но необходимо замерить не менее 60 торцов. Если полученный коэффициент полндревесности отличается от табличного, то пересчет в плотные м<sup>3</sup> ведут по фактическому коэффициенту.

Исследования полндревесности полениц проводились в разных странах. Для определения коэффициента полндревесности полениц из неокоренных балансов Шумахер предложил следующую формулу:

$$K = 0,84 - 0,04N, \quad (3.10)$$

где  $N$  – среднее число поленьев, торцы которых вписывают в 1 кв. фут (0,0929 м<sup>2</sup>) торцевой стороны поленицы.

При учете в метрических мерах формулу Шумахера можно несколько изменить, придав ей следующий вид:

$$K = 0,84 - 0,01 N', \quad (3.11)$$

где  $N'$  – среднее число поленьев, торцы которых вписываются в площадь 61 × 61 см (0,372 м<sup>2</sup>).

Американские исследователи Е. В. Чемберлен и Н. А. Майер для определения процента объема коры  $P$  предложили следующую формулу:

$$P = 80(1 - K^2), \quad (3.12)$$

где  $K$  – отношение диаметра лесоматериалов без коры к диаметру в коре.

Для определения коэффициента  $K$  надо у 20–30 поленьев измерить диаметры без коры и диаметры в коре, затем сумму диаметров без коры  $\sum d_{б/к}$  разделить на сумму диаметров в коре  $\sum d_{в/к}$ . В итоге получаем искомый коэффициент:

$$K = \frac{\sum d_{б/к}}{\sum d_{в/к}}. \quad (3.13)$$

По данным этих исследователей, коэффициент  $K$  изменяется от 0,85 до 0,95. Наименьший коэффициент имеют породы с толстой корой (каштан, дуб и др.), наибольший – с тонкой (бук, ель).

При разных значениях коэффициента  $K$  объем коры  $P$  будет следующий, %:

$K$	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
$P$	22,20	20,80	19,40	18,00	16,60	15,20	13,80	12,30	10,80	9,30	7,80

Способ определения объема коры, предложенный Чемберленом и Майером, целесообразно применять при учете неокоренных балансов и рудничной стойки.

В СССР (ГОСТ 2292-88) были установлены коэффициенты полндревесности для перевода складочных мер в плотные (без учета коры) при нормальной укладке лесоматериалов в штабеля (таблица 3.6).

Таблица 3.6

**Коэффициент полндревесности для перевода складочных мер лесоматериалов в плотные (без учета коры)**

Порода	Коэффициенты полндревесности штабелей лесоматериалов		
	в коре	грубоокоренных	без коры
Лесоматериалы длиной до 1 м			
Ель, пихта	0,71		
Сосна	0,69	0,76	0,78
Лиственница	0,67		
Береза и осина	0,70		
Липа	0,67	–	0,79
Лесоматериалы длиной от 1 до 2 м			
Ель, пихта	0,69		
Сосна	0,67	0,74	0,76
Лиственница	0,65		
Береза и осина	0,68		
Липа	0,66	–	0,77

### 3.3.2. Учет дров

Дрова заготавливают и учитывают по ГОСТ 3243-88. Дрова по ГОСТу делятся на дрова для отопления, сухой перегонки и углежжения. В практике лесного хозяйства в основном заготавливают дрова для отопления. По ценности их делят на три группы: 1 – береза, граб, твердолиственные, лиственница; 2 – сосна, ольха; 3 – ель, кедр, пихта и остальные мягколиственные. Дрова бывают однородными и смешанными. Однородные – это дрова одной группы по ценности, смешанные – дрова из разных групп.

По влажности дрова делят на воздушно-сухие (абсолютная влажность 25 %), полусухие (26–50 %), сырые (более 50 %). По длине устанавливаются такие размеры дров (в м): 0,25; 0,33; 0,50; 0,75; 1. Лесхозы обычно заготавливают дрова длиной 1,0 м и кратные им – 2 м.

Толщина круглых поленьев устанавливается от 3 до 14 см. Поленья с круглым сечением 15–25 см подлежат расколке на две части; при толщине 26–40 см – на четыре части; толще 40 см – на столько частей, чтобы наибольшая линия раскола по торцу не превышала 20 см.

Количество круглых поленьев толщиной от 3 до 6 см не должно превышать 20 % общей кубатуры сдаваемой партии дров.

Пороки древесины в дровах допускаются. Ограничения есть только в отношении гнили. В дровах для отопления она допускается, если занимает не более 65 % площади торца полена, причем количество дров с гнилью от 30 до 65 % площади торца не должно превышать 20 % сдаваемой партии дров. Не допускаются дрова с наружной трухлявой гнилью или пораженные домовыми грибами. Дрова могут быть в коре и без нее.

Качество дров определяют путем внешнего осмотра. Количество дров, не соответствующих стандарту, не должно превышать 5 % партии. Дрова принимают в складочных м<sup>3</sup>. В ГОСТе приведены коэффициенты перевода складочных м<sup>3</sup> в плотные. Они зависят от породы (хвойные, лиственные), длины и толщины поленьев. Для дров длиной 1 м и толщиной

3–10 см этот коэффициент равен 0,69 (хвойные), 0,63 (лиственные), для более толстых – около 0,7. Если возникает потребность в уточнении коэффициентов полндревесности, то поступают аналогично, как и при учете делового коротыга. При учете дров прямоугольник делают площадью 4 м<sup>2</sup>.

### Правила укладки, обмера и приемки дров

Дрова и другие мелкие сортименты при заготовке и хранении на складах укладывают в поленницы прямоугольной формы. Нижний ряд поленьев кладут на продольные прокладки, концы поленниц укрепляют кольями или клетками. Закреплять концы клетками можно в поленницах длиной более 10 м, причем на каждые 10 м длины поленницы должно приходиться не более одной клетки. Поленницы укладывают высотой 1; 1,5 и 2 м. Для удобства осмотра дров на лесных складах между двумя поленницами нужно оставлять проходы шириной не менее 0,8 м. При укладке в поленницы дрова рассортировывают по длине и влажности. Лицевая (передняя) сторона поленниц должна быть выровнена. Если на складах, в вагоны и суда (при водных перевозках) укладывают дрова влажностью более 25–20 %, делают надбавку на усушку и усадку – по 3 см на каждый метр высоты поленницы.

За высоту поленницы принимают среднеарифметическое трех измерений, произведенных принимающим лицом в разных местах, по выбору. При измерении высоты поленницы подкладки, а также надбавка на усушку в высоту не включаются. При приемке дров устанавливают, к какой из указанных трех групп теплотворной способности относится принимаемая партия.

Влажность дров определяют в лаборатории путем их взвешивания. В этом случае руководствуются весом 1 пл. м<sup>3</sup> древесины разных пород при разной их влажности. Вес древесины, принятый в стандарте на дрова, был указан в разделе «Физические способы таксации».

Приемка и учет по весу допускаются только для воздушносухих дров. В этих случаях весовой единицей измерения служит 1 т.

При приемке дров необходимо проверять правильность их укладки. В практике лесозаготовок известны два способа кладки дров (рис. 3.6): рыхлая («в накрышку») и плотная («в зажим»).

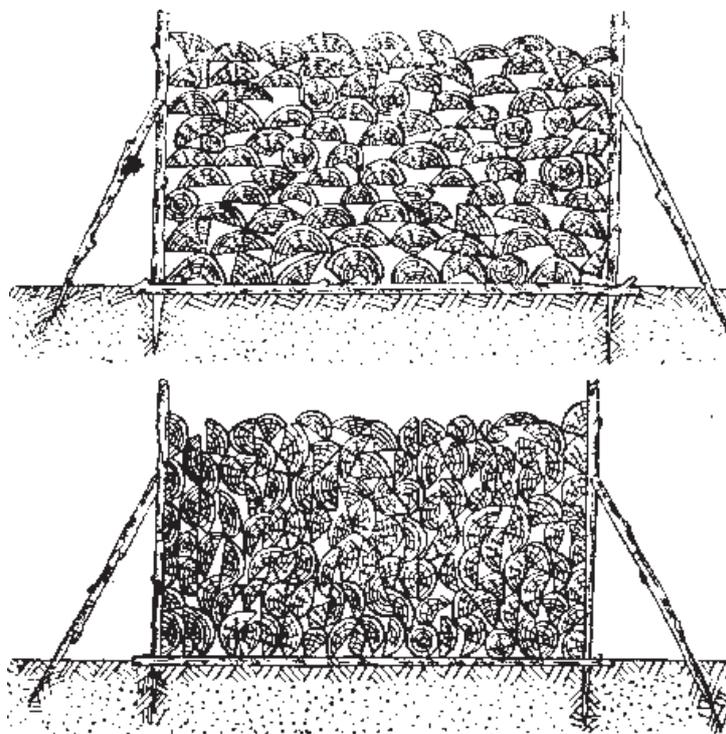


Рис. 3.6. Поленницы рыхлой (вверху) и плотной (внизу) кладки

Первый способ заключается в том, что поленья, расколотые пополам на плахи, укладывают корой вверх, а стороной раскола вниз. При этом по всей поленнице получается сеть треугольных окошечек, значительно уменьшающих ее полндревесность. При втором способе расколотые поленья укладывают на ребро так, чтобы стороны раскола плотно прилегали одна к другой. При такой кладке поленья как бы заклиниваются, сжимают поленницу. В промежутки между крупными поленьями кладут более тонкие.

Во время приемки дров торцы поленьев обрызгивают известью (краской) или ставят на них клейма, чтобы по ошибке не принять на лесосеке два раза одни и те же поленницы. При приемке заготовленных дров от рабочих мастер леса должен очень внимательно подходить к качеству укладки поленниц. При неплотной укладке могут быть случаи, когда мастер учитывает 6 скл. м<sup>3</sup> дров, а потребитель, погрузив их на машину, насчитывает лишь 5 скл. м<sup>3</sup>. Потребитель в этом случае будет прав, а у материально ответственного лица окажется недостача, в чем будет вина мастера.

Объем дров длиной более 2 м определяют по таблицам объемов круглых лесных материалов (ГОСТ 2708-75), более короткие дрова учитывают в складочных мерах.

Количество плотной древесины в складочном кубометре непостоянно: чем больше между поленьями пустот, тем меньше в поленнице древесной массы. Количество заключающейся в складочной мере плотной древесной массы, разделенное на объем этой складочной меры, называют коэффициентом полндревесности поленниц. Если в 1 скл. м<sup>3</sup> дров содержится плотной массы, или собственно древесины, 0,7 м<sup>3</sup>, а остальные 0,3 м<sup>3</sup> приходятся на пустоты между поленьями, коэффициент полндревесности принимается равным 0,7.

Чем правильнее форма ствола, из которого получены поленья, чем меньше на них сучков и чем глаже кора, тем плотнее их можно уложить. Следовательно, такая поленница будет иметь более высокий коэффициент полндревесности.

Длинные поленья плотно уложить труднее, чем короткие, так как с увеличением их длины резче проявляются неправильности формы и увеличивается число сучков на них. Поэтому поленницы из коротких дров имеют более высокий коэффициент полндревесности.

При перепиливании длинных поленьев объем поленниц уменьшается, а коэффициент полндревесности увеличивается. Уменьшение объема поленниц называют упилом. При заготовке дров очень важно установить правильные нормы упила. При перепиливании двухметровых отрезков на однометровые и однометровых на полуметровые коэффициент полндревесности увеличивается в среднем на 3 %. После распиловки дров, уложенных в рыхлую поленницу, надо ожидать значительного упила, особенно если распиленные поленья будут плотно уложены. Объем же поленницы плотной укладки мало изменится при вторичной тщательной укладке после распиловки на короткие поленья. Для упила могут быть даны лишь некоторые средние нормативы, от которых в отдельных случаях неизбежны отступления.

Коэффициент полндревесности поленницы зависит от толщины уложенных в ней поленьев: чем толще поленья, тем он больше и наоборот. Если расколоть поленья и снова их сложить, объем поленницы увеличится, а коэффициент полндревесности уменьшится. Разность между полученным и прежним объемом называется приколом. Чем толще поленья и чем мельче их раскалывают, тем больше прикол. В практике пользуются приблизительной средней нормой прикола в 5 %. Такой прикол обычно бывает при раскалывании поленьев пополам; при более мелком раскалывании прикол возрастает до 10 %. Дрова положено раскалывать, так как в таком виде они лучше просыхают и сохраняют свои качества. Например, оставленные в коре не расколотые березовые дрова быстро портятся: сначала на них появляется гниль, по окраске похожая на расцветку мрамора, которая с течением времени переходит в мягкую гниль, вызывающую трухлявость. При помощи коэффициента полндревесности можно перевести объем, вычисленный в плотных кубометрах, в складочные

меры. Для этого нужно количество древесины в плотных кубометрах разделить на коэффициент полндревесности. Для перевода объема полениц из складочных кубических метров в плотные нужно умножить объем в складочных кубических метрах на коэффициент полндревесности.

При вычислении объема можно также пользоваться переводными коэффициентами. Если принять, что 1 скл. м<sup>3</sup> дров составляет 0,7 плотного кубометра, то 1 пл. м<sup>3</sup> содержит 1,43 скл. м<sup>3</sup>. В данном случае переводным коэффициентом является 1,43. При переводе складочных мер в плотные надо количество дров, выраженное в кубометрах, разделить на 1,43, а при переводе плотной массы в складочные меры нужно кубатуру плотной массы умножить на 1,43. В ГОСТе 3243-46 содержатся коэффициенты полндревесности для перевода складочных мер дров в плотные, которые приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

**Коэффициент полндревесности для перевода складочных мер дров в плотные (по ГОСТ 3243-88)**

Порода	Форма поленьев	Коэффициенты полндревесности при длине поленьев, м					
		0,25	0,33	0,5	0,75	1,0	1,25
Тонкие (толщина 3–10 см)							
Хвойные	Круглые	0,85	0,80	0,75	0,71	0,69	0,68
Лиственные	-«-	0,73	0,69	0,66	0,64	0,63	0,62
Средние (толщина 11–15 см)							
Хвойные	Колотые	0,83	0,79	0,75	0,73	0,72	0,71
-«-	Круглые	0,88	0,84	0,79	0,75	0,73	0,72
Лиственные	Колотые	0,78	0,75	0,72	0,70	0,69	0,68
	Круглые	0,80	0,77	0,74	0,71	0,70	0,68
Толстые (толщина 16 см и более)							
Хвойные	Колотые	0,82	0,80	0,78	0,75	0,74	0,73
Лиственные	-«-	0,80	0,78	0,75	0,73	0,72	0,71

Когда производят массовый учет дров (кубатура более 1000 скл. м<sup>3</sup>) при средней длине поленьев 1 м для хвойных дров коэффициент полндревесности составляет 0,7, для лиственных – 0,68. Для определения полндревесности полениц с кривыми и суковатыми поленьями приведенные коэффициенты полндревесности уменьшают на 0,07 для круглых поленьев и на 0,04 для колотых дров. Кривыми и суковатыми считают дрова, в которых имеется больше 25 % кривых и суковатых поленьев.

Данные таблицы 3.7 подтверждают ранее сделанные выводы о том, что коэффициенты полндревесности с увеличением толщины поленьев увеличиваются, а с увеличением длины уменьшаются. Коэффициенты полндревесности колотых дров меньше, чем круглых. У дров хвойных пород, которые имеют более правильную форму ствола, чем лиственные породы, коэффициенты полндревесности больше.

При пользовании таблицей 3.7 требуется, кроме длины поленьев, определить их среднюю толщину. Ее устанавливают глазомерно, иногда делают пробный обмер нескольких поленьев и из них выводят среднюю толщину.

При пользовании на практике стандартной таблицей переводных коэффициентов могут возникнуть разногласия, касающиеся плотности и тщательности кладки. В таких случаях коэффициенты полндревесности проверяют путем пробного учета, закладывая контрольные прямоугольники и измеряя торцы поленьев, как описано выше. При этом длина вдоль поленицы должна быть не менее 8 м, а диагональ должна пересечь торцы не менее 60 поленьев.

Длину диагонали, а затем все отрезки, получившиеся в результате пересечения диагональю торцов отдельных поленьев, измеряют с точностью до 0,5 см. Доли менее 3 мм откидывают, а равные 3, 4 и 5 мм принимают за 0,5 см. Длину всех отрезков складывают, сумму их делят на общую длину диагонали и получают коэффициент полндревесности.

Если найденный коэффициент окажется равным установленному таблицей для дров данной длины и толщины или несколько больше, это будет свидетельствовать о хорошей кладке, если меньше – значит кладка плохая, рыхлая.

При закладке пробы на полндревесность для ускорения работы можно измерять на диагонали, прочерченной по торцовой стороне поленницы, не отрезки на торцах поленьев, а пустоты между этими поленьями. Сумма протяжения этих пустот, разделенная на общую длину диагонали, будет выражать ту часть, которая приходится на воздушные прослойки между поленьями. Вычтя величину этой части из единицы, получим коэффициент полндревесности поленницы.

Если длина намеченного прямоугольника занимает все протяжение между двумя соседними клетками, но диагональ пересекает менее 60 торцов поленьев, то в следующей поленнице необходимо наметить дополнительный пробный прямоугольник и по его диагонали измерить пересекаемые торцы поленьев. Сумму протяжения пересекаемых торцов поленьев для обеих диагоналей делят на сумму длин этих диагоналей.

При плотности кладки, не соответствующей приведенным в таблице 6.6 коэффициентам полндревесности, необходимо переложить поленницу или произвести перерасчет ее кубатуры, умножив объем, полученный при обмере, на частное от деления фактического коэффициента полндревесности кладки на коэффициент полндревесности, указанный в стандарте на дрова.

Американские таксаторы Брус и Шумахер отмечают, что из-за большого количества сучков и разной расколки наиболее изменчивы коэффициенты полндревесности дровяных поленниц. Коэффициенты полндревесности балансов более постоянны, так как их заготавливают из срединной и комлевой частей ствола, имеющих более правильную форму, и редко раскалывают.

Профессор М. Продан в курсе «Hoizmesslehre» описывает точечный метод определения полндревесности поленниц. Он сводится к следующему. Торцовую сторону поленницы фотографируют. На полученный при этом фотоснимок накладывают сетку точек, нанесенных на просвечивающуюся полиэтиленовую пленку. По всему полю пленки точки размещены правильными рядами с одинаковым расстоянием друг от друга.

Количество точек, оказавшихся на торцовых срезах поленьев, надо разделить на общее число точек, покрывающих всю фотографию. В итоге получаем коэффициент полндревесности.

### 3.3.3. Учет хвороста

Хворост учитывают в складочной мере. Из-за неправильности формы хворост не удается плотно уложить в поленницы, поэтому он имеет низкие коэффициенты полндревесности. Они значительно ниже, чем у делового коротья и дров. Для толстого хвороста (диаметр 4–6 см, длина 4–6 м) коэффициент полндревесности установлен равным 0,40; для тонкого (диаметр от 4 см, длина от 4 м) – 0,20. При диаметре хвороста до 4 см и длине до 4 м – 0,12. Для самого мелкого хвороста, который обычно называют хмызом, этот коэффициент составляет 0,10. Очищенный хворост имеет коэффициент полндревесности выше на 25 %.

Таким образом, наибольший коэффициент полндревесности имеют окоренные балансы, меньший – рудничная стойка, еще меньший – дрова и наименьший – хворост и мелкие ветки.

## 3.4. Таксация лесоматериалов после первичной обработки

### 3.4.1. Таксация пиломатериалов

Пиломатериалы делятся на пластины, четвертины, брусья, бруски, доски, шпалы и горбыли (рис. 3.7).

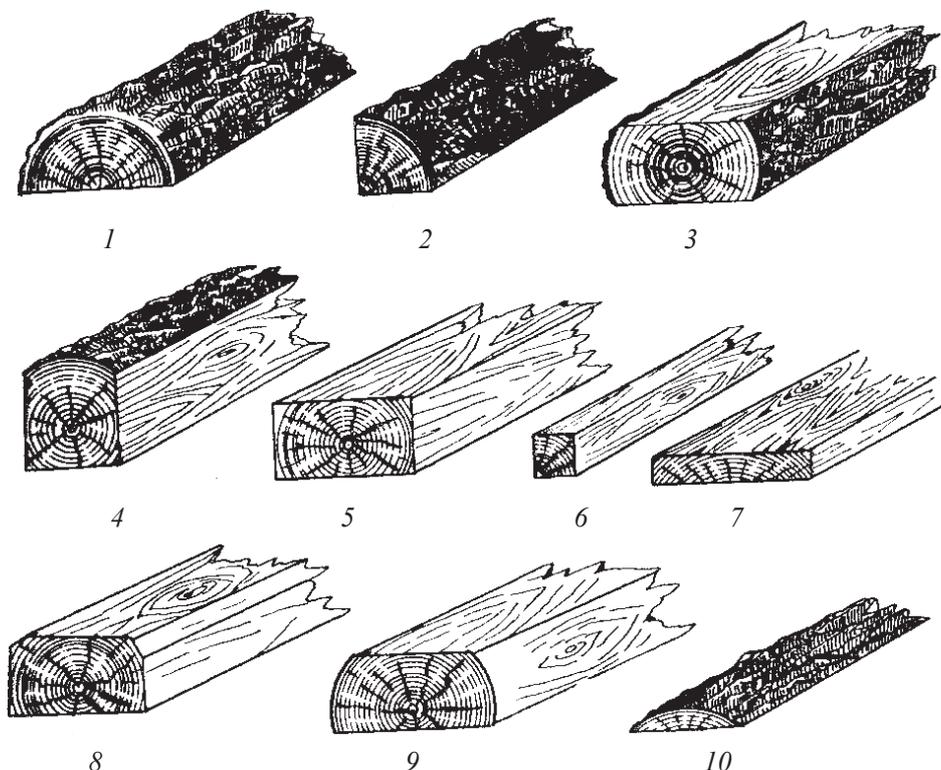


Рис. 3.7. Основные виды пиломатериалов: 1 – пластина; 2 – четвертина; 3 – брус двукантный; 4 – брус трехкантный; 5 – брус четырехкантный; 6 – брусок; 7 – доска; 8 и 9 – шпалы; 10 – горбыль

Пластины получают при распиловке бревна по продольной оси на две симметричные части, четвертины – при распиловке каждой пластины на две симметричные части по продольной оси.

Брусьями называют пиломатериалы толщиной и шириной более 10 см. Соответственно числу пропиленных сторон различают двух-, трех- и четырехкантные брусья, по форме поперечного сечения – остро- и тупокантные.

Бруски представляют собой также пиломатериалы, толщина которых не превышает 10 см, а ширина – двойной их толщины.

К доскам относят пиломатериалы, толщина которых также не более 10 см, но ширина в два раза и более превышает толщину.

Широкие стороны досок и брусков называют пластями, узкие – кромками, линии пересечения пластей с кромками – ребрами.

Кромки у пиломатериалов могут быть не пропилены, либо пропилены по всей длине или части длины перпендикулярно обоим пластям. В соответствии с этим пиломатериалы разделяют на обрезные, у которых обе кромки пропилены по всей длине или не менее чем на половину длины, и необрезные, у которых кромки совершенно не пропилены или пропилены менее чем на половину длины.

Пиломатериалы, имеющие форму геометрически правильного параллелепипеда, называются чистообрезными.

Остатки округленной боковой поверхности бревен на кромках пиломатериалов называют обзолами. С пластями досок обзолы могут сходиться под тупым углом (тупые обзолы) и острым углом (острые обзолы).

Шпалы представляют собой особый вид пиломатериалов, имеющий крупное поперечное сечение, и служат для укладки под рельсы железных дорог. Шпалы разделяют на три основные категории: брусковые (*A*), обрезные (*B*) и прямоугольные (*B*). Брусковые шпалы выпиливают только по одной из шпального отреза или тюльки, а обрезные по две и более. Из середины толстых тюлек выпиливают доску, в которую отходит сердцевина ствола. По форме и размерам поперечных сечений шпалы делятся на пять типов, обозначаемых римскими цифрами. В настоящее время деревянные шпалы заготавливаются редко.

Горбылями называют срезанную наружную часть бревна, у которой другая поверхность остается необработанной. Выпиливаемые из твердых лиственных пород мелкие дощечки, используемые для настила полов, называются паркетом. Паркет учитывается в квадратных метрах.

Правила приемки, методы контроля, сортировка, маркировка и транспортирование пиломатериалов регулируются СТБ 2427-2015. На лесных складах и биржах пиломатериалы укладывают в штабеля. На больших складах и биржах доски различной длины, ширины и толщины укладывают в разные штабеля. Каждому штабелю присваивают отдельный номер и в учетных ведомостях записывают число досок в штабеле. Такой порядок сортировки и укладки досок облегчает их учет и все складские операции, связанные с реализацией пиломатериалов.

Единицей учета экспортных пиломатериалов является ленинградский стандарт, равный 165 куб. футам, что в метрических мерах составляет 4,672 м<sup>3</sup>. Ленинградский стандарт как единица измерения применяется во всей европейской торговле пиломатериалами, за исключением стран средиземноморского бассейна, в котором пиломатериалы учитывают в метрических мерах. В отдельных случаях используют досковый фут. Но эта единица измерения у нас не применяется.

### 3.4.2. Определение объема пиломатериалов

Определить объем пиломатериалов гораздо легче, чем объем круглого леса. Пиломатериалы чаще всего имеют геометрически правильную форму, поэтому объем их может быть найден путем умножения длины на толщину и ширину:

$$V = stl, \quad (3.14)$$

где  $s$  – ширина пиломатериалов, см;

$t$  – толщина, мм;

$l$  – длина, м.

На практике в каждом случае проделывать подобные вычисления сложно, поэтому составлены таблицы, в которых даны объемы пиломатериалов разной длины, толщины и ширины. Часть такой таблицы в качестве примера дана ниже (таблица 3.8).

Преимущество таблиц объемов пиломатериалов перед таблицами объемов бревен заключается в том, что по ним можно найти с некоторыми дополнительными вычислениями объемы пиломатериалов, имеющих размеры, не указанные в таблице 3.8. Например, если требуется определить объем досок длиной 3 м, то достаточно из объема досок длиной 7 м вычесть объем досок длиной 4 м. Можно также увеличить в три раза объем досок длиной 1 м. Для сокращения счетных работ применяются вспомогательные таблицы, в которых показано, сколько досок разных размеров содержится в 1 м<sup>3</sup>.

**Объем досок и брусков толщиной 45 мм,  
шириной от 10 до 15 см и длиной до 9 м**

Ширина брусков и досок, см	Длина брусков и досок, м								Ширина брусков и досок, см
	1	4	4,5	5	6,5	7	8,5	9	
	объем, м <sup>3</sup>								
10	0,004 50	0,018 0	0,020 2	0,022 5	0,029 2	0,031 5	0,038 2	0,040 5	10
11	0,004 95	0,019 8	0,022 3	0,024 8	0,032 2	0,034 6	0,042 1	0,044 6	11
12	0,005 40	0,021 6	0,024 3	0,027 0	0,035 1	0,037 8	0,045 9	0,048 6	12
13	0,005 85	0,023 4	0,026 3	0,029 2	0,038 0	0,041 0	0,049 7	0,052 6	13
14	0,006 30	0,025 2	0,028 4	0,031 5	0,041 0	0,044 1	0,053 6	0,056 7	14
15	0,006 80	0,027 0	0,030 4	0,033 8	0,043 9	0,047 2	0,057 4	0,060 8	15

Для пиломатериалов устанавливается припуск на усушку по их ширине и толщине, что необходимо учитывать при приемке. Величина этого припуска колеблется от 2,5 до 7 %, причем с увеличением ширины и толщины пиломатериалов припуск уменьшается.

Величина припуска в расчет кубатуры пиломатериалов не входит. Например, доски, имеющие фактическую ширину 205 мм, считаются шириной 200 мм. Разница 5 мм в данном случае и есть припуск на усушку.

При определении кубатуры необрезных досок ширину их надо измерять на середине длины. Так как ширина этих досок на правой и левой сторонах может быть неодинаковой, то при обмере их надо брать среднее между шириной обеих сторон. Объем необрезных досок определяют по их длине, ширине и толщине при помощи тех же таблиц, что и для чистообрезных пиломатериалов.

У острокантных брусьев поперечное сечение квадратное или прямоугольное, поэтому площадь его находят путем решения простой геометрической задачи. Тупокантные брусья в поперечном сечении не имеют вершин углов, поэтому площадь таких поперечных сечений оказывается меньше соответствующего квадрата или прямоугольника.

Для определения поперечного сечения тупокантного бруса надо его толщину  $a$  умножить на ширину  $b$  и из полученного произведения вычесть площадь недостающих четырех прямоугольных равнобедренных треугольников, у которых одна сторона  $l$  является гипотенузой. Площадь этих треугольников в сумме равна  $l^2$ . Формула для определения площади поперечного сечения тупокантного бруса следующая:

$$\gamma = ab - l^2. \quad (3.15)$$

Объем тупокантного бруса будет равен:

$$V = (ab - l^2)L. \quad (3.16)$$

При определении объема тупокантного бруса по этой формуле поперечное сечение берется на середине бруса.

Объем острокантного бруса может быть найден по обычным объемным таблицам пиломатериалов или по формуле (3.14).

Величину  $l^2$  надо выражать в процентах от поперечного сечения острокантного бруса:

$$p = \frac{100l^2}{ab}. \quad (3.17)$$

В этом случае при нахождении объемов тупокантных брусьев в зависимости от величины недостающих углов с табличных объемов надо сделать соответствующую скидку в процентах.

Если у брусьев величина  $l$  (обзол) составляет более  $1/5$  их толщины  $a$ , то площадь сечения находят по формуле:

$$\gamma = \frac{u^2}{4\pi} \approx \frac{u^2}{13}, \quad (3.18)$$

где  $u$  – периметр сечения бруса на его середине.

При определении объемов тупокантных брусьев вместо площади срединного сечения можно брать полусумму нижнего и верхнего сечений, находимых тем же способом. Преимущество этой замены состоит в том, что измерения удобнее производить в торцах, чем на середине брусьев.

Объем горбыля определяют по следующей формуле:

$$V = g_{0,4L}L, \quad (3.19)$$

где  $L$  – длина горбыля;

$g_{0,4L}$  – площадь поперечного сечения горбыля, взятая на  $0,4$  длины от конца горбыля.

Площадь поперечного сечения горбыля определяют по следующей формуле:

$$g = \frac{2}{3}at, \quad (3.20)$$

где  $a$  – ширина горбыля;

$t$  – толщина.

Обрезные и прямоугольные шпалы представляют собой тупо- и острокантные брусья, способы определения объемов которых описаны выше. Для определения объемов брусковых шпал применяют формулы срединного и среднего сечений.

Для нахождения площадей поперечных сечений торцовый срез надо разделить на отдельные части и определить площадь каждой из этих частей. Наиболее целесообразно в торцовый срез шпалы вписать трапецию (рис. 3.8), тогда определение площади поперечного сечения сведется к определению площади трапеции и двух боковых сегментов:

$$g = \frac{a+b}{2}t + \frac{12 \cdot 2lh}{3} = \frac{a+b}{2}t + \frac{4lh}{3},$$

где  $a$  – ширина верхней постели;

$b$  – ширина нижней постели;

$t$  – толщина шпалы;

$l$  – длина непараллельной стороны трапеции, вписываемой в поперечное сечение шпалы;

$h$  – высота боковых сегментов.

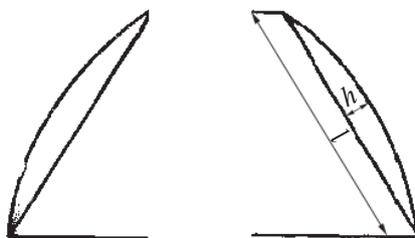


Рис. 3.8. Определение площади поперечного сечения шпалы

Все вышеприведенные вычисления обычно проводят при научных исследованиях. В практике для учета всех перечисленных материалов применяют специальные вспомогательные таблицы.

### 3.4.3. Отходы и потери древесины

Выработка пиломатериалов неизбежно связана с отходами и потерями древесины. Выход пилопродукции зависит от степени рациональности распиловки, способа распиловки, размера бревен, их качества, размеров вырабатываемых пиломатериалов и многих других причин. По данным профессора А. Н. Песоцкого, при распиловке бревен толщиной 20–22 см на чистообрезные оторцованные доски выход пилопродукции составляет всего 61 % от общего объема бревен, отходы – 33 % и безвозвратные потери – 6 %. По отдельным видам продукции и отходов объем бревен, принятый за 100 %, распределяется следующим образом, %:

доски длиной 4 м и более .....	50;
- « - от 1 до 3,5 м .....	5;
тарные дощечки, планки и т. п. ....	6; .....
дровяные горбыли и рейки .....	20;
срезы торцов .....	2;
усушка и распыливание древесины.....	6;
опилки.....	11.

Выход пиломатериалов зависит от диаметра распиливаемых бревен. По исследованиям работников Ленинградской (в настоящее время Санкт-Петербургская) лесотехнической академии из бревен разной толщины получаются следующие выходы чистообрезных досок:

диаметр бревен, см	14	16	20	24	28	32	36	40	44
выход чистообрезных досок, % от объема сырья	53,1	54,8	57,6	59,4	60,6	61,5	62,3	63,1	63,9

Необходимо также иметь в виду, что пиловочные бревна заготавливают в коре, которая не входит в кубатуру и при распиловке идет в отходы. Затем следует учитывать припуск по длине, составляющий около 1 % от объема бревен. Допускаемый же в бревнах припуск, как мы уже говорили, в кубатуру получаемых пиломатериалов также не входит.

При распиловке бревен на шпалы выход шпал составляет 52–60 %, досок 8–15 % и горбылей 7–15 %. Из 1 м<sup>3</sup> шпальника в среднем вырабатывают 6–7 шпал.

В настоящее время отходы от переработки древесины являются ценным топливным сырьем. Из них (в основном из опилок) изготавливают топливные паллеты и брикеты, являющиеся важной статьей экспорта. Отходы древесины могут быть также исходным сырьем для получения различных плитовых материалов или для химической переработки. В Беларуси в результате обработки древесины образуется до 2,5 млн м<sup>3</sup> отходов. В настоящее время они используются практически полностью.

### 3.4.4. Таксация колотых, тесаных, строганных и лущеных лесоматериалов

#### Общие сведения

К колотым сортаментам относятся клепка, болванки, колесный обод, спицы, санный полз и бруски для специальных сортаментов. Все эти сортаменты следует считать колотыми лишь условно, так как большую часть их вырабатывают путем пиления. Выкалывание – очень трудоемкий процесс, сопровождающийся огромным количеством отходов, достигающих 88 % от объема сырья, например, при изготовлении болванок. Поэтому выкалывание сегодня практически не применяется.

Клепка – это прямоугольные дощечки и бруски, предназначенные для изготовления бочек. Клепка для изготовления боковой части бочек называется боковником, для изготовления днищ – донником. Выход колотой клепки составляет около 30–40 % от объема сырья.

Болванками называют отесанные топором отрезки ствола, имеющие форму получаемых из них изделий.

Обод – это наружная деревянная часть колеса, охватывающая спицы. Обод может быть цельногнутой, то есть выработанный из одного выколотого бруска, или в виде косяков, составленных из нескольких выколотых или выпиленных частей.

Санний полоз вырабатывают путем отесывания пластин и четвертин.

К числу строганных сортиментов относится один из ценнейших видов продукции, получаемой из чураков твердолиственных пород, – строганная фанера. Она служит для облицовки мебели.

Клееную фанеру изготавливают, склеивая три и более листа шпона, полученного путем лущения кражей. Листы шпона склеивают так, чтобы в смежных листах древесные волокна были взаимно перпендикулярны.

### **3.4.5. Единицы учета и определение объема колотых и тесаных лесоматериалов**

Клепка для изготовления пивных, винных и иных наливных, а также сухотарных бочек бывает пиленая и колотая. Хотя качество колотой клепки выше, но из-за высокой трудоемкости и низкого выхода готового материала она почти не производится, и предпочтение отдается пиленой клепке.

При сдаче-приемке клепки боковник и донник должны быть уложены в отдельные клетки перекрещивающимися рядами. Приемку производят путем осмотра и обмера пробы, которая составляет до 10 % предъявленной к сдаче партии. Учитывается клепка поштучно или в плотных кубических метрах. Объем ее определяют по специальным таблицам. При определении кубатуры ширину клепки учитывают с точностью до 1 см, причем доли менее 0,5 см отбрасывают, доли 0,5 см и более принимают за целый сантиметр.

Объем болванок, как и других изделий, имеющих неправильную форму, может быть найден весовым способом: вес изделий делят на объемный вес данной древесной породы, что дает объем изделий в кубических метрах.

Сортименты, имеющие сложное сечение, вырабатывают согласно установленным стандартам, предусматривающим строго определенные размеры. Путем детальных обмеров отдельных частей таких изделий исчисляют их объем, который является постоянной величиной и указывается в самом стандарте.

Приемку обода производят путем поштучного осмотра и обмера. Допускается также выборочная приемка – обмер пробы, составляющей не менее 5 % от сдаваемой партии. Учет обода ведут комплектами: по одному колесу, по паре колес, по станам (четыре колеса). Санний полоз учитывают парами.

### **3.4.6. Таксация прочих видов лесной продукции**

Одним из ценнейших видов продукции, особенно получаемых из твердолиственных пород, является строганная фанера. Она изготавливается путем строгания чураков на специальных станках и служит для облицовки мебели. Высушенные листы этой фанеры укладывают по видам и сортам в пачки. Ширину фанерных листов измеряют с точностью до 1 см по середине длины среднего листа пачки, причем доли менее 0,5 см отбрасывают, а доли 0,5 см и более принимают за целый сантиметр. Длину фанеры измеряют с точностью до 0,1 м; доли менее 5 см отбрасывают, а доли 5 см и более принимают за 0,1 м. Толщину фанеры измеряют на расстоянии 25 см от концов листа. Учитывают фанеру в квадратных метрах.

Наиболее распространенным видом фанеры является клееная фанера. Ее учитывают в кубических и квадратных метрах. Объем отдельного листа определяют с точностью до 0,00001 м<sup>3</sup>,

а объем партии фанеры – до 0,01 м<sup>3</sup>. Площадь отдельного листа фанеры учитывают с точностью до 0,01 м<sup>2</sup>, площадь партии листов – до 0,5 м<sup>2</sup>. Результат измерений записывают в виде дроби: в числителе – объем, в знаменателе – площадь листов фанеры.

Из древесины получают также древесный уголь. В Беларуси древесный уголь в последнее время становится статьей экспорта. Выход угля составляет 50–60 % от объема пережигаемой древесины. Насыпной кубический метр соснового угля весит 135–145 кг, елового – 120–130 кг.

Широко используется также кора многих древесных пород: для дубления кожи (кора дуба), изготовления тарных материалов (березы и других пород), укупорочных материалов, теплоизоляционных плит (пробкового дуба, амурского бархата), для получения мочала (липы). Из коры некоторых древесных пород вырабатывают ценные химические вещества: деготь (кора березы) и др.

Кору, намеченную к отправке по железной дороге, прессуют в кипы весом до 80 кг. Учет ведут по весу (в тоннах). Влажность коры не должна превышать 20 %.

Средний выход коры с 1 пл. м<sup>3</sup> древесины разных пород следующий, кг:

Дуба:

в сыром состоянии ..... 32–40

в воздушносухом состоянии ..... 20–24

Ели:

в сыром состоянии ..... 40–48

в воздушносухом состоянии ..... 25–27

Березы (верхний слой – береста) ..... 13

Липы:

луба ..... 45

воздушносухого мочала ..... 26–32

Бархата амурского ..... 4

Вес 1 пл. м<sup>3</sup> дубовой коры в свежем состоянии – 0,22 т, в воздушносухом – 0,13 т, еловой коры соответственно – 0,56 и 0,28 т. Вес 1 пл. м<sup>3</sup> пробки – 25 кг.

Обобщая изложенное, видим, что работа по учету готовой лесопродукции технически простая, но очень ответственная. Специалистам лесного хозяйства в процессе работы придется постоянно иметь дело с учетом заготовленной лесопродукции. Эта работа требует аккуратности и внимательности, как и любой учет материальных ценностей, имеющих высокую стоимость. Иногда придется выступать истцом или ответчиком по вопросам недостачи лесопродукции. Поэтому важно хорошо знать методы ее учета.

Основные положения по учету готовой лесопродукции следующие:

- отдельные виды лесной продукции называются сортиментами;
- заготовленная лесопродукция делится на деловые сортименты и дрова. Учет деловой древесины проводят без коры, дров в коре;
- лесопродукция по своему назначению делится на классы: круглые лесоматериалы, дрова, пиленые лесоматериалы, сортименты, полученные строганием, лущением, сортименты из коры и т. д.;
- заготовленные сортименты должны соответствовать стандартам Беларуси – СТБ;
- уменьшение диаметра дерева (бревна) от комля к вершине называется сбегом. Различают абсолютный и относительный сбеги. Абсолютный сбеги равен разности между диаметрами двух сечений ствола, отстоящих одно от другого на 1 м, относительный сбеги есть разница в процентах между диаметром на некоторой высоте с диаметром на 1,3 м;
- учет заготовленных бревен на практике проводят по специальным таблицам (кубатурникам). Входами в таблицы являются длина бревна и его диаметр (без коры) в верхнем отрезе;

- более короткие бревна в названных таблицах учитывают точнее длинных. При разрезании длинного бревна (например, длиной 6–9 м) на 2–3 части объем древесины, определяемой по действующим таблицам возрастает до 5–6 %, что является недостатком этих таблиц;

- вершинные бревна из-за сильного сбega таксированы по названным таблицам со значительным преуменьшением объемов. Они должны учитываться по специальным таблицам для вершинных бревен;

- в отдельных случаях объем бревна можно определить по длине и диаметру на середине бревна по формуле Губера. Хотя этот метод более точен, чем учет через замеры диаметра в верхнем отрезе, но в практике он не применяется из-за низкой технологичности: надо раскатить штабель, найти середину бревна, снять кору;

- деловые сортаменты делятся на мелкие (диаметр в верхнем отрезе 6–13 см), средние (14–24 см) и крупные (26 см и более);

- обмер круглого леса производится в соответствии с действующими стандартами. По длине делается припуск до 1 % длины, для пиловочника – 3 см. Хвойные сортаменты имеют градацию по длине 0,25–0,5 м, лиственные – 0,1 м, по диаметру градация составляет 1 см для мелких и 2 см для средних и крупных сортаментов;

- обмеренная древесина маркируется в соответствии с требованиями стандартов;

- деловое коротье и дрова укладываются в поленницы и измеряются в складочных м<sup>3</sup>. Для перевода в плотные м<sup>3</sup> существуют переводные коэффициенты. Для делового коротья и дров они близки к 0,7, для хвороста колеблются от 0,1 до 0,15 в зависимости от длины и толщины хвороста. При необходимости (споры и т. п.) коэффициент полндревесности измеряется путем замера 40–60 торцов бревен или поленьев и рассчитывается по специальной методике;

- деловая лесопродукция делится на три сорта. Отнесение к тому или иному сорту определяется наличием пороков, главными (наиболее часто встречающимися) являются сучья, кривизна и ядровые гнили. Нормативы пороков древесины для разделения по сортам регламентируются СТБ (1711-2007 и 1712-2007);

- при таксации дров надо внимательно следить за плотностью укладки поленниц;

- таксация дров ведется по группам в зависимости от их качества, определяемого теплотой сгорания: твердолиственные, береза и лиственница; сосна и ольха; прочие породы. Толщина отдельных поленьев дров от 3 до 14 см;

- пиленые, колотые и иные лесоматериалы классифицируются по стандарту и учитываются по специальным таблицам их объемов в соответствии с действующими стандартами;

- отходы от переработки древесины являются ценным сырьем для производства топлива: паллеты, брикеты и т. д.

Вся учтенная древесина, которая подлежит реализации, находит отражение в единой государственной автоматизированной информационной системе учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС). Эта система показывает, куда отгружена древесина, куда реализована и где находится в настоящий момент, т. е. эта система является автоматизированной системой бухгалтерского учета древесины.

---

---

## Глава 4

# ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ. ПЕРЕЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТАКСАЦИЯ ДРЕВОСТОЕВ

---

---

4.1. Система таксационных показателей насаждений.

4.2. Основные таксационные показатели древостоев.

4.3. Перечислительная таксация древостоев.

4.4. Строение древостоев.

---

---

### 4.1. Система таксационных показателей насаждений

Все лесные насаждения характеризуются определенными показателями – составом, высотой, возрастом и т. д. С древних времен люди выделяли отдельные участки леса и давали им названия: хвойник, рамень, дубняк, бор, роща, мшара, урман и т. д. С течением времени прошла систематизация признаков лесных насаждений. Особенно нужной эта работа стала, когда начались систематические описания лесных участков и массивов, появились лесные карты. Этот период начался еще в средние века, получил развитие в конце XVIII – первой половине XIX в. Особенно острой стала необходимость установления таксационных показателей древостоев в связи с развитием торговли лесом со второй половины XIX в., тогда потребовалось проводить лесоустройство и вести хозяйство в лесах.

Участки леса, даже находящиеся в непосредственной близости, могут существенно отличаться по составу, возрасту, высоте и т. д. В то же время многие участки леса, расположенные в разных частях лесного массива, могут иметь сходные или почти одинаковые признаки. Все это вынуждает сделать их классификацию. Поэтому при учете леса необходимо разделить его на таксационные выделы. **Таксационный выдел** – однородная по таксационной характеристике часть лесного фонда, выделяемая на картографических материалах лесоустроительного проекта.

**Лесные насаждения** (в соответствии с Лесным Кодексом Республики Беларусь, 2015 г.) – произрастающая на территории лесного фонда древесно-кустарниковая растительность определенного породного состава и живой напочвенный покров.

Основанием для выделения насаждений служит прежде всего различие в характере древостоя. Понятия «насаждение» и «древостой» хотя и близки между собой, но не аналогичны. Понятие «насаждение» шире, чем «древостой». В то же время эти понятия часто употребляют как синонимы, что неправомерно.

Для разделения многообразного лесного ландшафта на однородные части, или насаждения, необходимо располагать соответствующим методом. Основу его составляет система особых показателей, или таксационных признаков, при помощи которых для каждого насаждения или древостоя составляют таксационную характеристику, отражающую особенности строения леса, его хозяйственную и промышленную ценность.

Лесным кодексом лесоустройство определено как система инвентаризации лесного фонда, проектирования лесохозяйственных и иных мероприятий, направленных на охрану, защиту и воспроизводство лесов, рациональное (устойчивое) использование лесных ресурсов, сохранение и усиление средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных и иных функций лесов, проведение единой научно-технической политики в лесном хозяйстве. При лесоустройстве дается таксационная характеристика насаждения. Таксационная характеристика – комплекс определяемых в соответствии с требованиями, установленными республиканским органом государственного управления по лесному хозяйству, показателей лесных насаждений, характеризующих их породную и возрастную структуру, состояние, продуктивность, биологическую устойчивость, экологическую, рекреационную и потребительскую ценность (ст. 1.54 Лесного Кодекса).

При лесоустройстве участки леса разделяют на таксационные выделы, которые характеризуются таксационной характеристикой. Таксационный выдел – однородная по таксационной характеристике часть лесного фонда, выделяемая на картографических материалах лесоустроительного проекта. Таксационные выделы определяются по таксационным показателям в соответствии с «Правилами проведения лесоустройства лесного фонда». При этом разделение на таксационные выделы покрытых лесом земель производится, если лесные насаждения различаются происхождением, строением, породным составом, возрастом, полнотой, классом бонитета, средним диаметром и высотой, классом товарности, типом леса, проектируемыми лесохозяйственными мероприятиями, количеством подроста, обеспечивающего лесовосстановление главной древесной породой.

Поэтому для характеристики насаждений определяют следующие таксационные показатели:

- форму (строение) насаждений;
- состав насаждений, отражающий соотношение древесных пород, образующих насаждение;
- бонитет насаждений;
- возраст насаждения и отдельных его частей (по породам, ярусам);
- средний диаметр деревьев, образующих насаждение в целом, а также отдельных его частей: ярусов, отдельных древесных пород;
- среднюю высоту насаждения в целом и отдельных древесных пород;
- полноту насаждения в целом и его отдельных частей;
- запас или количество древесины на единице площади насаждения в целом и отдельных его частей: ярусов, древесных пород;
- класс товарности насаждения или его частей;
- элементы леса, представляющие собой древостой, однородный по высоте, возрасту и породе;
- тип леса и тип условий местопроизрастания – особый показатель, характеризующий естественно-исторические условия произрастания данного насаждения;
- подрост;
- подлесок.

Сводная ведомость, включающая таксационную характеристику каждого выдела, называется **таксационным описанием**. Таксационное описание дает представление о характере леса, особенности его строения, имеющейся в нем древесине и ее производственной ценности. При наличии таксационного описания отпадает необходимость каждый раз при решении каких-нибудь хозяйственных вопросов осматривать леса в натуре. При разграничении леса на отдельные участки руководствуются различиями, обнаруживаемыми в таксационных показателях. Рассмотрим каждый из таксационных показателей подробно.

## 4.2. Основные таксационные показатели древостоев

### 4.2.1. Происхождение насаждений

По происхождению насаждения делятся на естественные (семенные и порослевые) и искусственные (лесные культуры). Отнесение естественных насаждений смешанного происхождения к категории семенных или порослевых производится по преобладанию в них деревьев того или иного происхождения. При этом насаждение считается созданным искусственно, если деревья искусственного происхождения составляют в нем не менее 1/3 состава.

К *искусственным насаждениям* относятся лесные культуры, созданные посевом или посадкой и переведенные в покрытые лесом земли, а также насаждения, созданные в порядке реконструкции и достигшие показателей, соответствующих установленным нормативам перевода лесных культур в покрытые лесом земли.

Несомкнутые лесные культуры, в том числе и созданные реконструкцией, учитываются отдельными видами земель.

Отнесение при таксации культур к покрытым лесом землям осуществляется по нормативам, утверждаемым республиканским органом государственного управления в области лесного хозяйства.

Деревья в искусственно созданных насаждениях большей частью имеют примерно одинаковый возраст. В древостоях, созданных посадкой, деревья обычно расположены рядами. При прочих равных условиях искусственные насаждения почти всегда имеют большую плотность смыкания крон и большую плотность заселения занятого ими пространства.

Искусственные древостои в первую очередь создаются в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства, куда входят и леса Беларуси. В нашей стране лесов искусственного происхождения около 25 %. Суходольные сосновые леса последних десятилетий возобновлялись почти исключительно искусственным путем.

В процессе роста на участках лесных культур может появиться налет семян, пневая поросль и т. д., то есть вырастут деревья естественного происхождения. Поэтому в практике иногда бывает сложно определить происхождение насаждений. В древостоях старшего возраста (50–60 лет и старше) ряды не всегда просматриваются четко. Очень трудно найти ряды при создании культур посадкой в площадки.

В естественных древостоях, восстановившихся на местах лесосек главного пользования, иногда можно обнаружить ряды, которые появились на местах минерализации почвы при трелевке или вывозке. Бывает, что лесоводы делали содействие естественному возобновлению, проводя борозды. Тогда тоже будут просматриваться ряды.

В отличие от хвойных насаждений, лиственные древостои возникают как семенным путем, так и от поросли или от корневых отпрысков. При таксации таких насаждений необходимо учитывать, какая из этих категорий деревьев преобладает в насаждении.

Деревья семенного происхождения чаще всего имеют прямой ствол. У деревьев порослевого происхождения нижняя, более ценная часть ствола, почти всегда искривлена. Порослевые деревья возникают из спящих почек на пнях материнских деревьев и вследствие этого имеют гнездовое расположение. Порослевые деревья осины чаще всего возникают из ее корневых отпрысков. Часто они располагаются ровной линией вдоль длинных корней этого дерева, что свидетельствует об их порослевом происхождении.

Техническая ценность древесины семенных и порослевых деревьев различна. Более ценные и высококачественные сортаменты чаще всего заготавливают из лиственных деревьев семенного происхождения.

Быстрота роста семенных и порослевых древостоев не одинакова. Порослевые деревья в первый период своей жизни питаются за счет мощной корневой материнской системы, через которую получают нужное количество влаги и минеральных веществ, поэтому растут быстрее, чем семенные насаждения.

Но порослевые древостои раньше перестают расти, чем семенные, и, кроме того, они довольно часто поражаются разными болезнями, главным образом внутренней гнилью. Из-за раннего прекращения роста и фауности порослевые насаждения бывают обычно в худшем состоянии, чем семенные, и поэтому их надо назначать в рубку в более раннем возрасте.

Особенно сильно порослевые древостои уступают семенным, если насаждение возобновляется порослевым путем многократно на одном и том же участке. Такие порослевые древостои определенной породы именуют насаждениями второй, третьей и т. д. генераций. При каждой последующей генерации порослевых насаждений их биологические и технические качества ухудшаются.

Порослевые древостои с возрастом изреживаются быстрее, запас древесины в приспевающих и спелых насаждениях меньше, и деревья отмирают раньше, чем в семенных. В лиственных порослевых насаждениях доля семенных деревьев с возрастом увеличивается. Хозяйство, ведущееся в семенных древостоях, называется высокоствольным, в порослевых – низкоствольным.

В одном выделе часто одновременно встречаются семенные и порослевые деревья. В этом случае происхождение древостоя на выделе записывают по преобладанию тех или иных деревьев. Сделать это, особенно в старшем возрасте, затруднительно, и потому от таксатора требуется особое внимание.

#### 4.2.2. Форма (вертикальное строение) насаждений

По строению лесные насаждения разделяются на простые – одноярусные, и сложные – многоярусные. Выделение ярусов в лесных насаждениях производится при следующих условиях:

- полнота каждого яруса должна составлять не менее 0,3;
- разница в средних высотах ярусов – не менее 20 %;
- высота нижнего яруса – не менее 1/4 высоты верхнего яруса.

Во всех остальных случаях нижний полог лесного насаждения таксируется подростом. Основным считается ярус, имеющий больший запас на 1 га, а при равенстве запасов – большее хозяйственное значение.

Ярусность насаждений является следствием различия биологических свойств лесной растительности и условий среды. Каждый ярус чаще всего имеет определенный видовой состав. Отдельные деревья той породы, которая находится в верхнем ярусе, могут отставать в росте от основной массы деревьев и оставаться ниже общего полога, что вносит неопределенность в выделение ярусов.

Деление насаждений на ярусы преследует двоякую цель:

- 1) уточнить таксационную характеристику;
- 2) выделить части, в которых будут проводиться разные лесохозяйственные мероприятия.

Например, в лиственно-еловых насаждениях задачей хозяйства может быть постепенная вырубка верхнего – лиственного яруса и осветление второго – елового.

К вопросу о расчленении насаждений на ярусы следует подходить диалектически. Надо иметь в виду, что между ярусами наблюдается зависимость. При наличии густого верхнего яруса второй ярус бывает более изреженным.

Насаждения, состоящие из одного верхнего яруса, образуются чаще всего в тех случаях, когда верхний ярус исключает возможность развития второго яруса. Например, еловые леса

из-за биологических особенностей этого вида создают такое сильное затенение, при котором не может расти второй ярус.

В насаждениях, в верхнем ярусе которых произрастает светолюбивая порода, например, сосна, в нижнем при соответствующих почвенных условиях могут расти дуб, ель, липа и др. В насаждениях с преобладанием в верхнем ярусе дуба, вяза, ясени второй ярус составляют яблоня, груша, клен, граб и др.

В насаждении, состоящем из деревьев одной породы, может образоваться несколько ярусов. В этом случае в верхнем ярусе будут деревья старшего возраста, а во втором и всех последующих – более молодые.

Многоярусные насаждения из нескольких возрастных поколений чаще всего образуют теневыносливые древесные породы. К их числу в первую очередь относятся темнохвойные леса – из ели и пихты. Однако резко выраженного деления на ярусы в таких насаждениях не наблюдается. Сомкнутость полога в них вертикальная.

Деревья, образующие отдельные ярусы, различаются по величине и при рубке могут быть использованы для заготовки сортиментов разного назначения: деревья верхнего яруса для пиловочника, шпального бревна, строительных бревен и других крупных сортиментов; деревья нижних ярусов – мелких деловых сортиментов: рудничной стойки, балансов, жердей и др.

Деление на ярусы имеет хозяйственное значение, и поэтому в каждом выделенном ярусе должен быть более или менее значительный запас. Если тот или иной ярус имеет малый запас, при котором проводить специализированное лесохозяйственное мероприятие с экономической точки зрения нецелесообразно, его не выделяют. Также не выделяют ярусы при отсутствии различий в их товарной структуре и незначительной разнице в средней высоте деревьев.

В лесоводственной науке принято считать многоярусные насаждения более продуктивными и устойчивыми. Многоярусными обычно бывают разновозрастные древостои. Особенно это характерно для естественных лесов Сибири и Дальнего Востока, где нет интенсивной хозяйственной деятельности: кедровников, насаждений сосны и лиственницы, ели, пихты. В Беларуси распространены двухярусные сосново-еловые и березово-еловые древостои. Они полнее используют солнечную энергию и почвенный потенциал, так как корни сосны и ели располагаются на разном уровне. Правда, сосущие корешки сосны тоже тяготеют к более богатому питательными веществами горизонту  $A_1$ . Создание лесных культур обычно ведет к формированию одноярусных древостоев. Многоярусные насаждения, как правило, возникают естественным путем.

### 4.2.3. Состав насаждений

Перечень древесных пород в древостое с указанием доли участия каждой из них в общем запасе называется **составом насаждения**. Если оно образовано одной древесной породой, название этой породы и определяет его состав.

Насаждение, состоящее из одной породы, называется **чистым**, из двух или нескольких пород – **смешанным**.

Для основных лесобразующих древесных пород устанавливаются следующие сокращенные обозначения: сосна – С, ель – Е, пихта – П, лиственница – Л, кедр – К, дуб – Д, бук – Бк, граб – Г, ясень – Я, клен – Кл, ильм – Ил, вяз – В, берест – Бр, береза – Б, осина – Ос, ольха черная – Олч, ольха серая – Олс, липа – Лп, тополь – Т, ива – Ив (ивы древовидные – Ивд, ивы кустарниковые – Ивк).

Породный состав простого насаждения или яруса в сложном насаждении устанавливается по доле участия запасов составляющих древесных пород. Он записывается формулой, в которой приводятся сокращенные обозначения древесных пород и доли участия древесной породы в составе. Эта доля выражается в виде коэффициента состава. Он представляет собой

целое число. Каждая единица в этом числе соответствует 10 % участия конкретной породы в общем запасе. Весь запас древостоя принимается здесь за 100 %.

Древесные породы, запас которых составляет до 5 % от общего запаса насаждения (яруса), записываются в формуле состава знаком «+» (плюс). В многоярусных насаждениях породный состав устанавливается для каждого яруса. Единичные деревья (семенники, перестой и другие), отличающиеся от основного яруса по возрасту более чем на два класса, резко различающиеся по высоте и диаметру, в состав древостоя не вводятся, а учитываются отдельно как единичные деревья.

В несомкнувшихся культурах, а также в молодняках до 20 лет породный состав устанавливается по соотношению числа стволов составляющих пород.

Если в пологе молодняка имеются подлесочные породы, то они в формулу состава не вводятся и не учитываются при определении полноты.

Важнейшей задачей таксации леса является правильное определение преобладающей и главной породы и отнесение таксируемого насаждения к хвойным, твердолиственным или мягколиственным группам пород.

**Главной породой** в насаждении считается та древесная порода, которая в определенных лесорастительных и экономических условиях наилучшим образом отвечает хозяйственным целям.

**Преобладающая порода** – это древесная порода, на долю которой приходится большая часть запаса стволовой древесины на таксационном выделе.

**Главная порода считается преобладающей**, если доля ее запаса в средневозрастных, приспевающих, спелых насаждениях составляет 5/10, для дуба, клена, ясеня, липы и других особо ценных древесных пород – 4/10 общего запаса насаждения (яруса).

При наличии в составе простого насаждения или яруса в сложных насаждениях нескольких хозяйственно-ценных хвойных или твердолиственных пород древостой относится соответственно к хвойному или твердолиственному насаждению, если суммарный запас хвойных пород составляет не менее 5/10, а твердолиственных – 4/10 общего запаса насаждения (яруса).

**В молодняках преобладающей породой** считается главная порода при доле ее участия во втором классе возраста на 1/10, а в первом классе возраста на 2/10 меньшей, чем указано выше.

**Главной породой в смешанных по составу насаждениях (ярусах)** считается хвойная или твердолиственная порода, имеющая наибольший запас, а при равных запасах – большую хозяйственную ценность.

При наличии в составе простого насаждения или яруса в сложном древостое нескольких пород, часть которых по биологическим особенностям может быть объединена в группы (хвойные, твердолиственные, мягколиственные), главной породой считается преобладающая по запасу в группе (имеющая в этой группе наибольший запас), а при равновеликих запасах – большую хозяйственную ценность.

При резком различии в хозяйственном значении древесных пород, входящих в насаждение, и разнообразном составе насаждений в формуле состава на первое место следует ставить главную породу. Например, для смешанных лиственных насаждений, имеющих в своем составе 0,3 дуба, 0,5 осины и 0,2 липы может быть принята следующая формула состава: 3Д 5Ос 2Лп.

С точки зрения промышленного использования древесины отдельных древесных пород очень важное значение имеют размеры деревьев. В сложных насаждениях первый ярус обычно составляют деревья, имеющие не только большую высоту, но и больший диаметр, чем деревья остальных ярусов.

Лесохозяйственные мероприятия в отдельных ярусах сложного насаждения могут быть различными. Верхний ярус, состоящий из спелых деревьев, может быть назначен в постепенную рубку, а нижние ярусы оставлены на корню. Поэтому в сложных насаждениях нужно определить состав для каждого яруса в отдельности.

Допустим, что таксируется сложное двухярусное насаждение. В первом ярусе его оказались сосна (0,7 по запасу) и береза (0,3). Общий запас первого яруса составляет  $200 \text{ м}^3$  на 1 га. Второй ярус состоит из одной ели. Запас его равен  $50 \text{ м}^3$ . Следовательно, для насаждения в целом запас будет следующим  $200 + 50 = 250 \text{ м}^3$ . Состав его первого яруса выразится формулой 7С 3Б, второго яруса. Для насаждения, в котором запас сосны составляет 67 %, запас ели 30 % и запас березы 3 %, формула состава должна быть следующей: 7С 3Е+Б.

При глазомерной таксации состав насаждения определяется с точностью до 0,1. При проведении научных исследований состав древостоя обычно учитывают с точностью до 1 %, например, 67С 32Б 1Ос.

При всей кажущейся простоте отнесения древостоя к чистому или смешанному при его таксации в натуре часто бывает затруднительно определить, смешанный это древостой или два чистых. По Правилам проведения лесоустройства (ТКП 622-2018) минимальная площадь выдела в лесах естественного происхождения должна быть не менее 1 га. При таксации лесов Севера России и Сибири она многократно увеличивается.

Конечно, если деревья разных пород распределены на выделе равномерно, то сомнений не возникает. Чаще всего они размещаются большими или меньшими куртинами, группами. Учитывая это обстоятельство, профессор Н. В. Дылис разработал теорию о парцеллярной структуре древостоев.

С целью облегчить классификацию смешанных насаждений, особенно при их научном изучении, В. Ф. Багинским разработана типизация пространственной структуры смешанных древостоев. Она основана на взаимовлиянии деревьев разных пород и на величине изменчивости  $\sum g$  внутри выдела. Предложено пять типов пространственной структуры.

1. Смешение регулярное. Деревья разных пород относительно равномерно размещены по площади. Каждому дереву или био группе из 4–10 деревьев одной породы можно найти из их непосредственного окружения дерево или био группу другой породы.

2. Смешение малыми группами. Разные породы смешаны небольшими группами, состоящими из 1–4 био групп деревьев. Группа считается малой, если диаметр занимаемой ею территории ( $D_{гг}$ ) меньше верхней высоты ( $H_{вг}$ ) деревьев группы. Малые группы обычно относительно друг друга имеют обычно регулярное или случайное расположение.

3. Смешение большими группами. Группа считается большой, если  $D_{гг} > H_{вг}$ . В этом случае площадь, занимаемая этой группой, составляет 0,06–0,10 га.

4. В пределах больших групп одной породы растут деревья или небольшие био группы другой совместно произрастающего вида. Часто последние деревья имеют иной возраст (разница более 20 лет), чем в большой группе.

5. Смешение «подвыделами». Выдел, протаксированный смешанным, по лесоводственно-биологическим параметрам состоит из двух и более чистых древостоев. Площадь «подвыдела» обычно больше 0,15 га в приспевающих и спелых древостоях и свыше 0,07 га в молодняках.

Учет типов пространственной структуры может помочь при расчетах рубок ухода в смешанных насаждениях.

#### 4.2.4. Класс бонитета древостоя

Лес произрастает в разнообразных климатических и почвенных условиях. Поэтому он имеет разную продуктивность, которую необходимо учитывать при таксации.

В лесной таксации для оценки условий роста леса устанавливают «бонитет насаждения». Термин этот происходит от латинского слова *bonitas*, что означает «доброкачественность».

Следовательно, бонитет является показателем, характеризующим качество условий произрастания леса. Таким образом, **бонитет** – это показатель потенциальной продуктивности древостоя.

Различие в условиях произрастания леса в таксации характеризуют несколькими классами бонитета, обозначаемыми порядковыми номерами: I класс означает лучшие условия произрастания леса, а последующие – их постепенное ухудшение. Деление леса на классы бонитета основано на определенных признаках.

В условиях произрастания леса решающую роль играет качество почвы: структура, химический состав, содержание гумуса, степень увлажнения, мощность почвенного слоя и др. Поэтому при установлении класса бонитета, казалось бы, характеристика почвы, на которой произрастает насаждение, должна быть определяющим фактором. Именно так и подходили к установлению класса бонитета, именовавшегося тогда классом добротности, в середине XIX в. при составлении первых русских таблиц, характеризовавших динамику роста и развития насаждений. Однако попытка классификации условий местопроизрастания и определения класса бонитета в зависимости от почвенных условий положительных результатов не дала.

Соответствие между почвенными признаками и классами бонитета установить довольно трудно. С одной стороны, в один и тот же класс бонитета попадали различные почвы, а с другой – почвы, одинаковые по внешним признакам, относились к разным классам бонитета.

Позднее был использован опыт сельского хозяйства, в практике которого довольно часто плодородие почвы, или степень пригодности для выращивания отдельных видов сельскохозяйственных культур, оценивается величиной урожая, собираемого с единицы площади. Отсюда вытекает, что лучшие условия местопроизрастания, относимые к высшим классам бонитета, при прочих равных условиях должны обеспечивать наибольшие годичный прирост и общую продуктивность леса, наибольший запас на единице площади, а с ухудшением условий местопроизрастания все эти показатели соответственно должны уменьшаться.

Этот метод в применении к сельскохозяйственным культурам действительно дает объективные измерители качества условий местопроизрастания. Объективность эта обусловлена тем, что на почвах разного плодородия густота посева семян сельскохозяйственных культур чаще всего применяется одна и та же, но урожайность бывает разной. Аналогичные условия имеются и в лесном хозяйстве при искусственном разведении леса на разных почвах.

Если густота посева или посадки насаждений, произрастающих на почвах разного плодородия, была одинаковой, но годичные приросты и общие запасы древесины в них оказались разными, это может служить показателем различия условий местопроизрастания.

Допустим далее, что на почвах разного плодородия имеются вместо искусственно созданных насаждений насаждения, возникшие естественным путем. Если деревья в этих насаждениях растут густо, кроны создают сплошной полог, нет прогалин, то величина годичного прироста и общий запас древесины в том или ином возрасте насаждений могут служить показателем качества условий местопроизрастания.

Зная годичные приросты и запасы таких насаждений, можно их распределить по классам бонитета. Поэтому неоднократно вносились предложения бонитировать условия местопроизрастания по величине годичного прироста и общим запасам насаждений, получаемым в соответствующем возрасте. Этот метод оказался пригодным для установления класса бонитета насаждений, в которых кроны полностью сомкнуты и густота стояния деревьев предельна для данной породы.

Однако наиболее часто встречающиеся насаждения естественного происхождения этим условиям не удовлетворяют. При наилучших условиях местопроизрастания они дают пониженные годичные приросты, а, следовательно, и запасы древесины. Это объясняется неполным смыканием крон деревьев.

Изреженность насаждений может быть вызвана разными причинами: ветровалом, неплотным смыканием крон в результате недостаточно успешного возобновления, наконец,

неправильным проведением рубок. Вследствие этого такие насаждения не используют до конца потенциал условий произрастания, в которых они находятся, и не обеспечивают максимума годичного прироста и запаса древесины, которые можно получить на этих почвах.

Разумеется, что в этом случае годичный прирост и древесный запас не являются надежными показателями для характеристики качества условий местопроизрастания. Поэтому их нельзя положить в основу классификации насаждений на классы бонитетов.

Многолетние опыты и наблюдения говорят о том, что лучшим показателем, отображающим качество условий местопроизрастания, является высота насаждения в определенном возрасте. Чем больше средняя высота насаждения, тем лучше условия местопроизрастания. Поэтому в качестве классификационного признака для деления насаждений на классы бонитета с 1911 г. в русской таксационной практике используют среднюю высоту и возраст.

Средняя высота насаждений зависит и от их возраста: с увеличением возраста она соответственно увеличивается. Поэтому среднюю высоту с учетом возраста используют для установления класса бонитета.

Далее встает вопрос о числе классов бонитета и о различии между ними. При решении вопроса о числе классов бонитета, которое может быть принято лишь условно, исходят из того, что, если установить большое число классов, различия между ними сотрутся. Однако малое число классов неприемлемо из-за того, что в пределах одного класса насаждения могут сильно различаться между собой.

Профессор М. М. Орлов, разработавший бонитировочную шкалу, предложил разделять насаждения на пять классов бонитета. К крайним классам (I и V) в этом случае относятся насаждения, хотя и редко встречающиеся, но с широкой амплитудой колебания высоты. Чтобы устранить этот недостаток, из I и V классов выделили дополнительные литерные классы Ia и Va. Таким образом, было установлено всего семь классов. Впоследствии для ряда пород выявили еще больший диапазон высот. Это привело к необходимости выделить дополнительные индексы классов бонитета: Ib, Iv, Vb и т. д.

Делить насаждения на классы бонитета по высоте лучше всего в таком возрасте, когда рост насаждений в высоту уже в основном закончился, то есть когда им около 100 лет. Поэтому при классификации насаждений на классы бонитета принята высота столетних насаждений. На основе бонитировочной шкалы для столетних насаждений, руководствуясь опытными данными об изменении высоты насаждений до 100 лет и после достижения ими этого возраста, можно для каждой породы составить таблицу распределения насаждений по классам бонитета – от самых молодых до самых старых.

Изучение изменения высоты у самых распространенных пород показало, что наиболее широко высота изменяется у сосновых насаждений; у пихты и бука наименьшая высота не достигает такого низкого предела, как у сосны, а у березы и осины наибольшая высота не достигает верхнего предела высоты, наблюдаемого у сосновых насаждений. В общем же пределы колебаний высоты у этих пород довольно близки.

Шкала деления насаждений на классы бонитета, разработанная профессором М. М. Орловым в 1911 г., имеет два входа: возраст насаждений и среднюю высоту. Разным сочетаниям этих двух элементов соответствует определенный класс бонитета.

Шкала бонитетов М. М. Орлова была воспринята не сразу. Против нее выступали лесоводы-типологи. Даже Г. Ф. Морозов скептически относился к классификации насаждений по бонитетам, считая эту классификацию искусственной. В 10–20-е гг. XX в. лесоводы разделились на «типиков» – сторонников Морозова – и «антипиков» – сторонников М. М. Орлова (воспоминания Ф. П. Моисеенко). Жизнь со временем расставила все по местам, определив нужные ниши классом бонитета и типом леса.

Шкала деления насаждений на классы бонитета является общей для всех древесных пород, хотя в росте отдельных пород, особенно в молодом возрасте, наблюдаются отклонения

от нее. Единая шкала для бонитирования всех насаждений упрощает таксационные работы и позволяет сравнивать получаемые результаты.

Интенсивность роста семенных и порослевых насаждений неодинакова. Семенные древостои растут в раннем возрасте медленнее. Для определения класса бонитета семенных и порослевых насаждений установлены разные шкалы. В таблице 4.1 приведена шкала деления на классы бонитета семенных насаждений по М. М. Орлову.

Бонитировочная шкала М. М. Орлова имеет много недостатков. Основные из них следующие:

1. Бонитировочная шкала часто не может однозначно передать ход роста отдельного насаждения в течение всей его жизни. Это значит, что класс бонитета одного и того же насаждения в течение жизни может меняться. Чаще всего к 40–60 годам он повышается, а после 100 лет понижается.

2. Бонитировочная шкала Орлова не выровнена. Поэтому наблюдаются резкие перепады между отдельными классами бонитета.

3. В бонитировочную шкалу М. М. Орлова трудно уложить рост некоторых быстро-растущих или весьма медленно растущих пород, которые во времена М. М. Орлова не были изучены.

4. В природе имеются древостои с разными типами роста. Это достоверно установлено исследованиями М. В. Давидова, В. В. Загреева, В. Ф. Багинского и др. Древостои разных типов роста отличаются друг от друга темпами роста: быстрый рост в молодости и замедление роста в старших возрастах при замедляющемся типе роста и обратная картина при ускоряющемся типе роста. Эти отличия бонитировочная шкала не учитывает.

Таблица 4.1

Деление семенных насаждений на классы бонитета (по М. М. Орлову)

Возраст, лет	Высота насаждений по классам бонитета						
	Ia	I	II	III	IV	V	Va
10	6–5	5–4	4–3	3–2	2–1		
20	12–10	9–8	7–6	6–5	4–3	2	1
30	16–14	13–12	11–10	9–8	7–6	5–4	3–2
40	20–18	17–15	14–13	12–10	9–8	7–5	4–3
50	24–21	20–18	17–15	14–12	11–9	8–6	5–4
60	28–24	23–20	19–17	16–14	13–11	10–8	7–5
70	30–26	25–22	21–19	18–16	15–12	11–9	8–6
80	32–28	27–24	23–21	20–17	16–14	13–11	10–7
90	34–30	29–26	25–23	22–19	18–15	14–12	11–8
100	35–31	30–27	26–24	23–20	19–16	15–13	12–9
110	36–32	31–29	28–25	24–21	20–17	16–13	12–10
120	38–34	33–30	29–26	25–22	21–18	17–14	13–10
140	39–35	34–31	30–27	26–23	22–19	17–14	13–10
160	40–36	35–31	30–27	26–23	22–19	18–14	13–10

С 1911 года предлагалось много новых усовершенствованных бонитировочных шкал. Наиболее известными из них явились следующие:

- предложение профессора К. Е. Никитина (1965). Его шкала, где за основу взята шкала М. И. Орлова, предполагала более плавный переход между градациями, что обеспечивало проведенное этим автором аналитическое выравнивание;

- профессора М. В. Давидов, В. В. Загреев и другие авторы предложили три бонитетных шкалы: с ускоряющимся ростом, с обычным и замедленным ростом;

- была предложена специальная бонитировочная шкала для лесных культур (В. В. Успенский, В. Ф. Багинский и др.);
- в зоне интенсивного хозяйства многие древостои не доживают до 100 лет, так как возраст их рубки ниже. Поэтому было предложено (В. В. Загребов, В. Ф. Багинский) брать за базовый возраст 50 или 80 лет;
- имелись и другие предложения по совершенствованию шкалы классов бонитета.

Несмотря на рациональное зерно, имеющееся во всех описанных предложениях по усовершенствованию бонитетной шкалы, в практику лесного хозяйства они не вошли. В результате до сих пор применяется шкала М. М. Орлова. Ее определенная условность в течение многих лет оказалась не недостатком, а достоинством. Сказываются также традиции и привычки лесоводов.

Рядом исследователей отмечено, что средняя высота как показатель потенциальных условий произрастания является ненадежным признаком. Она подвержена сильным подвижкам из-за неоднозначного проведения рубок ухода и в других случаях. Поэтому было предложено брать в качестве основного показателя при бонитировании не среднюю высоту, а высоту самых высоких деревьев, которую называли верхней высотой. Подобные шкалы в нашей стране разработаны Н. Н. Сваловыма, В. Ф. Багинским и другими авторами, но в практике они применения не получили.

В зарубежных странах проводится бонитирование как по средней высоте, так и по верхней. За базовый возраст там берут разные значения, например, в США – 50 лет. В США за базовую берут высоту в 100 футов в возрасте 50 лет, а все следующие классы уменьшают на 10 футов, минимум – 50 футов. В Англии бонитетные шкалы есть для каждой породы. В общем, разнообразие здесь большое, но основной принцип их построения, заключающийся в использовании связи  $H - A$ , сохраняется.

#### 4.2.5. Средний диаметр насаждений

Средний диаметр является одним из важнейших показателей, широко применяющимся для различных расчетов.

В самом однородном древостое, состоящем из деревьев одной породы и одного возраста, толщина, высота и форма деревьев различны. Неодинаково также и число деревьев, относящихся к отдельным ступеням толщины: очень тонких и очень толстых деревьев обычно меньше, чем деревьев средних ступеней толщины.

Для характеристики толщины деревьев, образующих отдельный древостой, определяют их средний диаметр. При этом различают:

- а) средний диаметр  $D_g$ , соответствующий площади сечения среднего дерева в насаждении;
- б) средний арифметический диаметр  $D$ , получаемый как частное от деления суммы диаметров всех деревьев, образующих древостой, на их число

$$\bar{D} = \frac{\sum d_i}{N}; \quad (4.1)$$

в) диаметр срединного дерева  $d_{M^*}$ , вычисляемый путем распределения деревьев в ряд постепенного изменения диаметров, начиная с наибольшего или наименьшего и нахождением в этом ряду срединного дерева по формуле  $(n + 1) / 2$ ;

г) диаметр, определяемый соответственно средним площадям сечений по ступеням толщины  $d_{gM}$ . Его находят таким же путем, как  $d_{M^*}$ , но значения в каждой ступени толщины определяют из средней площади сечения:  $S_g / 2$ ;

д) диаметры ( $d_+$  и  $d_-$ ) модельных деревьев Гогенадля, вычисляемые по формулам  $d_+ = d + s$  и  $d_- = d - s$ , где  $s$  – среднее квадратическое отклонение от среднего диаметра  $d$ .

Из всех приведенных средних наибольшее научное и практическое значение имеет средний диаметр  $d_g$ , соответствующий площади сечения среднего дерева в насаждении. Для его определения, прежде всего, необходимо произвести пересчет деревьев, дающий распределение деревьев по ступеням толщины.

Соответственно этому распределению и площадям сечений отдельных ступеней толщины находят сумму площадей поперечных сечений всех деревьев, входящих в насаждение, по следующей формуле:

$$G = g_1 n_1 + g_2 n_2 + g_3 n_3 + \dots + g_n n_n,$$

где  $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$  – площади сечений деревьев отдельных ступеней толщины;

$n_1, n_2, n_3, n_n$  – число деревьев в отдельных ступенях толщины.

Разделив сумму площадей поперечных сечений всех деревьев на общее их число  $N$ , получим площадь сечения  $g$ , которую имеет дерево средней толщины:

$$g_{cp} = G / N. \quad (4.2)$$

По площади поперечного сечения дерева, обычно уподобляемой площади круга, может быть установлен и его диаметр на основании следующей зависимости:

$$g = \frac{\pi}{4} d^2, \quad (4.3)$$

откуда

$$d = \sqrt{\frac{4g}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{g}{\pi}}. \quad (4.4)$$

Диаметр, вычисленный по этой формуле, и будет средним диаметром насаждения. При этом следует обратить внимание на единицы измерения диаметров и площадей сечений (см, м), чтобы сохранить единообразие вычислений.

Для упрощения вычислений среднего диаметра сумму площадей сечений находят по специальным таблицам, в которых даны площади сечений деревьев разной толщины. Имеется также таблица, составленная на основании последней формулы, по которой можно, зная площадь сечения среднего дерева, найти его диаметр.

В настоящее время вычисления среднего диаметра значительно облегчилось в силу повсеместного применения компьютеров. Разработаны специальные программы для обработки пересчетов лесосек и пробных площадей, которые в числе выдаваемых параметров имеют средний диаметр.

Определение среднего диаметра облегчается применением приборов для измерительной таксации: углового шаблона Битерлиха и призмы Анучина. С помощью этих приборов находят сумму площадей поперечных сечений деревьев  $\sum g$  на 1 га таксируемого древостоя с малой затратой труда.

Однако кроме суммы площадей поперечных сечений для определения среднего диаметра необходимо знать число деревьев  $N$  на 1 га того же древостоя. Эту задачу можно решить путем закладки круговых проб постоянного радиуса ( $S$ ). На таких пробах надо подсчитать общее число деревьев  $n$ . Если его перемножим на отношение 1 га к площади круговой пробы ( $10\,000 / s$ ), выражая их в квадратных метрах, то в результате найдем число деревьев на 1 га

$$N = n \frac{1000}{s}. \quad (4.5)$$

Так как для определения среднего диаметра необходимо сделать пересчет деревьев с помощью сплошных или выборочных методов, то в силу трудоемкости этой работы в практической таксации средний диаметр определяют глазомерно.

Чтобы научиться глазомерному определению среднего диаметра, надо предварительно протаксировать перечислительным способом значительное число насаждений и вычислить средние диаметры. При этом в памяти сохраняются образцы насаждений, что позволяет при последующей работе довольно точно найти средний диаметр глазомерно.

При глазомерном способе вычисления среднего диаметра необходимо иметь в виду, что в однородном насаждении диаметр самого тонкого дерева округленно в два раза меньше среднего диаметра насаждения, а диаметр самого толстого дерева в 1,7–1,8 раза больше среднего.

Надежные результаты дает установление среднего арифметического диаметра по способу случайной выборки. В этом случае число деревьев, выбираемых для обмера, ( $n$ ) зависит от заданной точности  $p$  нахождения среднего диаметра и коэффициента вариации диаметров в насаждении  $V_d$ . Из курса вариационной статистики известно, что

$$n = \frac{V^2}{p^2}.$$

На основе большого экспериментального материала, собранного в лесах Беловежской пуши, профессор В. К. Захаров установил, что в сосновых насаждениях изменчивость толщины деревьев ( $V_d$ ) характеризуется коэффициентом вариации, в среднем близким к 25 %. Поэтому для нахождения величины среднего диаметра с точностью до 2 % надо измерить в насаждении диаметры на высоте груди у 165 деревьев, с точностью до 3 % – у 79, с точностью до 5 % – у 26, с точностью до 10 % – у 7 деревьев.

В молодняках по исследованиям В. С. Моисеева, Ю. И. Бурневского, В. Ф. Багинского коэффициент вариации диаметров доходит до 50–60 %. Поэтому для определения среднего диаметра с точностью 5 % необходимо измерять не менее 100–150 деревьев. Для достижения точности 2 % необходимо на пробной площади иметь от 600 до 900 деревьев.

В сложных и смешанных насаждениях средний диаметр определяют для каждой древесной породы или каждого яруса, в разновозрастных насаждениях – для возрастных поколений, запас которых составляет не менее 20 % общего запаса насаждения.

Средний диаметр определяет объем среднего дерева в древостое, который находят по формуле  $V = ghf$ . Поскольку объем дерева имеет высокую корреляцию с  $g$ , то и средний диаметр должен соответствовать средней величине  $g$ . Поэтому именно средний диаметр, вычисленный через среднюю площадь сечения, нашел повсеместное применение. Среднеарифметический диаметр обычно меньше  $dg$  и, как и другие упомянутые средние диаметры практического значения обычно не имеет. В отдельных случаях они используются при проведении научных исследований.

#### 4.2.6. Средняя высота насаждений

Высота деревьев в любом насаждении не одинакова. В пределах насаждения различия в высоте наблюдаются не только у деревьев разной толщины, но они имеют место и у деревьев равных диаметров.

В процессе таксации леса учесть индивидуальную высоту каждого дерева не представляется возможным. В связи с этим принято устанавливать среднюю высоту для всей совокупности деревьев, образующих насаждение.

Средняя высота насаждений зависит от древесной породы, условий местопроизрастания, возраста и осуществляемых в лесу хозяйственных мероприятий. В пределах насаждения различия в высоте обуславливаются разным положением деревьев в отношении света, смежных деревьев, микроповышений и почвенных разностей. Влияние перечисленных факторов на высоту деревьев не имеет количественно выраженных зависимостей, и их установление представляет трудную задачу. При одном и том же диаметре деревьев в пределах насаждения

высоты оказываются разными. Из-за конкуренции за свет распределение деревьев по высоте показывает положительную асимметрию.

Однако стохастические связи между  $h$  и  $d$  позволяют строить кривые высот на основе небольшого количества измерений, но дающих достаточно точные оценки высот для практических и научных целей.

Профессором Лореем более 100 лет назад предложена следующая формула для определения средней высоты насаждения:

$$h_L = \frac{h_1g_1 + h_2g_2 + h_3g_3 + \dots + h_n g_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n},$$

где  $h_L$  – средняя высота;

$h_1 \dots h_n$  – высота для отдельных ступеней толщины;

$g_1 \dots g_n$  – площади поперечных сечений деревьев каждой ступени толщины.

Большинство современных ученых считают среднюю высоту, вычисленную по формуле Лорея, абстракцией, ничего в насаждении не выражающей. Средние таксационные показатели нам нужны чаще всего для нахождения запаса. Средняя высота, найденная по формуле Лорея, не всегда будет соответствовать среднему дереву по диаметру. Если же мы в качестве средней высоты возьмем высоту среднего дерева по диаметру, то в результате получим среднее дерево по объему, учитывая высокую корреляционную зависимость высоты и видового числа. Поэтому наиболее корректно определять среднюю высоту по уравнениям связи между диаметрами и высотами.

В данном случае среднюю высоту можно найти графически путем построения кривой высот (рис. 4.1). С этой целью обмеряют диаметры и высоты у ряда деревьев, отобранных тем или иным способом. Результаты этих обмеров наносят на график, который строится в системе прямоугольных координат: по оси  $OX$  – диаметры, по оси  $OY$  – высоты.

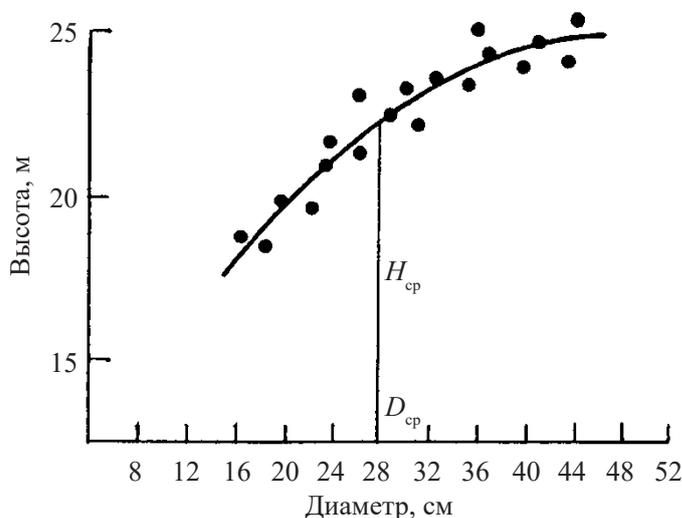


Рис. 4.1. Определение средней высоты насаждения по кривой высот

Если на графике взять длину перпендикуляра, восстановленного из точки, соответствующей среднему диаметру насаждения, то эта длина будет определять среднюю высоту всего насаждения. При построении кривых высот рекомендуется вычислять на основе обмеренных высот средние высоты по ступеням толщины и проводить плавную кривую через средние значения.

Пользуясь кривой высот, можно найти высоту деревьев любого диаметра. Для этого из точки на оси абсцисс, соответствующей диаметру данного дерева, надо восстановить перпендикуляр до пересечения с кривой высот. Длина этого перпендикуляра (ординаты) является искомой высотой дерева.

В более или менее однородных насаждениях наблюдается стохастическая (вероятностная) зависимость высоты деревьев от их диаметров. С увеличением последних у большинства деревьев соответственно растет и высота. Гогенадль, Кренн и другие исследователи связь между  $d_{1,3}$  и  $h$  в насаждении характеризуют уравнением параболы второго порядка. В настоящее время исследованием многих отечественных и зарубежных ученых установлено, что парабола 2-го порядка плохо описывает зависимость  $H - D$ . Она занижает значение высот в начале ряда и завышает их в конце.

Для характеристики связи высоты и диаметра применяются более сложные кривые. Исследованиями К. Е. Никитина Ф. Корсуня, А. Г. Мошкалева, Ф. П. Моисеенко установлено, что уравнения связи  $H = f(D)$  описываются разными уравнениями: полиномы от 3-й до 4-й степени, логарифмические кривые (простые и сложные), степенные и показательные функции.

Среднюю высоту можно найти и как среднеарифметическую величину. Но это будет чисто статистическая величина. Она не характеризует среднее дерево по диаметру и запасу.

Аналогично среднему диаметру можем найти высоту срединного дерева ( $h_w$ ), высоту средних ступеней толщины ( $h_{gm}$ ) и т. д. В этом ряду наименьшее значение будет иметь средняя арифметическая высота, а наибольшей будет высота, вычисленная по формуле Лорея.

При отводе и таксации лесосек с использованием разрядных таблиц среднюю высоту для нахождения разряда высот определяют, измеряя 9 деревьев: три из центральной ступени толщины и по три из соседних. Варьирование высот в приспевающих и спелых древостоях составляет 6–8 %. Следовательно, измеряя 12–15 деревьев, мы определим  $H_{cp}$  с точностью около 2 %, а при 9 замерах 2–3 %.

В разновозрастных, многоярусных древостоях  $H_{cp}$  находят для каждого яруса. В смешанном древостое измерения делают для каждой породы. Опытный таксатор после ежегодно проводимых тренировок среднюю высоту определяет глазомерно.

Средняя высота, определяемая как по формуле Лорея, так и по графику высот, как таксационный показатель имеет недостаток, заключающийся в том, что на ее величину оказывает влияние вырубка части деревьев при уходе за лесом.

Если этот уход ведется низовым способом, заключающимся в изъятии из насаждения оставших в росте более мелких деревьев, то средняя высота насаждения после ухода за ним увеличивается. При проведении верхового способа ухода за лесом вырубается более крупные деревья. Соответственно этому обстоятельству после проведения таких рубок средняя высота насаждения уменьшается.

#### 4.2.7. Верхняя высота древостоя

Вышеперечисленные недостатки в определении средней высоты, которая зависит от силы и способа рубок ухода, в значительной степени смещаясь в ранжированном ряду, привели к поиску других показателей, характеризующих высоту насаждения.

В настоящее время все большее значение приобретает «доминирующая высота деревьев», не зависящая от режима ухода за лесом. На французском языке этот таксационный показатель носит название «hauteur dominante» – доминирующая высота. В немецкой лесотаксационной литературе ее называют Oberhohe – верхняя высота. В России и в нашей стране этот показатель называют верхней высотой. Для доминирующей (верхней) высоты принято международное обозначение  $h_{dom}$ .

Еще в XIX в. профессор Вейзе при разделении деревьев на пять классов с одинаковым числом деревьев в классе доминирующей высотой (Oberhohe) считал среднюю высоту пятого класса деревьев. Отметим, что по Вейзе среднюю высоту  $h_w$  имеет дерево, отстоящее на 57,5 % от самого тонкого дерева или на 42,5 % от самого толстого. Эту высоту используют при определении бонитета насаждения.

Англичане за доминирующую берут среднюю высоту 100 наиболее толстых деревьев на площади насаждения в один акр. Один гектар в 2,47 раза больше акра. Соответственно этому для площади в 1 га средняя высота 247 наиболее толстых деревьев является доминантной высотой ( $h_{dom}$ ). Однако большинство исследователей и по отношению к одному гектару в качестве доминантной высоты берут среднюю из 100 наиболее крупных деревьев. Именно такой подход рекомендовал известный ученый профессор Н. Н. Свалов, который считал, что для определения верхней высоты необходимо измерять одно самое высокое дерево на одном акре.

Петтерсон за доминантную принимает среднюю высоту тех деревьев, диаметр которых равен среднеарифметическому диаметру плюс три сигмы ( $\bar{d} + 3\sigma$ ), то есть утроенное среднеквадратическое отклонение от среднего диаметра насаждения. Сусмель считает доминирующей высотой в насаждениях выборочной рубки среднюю высоту наивысших деревьев. В Швейцарии в насаждениях выборочной рубки за доминирующую считают среднюю наиболее толстых деревьев.

В СССР было разработано несколько новых методов определения верхней высоты. Б. Б. Зейде в 1970 г. предложил метод переменной доли, когда доля деревьев, измеренных для нахождения верхней высоты, зависит от варьирования диаметров. Этот метод долгое время входил в ГОСТ на пробные лесоустроительные площади.

Постоянное число деревьев и переменная доля имеют свои недостатки. Большое количество деревьев (100, 200) на 1 га в спелых древостоях – это большая часть насаждения. В отдельных приспевающих, спелых и перестойных древостоях с полнотой 0,7 и ниже на участке можно и не насчитать 200 деревьев. Переменная доля иногда сводится к 3–5 стволам, что недостаточно.

Правильнее использовать метод постоянной доли в 10–20 %: 10 % – доля более молодых и 20 % для старых древостоев. В этой вновь созданной совокупности находим среднюю высоту, которая будет соответствовать 92–95 рангу. Это и будет верхняя высота, вычисленная по методу постоянной доли. При этом не требуется отбирать в природе самые толстые деревья. Достаточно провести сплошной пересчет и построить кривую высот. С помощью метода постоянной доли В. Ф. Багинским разработаны бонитетные шкалы по верхней высоте для лесов Беларуси.

Н. П. Анучин считает, что между средней и доминирующей высотой существует статистическая связь, что позволяет определять  $h$  по  $h_{dom}$ , а также решать и обратную задачу. Чисто формально, анализируя цифровые значения разных бонитетных шкал, такую связь найти можно. Но это не отвечает сути изучаемого явления. Строго говоря, однозначной связи средней и верхней высот в насаждении нет. Иначе не было бы смысла определять одну из них.

#### 4.2.8. Средний возраст насаждений

При таксации леса различают преобладающий и средний возраст насаждения. **Преобладающим** называют возраст, который имеет большая часть деревьев, образующих насаждение; **средним** – возраст, выведенный пропорционально части в запасе отдельных групп деревьев, входящих в состав насаждения.

В лесной таксации насаждения по возрасту делятся на классы. В Беларуси и России для хвойных и твердолиственных семенных насаждений устанавливают класс возраста в 20 лет, а для всех мягколиственных и порослевых твердолиственных древостоев в 10 лет (таблица 4.2), для кустарниковых пород – 5 лет. Классы возраста обозначают всегда римскими цифрами. В последнее время в южных и западных странах классы возраста продолжительностью 10 лет приняты также для хвойных и твердолиственных пород.

Разделение насаждений на классы возраста

Классы возраста	Возраст в годах		Классы возраста	Возраст в годах	
	Хвойные и твердо- лиственные породы семенного происхождения	Мягколиственные и твердолист- венные породы порослевого происхождения		Хвойные и твердо- лиственные породы семенного происхождения	Мягколиственные и твердолист- венные породы порослевого происхождения
I	1–20	1–10	IV	61–80	31–40
II	21–40	11–20	V	81–100	41–50
III	41–60	21–30	VI	101–120	51–60

При описании насаждений класс возраста устанавливают по той части деревьев, которые составляют большую часть запаса древостоя. Если деревья имеют разницу в возрасте, не превышающую длительности одного класса возраста (таблица 4.2), то в соответствии с «Правилами проведения лесоустройства...» (ТКП 622-2018) считается одновозрастным, а при большей разнице в возрасте – разновозрастным.

В других странах, особенно в лесах Сибири, на Кавказе, где возраст древостоев бывает очень высок, а расхождения в возрасте отдельных деревьев велики, применяют более сложные системы деления насаждений по возрасту. Есть много различных систем и предложений по возрастной структуре.

Наибольшую дискуссию вызывает вопрос, какой древостой считать разновозрастным. Абсолютная одновозрастность, то есть когда все деревья имеют одинаковый возраст, бывает только у лесных культур одного года посадки. Их возраст и считается от этого года. В зоне интенсивного хозяйства насаждение, где деревья по возрасту укладываются в пределах одного класса возраста, считается одновозрастным или относительно одновозрастным. При большей разнице в возрасте древостой будет разновозрастным.

В России для лесов Сибири разработаны отдельные шкалы по возрасту. Этими шкалами выделены относительно разновозрастные древостои (разница в 1–2 класса возраста) и абсолютно разновозрастные (отличия более 2–3 классов возраста). Есть системы определения разновозрастности, на основе коэффициента изменчивости возраста деревьев. В лесном хозяйстве Беларуси эти классификации (И. В. Семечкина, И. И. Гусева и др.) не применяются, и разновозрастность определяют по критериям таблицы 4.2.

В разновозрастном насаждении полог образуют деревья разной высоты. Наиболее теневыносливые деревья имеют тенденцию к формированию разновозрастного насаждения. Для разновозрастных древостоев типично наличие большого числа мелких деревьев и убывание их количества по мере увеличения диаметра.

В сложном насаждении средний возраст устанавливают с учетом запаса, приходящегося на каждое поколение деревьев. Допустим, что имеется еловое насаждение, состоящее из двух возрастных поколений, где 70 % запаса приходится на 150-летнее поколение деревьев и 30 % – на второе, 60-летнее. При этих условиях средний возраст насаждения будет близок к 120 годам, а преобладающий – к 150 годам.

Чем однороднее насаждение, тем меньше различия между средним и преобладающим возрастом. Поэтому при описании сложных древостоев, составные части которых не имеют резких различий в возрасте, надо указывать не только преобладающий, но и средний возраст.

Средний возраст насаждения определяется в результате довольно подробной таксации, связанной с точным нахождением возраста отдельных групп или категорий деревьев, образующих данное насаждение. Если запасы отдельных групп обозначить через  $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ , а их возрасты через  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ , то средний возраст насаждения ( $A$ ) будет равен:

$$A_1 = \frac{A_1M_1 + A_2M_2 + A_3M_3, \dots + A_nM_n}{M_1 + M_2 + M_3, \dots + M_n}. \quad (4.6)$$

Вычисление среднего возраста как средневзвешенного через запас требуется для того, чтобы учесть вес деревьев каждого возраста в запасе насаждения. Среднеарифметическое значение возраста даст здесь заниженный результат.

Запас отдельных групп деревьев определяют по формуле:

$$M = \sum Ghf.$$

В насаждениях, имеющих значительную высоту, у отдельных групп деревьев произведения  $Hf$  (видовые высоты) существенно не различаются. Поэтому из формулы для определения среднего возраста видовые высоты можно исключить, и она примет следующий вид:

$$A = \frac{A_1G_1 + A_2G_2 + \dots + A_nG_n}{\sum G}. \quad (4.7)$$

Для нахождения среднего возраста по этой формуле надо найти возраст отдельных совокупностей деревьев, подсчитать для каждой совокупности суммы площадей сечений, умножить их на соответствующие им возрасты, и сумму полученных произведений разделить на общую сумму площадей сечения всего насаждения.

Если возрасты деревьев близки, средний возраст можно определить как среднеарифметическую величину из возраста всех срубленных деревьев. В описаниях сложных насаждений нужно указывать преобладающие возрасты по ярусам и по древесным породам.

Для вычисления возраста насаждения при точных таксационных исследованиях срубляют несколько деревьев и подсчитывают число годичных слоев на пнях. Для определения среднего возраста на растущих деревьях возрастным буровом берут керны, чем ниже, тем лучше. Если есть свежие пни, то возраст считают на них. При этом надо добавить несколько лет на дорастание дерева до высоты подсчета колец. Обычно это составляет 1–3 года в зависимости от скорости роста древесного вида.

В абсолютно одновозрастном древостое (лесные культуры) достаточно измерить возраст у 2–3 деревьев. Строго говоря, хватило бы и одного дерева, но надо исключать ошибки при подсчете годичных колец. В одновозрастном древостое коэффициент изменчивости возраста у деревьев доходит до 30 % в насаждениях I класса возраста, 5–6 % – в III и около 3 % в VI классе возраста.

Следовательно, чтобы определить средний возраст с точностью  $\pm 5$  %, необходимо подсчитать годичные кольца у 30 деревьев в молодняках. В средневозрастном и спелом древостое для этой цели достаточно 2–3 дерева. Точность в 2 % достигается в молодняках подсчетом колец у 200 деревьев, в средневозрастных и спелых – у 9–10. Точный учет возраста особенно важен при составлении таблиц хода роста, где ошибка даже в 5 % сильно искажает характеристики динамики древостоев.

В таксационной практике определять возраст насаждения таким способом затруднительно, поэтому чаще всего его устанавливают на глаз. Определить возраст на глаз наиболее легко в молодых и средневозрастных сосновых насаждениях. Для этого достаточно сосчитать число ежегодно образуемых деревьями мутовок, то есть сучьев, сосредоточенных в одном поперечном сечении (рис. 4.2). В старых насаждениях этот метод применять нельзя, так как нижняя часть деревьев очищается от сучьев, следы их быстро заплывают, и установить на ней число мутовок невозможно.

В припевающихся и спелых насаждениях при определении возраста прежде всего руководствуются диаметром и высотой деревьев, учитывая зависимость этих элементов от условий местопроизрастания. При наличии в таксируемом древостое пней надо подсчитать число слоев на нескольких из них.



Рис. 4.2. Сосна с хорошо заметными мутовками

При описании насаждений класс возраста устанавливают по тем деревьям, которые составляют большую часть запаса древостоя. Для более подробной характеристики, кроме класса возраста, отмечают возраст, характерный для данного насаждения, то есть относится ли оно по возрасту к началу, середине или к концу установленного класса возраста. Если в древостое есть деревья, выходящие за границы установленного класса возраста, это отмечают в описании. Например, запись: IV (70–80, 120) означает, что насаждение относится к IV классу возраста, в нем преобладают деревья от 70 до 80 лет и, кроме того, имеется примесь деревьев 120 лет.

В таксационном описании в графе «Возраст насаждений» кратко указывают класс возраста и преобладающий возраст, например, IV–65, V–90. В отдельной графе, предназначенной для подробного описания состава и возраста насаждений, делают запись о наличии примеси деревьев, имеющих иной возраст.

В таксационных описаниях запись состава и возраста нередко объединяют в одну формулу. Например, при возрасте сосны 90 лет и ели 70 лет, когда эти породы образуют один ярус, формула состава и возраста имеет следующий вид: 7С(90)ЗЕ(70).

В широкой таксационной практике ориентировочный возраст насаждений нередко определяют по внешним признакам дерева: цвету хвои, форме кроны, цвету и строению коры. У старых деревьев хвойных пород окраска хвои более светлая, чем у молодых. У прекративших рост в высоту старых деревьев крона обычно имеет закругленную шапкообразную и куполообразную форму, нижняя часть ствола покрыта толстой растрескавшейся омертвевшей корой. В трещины коры таких деревьев попадают пыль и влага, являющиеся субстратом для роста и развития водорослей и других низших растений. В результате комлевая часть стволов покрывается наростами зеленого, желтого и других цветов.

Для молодых деревьев характерны усиленный рост в высоту, шпилеобразная форма кроны, гладкая глянцевитая кора. У деревьев хвойных пород хвоя сочная, темно-зеленой окраски. Преобладающий возраст насаждения определяют глазомерно. Особенности колебаний возраста отмечают в формуле состава насаждения.

В процессе таксационных работ результаты глазомерного определения возраста должны систематически проверяться путем подсчета годичных слоев на пнях и на деревьях, срубаемых на визирах.

В Беларуси возраст насаждения указывают для лесных культур с точностью до 1 года, для древостоев в возрасте до 100 лет – 5 лет; после 100 лет – 10 лет.

#### 4.2.9. Полнота насаждений

Деревья в лесу имеют разную густоту стояния. Иногда они расположены так плотно, что их кроны соприкасаются, в других случаях образуют прогалины.

Степень плотности стояния деревьев, характеризующую в какой мере ими использовано занимаемое пространство, принято называть **полнотой насаждения**. Она является одним из главнейших таксационных показателей, с помощью которого определяют запас древостоя.

Устанавливаемые для характеристики полноты числовые показатели определяют, насколько полно использовано пространство, занимаемое образующими насаждение деревьями. Если плотность стояния деревьев настолько велика, что в просветы между ними больше нельзя поместить деревья таких же размеров, полнота считается наивысшей и обозначается 1,0; если к имеющимся деревьям можно добавить такое же число деревьев тех же размеров, полноту принимают равной 0,5 (рис. 4.3). В тех случаях, когда к имеющимся деревьям нужно добавить 0,1, часть их количества, чтобы получить число деревьев самого полного насаждения, полноту следует считать равной 0,9 и т. д. Полнота насаждения – величина относительная. При определении ее в качестве эталона берут так называемое нормальное насаждение. По ТКП 622-2018 полнота лесного насаждения определяется для каждого таксационного выдела простого насаждения и для каждого яруса сложного насаждения глазомерно или по данным замеров сумм площадей сечений стволов деревьев полнотомером на круговых реласкопических площадках, перечете деревьев на пробных площадях или круговых площадках постоянного радиуса, по отношению к данным стандартных таблиц при полноте 1,0, принятых в качестве нормативов. Для молодняков полнота определяется по степени сомкнутости полога, а для не достигших смыкания – по соотношению растений древесных пород к условно принятому нормативу в 10 тыс. штук для полноты 1,0.

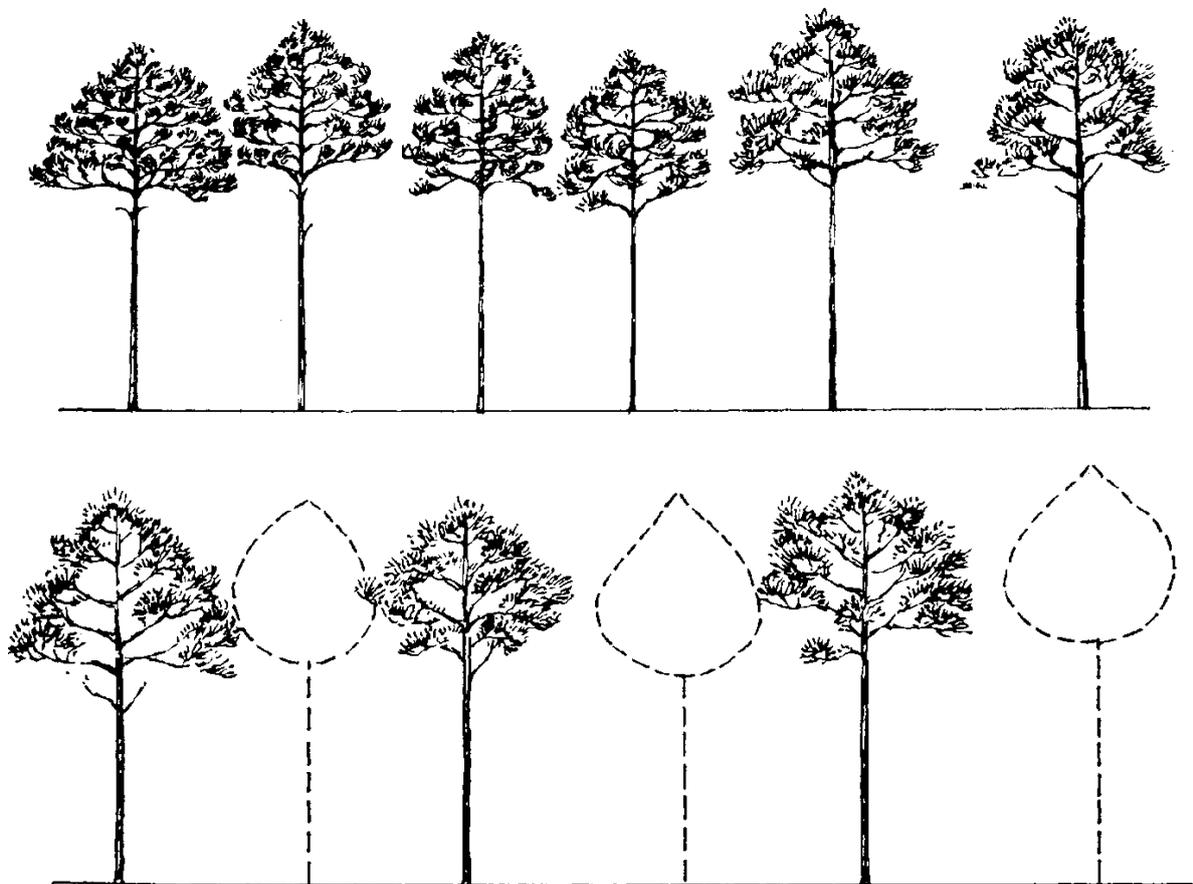


Рис. 4.3. Схематическое изображение насаждений с полнотой 1,0 (вверху) и 0,5 (внизу)

Помимо относительной полноты в лесной таксации есть понятие абсолютной полноты. Под этим термином понимают сумму площадей сечений древостоя.

Полнота, установленная для отдельного яруса, называется *полнотой яруса*, а для сложного насаждения в целом составляет часть общей полноты всего древостоя. Чтобы определить общую полноту, надо относительную полноту основного яруса увеличить соответственно доле запаса второстепенных ярусов.

Допустим, что первый ярус имеет частную полноту 0,5 и запас 200 м<sup>3</sup>, запас второго яруса равен 80 м<sup>3</sup>. При таких показателях на каждую десятую полноты первого яруса приходится по 40 м<sup>3</sup> запаса. Отсюда можно считать, что 80 м<sup>3</sup> запаса второго яруса эквивалентны 0,2 полноты основного яруса. Следовательно, общая полнота таксируемого насаждения равна  $0,5 + 0,2 = 0,7$ .

Для более точного определения выхода сортиментов и проектирования дифференцированных лесохозяйственных мероприятий целесообразнее сложные насаждения делить на ярусы и определять полноту для каждого из них отдельно.

Профессор М. М. Орлов называет *нормальным* такое насаждение, которое при данных форме, породе, возрасте и условиях местопроизрастания является наиболее совершенным, то есть все силы природы использованы им с предельной полнотой. Следовательно, в нормальном насаждении не должно быть ни одного лишнего или недостающего дерева. А это может быть лишь, если полог деревьев, образующих насаждение, вполне смыкается, кроны полностью прикрывают почву и не позволяют на этой площади расти большему числу деревьев данной породы и возраста.

Из сказанного можно заключить, что *первоочередным критерием для суждения о полноте насаждения* является степень сомкнутости крон деревьев, называемая *сомкнутостью полога*. Не следует забывать, что сомкнутость полога и полнота насаждений – понятия разные, но имеющие между собой коррелятивную связь, в большинстве случаев характеризующуюся довольно высоким коэффициентом корреляции.

Сомкнутость полога зависит от породы деревьев, их биологических особенностей, возраста, условий произрастания, лесорастительной зоны и др. Например, бук и липа дают более плотное смыкание, чем береза или лиственница; более теневыносливые породы образуют иную сомкнутость, чем светолюбивые; степень смыкания у деревьев, развивающих широкую крону и узкокронных, различна и т. д.

При точных таксационных исследованиях необходимо отличать сомкнутость, определяемую по площади проекции полога, от устанавливаемой по сумме площадей проекций крон. В первом случае сомкнутость представляет собой отношение площади проекции всего полога к площади участка, занимаемого древостоем, во втором она определяется как отношение суммы площадей проекций крон, учитываемых отдельно для каждого дерева, входящего в состав таксируемого насаждения, к площади, занимаемой этим древостоем.

Сумма площадей проекций крон оказывается несколько больше площади проекций полога. Это объясняется тем, что кроны у смежных деревьев частично входят одна в другую и их проекции своими краями накладываются друг на друга. В результате при учете проекций крон деревьев часть площади проекций учитывается дважды. Если к сумме проекций крон прибавить площадь просветов между деревьями, получится величина, несколько большая площади, занятой таксируемым насаждением.

Сомкнутость насаждения, определяемая по проекции полога, как правило, оказывается меньше единицы. Неизбежные просветы составляют 15–20 % площади проекций полога полного древостоя.

С увеличением числа деревьев на единице площади или, иными словами, с увеличением густоты сомкнутость полога увеличивается лишь до известного предела. При определенной густоте сомкнутость достигает максимума, после чего дальнейшее увеличение числа деревьев уже не приводит к увеличению сомкнутости полога.

В высоковозрастных сосновых и дубовых лесах на 1 га встречается 150–200 и даже меньше деревьев. Их кроны, как правило, не сомкнуты. Если в таких насаждениях поперечные сечения крон всех деревьев спроектировать на землю, полученная сумма проекций крон окажется меньше половины всей площади, занимаемой древостоем.

Наиболее точно сомкнутость полога можно определить на аэрофотоснимке, особенно крупного масштаба.

При прочих равных условиях наибольшее смыкание хвойные насаждения имеют в возрасте от 20 до 80 лет, а порослевые насаждения лиственных пород – от 20 до 50 лет. При дальнейшем увеличении возраста сомкнутость постепенно уменьшается. Сомкнутость полога в древостоях, растущих на бедных почвах, меньше, чем на богатых почвах.

Полноту насаждений по сомкнутости крон устанавливают глазомерно. Таксатору чаще всего приходится работать в насаждениях, где между кронами соседних деревьев имеются значительные свободные пространства. В этих случаях он должен мысленно представить, какую часть деревьев можно добавить в промежутки между имеющимися. Сначала он должен обратить внимание на неизбежные разрывы между кронами в более сомкнутых группах (био-группах) деревьев, затем на разрывы между группами отдельных деревьев – прогалины.

Глазомерным способом можно определить полноту лишь приближенно. Для более точного определения существуют другие способы. Нормально полное для данной породы, возраста и бонитета насаждение должно иметь наивысший запас древесины. Соответственно этому полноту всех других насаждений можно определить путем деления запаса таксируемого насаждения на запас полного нормального насаждения той же породы, возраста и бонитета. Для этого на таксируемой площади производят пересчет деревьев и по вспомогательным таблицам определяют сумму площадей сечений на высоте груди у всех деревьев, вошедших в пересчет.

Затем находят сумму площадей сечения на 1 га и сравнивают ее с суммой площадей сечения нормального полного насаждения того же состава, возраста и класса бонитета, что и таксируемое насаждение. Величину суммы площадей сечений достаточно просто можно определить с помощью углового шаблона Битерлиха или призмы Анучина.

Для главнейших древесных пород суммы площадей поперечных сечений деревьев в полных нормальных насаждениях установлены опытным путем и указаны в особых таблицах, характеризующих динамику развития насаждений, – *таблицах хода роста насаждений*, которые рассматриваются ниже.

В этом случае полноту насаждения определяют по следующей простой формуле:

$$P = G_d / G_n, \quad (4.8)$$

где  $G_d$  – сумма площадей поперечных сечений деревьев, имеющих на 1 га данного насаждения;

$G_n$  – сумма площадей поперечных сечений нормального полного насаждения.

Суммы площадей сечений полных нормальных древостоев определяют, помимо таблиц хода роста насаждений, по таблицам, получившим название *стандартных*. В практике лесного хозяйства и лесоустройства таблицами хода роста обычно не пользуются. На их основе составлены таблицы, показывающие величину  $G$  и запаса при установленной высоте и полноте 1.0. Такие таблицы называют «стандартные таблицы сумм площадей и сечений и запасов при полноте 1.0», или просто стандартные таблицы. Именно ими пользуются лесостроители для определения запасов по формуле (4.9). Для этого предварительно таксатор находит среднюю высоту древостоя и его абсолютную или относительную полноту.

Сумму площадей сечений деревьев, образующих древостой, называют **абсолютной полнотой**, а частное от деления этой суммы на соответствующую сумму площадей сечений нормального насаждения – **относительной полнотой**.

#### 4.2.10. Густота древостоя

Число деревьев на единице площади называют **густотой древостоя**. Густота древостоя не всегда служит надежным показателем полноты насаждения. При одном и том же возрасте и числе деревьев полнота оказывается ниже в древостоях с худшим ростом. Такие явления чаще всего наблюдаются в культурах разной густоты.

Поэтому при определении полноты разными способами довольно часто получаются разные результаты. В густых насаждениях полнота, определяемая по запасу, значительно ниже полноты, вычисляемой по сумме площадей сечений. Это является результатом того, что в густых насаждениях средняя высота иногда ниже, чем в редких, а суммы площадей сечений в обоих насаждениях могут быть одинаковыми. В средних по густоте насаждениях полноты, определенные по сумме площадей сечений и по запасу, близки между собой.

Между относительной полнотой и величинами густоты, сомкнутости полога и проекций крон существуют сложные взаимозависимости. Они изучены многими учеными (А. П. Юновидовым, С. В. Беловым, А. И. Кострюковым, В. Ф. Багинским и др.). Установлено, что эти показатели примерно равны между собой при среднем режиме выращивания древостоев. В перегушенных насаждениях полнота обычно ниже густоты и сомкнутости, а в изреженных наоборот – полнота из-за светового прироста диаметров выше густоты.

При проведении научных исследований сомкнутость полога определяют измерительным методом. Для этого составляют план пробной площади с нанесением места каждого дерева и проекции его кроны. Для упрощения применяется выборочный метод, то есть проекцию полога измеряют не полностью, а выборочно по ходовым линиям. Наиболее точно измерение сомкнутости полога можно сделать на аэрофотоснимке.

Определение полноты как соотношения сумм площадей сечений деревьев применимо лишь для перечислительной и измерительной таксации. При глазомерной таксации найти соотношение сумм площадей сечений деревьев, определяющее полноту насаждения, невозможно. Суммы площадей поперечных сечений всех деревьев, образующих насаждение, составляют по отношению к занимаемой насаждением территории весьма малую величину: от 0,002 до 0,004. Такие величины на глаз практически неуловимы, поэтому при определении полноты учитывают плотность стояния деревьев, их толщину и степень сомкнутости крон.

В наиболее распространенных насаждениях горизонтальные проекции крон деревьев составляют 0,4–0,8 от занимаемой насаждением площади. Такие величины значительно легче устанавливать на глаз, чем суммы площадей сечений деревьев. С этой точки зрения полнотой насаждения правильнее считать показатель, характеризующий плотность стояния деревьев и степень использования ими занимаемого насаждением пространства.

Наиболее трудно определить полноту при таксации сложных, многоярусных насаждений. В этом случае надо мысленно представить, как выглядело бы насаждение, если бы в нем был оставлен один таксируемый ярус, а все остальные удалены. Подобную оценку полноты сначала производят для первого яруса, а затем для всех остальных.

Все изложенное позволяет заключить, что *степень использования деревьями занимаемой в древостое территории характеризуется тремя показателями: сомкнутостью древесного полога, полнотой древостоя и его густотой.*

*Сомкнутость древесного полога* представляет собой отношение суммы горизонтальных проекций крон деревьев к занимаемой древостоем площади.

*Полнота древостоя* определяется отношением сумм площадей поперечных сечений деревьев данного древостоя и полного, нормального древостоя, имеющего тот же состав, возраст и аналогичные условия местопроизрастания.

*Густота древостоя* определяется числом деревьев на единице площади (1 га) данного древостоя. Относительная густота характеризуется отношением числа деревьев конкретного древостоя и полного, нормального древостоя при одинаковом среднем диаметре.

У подавляющего числа древостоев все три рассматриваемых таксационных показателя, являющиеся относительными числами, по своей величине не превышают единицы. Однако в экстремальных случаях они могут оказаться выше этой нормы.

#### 4.2.11. Запас насаждений

После того как установлены состав, возраст, средняя высота, бонитет и полнота таксируемого насаждения, переходят к определению общего количества древесины на единице площади насаждения, обычно на 1 га, то есть к установлению запаса древостоя. Запас насаждения можно определить разными способами.

При точных таксационных изысканиях запас определяют по модельным деревьям. В широкой практике, особенно при отводах лесосек, для нахождения запаса насаждения обычно применяют способ перечислительной таксации с его оценкой по объемным и сортиментным таблицам. В этих таблицах приведены объемы деревьев разных ступеней толщины. Умножив объем на число деревьев соответствующей ступени, установленное при перечете, и сложив все произведения, получают *общий запас насаждений*.

Можно также определить запас древостоя по методу пробных площадей, применяемому при частичном перечете деревьев. Вычисленный по пробной площади запас насаждения умножают на отношение площади таксируемого участка к площади пробы и получают общий запас.

При таксации обширных лесных пространств частичный перечет деревьев с последующим использованием объемных и сортиментных таблиц часто бывает затруднительным. В этом случае применяют способы глазомерной таксации, позволяющие находить запас без перечета деревьев.

Умение определять запас насаждений без перечета деревьев требует большого навыка и опыта. У таксатора, заложившего много пробных площадей и устанавливавшего запас по моделям и массовым таблицам, запечатлеваются в памяти типичные насаждения, с которыми он и сравнивает таксируемые участки леса. Поэтому он может глазомерно определить запас, полноту и прочие таксационные признаки осматриваемых насаждений. Однако точность результатов при глазомерной таксации даже у самых опытных таксаторов колеблется в пределах  $\pm 10-15\%$ .

При глазомерной таксации для определения запаса насаждения пользуются как подсобным материалом выдержками из таблиц хода роста, которые называются стандартными таблицами сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0.

Зная среднюю высоту дерева и полноту насаждения, можно достаточно просто найти его запас. Формулы для ориентировочного определения запаса базируются на основной формуле запаса насаждения:

$$M = GHF. \quad (4.9)$$

В общий древесный запас входят объемы не только крупных деревьев, представляющих с эксплуатационной точки зрения наибольшую производственную ценность, но и мелких деревьев.

Та часть запасов древесины, которая по своим размерам и качеству пригодна для выработки продукции для народного хозяйства, называется **эксплуатационным запасом**.

В процессе заготовки и последующей разделки срубленных деревьев неизбежны отходы в виде пней, вершин и частей ствола, пораженных гнилью, кроме того, для последующего

восстановления леса на вырубках оставляют крупные деревья – семенники, а иногда и семенные куртины. На крутых склонах и вершинах гор часть леса недоступна для эксплуатации. Поэтому при расчетах и определении выхода готовой лесопродукции необходимо из эксплуатационного запаса вычитать объем, приходящийся на отходы, остающиеся семенники, семенные куртины.

Не включаются в эксплуатационный запас, особенно в лесах Севера и Сибири, насаждения, имеющие на 1 га менее 30 м<sup>3</sup>, а также те древесные породы, рубка которых запрещена ввиду их особой ценности (кедр, орех, бархатное дерево и др.). Оставшаяся после их вычета часть эксплуатационного запаса называется **ликвидным запасом**. А. Г. Мошкалева рекомендует называть его «товарным запасом». Это предложение широкого распространения не получило. Запас реализуемой древесины в практике называют ликвидным запасом, или просто ликвидом.

Для каждого таксационного участка, как мы уже говорили, устанавливается преобладающая порода. Суммируя по преобладающей породе запасы отдельных таксационных участков, получают данные для массива в целом. При подсчете запаса преобладающей древесной породы в него включают кубатуру примесей. Так, в общий запас насаждений с преобладанием сосны обязательно включают примесь ели, березы и других пород, а в запас насаждений с преобладанием ели – примесь сосны.

Поскольку эти примеси должны взаимно компенсироваться, казалось бы, общий запас насаждений с преобладанием определенной породы можно приравнять к запасу данной породы во всем массиве. Однако такой вывод был бы неверным, так как в лесном массиве различные древесные породы могут занимать неодинаковые площади. Поэтому примеси отдельных пород могут взаимно компенсироваться лишь частично. Следует иметь в виду, что биологические свойства пород, так же, как условия местопроизрастания и возраст насаждений, не одинаковы.

Из сказанного следует, что суммарный запас насаждений с преобладанием определенной древесной породы нельзя считать близким к запасу данной породы во всем массиве. В таксационной практике проводится дифференциация древесных запасов по породам, называемая *учетом по составляющим, или чистым, породам*. На участках, где преобладает чистая порода, надо исключать из общего запаса примеси и к полученному результату прибавлять запас этой же породы тех участков, где она встречается как примесь.

Разделение запасов по чистым породам особенно необходимо в связи с тем, что для правильного планирования отпуска леса требуется уточненная сортиментация леса, основанная в первую очередь на учете отдельных древесных пород.

При расчленении общего запаса по чистым породам рекомендуется шире использовать данные перечислительной таксации, полученные при закладке пробных площадей, отводе лесосек в рубку и других видах работ. В этом случае можно учесть запасы древесных пород с долей участия в составе насаждения менее 0,1.

#### **4.2.12. Класс товарности насаждений**

Качество насаждений, произрастающих на почвах одной и той же производительности, может быть различным: наряду с нормально развивающимися, вполне здоровыми насаждениями могут встречаться излишне суковатые, поврежденные грибными заболеваниями, имеющие разные пороки (фауты). При разработке таких древостоев выход товарной продукции бывает неодинаков. Поэтому введено понятие класса товарности.

Все насаждения делят на классы товарности в зависимости от выхода деловой древесины. По ТКП 622-2018 предусмотрено выделение трех классов товарности для хвойных древостоев и четырех классов для лиственных (таблица 4.3).

## Нормативы для выделения классов товарности

Класс товарности	Выход деловой древесины в % и % деловых стволов			
	Хвойные насаждения		Лиственные насаждения	
	По запасу	По количеству деловых стволов	По запасу	По количеству деловых стволов
1	81 и выше	91 и выше	71 и выше	91 и выше
2	61–80	71–90	51–70	66–90
3	До 60	До 70	31–50	41–65
4	–	–	До 30	До 40

По исследованиям А. Г. Мошкалева, К. Е. Никитина, А. З. Швиденко, В. Ф. Багинского в высокотоварных хвойных древостоях процент деловой древесины доходит до 85–90 %, а число деловых стволов составляет 95–96 %.

В полевых условиях определить процент выхода деловой древесины затруднительно. Гораздо проще и надежнее вычислить долю деловых или дровяных стволов. Поэтому в таблице 4.3 приведены как показатели выхода деловой древесины, так и процент деловых стволов.

Необходимо подчеркнуть, что после установления выхода деловой древесины само определение классов товарности теряет свое значение. Кроме того, при глазомерной таксации определить выход деловой древесины без рубки моделей весьма трудно.

Преимущество рассматриваемой классификации заключается в том, что в ее основу положено деление деревьев на деловые и дровяные, отражающее влияние всех пороков древесины. Пороки, резко снижающие качество древесины, обуславливают перевод дерева из категории деловых в дровяные.

Деление деревьев на деловые и дровяные при глазомерной таксации леса осуществляется путем подсчета в отдельных куртинах числа стволов той и другой категории. Если в хвойных насаждениях в куртинах, имеющих 10–20 деревьев, на долю дровяных чаще всего приходится 1–2 дерева, то, просмотрев несколько таких куртин, можно вывести без особого труда среднестатистическое число дровяных деревьев. Подавляющая часть хвойных древостоев относится у нас к первому классу товарности.

#### 4.2.13. Элементы леса

Профессор Н. В. Третьяков, изучая строение насаждений, предложил делить их на элементы леса. Элемент леса профессор Н. В. Третьяков считает «той последней единицей, до которой расчленяют лес».

Самым наглядным примером отдельного элемента леса является чистое одновозрастное однородное насаждение, занимающее площадь с однородными условиями местопроизрастания. В этом случае понятие «насаждение» оказывается аналогичным новому таксационному понятию «элемент леса» (рис. 4.4).

В смешанных одноярусных насаждениях элементов леса будет столько же, сколько древесных пород входит в его состав. Допустим, что таксируемое смешанное насаждение имеет состав 6С(120)4Е(110), причем обе эти породы находятся в одном ярусе. Согласно приведенной формуле состава каждая из древесных пород, входящих в это насаждение, представлена одним возрастным поколением. Соответственно этому в данном насаждении различают два элемента леса: сосну и ель (рис. 4.5).

В этом случае понятие «элемент леса» совпадает с понятием «древесная порода».

В сложных насаждениях, где каждый ярус состоит из одной древесной породы, число элементов леса равняется числу ярусов. Так, в зоне смешанных лесов очень распространен тип насаждений, в которых верхний ярус состоит из березы, а нижний из ели (рис. 4.6).

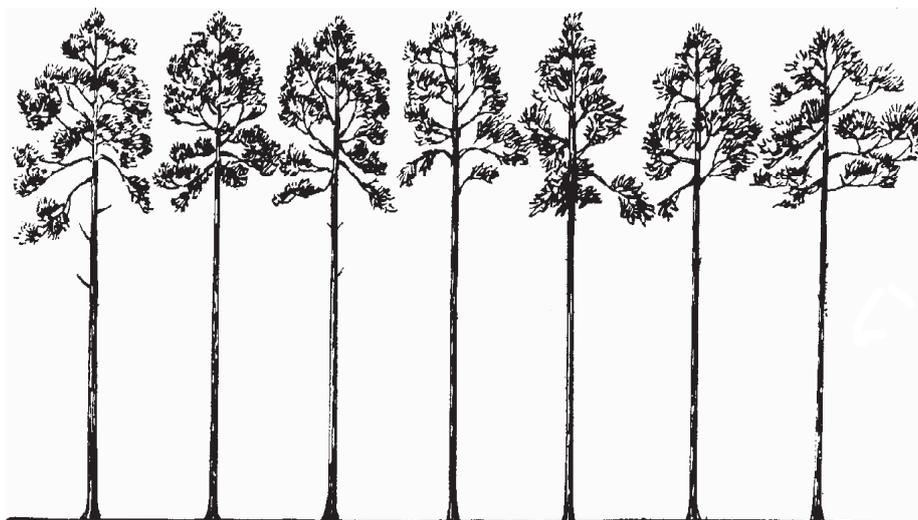


Рис. 4.4. Схема строения простого насаждения, представляющего собой отдельный элемент леса

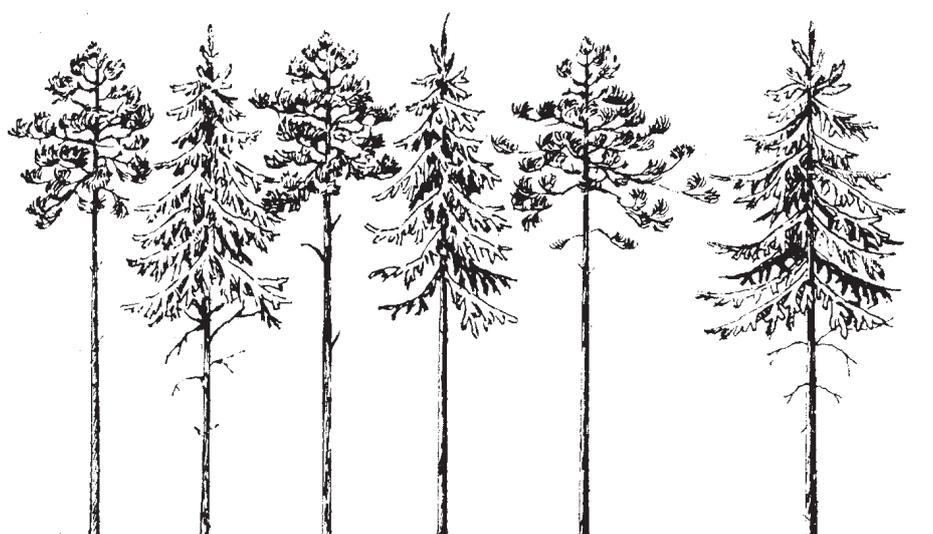


Рис. 4.5. Схема строения сосново-елового насаждения, состоящего из двух элементов леса

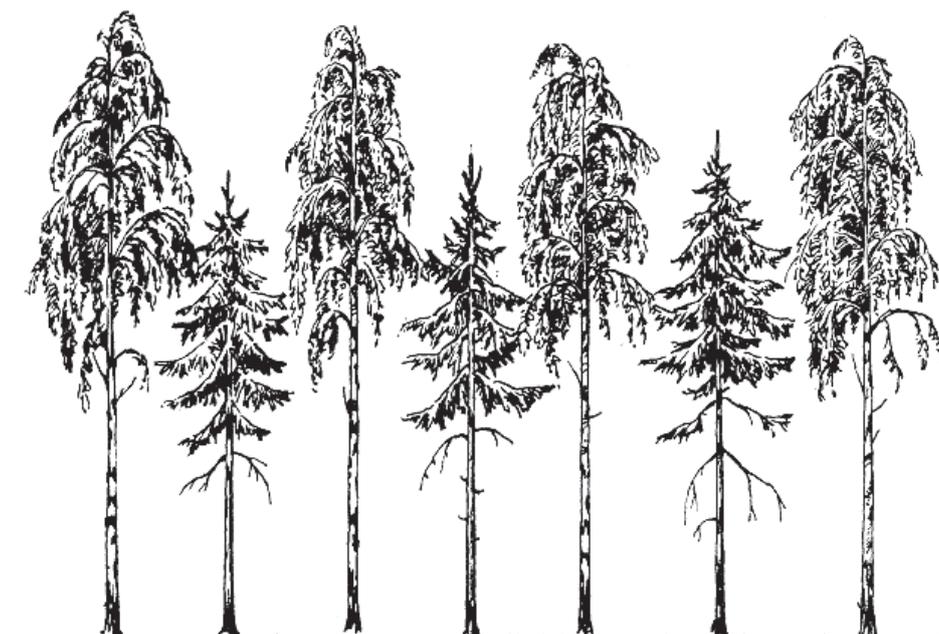
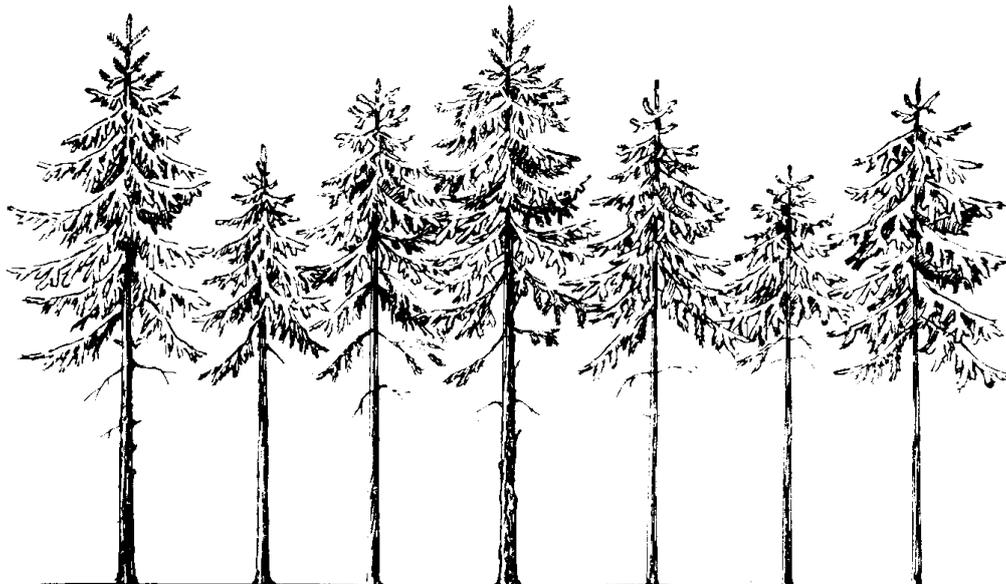


Рис. 4.6. Схема строения березово-елового насаждения, состоящего из двух элементов леса

Применительно к учению профессора Третьякова об элементах леса такое насаждение следует считать состоящим из двух элементов: верхнего березового и нижнего елового ярусов. В данном случае понятие «элемент леса» оказывается тождественным понятию «ярус насаждения».

Теневыносливые древесные породы (ель, пихта и др.) довольно часто образуют разновозрастные насаждения. В лесах Севера России нередко можно встретить ельники, состоящие из двух или трех поколений, например, верхний ярус из ели 180 и 110 лет, нижний – из ели 60 лет (рис. 4.7). Такое насаждение следует считать состоящим из трех элементов леса: первый элемент – еловый древостой 180 лет, второй – еловый древостой 110 лет, третий – второй ярус из ели 60-летнего возраста. В рассмотренном случае понятие «элемент леса» совпадает с понятием «возрастное поколение леса».



**Рис. 4.7. Схема строения разновозрастного елового насаждения, состоящего из трех возрастных поколений, или элементов леса**

Таким образом, для элемента леса можно дать следующее обобщающее определение: элементом леса называется чистое однородное одновозрастное насаждение или часть смешанного, сложного или разновозрастного насаждения, состоящая из деревьев одной породы, расположенных в одном ярусе, по возрасту относящихся к одному поколению и имеющих однородные условия развития и местопрорастания.

В таксационных описаниях, в которых учитываются элементы леса, отмечаются средняя высота, средний диаметр, возраст и запас каждого элемента леса. Наличие этих данных облегчает разделение запасов насаждений на сортименты, имеющие разные размеры. Разделение древостоев на элементы леса можно облегчить, не прибегая к трудоемкой перечислительной таксации, при помощи товарных таблиц расчленив древесные запасы на отдельные сортименты, характеризующиеся разными размерами и качеством и находящие разное применение в народном хозяйстве.

Однако, несмотря на практическую полезность расчленения насаждений на элементы леса, их роль и значение как новой таксационной категории не следует переоценивать.

Идея о разделении сложных насаждений на однородные в техническом и хозяйственном отношении части сама по себе не нова. Еще до введения в таксацию понятия «элемент леса» в смешанных насаждениях с помощью состава учитывали отдельные древесные породы, в сложных насаждениях выделяли ярусы, а в разновозрастных насаждениях – отдельные возрастные поколения.

Как мы видели, при таксации элемент леса обязательно совпадает с каким-либо одним из ранее известных таксационных понятий, например, простое насаждение, часть древостоя, образуемая одной породой, ярус сложного насаждения, отдельное возрастное поколение леса.

В Беларуси понятие «элемент леса» практического применения не получило.

#### 4.2.14. Типы леса и типы условий произрастания

Типы леса очень подробно изучаются в курсе лесоводства. В то же время таксатору при лесоинвентаризации необходимо указывать тип леса. Поэтому в курсе лесной таксации излагаются в кратком виде основные понятия лесной типологии.

Многообразный лесной ландшафт в процессе его таксации делится на множество относительно однородных лесных участков, имеющих те или иные отличия от соседних. Процесс разделения множества предметов на однородные группы или классы в науке и технике принято называть **классификацией**. Она необходима во всех отраслях знаний. Бесчисленное множество изучаемых предметов без их классификации оказывается необозримым. Аналогичное положение мы имеем и при таксации леса. Выделенных участков в лесу оказывается большое множество. Их таксационные характеристики различны, и без соответствующей группировки участков по сходным признакам главные черты протаксированного лесного массива оказываются трудноуловимыми.

Если классификация отражает объективные закономерности самой природы и в основе ее лежат существенные, определяющие признаки, то ее считают естественной. Одним из видов естественных классификаций растительности является *разделение многообразных лесных ландшафтов на отдельные типы леса и типы лесорастительных условий* (ТУМ). Основоположником научной типологии леса является Г. Ф. Морозов. Типом насаждений он называл «совокупность объединяемых в одну обширную группу общностью условий местопроизрастания или почвенно-грунтовых условий». Этот ученый указывал, что лишь те различия в почвенно-грунтовых условиях, которые влекут за собой иную возобновляемость насаждений, вызывая поэтому назначение иного способа рубки, приобретают значение момента, оправдывающего выделение известной совокупности насаждений в особый тип.

Выделение типов насаждений профессор Морозов связывал с запросами практики и указывал поэтому: «Когда различие в ходе роста насаждений так значительно, что вызывает применение другого оборота рубки, то насаждения должны быть выделены в особые типы».

При разделении леса на типы, кроме собственно древостоя, обычно учитывают характер нижних ярусов растительности, состоящих из подроста, кустарников, трав, мхов и лишайников. Травянистую, моховую и лишайниковую растительность, покрывающую лесную почву, называют **напочвенным покровом**.

Напочвенный покров является одним из характерных показателей условий местопроизрастания. Кроме того, от мощности и характера напочвенного покрова в большой мере зависит успешность возобновления леса. Поэтому при таксационных работах необходимо дать общую характеристику напочвенного покрова, отметив в нем наиболее характерные, преобладающие растения.

П. С. Погребняк предложил классифицировать типы леса в зависимости от двух основных факторов: богатства и влажности почвы. Он делит почвы по степени их плодородия на четыре группы: бедные – боры (*A*), относительно бедные – субори (*B*), богатые – сложные субори (*C*), очень богатые – дубравы (*D*), а по влажности на шесть градаций: 0 – крайне сухие, 1 – сухие, 2 – свежие, 3 – влажные, 4 – сырые, 5 – болота.

Система П. С. Погребняка получила название «классификация по типам условий местопроизрастания».

Соответственно этой классификации возможны 24 сочетания степени плодородия и влажности почвы, которые и определяют 24 типа условий местопроизрастания. Каждый тип леса имеет свое условное обозначение, например, лесные участки с крайне бедной почвой, но с влажностью, близкой к оптимальной (почва свежая), обозначаются  $B_2$ , с относительно богатой и влажной почвой –  $C_3$ . Профессор П. С. Погребняк дополнил свою классификацию схемой, определяющей связь типов леса с классами бонитета, и указал растения, характерные для напочвенного покрова в разных типах леса.

Несмотря на определенные недостатки, эта классификация облегчает решение многих практически важных лесокультурных вопросов, связанных с оценкой лесорастительной способности почв, с выбором древесных пород, их посевом и посадкой. При устройстве лесов она облегчает таксатору описание лесорастительных условий и упрощает записи характеристики почвы и напочвенного растительного покрова в журнале таксации.

Лесная типология, разработанная академиком В. Н. Сукачевым и др., за основу деления лесов на типы приняла состав насаждений и напочвенный покров как индикатор, характеризующий условия места произрастания леса.

На рассмотренных выше показателях, служащих основанием для деления лесного ландшафта на однородные совокупности насаждений, названные типами леса, самому понятию «тип леса» в итоге представляется возможным дать следующее определение: *типом леса следует называть совокупность насаждений, имеющих относительное сходство в составе древесных пород, динамике их роста и строения, в напочвенном покрове, рельефе занимаемой территории, в характере почвы и степени ее увлажнения.*

В Беларуси типы леса устанавливают по типологии, разработанной лесотипологической школой академика И. Д. Юркевича (В. С. Гельтман, Н. Ф. Ловчий, Д. С. Голод, В. С. Адерихо и др.). В основу их типологии положены принципы В. Н. Сукачева. В то же время каждый тип леса характеризуется и определенным типом условий местопроизрастания и двумя классами бонитета.

Для практического лесоустройства И. Д. Юркевичем изданы *специальные таблицы для определения типов леса*. Они включают все имеющиеся типы леса в Беларуси и их ассоциации. Там же показаны уровни производительности (классы бонитета), соответствующие типам леса.

Из всего изложенного о лесной типологии видно, что отдельные типы леса характеризуются значительным числом показателей. Сюда входят: состав насаждений, динамика их роста, строение насаждений, состав напочвенного покрова, рельеф занимаемой насаждением территории, типы почв и степень их увлажнения.

Всем перечисленным показателям свойственны значительная изменчивость и разное их влияние на формирование отдельного типа леса. Поэтому расчленение пестрого лесного ландшафта на типы леса – нелегкая задача. Она осложняется по мере улучшения лесорастительных условий. В северных лесах с ограниченным числом лесобразующих древесных пород и относительно бедным напочвенным покровом основные типы леса выделяются более рельефно.

При таксации лесных массивов для установления типов леса, которые могут быть учтены при проектировании лесохозяйственных мероприятий, целесообразно пользоваться статистическим методом, позволяющим объективно выявить степень распространенности отдельных типов леса.

Выделение хозяйственно оправдываемых и четко очерченных в природе типов леса облегчает решение многих важных практических вопросов: выбора способа лесовозобновления, типов лесных культур, способов охраны леса от пожаров, способов главных рубок и рубок ухода. Тип леса дополняет таксационное описание всесторонней характеристикой природной обстановки, обуславливающей продуктивность насаждений и выращивание древесины разного качества.

#### 4.2.15. Подрост и подлесок

Молодое поколение деревьев, которое может со временем достигнуть высоты верхнего яруса насаждений, но в данный момент имеет среднюю высоту, составляющую менее половины средней высоты верхнего яруса таксируемого насаждения, принято называть **подростом**.

**Подлеском** называют совокупность кустарниковых и древесных пород, не достигающих верхнего яруса насаждения.

Будущий лес развивается именно из подроста. При этом подростом считаются только те деревья, которые в будущем достигнут верхнего яруса. В отдельных случаях (в бедных условиях места произрастания) отдельные породы, являющиеся в лесах Беларуси главными (дуб, ель), не могут быть подростом, а являются подлеском. На бедных сухих почвах они не способны достичь первого яруса. При составлении таксационного описания наряду с характеристикой основного древостоя нужно дать хозяйственную оценку подросту. Это необходимо для правильного выбора способов рубки леса, способов последующего восстановления леса на вырубках и выявления перспектив дальнейшего хозяйственного использования занимаемой этим насаждением площади.

Для оценки естественного возобновления составлена специальная шкала. Учет подроста под пологом леса и на лесосеках может быть осуществлен глазомерно или путем закладки учетных площадок. По ТЕП 377-2012 при наличии подроста под пологом леса он определяется в приспевающих, спелых и перестойных лесных насаждениях. При этом определяются: породный состав жизнеспособных экземпляров, средний возраст, средняя высота, количество экземпляров в тысячах штук на 1 га, оценка (благонадежный, неблагонадежный).

Не покрытые лесом земли, имеющие удовлетворительное естественное возобновление древесными породами (свыше 4 тысяч штук на 1 га при средней высоте в 1 м и более), таксируются лесными насаждениями. При этом учитывается возобновление хвойных и твердолиственных пород старше 2 лет, мягколиственных пород – старше 1 года и дополнительно учитывается пневая поросль.

При оценке подлеска указываются основные виды кустарников и степень их густоты. Для определения густоты подлеска применяются следующие нормативы:

- густой – свыше 5 тысяч кустарников на 1 га;
- средней густоты – 2–5 тысяч кустарников на 1 га;
- редкий – до 2 тысяч кустарников на 1 га.

При возрасте самосева и подроста от 1 до 5 лет можно закладывать учетные площадки размером 1 × 1 или 2 × 2 м, при возрасте 6–10 лет – размером от 3 × 3 до 4 × 4 м, при возрасте 11–15 лет – не менее 5 × 5 м. Учетные площадки должны быть распределены равномерно по всему изучаемому участку; число их должно быть от 15 до 20 шт.

На площадках следует подсчитать все всходы и подрост с разделением по породам, возрасту, высоте и состоянию.

Количество всходов и подроста на 1 га  $N$  определяют по следующей формуле:

$$N = 10\,000 \cdot n / S, \quad (4.10)$$

где  $n$  – число всходов и подроста на учетных площадках;

$S$  – площадь учетных площадок, м<sup>2</sup>.

*Возраст подроста определяют по числу годичных побегов и путем подсчета годичных слоев у отдельных срубленных экземпляров.*

По состоянию подрост бывает *благонадежный, здоровый*, который сможет заменить старый лес, и *неблагонадежный* – отставший в росте, имеющий механические повреждения, зараженный вредителями и болезнями.

Показатели подроста и подлеска учитываются при лесоинвентаризации и отражаются в таксационных описаниях.

### 4.3. Перечислительная таксация древостоев

Перечислительными методами в лесном хозяйстве Беларуси пользуются в основном при таксации лесосек и закладке пробных площадей. Основой перечислительных методов таксации лесосек является *сплошной перечет*.

В лесхозах Беларуси сплошной перечет является основным способом при таксации лесосек. Подробно таксация лесосечного фонда рассматривается в главе 6.

Перечет можно вести путем обмера и нумерации каждого дерева. Так поступают при закладке постоянных пробных площадей или стационаров. При этом толщину стволов на высоте 1,3 м часто находят путем измерения окружности дерева рулеткой. В этом случае может проводиться нумерация деревьев и их картирование. Но такие подробные измерения в силу их трудоемкости делают лишь при многолетних научных исследованиях.

Метод сплошных перечетов применяется при таксации пробных площадей. Пробные площади бывают временные и постоянные. *Временные пробные площади* закладываются для получения данных, которые используют один раз. Эти данные получают путем однократных обмеров. *Постоянные пробные площади* (их еще называют стационарами) закладывают для проведения длительных наблюдений по изучению динамики древостоев, определению влияния различных факторов на рост и продуктивность насаждений, определению его товарной структуры и т. д. Их закрепляют в натуре (ставят столбы с соответствующей надписью) и передают под охрану в лесничества. На всех пробных площадях обычно используют перечислительные методы таксации.

В соответствии с ТКП 622-2018 во время подготовительных работ к проведению лесоустройства закладывают тренировочные пробные площади для проведения коллективных тренировок. При этом эти пробные площади должны быть отдешифрованы на аэрокосмических снимках.

На всех пробных площадях определяется полная таксационная характеристика лесных насаждений.

#### 4.3.1. Таксация пробных площадей перечислительными методами

При проведении таксации пробных площадей есть ряд общих правил. В то же время специфика выполнения разных работ (исследования, тренировка глазомера таксатора и т. д.) накладывает свои особенности на проведение работ, поэтому рассмотрим методы учета на пробных площадях в зависимости от целей их закладки. Рассмотрим общие правила работы на пробных площадях.

##### **Подбор пробных площадей**

Пробные площади закладывают, отступая от квартальных просек, дорог, опушек леса, вырубок и других не покрытых лесом земель не менее чем на 30 м.

Размер пробной площади и ее секций определяют исходя из требования наличия на пробе в припевающих и спелых древостоях не менее 200 деревьев основного элемента леса. В молодняках на пробе должно быть в наличии не менее 400–500 деревьев. Проба в молодняках должна иметь площадь не менее 0,25 га. При этом, если число деревьев на такой пробе слишком велико, то перечет деревьев производят на части пробы (секции) с количеством деревьев не менее 400 шт.

При закладке тренировочных и таксационно-дешифровочных пробных площадей в спелых и перестойных насаждениях, в расстроенных древостоях, в насаждениях со средним диаметром более 50 см, а также если в составе древостоя имеются четыре и более древесные породы, допустимо устанавливать размер пробной площади, исходя из наличия на ней не менее 100 деревьев основного элемента леса.

Пробные площади для изучения эффективности рубок главного и промежуточного пользования закладывают в наиболее распространенных в данном объекте насаждениях, нуждающихся в проведении соответствующих рубок.

Тренировочные пробные площади должны быть заложены в типичных, а также в наиболее сложных для таксации древостоях, с учетом распространения таких насаждений в объекте лесоустройства.

### **Оформление постоянных пробных площадей**

Отграничение пробных площадей в натуре производят инструментально с замером углов и сторон. Пробные площади отграничивают визирами шириной 0,5 м с нанесением на граничных деревьях пометок масляной краской или затесок на деревьях, расположенных с внешней стороны пробной площади.

По углам пробной площади и ее секций устанавливают столбы. Вершину столба стесывают в виде усеченной четырехгранной пирамиды с верхним основанием 2 × 2 см. Форма и размер столбов должны соответствовать специальным указаниям.

Столбы маркируют черной масляной краской по трафарету надписями следующего образца:  
ПП-4-95 – пробная площадь, № пробной площади, № квартала.

11-15 – год закладки, год последующего измерения.

2-0,25 – № секции, площадь в га.

Нумерация пробных площадей, закладываемых в течение года, должна быть единой в пределах лесничеств. На всех постоянных пробных площадях, заложенных ранее, нумерация должна быть сохранена прежняя. Вновь заложенные пробные площади нумеруют по порядку, начиная с первого номера. Для каждой пробной площади производят привязку к квартальной сети.

На пробную площадь и данные ее привязки выполняют чертеж, обычно в масштабе 1 : 10 000. Все пробные площади должны быть нанесены на планшеты и отмечены условным знаком с указанием номера пробной площади и года закладки. Постоянные пробные площади передаются под охрану лесхозу по акту.

### **Работа на пробных площадях**

После отграничения пробной площади в натуре на ней производят перечет деревьев по элементам леса в пределах каждого яруса по ступеням толщины и с подразделением их на деловые, дровяные и сухостойные. Отдельно учитывают захламленность с подразделением ее на ликвидную и неликвидную. Выделение возрастных поколений делают при разнице в возрасте не менее, чем на два класса возраста и запаса выделяемого поколения не менее 20 % от общего запаса насаждения.

Применение сплошных методов сводится в основном к проведению сплошного перечета по ступеням толщины. Величину ступени толщины определяют в соответствии с таблицей 4.4. Как правило, в лесохозяйственной практике используют ступень толщины, которая равна 4 см.

Таблица 4.4

**Величина ступеней толщины при проведении перечетов**

<b>Средний диаметр преобладающего элемента леса, см</b>	<b>Величина ступени толщины, см</b>
До 4 включительно	0,5
Свыше 4 до 8 включительно	1,0
Свыше 8 до 16 включительно	2,0
Свыше 16	4,0

Записывают измеренные деревья в перечетную ведомость «конвертом». При этом применяют следующие условные обозначения (таблица 4.5).

Таблица 4.5

Условные обозначения для занесения в перечетную ведомость

Обозначение	Количественный эквивалент	Обозначение	Количественный эквивалент	Обозначение	Количественный эквивалент
•	1	••	5	□	9
••	2	•••	6	□	10
•••	3	••••	7	□	11
••••	4	•••••	8	□	12

Перечетная ведомость, куда заносятся диаметры измеренных деревьев, записываемые «конвертом», ведется для каждой породы. По результатам замеров составляют сводную перечетную ведомость по форме таблицы 4.6.

Таблица 4.6

Сводная перечетная ведомость деревьев на пробной площади

Ступени толщины	Число деревьев по породам			Итого
	сосна	ель	береза	
4	3	2	1	6
5	11	10	–	19
6	20	14	2	26
7	27	19	3	49
8	35	21	6	62
9	38	12	7	57
10	29	6	5	40
11	19	2	3	24
12	10	1	–	11
13	5	–	2	7
14	3	–	1	4
15	1	–	–	1
Всего	201	85	30	306

Минимальный диаметр деревьев, включаемых в перечет, должен быть 8 см для насаждений со средним диаметром от 16 см и более. Для насаждений со средним диаметром до 16 см он должен составлять 0,4 среднего диаметра.

При проведении научных исследований выбор величины ступени и минимальный диаметр выбирают, руководствуясь методикой выполнения работы. Проведение сплошных перечетов при отводах и таксации лесосек в силу их большой практической важности выделено в отдельную главу и описано ниже.

Среднюю высоту преобладающей породы вычисляют по графику высот. Техника этой работы описана выше. Для построения графика высот преобладающего элемента леса измеряют высоты у 20–25 деревьев. Для этих же деревьев измеряют и диаметры на высоте 1,3 м.

У элементов леса, составляющих 0,1–0,3 состава, высоты измеряют у 3–5 деревьев, близких по высоте к средней. Средняя высота в этих случаях определяется как среднее арифметическое указанных измерений. Средние высоты элементов леса, доля участия которых менее 0,1 состава, указывают глазомерно.

Определение возраста основного элемента леса проводят путем подсчета годичных слоев на кервах, взятых с помощью возрастного бурава у шейки корня или на срубленных 3–5 модельных деревьях, близких к средним. По остальным элементам леса возраст проставляется глазомерно. Средний возраст элемента леса определяют как среднее арифметическое из возрастов замеренных деревьев.

Если методика исследований требует рубить модельные деревья (например, для установления сортиментной структуры), то их выбирают путем предварительного обмера высот и диаметров из числа деловых стволов. Диаметр выбранного дерева не должен отличаться от численного среднего диаметра элемента леса более чем на половину принятой при перечете градации ступени толщины. Для данной ступени высота выбранной модели не должна отклоняться от высоты, найденной по графику более чем на 5 %, а отобранные деревья должны быть средними по форме и размерам крон.

Деревья, учитываемые на пробе, разделяют на модельные и учетные. Модельными будут те, которые измеряют после их рубки. Учетные деревья обмеряют без рубки, например, при замерах высот. Для определения ряда таксационных показателей (запас, прирост, выход сортиментов и т. д.) отбирают разное количество модельных деревьев. Это определяется методикой исследования. В то же время есть единые принципы отбора моделей. Они заключаются в следующем.

Отбор проводится случайным путем. В условиях леса наиболее удобным и правильным методом отбора деревьев будет систематическая выборка, являющаяся разновидностью метода случайного отбора. Для осуществления отбора с помощью систематической выборки делают перечет деревьев.

Допустим, на пробной площади у нас оказалось 220 деревьев. Расчетным путем определили, что количество моделей, которое надо обмерить, будет 20. Следовательно, одна модель должна быть взята от 11 деревьев. Став в углу пробной площади, мы должны идти в том же направлении, как и при производстве перечета. Допустим, что начнем отбор с 6 деревьев по счету. Затем берем каждое 11-е дерево после 6: 17, 28, ... до тех пор, пока не наберем 20 модельных деревьев. Нельзя выбирать «типичные» стволы или место их роста. Отбор должен носить случайный характер – это главное.

Случайный отбор исключает систематические ошибки, а случайные ошибки рассчитывают известными биометрическими методами. В то же время при отборе модельных деревьев следует исключить те из них, которые могут исказить суть изучаемого явления. Например, изучая прирост, нельзя брать усохшие стволы. При исследовании сортиментной структуры и во всех других случаях – сломанные деревья и т. д.

Отбор моделей ведется по способу пропорционально-ступенчатого представительства. Например, нам надо отобрать 20 модельных деревьев из 220, которые представлены следующей перечетной ведомостью (таблица 4.7). Из таблицы 4.7 мы видим, что из ступени толщины 36 см по расчету модель не берется. Но наиболее толстые ступени толщины древостоев имеют значительную долю в запасе и приросте. Из самых толстых деревьев вырезают наиболее ценные сортименты. Поэтому желательно, чтобы модели были взяты из всех ступеней толщины, которые больше среднего диаметра. Это можно сделать как за счет уменьшения количества моделей в тонких или средних ступенях толщины, так и за счет увеличения на 1–4 числа взятых модельных деревьев, что видно из таблицы 4.7. Взятие несколько большего количества моделей, хотя и требует повышенных затрат труда, но компенсируется увеличением точности исследования. Во время отбора ведется измерение деревьев и их точковка раздельно по каждой породе. Если в некоторой ступени толщины количество моделей, которые надо измерить, уже набрано, то, не нарушая порядок перечета, измеряем следующее (или предыдущее) дерево.

**Пример расчета необходимого количества моделей по ступеням толщины.  
 Норма представительства – 1 модель от 11 деревьев**

Ступени толщины, $x_i$	Число деревьев, $n_i$	Количество моделей по расчету, шт.	Количество моделей с округлением, шт.	Намечено к вырубке, шт.	Фактически взято моделей, шт.
8	9	0,82	1	1	· / 1
12	25	2,27	2	2	· · / 2
16	36	3,27	3	3	: · / 3
20	45	4,09	4	4	: : / 4
24	51	4,64	5	4	· : / 5
28	32	2,91	3	3	: : / 4
32	18	2,64	2	2	· · / 2
36	4	0,36	0	1	· / 1
Итого:	220	20,0	20	20	22

В процессе измерений может оказаться, что из-за неточностей измерения или каких-либо ошибок количество отобранных моделей не совпадает с расчетным. Например, вместо четырех деревьев в ступени толщины 24 отобрано пять, а в ступени 20 получилось на одну модель меньше. В этом случае следует добрать одну модель в ступени 20 и т. д. В результате получим большее число моделей, что ничуть не ухудшит искомый результат.

В случае, если из какой-то ступени толщины не взята модель, например в ступени 28, то для расчетов используют модель, взятую для соседней ступени толщины, например 24 или 32 см. Объем дерева для ступени, где нет модели, рассчитывают по формуле:

$$V_{ict} = V_{mod\ cti\pm 1} \left( \frac{D_i^2}{D_{i\pm 1}^2} \right), \quad (4.11)$$

где  $V_{ict}$  – объем дерева в  $i$  ступени, где не брали модель;

$V_{mod\ cti\pm 1}$  – объем модели в ступени толщины, которая больше или меньше ступени  $i$ ;

$D_i, D_{i\pm 1}$  – диаметры  $i$  и  $i \pm 1$  ступеней толщины.

На пробных площадях, заложенных в молодняках и средневозрастных насаждениях, единичные деревья, не образующие ярус или поколение, также включают в перечет, но при вычислении средних диаметров и высот соответствующих элементов леса, а также полноты яруса их не учитывают. Запас единичных деревьев учитывают отдельно.

Для учета и характеристики подроста и подлеска на пробной площади под пологом леса закладывают не менее пяти площадок, равномерно распределенных и составляющих в сумме 5 % от ее площади. Перечет подроста на площадках производится по породам, происхождению, группам высот и жизнеспособности. Для каждой группы высот подроста определяется средний возраст. Перечет подлеска производится по породам.

На пробной площади должен быть заложен почвенный разрез. Описание его проводится по почвенным горизонтам с указанием цвета, мощности, механического состава, структуры, сложения, включений, новообразований, характера смены горизонтов и других показателей.

На каждую пробную площадь заполняют специальные карточки.

### **Пробные площади для изучения хода роста**

Пробные площади для изучения хода роста насаждений закладывают по естественным рядам развития, которые соответствуют различным условиям местопроизрастания, характерным для данного района исследования, с соблюдением требований, предусмотренных методикой составления соответствующих таблиц.

Модельные деревья и деревья на анализ древесного ствола должны быть срублены за пределами пробной площади. Подбор модельных деревьев проводят по методу пропорционально-ступенчатого представительства. На срубленных модельных деревьях производят измерения, предусмотренные специальной формой карточки модельного дерева. Длину отрезков, на которые должно быть разделено модельное дерево, определяют в соответствии с таблицей 4.8.

Таблица 4.8

Длина отрезков для определения объема ствола по секционным формулам

Длина ствола, м	Длина отрезка, м
До 8	0,5 (1,0)
Свыше 8	2,0

Допускается делить ствол на 10 равных отрезков по методике В. К. Захарова. Вычисление объема ствола в этом случае проводят по формуле Симпсона. На модели отмечают масляной краской место измерения диаметра на высоте груди и указывают номер дерева. При закладке проб на ход роста руководствуются специальной методикой, которая будет изложена ниже.

Пробные площади закладывают и для других целей, которые могут быть весьма разнообразными: для изучения товарной структуры древостоев, интенсивности рубок ухода и т. д.

#### **Пробные площади для изучения товарной и сортиментной структуры**

Пробные площади для изучения товарной и сортиментной структуры должны быть заложены на участках, наиболее типичных для определения категории таксируемых насаждений, с условием охвата как можно большего разнообразия спелых насаждений исследуемой породы по классу бонитета, полноте и составу. Пробные площади целесообразно размещать на лесосеках, поступающих в ближайшее время в рубку.

На пробных площадях, заложенных для изучения товарной и сортиментной структуры древостоев, учетные деревья выбирают методом случайного отбора в количестве от 25 до 50 шт. Они должны быть распределены пропорционально коэффициентам состава по элементам леса, а в пределах последних – пропорционально сумме площадей сечений каждой ступени толщины.

Для составления товарных и сортиментных таблиц допускается срубить и разделять на сортименты все деревья на пробе. При разделке деревьев на сортименты следует руководствоваться СТБ-1711 и 1712. На каждую пробную площадь заполняют карточки по специальной форме. Подробная методика сбора полевого материала для составления сортиментных таблиц описана ниже.

#### **Пробные площади для изучения эффективности рубок промежуточного пользования и рубок главного пользования**

Для изучения эффективности рубок ухода за лесом, санитарных рубок, выборочных и постепенных рубок главного пользования и лесовосстановительных рубок пробных площадей, закладывают многосекционные пробы. На таких пробных площадях одна секция должна сохраняться в качестве контроля. Остальные секции являются показательными, на них проводят соответствующую рубку разной интенсивности или разными методами. На таких пробных площадях производят сплошной пересчет деревьев. При этом на показательных секциях выбираемую и оставляемую часть древостоя необходимо учитывать отдельно.

На показательной секции при рубках ухода в молодняках выбираемые деревья складывают по породам и определяют запас вырубленной древесины в складочных кубометрах с последующим переводом в плотные. Запас вырубленной части древостоя на показательных секциях

при рубках ухода за лесом, санитарных рубках, выборочных и постепенных рубках главного пользования и лесовосстановительных рубках определяют по сортиментным таблицам с разделением на деловую древесину, дрова и отходы.

На пробных площадях для изучения эффективности выборочных и постепенных рубок главного пользования и лесовосстановительных рубок учет подроста и подлеска ведут на учетных площадках, составляющих в сумме не менее 10 % от всей пробной площади.

### **Сохранность пробных площадей**

Постоянные пробные площади подлежат сохранению и по окончании полевых работ сдаются по акту лесничеству. В 30-метровой полосе вдоль постоянных пробных площадей запрещается проведение рубок главного пользования и рубок ухода за лесом.

Организации, заложившие пробные площади, обязаны представить в лесохозяйственное предприятие ведомости пробных площадей и схемы их привязок. Карточки пробных площадей должны храниться в лесоустроительных предприятиях.

Персональную ответственность за сохранность постоянных пробных площадей несут главный лесничий предприятия, ведущего лесное хозяйство, и лесничий. При проведении авторского надзора представитель лесоустроительного предприятия или экспедиции проверяет сохранность и состояние пробных площадей.

### **Обработка результатов измерений**

Запас насаждений на пробных площадях для изучения хода роста товарной и сортиментной структуры определяют как сумму запасов ступеней толщины, вычисленных на основании данных модельных деревьев.

При сплошной рубке насаждений на пробных площадях, заложенных для составления товарных и сортиментных таблиц, запас их определяют суммированием запасов всех срубленных деревьев.

Относительную полноту находят как отношение суммы площадей сечений на 1 га таксируемого насаждения к сумме площадей сечений подобного нормального древостоя. Последнюю находят по стандартным таблицам сумм площадей сечений при полноте 1,0. Полноту устанавливают с точностью до 0,01. Результаты обработки заносят на лицевую карточку пробной площади.

При проведении научных исследований закладку пробных площадей, их обмер и обработку ведут по специальным методикам, утверждаемым в установленном порядке. В этом случае допускаются отклонения от вышеописанной методики закладки проб.

В настоящее время обработка материалов переречетов и вычисление таксационных показателей пробных площадей проводится на компьютерах по специальным рабочим программам.

## **4.4. Строение древостоев**

### **4.4.1. Общее понятие о строении древостоев. Показатели, характеризующие строение**

Когда человек приходит в лес, то ему вначале кажется, что деревья растут хаотично, и в их распределении нет никакой закономерности. Если же мы зададимся целью изучить некоторую однородную совокупность деревьев, допустим, растущих на выделе с составом 10Е в возрасте 80 лет, и сделаем там переречет по 4 см ступени толщины, то легко заметим их закономерное распределение. Наибольшее количество стволов будет сосредоточено в средних ступенях толщины, а в крайние попадут лишь единичные деревья.

Аналогичную картину можем наблюдать и при изучении распределения высот и других таксационных показателей древостоя: видовых чисел, коэффициентов формы, площадей

сечения, объемов стволов. Такое распределение деревьев по таксационным показателям является типичным для наблюдений всех древесных видов, классов бонитета, типов леса. С изменением возраста характер распределения все равно сохраняет определенную закономерность.

Таксационные показатели не просто распределены в соответствии с некоторой закономерностью, но они имеют тесную связь между собой, например, уже рассмотренные зависимости  $D - H$ ,  $H - f$ ,  $f - q_2$  и т. д.

Закономерно изменяется и их варьирование в зависимости от возраста, класса бонитета и древесной породы. Обобщая все эти явления, ученые пришли к разработке теории строения древостоев.

**Строением древостоя** называется закономерное распределение его таксационных показателей внутри древостоя: высоты, площадей сечения, видовых чисел, коэффициентов формы, объемов деревьев.

Приведенное определение дали в свое время ученые XIX – начала XX в. А. Шиффель, А. В. Тюрин и др. В дальнейшем термин «строение» был существенно расширен. Так, Н. В. Третьяков предложил делить строение древостоев на внутреннее и внешнее, понимая под последним пространственное расположение деревьев. П. М. Верхунов взамен внешнего строения предлагает термин «морфологическая структура древостоя», который является более удачным.

В настоящее время в понятие «строение» входят также показатели изменчивости таксационных признаков и их взаимосвязи. Таким образом, трудами большого количества ученых: Ф. П. Моисеенко, К. Е. Никитина, В. В. Антанайтиса, П. М. Верхунова, Н. Н. Свалова, Н. П. Анучина, В. К. Захарова, А. З. Швиденко, О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинского – сформулировано общее понятие о строении древостоев. *Строение древостоев – это закономерное распределение деревьев в древостое по основным таксационным показателям, их изменчивость и взаимосвязи.*

При изучении закономерностей строения насаждения необходимо иметь в виду, что эти закономерности в полной мере выявляются на множестве деревьев, то есть они носят статистический характер. Для исследования строения необходимо брать большие совокупности деревьев, которые можно разделить на  $12 \pm 3$  разрядов (ступеней толщины), чтобы получить статистически достоверные результаты.

Из курса лесной биометрии известно, что в древостое деревья в середине ряда распределения по своей величине близки к среднеарифметическому значению, особенно при большом числе наблюдений. По мере удаления от середины ряда распределения численности соответственно уменьшаются. Если вести наблюдения на ограниченном материале, особенно если совокупность статистически мала, то результаты могут быть некорректны.

В соответствии с предельной теоремой А. М. Ляпунова, которая известна из курса биометрии, распределение случайных величин в живой природе соответствует закону нормального распределения. Лесные насаждения не являются исключением. Как установлено учеными, изучавшими строение древостоев начиная с XIX в. (В. Вейзе, А. Шиффелем, А. В. Тюриным, Н. В. Третьяковым и др.), распределение деревьев в насаждении по различным таксационным показателям можно с высокой степенью вероятности отразить кривой нормального распределения (рис. 4.8). Основные свойства этой кривой известны из курса биометрии.

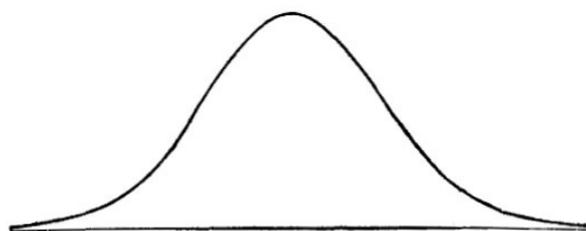


Рис. 4.8. Кривая нормального распределения

Изучение строения древостоев началось со второй половины XIX в. в Германии и Австрии. В конце XIX – начале XX в. учение о строении насаждений успешно развито русскими таксаторами, среди которых наибольший вклад внес профессор А. В. Тюрин. С его именем связано новое направление в изучении строения древостоев, позволившее проводить обобщение строения древостоев разных пород и уровней производительности.

Впервые закономерности строения в конце прошлого и начале нынешнего века установили зарубежные и отечественные ученые: В. Вейзе, Л. Фекете, А. Шиффель, А. В. Тюрин, Н. В. Третьяков, А. И. Тарашкевич, Ф. П. Моисеенко, В. К. Захаров. Эти закономерности сводятся к следующему:

- В одновозрастных чистых насаждениях, созданных путем посева и посадки и имевших до смыкания крон деревьев одинаковый уход, распределение деревьев по толщине характеризуется симметричной, одновершинной линией, называемой кривой нормального распределения. В этом случае влияние многочисленных факторов, задерживающих рост деревьев или способствующих ему, взаимно уравниваются.

- Чистые одновозрастные насаждения после смыкания крон деревьев сохраняют до высокого возраста, а иногда и всю жизнь, одновершинное распределение, в основе которого лежит кривая нормального распределения. Однако довольно часто у кривых распределения появляется асимметрия. Она есть следствие конкуренции между деревьями. Более крупные деревья, занимающие в насаждении лучшее положение, имеют все преимущества для успешного роста. Поэтому с увеличением возраста правая ветвь кривой распределения, где сосредоточены крупные деревья, становится длиннее. Левая ветвь, изображающая отстающие в росте деревья, оказывается более короткой из-за отпада ослабленных деревьев или в результате их вырубki в порядке ухода за лесом. В результате одновершинная, асимметричная кривая характеризует молодое насаждение или пройденное рубками ухода.

- По мере увеличения возраста древостоя растет размах ряда распределения деревьев по толщине. Из-за уменьшения числа деревьев кривая становится более плоской. С увеличением возраста насаждения характер распределения деревьев изменяется в зависимости от древесной породы и темпов естественного изреживания.

- В результате конкуренции между деревьями они разделяются на классы роста и развития и в конечном итоге образуют главный и подчиненный полог, главную и подчиненную части древостоев. В этом случае в кривой распределения деревьев может появиться двухвершинность, то есть кривая будет характеризовать отдельно нижний и верхний пологи. Двухвершинность распределения может наблюдаться у разновозрастных древостоев. Распределение деревьев по таксационным показателям в смешанных насаждениях, состоящих из светолюбивых и теневыносливых древесных пород, если выводится обобщенная кривая, не учитывающая влияние породы, также будет двухвершинным.

#### 4.4.2. Строение древостоев по диаметру

Распределение деревьев в древостое по диаметру является важнейшим элементом при изучении строения насаждений. Знание закономерностей распределения деревьев по толщине упрощает расчет выхода сортиментов, особенно для чистых одновозрастных древостоев. Строение древостоев в целом характеризует лесоводственную структуру насаждения.

Первые закономерности распределения деревьев по диаметру установлены в конце XIX в. Австрийский ученый профессор В. Вейзе пришел к выводу, что число деревьев меньше среднего диаметра составляет в насаждении 57,5 % от их общего числа, а больше – 42,5 %.

Таким образом, среднее по толщине дерево делит все имеющиеся в древостое деревья на две неравные части. Закономерность, обнаруженная В. Вейзе, подтверждена позднейшими исследованиями, причем установлено, что она наблюдается у всех древесных пород. Эта

закономерность, определяющая место среднего дерева, имеет теоретическое и практическое значение, так как облегчает нахождение среднего диаметра.

Допустим, что в результате обмера в насаждении оказалось следующее распределение деревьев по ступеням толщины:

Ступени толщины, см ...	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	
Число деревьев	15	45	100	190	215	195	120	80	30	10	Итого 1000

В соответствии с найденной закономерностью 575 деревьев должны иметь диаметр меньше среднего, а остальные 425 деревьев – больше среднего. Следовательно, средний диаметр данной совокупности будет равен примерно 30 см.

Изучением закономерностей распределения деревьев в насаждениях по толщине занимался также венгерский профессор Л. Фекете. Он составил таблицу, в которой даны средние диаметры, кратные 5 см: 10, 15, 20, 25 см и т. д. Потом был найден диаметр самого тонкого дерева, далее – диаметр дерева, отграничивающего первые 10 % более тонких деревьев, затем 20, 30 % и т. д. через каждые 10 %. Составив такую таблицу, Л. Фекете установил, что, если в древостое заданного среднего диаметра отсчитать некоторое число деревьев, начиная с самого тонкого, выраженное в процентах от их общего числа, то у дерева, отграничивающего отсчитанный процент деревьев, диаметр будет определенной величиной.

Допустим, что насаждение имеет средний диаметр 25 см. Согласно таблице Л. Фекете диаметр самого тонкого дерева в древостое равен 13,8 см. Если в этом насаждении отобрать 10 % самых тонких деревьев, то толщина последнего дерева, которое войдет в первые 10 %, будет равна 17,3 см; если отобрать 20 % более тонких деревьев, то дерево, отграничивающее эти 20 %, будет иметь диаметр 19,3 см; если отсчитать 30 % более тонких деревьев, то диаметр самого толстого дерева, входящего в эти 30 %, будет равен 20,8 см и т. д. Такие вычисления были произведены Л. Фекете для древостоев разных средних диаметров. Диаметры деревьев указаны им в абсолютных числах (сантиметрах), отграниченных от самого тонкого дерева на величину, кратную 10 %.

Более широко обобщил распределение деревьев в насаждениях по диаметру австрийский лесовод А. Шиффель, который выразил диаметры не в абсолютных числах, а в долях средних диаметров древостоев ( $R_D$ ). Такие относительные значения диаметров в лесной таксации названы *редукционными числами по диаметру*. Таким образом, редуционное число по диаметру ( $R_D$ ) есть частное от деления диаметра того или иного дерева на диаметр среднего дерева. Замена абсолютных значений диаметров относительными величинами позволяет в насаждениях разных средних диаметров сравнивать толщину деревьев, растущих в одинаковых условиях.

Все деревья, составляющие древостой, А. Шиффель распределил в последовательный ряд по возрастанию диаметров (рис. 4.9). Этот ряд он разделил на десять частей. Для деревьев, оказавшихся на границе каждого из десяти отрезков, были найдены диаметры, выраженные в долях среднего диаметра, и в итоге составлена таблица редуционных чисел (таблица 4.9).

Из таблицы 4.9 видно, что диаметры деревьев, находящихся в древостое в одинаковых условиях, составляют определенную долю от среднего диаметра, иными словами, имеют одинаковые редуционные числа. Отклонения от этого правила наблюдаются лишь у насаждений со средним диаметром менее 20 см. Поэтому при выделении средних величин первые два ряда цифр не были приняты во внимание.

Наличие у древостоев общности в распределении деревьев по толщине, высоте и форме стволов принято называть *закономерностями в строении насаждений*.

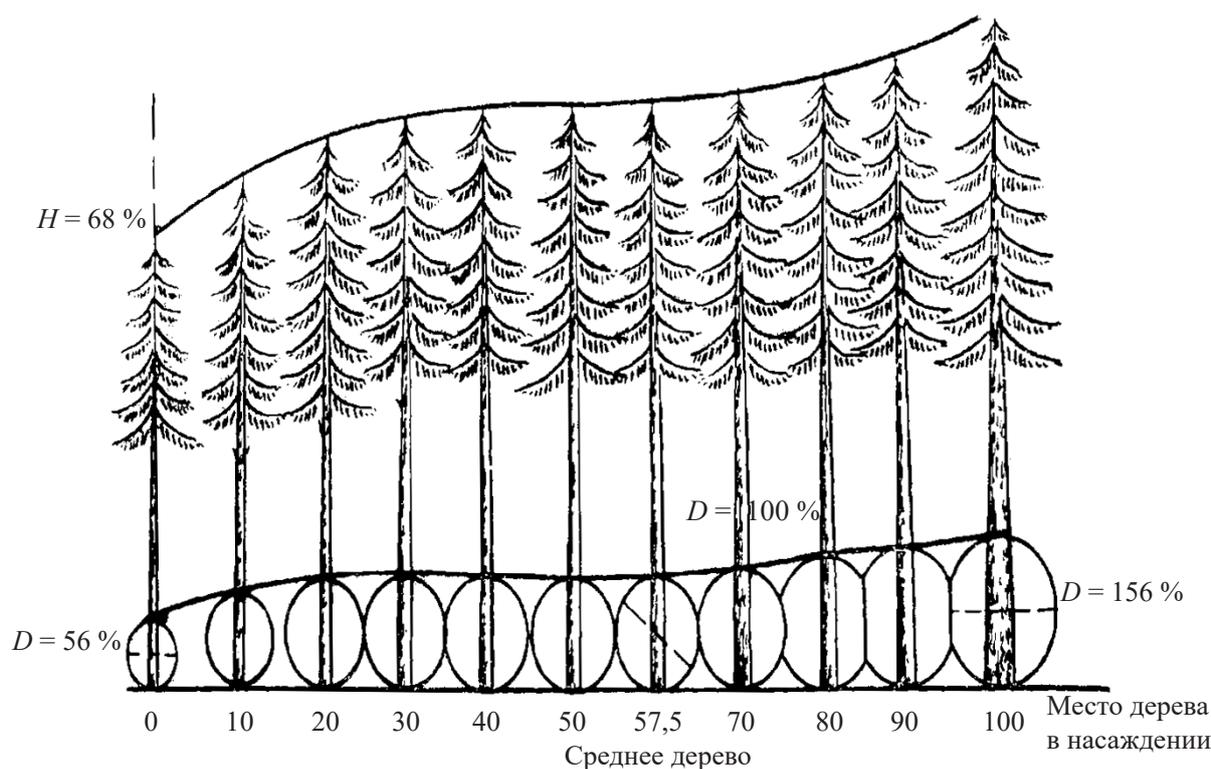


Рис. 4.9. Схема распределения деревьев по размерам и их месту в насаждении (по А. Шиффелю)

Таблица 4.9

Редукционные числа по диаметру для еловых насаждений (по А. Шиффелю)

Средний диаметр, см	Диаметры в долях среднего диаметра, отграниченные от нижней ступени на число процентов от общего числа деревьев										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0,540	0,710	0,770	0,810	0,850	0,910	0,970	1,07	1,15	1,28	1,95
15	0,547	0,700	0,766	0,827	0,871	0,933	0,983	1,07	1,17	1,28	1,77
20	0,550	0,695	0,770	0,830	0,885	0,940	1,005	1,07	1,17	1,29	1,67
25	0,552	0,692	0,772	0,832	0,892	0,948	1,010	1,08	1,17	1,28	1,61
30	0,553	0,690	0,771	0,838	0,893	0,953	1,010	1,08	1,17	1,28	1,57
35	0,555	0,689	0,771	0,838	0,897	0,958	1,010	1,08	1,17	1,28	1,52
40	0,555	0,687	0,772	0,840	0,900	0,960	1,020	1,08	1,17	1,28	1,51
45	0,557	0,687	0,771	0,842	0,902	0,962	1,020	1,08	1,17	1,28	1,59
50	0,556	0,686	0,774	0,842	0,900	0,964	1,020	1,09	1,17	1,28	1,45
Средние	0,555	0,689	0,771	0,837	0,895	0,955	1,010	1,08	1,17	1,281	1,55
Вычисленные по формуле	0,555	0,680	0,771	0,841	0,898	0,948	1,006	1,078	1,173	1,302	1,475

Исследования Вейзе, Фекете и Шиффеля дали лишь первоначальные теоретические выводы по вопросу о строении древостоев. Современные ученые пришли к новым теоретическим обобщениям и разработали на основе закономерностей строения древостоев более совершенные методы учета древесных запасов и выхода сортиментов, широко используемые в современной таксационной практике.

А. В. Тюрин для выявления закономерностей в строении насаждений распределял деревья по ступеням толщины, выраженным в десятых долях среднего диаметра древостоя. Такие ступени, являющиеся общими для всех древостоев и не зависящие от конкретных диаметров, он назвал естественными ступенями толщины. В настоящее время их еще называют относительными ступенями толщины.

Среднее распределение деревьев в процентах по естественным ступеням толщины было получено А. В. Тюриным в результате анализа многочисленных перечетов деревьев (таблица 4.10).

Таблица 4.10

**Распределение деревьев в насаждении  
по естественным (относительным) ступеням толщины (по А. В. Тюрину)**

<b>Естественные ступени толщины в долях среднего диаметра</b>	<b>Число деревьев в ступени, % от их общего числа в насаждении</b>	<b>Естественные ступени толщины в долях среднего диаметра</b>	<b>Число деревьев в ступени, % от их общего числа в насаждении</b>
0,5	0,7	1,2	8,9
0,6	3,5	1,3	6,3
0,7	9,5	1,4	3,3
0,8	16,1	1,5	1,5
0,9	18,4	1,6	0,5
1,0	18,1	1,7	0,1
1,1	13,1	–	–

Замена ступеней, выраженных в сантиметрах, относительными значениями дала возможность сравнивать и выявлять общий характер перечетов деревьев в древостоях различных средних диаметров. А. В. Тюрин пришел к выводу, что распределение деревьев по естественным ступеням толщины не зависит ни от породы, ни от бонитета, ни от полноты насаждений. В некоторой степени оно зависит от возраста древостоя, и в большей мере – от характера рубок ухода.

Полученное А. В. Тюриным распределение деревьев по естественным ступеням толщины является обобщенным вариационным рядом, характеризующим изменчивость толщины деревьев в древостоях и степень заселенности отдельных ступеней, составляющих определенную долю от среднего диаметра.

Средние диаметры деревьев в различных насаждениях могут быть разными. Однако в строении их наблюдаются общие черты, выражающиеся в том, что в ступенях толщины, составляющих одинаковые доли от среднего диаметра, число деревьев (в процентах) оказывается близким.

Изучение распределения деревьев по естественным ступеням толщины имеет значительное преимущество против учета по абсолютным величинам. Оно является общим для всех насаждений, от него можно перейти к ступеням, измеряемым в любых мерах с помощью графического или аналитического способа.

Проведя последовательное суммирование числа стволов, выраженное в процентах, и нанеся результаты на график, получим кривую, которая в математике называется огивой (рис. 4.10). Она может быть описана уравнением параболы третьей степени.

Чтобы на основании этого графика найти распределение деревьев по конкретным ступеням толщины при определенном среднем диаметре насаждения, отрезок абсциссы, заключенный между крайними ординатами, нужно разделить на столько частей, сколько сантиметров содержится в диапазоне от самого тонкого до самого толстого дерева.

Подобные расчеты производят для насаждений различных средних диаметров. В зависимости от величины среднего диаметра и разницы между более толстым и тонким деревом древостоя отрезок абсцисс делят на определенное число частей. Результаты расчетов сводят в таблицу распределения деревьев по четырехсантиметровым ступеням толщины в зависимости от среднего диаметра насаждений (таблица 4.11).

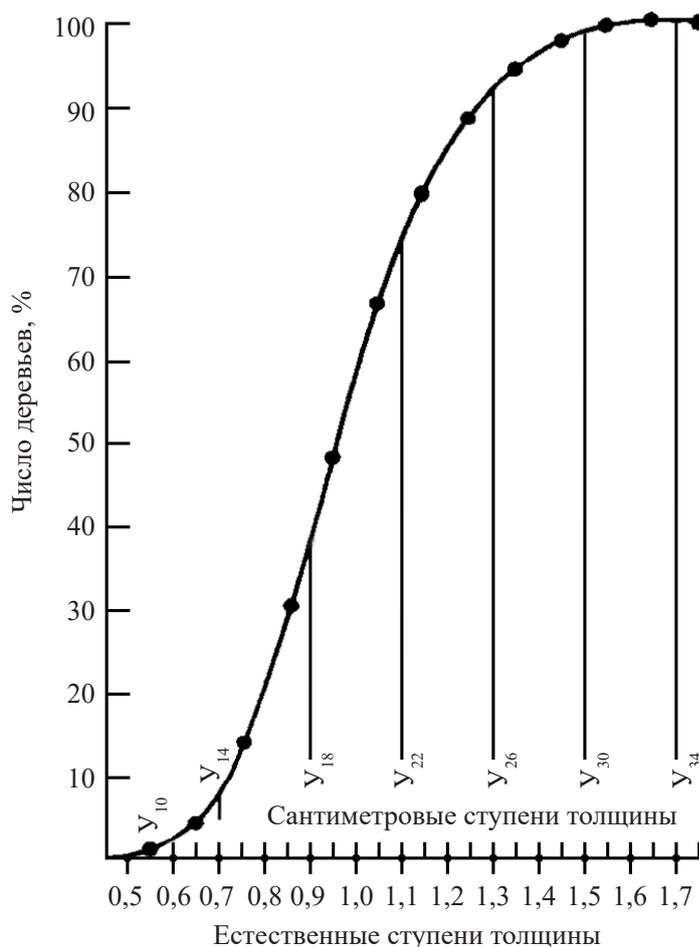


Рис. 4.10. Последовательное суммирование числа стволов по ступеням толщины – огиба

Таблица 4.11

Распределение деревьев преобладающей части насаждения по четырехсантиметровым ступеням толщины (по А. В. Тюрину)

Ср. диаметр насаждения, см	Ступени толщины, см													
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
	Число деревьев, %													
20	0,5	8,7	30,1	33,9	18,5	7,1	1,2	–	–	–	–	–	–	–
22	–	4,9	19,0	31,9	26,7	12,7	4,5	0,3	–	–	–	–	–	–
24	–	2,0	12,2	27,5	29,3	17,6	8,7	2,4	0,3	–	–	–	–	–
26	–	0,7	7,8	21,7	27,7	21,5	12,5	5,7	2,4	–	–	–	–	–
28	–	0,4	4,6	15,3	24,4	24,3	16,0	9,5	4,2	1,2	0,1	–	–	–
30	–	–	2,7	10,5	19,7	24,7	19,2	12,6	6,6	3,2	0,8	–	–	–
32	–	–	1,3	8,8	15,4	22,6	21,4	13,6	9,3	5,2	1,8	0,5	0,1	–
34	–	–	0,6	4,7	11,8	19,7	21,2	17,5	11,4	7,2	3,8	1,6	0,5	–
36	–	–	0,2	3,1	8,7	16,2	19,6	19,1	13,8	9,2	5,7	2,8	1,1	0,5

Место дерева в ранжированном ряду А. В. Тюрин назвал *рангом дерева*. Например, ранг среднего дерева в древостое этот автор установил равным 57,5 %. Самое толстое дерево в древостое имеет ранг 100 %.

В однородных насаждениях, не затронутых рубками ухода, изменчивость толщины деревьев, как показали исследования В. К. Захарова, М. Л. Дворецкого, Ф. П. Моисеенко, А. Г. Мошкалева, Н. П. Анучина, В. С. Моисеева, характеризуется коэффициентом вариации, который колеблется от 22–25 % в спелых древостоях до 40–60 % в молодняках. Например, по данным

М. Л. Дворецкого в древостоях разных возрастов изменчивость диаметров характеризуется следующими коэффициентами вариации:

Возраст древостоев, лет .....	26	45	60	64	80	155
Коэффициенты вариации диаметров, %	41	38	30	34	24	23

Из этих цифр видно, что с увеличением возраста насаждений коэффициенты вариации диаметров уменьшаются.

Внутри четырехсантиметровых ступеней толщины распределение деревьев по более мелким градациям изучил Н. В. Третьяков. Им показано, что распределение стволов в пределах ступеней толщины неравномерно. В ступенях толщины меньших, чем величина среднего диаметра древостоя, преобладают деревья, находящиеся во второй половине ступени. В ступенях толщины, превышающих по своей величине средний диаметр древостоя, большая часть стволов находится в первой половине ступени, то есть имеет более мелкие диаметры. Для всех ступеней толщины, взятых в целом, процент деревьев, приходящихся на первую и вторую половину ступеней, почти одинаков.

В ФРГ рассматриваемый вопрос изучил М. Продан. Он обнаружил три типа распределения деревьев в ступени: равномерное, возрастающее и убывающее. Во всех этих трех типах отклонение среднего диаметра деревьев от середины ступени не превышает 5 %. К таким же выводам пришел Х. Майер, исследовавший этот вопрос в выборочном лесу.

В результате изучения строения древостоев, проведенного в XIX – первой половине XX в. (до 60–70-х гг.) вышеперечисленными русскими, советскими и иностранными учеными, получены основные закономерности строения, которые К. Е. Никитин и А. З. Швиденко сводят к следующим основным положениям.

1. Ранг среднего дерева в однородных насаждениях является устойчивой величиной, равной в среднем 0,58, независимо от породы, возраста и других таксационных показателей древостоя.

2. Ранг дерева определяет величины редуцированных чисел. Взаимосвязь между рангами и редуцированными числами выражается уравнениями полиномов 3-й степени.

3. Распределение относительного количества деревьев по естественным ступеням толщины не зависит от породы, среднего диаметра, полноты и других таксационных показателей насаждения.

4. Распределение деревьев в однородных древостоях соответствует кривой нормального распределения и выражается уравнением Гаусса – Лапласа.

Исследования, проведенные за последние 50 лет, показали, что вышеописанные закономерности являются довольно приблизительными, характеризуя в определенной мере естественные древостои старшего возраста без существенного антропогенного влияния. Названные закономерности существенно уточнены и дополнены современными исследователями.

Доказано влияние на ряды распределения числа стволов по толщине (в дальнейшем будем их называть просто «ряды») возраста древостоя (А. А. Макаренко, Н. Н. Свалов, В. Ф. Багинский, А. П. Тябера), густоты и полноты (В. Ф. Лебков, А. А. Макаренко, В. Ф. Багинский), режима ухода (В. В. Антанайтис, К. Е. Никитин, В. Ф. Багинский, В. В. Загреев).

Есть разница в строении естественных и искусственных насаждений (И. И. Григалюнас, В. С. Моисеев, В. Ф. Багинский), одновозрастных и разновозрастных древостоев (Н. В. Семечкин, И. И. Гусев, А. З. Швиденко, А. Г. Мошкалев), чистых и смешанных насаждений (В. С. Чуенков, А. М. Межибовский, А. Г. Мошкалев, В. Ф. Багинский).

А. Г. Мошкалев убедительно показал, что для точного вычисления статистик рядов распределения ( $\bar{X}$ ,  $\sigma$ ,  $\alpha$ ,  $E$ ), которые определяют вид кривой, необходимо учитывать много переменных из числа названных, вводя их в уравнения множественной регрессии.

Но даже использование уравнений множественной регрессии, как показали исследования Л. А. Шаптяне, В. Ф. Багинского, не позволяют прогнозировать параметры строения на каждом выделе с точностью  $\pm 10\%$ . Для достижения этой точности требуется измерить некоторое количество деревьев на исследуемом участке, то есть получить вариационный ряд.

#### 4.4.3. Строение древостоев по высоте

В любом однородном насаждении деревья бывают разной высоты. В то же время здесь наблюдаются определенные закономерности в распределении высот. Исследование строения по высоте показало, что закономерности, установленные для рядов по диаметру, подтверждаются и здесь: ряды одновершинные, близки к нормальной кривой.

Исследование строения по высоте проводили А. В. Тюрин, Н. В. Третьяков, А. Г. Мошкалева, Ф. П. Моисеенко. Ими найдены параметры кривых распределения по высоте, а также изучено распределение деревьев по высоте внутри ступеней толщины. Показано, что в пределах ступени толщины высоты распределяются по нормальному закону. В древостоях, пройденных рубками ухода, асимметрия и эксцесс рядов по высоте отличаются от нуля.

Высота деревьев связана с положением дерева в насаждении. Связь эта характеризуется редуцированными числами по высоте  $Rh$ , полученными путем деления высот деревьев на среднюю высоту насаждения  $h$ . В таблице 4.12 приведены редуцированные числа, найденные А. Шиффелем и М. В. Давидовым для деревьев, занимающих в насаждении разное положение.

Таблица 4.12

Редуцированные числа по высоте ( $Rh$ ), найденные А. Шиффелем и М. В. Давидовым

Процентные доли от общего числа деревьев	Редуцированные числа		Процентные доли от общего числа деревьев	Редуцированные числа	
	по Шиффелю	по Давидову		по Шиффелю	по Давидову
0	0,680	0,725	60	1,004	1,000
10	0,788	0,819	70	1,030	1,020
20	0,866	0,870	80	1,056	1,050
30	0,911	0,910	90	1,092	1,100
40	0,947	0,945	100	1,140	1,140
50	0,978	0,970			

Сравнение двух рядов, относящихся к разным древесным породам, показывает, что они близки друг к другу, за исключением более тонких деревьев. Исследования рангов по высоте разными учеными показали, что наименьший ранг колеблется от 0,7 до 0,8, а наибольший от 1,14, до 1,19. В лесах Беларуси ранги по высоте изучены В. Ф. Багинским. По его данным, ранги по высоте от наименьшего до наибольшего дерева изменяются от 0,6, до 1,25 и даже до 1,30. Это объясняется тем, что вышеназванные авторы не учитывали подчиненную часть древостоя. Сказалось и влияние рубок ухода.

В таблице 4.13 приведены наибольшая и наименьшая высоты деревьев разных пород, выраженные в долях средней высоты, по данным отечественных и зарубежных исследований.

Изменчивость высоты деревьев в насаждении по данным А. В. Тюрина, А. Шиффеля, Н. В. Третьякова и других ученых, работавших до середины XX в., характеризуется коэффициентами вариации, изменяющимися от 6 до 10%. Высота деревьев в пределах ступени толщины изменяется меньше, чем в древостоях в целом. Например, по исследованиям Г. М. Козленко оказалось, что в сосновых насаждениях средняя изменчивость высоты в пределах ступеней толщины примерно вдвое меньше, чем для насаждения в целом.

Наибольшая и наименьшая высота деревьев разных пород в долях от средней высоты деревьев

Исследователи	Высота	
	наименьшая	наибольшая
А. В. Тюрин	0,80	1,15
Н. В. Третьяков	0,68	1,15
В. И. Левин	0,69	1,16
А. Шиффель	0,68	1,14
М. В. Давидов	0,72	1,19
В среднем	0,69	1,16

Ф. П. Моисеенко, К. Е. Никитин, А. Г. Мошкалев, В. С. Моисеев провели в 50–70-х гг. прошлого века детальное изучение изменчивости высот в древостое. Установлено, она характеризуется коэффициентами вариации, которые составляют 10–17 %. При этом без учета подчиненной части изменчивость высот не выходит за пределы 10 %, в среднем 8–9 %. Коэффициенты варьирования высоты зависят от возраста древостоя: чем старше, тем варьирование меньше.

Распределение высот по ступеням толщины показано в таблице 4.14.

Таблица 4.14

Распределение высоты деревьев в однородном насаждении по ступеням толщины

Высота деревьев, м	Количество деревьев по ступеням толщины, см											Итого
	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	
29	–	–	–	–	–	–	1	1	–	–	–	2
28	–	–	–	1	2	4	3	6	2	1	1	20
27	–	–	–	1	8	12	16	8	4	2	1	52
26	–	–	–	7	20	20	21	12	3	1	–	84
25	–	–	4	14	22	24	11	3	1	–	–	79
24	–	1	7	19	21	15	2	1	1	–	–	67
23	–	2	12	14	12	3	2	–	–	–	–	45
22	–	4	10	10	3	1	–	–	–	–	–	28
21	–	6	7	3	–	–	–	–	–	–	–	16
20	–	4	2	–	–	–	–	–	–	–	–	6
19	3	2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	6
18	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
17	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
Всего	5	20	43	69	88	79	56	31	11	4	2	408
Среднеарифметическая высота	18,6	21,2	23,0	24,2	25,1	25,7	26,2	26,8	27,0	27,4	27,8	24,8

Средняя высота, вычисленная для отдельных ступеней толщины, постепенно увеличивается от низшей ступени толщины к высшей. Эта связь высоты с диаметрами определяется, как мы уже говорили, кривой высот. По данным Н. П. Анучина, для описания кривой высот лучше других подходит уравнение параболы второго порядка:

$$h = a + bd + cd^2,$$

где  $h$  – искомая высота;

$d$  – диаметр дерева;

$a, b, c$  – некоторые постоянные коэффициенты.

Более поздние исследования Ф. П. Моисеенко, К. Е. Никитина, А. Г. Мошкалева, О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинского показали, что парабола 2-го порядка непригодна для описания

кривых высот. Последние имеют обычно 2–3 точки перегиба. Как показал М. Продан, полиномы 2-й степени завывают показатели в начале кривой и занижают их в конце. Для описания кривой высот нужны более сложные уравнения. Наиболее простым из них, но удовлетворяющим требованиям задачи, является парабола 3-го порядка.

#### 4.4.4. Строение древостоев по видовому числу ( $f$ ) и второму коэффициенту формы ( $q_2$ )

Строение древостоев по  $f$  и  $q_2$  имеет решающее значение для разработки методов учета запаса древостоев и составления объемных таблиц. Именно закономерности в строении древостоев по этим таксационным показателям, выведенные Ф. П. Моисеенко, В. К. Захаровым, позволили таксировать запас древостоя по средней форме ствола.

Впервые исследования закономерностей строения древостоев по форме ствола выполнили Ф. П. Моисеенко и В. К. Захаров, а несколько позже А. В. Тюрин. Их данные показали, что величина  $q_2$  деревьев в насаждениях разных пород колеблется от 0,50 до 0,85, а их распределение соответствует нормальной кривой. Ф. П. Моисеенко по обмерам 21 333 модельных деревьев еще в 1938 г. доказал соответствие этой закономерности для всех лесообразующих пород Беларуси. Для примера в таблице 4.15 показано распределение 2854 деревьев ели по коэффициенту формы  $q_2$ .

Форма стволов в насаждении, выраженная в величине  $q_2$ , характеризуется меньшей изменчивостью, чем другие таксационные показатели. Этим объясняется большая близость распределения по  $q_2$  к кривой нормального распределения. Коэффициент вариации  $q_2$  зависит от возраста насаждений и колеблется в пределах 6–12 %.

Таблица 4.15

Распределение деревьев ели в насаждениях по коэффициенту формы  $q_2$

Данные	Число стволов (%) по ступеням $q_2$														
	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	итого
Фактические	0,1	0,6	1,3	3,0	7,3	14,4	20,2	21,4	16,2	8,5	3,4	2,3	0,9	0,4	100
Выровненные	0,1	0,4	1,4	3,3	8,2	14,2	19,4	22	15,9	9,1	3,8	2,9	0,6	0,5	100

Средняя форма ствола в однородных древостоях, характеризующаяся величиной  $q_2$ , весьма стабильна. Ее изменчивость составляет 2,4–3,5 %, что доказал Ф. П. Моисеенко. Близкие данные получили впоследствии и другие авторы (таблица 4.16).

Таблица 4.16

Изменчивость  $q_2$  и  $f$  для сосновых древостоев

Автор	Показатель	Величина коэффициента вариации (%) в возрасте, лет					
		26	45	60	64	80	155
М. Л. Дворецкий	$q_2$	9	7	7	7	7	7
Ф. П. Моисеенко	$q_2$	7	6	5	5	4	4
Н. В. Третьяков	$f$	–	–	–	–	8	8
А. Г. Мошкалева	$f$	–	–	–	6	5	4

В любом однородном насаждении  $f$  и  $q_2$  не постоянны. По отдельным ступеням толщины пределы этих измерений сужаются, и они могут быть охарактеризованы средними величинами.

Средние коэффициенты формы и видовые числа уменьшаются от низших ступеней толщины к высшим. Зависимость видовых чисел, выраженных в долях среднего видового числа, от естественных ступеней толщины характеризуется уравнением прямой линии (таблица 4.17).

**Изменение видовых чисел и видовой высоты в долях по естественным (относительным) ступеням толщины (по А. В. Тюрину)**

Естественные ступени толщины	Видовые числа в долях от среднего видового числа	Видовая высота в долях от средней видовой высоты	Естественные ступени толщины	Видовые числа в долях от среднего видового числа	Видовая высота в долях от средней видовой высоты
0,5	1,105	0,88	1,2	0,960	1,02
0,6	1,085	0,92	1,3	0,940	1,02
0,7	1,060	0,94	1,4	0,920	1,01
0,8	1,040	0,97	1,5	0,900	1,01
0,9	1,020	0,99	1,6	0,885	1,01
1,0	1,000	1,00	1,7	0,875	1,00
1,1	0,980	1,01		–	–

Изменения видовых чисел для насаждений в целом и по отдельным ступеням толщины, по исследованиям Н. В. Третьякова, характеризуются данными, приведенными в таблице 4.18. Коэффициент вариации в среднем здесь равен  $\pm 8\%$ .

**Изменчивость видовых чисел в насаждении**

Разряд видовых чисел	Количество деревьев по ступеням толщины, см											Итого
	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	
0,59	–	1	2	2	1	–	–	–	–	–	–	6
0,56	–	3	4	6	4	2	1	1	1	–	–	22
0,53	3	2	10	15	19	17	10	1	2	–	–	79
0,50	–	7	15	22	26	23	17	9	–	–	–	119
0,47	1	6	10	16	24	21	15	13	3	1	–	110
0,44	1	1	2	8	11	14	6	4	3	1	2	53
0,41	–	–	–	–	2	2	2	2	1	1	–	10
0,38	–	–	–	–	1	–	3	–	1	1	–	6
0,35	–	–	–	–	–	–	1	1	1	–	–	3
Всего	5	20	43	69	88	79	55	31	12	4	2	408
Среднеарифметические видовые числа	0,493	0,496	0,498	0,490	0,484	0,477	0,475	0,466	0,450	0,426	0,435	0,476

По отдельным ступеням толщины и для насаждения в целом распределение деревьев по величине видовых чисел может быть выражено кривыми нормального распределения. Эта закономерность облегчает установление средних величин, характеризующих объемы деревьев и запасы насаждений.

#### 4.4.5. Закономерное распределение сумм площадей сечений и объемов деревьев в древостое

Закономерное распределение стволов в древостое по диаметру, высоте, площадям сечений и форме ствола определяет и закономерности распределения деревьев по суммам площадей сечений и объемам. При этом следует учитывать, что наибольшая взаимосвязь объемов деревьев существует с площадью сечения, где коэффициент коррекции достигает 0,92–0,98.

В однородных насаждениях суммы площадей поперечных сечений по отдельным ступеням толщины почти прямо пропорциональны запасам древесины в этих ступенях. Поэтому по таблицам распределения по ступеням толщины определяют не только суммы площадей поперечных сечений, но и запасы насаждений.

Таблицы, дающие распределение по ступеням толщины общего числа деревьев, образующих насаждение, и сумм площадей их поперечных сечений, имеют в таксации большое практическое значение. На основании этих таблиц и данных глазомерной таксации можно ориентировочно, не производя пересчет, распределить число деревьев и запас древостоя. Распределение деревьев по суммам площадей сечений в целом повторяет вышеописанные закономерности (таблица 4.19).

Таблица 4.19

Распределение сумм площадей поперечных сечений деревьев главной части насаждения по четырехсантиметровым ступеням толщины (по А. В. Тюрину)

Ср. диаметр насаждения, см	Степень толщины, см													
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>													
20	0,11	3,1	19,3	33,9	26,6	13,9	3,1	–	–	–	–	–	–	–
22	–	1,4	10,0	26,3	31,5	20,5	9,5	0,8	–	–	–	–	–	–
24	–	0,5	5,4	19,0	29,4	24,0	15,5	5,4	0,8	–	–	–	–	–
26	–	0,2	2,9	12,8	23,6	24,8	19,0	11,0	5,7	–	–	–	–	–
28	–	0,1	1,5	7,8	17,9	24,4	20,8	15,7	8,6	2,9	0,3	–	–	–
30	–	–	0,8	4,7	12,6	21,4	21,8	18,1	11,7	6,9	2,0	–	–	–
32	–	–	0,3	2,7	8,6	17,3	21,4	19,8	14,5	9,8	4,0	1,3	0,3	–
34	–	–	0,1	1,6	5,9	13,4	18,8	19,6	15,8	12,1	7,6	3,7	1,4	–
36	–	–	–	0,9	3,9	9,8	15,4	19,1	17,0	13,8	10,2	15,8	2,7	1,4

Близкое совпадение редуцированных чисел по площади сечения и объему деревьев говорит о том, что между площадями сечений и объемами деревьев однородного насаждения имеется прямолинейная зависимость. Закономерное распределение деревьев по толщине является основой учета древесных запасов и широко используется для расчленения насаждений на составные части, а также для их промышленной оценки.

По исследованиям М. Л. Дворецкого изменчивость площадей сечений и объемов в однородных сосновых насаждениях характеризуется коэффициентами вариации, приведенными в таблице 4.20.

Таблица 4.20

Изменчивость площадей сечений и объемов стволов

Таксационные показатели	Коэффициент вариации, % при возрасте насаждений, лет					
	26	45	60	64	80	155
Площадь сечения	74	70	59	63	46	44
Объемы стволов	72	73	62	73	48	36

Данные таблицы 4.20 показывают, что коэффициенты вариации площадей сечений и объемов деревьев близки между собой. Варьирование диаметров деревьев примерно в два раза меньше, чем объемов и площадей сечений. С увеличением возраста насаждений коэффициенты вариации площадей сечений и объемов уменьшаются.

Объемы деревьев находят по формуле  $ghf$ . Установлено, что произведение площади сечения на видовое число ( $gf$ ), а также произведение коэффициента формы на площадь сечений

$(q, g)$  находятся в прямолинейной зависимости от площади сечений дерева  $(g)$ . Эти зависимости выражаются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}V &= ag + b, \\gh &= ag + b, \\gf &= ag + b, \\q, g &= ag + b,\end{aligned}$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты.

В аналогичной зависимости находятся произведения диаметров на высоту  $dh$  и на видовые числа  $df$  от соответствующих диаметров:

$$\begin{aligned}dh &= ad + b, \\df &= ad + b.\end{aligned}$$

Логарифмы диаметров деревьев прямолинейно связаны с их высотой:

$$H = a \lg d + b.$$

Связь высот с диаметрами характеризуется высоким корреляционным отношением, равным 0,95.

Все приведенные выше закономерности в строении насаждений позволяют судить о пределах изменения и средних значениях отдельных таксационных показателей всего насаждения и отдельных его частей. Они облегчают изучение леса и служат основанием для разработки более рациональных методов учета древесных запасов.

Таким образом, распределение деревьев в древостое по толщине и высоте, как показали исследования ученых XIX и первой половины XX в., близко к нормальному. Работами Ф. П. Моисеенко, В. К. Захарова и других доказано нормальное распределение видовых чисел и коэффициентов формы.

Материалы последних десятилетий показали, что классические закономерности, установленные в конце XIX – начале XX в., носят приближенный характер и могут рассматриваться как самая общая схема. В неизменном виде ряды А. В. Тюрина и Н. В. Третьякова пригодны лишь для частных случаев: в чистых нормальных древостоях в возрасте, близком к спелости.

Исследования многих ученых выявили влияние на ряды различных таксационных показателей: возраста, густоты, полноты, режима хозяйства (рубок ухода и др.), условий местопрорастания, хотя последний тезис оспаривается.

#### 4.4.6. Моделирование закономерностей строения древостоев

Моделирование строения заключается в описании закономерного распределения числа деревьев в древостое по различным таксационным показателям теми или иным уравнениями, называемые моделями. Вопросы моделирования в общем виде студенты, обучающиеся по специальности «Лесное хозяйство», изучали в курсах «Системный анализ» и «Биометрия».

Здесь мы рассмотрим моделирование в приложении к лесу, а конкретнее к лесам Беларуси. Напомним краткое определение модели. Модель – это мысленно представляемая или материально реализуемая система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте. Это определение предлагают использовать К. Е. Никитин и А. З. Швиденко. Есть и другие определения модели.

В принципе, графическое воспроизведение закономерностей распределения деревьев, показанное выше, тоже является моделью, только графической. В докомпьютерную эпоху часто именно такими моделями и ограничивались из-за сложностей вычислений по уравнениям.

В настоящее время в основном используют математические модели. Правда, графическое отражение этих уравнений остается важным в исследованиях, так как оно позволяет наглядно увидеть изучаемые закономерности. Дело облегчается тем, что графики выдает компьютер.

Модель кривой нормального распределения имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \cdot \ell^{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\delta^2}}, \quad (4.12)$$

где  $f(x)$  – функция плотности нормального распределения;

$\bar{x}$  – среднее значение;

$x_i$  – переменная величина;

$\delta$  – среднеквадратичное отклонение;

$\pi = 2,1416$ ;

$\ell = 2,71828$ .

Из уравнения (4.12) следует, что нормальное распределение характеризуется двумя параметрами. При этом предполагается, что асимметрия и эксцесс равны нулю или очень близки к нему.

Выше показано, что равенство нулю  $\alpha$  и  $E$  при исследовании рядов в реальных древостоях Беларуси представляет собой, скорее, исключение, чем правило. Более адекватно ряды описываются уравнениями, где в качестве аргументов присутствуют асимметрия и эксцесс. Такой кривой является кривая типа  $A$ , называемая кривой обобщенного нормального распределения или Грамма – Шарлье, включающая четыре параметра. Ее уравнение имеет вид:

$$f^A(x) = f(x) - \frac{r_3}{6} f_x^{(3)} + \frac{r_4 - 3}{24} f_x^{(4)} - \dots, \quad (4.13)$$

где  $f^A(x)$  – плотность обобщенного нормального распределения;

$r_3^{(x)} = \alpha$ ;

$r_4 - 3 = E$ ;

$f_x^{(3)}, f_x^{(4)}$  – соответственно третья и четвертая производная  $f(x)$ .

Уравнение (4.13) представляет собой бесконечный ряд с повышающимся уровнем производных  $f(x)$ . Для практического использования имеют существенное значение три первые члена уравнения, приведенные в (4.13).

При моделировании строения древостоев, начиная от молодняков до спелых и переспелых насаждений, нельзя ограничиваться лишь уравнениями (4.12) и (4.13), особенно при описании молодняков. С увеличением возраста и диаметра ряд становится более пологим (рис. 4.11). На этом рисунке наглядно видно, что с увеличением среднего диаметра ряд становится более «нормальным» и что ряды в самом молодом возрасте при небольшом среднем диаметре отличаются от характера распределения в более старшем возрасте при больших величинах средних диаметров.

Исследования многих ученых (А. Г. Мошкалева, А. З. Швиденко, В. С. Моисеев, В. Ф. Багинский) показали, что лишь с 30–50 лет древостои могут быть охарактеризованы кривой типа  $A$ . Еще большую неопределенность в ряде случаев вносят рубки промежуточного пользования, особенно при их неоднозначном проведении.

Из курса биометрии известно, что для описания рядов имеются общие подходы, основанные на применении кривых Пирсона и Джонсона. В лесохозяйственной литературе нашел применение первый подход, то есть использование свойства кривых Пирсона. В частности, распределение в естественных молодняках часто описывают кривой 1-го типа Пирсона. Применяя систему кривых Пирсона, исследователь не связывает себя ни с какой предварительной гипотезой, например, о нормальности распределения. Тип кривой выбирается по критерию Пирсона ( $\chi$ ).

$$\chi = \frac{r_3^2 (r_4 - 3)}{4(4r_4 - 3r_3^2)(2r_4 - 3r_3^2 - 6)}, \quad (4.14)$$

где  $r_3$  и  $r_4$  соответственно 3 и 4 основные моменты.

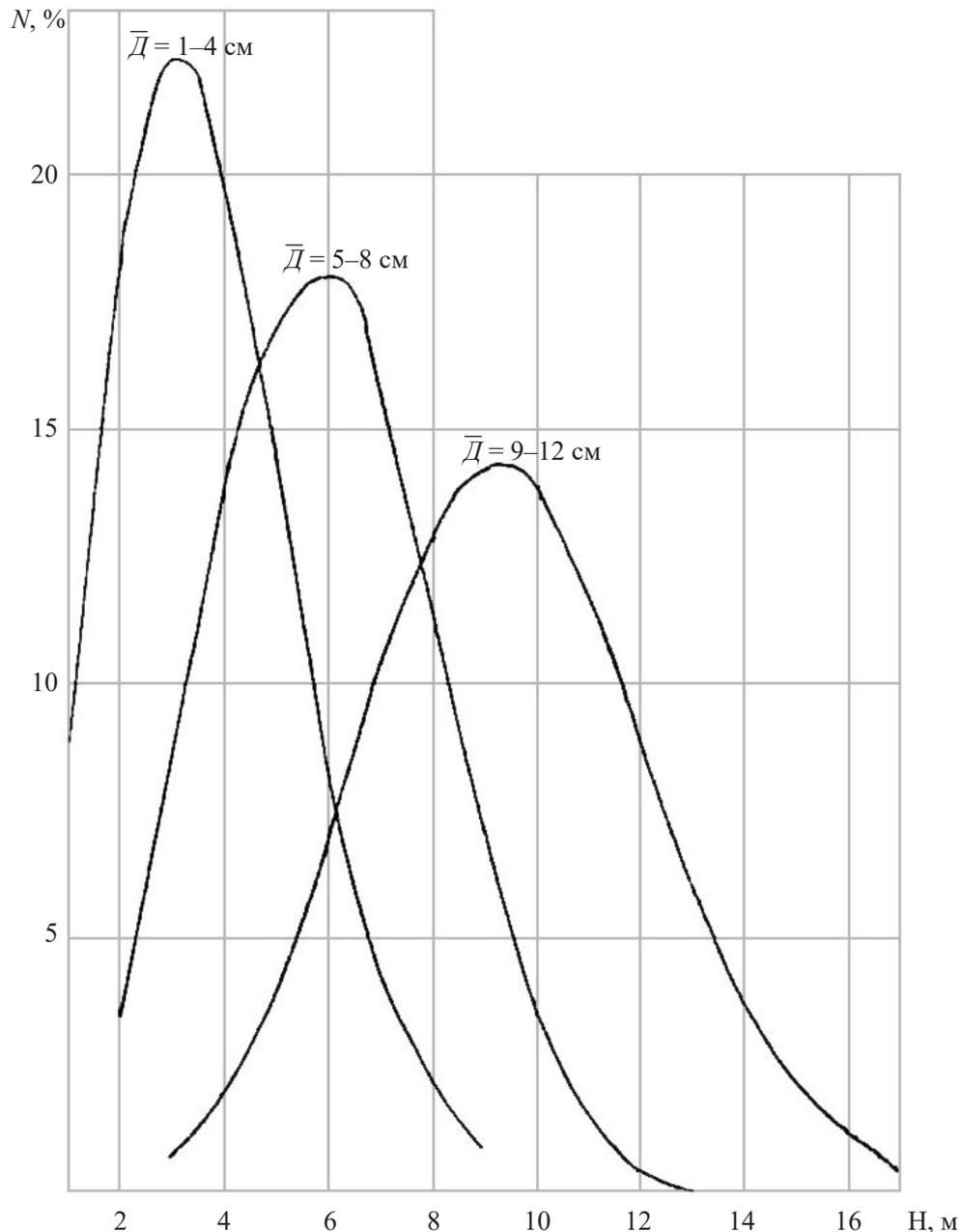


Рис. 4.11. Изменение строения древостоев при увеличении среднего диаметра от 4 до 12 см (по В. В. Антанайтису)

Выбор типа кривой проводится по специальным таблицам, имеющимся в учебниках по лесной биометрии. Вычисления кривых Пирсона весьма сложны, что сдерживало их применение ранее. Теперь есть компьютерные программы, по которым такие вычисления проводятся легко.

Одним из перспективных направлений при моделировании строения является установление закономерных связей статистик с таксационными показателями древостоя:  $D$ ,  $H$ ,  $\Pi$ ,  $A$  и т. д.

К. Е. Никитин, изучая строение древостоев лиственницы, не обнаружил связи асимметрии и эксцесса с возрастом и средним диаметром. Более поздние исследования С. А. Дыренкова,

А. Г. Мошкалева, В. Ф. Багинского показали, что такая зависимость существует. Поэтому, разработав многомерные регрессионные модели, где аргументами будут возраст, средний диаметр, полнота, густота и т. д., мы можем установить величины  $\sigma$ ,  $\alpha$  и  $E$  для интересующих нас древостоев. Это позволяет легко подобрать тип кривой, которая адекватно описывает исследуемые ряды. При этом прогнозирование рядов распределения по моделям связи,  $\sigma$ ,  $\alpha$ ,  $E = f(A, D)$  можно проводить с разной вероятностью.

При дифференцировании насаждений по породам и бонитетам прогнозирование статистик рядов распределения существенно улучшается. В этом случае многомерная корреляция асимметрии с таксационными показателями выражается коэффициентами множественной корреляции от 0,6 до 0,85, а  $E$  находится лишь в пределах 0,2–0,3. В условиях интенсивного хозяйства на величину статистик существенно влияют рубки ухода.

Учитывая это обстоятельство, В. Ф. Багинским разработана типизация строения древостоев. Введение в уравнение множественной регрессии аргумента «тип строения» повышает прогностические возможности модели на 30–40 %, а по  $E$  на 50–60 %, делая нахождение статистик достоверным на уровне 90–95 %. Типы строения разработаны в зависимости от силы и направленности рубок промежуточного пользования. Типизация строения древостоев сводится к выделению шести типов.

1. Нормальный лес – строение нормальное или несколько асимметричное ( $0 \leq a \leq 0,2$ ;  $E \approx 0 \pm 0,1$ ). Аппроксимация кривой Гаусса – Лапласа, иногда Грама – Шарлье.

2. Рубки ухода слабой интенсивности низовым методом. Среднее значение ( $\bar{X}$ ) увеличивается незначительно. Строение нормальное или слегка асимметричное ( $0 \leq a \leq 0,3$ ;  $E$  от  $-0,03$  до  $-0,23$ ). Ряд сужается. Аппроксимация типов строения 1–2 проводится с помощью кривой обобщенного нормального распределения (типа  $A$ ).

3. Рубки промежуточного пользования средней и сильной интенсивности низовым методом. Асимметрия возрастает до 0,5–1,1; эксцесс колеблется от +0,1–0,6 до  $-0,4$  в зависимости от схемы рубок. Для аппроксимации необходимо применять кривую I Пирсона.

4. Рубки ухода верховым методом слабой интенсивности. Статистики ряда ( $a$ ,  $E$ ,  $\sigma$ ) изменяются аналогично типу 2. Среднее значение уменьшается.

5. Рубки промежуточного пользования средней и сильной интенсивности верховым методом. Среднее значение уменьшается на 20–25 %, асимметрия отрицательная (от  $-0,4$  до  $-1,2$ ). Эксцесс доходит до 1 в зависимости от схемы вырубki. Аппроксимация кривой I Пирсона.

6. Рубки промежуточного пользования, проводимые с нарушением действующих правил (беспорядочные). Таких рубок не должно быть, но в практике они иногда встречаются. В этом случае изменение характеристик ряда не имеет какой-либо четкой закономерности и может идти по схемам, соответствующим типам 2–5. Нередко в этом случае воздействие на древостой бывает разнохарактерным, и ряд остается в пределах кривой Грама – Шарлье. Но прогнозировать конкретные числовые характеристики ряда здесь затруднительно, и их следует вычислять по данным сплошных переучетов, используя для аппроксимации семейство кривых Пирсона (в основном достаточно и кривой типа I).

Типизация строения позволяет точнее выявить закономерности строения древостоев и дает возможность лучше осуществлять расчет и прогноз товарной структуры древостоев при интенсивном ведении лесного хозяйства.

Для лесов Беларуси В. Ф. Багинским на основе анализа свыше 900 пробных площадей выведены усредненные ряды распределения числа стволов по диаметру. Ряды дифференцированы по породам и описывают строение приспевающих, спелых и перестойных древостоев. Выравнивание опытного материала сделано с помощью уравнения кривой обобщенного нормального распределения – типа  $A$ , или Грама – Шарлье. Конкретные ряды для древостоев в Беларуси показаны в таблице 4.21.

Статистики рядов, показанных в таблице 4.21, приведены в таблице 4.22.

**Ряды распределения числа стволов по диаметру  
по относительным ступеням толщины в лесах Беларуси**

Порода	Относительная ступень толщины								
	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,7</u> 0,8	<u>0,9</u> 1,0	<u>1,1</u> 1,2	<u>1,3</u> 1,4	<u>1,5</u> 1,6	<u>1,7</u> 1,8	<u>1,9</u> –
Сосна	– 1,0	<u>3,6</u> 6,6	<u>9,8</u> 12,5	<u>14,4</u> 15,5	<u>13,1</u> 9,1	<u>6,0</u> 3,5	<u>2,3</u> 1,4	<u>0,9</u> 0,3	–
Ель	<u>1,5</u> 2,6	<u>5,0</u> 7,6	<u>9,9</u> 11,5	<u>11,9</u> 11,2	<u>10,0</u> 8,3	<u>6,6</u> 4,8	<u>3,5</u> 2,4	<u>1,6</u> 1,0	<u>0,6</u> –
Дуб	<u>2,2</u> 3,3	<u>4,6</u> 6,7	<u>9,8</u> 12,2	<u>13,3</u> 12,1	<u>10,5</u> 8,6	<u>6,2</u> 4,1	<u>2,6</u> 1,7	<u>1,1</u> 0,6	<u>0,4</u> –
Береза	– 2,4	<u>4,9</u> 7,7	<u>10,4</u> 12,1	<u>12,4</u> 11,9	<u>10,6</u> 9,9	<u>6,7</u> 4,4	<u>2,9</u> 1,9	<u>1,2</u> 0,6	–
Осина	<u>0,6</u> 2,1	<u>4,5</u> 7,8	<u>10,1</u> 11,8	<u>12,8</u> 12,4	<u>10,9</u> 9,2	<u>7,2</u> 5,1	<u>2,8</u> 1,6	<u>0,8</u> 0,3	–
Ольха черная	– 0,9	<u>2,3</u> 4,9	<u>9,0</u> 13,3	<u>15,3</u> 16,0	<u>14,2</u> 10,8	<u>7,3</u> 4,0	<u>1,5</u> 0,4	<u>0,1</u> –	–

Таблица 4.22

**Статистики рядов распределения числа стволов по толщине**

Порода	$\bar{X}$	$\sigma$	$V$	$\alpha$	$m_\alpha$	$E$	$m_E$	Ранг среднего дерева
Сосна	0,97	0,27	27,5	0,33	0,24	–0,10	0,49	55,7
Ель	0,97	0,33	34,1	0,34	0,24	–0,33	0,49	55,6
Дуб	0,95	0,32	33,3	0,26	0,24	–0,15	0,49	58,2
Береза	0,97	0,30	31,0	0,31	0,24	–0,42	0,49	55,9
Осина	0,97	0,29	30,5	0,20	0,24	–0,48	0,49	55,9
Ольха черная	0,98	0,24	24,2	0,04	0,24	–0,41	0,49	53,7

*Примечание.* Условные обозначения:

$\bar{X}$  – среднее значение;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;

$V$  – коэффициент вариации;

$\alpha$  – асимметрия;

$E$  – эксцесс;

$m$  – ошибка соответствующих статистик.

Анализ таблиц 4.21 и 4.22 и сопоставление их с известными закономерностями А. В. Тюрина и Н. В. Третьякова и др., которые описаны выше, показало, что в древостоях Беларуси имеются больший размах ряда распределения (особенно для ели и дуба), значительно меньшая концентрация деревьев в средних ступенях толщины, ранг среднего дерева сдвинут ближе к середине ряда. Это еще раз свидетельствует о необходимости учитывать местные особенности роста и ведения хозяйства, оказывающего влияние на строение древостоев.

#### 4.4.7. Практическое использование моделей строения

Практическое значение рядов распределения деревьев в насаждениях по таксационным показателям состоит в разработке на их основе методов товаризации древостоев. О возможности составлять объемные и сортиментные таблицы по средней форме стволов, что установлено Ф. П. Моисеенко и В. Х. Захаровым, сказано выше. Решающее значение имеет значение законов распределения при составлении товарных таблиц, где выход сортиментов определяют в зависимости от средних диаметра и высоты.

Закономерности строения используют и при проведении материально-деленной оценки с применением выборочно-измерительных методов. Для описания ряда в этом случае применяют различные модели; нормальную кривую, уравнение Грама – Шарлье, систему кривых Пирсона и т. д. О. А. Атрощенко рекомендует для описания рядов  $\beta$ -функцию, которая тоже хорошо отражает ряды распределения в лесах Беларуси. Подробное описание выборочных методов товаризации сделано ниже.

Обобщая вышеизложенное в настоящей главе, можно сделать следующие выводы:

1. Распределение числа деревьев по основным таксационным показателям носит закономерный характер. Для средневозрастных древостоев и старше оно может быть описано кривой нормального распределения или обобщенного нормального распределения (тип *A*), допустимо использовать здесь и  $\beta$ -функцию.

2. Ранг среднего дерева в древостоях Беларуси колеблется в пределах 54–58 %.

3. Ряды распределения в естественных молодняках обычно не соответствуют кривой нормального распределения. Здесь рекомендуется использовать систему кривых Пирсона, чаще всего типа I.

4. Изменчивость диаметров в древостое колеблется от 50–60 % в естественных молодняках до 22–25 % в спелом лесу. Это значит, что при закладке пробных площадей в молодняках в возрасте 8–12 лет необходимо наличие на пробе 400–500 деревьев, а в спелом лесу достаточно иметь на пробе 200 деревьев. Для определения средней высоты с точностью в пределах 5 % достаточно измерить 12–20 деревьев в зависимости от возраста.

Невысокая изменчивость формы ствола, выраженная через  $f$  и  $q_2$ , и нормальное распределение этих показателей в древостое стали теоретической основой составления объемных таблиц по средней форме ствола.

5. На строение древостоя оказывают влияние рубки ухода. На основе видов и интенсивности рубок промежуточного пользования в Беларуси разработана типизация строения, которая включает шесть типов.

6. Практическое значение закономерностей строения заключается в их применении для разработки методов таксации и товаризации насаждений, то есть при составлении сортиментных и товарных таблиц.

## Глава 5

### ТАКСАЦИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА

5.1. Лесной фонд как объект изучения лесной таксации.

5.2. Лесоустройство в Республике Беларусь.

5.3. Методы таксации лесных насаждений.

5.4. Результаты проведенного базового лесоустройства.

#### 5.1. Лесной фонд как объект изучения лесной таксации

В состав лесного фонда в соответствии с требованиями Лесного кодекса входят:

- леса, расположенные на землях лесного фонда и землях иных категорий, покрытые лесом;
- лесные земли, не покрытые лесом, и нелесные земли, расположенные в границах земель лесного фонда и земель иных категорий, предоставленных для ведения лесного хозяйства.

Все леса и земли лесного фонда в Республике Беларусь являются собственностью государства. Учет лесного фонда страны отражается в лесном кадастре, обновляемом ежегодно.

Республика Беларусь крупная лесная держава – площадь ее лесного фонда по состоянию на 1 января 2023 г. составляет 9719,6 тыс. га. Лесные земли, то есть те, которые предназначены для выращивания леса, занимают 8935,2 тыс. га, или почти 92 % от общей площади лесного фонда. Непосредственно леса (их еще называют покрытыми лесом землями) занимают территорию в 8335,3 тыс. га, или 85,8 % от всей площади лесного фонда. При этом леса искусственного происхождения (лесные культуры) составляют более 26 % от всей площади лесов. Лесистость нашего государства (отношение площади лесов к общему размеру территории страны) составляет 40,1 %. По этому показателю Беларусь является одной из наиболее лесистых государств Европы.

Леса Беларуси разнообразны по видовому составу, возрасту и другим показателям. По данным лесного кадастра Республики Беларусь основные показатели ее лесного фонда характеризуются таблицей 5.1.

Таблица 5.1

Характеристика лесов Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2023 г.

Наименование показателя	Единица измерения	Величина	Доля в процентах
Общая площадь земель лесного фонда	тыс. га	9719,6	100
Лесные земли	тыс. га	8935,2	91,9
Покрытые лесом земли	тыс. га	8335,3	85,8
Из них: возможные для эксплуатации	тыс. га	6688,9	80,2
Спелые и перестойные	тыс. га	1632,7	19,6
Лесистость	%	40,1	
Средняя полнота насаждений		0,71	

Наименование показателя	Единица измерения	Величина	Доля в процентах
Общий запас насаждений – всего	млн м <sup>3</sup>	1905,7	100
В том числе возможные для эксплуатации	млн м <sup>3</sup>	1572,7	82,5
Спелые и перестойные	млн м <sup>3</sup>	459,9	25,6
Хвойные – всего	млн м <sup>3</sup>	1239,3	65,0
Из них спелые и перестойные	млн м <sup>3</sup>	253,4	15,8
Твердолиственные – всего	млн м <sup>3</sup>	62,6	3,4
Из них: спелые и перестойные	млн м <sup>3</sup>	12,9	20,6
Мягколиственные – всего	млн м <sup>3</sup>	603,0	31,6
Из них: спелые и перестойные	млн м <sup>3</sup>	192,9	32,0
Общее среднее изменение запаса	млн м <sup>3</sup>	34,4	
Средний запас насаждений	м <sup>3</sup> /га	228	
Приспевающих	м <sup>3</sup> /га	291	
Спелых и перестойных	м <sup>3</sup> /га	281	
Средний возраст	лет	57	
Среднее изменение запаса на 1 га	м <sup>3</sup>	4,1	
Средняя полнота		0,71	
Особо охраняемые природные территории	тыс. га	1623,5	16,9
Эксплуатационные леса	тыс. га	6096,2	62,7

Из приведенной таблицы видно, что качественный состав лесов высокий: ценные хвойные и твердолиственные древостои составляют 68,4 %. В лесах нашей страны накоплено 1,9 млрд кубометров древесины или почти по 198 м<sup>3</sup> на каждого жителя. Правда, у нас еще недостаточно спелых насаждений, в основном среди хвойных, где их доля составляет 15,8 %, что является следствием перерубов против научно установленных нормативов, начиная с 30-х и до 80-х гг. XX в. Наибольшие площади лесов находятся в ведении Министерства лесного хозяйства (89 %), а также в Управлении делами Президента Республики Беларусь (7,9 %). Последние леса относятся в основном к заповедникам и национальным паркам. В ведении Министерства по чрезвычайным ситуациям состоит 2,2 %, Национальной академии наук – 0,4 % всех лесов. Остальными лесами распоряжаются Министерство образования и местные исполнительные и распорядительные органы власти.

Древесина и другая лесная продукция, добытая (заготовленная) лесопользователями при осуществлении лесных пользований в порядке, установленном лесным законодательством Республики Беларусь, являются их собственностью, если иное не установлено Конституцией Республики Беларусь.

Для организации и ведения лесного хозяйства в пределах лесных массивов организуют лесхозы, лесничества и другие подразделения. В разных странах структура лесного фонда отличается друг от друга.

## 5.2. Лесоустройство в Республике Беларусь

Объектом труда для лесоводов является лес, он источник многих сырьевых ресурсов (древесины, ягод, грибов, технического и лекарственного сырья и т. д.) и полезностей (депонирования CO<sub>2</sub>, выделения кислорода, регулирования водного режима рек и других водоемов и т. д.). Для того чтобы иметь данные о лесах нашего государства, проводятся их регулярные учеты. Учеты леса базируются на закономерностях роста, продуктивности, товарности насаждений, то есть на основных положениях, которые изучает лесная таксация. Поэтому эта дисциплина

является одной из главнейших при подготовке специалистов лесного хозяйства, лесоинженерного дела и садово-паркового хозяйства.

При анализе возникает естественный вопрос: откуда взяты приведенные цифры и насколько они точны? Ответ на этот и многие другие вопросы дает наука «Лесоустройство». Регулярно один раз в 10 лет лесоустроители проводят учет всех наших лесов. Результатом этих учетов являются как данные, приведенные в таблице 5.1, так и многие другие материалы по учету и организации рационального использования лесного фонда. Текущий учет лесного фонда с ежегодным уточнением отражается в *Государственном лесном кадастре*. Рабочим инструментом при проведении лесоустройства и многих других работ в лесу является лесная таксация. В Беларуси от учета к учету идет постоянное увеличение площадей лесов.

В нашей стране за год всеми видами рубок заготавливают 17–20 млн м<sup>3</sup> древесины. Для ее таксации на корню перед рубкой и для учета заготовленной лесопродукции необходимо знание специфических методов учета, которые изучает настоящая дисциплина.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 4 ноября 2016 г. № 907 определено, что все работы по лесоустройству в нашей стране проводит республиканское унитарное предприятие «Белгослес» и его дочерние организации (Гомельская и Витебская). Лесоустройство включает систему инвентаризации и учета лесного фонда, проведение мероприятий, направленных на организацию рационального, комплексного использования лесного фонда, повышение эффективности ведения лесного хозяйства, сохранение и усиление средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных и иных функций леса, эффективное воспроизводство, охрану и защиту леса, осуществление единой научно-технической политики в лесном хозяйстве. Перечень и содержание работ, выполняемых лесоустройством, определены Лесным кодексом, принятым в 2015 г. с последними изменениями и дополнениями от 17 июля 2023 г. Уже упомянутым Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 907 от 4 ноября 2016 г. утверждено положение об установлении порядка проведения лесоустройств, разработке и утверждении лесоустроительного проекта, внесении в него изменений и дополнений.

Отметим, что проведение лесоустройства силами белорусских исполнителей не ограничивается только нашей страной. Белорусское лесоустройство вносит определенный вклад в общий объем экспорта нашего государства. Традиционно (еще со времен СССР) наши лесоустроители приводят в известность, то есть делают учет лесов России. Результаты их труда можно видеть и в Центральной России, и в Сибири, и в Забайкалье, и на Дальнем Востоке. В современных условиях (Союзное государство, таможенный союз) объем работ для белорусских лесоустроителей расширяется. Это выгодно как России, где недостает мощностей по учету лесов, так и нам, так как этим государство осуществляет экспорт самого выгодного товара – интеллектуального продукта. Леса России, являющиеся самыми обширными в мире, требуют постоянного приложения труда по их учету, то есть применения методов лесной таксации.

### **Организация лесоустроительных работ**

При проведении лесоустройства осуществляются:

- определение границ участков земель лесного фонда, переданных юридическим лицам: лесхозам, национальными паркам и т. д. – для ведения лесного хозяйства и внутрихозяйственная организация их территорий;
- инвентаризация лесного фонда с определением категорий земель, породного и возрастного состава лесов, их состояния, количественные и качественные характеристики лесных ресурсов;
- выявление участков, нуждающихся в проведении рубок главного и промежуточного пользования, других лесохозяйственных мероприятий;
- уточнение площадей, предназначенных для восстановления лесов и лесоразведения, и определение способов лесовосстановления;

- определение размеров побочного лесопользования, заготовки второстепенных лесных ресурсов, пользования лесным фондом для нужд охотничьего хозяйства, культурно-оздоровительных, туристических, спортивных и иных рекреационных целей;
- уточнение категорий защитности лесов и обоснование перевода лесов из одной группы или категории защитности в другую;
- разработка проектов организации и ведения лесного хозяйства, включая составление плано-картографической документации;
- авторский надзор за осуществлением лесоустроительных проектов;
- выполнение топографо-геодезических, лесобиологических и других обследований и изысканий государственного лесного фонда;
- иные лесоустроительные действия.

В Беларуси лесоустройство проводится во всех лесах с периодичностью один раз в 10 лет. Такое лесоустройство называется базовым. Его проведение финансируется из госбюджета. Может проводиться и непрерывное лесоустройство, заключающееся в учете всех ежегодных изменений в лесном фонде (они учитываются в натуре). У нас непрерывное лесоустройство может проводиться по заказам лесохозяйственных организаций и за их счет.

Полный цикл базового лесоустройства продолжается 2 (иногда 3) года. Он состоит из подготовительных, полевых (лесоинвентаризация) и камеральных (составление лесоустроительного проекта) работ.

Подготовительные работы к базовому лесоустройству проводят в год, предшествующий выполнению полевых лесоустроительных работ, и направлены они на решение организационно-технических вопросов и выполнение отдельных мероприятий, которые имеют целью улучшить организацию и качество проведения полевых работ до их начала. В задачи подготовительных работ входят следующие мероприятия:

- уточнение и согласование границ объекта лесоустройства;
- анализ деления лесов по категориям и предложения по их уточнению;
- сбор сведений о санитарном состоянии лесов;
- определение методов и технологий проведения лесоустройства;
- сбор сведений о природно-экономических, транспортных и иных особенностях объекта лесоустройства, лесопатологическом состоянии лесов и т. п.;
- подготовка к коллективной тренировке перед началом полевых работ: закладка пробных площадей и т. п.;
- решение социально-бытовых вопросов при проведении полевых работ;
- обсуждаются и некоторые другие вопросы, важные при проведении полевых работ.

Основным методом лесоустройства является метод классов возраста, первичной учетной единицей – таксационный выдел.

В лесах с высокой интенсивностью ведения лесного хозяйства по требованию заказчика и за дополнительную плату можно применять участковый метод лесоустройства с организацией постоянных хозяйственных участков. Взаимоотношения лесоустроительной организации с заказчиками лесоустроительных работ определяются договорами на производство работ и решениями лесоустроительных и технических совещаний. Технические совещания созываются руководителем устраиваемого объекта по согласованию с лесоустроительной организацией и проводятся с участием специалистов всех заинтересованных служб.

На первом техническом совещании обсуждаются условия и особенности проведения подготовительных работ, содержание и объемы лесоустроительных работ. На втором техническом совещании рассматриваются итоги проведения подготовительных работ.

Лесоустроительные совещания созываются производственными лесохозяйственными объединениями по согласованию с лесоустроительной организацией, землеустроительными и природоохранными службами.

Особо следует отметить значение второго лесоустроительного совещания. На нем принимаются выполненные работы и утверждаются объемы работ, намеченные в лесоустроительном проекте. Это совещание имеет право изменять объемы работ, намеченные лесоустройством на ближайшие 10 лет. Правда, такое в настоящее время случается редко, так как намечаемые объемы работ научно обосновываются и заранее согласуются с лесохозяйственными организациями. Затем лесоустроительный проект проходит экологическую экспертизу в Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды, их также анализируют эксперты, назначаемые Минлесхозом. Лесоустроительный проект окончательно утверждается на Научно-техническом совете (НТС) Минлесхоза.

Контроль за лесоустроительными работами осуществляют Министерство лесного хозяйства, ГПЛХО, лесхоз, а также должностные лица лесоустроительной организации.

Проверка качества лесоустроительных работ производится на объекте в присутствии руководителя лесоустроительных работ и непосредственных исполнителей. Результаты проверки оформляются актами, решения и предложения по результатам проверок являются обязательными для исполнения. Выполнение полевых работ подтверждается наличием лесотаксационных материалов. Проверка выполненных лесоустроительных работ осуществляется специалистами лесхоза ежемесячно, окончательная приемка производится в пятидневный срок после завершения работ в целом по объекту. Подготовительные работы к лесоустройству и полевые работы проводятся с 15 апреля по 15 ноября. В настоящее время в силу полной автоматизации (компьютеризации) камеральных работ их обычно заканчивают до 1 января и утверждение лесоустроительного проекта проводится в январе – марте следующего года.

Особо следует остановиться на организации и проведении полевых работ. Эти работы выполняются силами лесоустроительных партий, куда входят начальник партии, несколько инженеров-таксаторов (обычно по числу лесничеств в устраиваемом лесхозе), техники и рабочие. Обычно лесхоз устраивает одна лесоустроительная партия. При очень больших объемах работ или при угрозе невыполнения в срок установленного задания к работе могут подключать и вторую лесоустроительную партию.

В Беларуси с ее разветвленной инфраструктурой организация таких таборов (вагеров) не требуется. Центр партии обычно размещается в месте расположения лесхоза. Начальник партии и инженеры-таксаторы имеют авто- и мототранспорт, хотя непосредственно таксация выполняется пешком. Обычно один таксатор устраивает одно лесничество. Проживают они, как правило, на площадях, предоставляемых лесхозом, или съемных квартирах в деревнях вблизи устраиваемых лесных массивов. Как правило, лесничество и другие работники лесхозов помогают таксаторам в бытовом устройстве.

Во время проведения полевых работ работники лесного хозяйства должны постоянно помогать таксаторам в их работе и контролировать их. Противоречия в оценках того или иного участка лесного фонда между таксатором и работниками лесничества не часто, но случаются. В этом случае выполняется детальное обследование: закладка пробных площадей, взятие модельных деревьев и т. д.

Наибольшее внимание при проверках работники лесного хозяйства должны обращать на правильность установления средних возрастов приспевающих и спелых насаждений, определение лесных культур старших возрастов и т. п.

По результатам непрерывного лесоустройства выдается комплект документации, регламентируемый нормативными правовыми актами по проведению непрерывного лесоустройства.

Камеральные работы в настоящее время выполняются на компьютерах, что позволило на год и более сократить срок их завершения. Эти работы заключаются в обработке данных лесоинвентаризации и таксации лесного фонда в специальной системе обработки лесоустроительной информации, получении материалов, характеризующих лесной фонд лесхоза и лесничества, расчет размера главного и промежуточного пользования, проектирование

лесохозяйственных мероприятий, разработка «Проекта организации и ведения лесного хозяйства лесхоза» на последующий 10-летний ревизионный период.

### **5.3. Методы таксации лесных насаждений**

Лесные насаждения в совокупности обычно образуют крупные неоднородные участки леса, которые именуют лесными массивами. Таксация лесных массивов имеет свои особенности. Обычно учет леса в пределах крупных лесных массивов носит название инвентаризации леса.

Таксация лесных массивов опирается на материалы таксации отдельных насаждений. Но это не простая сумма таксационных показателей насаждений. Количественные показатели большого числа насаждений в полном соответствии с законами диалектики дают новое качество – характеристики лесных массивов. Для их учета применяются специфические методы.

Границы лесного фонда определяются путем отграничения его от земель иных категорий в порядке, определяемом нормативными правовыми актами Республики Беларусь.

#### **5.3.1. Разделение лесного фонда на таксационные выделы.**

##### **Нормативы для разделения лесных участков на таксационные выделы**

Нормативы для разделения лесных участков на таксационные выделы установлены ТКП 622-2018.

При таксации леса в пределах каждого лесного квартала выделяются таксационные выделы, представляющие собой однородные по таксационной характеристике и хозяйственному значению участки лесного фонда. В отдельные таксационные выделы всегда выделяются участки, отнесенные к особо защитным участкам леса.

Для каждого таксационного выдела устанавливаются границы, номер и таксационная характеристика. Минимальная площадь таксационного выдела регламентируется упомянутым ТКП 622-2018. Например, для естественных древостоев она равна 1,0 га.

К лесным землям, покрытым лесом, относятся таксационные выделы, образуемые на землях лесного фонда, занятых лесными насаждениями естественного и искусственного происхождения с полнотой 0,4 и выше в возрасте молодняков и с полнотой 0,3 и выше в более старшем возрасте. В отдельные выделы выделяются также кустарники, где не могут быть непосредственно созданы лесные насаждения.

К лесным землям, не покрытым лесом, относятся гари, погибшие лесные насаждения, вырубки, прогалины, пустыри, несомкнувшиеся лесные культуры, лесные питомники, лесные плантации.

Специально регулируется организация выделов на нелесных и особо охраняемых землях. Разделение на таксационные выделы покрытых лесом земель производится, если лесные насаждения различаются происхождением, строением, породным составом, возрастом, полнотой, классом бонитета, средними диаметром и высотой, классом товарности, типом леса, проектируемыми лесохозяйственными мероприятиями, количеством подроста. В отдельный выдел выделяются лесные культуры с площади 0,1 га.

Определение перечисленных таксационных показателей описано выше в разделе 4.1.

Нормативы деления насаждений на выделы по остальным таксационным показателям следующие:

- по средней высоте основного элемента леса различия должны быть на 10 % и более;
- по полноте основного яруса они должны отличаться на 0,2 и более;
- по продуктивности разница не должна превышать один класс бонитета;
- среднему диаметру основного элемента леса на 4 см и более.

К отдельным выделам относятся заподсоченные сосновые древостои, насаждения, имеющие под пологом лесные культуры или удовлетворительный жизнеспособный подрост хозяйственно ценных пород, а также участки, со сходными таксационными характеристиками, но нуждающиеся в разных хозяйственных мероприятиях или в очередности их проведения.

По строению насаждения разделяются на простые – одноярусные и сложные – многоярусные.

Отдельными выделами считают также следующие участки:

- редины, то есть насаждения с полнотой 0,1–0,2, кроме молодняков;
- гари – лесные площади с древостоем, погибшим в результате пожара;
- погибшие насаждения. К ним относятся участки леса с засохшими (усохшими) деревьями в результате воздействия болезней, энтомофитов, промышленных выбросов, вымокания, рекреационной нагрузки и других причин, а также места массовых ветровалов, буреломов, снеголомов и т. д.

При этом соседние участки леса относятся к разным выделам, если состав насаждения имеет различие на три единицы и более, а также при наличии в соседнем участке древесных пород (не менее одной единицы), внесенных в Красную книгу. К разным выделам относятся древостои, отличающиеся по возрасту на 10 лет (при возрасте до 100 лет) и на 20 лет в более старшем возрасте. По товарности выделы должны отличаться не менее, чем на один класс. К отдельным выделам относятся участки с разными классами бонитета, типами леса и типами лесорастительных условий. По полноте выделы должны отличаться на 0,2 и более, по среднему диаметру – на 8 см и более (в молодняках и средневозрастных насаждениях этот показатель не учитывается).

Полный перечень показателей, по которым участки леса делят на таксационные выделы, приведен в ТКП 622-2018.

### **5.3.2. Карточка таксации леса**

Все данные таксации независимо от применяемого метода инвентаризации лесов записываются в карточку таксации, которая наряду с фотоабрисом является основным полевым лесоустроительным документом.

Форма и содержание карточки таксации регламентированы лесоустроительной инструкцией. Карточка таксации заполняется на каждый таксационный выдел, включая категории земель, обозначаемые на планово-картографических материалах лесоустройства внемасштабными условными знаками. В карточку таксации записываются все таксационные показатели и характеристики, определение которых обязательно для конкретной категории земель или насаждений в соответствии с приведенными в инструкции требованиями и правилами таксации.

Таксация насаждений производится по элементам леса с выделением ярусов при их выраженности, а в разновозрастных насаждениях – по поколениям. Каждый элемент леса характеризуется средним возрастом, высотой, диаметром, а для приспевающих, спелых и перестойных насаждений, а также насаждений, назначаемых в рубки ухода за лесом и санитарные рубки, – запасом и классом товарности древостоя и т. д.

Форма карточки таксации определена ТКП 622-2018, а порядок ее заполнения регламентируется «Техническими указаниями по заполнению карточек таксации при таксации леса». Это обширный документ (более 115 страниц), принятый в 2017 г. Детальное изучение карточки таксации и правил ее заполнения проводится в курсе лесоустройства.

### 5.3.3. Точность определения таксационных показателей насаждений при таксации

Точность таксации насаждений в лесах Беларуси определена, соответствует показателям, приведенным в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Нормативы точности таксации лесных насаждений

Категории насаждений	Допустимые случайные ошибки таксационных показателей насаждений				
	Среднее для яруса, %		Среднее для основных элементов леса		Количество подроста на 1 га, %
	Запаса на 1 га	Высоты	Коэффициент состава преобладающей породы, ед.	Диаметра, %	
В спелых и перестойных насаждениях, включенных в расчет рубок главного пользования, а также в участках, назначенных для проведения проходных рубок и рубок обновления и перестройки	15	7	1	10	20
Все остальные насаждения	20	7	1	10	20

Особое внимание должно быть уделено правильной таксации насаждений, находящихся на грани приспевающей и спелой возрастных групп для обоснованного их отнесения к указанным группам. Предельно допустимой величиной систематической ошибки определения любого из таксационных показателей устанавливается  $\pm 5\%$ .

При таксации леса к недопустимым ошибкам относятся неправильное определение класса товарности древесины, класса бонитета, типов леса, отсутствие или неправильное назначение вида мероприятия, главной породы лесовосстановления, назначения процента выборки древесины выше или ниже пределов, указанных в наставлениях и правилах.

При таксации древостоев необходимо строго придерживаться градаций определения таксационных показателей насаждений, приведенных в таблице 5.2. При этом применяют единицы измерений, общепринятые в лесной таксации (таблица 5.3).

Таблица 5.3

Единицы измерения и градации определения значений таксационных показателей лесных насаждений

Таксационные показатели лесных насаждений	Единица измерения и градация определения таксационных показателей насаждений	
	При таксации леса	При исследовательских и обследовательских работах
Средняя высота древостоя	1 м	0,1 м
Средний диаметр древостоя:		
а) при среднем диаметре до 32 см;	2 см	2 см
б) при среднем диаметре более 32 см	4 см	4 см
Запас древесины растущего древостоя:		
до 50 м <sup>3</sup> на 1 га;	5 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>
50 м <sup>3</sup> и более на 1 га	10 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>
Запас для кустарников	1 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>

Таксационные показатели лесных насаждений	Единица измерения и градация определения таксационных показателей насаждений	
	При таксации леса	При исследовательских и обследовательских работах
Запас единичных деревьев, сухостоя и захламленности	5 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>
Сумма площадей сечений на высоте 1,3 м на 1 га	1 м <sup>2</sup>	0,1 м <sup>2</sup>
Доля участия (коэффициент состава) элементов леса (пород) в составе древостоя	10 %	1 %
Возраст: а) молодняков хвойных до 10 лет, лиственных до 5 лет, культур ревизионного периода и остальных возрастов; б) насаждений и лесных культур до 100 лет; в) насаждений и лесных культур свыше 100 лет	1 год 5 лет 10 лет	1 год 5 лет 10 лет
Бонитет	1 класс	1 класс
Класс товарности	1 класс	1 % выхода деловой древесины
Средняя высота древостоя: а) при высоте до 0,5 м; б) при высоте более 0,5 м	0,1 м 0,5 м	0,1 м 0,1 м
Средняя высота подроста и подлеска при высоте до 0,5 м; при высоте более 0,5 м	0,1 м 0,5 м	0,1 м 0,5 м

В настоящее время данные лесоинвентаризации являются основой для планирования и проведения всех хозяйственных мероприятий. Отступления от них, как правило, не допускаются. Это накладывает повышенную ответственность на специалистов, которые делают инвентаризацию леса и повышает требования к ее точности. Поэтому органы лесного хозяйства в последнее время усилили требования к качеству работ по лесоинвентаризации.

#### 5.3.4. Методы инвентаризации лесного фонда

В соответствии с ТКП 622-2018 технической основой проведения лесоустройства являются материалы аэрокосмической съемки, земельной информационной системы, информационной системы государственного учета лесного фонда, геодезических измерений, почвенных и иных обследований лесного фонда. Основным документом лесоустройства является *лесоустроительный проект*, разрабатываемый, как правило, на 10 лет. В Беларуси обычно проводят базовое лесоустройство, которое охватывает всю площадь устраиваемого объекта. Полный цикл базового лесоустройства состоит из подготовительных, полевых (лесоинвентаризационных) и камеральных (проектных) лесоустроительных работ.

Основным методом лесоустройства является *метод классов возраста*. Первичной учетной единицей лесного фонда при лесоустройстве по методу классов возраста является таксационный выдел, а первичной расчетной единицей принята преобладающая порода.

Методы инвентаризации делятся на наземные и дистанционные.

*Дистанционные* – это методы, использующие дешифрирование аэрокосмических снимков.

*Наземные методы* делятся на:

- глазомерные;
- глазомерно-измерительные;
- измерительные;
- перечислительные.

В настоящее время при таксации леса обычно применяют сочетание обоих методов, то есть аэрокосмические снимки используют при наземных методах таксации леса.

Тот или иной метод таксации применяют в соответствии с действующими нормативными актами. В Беларуси наибольшее применение находят глазомерный, глазомерно-измерительный, измерительный методы. Перечислительный используют при таксации пробных площадей и во время отводов лесосек. Дешифровочный метод находит применение в лесах, которые в сильной степени загрязнены радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС. По мере повышения точности таксации эти методы располагаются в следующем порядке: дешифровочный, глазомерный, глазомерно-измерительный, измерительный, перечислительный.

Все насаждения, назначаемые на предстоящий ревизионный период в рубки главного пользования, лесовосстановительные рубки, а также для проведения прореживаний и проходных рубок, таксируются глазомерно-измерительным, измерительным или перечислительным методами. Перечислительный метод таксации насаждений описан выше, поэтому его изложение здесь опускаем. Не будем излагать и дешифровочный метод, так как для его изучения введен специальный курс – дистанционные методы таксации.

### 5.3.5. Глазомерный метод таксации

При глазомерном методе таксации все таксационные показатели насаждения на выделе определяются глазомерно. Работа выполняется на основе навыков, приобретенных на коллективной и индивидуальной тренировке, и личного производственного опыта таксатора. При этом используются элементы измерительной таксации в целях корректировки отдельных показателей.

Таксационная характеристика выдела составляется на основе его натурального осмотра в целом или по частям. Для обеспечения нормативной точности глазомерной таксации насаждений описание выдела проводится в 1–3 пунктах таксации в зависимости от площади выдела (таблица 5.4).

Таблица 5.4

**Минимальное количество пунктов таксации**

Площадь выдела, га	до 3	3,1–10	10,1 и более
Минимальное количество описаний участков (пунктов таксации)	1	2	3

В пунктах таксации должны производиться 1–2 замера сумм площадей сечений и измерения высот и диаметров средних деревьев.

Общая таксационная характеристика выдела по данным двух и более пунктов таксации составляется в лесу сразу после завершения его полного осмотра и таксации в натуре, с учетом величины частей выдела, характеризующихся каждым описанием. Вопрос о разделении предварительно оконтуренного на аэрофотоснимке выдела на два или более смежных выдела с близкими характеристиками решается также в лесу.

### 5.3.6. Глазомерно-измерительный и измерительный методы таксации

Глазомерно-измерительный метод таксации основан на сочетании натурной глазомерной таксации леса с выборочной измерительной и перечислительной таксацией, данные которой являются основой для таксационной характеристики выдела. При этом в обязательном порядке в выделе, таксируемом закладкой реласкопических площадок или путем перечета деревьев на круговых площадках постоянного радиуса, определяется сумма площадей сечений на 1 га. Круговые перечетные площадки закладывают только в насаждениях, где из-за подроста или подлеска вести учет деревьев полнотомером затруднительно.

Количество закладываемых в таксационном выделе реласкопических площадок или круговых перечетных площадок постоянного радиуса зависит от требуемой точности таксации, величины выдела, полноты насаждения и определяется нормативами, приведенными в ТКП 622-2018 (таблица 5.5).

Таблица 5.5

**Количество закладываемых реласкопических и площадок постоянного радиуса при глазомерно-измерительном методе таксации**

Площадь выдела, га	Полнота		
	0,3–0,5	0,6–0,8	0,9–1,0
1	3	2	2
2	4	2	2
3	5	3	2
4	6	4	2
5	7	5	3
6–7	8	6	4
8–10	9	7	5
11 и более	10	8	6

Площади круговых площадок постоянного радиуса и их радиусы показаны ниже (таблица 5.6). При этом соотношение радиусов и площадей площадок постоянного радиуса следующие:

Радиус и площадь одной круговой площадки				
Радиус, м	9,8	11,3	13,8	17,8
Площадь, м <sup>2</sup>	300	400	600	100

Таблица 5.6

**Радиусы круговых перечетных площадок**

Полнота	Средний диаметр насаждений, см				
	16 и менее	20	24	28	32 и выше
0,3–0,4	11,3	11,3	12,8	17,8	17,8
0,5–0,6	9,8	11,3	11,3	13,8	13,8
0,7–0,8	9,8	9,8	11,3	11,3	11,3
0,9–1,0	9,8	9,8	9,8	11,3	11,3

Порядок закладки круговых реласкопических площадок и площадок постоянного радиуса определяется действующими ТКП.

Для обеспечения должной точности таксации каждого выдела на них необходимо останавливаться в нескольких местах для установления таксационных показателей выдела. Места, где проводится установление таксационных показателей, называются *пунктами таксации*. Их минимальное количество зависит от площади выдела (таблица 5.6).

Применение измерительных методов таксации при относительно небольших затратах труда и средств обеспечивает высокую точность инвентаризации лесных насаждений.

## 5.4. Результаты проведенного базового лесоустройства

Результатом проведенного базового лесоустройства является «Проект организации и развития лесного хозяйства лесхоза». Срок его действия – 10 лет, он называется *ревизионным периодом*. Содержание лесоустроительного проекта определено ст. 36 Лесного кодекса.

Ведение лесного хозяйства без утвержденного в установленном порядке лесоустроительного проекта запрещается.

Проект организации и развития лесного хозяйства содержит много документов. Направляются они в разные организации: лесничеству; юридическому лицу, ведущему лесное хозяйство (назовем его лесхоз); территориальному органу Минлесхоза (ПЛХО); Министерству лесного хозяйства (Минлесхоз); государственной лесоустроительной организации.

Перечень направляемых документов регламентируется ТКП 622-2018.

Печатаются и рассылаются следующие документы:

- проект организации и развития лесного хозяйства на десятилетний период. Объяснительная записка (Министерству лесного хозяйства, ГПЛХО, лесхозу);
- приложения к лесоустроительному проекту (лесхозу);
- ведомости проектируемых мероприятий (лесхозу);
- карта-схема лесонасаждений М : 100 000;
- учет лесного фонда лесхоза (лесхозу, ПЛХО);
- таксационные описания (ПЛХО, лесхозу, лесничеству);
- планшеты М : 10 000 (ПЛХО, лесхозу, лесничеству);
- планы лесонасаждений по лесничествам, мастерским участкам и обходам, окрашенные по породам М : 25 000;
- объяснительные записки по лесничествам с проектными ведомостями;
- карта-схема противопожарного устройства и др.

Передаются и другие материалы в соответствии с требованиями нормативного документа.

Кроме перечисленных документов, лесоустройство осуществляет определение расчетной лесосеки по рубкам главного и промежуточного пользования и проводит набор участков, где будут проведены эти рубки.

Выполняется также определение размера лесокультурного фонда с определением мест создания лесных культур и мест содействия естественному возобновлению. Оценивается санитарное состояние лесов и показываются размеры выявленных очагов вредителей и болезней.

Проектируются мероприятия по противопожарному устройству территории лесного фонда и меры по охране лесов, а также многие другие лесохозяйственные, лесокультурные и лесозащитные мероприятия, подробное изучение которых проводится при изучении курса лесоустройства.

---

---

## Глава 6

### ТАКСАЦИЯ ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА

---

---

- 6.1. Сортиментные таблицы.
  - 6.2. Товарные таблицы и таблицы динамики товарности.
  - 6.3. Отвод и таксация лесосек.
  - 6.4. Материально-денежная оценка лесосек.
- 
- 

#### 6.1. Сортиментные таблицы

##### 6.1.1. Методы сортиментации

Знать общий запас насаждения недостаточно для того, чтобы судить о его ценности. Народному хозяйству нужна не древесина вообще, а конкретные сортименты для получения тех или иных материалов: пилопродукции, целлюлозы, тары и т. д. При этом необходимо прогнозировать объемы конкретных лесоматериалов, которые будут получены в лесхозе, области, государстве, чтобы планировать работу заводов, строек, бумажных комбинатов. Для этого необходимо каждое насаждение, которое будет поступать в рубку в следующем году, детально протаксировать и оценить его запас и выход основных сортиментов.

Такая оценка нужна для того, чтобы получить оплату за древесину. Хотя в настоящее время объем продаж леса на корню постепенно заменяется продажей заготовленной древесины, но ряду организаций, в частности концерну «Беллесбумпром», определенное количество древесины отпускают на корню. Для установления стартовой цены при продаже леса на бирже тоже надо знать сортиментную структуру отпускаемой древесины.

Подобная потребность, то есть знание о сортиментной структуре древостоев, появилась уже с начала широкой торговли лесом. В XIX в. начали проводить исследования, результаты которых показывали выход различных сортиментов. Так возникло большое и важное направление в лесной таксации, получившее название сортиментации.

Разделение запаса древостоя на конкретные сортименты называется *сортиментацией*.

Задачей лесной таксации является определение выхода сортиментов из древостоя до его рубки.

Сортиментацию разделяют на две большие группы: по крупности – лесохозяйственная и по целевому назначению сортиментов – лесопромышленная. В том и другом случае сортименты делят по сортам. Стандартами Беларуси на лесоматериалы круглые выделено три сорта. Самый высокий – 1-й. Требования к конкретным сортиментам и сортам постоянно изменяются. Обычно эти требования сохраняются в течение 15–20 лет, а затем им на смену приходят другие. Вопрос о сортах и основных сортиментах изложен выше при описании учета готовой лесопроductии.

Вся древесина делится на деловую, то есть ту, которая идет на различные изделия, на дрова (для топлива) и отходы. Из дров в настоящее время заготавливают сырье технологическое с целью переработки его на щепу, которая служит сырьем для выпуска различных плит (ДВП,

ДСП) и химической переработки. В последнее время отходы лесозаготовок и деревопереработки используют как топливо для энергоустановок.

Деловая древесина по диаметру в верхнем отрезе делится на крупную с диаметром в верхнем отрезе 26 см и выше, среднюю – 13–24 см и мелкую – 6–13 см.

Методика составления современных сортиментных таблиц, утвержденная Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь в 2006 г., предполагает более детальную дифференциацию крупной, средней и мелкой деловой древесины. По исследованиям профессора В. Е. Ермакова и Н. П. Демида цена древесины сильно зависит от диаметра бревна. С учетом этого положения В. Ф. Багинским было предложено новое деление крупной, средней и мелкой древесины, принятое Минлесхозом, а именно:

Крупная  $\geq 26$  см

В том числе: крупная 1  $> 42$  см,

крупная 2 – 34–42 см,

крупная 3 – 26–32 см.

Средняя 14–24 см.

В том числе: средняя 1 – 19–24 см,

средняя 2 – 14–18 см.

Мелкая 6–13 см.

В том числе:

а) хвойные:

мелкая 1 – 8–13 см,

мелкая 2 – 5–7 см;

б) лиственные;

мелкая 1 – 10–13 см,

мелкая 2 – 5–9 см.

В сортиментных таблицах Ф. П. Моисеенко, которыми лесное хозяйство Беларуси пользовалось с 1938 по 2015 г., столь дробного деления крупной и мелкой древесины нет. Нет здесь и деления по сортам. В настоящее время «Гомельлеспроект» разработал новые сортиментные таблицы, где сохранена действовавшая дифференциация.

Сорта определяются наличием пороков древесины (сучья, кривизна, разные гнили и т. д.). Для хвойных и твердолиственных древостоев в возрасте главной рубки в Беларуси основными сортообразующими пороками являются сучья и кривизна. Сорт сортиментов, заготавливаемых на санитарных рубках, зависит в основном от наличия сучьев, кривизны и ядровой гнили.

Есть много способов проводить сортиментацию древостоев. Разберем основные из них.

В прежние времена проводились приисковые рубки. Это значит, что выбирались лучшие деревья из тех, которые отвечали тем или иным целям. Широко известны обширные рубки «корабельных» сосен и дубов в XVIII и XIX вв. для постройки кораблей. При строительстве железных дорог в XIX–XX вв. вырубались целевые деревья для изготовления шпал. Такие примеры можно продолжить.

Чтобы выбрать нужное дерево, таксатор должен был оценить конкретный ствол и определить его пригодность для заданных целей. Так возник метод индивидуальной подеревной таксации. Она применялась при проведении подневольной-выборочной рубки.

Метод индивидуальной подеревной сортиментации использовался у нас в 20–30-е гг. XX в. В то время огромное количество древесины из Беларуси уходило в Германию в уплату за оборудование для новых заводов и фабрик. Приезжали немецкие специалисты высокого класса, выстукивали деревья специальными молоточками и выбирали только высококачественные. Умели определять качество ствола этим методом и наши специалисты – бракеры. Так, этим приемом в полной мере владели Ф. П. Моисеенко, В. К. Захаров. Последний опубликовал детальное описание названного метода.

Хотя в настоящее время индивидуальная подеревная сортировка практически не применяется, но инженер лесного хозяйства должен ее знать, чтобы при необходимости использовать этот метод. Поэтому сделаем ее краткое описание.

Сущность метода заключается в следующем. Таксатор в процессе перечета деревьев, назначенных в рубку, измеряет диаметр ствола на высоте 1,3 м и устанавливает его высоту. Определив форму ствола и его качество по наличию внешних пороков и фаутов, учетчик глазомерно оценивает ожидаемый выход сортиментов для каждого ствола. Устанавливает длину, толщину и сортность сортиментов в соответствии с техническими требованиями соответствующих стандартов. При определении высоты дерева и протяженности как его деловой части, так и длины отдельных отрезков, применяется высотомер.

Результаты таксации заносят в специальные формы полевых записей для последующей камеральной обработки. Записи в лесу могут осуществляться в виде табличной (таблица 6.1) или графической формы (таблица 6.2). При наличии нескольких пород и многих сортиментов таблица делается громоздкой и неудобной для полевых записей, поэтому рекомендуется вести запись в виде графической формы (таблица 6.2).

Таблица 6.1

Табличная форма записи результатов индивидуальной подеревной таксации

№ дерева	Порода	Размер ствола		Ожидаемый выход сортиментов по длине и верхнему диаметру						
		$d_{1,3}$	$H$	пиловочник	сорт	строительное бревно	шпальник	балансы	рудничная стойка	дрова
1	Сосна	44	24	4,0 × 36	I	4,5 × 16	2,7 × 33	—	4,0 × 8	2 × 4
				2,5 × 26	III		2,7 × 31	—		
2	Ель	32	27	8,5 × 25	I	—	—	6,5 × 11	—	4 × 4
				6,5 × 18	II	—	—			

Таблица 6.2

Графическая форма записи результатов индивидуальной подеревной таксации

№ дерева	Порода	Размер ствола		Намечаемый последовательный выход сортиментов				
		$d_{1,3}$	$H$					
21	Сосна	40	24	×	<u>пиловочник I сорт</u> 8,5 × 29	×	<u>шпальник</u> 2,7 × 26	×
				×	<u>рудничная стойка</u> 4,5 × 19	×	<u>строительные бревна</u> 4,5 × 13	×
						×	<u>дрова</u> 4,0	
22	Дуб	36	21	×	<u>пиловочник I сорт</u> 4,5 × 28	×	<u>дрова</u> 1 × 25	×
				×	<u>телеграфный столб</u> 7,8 × 18	×	<u>рудничная стойка</u> 5,0 × 10	×
						×	<u>дрова</u> 3,0	

Результаты полевых записей обрабатывают в камеральных условиях с составлением сводной ведомости по определению суммарного выхода сортиментов по породам, наименованию, размерам и сортности. Кубатура сортиментов определяется по таблице объемов круглого леса.

По таблицам объемов стволов типа баварских вычисляется общий объем всех деревьев по породам. В заключение устанавливают общий процент выхода деловой древесины каждой породы с подразделением его по отдельным сортиментам, а также выход дров и величину отходов.

Недостатками метода подеревной индивидуальной сортиментации являются следующие:

а) точность результатов сортиментации обуславливается квалификацией таксатора как в области лесной таксации, так и в отношении методов рациональной разделки стволов, здоровых и фаутных, что отражает субъективную качественную оценку выхода сортиментов;

б) на точность конечных результатов оказывает значительное влияние скрытая фаутность древостоя, порода, доля участия отдельных сортиментов в общем запасе; лучшие результаты получаются для хвойных пород, менее пораженных грибными заболеваниями по сравнению с лиственными;

в) метод характеризуется значительной трудоемкостью.

Подеревная сортиментация в современных условиях иногда может находить применение при учете специальных сортиментов, а также при лесоинвентаризационных работах в особо ценных насаждениях, когда рубка моделей или не допускается или связана со значительными затруднениями.

В настоящее время *основными методами сортиментации* при проведении научно-исследовательских работ, особенно при составлении сортиментных и товарных таблиц является *закладка пробных площадей с рубкой и обмером модельных деревьев*. В производственных условиях сортиментация проводится по сортиментным таблицам. Рассмотрим оба метода подробнее.

### 6.1.2. Сортиментация по пробным площадям и модельным деревьям

Для составления сортиментных и товарных таблиц при проведении научно-исследовательских работ, где требуется высокая точность сортиментации, ее делают, закладывая пробные площади, на которых рубят и разделяют модельные деревья. Наиболее точный выход сортиментов можем получить, если будут срублены и раскряжеваны все деревья на пробной площади.

Пробные площади целесообразно закладывать на лесосеках, поступающих в ближайшее время в рубку. Сортиментация леса по пробным площадям с разделкой всех деревьев имеет еще одно преимущество: при ней наиболее полно и точно выявляется влияние пороков древесины на выход сортиментов разного назначения и разного качества.

При сортиментации леса по методу пробных площадей очень важно правильно выбрать место для их закладки. Пробные площади следует выбирать в участках, наиболее характерных для определенных категорий насаждений: по типу леса, классу бонитета, полноте и т. д. Размещать пробные площади в пространстве следует по методу механического отбора: через определенные, строго одинаковые расстояния.

Точность определения запаса при сортиментации с помощью пробных площадей зависит от правильности разделки отдельных деревьев на сортименты и числа пробных площадей. При разделке нужно руководствоваться установленными для данного региона сортиментными планами. Их определяют на основе анализа сортиментной структуры лесозаготовок за последние 3–5 лет в исследуемом регионе. Размеры и качество заготавливаемых сортиментов должны соответствовать техническим условиям стандартов Беларуси на готовую лесопroduкцию.

Для выявления связи между выходом сортиментов, размерами деревьев и их внешними качественными признаками на пробных площадях надо произвести тщательный пересчет деревьев с разбивкой их по ярусам, породам, возрастным поколениям, ступеням толщины и качественным категориям. Результаты разделки деревьев на сортименты следует учитывать с таким расчетом, чтобы в итоге можно было установить средние выходы сортиментов по всем категориям, на которые делились деревья при пересчете.

Рубка и разделка деревьев на пробе – занятие очень трудоемкое. Поэтому надо учесть все разнообразие деревьев по толщине, высоте, форме ствола. Делать сплошную раскряжку очень трудно и дорого. В этом случае проводят тщательный расчет минимального числа моделей для получения заданной точности. При выполнении разделки модельных деревьев требуется большое внимание и аккуратность. Работа здесь не лишена опасности, потому нельзя забывать о технике безопасности.

### 6.1.3. Сортиментация запаса древостоя по модельным деревьям

При сортиментации леса по модельным деревьям применяют разные методы, в зависимости от способа отбора модельных деревьев. Выбор метода зависит от требуемой точности сортиментации и возможностей исполнителя. Наименее трудоемким, но и имеющим низкую точность является метод средней модели. Он применяется при вычислении запасов древесины на корню, используется и для установления сортиментной структуры древостоев, если не нужна высокая точность. При этом средние модели должны отбираться по ступеням или классам толщины. Средняя модель, взятая для всего древостоя, не может быть использована для промышленной сортиментации.

Объясняется это строением древостоев, то есть закономерным распределением деревьев по ступеням толщины и резко выраженной дифференциацией толщины деревьев по отношению к среднему диаметру древостоя. Следует помнить, что диаметр самых толстых стволов в 1,7–2 раза больше диаметра среднего дерева, а самое тонкое дерево равно 0,3–0,4 от среднего. Например, размеры дубовых бревен для строганой фанеры по СТБ следующие: длина от 2 м и выше, толщина в верхнем отрезе от 35 см и выше. При среднем диаметре древостоя 25 см среднее дерево не может дать фанерных бревен толщиной от 35 см. Между тем в составе такого древостоя имеются деревья диаметрами 43 см ( $25 \times 1,7 = 43$ ), из которых можно получать фанерные бревна. Из деревьев, имеющих средний диаметр (25 см), получают пиловочник. В то же время из самых тонких деревьев древостоя (8–10 см) этот сортимент вырезать нельзя.

Модели, взятые по ступеням или классам толщины и однородным качественным категориям деревьев, должны отражать не только средние таксационные, но и средние качественные признаки однородных по качеству групп деревьев, выделенных при перерчетах: высококачественные, деловые, дровяные.

Средние модели, взятые по однородным качественным группам деревьев, имеют небольшое варьирование выходов сортиментов, что уменьшает число модельных деревьев. Если требуется учесть выход бревен по классам крупности данного сортимента, то модели берут по соответствующим ступеням толщины дерева.

Наиболее приемлемо отбирать модельные деревья по ступеням толщины. Технология такого отбора описана выше. При учете выхода отдельных целевых сортиментов модели берут лишь в тех ступенях, из которых могут быть получены данные сортименты. Так, для учета выхода пиловочных бревен с диаметром верхнего сечения от 14 см модели берут из стволов диаметром 16 см и выше на высоте 1,3 м. Отобранные модели разрабатывают на сортименты, а результаты обмера и раскряжки заносят в таблицу, примерная форма которой приведена ниже (таблица 6.3).

Число моделей должно быть строго обосновано и может устанавливаться как на основе варьирования таксационных признаков ствола, так и качественной их характеристики, обуславливающих различные выходы отдельных сортиментов.

Величина коэффициента варьирования выхода сортиментов ( $V$ ) подвержена значительным изменениям в зависимости от многих факторов. Главным фактором является здесь фаутность стволов. Она зависит от породы и возраста. Наибольшая фаутность наблюдается для лиственных пород и для деревьев старшего возраста.

Форма записи результатов обмера модельных деревьев

№ моделей	Порода	$D_m$ , см	Высота ствола, м	Длина деловой части, м	Диаметр на $0,5H$ , см	Объем модели, м <sup>3</sup>	Выход сортиментов				
							наименование сортиментов	длина, м	верхний диаметр, см	сортность	объем, м <sup>3</sup>
1	С	40	27	26	26,5	1,52	Пиловочник	6,5	35,2	1	
							Пиловочник	6,5	28,7	1	
							Пиловочник	6,5	20,3	2	
							Пиловочник	5,5	14,1	3	
							Баланс	1,0	8,4	3	
							Дрова	0,5	3,5		
...											

Особое влияние на величину ( $V$ ) оказывает доля участия отдельных сортиментов в общем запасе. Наименьшее варьирование имеют ведущие сортименты с наибольшим участием в запасе. Сопутствующие сортименты, представленные в незначительной доле, варьируют настолько значительно, что практически расчет количества моделей проводят исключительно по ведущему сортименту по формуле  $n = v^2 / p^2$ .

Вопрос о степени варьирования процентов выходов отдельных сортиментов изучен Ф. П. Моисеенко, Н. П. Анучиным, К. Е. Никитиным, А. Г. Мошкалевым. Для Беларуси Ф. П. Моисеенко приводит следующие коэффициенты варьирования сортиментов (таблица 6.4).

Таблица 6.4

Коэффициенты варьирования сортиментов в дубовых и ясеневых древостоях

Древосток	Коэффициент вариации сортиментов, %							Вся деловая древесина
	Фанерное бревно	Спец. кряж	Обозный кряж	Пиловочник				
				I сорт	II сорт	III сорт	Итого	
Дуб	76	–	–	58	19	21	15	12
Ясень	–	87	49	–	31	–	21	6

Ф. П. Моисеенко считает, что коэффициент варьирования процентов выхода основных сортиментов хвойных и лиственных пород для качественно однородной совокупности деревьев не выходит за пределы  $\pm 10\%$ , поэтому можно быть уверенным, что при измерении 12–15 моделей погрешность в определении процента выхода основных сортиментов будет в пределах  $\pm 10\%$ . Для сосновых древостоев подобные исследования провел В. К. Захаров (таблица 6.5).

Таблица 6.5

Значение средних коэффициентов варьирования процентной доли выхода сортиментов в сосновых древостоях

Сортимент	Средний % выхода сортиментов, м	Среднее квадратическое отклонение, $\sigma$	Коэффициент варьирования, $v$ , %	Точность исследования, $p$ , %
Бревна пиловочные	$68,7 \pm 0,8$	3,7	5,4	1,2
Шпальные кряжи	$7,5 \pm 0,8$	3,5	46,7	10,4
Рудничная стойка	$2,5 \pm 0,2$	0,9	34,3	7,7
Общий выход мелких сортиментов	$4,7 \pm 0,3$	1,2	24,7	5,5
Вся деловая древесина	$85,8 \pm 0,3$	1,5	1,8	0,4

Установленное число моделей следует распределить по ступеням или классам толщины пропорционально численности стволов, учитывая неравномерное распределение их запасов по ступеням толщины. В этом случае производится совместная разработка на сортименты с учетом выхода по объему однородных сортиментов.

Порядок отбора модельных деревьев для определения сортиментной структуры сложнее, чем для нахождения запаса. Еще А. Г. Мошкалев установил, что при исследовании товарной структуры оптимальным является отбор на пробной площади 25–30 модельных деревьев.

При наличии на пробе 150–250 стволов в качестве моделей методом систематической выборки отбирается каждое 5–6-е или 8–10-е дерево. В этом случае практически все ступени толщины будут представлены хотя бы одной моделью. Очень важно, чтобы модели были взяты из крайних ступеней толщины, особенно от наиболее толстых деревьев.

Если объем ступени толщины, где не взята модель, мы можем найти по соотношению объемов соседних модельных деревьев, введя упоминаемый выше коэффициент  $k = \frac{D_1^2}{D_2^2}$ , то в отношении выхода сортиментов такого сделать нельзя. Приведем пример отбора моделей. Допустим, что мы имеем пробную площадь в сосновом древостое, где насчитали 240 деревьев. Расчет необходимого количества моделей показан в таблице 6.6. Расчет проведем, исходя из коэффициентов вариации сортиментов, приведенных в таблице 6.5.

Таблица 6.6

Схема расчета количества моделей по ступеням толщины

Ступень толщины	Число деревьев	Расчетное число моделей, шт.		Намечено к вырубке, шт.	Фактически взято
		Без округления	С округлением		
12	6	0,8	1	1	1
16	15	1,9	2	2	2
20	24	3,0	3	3	3
24	30	3,7	4	4	4
28	38	4,7	5	5	5
32	46	5,8	6	6	5
36	39	4,8	5	5	6
40	21	2,6	3	3	3
44	11	1,4	1	1	1
48	7	0,9	1	1	1
52	3	0,4	0	1	1
Итого	240	30	31	32	32

При расчетах в таблице 6.6 учитываем коэффициенты варьирования сортиментов. Так, для наиболее изменчивого сортимента (шпальник  $V = 50\%$ ) точность таксации принимаем в 9–10%, для наиболее распространенного пиловочника ( $V = 5\%$  по В. К. Захарову и 10% по Ф. П. Моисеенко) точность учета повышается до 1–2%. В этом случае нам достаточно взять 30 моделей.

Действительно, для шпальника получим:

$$n = \frac{V^2}{p^2} = \frac{50^2}{10^2} = 25 \text{ моделей.}$$

Для пиловочника:

$$n = \frac{5^2 \div 10^2}{1^2 - 2^2} = \frac{25 - 100}{1 - 4} = 25 \text{ моделей.}$$

Наметив взять 30 моделей, делаем отбор каждого 8-го дерева (таблица 6.6). В результате расчетное количество моделей оказалось равно 32 шт., так как потребовалось взять 1 модельное дерево из ступени толщины 52 см. При этом из-за ошибок при отборе в ступени толщины 32 см взято 5 деревьев вместо 6, а в ступени 36 см отобрано 6 деревьев вместо 5. Такая ошибка не считается существенной, и можно приступать к рубке и обмеру отобранных моделей.

Схема дальнейшей обработки материала показана в таблице 6.7.

При этом имеем в виду, что площадь пробы равна 0,8 га. В графах 3–9 таблицы 6.7 приведены усредненные величины для модельного дерева, полученные путем суммирования соответствующих запасов и деления на число моделей. Например, для ступени толщины 40 см по крупной деловой древесине по каждой модели получены следующие величины: первая модель – 1,15 м<sup>3</sup>; вторая – 1,0 м<sup>3</sup>; третья – 1,12 м<sup>3</sup>. Общий запас крупной деловой древесины для трех моделей равен 3,27 м<sup>3</sup>. Среднее значение для одной модели составит  $3,27 \text{ м}^3 / 3 = 1,09 \text{ м}^3$ .

Таблица 6.7

**Расчет выхода лесохозяйственных сортиментов (крупная, средняя, мелкая)  
на 1 га по модельным деревьям**

Ступень толщины, см	Число стволов, шт.	Средний объем модельного дерева: (числитель) и запас на пробе (м <sup>3</sup> ), знаменатель							
		крупная	средняя	мелкая	Итого деловой	дрова	ликвид	отходы	Всего
12	6	–	–	<u>0,08</u> 0,48	<u>0,08</u> 0,48	<u>0,01</u> 0,06	<u>0,09</u> 0,54	<u>0,01</u> 0,06	<u>0,10</u> 0,60
16	15	–	<u>0,09</u> 1,35	<u>0,08</u> 1,20	<u>0,17</u> 2,55	<u>0,01</u> 0,15	<u>0,18</u> 2,70	<u>0,02</u> 2,30	<u>0,20</u> 3,00
20	24	–	<u>0,17</u> 4,08	<u>0,10</u> 2,40	<u>0,27</u> 6,48	<u>0,02</u> 0,48	<u>0,29</u> 6,96	<u>0,04</u> 0,96	<u>0,33</u> 7,92
24	30	–	<u>0,41</u> 12,30	<u>0,08</u> 2,40	<u>0,49</u> 14,70	<u>0,01</u> 0,30	<u>0,50</u> 15,00	<u>0,05</u> 1,50	<u>0,55</u> 16,50
28	38	–	<u>0,61</u> 23,18	<u>0,03</u> 1,14	<u>0,64</u> 24,32	<u>0,02</u> 0,76	<u>0,66</u> 25,08	<u>0,09</u> 3,42	<u>0,75</u> 28,50
32	46	<u>0,40</u> 18,40	<u>0,46</u> 21,16	<u>0,03</u> 1,38	<u>0,89</u> 40,94	<u>0,02</u> 0,92	<u>0,91</u> 41,86	<u>0,11</u> 5,06	<u>1,02</u> 46,92
36	39	<u>0,78</u> 30,42	<u>0,30</u> 11,70	<u>0,05</u> 1,95	<u>1,13</u> 44,07	<u>0,02</u> 0,78	<u>1,15</u> 44,85	<u>0,17</u> 6,63	<u>1,32</u> 51,48
40	21	<u>1,09</u> 22,89	<u>0,36</u> 7,56	<u>0,01</u> 0,21	<u>1,46</u> 30,66	<u>0,03</u> 0,63	<u>1,49</u> 31,29	<u>0,18</u> 3,78	<u>1,67</u> 35,07
44	11	<u>1,20</u> 13,20	<u>0,44</u> 4,84	<u>0,01</u> 0,11	<u>1,65</u> 18,15	<u>0,04</u> 0,44	<u>1,69</u> 18,59	<u>0,22</u> 2,42	<u>1,91</u> 21,01
48	7	<u>1,96</u> 13,72	<u>0,22</u> 2,54	–	<u>2,18</u> 15,26	<u>0,06</u> 0,42	<u>2,24</u> 15,68	<u>0,26</u> 1,82	<u>2,50</u> 17,50
52	3	<u>2,20</u> 6,60	<u>0,18</u> 0,54	–	<u>2,38</u> 7,14	<u>0,06</u> 0,18	<u>2,44</u> 7,32	<u>0,30</u> 0,90	<u>2,74</u> 8,22
итого	240	<u>7,63</u> <u>105,23</u>	<u>3,24</u> <u>88,25</u>	<u>0,47</u> 11,27	<u>11,34</u> 204,75	<u>0,30</u> <u>5,12</u>	<u>11,64</u> <u>209,87</u>	<u>1,45</u> <u>26,85</u>	<u>13,09</u> <u>236,72</u>
На 1 га	300	131,5	110,3	14,1	255,9	6,4	262,3	33,6	295,9

Таким образом, сделав сортиментацию в спелом сосновом древостое I разряда высот, установим, что на 1 га можем заготовить 132 м<sup>3</sup> крупной деловой древесины, 110 м<sup>3</sup> средней, 14 м<sup>3</sup> мелкой, 6 м<sup>3</sup> дров. Отходы составят 33 м<sup>3</sup>, а всего запас на 1 га будет равен 295 м<sup>3</sup>. При расчетах надо иметь в виду, что запас на 1 га, определяемый в производственных условиях, целесообразно округлить до целых кубометров.

Полученные результаты достаточно точны. Изменчивость крупной, средней и мелкой древесины у нас не выходит за пределы 10–12 %. В итоге точность будет равна  $p = \frac{V}{\sqrt{n}} = \frac{12}{\sqrt{32}} = 1,8 - 2,1 \%$ . Для дров эта величина составит около 5 %, а для общего запаса 1,5 %.

Таким образом, мы можем считать, что определение выхода сортиментов описанным способом, хотя и трудоемко за счет большого объема полевых работ, но обеспечивает высокую точность.

Ранее в СССР, а сейчас в России в многолесных районах иногда практикуется взятие моделей по классам толщины, объединяя в одну группу несколько ступеней толщины. Н. П. Анучин в своем учебнике подробно описывает взятие моделей по классам толщины. Это следует иметь в виду нашим лесоустроителям при работе в России. Для условий Беларуси точность такого учета недостаточная, и у нас этот способ не рекомендуется.

Иногда проводится случайный отбор модельных деревьев без выделения типических групп (ступеней толщины). В данном случае эти деревья называют учетными. В принципе, при большом числе учетных деревьев здесь могут быть получены удовлетворительные результаты, но всегда есть опасность, что наиболее толстые деревья окажутся не учтенными. Применяя способ учетных деревьев, необходимо убедиться, что в учет попали наиболее толстые стволы. Если этого не произошло, то следует количество учетных деревьев увеличить за счет толстомерных стволов. В целом предпочтительнее использовать для целей сортиментации модельные, а не учетные деревья.

Описанный метод имеет следующие преимущества:

1) по своей теоретической основе является одним из видов выборочного метода, сочетая в себе преимущества типического и случайного, когда выделяют типические группы (ступени толщины), а внутри их осуществляют случайный отбор;

2) модельные деревья берут по четко выделенным типическим группам (ступеням толщины); число моделей устанавливают по степени варьирования основного признака, который обуславливает выход сортиментов; при этих условиях метод обеспечивает заранее заданную точность результатов;

3) метод находит применение при учете товарности более ценных древостоев со сложной сортиментной структурой, при проведении научных исследований по установлению товарности древостоев.

В производственных условиях этот метод может применяться при отсутствии сортиментных и товарных таблиц. В этом случае он отражает влияние местного характера фауности на выход сортиментов, особенно в отношении перестойных древостоев со скрытыми фаунами, а также при осуществлении контроля товарности древостоев, проведенного другими способами.

Если не изучено варьирование выходов сортиментов в зависимости от различных качественных признаков древесных стволов (внешние и внутренние пороки), то число моделей часто берут на основе литературных данных.

#### **6.1.4. Сбор полевых материалов для составления сортиментных таблиц**

Требования к полевому материалу и методике его сбора определены нормативами бывшего Госкомлеса СССР и с тех пор не менялись. Для одной породы и категории древостоев в исследуемом районе закладывается не менее 20–25 пробных площадей, для низкотоварных древостоев – не менее 30 пробных площадей. При этом предполагается, что сортиментные таблицы будут включать 3–4 разряда высот. Если число разрядов будет больше и не используется моделирование, то количество пробных площадей соответственно увеличивается.

Места для закладки пробных площадей выбираются по принципу систематической выборки: в каждом 10-м по порядку номеров квартале – в выбранных типичных для района лесохозах, а в пределах квартала – в выделе с наименьшим номером для конкретной преобладающей породы, типичной для выдела части. В квартале может быть заложено несколько пробных площадей по числу пород, для которых составляются таблицы. Не берут пробные площади в выделах, расстроенных рубками. После набора необходимого числа пробных площадей в остальных десятых по нумерации кварталах они не закладываются. При таком подходе обеспечивается объективность выбора мест пробных площадей и пропорциональная представленность различных древостоев в выборке.

Пробные площади закладывают по принятой в таксации методике. На каждой пробной площади в высокотоварных древостоях срубается и обмеряется 20–25 деревьев, в низкотоварных древостоях – примерно 30 деревьев. Деревья для рубки выбираются в процессе перечета, как каждое 5–8-е, попавшее в перечень в пределах ступени толщины. Для определения выхода сортиментов модели отбирают из числа деловых деревьев. Вырубают также модельные деревья из числа дровяных стволов, по 1–2 из каждой ступени толщины. Это требуется для определения выхода технологического сырья из дровяных деревьев. Общее число дровяных модельных деревьев по породе 100–120. Остальное количество моделей срубается из числа деловых деревьев.

У срубленных деревьев измеряются диаметры в коре и без коры на серединах 2-метровых отрезков, а при высотах деревьев – примерно до 12 м через 1 м. Проводится раскряжевка стволов на деловые сортименты и дрова.

### 6.1.5. Сортиментные таблицы

Сортиментную структуру лесосек в практике устанавливают с помощью сортиментных таблиц. Эти таблицы показывают выход деловой древесины с подразделением ее на крупную, среднюю и мелкую, а также дров и отходов. Современные сортиментные таблицы включают и данные о наличии лесопромышленных сортиментов. Для всей деловой древесины, включая лесохозяйственные и лесопромышленные сортименты, делается ее разделение по сортам. Входами в сортиментные таблицы является диаметр дерева на высоте груди и его высота. В разрядных таблицах она выражается разрядом высот.

Применение сортиментных таблиц началось в начале XX в. Первые таблицы такого рода в СССР были составлены Н. П. Анучиным и Н. В. Третьяковым в 1931 г. Примерно в то же время появились подобные таблицы и в других странах: Германии, Польше, Чехии. Эти таблицы были несовершенны – очень сложны, недостаточно практичны и не отличались высокой точностью. Настоящий революционный переворот в вопросе сортиментации леса сделал Ф. П. Моисеенко, который в 1937 г. разработал новый вид сортиментных таблиц. В них учет объемов стволов и выход сортиментов проводился по средней форме ствола. Деревья при отводах лесосек делились на качественные категории (деловые, полуделовые, дровяные), высоты деревьев учитывались через установление разряда высот и т. д. Эти таблицы с 1938 г. приняты для использования во всей Европейской части СССР за исключением Севера. Форма сортиментных таблиц Ф. П. Моисеенко, принципы их построения сохранились до сих пор. Сортиментные таблицы Ф. П. Моисеенко выдержали 4 издания. Последнее издание 1972 г. используется лесоводами Беларуси и сегодня.

Впоследствии появились подобные таблицы, составленные Н. П. Анучиным. Их последнее издание (1986) находит применение в России. Известны также многочисленные таблицы других авторов для разных регионов бывшего СССР. Так, в Украине нашли применение сортиментные таблицы К. Е. Никитина с соавторами, в Литве – И. И. Кенставичюса с соавторами, в Грузии – И. А. Гагошидзе и т. д. В последние десятилетия существенное обновление методики составления сортиментных таблиц предложил А. Г. Мошкалев.

Промышленные сортименты, данные о которых содержатся в сортиментных таблицах, многочисленны и часто взаимозаменяемы. В таблицах обычно приводится выход только главных из них. Лесохозяйственные сортименты, то есть крупная, средняя и мелкая древесина, имеют более важное значение. Они взаимно не замещаются. Их ложат в основу расчета стоимости древесины. Лесопромышленные сортименты (пиловочник, баланс и т. д.) используют лишь для ориентировочного планирования сортиментного плана лесозаготовок, то есть рассчитывают возможность реализации сортиментного плана из предъявленного к заготовке лесосечного фонда.

### 6.1.6. Методы и модели для составления сортиментных таблиц

Основной частью сортиментных таблиц является та, на основе которой рассчитывают стоимость древесины. Для каждого диаметра дерева указаны их размеры (диаметр на высоте груди, высота, объем в коре и без коры). Далее объемы стволов разделены на деловую древесину, дрова и отходы. Объем деловой древесины, взятый без коры, в свою очередь поделен на классы крупности. Кора от деловой древесины показана как отходы. Объемы дровяных деревьев полностью отнесены к категории дров. Эти таблицы позволяют деревья тех или иных размеров оценить по выходу из них лесоматериалов разной толщины.

Разделение ствола на сортименты по производственному назначению (пиловочник, строительные бревна, рудничная стойка и т. д.) приводится во второй части сортиментных таблиц. Общий объем промышленных сортиментов должен быть равен объему деловой древесины в первой части таблиц.

Сортиментные таблицы строят на основе объемных таблиц и таблиц сбега. Из объемных таблиц соответственно размерам деревьев взяты объемы в коре и без коры. В сортиментных таблицах, построенных по разрядам высот, древостой делятся на разряды по высоте в зависимости от соотношения диаметров и высот в объемных таблицах. Это деление из объемных таблиц переносят в сортиментные таблицы.

Н. П. Анучин предложил находить толщину сортиментов, заготовленных из деревьев разных размеров, по таблицам сбега. Эти же таблицы послужили ему основой для определения объемов отдельных сортиментов, предусматриваемых материальной оценкой.

Описанная методика составления сортиментных таблиц, использованная Н. П. Анучиным, подверглась критике и улучшена Ф. П. Моисеенко, который верно заметил, что определение диаметров сортиментов по таблицам сбега для идеального ствола завышает выход сортиментов. Свои сортиментные таблицы ученый строил по данным фактической раскряжевки модельных деревьев. Это были не идеальные, а реальные стволы, имеющие неизбежные погрешности и дровяные откаты.

Наиболее полно методику сбора полевого материала для составления сортиментных таблиц разработали Ф. П. Моисеенко и А. Г. Мошкалев. В ее основе лежат пробные площади и результаты раскряжевки деревьев. Так, Ф. П. Моисеенко для построения сортиментных таблиц использовал 16 192 модельных дерева (552 пробные площади, из них 98 со сплошной раскряжевкой). По методике А. Г. Мошкалева для обеспечения 3–4 разрядов высот необходима закладка по каждой породе не менее 25–30 пробных площадей со срубкой 25 моделей для каждого лесотаксационного района.

По исследованиям В. Ф. Багинского Беларусь представляет собой единый лесотаксационный район, поэтому для нашей страны достаточно одних сортиментных таблиц. Для их составления необходимо заложить 50–60 пробных площадей и взять 600–750 моделей по каждой породе.

При сортиментации леса решаются три важные задачи:

- весь запас древесины соответственно своему качеству разделяется на деловую и дровяную части;

- деловая древесина в свою очередь распределяется по крупности на классы;
- соответственно размерам и качеству деловой древесины выявляются выходы отдельных сортиментов, имеющих в народном хозяйстве разное применение (рис. 6.1).

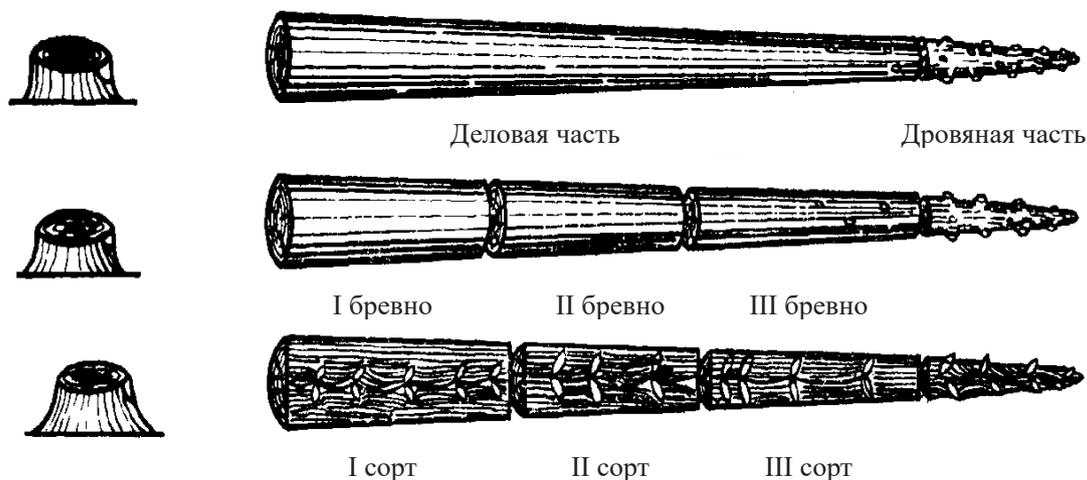


Рис. 6.1. Схема разделки ствола на сортименты

Первую из перечисленных задач решают на основе опытных данных. На разрабатываемых лесосеках производят массовые наблюдения, исходя из них, устанавливают для деревьев разных размеров и всего данного древостоя долю запаса, пригодного для заготовки деловой древесины, и долю запаса, идущего на дрова.

Решение второй задачи также несложно. Деревья разных размеров раскраивают на сортименты наиболее ходовой стандартной длины. От принятой стандартной длины сортимента зависит выход деловой древесины. Поэтому стандартную длину сортиментов устанавливают по анализу наличия наиболее ходовых сортиментов, используемых в регионе. Например, при составлении новых белорусских сортиментных таблиц принято предложение В. Ф. Багинского взять за стандартную длину пиловочника 4 м. Стандартная длина сортимента согласуется с заказчиком таблиц.

В таблицах Н. П. Анучина диаметры сортиментов в верхнем отрезе определены по таблицам сбега. Такой подход большинство ученых, особенно Ф. П. Моисеенко и А. Г. Мошкалев, считают ошибочным. Они определяли выход сортиментов по моделям с учетом неизбежных дровяных откатов, что правильно.

### 6.1.7. Установление длины деловой части ствола

Изучение изменчивости длины деловой древесины стволов по толщинам и высотам (по разрядам) и установление в соответствии с изменчивостью категорий деревьев – наиболее важные вопросы при составлении сортиментных таблиц. От правильного решения их зависит точность учета деловой древесины, простота и легкость применения самих таблиц. По исследованиям Ф. П. Моисеенко, здесь выявлены следующие закономерности.

1. Колебание длины деловой части спелых древостоев сосны по разрядам характеризуется коэффициентом изменчивости до 27 %. Это вызывает необходимость совместной таксации не менее 8 делянок для определения деловой древесины со средней точностью 10 %.

2. Для нахождения выхода деловой древесины на одной делянке со средней точностью 10 % необходима предварительная группировка деревьев на три категории по признаку длины деловой части из комлевой половины высоты дерева со следующими градациями: к первой категории, или деловым, относятся деревья, у которых длина деловой части составляет 6,5 м и больше. Ко второй категории, или полуделовым, относятся деревья с наличием длины

деловой древесины от 2 до 6,5 м. К третьей категории, или дровяным, относятся деревья, которые или вовсе не имеют деловой древесины, или же длина последней менее 2 м. Это деление предложил Ф. П. Моисеенко в 1937 г. В настоящее время в Беларуси деление деревьев по качественным категориям упростили, выделяя только деловые деревья и дровяные. Деловыми стволами считаются те, у которых длина деловой древесины составляет не менее 3 м в комлевой части ствола.

3. Степень сопряженности между абсолютной длиной деловой части (в м) и толщиной стволов по разрядам высот характеризуется коэффициентом корреляции 0,55–0,75 и корреляционным отношением 0,60–0,90.

4. Длина деловой части, выраженная в процентах от высоты ствола, не зависит от разряда высот древостоев, а в пределах последнего – также от толщины стволов. Теснота связи между указанными величинами, характеризуемая коэффициентами корреляции, весьма незначительна – 0,008–0,143.

5. Средние величины процента длины деловой части стволов для Беларуси, Украины и центральных районов России определены в размере 80 % по сосне и ели.

Наиболее сложной задачей при составлении сортиментных таблиц является выявление выхода отдельных сортиментов. Ее сложность объясняется тем, что деловые сортименты по своим размерам и качеству древесины частично или полностью взаимозаменяемы. Поэтому в любом стволе или древостое в целом имеется какая-то часть древесины, пригодная по своей толщине и качеству для заготовки не одного, а ряда сортиментов. Отсюда возникает вопрос, к какому виду сортиментов надлежит отнести ту или иную часть древесного запаса.

Этот вопрос может иметь два решения. Первое из них заключается в том, что древесный ствол или древостой в целом оценивают с точки зрения возможности заготовки одного определенного сортимента. Второе решение опирается на постоянные соотношения в заготовке нескольких сортиментов, имеющих в народном хозяйстве разное применение. Ниже рассматриваются оба эти решения.

При составлении сортиментных таблиц для отдельных разрядов и отдельных ступеней толщины берут высоту из соответствующих массовых (объемных) таблиц, от нее находят процент, приходящийся на деловую часть ствола, и по нему устанавливают длину деловой части ствола в метрах. Найденную длину деловой части ствола расчленивают на наиболее ходовые сортименты стандартной длины. Остатки деловой древесины протяжением меньше длины соответствующего ходового сортимента переводят в дрова или удлиняют деловую часть до размеров, кратных принятой длине основных сортиментов.

Для деревьев, относящихся к одному разряду высоты, путем их обмеров вычисляют по отдельным ступеням толщины среднеарифметическую длину деловой части данной ступени толщины. Среднеарифметическая длина деловой части должна быть найдена с точностью не меньше  $\pm 3\%$ . Точность определения ее зависит от числа наблюдений и изменчивости длины деловой части у отдельных стволов. Чем больше изменчивость в выходе деловой древесины из отдельных стволов (это обычно бывает у лиственных пород, например, у осины), тем больше требуется наблюдений.

Например, длина деловой части сосновых деревьев изменяется в пределах  $\pm 20\%$  от ее средней длины. Если среднеарифметическую длину деловой части определять с точностью  $\pm 3\%$ , то для нахождения ее надо срубить следующее число деревьев одной и той же высоты, относящихся к одной ступени толщины:  $n = 20^2 / 3^2 = 400 / 9 = 44$ .

При изучении закономерностей в строении насаждений было выяснено, что в однородных насаждениях больше всего встречается деревьев в средних ступенях толщины. Поэтому при сборе материала для составления сортиментных таблиц мы получим большее число наблюдений для средних размеров толщины, а для крайних ступеней толщины число их может быть недостаточным.

Известно, что длина деловой части зависит от общей длины ствола. Относительная длина деловой части, выраженная в процентах от длины ствола, в отдельных ступенях толщины оказывается почти одинаковой. Поэтому, установив с достаточной точностью относительную длину деловой части для основных ступеней толщины, можно принять ее и для остальных ступеней. Найденную длину деловой части ствола разделяют на отдельные сортименты стандартной длины.

При ведении лесозаготовок выполняют плановые и лесоэксплуатационные расчеты, которые определяют выход отдельных сортиментов: пиловочника, шпального и фанерного бревен, строительных бревен, балансов и т. д. Для расчетов, позволяющих найти выход названных сортиментов, недостаточно материальной оценки лесосек, дифференцирующей общий запас на дрова и деловую древесину с разделением ее на три класса крупности. В дополнение к этим показателям необходимо иметь данные, определяющие выход отдельных сортиментов, используемых в народном хозяйстве для разных целей.

Составление такого рода таблиц связано с большими трудностями. Они заключаются в том, что ряд сортиментов имеет одни и те же размеры. Требования, предъявляемые к качеству древесины, оказываются также весьма близкими между собой. В ряде случаев в нормах допусков пороков древесины имеется некоторая разница. Однако на разрабатываемых деревьях данных пороков, имеющих разницу в допусках, может не оказаться. В связи с этим та или иная часть ствола в равной мере пригодна для заготовки нескольких сортиментов. Соответственно такому положению ствол одного и того же дерева можно раскряжевать на сортименты разного применения в народном хозяйстве в зависимости от имеющейся потребности в последних.

Если в данный момент выявилась необходимость в пиловочном сырье, то заготовленное бревно длиной 6,5 м и толщиной 16 см или другого размера принимается как пиловочник.

Для заготовки пиловочника, распиливаемого на доски и бруски разного назначения, более пригодными оказываются комлевые бревна, имеющие меньшее число сучков. Из таких бревен получают доски более высокого качества. В пиловочном сырье допустима гниль, но ограниченных размеров. В процессе распиловки таких бревен гниль окажется в отходе. На балансы пригодна древесина разной толщины. Однако предпочтительней использовать части стволов с лучшей очисткой от сучьев.

Приведенный краткий анализ требований, предъявляемых к отдельным сортиментам, позволяет заключить, что в соответствии с размерными и качественными различиями деловая древесина при рациональном ее использовании подлежит разделению на отдельные сортименты. Из отдельных частей ствола целесообразно заготавливать сортименты разного хозяйственного назначения. Однако наличие частичного совпадения в размерах и качестве отдельных сортиментов лишает возможности составить сортиментные таблицы, однозначно показывающие выход отдельных сортиментов.

В зависимости от потребности народного хозяйства та или иная часть древесного запаса, отнесенного в сортиментных таблицах к одному сортименту, в действительности будет использована на выработку других сортиментов. Например, выход фанерных бревен возможно увеличить за счет пиловочника. При недостатке сырья для целлюлозно-бумажной промышленности довольно часто возникает необходимость ту или иную часть пиловочника перевести в балансы, используемые на бумажную продукцию высших сортов. Такое часто случается в лесосырьевых базах ЦБК в России, Швеции и Финляндии.

Таким образом, показатели сортиментных таблиц нельзя рассматривать как неизменные нормативы, предопределяющие единственно возможное соотношение объемов, подлежащих заготовке лесопромышленных сортиментов.

Задача по разделению деловой древесины на сортименты при составлении сортиментных таблиц Н. П. Анучином и Ф. П. Моисеенко решалась следующим образом. В сортиментные таблицы включены лишь главнейшие сортименты, заготавливаемые в значительном объеме.

Все они в зависимости от их размера и качества при составлении сортиментных таблиц расположены в два последовательных ряда: размерный и качественный.

Для хвойных пород размерный ряд оказался следующим: 1) пиловочник, 2) шпальник, 3) строительные бревна, 4) балансы, 5) тарник.

Соответственно требованиям, предъявляемым к качеству древесины, главнейшие сортименты распределяются в следующем порядке: 1) пиловочник, 2) балансы, 3) строительные бревна, 4) шпальник, 5) тарник.

Сам процесс деления ствола на сортименты ведется от нижнего конца (комля) в направлении к вершине. Из нижней, комлевой, части ствола прежде всего стремятся выработать более крупное пиловочное бревно, при этом как можно лучшего качества. Если нижняя часть ствола имеет те или иные пороки древесины (кривизну, гниль и др.), из нее заготавливают укороченный сортимент, например, шпальник, строительные бревна или балансы. Вершинные части стволов и тонкие деревья чаще всего разрабатывают на балансы.

Главнейшим пороком, определяющим качество хвойной древесины, являются сучки. В отличие от внутренних пороков (гнилей, трещин и др.), их можно видеть на боковой поверхности растущих деревьев. При качественной оценке отдельных частей ствола толщина сучков и их характеристика (здоровые, табачные и т. д.) является основным критерием для суждения о сорте заготавливаемых материалов.

Сортиментные таблицы необходимо составлять с таким расчетом, чтобы из спелых древостоев, поступающих в ежегодную рубку, были получены все нужные народному хозяйству сортименты. При этом их выход должен быть близким к требуемому народным хозяйством соотношению отдельных сортиментов. Вместе с этим части стволов, проектируемые для заготовки того или иного из названных сортиментов, по толщине и качеству древесины должны соответствовать требованиям, предъявляемым государственными стандартами к этим сортиментам.

В настоящее время для составления сортиментных таблиц и для пользования ими применяют математическое моделирование. Выход сортиментов в зависимости от породы и размера дерева выражают в виде уравнений.

Пример математических моделей сортиментных таблиц, разработанных Н. Т. Воиновым, приведен на рисунке 6.2 (коэффициент выхода сортиментов ( $K$ ) указан в относительных величинах. Абсолютные значения выхода сортиментов определяются умножением объемов стволов на относительные значения выхода сортиментов, полученных по математической модели сортиментных таблиц.

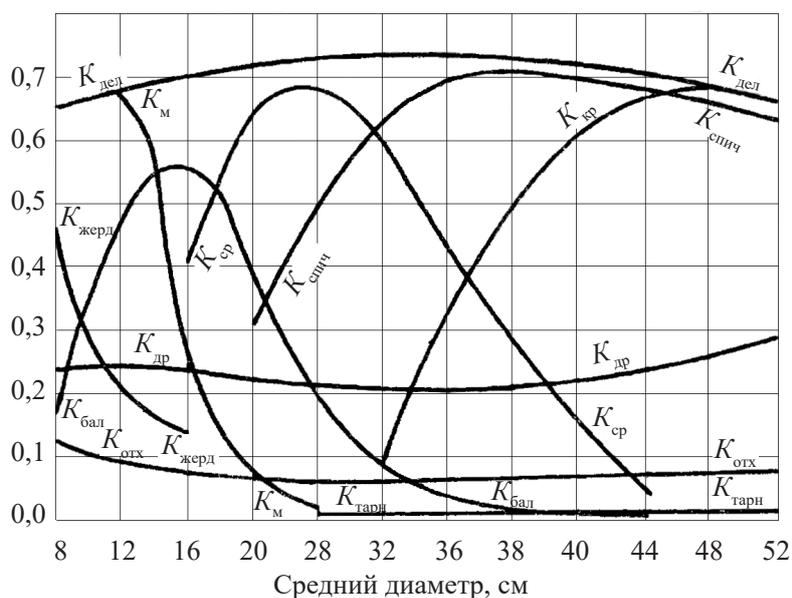


Рис. 6.2. Математическая модель сортиментных таблиц осины

Лесохозяйственная сортиментация:

$$K_{\text{дел}} = 0,59065 + 0,0083079D - 0,00013773D^2;$$

$$K_{\text{кр}} = -2,43864 + 0,12709D - 0,0012875D^2 \text{ при } 26 < D < 46;$$

$$K_{\text{кр}} = K_{\text{дел}} \text{ при } D \geq 46;$$

$$K_{\text{ср}} = K_{\text{дел}} - K_{\text{м}} \text{ при } 16 \leq D \leq 26;$$

$$K_{\text{ср}} = K_{\text{дел}} - K_{\text{кр}} \text{ при } 26 < D \leq 44;$$

$$K_{\text{м}} = 103,213885e^{-0,36970D} + 0,015536 \text{ при } 14 < D < 26;$$

$$K_{\text{м}} = K_{\text{дел}} \text{ при } D \leq 14;$$

$$K_{\text{др}} = 1 - (K_{\text{дел}} + K_{\text{отх}});$$

$$K_{\text{отх}} = 13,45675D^{-2,85022} + 0,07198.$$

Лесопромышленная сортиментация:

$$K_{\text{тарника}} = 0,0005D - 0,01 \text{ при } D \geq 24;$$

$$K_{\text{баланса}} = 0,61 \cdot 10^{-B} \cdot D^{8,01277} e^{-0,53116D}$$

$$K_{\text{спич. кр}} = K_{\text{дел}} - (K_{\text{тарника}} + K_{\text{баланса}}) \text{ при } D \geq 18;$$

$$K_{\text{жерди}} = K_{\text{дел}} - K_{\text{баланса}} \text{ при } D \leq 16.$$

Вид сортиментных таблиц Ф. П. Моисеенко показан в таблице 6.8. Для примера взята выдержка из сортиментных таблиц для ольхи черной II разряда высот.

Таблица 6.8

Выдержка из сортиментных таблиц Ф. П. Моисеенко

Диаметр на 1,3 м, см	Высота, м	Объем ствола в коре, м <sup>3</sup>	Выход сортиментов, м <sup>3</sup>										
			лесохозяйственные							лесопромышленные (из деловой древесины)			
			Крупная	Средняя	Мелкая	Итого деловой	Дрова	Отходы	Всего	Фанерный кряж	Пиловочник	Тарник	Стройлес
32	24,9	0,93	0,37	0,31	0,02	0,70	0,08	0,15	0,93	0,62	0,05	0,01	0,02
36	25,2	1,19	0,65	0,23	0,01	0,89	0,11	0,19	1,19	0,81	0,04	0,02	0,02

В Беларуси в 2014 г. приняты новые сортиментные таблицы. Методика этих таблиц разработана В. Ф. Багинским. Она включает следующие положения.

1. Сбор экспериментального материала проводился путем закладки пробных площадей с рубкой и обмером на них 25–50 модельных деревьев.

2. Делали обмер моделей длиной по 1–2 м на середине диаметров отрезков.

3. По длине ствола (на каждом метре) подробно описывали пороки древесины. Это позволяет вырезать сортименты и устанавливать их сортность в процессе компьютерной обработки. Выделение конкретных сортиментов непосредственно в лесу дает возможность сделать сортиментацию по существующим стандартам. Но они постоянно меняются. В случае наличия модельных деревьев, где описаны пороки по стволу, учесть изменения стандартов и изменить сортиментные таблицы труда не составит – достаточно поменять справочник стандартов в компьютерной программе. Новый полевой материал собирать не придется.

4. При составлении сортиментных таблиц очень важен принятый размер сортимента по длине. Например, если возьмем длину пиловочника в 5 м и в 6,5 м, то в первом случае выход пиловочника по таблицам будет больше. Стандартную длину каждого сортимента берут, анализируя фактическую заготовку в разрезе длин сортиментов. В новых сортиментных таблицах для лесов Беларуси эту стандартную длину утвердил Минлесхоз, согласовав с концерном «Беллессоюзпром». Например, для пиловочника и строительных бревен принята стандартная длина сортимента 4 м, для дров топливных – 0,5 м и т. д.

5. Выделение лесопромышленных сортиментов осложняется их взаимозаменяемостью. Для оптимизации выделения сортиментов принят следующий алгоритм:

- первоначально выделяют самые ценные (крупные и высококачественные) сортименты;
- после завершения их выделения вырезают менее ценные и т. д.;
- завершается процесс определением объема дров и отходов.

Приоритетность выделения сортиментов зависит от их ценности и востребованности на рынке. Ее определяют по анализу продаж древесины и согласовывают с Минлесхозом. Например, для твердолиственных пород приняты следующие приоритеты в порядке убывания: фанерное бревно для строгания, клепочное бревно, фанерное бревно для лущения, пиловочник, подтоварник, дрова топливные.

При необходимости заготовить менее ценные сортименты в большем объеме, чем их выход дан в таблицах, мы можем это сделать за счет более толстых бревен, определив тем самым предел заготовки сортимента, например, твердолиственного пиловочника.

6. В сортиментные таблицы невозможно поместить все сортименты, учитываемые в стандартах, из-за их многочисленности. Поэтому в этих таблицах приведены только те из сортиментов, которые имеют процентную долю в общей заготовке древесины не менее 0,5 %. В Беларуси процент участия отдельных сортиментов в общем объеме лесозаготовок по главному пользованию составляет следующие величины: пиловочник – 42–44 %, шпальник – 3–4 %, фанерное бревно – 16–18 %, спичечное бревно – 1–2 %, баланс – 25–30 %, подтоварник – около 1 %, тарник – 3–4 %, доля остальных колеблется в пределах 0,1–0,2 % и менее.

В разные годы в зависимости от спроса доля в заготовке отдельных сортиментов изменяется, но общая картина в основном характеризуется приведенными цифрами. Основными заготавливаемыми у нас сортиментами являются пиловочник, фанерное сырье, баланс, тарник. Доля шпальника постепенно уменьшается из-за отказа от деревянных шпал.

Действующие с 2015 г. в Беларуси сортиментные таблицы разработаны по упрощенному варианту, то есть с учетом только лесохозяйственных сортиментов.

Порядок применения сортиментных таблиц сравнительно прост. Имея данные перечета деревьев по ступеням толщины на лесосеке и данные замеров высот, составляют специальную ведомость. Проведение этих работ будет рассмотрено ниже при описании методов отвода и таксации лесосек. Если используют разрядные таблицы, то по соотношению замеренных диаметров и высот устанавливают разряд по специальной таблице разрядов высот. Соответствующие таблицы разрядов высот по каждой породе приложены ко всем сортиментным таблицам. Затем для каждого диаметра и соответствующего разряда высот (по породам) берут данные о выходе деловой древесины по крупности дров и объемы промышленных сортиментов. Ранее, когда оценка делалась вручную, сортиментные таблицы давали выход названных показателей для 1, 2, 9 стволов. Это делалось для облегчения счета. В настоящее время такой надобности нет. Ручной счет сегодня полностью заменен автоматизированным. Материально-денежная оценка лесосек выполняется на компьютерах по специальным программам.

## **6.2. Товарные таблицы и таблицы динамики товарности**

### **6.2.1. Товарные таблицы**

Товарные таблицы содержат учетные данные о сортиментном составе для совокупности древостоев. Эти величины приведены в процентах от общего запаса древостоев в зависимости от породы, среднего диаметра, высоты и качественного состояния насаждений, определяемого классами товарности.

Число классов товарности различно. Наиболее распространенными являются таблицы с тремя классами товарности. Они характеризуют три качественных состояния древостоя: лучший, средний и худший. В связи с тем, что спелые мягколиственные древостои, особенно осина, могут иметь очень низкий выход деловой древесины, в Беларуси для этой категории древостоев введен 4-й класс товарности.

Классы товарности устанавливаются по проценту выхода деловой древесины. Делает это таксатор в полевых условиях. Глазомерное нахождение процента выхода деловой древесины затруднено. Поэтому в натуре таксатор обычно ориентируется на процент деловых деревьев в древостое, руководствуясь специальной таблицей, приведенной ранее (таблица 4.3).

До 70-х гг. прошлого века считалось, что на процент выхода сортиментов влияет только средний диаметр и класс товарности. А. Г. Мошкалев доказал, что имеет значение и высота. Составленные В. Ф. Багинским и А. Г. Костенко товарные таблицы для Беларуси учитывают этот показатель.

Разработка товарных таблиц возможна двумя способами. Первый – закладка пробных площадей и взятие моделей или сплошная раскряжка деревьев на лесосеке. Эти способы трудоемки. При наличии надежных сортиментных таблиц можно изучить только строение древостоев, и на его основе развернуть сортиментные таблицы в товарные. Здесь надо знать количество деревьев в каждой ступени толщины в зависимости от среднего диаметра и разряд высот, то есть составить своеобразную пересчетную ведомость. Затем по сортиментным таблицам определить выход сортиментов для каждой ступени в процентах и свести все воедино. Образец товарных таблиц приведен в таблице 6.9.

Таблица 6.9

Товарная таблица для древостоев сосны

Д, см	Н, м	Деловая, %				Дрова, %	Ликвид, %	Отходы, %
		Крупная	Средняя	Мелкая	Итого			
<b>I класс товарности</b>								
16	13	–	30	51	81	8	89	11
	17	–	35	46	81	8	89	11
	21	–	47	35	82	7	89	11
20	15	5	51	26	82	7	89	11
	20	5	55	23	83	6	89	11
	25	5	60	19	84	5	89	11
24	17	15	55	14	84	4	88	12
	22	15	57	12	84	4	88	12
	27	15	58	11	84	4	88	12
28	18	29	48	7	84	4	88	12
	23	30	48	6	84	4	88	12
	29	30	48	6	84	4	88	12
32	19	42	39	4	85	3	88	12
	24	44	38	3	85	3	88	12
	30	45	37	3	85	3	88	12
36	19	48	34	3	85	3	88	12
	25	54	29	2	85	3	88	12
	32	56	28	1	85	3	88	12
40	19	54	30	2	86	3	89	11
	26	62	23	1	86	3	89	11
	33	65	21	1	87	2	89	11

Товарными таблицами пользуются лесоустроители при товаризации эксплуатационного фонда. К эксплуатационному фонду относятся перестойные, спелые и приспевающие древостои.

Товаризация эксплуатационного фонда производится по товарным таблицам. Исходными данными для товаризации являются итоги распределения эксплуатационного фонда по составляющим породам с разделением части их по группам высот и классам товарности. Для получения входов в товарные таблицы (класса товарности, средней высоты и среднего диаметра) по таксационным описаниям для каждой составляющей породы по группам *H* и *D* определяется средняя высота и средний диаметр. Итоги товаризации по указанным группам переводятся в проценты, и по ним осуществляется товаризация всего эксплуатационного фонда.

Необходимо четко знать отличия сортиментных и товарных таблиц. Оба вида таблиц применяются для совокупности первичных единиц учета. Это позволяет минимизировать случайные ошибки, которые уменьшаются обратно пропорционально корню квадратному из числа первичных единиц учета. Для сортиментных таблиц первичная единица учета – это дерево, а их совокупность – лесосека.

Для товарных таблиц первичная единица учета – выдел. Точность товаризации одного выдела в этом случае невысока. Она зависит от точности определения запаса и соответствия строения древостоя той модели, которая заложена в товарных таблицах. По общему запасу и деловой древесины точность учета здесь может составить в Беларуси от 10 до 15 %, а в многолесных районах России до 20–30 %. По отдельным показателям крупности ошибки для одной лесосеки могут достигать 30–50 %. Таким образом, для таксации лесосек товарные таблицы использовать нельзя.

В России товарные таблицы иногда применяют для таксации лесосек в лесах Сибири и Дальнего Востока, где требования к точности таксации одной лесосеки невелики. Учет там ведут по совокупности лесосек отдельных, очень крупных лесхозов.

Товарные таблицы требуются, чтобы определить выход лесохозяйственных, а иногда и лесопромышленных сортиментов для лесничества, лесхоза, области. При среднем количестве выделов в лесхозе по породам (в Беларуси – С, Е, Д, Гр, Б, Ол.ч.) от 5000 до 20 000 (в лесничестве 700–1 200) точность оценки общего запаса составит не менее 1–2 %, что вполне устраивает практику.

### 6.2.2. Таблицы динамики товарности

Ф. П. Моисеенко для прогнозных расчетов, а иногда и взамен товарных таблиц разработал таблицы динамики товарности. Сейчас они широко распространены в разных странах. Их суть состоит в том, что при одинаковых  $D_{cp}$ , но в разном возрасте товарность древостоев разная. В таблицах динамики товарности дан выход сортиментов в зависимости от породы, возраста и класса бонитета.

Таблицы динамики товарности являются продолжением таблиц хода роста в части товарной структуры древостоя. Таблицы хода роста будут описаны ниже. Средние диаметры и высоты для установления динамики товарности берут для соответствующих древесных пород, возрастов, классов бонитета или типов леса в таблицах хода роста.

Таблицы динамики товарности широко используются для прогноза товарной структуры лесхоза, области, страны на длительную перспективу. Например, они были применены при разработке Стратегического плана развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 1997–2015 гг. и на 2016–2030 гг.

## 6.3. Отвод и таксация лесосек

### 6.3.1. Отвод лесосек

Отвод и таксация лесосек является одной из важнейших работ, выполняемых специалистами лесного хозяйства. Эта работа дает материал для начисления попенной платы за лес на корню, которая по замыслу должна окупать затраты на ведение лесного хозяйства. Ранее мы рассматривали отдельные элементы этой работы. Но отвод и таксация лесосек настолько значимая тема, знание и умение делать эту работу столь важны, что изложение этого вопроса сделаем достаточно подробно.

Таксация лесосек всегда регулировалась и регулируется специальными наставлениями. В настоящее время эта работа проводится в соответствии с ТКП 622-2018. При этом учитываются и положения, имеющиеся в «Правилах рубок леса в лесах Республики Беларусь», которые утверждены приказом Минлесхоза от 26.12.2016 г., № 84.

При проведении работы по отводу и таксации лесосек применяют разные методы учета и используют следующие термины.

**Выдел** (таксационный участок) – первичная учетная единица, отличающаяся по таксационной характеристике от соседних участков леса. В делянке может быть один или несколько выделов.

**Лесосека** – участок лесного фонда, предоставленный для проведения рубок главного пользования, рубок промежуточного пользования, прочих рубок.

**Делянка** – часть лесосеки, ограниченная в натуре визирами и деляночными столбами, для которой производится общая материально-денежная оценка и выписывается лесорубочный билет.

Правилами по отводу и таксации лесосек предусмотрено разделение лесосек на делянки в следующих случаях:

- а) если отпуск древесины из одной лесосеки производится разным лесозаготовителем;
- б) если на отдельных частях лесосеки применяются разные методы таксации;
- в) при наличии в отдельных частях лесосеки участков с жизнеспособным подростом и молодняком в количествах, предусмотренных действующими правилами рубок и Инструкцией по сохранению подроста и молодняка хозяйственно ценных пород.

Порядковая нумерация делянок в пределах каждого квартала производится отдельно по видам пользования и годам рубки.

Если площади отдельных участков с различными древостоями незначительны по величине, в связи с чем разбивка отведенной лесосеки на делянки нецелесообразна, то в целях повышения точности таксации производится выделение таксационных участков (выделов). При необходимости таксационные участки выделяются и в делянках.

Такие участки выделяются:

- а) если в разных частях лесосеки (делянки) разряды высот одной или нескольких пород, представленных не менее чем двумя единицами состава, различаются на один разряд и более;
- б) при разнице в таксационной характеристике отдельных частей лесосеки (делянки): по запасу – более 15 %, составу – более 2 единиц, классу товарности – на один класс и более.

Минимальная площадь таксационного участка устанавливается 1 га при площади лесосеки (делянки) до 10 га и 2 га – при большей площади лесосеки (делянки).

В эксплуатационную площадь лесосек, отведенных для сплошнолесосечной рубки, не включаются:

- а) нелесные и не покрытые лесом участки, независимо от их величины;
- б) семенные группы деревьев, которые выделяются в соответствии с правилами рубок при отводе лесосек в увязке с технологическими картами разработки лесосек;

в) участки молодняка площадью более 0,1 га среди спелых древостоев;

г) средневозрастные насаждения, представляющие собой компактные участки площадью свыше 0,5 га среди спелого леса.

Указанные в подпунктах б), в) и г) участки отграничиваются в натуре визирами с постановкой столбов высотой 0,7 м и диаметром 8–10 см, на которых делается надпись «НЭ» (неэксплуатационная). Площадь неэксплуатационного участка определяется промерами.

*Основное содержание работ по отводу и таксации лесосек сводится к следующему:*

- подбору, отграничению и оформлению в натуре и на планово-картографических материалах участков леса (древостоев), на которых будут производиться отпуск древесины, подсочка леса или других лесных материалов. Этот этап работы называется отводом лесосек.

- материально-денежной оценке лесосек с получением по породам данных об общем запасе и запасе деловой древесины по категориям крупности (сортиментам), выходе сырья для технологической переработки, дров, отходов и их стоимости.

Правила по отводу и таксации лесосек предусматривают следующий порядок отвода, описанный ниже.

Отвод лесосек заключается в отграничении участков леса в натуре для проведения:

а) рубок главного пользования;

б) рубок ухода за лесом, кроме отдельных описанных ниже случаев;

в) сплошных санитарных рубок;

г) прочих рубок в случаях, когда это необходимо для удобства таксации и производства рубки леса.

Отвод лесосек не производится:

а) при уборке семенников и групп семенных деревьев, выполнивших свое назначение, рубке единичных деревьев;

б) при рубках ухода за лесом на участках с ясно выраженными в натуре границами;

в) при выборочных санитарных рубках;

г) при разрубке просек и иных трасс шириной менее 10 м, рубке отдельных деревьев на участках, отведенных под строения и сооружения, а также при расчистке сенокосов и участков, предназначенных для создания лесных культур, границы которых определены при отводе этих участков;

д) при разработке горельников, буреломов, ветровалов, снеговалов и снеголомов при площади участка свыше 25 га;

е) при рубке опасных деревьев вдоль границ за пределами лесосек, угрожающими падением на лесосеку.

Отвод участков для передачи насаждений в подсочку производится в соответствии с Правилами подсочки и заготовки второстепенных лесных материалов в лесах Республики Беларусь. Натурное оформление указанных участков производится в порядке, установленном Правилами по отводу и таксации лесосек.

Отграничение участков для заготовки второстепенных лесных материалов, как правило, не производится.

Отвод и таксация лесосек проводится для подготовки материалов для отпуска (реализации леса).

Отпуск древесины производится в порядке проведения:

а) рубок главного пользования;

б) рубок промежуточного пользования: рубки ухода за лесом, выборочных санитарных рубок и рубок, связанных с реконструкцией малоценных насаждений;

в) прочих рубок: разрубки и расчистки земель в связи со строительством линий связи и электропередачи, трубопроводов дорог, а также при прокладке просек, создания противопожарных разрывов и т. д.

Работы по подготовке лесосечного фонда, древостоев для передачи в подсочку и участков для заготовки второстепенных лесных материалов заключаются в следующем:

- в подборе и оформлении в натуре участков, на которых будет производиться отпуск древесины, подсочка древостоев, заготовка второстепенных лесных материалов;
- в определении количества и денежной оценке древесины, живицы и второстепенных лесных материалов, назначенных к отпуску.

Отвод и таксация лесосек производятся обычно мастером леса или помощником лесничего вместе с лесниками. Контроль за этой работой, а иногда и ее непосредственное проведение осуществляет лесничий. Общее руководство отводами лежит на лесничем и помощнике лесничего. По договору с лесхозом отводы и таксацию лесосек могут выполнять лесостроители. Контроль за выполнением этих работ осуществляется специалистами лесхозов, органов лесного хозяйства областей и республики.

Работы по отграничению лесосек включают:

- а) прорубку визиров, за исключением сторон, отграниченных квартальными и граничными просеками, таксационными визирами и не покрытыми лесом землями;
- б) постановку столбов на углах лесосек;
- в) отграничение неэксплуатационных участков в пределах лесосек;
- г) промер линий, измерение углов между ними, а также геодезическую привязку к квартальным и граничным просекам, таксационным визирам или другим постоянным ориентирам.

Лесосеки отводятся, как правило, прямоугольной формы. Таксационные выделы любой конфигурации отводятся в рубку полностью, если площадь их не превышает размеры лесосек, установленные действующими правилами рубок.

На визирах лесосек, отводимых под сплошнолесосечные рубки, срубаются с валкой в сторону лесосеки все деревья тоньше 16 см (более крупные деревья визирами обходятся). Вдоль визиров на деревьях, прилегающих со стороны лесосеки, делаются затески без нарушения камбиального слоя коры.

На визирах лесосек постепенных и выборочных рубок, а также для рубок ухода за лесом, деревья, как правило, не срубаются и визиры расчищаются за счет обрубки сучьев и веток, а также рубки кустарников.

Ответственность за соблюдением «Правил по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь» возлагается в лесхозе на директора и главного лесничего, в лесничестве – на лесничего.

### 6.3.2. Виды учета

При отпуске древесины применяются разные методы (виды) ее учета. В зависимости от способов рубок учет древесины, отпускаемой на корню, используют следующие виды учета:

- по площади;
- по числу деревьев, назначенных в рубку (по пням);
- по количеству заготовленных лесоматериалов.

Учет *по площади* применяется при проведении всех видов сплошных рубок.

Учет *по числу* деревьев, назначаемых в рубку, применяется при проведении:

- постепенных и выборочных рубок;
- рубок обновления и переформирования;
- проходных рубок.

Учет *по количеству заготавливаемой древесины* применяется при проведении:

- осветлений, прочисток и прореживаний;
- проходных рубок, проводимых с использованием многооперационных машин, а также проводимых в чистых сосновых насаждениях;

- прочих рубок: разработки горельников, валежника, захламленности, бурелома, ветровала и снеголома; расчистки квартальных просек и других трасс;
- при заготовке неликвида на любых видах рубок;
- при рубке семенных групп деревьев, семенников и единичных деревьев.

Учет по количеству заготовленных материалов производится, если предварительно не представляется возможным определить запас подлежащей вырубке древесины.

При учете отпускаемой древесины на корню по количеству в лесорубочных билетах предварительно указывается примерное количество намечаемой к заготовке древесины по данным пробных площадей или материалам глазомерной таксации. В последующем количество заготовленной древесины уточняется обмером.

При мелком отпуске древесины, при разработке валежа, сухостоя, бурелома, ветровала отпуск древесины может производиться с указанием в лесорубочных билетах точного количества подлежащих заготовке лесоматериалов. В этом случае заготовитель не имеет права заготовить более указанного в лесорубочном билете количества лесоматериалов.

Отпуск второстепенных лесных материалов производится, как правило, с учетом по количеству. Количество добытой живицы, еловой серки и древесных соков устанавливается по бухгалтерским данным заготовителя.

Определение фактического размера заготовки по бухгалтерским данным разрешается также при значительных отпусках пней, луба, коры, бересты и продукции побочных лесных пользования.

При отпуске лесных материалов применяются следующие единицы измерения:

- а) плотные кубические метры ( $m^3$ ) – для древесины;
- б) складочные кубические метры (скл.  $m^3$ ) – для пней, порубочных остатков, хвороста;
- в) тонны (т) – для живицы, серки, древесных соков, коры, луба, бересты, а также капа ценных пород;
- г) штуки (шт.) – для мелких сортиментов из тонкомера и хвороста, а также новогодних елок.

Органы лесного хозяйства областей в зависимости от местных условий и особенностей отпуска могут устанавливать способы учета, не указанные в «Правилах...», при условии обеспечения требуемой точности.

### 6.3.3. Составление планов отвода лесосечного фонда

Отвод лесосек производится, как правило, в весенне-летний период за 1 год до рубки, а по санитарным и прочим рубкам – по фактической необходимости.

Перед началом работ по отводу лесосек лесхозами проводятся следующие подготовительные работы:

а) уточняются лесоустроительные материалы: ведомости рубок главного пользования, рубок ухода за лесом, санитарных рубок, уборки единичных деревьев, очистки леса от захламленности, реконструкции малоценных насаждений, древостоев, находящихся в подсочке и проектируемых к отводу в подсочку; данные учета лесов и другие документы;

б) устанавливается объем работ на основе материалов лесоустройства и выявляются насаждения, подлежащие первоочередному включению в лесосечный фонд: перестойные и поврежденные насаждения, в которых требуются рубки по состоянию, недорубы и не начатые рубкой лесосеки прошлых лет, древостои, вышедшие из подсочки, а также насаждения, произрастающие на землях, подлежащих расчистке в связи с передачей их для использования в других целях;

в) составляется план отвода лесосечного фонда в разрезе лесничеств по разделам: главное пользование (по группам лесов и по породам), рубки ухода за лесом (по видам), выборочные санитарные рубки, прочие рубки (по видам) – по форме таблицы 6.10.

## План отвода лесосек на 2024 год по ... лесничеству ... лесхоза

Группа лесов	Номер квартала	Номер выдела	Преобладающая порода	Способ рубки	Подлежит отводу			Наименование лесозаготовителя, для которого отводится лесосечный фонд
					Площадь, га	Запас		
						общий, м <sup>3</sup>	в том числе ликвид, м <sup>3</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

План отвода составляется лесничими на основе материалов лесоустройства в соответствии с правилами рубок и другими инструкциями, правилами и наставлениями по ведению лесного хозяйства и после утверждения его директором или главным лесничим лесхоза вручается лесничим для выполнения.

### 6.3.4. Проведение отвода лесосек

Правила по отводу и таксации лесосек предусматривают следующий порядок отвода.

Отвод лесосек заключается в отграничении участков леса в натуре для проведения:

- а) рубок главного пользования;
- б) рубок ухода за лесом, кроме отдельных описанных ниже случаев;
- в) сплошных санитарных рубок;
- г) прочих рубок в случаях, когда это необходимо для удобства таксации и производства рубки леса.

Отвод лесосек не производится:

- а) при уборке семенников и групп семенных деревьев, выполнивших свое назначение, рубке единичных деревьев;
- б) при рубках ухода за лесом на участках с ясно выраженными в натуре границами;
- в) при выборочных санитарных рубках;
- г) при разрубке просек и иных трасс шириной менее 10 метров, рубке отдельных деревьев на участках, отведенных под строения и сооружения, а также при расчистке сенокосов и участков, предназначенных для создания лесных культур, границы которых определены при отводе этих участков;
- д) при разработке горельников, буреломов, ветровалов, снеговалов и снеголомов при площади участка свыше 25 га;
- е) при рубке опасных деревьев вдоль границ за пределами лесосек, угрожающими падением на лесосеку.

Отвод участков для передачи насаждений в подсочку производится в соответствии с Правилами подсочки и заготовки второстепенных лесных материалов в лесах Республики Беларусь. Натурное оформление указанных участков производится в порядке, установленном Правилами по отводу и таксации лесосек.

Отграничение участков для заготовки второстепенных лесных материалов, как правило, не производится.

Перед началом отвода лесосек все лица, привлекаемые к этой работе, должны быть проинструктированы специалистами лесхоза и лесничими по технике отвода и таксации лесосек, а также по технике безопасности.

Намечаемые к отводу участки леса предварительно обследуются в натуре и если при этом будут выявлены существенные расхождения с данными лесоустройства, в результате чего насаждения не могут быть отведены в рубку или для осуществления другого вида лесных пользований, то взамен их отводятся другие. Одновременно составляется акт об обнаруженных

расхождений с материалами лесоустройства. Акт несоответствия участка составляется при расхождении с данными лесоустройства по запасу – более 20 %, по составу более двух единиц, по классу товарности или разряду высот на два и более классов товарности или разрядов.

После проведения всех подготовительных работ осуществляется отвод лесосек. Его обычно выполняет мастер леса или помощник лесничего, хотя нередко случаи, когда отводом занимается и лесничий.

Отвод лесосеки заключается в ее выделении и отграничении в натуре. Для этого находят выдел (или группу выделов), подлежащих отводу, то есть определяют в натуре лесосеку. Затем ее отграничивают четкими визирами шириной не менее 0,5 м. На деревьях около визира подрумянивают кору, чтобы при перечете не выйти за границы визира. Вешки при визировании целесообразно ставить недалеко, чтобы были ясно видны. Для удобства на них прикрепляют бумагу (обычно газету), что позволяет их хорошо видеть. Затески коры надо делать, чтобы их было видно изнутри лесосеки (рис. 6.3).

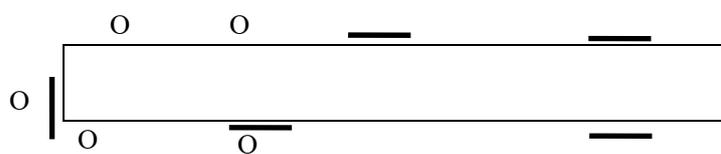


Рис. 6.3. Место затесок на деревьях за границами лесосеки:  
 – место затески на деревьях за границами лесосеки

Геодезическая съемка делается буссолью или гониометром или другими приборами, обеспечивающими достаточную точность. В настоящее время в отдельных лесхозах ее выполняют с помощью GPS-навигаторов. Правила проведения съемки изучаются в курсе геодезии. Учитывая важность этой работы, повторим основные положения буссольной съемки. Перед началом отвода готовится полевой журнал съемки участка по форме таблицы 6.11. Его заполняют в процессе съемки.

Таблица 6.11

Полевой журнал съемки лесосек

№ точек стояния	Угол, в градусах и минутах	Длина линий, м
1	88° 30'	67
2	95° 20'	84
3	76° 40'	71
4	99° 30'	62
Итого	360° 00'	

Порядок проведения съемки участка по данным приведенного полевого журнала поясним на рисунке 6.4.

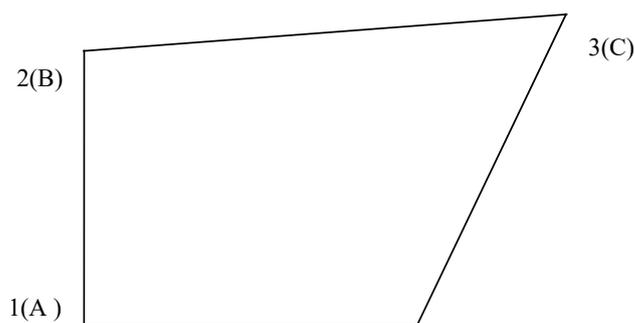


Рис. 6.4. Чертеж лесосеки

Проведение съемки осуществляется следующим образом:

1) прийти на первую точку стояния. На чертеже (рис. 6.4) это соответствует точке № 1 (точка *A*);

2) установить отсчет на буссоли на «0»;

3) визировать на точку № 2 (точка *B*). При этом необходимо, чтобы участок располагался справа от наблюдателя. При визировании на точку № 2 (*B*) отсчет на буссоли – 0°;

4) визировать на точку № 4 (точка *D*). Взять на буссоли отсчет – угол *DAB* (в нашем примере 88°30') и записать это значение в полевом журнале против точки № 1. Перейти на точку № 2. Визир буссоли с показанием «0» направить на точку № 3 (*C*), а затем на точку № 1 (*A*). Получится угол *ABC*, записать его в журнал против точки стояния 2 и т. д.

Замер линий проводится одновременно со съемкой. Для этого используются мерные ленты (обычно они длиной 20 м) или рулетки (50 м). Металлические 20 м мерные ленты менее удобны – они тяжелы, часто ломаются. Наиболее подходящий инструмент для замеров 50 м рулетка из синтетических материалов.

При проведении замеров мерщик, идущий впереди, держит в руках пять тонких палочек длиной около 0,5–0,7 м. Отойдя на расстояние длины ленты или рулетки и натянув последнюю, палочку втыкают в землю. Для лучшей видимости целесообразно верхний конец палочки окорить. Мерщик, идущий сзади, подойдя к палочке, забирает ее.

В конце измерения линии подсчитывается ее длина, которая равна  $ln + k$ , где  $l$  – длина мерной ленты или рулетки,  $n$  – число палочек в руке заднего мерщика,  $k$  – длина от последнего пункта измерения (последней палочки) до соответствующей вешки. Если комплект палочек (5 шт.) израсходован, то есть все палочки оказались у заднего мерщика, то они снова передаются переднему, а общая учтенная длина отмечается в журнале или иным образом. Если линии очень длинные, то целесообразно вырезать 10 палочек, хотя их нести в одной руке не очень удобно.

Следует обратить внимание именно на использование палочек. Опытные специалисты иногда пытаются обойтись без них: конец ленты отмечают чертой на земле (плохо видно), загибают пальцы и т. д. Очень часто это оканчивается ошибкой и необходимостью провести повторные замеры. При этом, если ошибка в величине углов обнаруживается при их проверке в лесу ( $D = 2d(n - 2)$ ), то линейная невязка выясняется только при накладке чертежа в лесничестве и требует повторного выезда в лес. Допустимая ошибка при замере линий 1 м на 200 м длины.

После завершения съемки следует в обязательном порядке выполнить проверку правильности определения внутренних углов полигона. Для этого используется формула  $D = 2d(n - 2)$ , где  $n$  – число углов;  $d = 90^\circ$ ;  $D$  – сумма всех углов полигона в градусах. Невязка не должна превышать величины  $2t / n$ , где  $t$  – точность прибора,  $n$  – число углов поворота, учитывая точность определения углов при буссольной съемке в 30 минут, составит эту же величину. Практически невязка по всему полигону не должна выходить за пределы 1–2°.

По завершению съемки вычерчивается план лесосеки в масштабе 1 : 10 000. Чертеж лесосеки привязывается к квартальной сети лесничества. Для этого определяется азимут (румб) первой линии (на нашем чертеже это линия 1–2 или *AB*). Площадь лесосеки определяется с точностью до 0,4 га.

Ошибки при отводе лесосек не должны превышать следующие величины:

- при измерении линий – 1 м на 300 м;
- при измерении величины углов ( $t$ ) – не более 30, а для их суммы в соответствии с формулой  $k = 2t / n$ , обычно в пределах  $\pm 1-2^\circ$ .

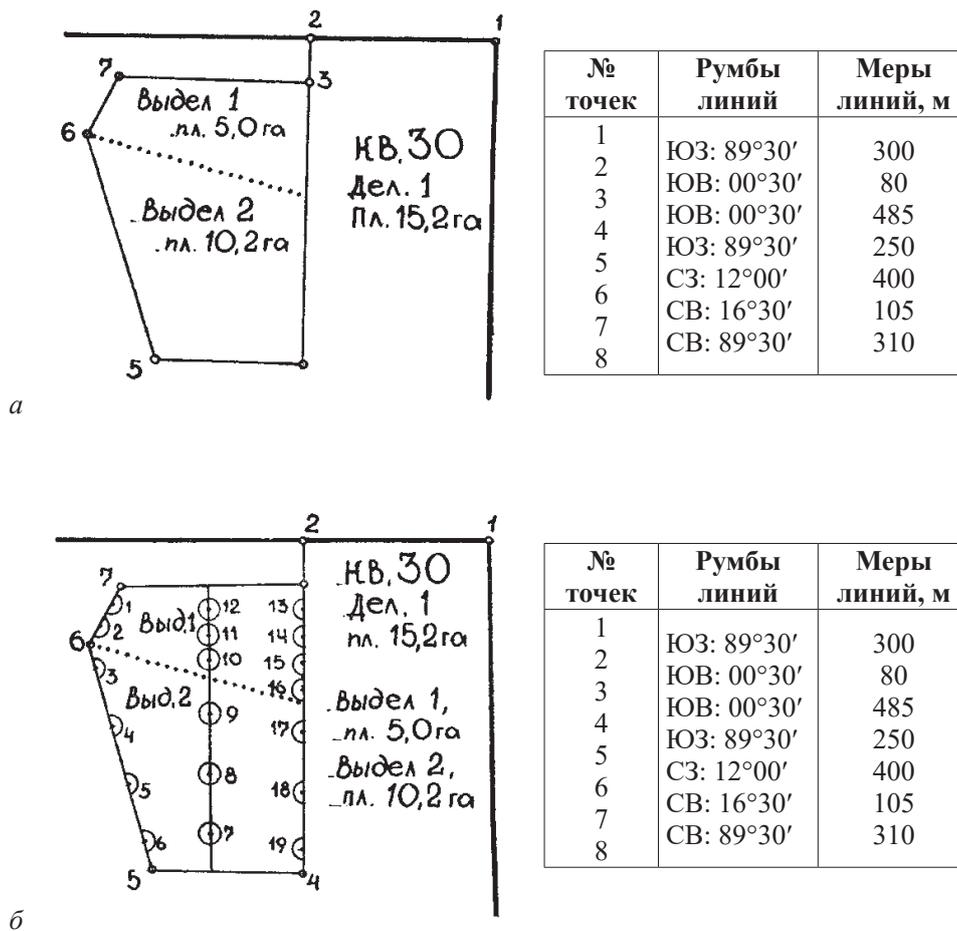
При отводе лесосек составляется полевой абрис, на котором указываются:

а) промеры линий, отграничивающие лесосеку (делянку), и необходимые промеры для привязки деланки к квартальным и граничным линиям или другим постоянным ориентирам;

- б) румбы линий или углы их пересечения (углы намного предпочтительней);
- в) выделенные внутри делянки неэксплуатируемые участки;
- г) границы, площадь и номера делянок и таксационных участков (выделов) внутри лесосек;
- д) расположение семенных групп деревьев, участков с подростом, молодняком и их площадь.

При отводе лесосек под постепенные и выборочные рубки, а также рубки ухода, нелесные и не покрытые лесом участки в площадь лесосек не включаются.

На основании полевого абриса составляется чертеж лесосеки. Примеры оформления чертежа лесосеки показаны на рисунке 6.5.



Условные обозначения:

- кварталные просеки
- визиры
- границы выделов
- половинные и целые круговые площадки и их номера

Рис. 6.5. Чертежи лесосек (делянок): а – отведенной сплошным перечетом; б – отведенной круговыми площадками.

Масштаб 1 : 10 000

При вычислении площадей лесосек (делянок) следует руководствоваться следующей техникой вычисления площадей выделов и делянок.

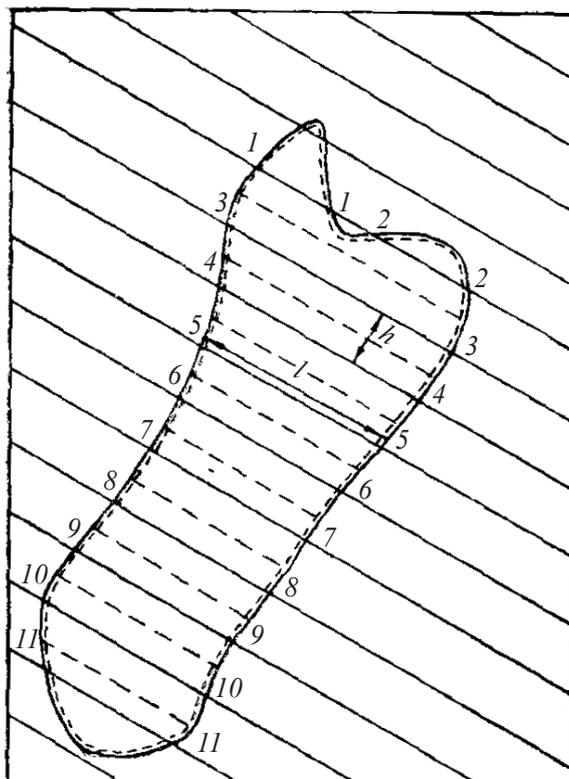
Вычисление площадей выделов и делянок правильной формы (в виде прямоугольника, трапеции и др.) осуществляется общепринятым способом, то есть по известным геометрическим формулам (рис. 6.6).

Площадь выделов неправильной формы вычисляется разными способами.

При наличии планиметров площади быстро и точно определяются с их помощью. К сожалению, планиметров в лесничествах обычно нет. Поэтому наиболее распространенный способ вычисления площадей лесосек заключается в использовании палеток (рис. 6.6).

Палетки имеются двух видов: палетки в виде сетки квадратов или палетки с параллельными линиями. Размер лесосеки находят здесь по способу определения площади трапеций.

При использовании палетки в виде сетки квадратов подсчитывается количество квадратов размерами 1 см<sup>2</sup> и 1 мм<sup>2</sup>, входящих в границы выдела. Это количество умножается на количество га в 1 см<sup>2</sup> и 1 мм<sup>2</sup>. Так определяется площадь в гектарах. Наиболее эффективно использование палетки в виде параллельных линий. Она вычерчивается на кальке или достаточно прозрачной бумаге. Расстояние между линиями палетки 4 мм (рис. 6.6).



— — средние линии трапеций и треугольников (линии палетки);  
 ---- — линии условных трапеций и треугольников (показаны для наглядности);  
 h — расстояние между средними линиями (шаг палетки);  
 l — длина линий палетки, ограниченная конфигурацией выдела

$$S_{\text{выдела}} = (l_{1-1} + l_{2-2} + l_{3-3} + \dots + l_{n-11}) \cdot h$$

Рис. 6.6. Схема определения площади выдела правильной формы (по формулам) и неправильной формы с помощью палетки

Палетка накладывается на чертеже выдела так, чтобы линии проходили примерно перпендикулярно длинной оси выдела. С помощью линейки или курвиметра определяется длина отрезка каждой линии палетки в пределах выдела (число линий в пределах выдела должно быть не менее 5, желательно 7). Сумма этих длин отрезков с округлением до 0,1 см умножается на 0,4 см и на количество га в 1 см<sup>2</sup>. Таким образом, получается площадь в га.

Количество га в 1 см<sup>2</sup> зависит от масштаба абриса:

- масштаб 1 : 10 000 – в 1 см<sup>2</sup> – 1 га;
- масштаб 1 : 20 000 – в 1 см<sup>2</sup> – 4 га;
- масштаб 1 : 25 000 – в 1 см<sup>2</sup> – 6,25 га.

Затем определяется сумма вычисленных площадей по всем выделам в делянке. Она сравнивается с площадью делянки. Если имеется невязка, то ищется ошибка.

Съемка лесосек при отводах может выполняться с использованием систем глобальной навигации GPS, Глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) и др. Обработка информации, включая вычерчивание плана лесосеки, в этом случае проводится на компьютерах, где используются геоинформационные системы (ГИС), данные из банка повыведельной информации «Лесные ресурсы» и другое программное обеспечение, позволяющие получить требуемые параметры чертежа лесосеки.

На всех углах лесосеки ставят лесосечные (деляночные) столбы высотой 1,0 м над землей и диаметром 12–14 см. Столбы ставят так, чтобы их щеки были направлены в сторону лесосеки.

Общий вид деляночных столбов приведен на рисунке 6.7. Надписи на столбах выполняют с помощью специальных трафаретов. Размеры и образец надписи на деляночных столбах показан на рисунке 6.8.

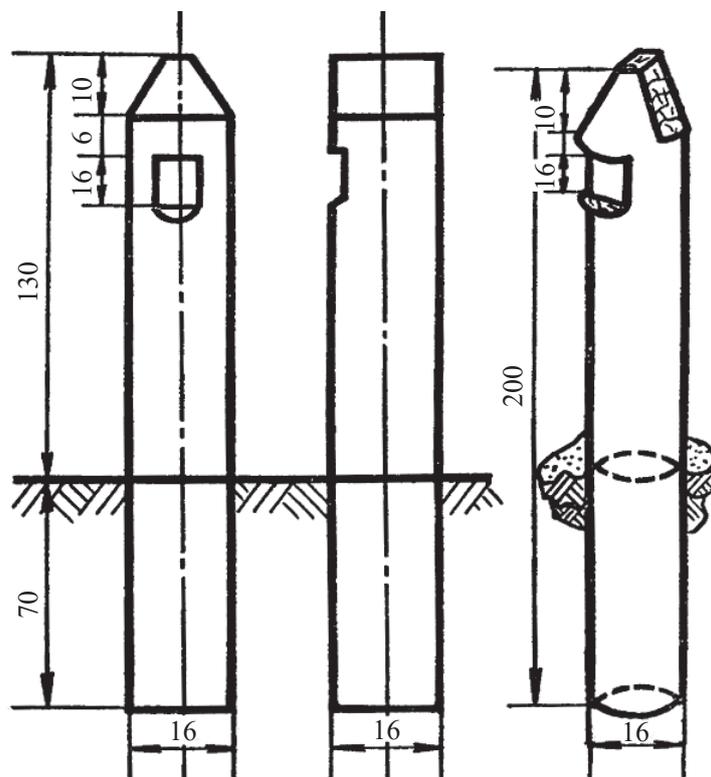
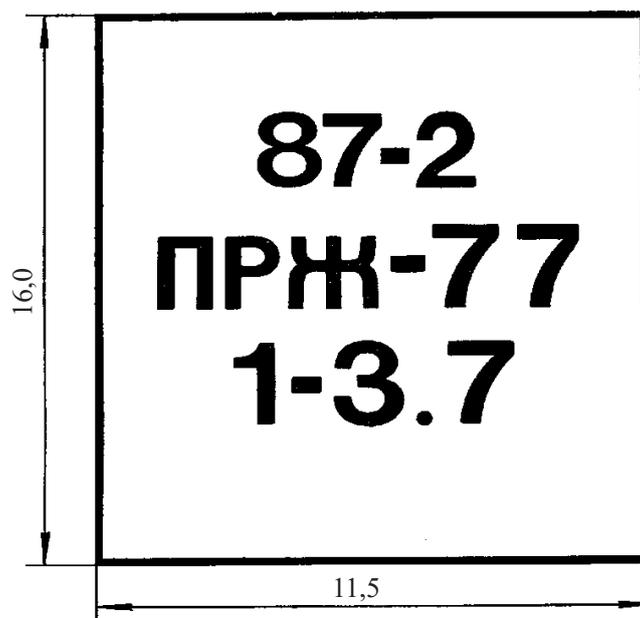


Рис. 6.7. Столбы деляночные

Вблизи дорог столбы укрепляются крестовиной. Верх лесосечных (деляночных) столбов затесывается на два ската. Под затесом делается гладкая выемка («окно»), на которой краской делаются надписи.



*Рис. 6.8. Образец надписи на деляночных столбах:*  
первая строка – № квартала, № выдела; вторая строка – вид мероприятий и год его выполнения;  
третья строка – № лесосеки и эксплуатационная площадь

Основные сокращения, которые применяются в надписях на деляночных столбах в наименовании мероприятий:

- сплошная рубка – СПР,
- постепенная рубка – ПР,
- выборочная рубка – ВР,
- санитарная рубка – СР,
- уход за молодняком – УМ,
- прореживание – ПРЖ,
- реконструктивная рубка – РР,
- прочая рубка – ПРУ,
- подсочка – ПС,
- побочное лесное пользование – ПЛП.

### 6.3.5. Таксация лесосек перечислительным способом

После отграничения участков, назначенных в рубку, производится таксация лесосек. Метод таксации зависит от вида учета, площади лесосеки и характера древостоя.

При всех методах таксации лесосек учитывается жизнеспособный подрост и молодняк с указанием породного состава, средней высоты, возраста и количества на 1 га. Учет подроста и молодняка, подлежащего сохранению при разработке лесосек, производится в соответствии с требованиями специальной инструкции.

Таксация лесосек (нахождение количества и качества вырубаемой древесины) проводится путем сплошного перечета деревьев или выборочными методами. В Беларуси основным способом таксации лесосек является перечислительный. Его суть заключается в том, что учитываются все деревья на лесосеке. Измерения проводятся мерной вилкой по 4-сантиметровым ступеням толщины. Минимальная ступень толщины при отводах лесосек равна 8 см. При среднем диаметре менее 16 см она может быть снижена до 2 см. В определенной мере описание таксации лесосек перечислительным способом описано выше в главе 4.

После отграничения лесосеки в соответствии с Правилами по отводу и таксации лесосек существует следующий порядок проведения перерчетов.

Предварительный отбор деревьев в рубку производится на лесосеках постепенных и выборочных рубок, при рубке семенников и единичных деревьев, а также в насаждениях, назначенных для прореживаний и выборочных санитарных рубок. Отбор деревьев осуществляется в порядке, предусмотренном Правилами рубок леса в Республике Беларусь.

Для материальной оценки древесины на корню при отпуске ее с учетом по площади и по пням производится перерчет деревьев с обмером их диаметров на высоте груди (1,3 м), с подразделением по породам, ступеням толщины (в 4 см), а также категориям технической годности (качества).

«Правилами по отводу и таксации лесосек» в Беларуси определено деление на качественные категории. Деревья по технической годности делятся на деловые и дровяные:

- деловые – деревья, у которых длина деловой части, соответствующей стандартам на деловую древесину (СТБ 1711 и СТБ 1712) в комлевой части составляет 3 м и более;
- дровяные – деревья с длиной деловой части менее 3 м.

Действующие сортиментные таблицы (Ф. П. Моисеенко, Н. П. Анучина, К. Е. Никитина, А. Г. Мошкалева и др.) разработаны исходя из деления деревьев на деловые, полуделовые и дровяные. Для высокотоварных древостоев деление деревьев на деловые и дровяные существенно не изменяет показатели выхода деловой древесины. Если древостой низкотоварный, то таблицы в этом случае могут завышать выход деловой древесины.

Отнесение при перерчете отдельных деревьев к различным категориям технической годности производится в результате осмотра ствола по его внешним признакам – форме и наличию пороков.

Для установления степени развития пороков, которые не могут быть определены по внешним признакам, и их влияния на качественную категорию деревьев, руководствуются осмотром деревьев, срубленных на визирах, а также данными разработки соседних лесосек.

При перерчете деревья отмечаются знаками без повреждения камбия: деловые – одной чертой (I), дровяные – двумя чертами (II). Вместо черты можно использовать круг. Могут применяться и другие отметки, обеспечивающие четкое различие деревьев по категориям технической годности и контроль за их отбором. Для верного определения высоты замеров лица, проводящие замеры, должны иметь отметку на одежде на высоте 1,3 м от земли.

Технология проведения перерчета заключается в следующем. Создается бригада из нескольких человек. Наиболее рационально в состав бригады включать 2–3 мерщика. При одном мерщике мастер простаивает. За четырьмя мерщиками трудно успеть записать. В зависимости от наблюдения, опыта и реакции мастера в бригаде бывает 2–3 лесника. Если лес однородный, крупный и редкий, то можно успеть записать за большим количеством мерщиков. При густом и мелком древостое, да еще и в многопородном, тяжело успеть с записями и за двумя мерщиками.

Руководитель (обычно мастер) ведет записи, остальные (как правило, лесники) являются мерщиками. Мерщики движутся вдоль коротких сторон лесосеки (змейкой), захватывая узкую ленту деревьев, замеряют их мерной вилкой и отмечают каждое дерево специальным резцом. Отметки на деревьях делают на «внешней» стороне стволов, чтобы они были видны при обратном движении мерщиков (рис. 6.9).

Одновременно с отводом лесосек для сплошнолесосечной рубки, в соответствии с правилами рубок, производится отбор и перерчет семенников и семенных групп деревьев. У семенников и деревьев в семенных группах на высоте 1,3 м производится «подрумянивание» коры с нанесением порядкового номера краской. Семенные группы обозначаются легкими затесками на коре с внешней стороны граничных деревьев и «подрумяниванием» коры вокруг ствола на угловых деревьях.

Данные перечета заносят в специальную перечетную ведомость. Запись учета деревьев ведут методом точковки «конвертом», что описано выше. Окончательный вид обработанной перечетной ведомости приведен в таблице 6.12.

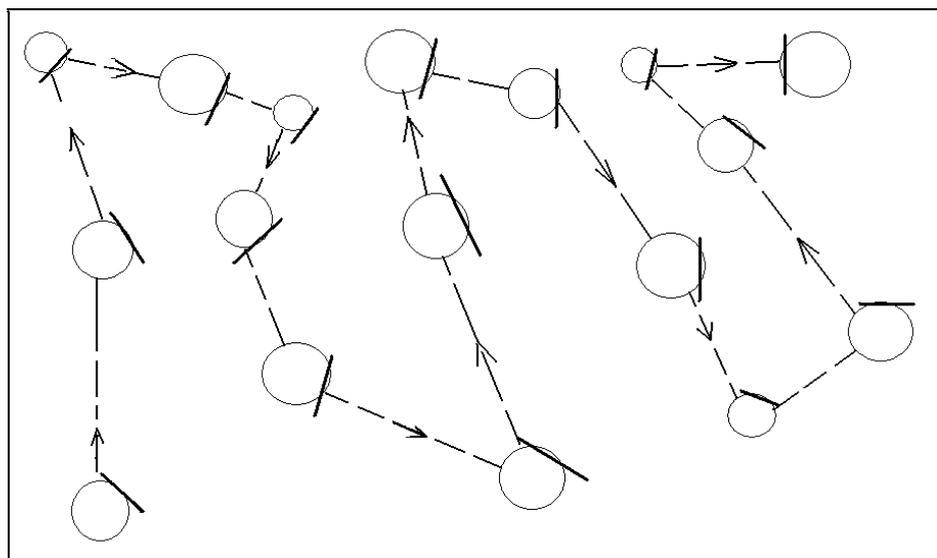


Рис. 6.9. Схема перечета деревьев: | – места отметок деревьев; —> – путь мерщика

Таблица 6.12

#### Ведомость перечета деревьев, назначенных в рубку

Лесхоз Гомельский, лесничество Добрушское, квартал № 96, выдел № 25, лесосека 2022 г., делянка № 1, площадь 2,1 га. Вид пользования главное. Категория защитности эксплуатационная. Преобладающая порода сосна. Способ рубки: сплошнолесосечный. Способ таксации: перечет, сплошной, круговые площадки постоянного радиуса (нужное подчеркнуть), радиус площадок, число площадок, площадь перечета 2,1 га. Дата – 21.06.2012 г. Состояние насаждения нормальное. Способ восстановления леса лесные культуры. Способ очистки огневой.

Количество семенников шт. Подрост: площадь га, состав. Среднее количество на 1 га шт.

Ступень толщины, см	Число деревьев по породам, шт.				Модельные деревья по породам			
	Сосна		Береза*		Сосна		Береза	
	дело- вых	дрова- ных	дело- вых	дрова- ных	высоты	разряды высот	высоты	разряды высот
8	5	18	3	26				
12	27	12	17	14				
16	36	5	22	12			18,7; 17,5; 19,1	2
20	47	2	55	3			20,5; 21,2; 19,4	2
24	53	0	34	5	23,0; 24,7; 24,1	1	22,5; 20,5; 19,8	2
28	50	0	14	1	27,6; 26,5; 28,0	1		
32	35	0	8	0	28,6; 29,4; 27,9	1		
36	20	1	1	0				
40	15	0	0	0				
44	4	0	0	0				
итого	292	38	154	61				

Перечет произвели \_\_\_\_\_

Проверил лесничий \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Примечание: графу со знаком \* следует повторить столько раз, сколько имеется пород в древостое.

На лесосеке, кроме перечета, проводится измерение высот деревьев. В пределах таксационного выдела, делянки или лесосеки в целом для определения разряда объемных таблиц по каждой составляющей породе с помощью высотомера измеряются высоты растущих деревьев.

При применении сортиментных таблиц, составленных по разрядам высот, измеряют высоту 9 деревьев. Три дерева берут в центральной ступени толщины, то есть в той, где насчитывается наибольшее количество деревьев. Дополнительно измеряют высоты у трех деревьев в каждой из ступеней толщины, соседних с центральной. Если участие породы в составе не превышает трех единиц, то обмеряются пять деревьев этой породы из одной средней ступени толщины.

Деревья для обмера высот выбираются равномерно по всей площади лесосеки. У каждого дерева измеряются диаметр и высота. Для этих целей можно использовать деревья, срубленные на визирах, если они удовлетворяют требованиям по диаметру.

При использовании безразрядных таблиц определение средней высоты преобладающей породы осуществляют, измеряя высоты у 12–15 деревьев, отобранных пропорционально числу деревьев в ступенях толщины. Средняя высота породы и высота каждой ступени толщины в этом случае снимаются с графика высот, для построения которого по горизонтальной оси откладываются диаметры, а по вертикальной – высоты обмеренных деревьев. В настоящее время график высот вычисляется на компьютере по специальным программам.

### 6.3.6. Выборочные методы для таксации лесосек

Таксацию лесосек можно проводить не только с помощью сплошного перечета, но и выборочными методами. Это предусмотрено действующими «Правилами по отводу и таксации лесосек...». В лесах Беларуси разрешено применение выборочно-измерительных и выборочно-перечислительных методов таксации лесосек. Нормативы для выбора метода таксации лесосек приведены в таблице 6.13.

Таблица 6.13

Основания для выбора метода таксации лесосек

Метод таксации лесосек	Площадь лесосеки (делянки)	Условия применения
Сплошной перечет	до 5 га	Независимо от характера насаждения
Круговые реласкопические площадки	5 га и более	Лесосеки с одноярусными, чистыми по составу и однородными по полноте древостоями, при отсутствии или редком подросте и подлеске и при условии материальной оценки по специальной программе на компьютере
Круговые площадки постоянного радиуса	5 га и более	На лесосеках с наличием густого подроста и подлеска, низкоопущенных крон деревьев и других условий, не позволяющих использование полнотомеров

В зависимости от способа рубки применяют разные методы учета древесины на лесосеке. При проведении рубок промежуточного пользования учет по площади невозможен. В этом случае находит применение учет по количеству деревьев (по пням) и по количеству заготовленной древесины. При проведении сплошнолесосечных рубок учет древесины делают по площади, применяя перечислительные методы таксации, о которых сказано ниже, а также выборочно-перечислительные и выборочно-измерительные методы. Учет по пням и по примерному количеству древесины можно с определенной условностью отнести к выборочным методам таксации.

### 6.3.7. Таксация лесосек при отпуске древесины с учетом по числу деревьев (по пням) и количеству заготовленных материалов

Традиционно при отпуске древесины на корню с учетом по числу деревьев, назначенных в рубку (по пням), производится предварительный отбор деревьев в рубку, «Правила рубок в лесах Республики Беларусь» определяют соотношением количества назначенной к рубке древесины и общего запаса насаждения до рубки.

При проведении осветлений, прочисток и прореживаний, а также при разработке горельников, буреломов и других повреждений лесосек, при реконструкции в молодняках, при рубке и расчистке квартальных просек и других трасс учет ведут по количеству заготовленной древесины. В этом случае исходным материалом для определения вырубаемой массы являются данные лесоустройства или материалы пробных площадей.

Таксация лесосеки с использованием материалов лесоустройства осуществляется в участках, намеченных лесоустройством для проведения осветлений, прочисток и прореживаний, а также для проведения прочих рубок. Данные лесосеки должны быть предварительно обследованы в натуре с уточнением таксационных показателей. Если последние за прошедшее время изменились более чем на 15 % по запасу или на две единицы по составу, а по классу товарности и разрядам высот на один класс, то их уточнение проводится путем закладки реласкопических площадок.

В остальных случаях предварительное количество заготавливаемой древесины определяется по данным пробных площадей. Пробные площади в этом случае закладываются в размере не менее 5 % от площади лесосеки. При величине лесосеки до 3 га закладывается одна пробная площадь. Если лесосека имеет площадь более 3 га, то закладывают по одной пробной площади на каждые 3 га с равномерным размещением их по лесосеке. Пробные площади отграничиваются в натуре кольями высотой 0,7 м и диаметром 8–10 см.

На данных пробах отбор и перечет деревьев с диаметром 8 см и выше производится в обычном порядке. Древесина, получаемая в результате вырубki деревьев, диаметром менее 8 см определяется по фактически вырубленному количеству в складочных кубаметрах. При обмере хвороста и хмыза их объем снижается на осадку для хвороста на 10 %, а для хмыза на 20 %. Коэффициенты полнодревесности для перевода складочных м<sup>3</sup> в плотные принимаются следующие:

- древесина диаметром 4–8 см (в практике такую древесину при отнесении ее к дровам называют «топорник») – 0,50;
- хворост неочищенный длиной 4–6 м – 0,20;
- хворост неочищенный длиной 2–4 м – 0,12;
- мелкий хворост до 2 м и хмыз – 0,10.

На пробной площади производятся отбор, рубка деревьев и разработка заготовленной древесины на сортименты. Данные разработки пробной площади переводятся на площадь лесосеки (делянки). Если на лесосеке заложено две и более пробные площади, то их материалы суммируются. Результаты разработки пробной площади оформляются актом по форме, приведенной в «Правилах по отводу и таксации лесосек».

При всех видах таксации лесосек учитывается жизнеспособный подрост с указанием породного состава, средней высоты, возраста и количества его на 1 га.

### 6.3.8. Закладка круговых реласкопических площадок

Количество круговых реласкопических площадок устанавливается в зависимости от площади лесосеки (делянки), однородности древостоя и его полноты. Нормативы количества РКПП на лесосеке в зависимости от перечисленных показателей приведены в «Правилах по отводу и таксации лесосек» (таблица 6.14).

**Нормативы количества круговых реласкопических площадок  
и площадок постоянного радиуса при таксации лесосек выборочными методами**

Площадь выдела, га	Полнота		
	0,3–0,5	0,6–0,8	0,9–1,0
1	3	2	2
2	4	2	2
3	5	3	2
4	6	4	2
5	7	5	3
6–7	8	6	4
8–10	9	7	5
11 и более		8	6

При таксации лесосек круговыми реласкопическими площадками (РКПП) применяются призмы или полнотомеры (угловые шаблоны) с шириной раствора 20 мм и 14,1 мм соответственно с базисом между глазом и полнотомером 1 м и 0,7 м. Шаблон с раствором 14,1 мм применяется в древостоях со средним диаметром до 20 см, а с раствором 20 мм – в древостоях со средним диаметром более 20 см. Перед началом работы полнотомеры и призмы обязательно проверяются.

Площадки закладываются равномерно по площади лесосеки (делянки) на продольных граничных линиях и внутренних визирах. Число визиров и их размещение принимается в зависимости от ширины лесосеки (делянки) согласно показателям таблицы 6.15.

Таблица 6.15

**Число ходовых линий, на которых закладываются круговые реласкопические площадки**

Ширина лесосеки (делянки), м	Число ходовых линий	
	на граничных линиях	на внутренних визирах
до 200	2	–
201–400	2	1

На граничных линиях закладываются не полные, а только половинные площадки. Если граничные линии проходят вдоль расстроенных опушек леса, старых вырубков, широких просек и по другим не характерным для лесосеки (делянки) древостоям, то число площадок на них уменьшается до 1/3 от общего количества и соответственно увеличивается на внутренних визирах.

Среднее расстояние между центрами площадок предварительно определяется по абрису делением протяженности граничных линий и внутренних визиров (за исключением неэксплуатационных участков) на число приходящихся на них площадок с округлением до 5 м.

Центры площадок отмечаются кольшками высотой до 0,7 м над землей. На верхней части кольшка, повернутого лицевой стороной против хода движения, пишется номер круговой реласкопической площадки.

Для определения процента выхода деловой древесины учет деревьев на реласкопических площадках производится с разделением их на категории технической годности, а для определения среднего диаметра и средней высоты измеряются диаметры на высоте груди и высоты 1–2 средних для каждой породы деревьев (выбираемых на глаз) на каждой площадке.

Работа с угловым шаблоном Биттерлиха изучалась нами ранее. Учитывая большое практическое значение умения работать с прибором Биттерлиха, еще раз напомним, что учитывают деревья, полностью перекрывающие прицел шаблона (рис. 6.10, а), не учитывают свободно проходящие между границами шаблона (рис. 6.10, б) и учитывают с коэффициентом 0,5 те деревья, которые вписываются точно в шаблон (рис. 6.10, в).

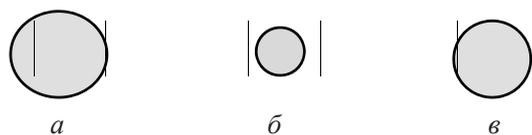


Рис. 6.10. Учет деревьев с помощью углового шаблона

При коэффициенте углового шаблона 1,0 соотношение длины рейки и ширины шаблона составляет 50 : 1.

Часто более удобным является прибор с  $K = 2$ . Им целесообразно пользоваться при низкой полноте и большом среднем диаметре. Большой опыт применения углового шаблона Биттерлиха, имеющийся у автора данного пособия, показал его преимущество перед полнотмером с коэффициентом 1. При одинаковой точности затраты труда здесь меньше. При коэффициенте Биттерлиха 2 ширина раствора в 1 см соответствует длина планки в 35,35 см ( $50 : \sqrt{2} = 50 : 1,4145 = 35,534$  см).

### 6.3.9. Закладка круговых площадок постоянного радиуса

В ряде случаев реласкопические площадки заложить не удастся, так как деревья не видны из-за густого подроста и подлеска. Тогда закладывают круговые площадки постоянного радиуса (КППР). Нормы закладки КППР в зависимости от площади лесосеки и полноты приведены в «Правилах по отводу и таксации лесосек» 2018 г. (ТКП 622-2018) (таблицы 6.14 и 6.15). В этих же «Правилах по отводу и таксации лесосек» определены и размеры каждой КППР (таблица 6.16). В зависимости от полноты и среднего диаметра размер КППР колеблется от 300 м<sup>2</sup> ( $R = 9,8$  м) до 1000 м<sup>2</sup> ( $R = 17,8$  м).

Таблица 6.16

Радиусы круговых пересчетных площадок

Полнота	Средний диаметр насаждений, см				
	до 16	20	24	28	32 и выше
0,3–0,4	11,3	11,3	13,8	17,8	17,8
0,5–0,6	9,8	11,3	11,3	13,8	13,8
0,7–0,8	9,8	9,8	11,3	11,3	11,3
0,9–1,0	9,8	9,8	9,8	11,3	11,3

При этом соотношение радиусов и площадей площадок постоянного радиуса показано ниже.

Радиус и площадь одной круговой площадки

Радиус, м    9,8    11,3    13,8    17,8

Площадь, м<sup>2</sup> 300    400    600    1000

Схема размещения круговых площадок постоянного радиуса по площади лесосеки (деланки) аналогична схеме размещения круговых реласкопических площадок. Перечет, подбор деревьев и замеры высот на площадках осуществляются в обычном порядке.

При закладке КППР удобно пользоваться веревкой установленной длины и 4–8 вешками. Один мерщик становится в центре площадки, а его помощники на концах натянутой веревки устанавливают 4–8 вешек, которые являются ориентиром при производстве перечета и замера высот. При закладке РКПП и КППР обязательное условие – случайность мест закладки площадок. Это достигается размещением их по систематической сетке, которую составляют в камеральных условиях на основании норматива числа площадок на участке. Отклонения от систематической сетки не допускаются. В практике могут быть случаи, что из-за ошибок в измерении расстояний между площадками их количество будет набрано раньше, чем закончено прохождение участка. Например, надо заложить 15 площадок. Это количество набрали,

а участок полностью не пройден. Надо пройти весь участок, закладывая площадки с принятой систематичностью. Большое количество заложенных площадок даже повысит точность учета. Если участок пройден, а требуемого количества площадок набрать не получилось, то надо на плане наметить (случайным путем, лучше по диагонали) места закладки недостающих площадок и заложить их. Запись результатов таксации ведется по установленной форме.

Нормативы, приведенные в «Правилах по отводу и таксации лесосеки», обязательны для применения. Но эти «Правила...» совершенно верные для способа таксации сплошным пересчетом мало пригодны для выборочных методов. Дело в том, что точность таксации лесосек должна быть равной  $\pm 10\%$  для каждой лесосеки, то есть достоверность составляет почти 100%. Практически такая достоверность недостижима, но при точном соблюдении всех правил она равна 99,9%, то есть лишь одна лесосека из 1000 может быть протаксирована с ошибкой более допустимого норматива в 10%. В силу того, что повышение точности и достоверности таксации лесосек требует непропорционального увеличения затрат, мы вынуждены ограничиться существующими методами. Поэтому возможной ошибкой больше норматива на одной лесосеке из тысячи вынуждены пренебречь.

Нормативы выборочных методов, предусмотренные в «Правилах по отводу и таксации лесосек», соответствуют требованиям лесоустроительной инструкции. Но там нужна точность в 10% при достоверности в  $1\sigma$ , то есть 68%. Учитывая, что цель лесоинвентаризации – определение запаса древостоев одной породы и класса возраста по лесхозу, такая цель достигается. Известно, что точность исследования определяется по формуле:

$$T_{\text{иссл}} = \frac{m_i \cdot a}{\sqrt{n}},$$

где  $m_i$  – точность оценки одного выдела;

$a$  – достоверность ( $1\sigma = 1$ ;  $2\sigma = 2$ ;  $3\sigma = 4$ ;  $4\sigma = 8$ );

$n$  – число выделов.

При числе таксируемых выделов около 100 (это для лесхоза не много) достоверность  $P_{\text{общ}}$  – 99,99% ( $4\sigma$ ).

$$P_{\text{общ}} = 10 \cdot 8 / 10 = 8\%.$$

Для отвода лесосек достоверность 0,68 недостаточная. Правда, выборочными методами таксации наши лесхозы практически не пользуются.

Заметим также, что действующими правилами при применении выборочных методов допускается снижение точности таксации до 15%. Если при отпуске древесины одному потребителю передается 10–15 лесосек, то такая точность таксации одной лесосеки оправдана. Общая ошибка в этом случае не выйдет за пределы 10%. Но при продаже одной лесосеки норматив, превышающий 10%, неприемлем.

Автор учебника еще в 80-е гг. прошлого века разработал методы выборочной таксации с требуемой точностью и достоверностью. Этот метод не приняли, заявив, что он сложный. Здесь приведем некоторые показатели метода таксации лесосек, предложенного В. Ф. Багинским.

В таблицах 6.17–6.20 приведены нормативы, которые определяют применение разных методов таксации лесосек. Как видно из этих таблиц, они сильно отличаются от действующих правил. Приведенные ниже значения придержки даны для общего представления о выборочных методах.

Технология таксации лесосек при применении данных рекомендаций следующая:

1. По таблице 6.17 определяемся с методом таксации лесосеки.

2. Определяем ту часть от площади лесосеки (в %), где надо сделать пересчет деревьев. Объем частичного пересчета зависит от площади лесосеки и характера неоднородности древостоя. Соответствующие нормативы приведены в таблице 6.19.

3. Пользуясь таблицей 6.19, вычислим, сколько площадок (КППР) надо заложить на лесосеке.
4. Величину площадок (и их радиус) принимают по следующим придержкам:
- а) радиус 9,78 м (площадь КППР – 0,03 га) в чистых древостоях площадью до 20 га при  $D_{cp}$  = до 20 см;
  - б) радиус 11,28 м (площадь КППР – 0,04 га) в простых смешанных древостоях площадью до 10 га, в сложных насаждениях площадью до 6 га при  $D_{cp}$  = 20–24 см;
  - в) радиус 13,82 м (площадь КППР – 0,06 га) во всех остальных случаях.
5. На плане лесосеки намечаем места закладки площадок. Площадки должны располагаться по систематической сетке.
6. Затем проводим работы на лесосеке: закладываем КППР или КРПП. Места стояния отмечаем кольями длиной 0,5–0,7 м и толщиной 4 см и толще. Целесообразно КППР закладывать, используя шнур нужной длины, отметив не менее четырех точек по границе площадки вешками.
7. На каждой площадке выполняют сплошной пересчет деревьев. Его результаты записывают в пересчетную ведомость.
8. По окончании работ на площадке ориентируются по компасу (буссоли) и переходят на следующую КППР или КРПП. Расстояние измеряют шагами.
9. Закончив пересчет на всех КППР или КРПП, устанавливают высоту деревьев для определения разряда высот в соответствии с действующими «Правилами...».
10. Заполненные пересчетные ведомости обрабатывают на компьютере по программе проведения материально-денежной оценки.

Таблица 6.17

**Минимальные площади выделов, где целесообразно применять выборочно-перечислительную таксацию лесосек (по данным А. З. Швиденко и В. Ф. Багинского)**

Характеристика древостоя	Минимальная площадь лесосеки при применении методов		
	Выборочно-перечислительная таксация с КППР	Выборочно-измерительная таксация с КРПП	По материалам лесостроительства таксационные показатели уточняются в натуре
Простые 1–3-породные древостои с полнотой 0,5–0,8, хорошо просматриваемые. $D_{cp}$ > 20 см. Размещение деревьев относительно равномерное	3,0	2	1,5
Простые 2–3-породные древостои с полнотой 0,5–0,8 при наличии подроста и подлеска средней густоты, смешение пород малыми и большими группами, $*D_{cp}$ > 20 см, просматриваемость хорошая	3,5	2,5	1,7
Сложные многопородные древостои со значительным подростом и подлеском, удовлетворительно просматриваемые, смешение пород большими группами, $D_{cp}$ > 20 см. Расположение деревьев относительно неравномерное	5,5	3,0	2,0
Сложные многопородные древостои с очень густым подростом, подлеском, смешение пород большими группами и подвыделами, плохо просматриваемые, $D_{cp}$ > 20 см. Размещение деревьев неравномерное. Расстроенные древостои с выраженной неравномерностью размещения деревьев	6,5	–	3,0

\*Группа называется малой, если диаметр занимаемой его территории (ДТГ) меньше верхней высоты (НВТ) деревьев группы. При  $ДТГ \geq НВТ$  группа будет большой. Если  $ДТГ > 3НВТ$ , то это подвыдел.

**Нормативы для выбора метода таксации лесосек  
и определения площади выборочного перечета (по А. З. Швиденко)**

Группа насаждений	Площадь лесосеки, га										
	до 3	3,1– 3,5	3,6– 4,5	4,6– 5,5	5,5– 6,0	6,1– 10	10,1– 15	15,1– 20,0	20,1– 30,0	30,1– 50,0	50,1– 100,0
Чистые, одноярусные с равномерным размещением	СПЛ	КППР 20 %	КППР 16 %	КППР 12 %	КППР 7 %	КППР 6 %	КППР 4 %	КППР 3,5 %	КППР 3 %	КППР 2 %	КППР –
Одноярусные смешанные 2–3-породные со слабой куртинностью (участие второстепенных пород не менее 2–3 единиц состава)	СПЛ	СПЛ	КППР 22 %	КППР 20 %	КППР 19 %	КППР 14 %	КППР 11 %	КППР 8 %	КППР 6 %	КППР 5 %	КППР 4 %
Сложные многопородные древостои, смешанные древостои с куртинным размещением	СПЛ	СПЛ	СПЛ	СПЛ	КППР 25 %	КППР 21 %	КППР 17 %	КППР 13 %	КППР 8 %	КППР 7 %	КППР 6 %
Расстроенные и низкополнотные насаждения, а также древостои с примесью других пород до 1–2 единиц состава при необходимости иметь точные данные о каждой породе	СПЛ	СПЛ	СПЛ	СПЛ	СПЛ	СПЛ	КППР 20 %	КППР 17 %	КППР 13 %	КППР 10 %	КППР 8 %

Контроль за качеством работ заключается в выполнении повторных замеров не менее, чем на четырех участках.

Результаты таксации совокупности проверенных лесосек не должны отличаться от контроля больше, чем на 10 % по общему запасу и по деловой.

### 6.3.10. Выборочно-измерительная таксация с частичным перечетом

Для проведения выборочно-измерительной таксации с частичным перечетом кроме обычно применяемых в лесном хозяйстве таксационных приборов (мерная вилка, высотомер) необходимо иметь угловой шаблон Биттерлиха с коэффициентом 1,0. Техника работы с угловым шаблоном подробно описана выше. Технология таксации лесосек, применяющая настоящий метод, следующая.

1. После отвода лесосек, пользуясь таблицей 6.19, намечаем количество РКПП, которое будет заложено на лесосеке, а по таблице 6.20 устанавливаем объем частичного перечета.

2. По таблице 6.20 определяем количество деревьев, которые надо измерить при проведении частичного перечета. Для этого делим общее число измеряемых деревьев на количество РКПП. Получаем примерное число измеряемых стволов на каждой площадке. В процессе работы эти данные уточняются, во внимание принимается породный состав древостоя.

3. Порядок работы на круговых площадках (замеры площадей сечения, высот, перечеты и т. д.) описан выше.

Порядок выбора мест для закладки круговых площадок и правила их оформления изложены выше. Напомним еще раз о необходимости случайного назначения мест закладки круговых площадок.

Таблица 6.19

**Необходимое количество реласкопических пробных площадок (шт.) в различных насаждениях для определения запаса с точностью  $\pm 10\%$  (по В. Ф. Багинскому)**

Характеристика древостоя	Полнота	Площадь лесосеки, га				
		до 3	3,1–5,9	6–10	11–15	$\pm 15$
Простые 1–2-породные древостои с относительно равномерным размещением деревьев	0,3–0,5	12	15	18	24	30
	0,6–0,7	9	12	15	20	25
	0,8–1,0	6	10	12	16	20
2–3-породные простые с равномерным и куртинным размещением. Смешение пород малыми группами	0,3–0,5	20	22	25	30	35
	0,6–0,7	16	18	21	25	30
	0,8–1,0	12	14	16	20	25
Сложные 2–4-породные с относительно неравномерным размещением деревьев. Смешение пород малыми и большими группами	0,3–0,5	26	28	30	34	40
	0,6–0,7	22	24	26	30	35
	0,8–1,0	18	20	22	25	30
Сложные многопородные с неравномерным размещением деревьев. Смешение пород большими группами и подвыделами. Расстроенные древостои с неравномерным размещением деревьев	0,3–0,5	30	32	34	40	45
	0,6–0,7	25	27	30	35	40
	0,8–1,0	20	23	26	30	35

Таблица 6.20

**Минимальное количество измеряемых деревьев (шт.) при применении выборочных методов с частичным перечетом**

Характеристика древостоя	Площадь лесосеки														
	до 5 га					5,1–10 га					Более 10 га				
	Доля участия породы в составе (в процентах)														
	>50	31–50	11–30	5–10	2–5	>50	31–50	11–30	5–10	2–5	>50	31–50	11–30	5–10	2–5
1–2-породные простые с относительно равномерным размещением деревьев	125	40	15	10	3	150	50	20	15	5	175	70	25	20	7
2–3-породные простые с равномерным и куртинным размещением деревьев. Смешение пород малыми группами	150	50	20	12	5	175	60	25	17	7	200	80	30	20	10
Сложные 2–4-породные с относительно неравномерным размещением деревьев. Смешение пород малыми и большими группами	175	60	25	15	7	200	70	30	20	10	225	100	30	20	10
Сложные многопородные с неравномерным размещением деревьев. Смешение пород большими группами и подвыделами. Расстроенные древостои с неравномерным размещением деревьев	200	70	30	20	7	225	80	40	25	10	250	120	35	25	10

Использование методов, предложенных нами, приводило к точности в 10 % на 98–99 % измеренных лесосек. Для совокупности лесосек лесничества (10–15 шт.) точность не выходит за пределы 5–6 %.

## 6.4. Материально-денежная оценка лесосек

### 6.4.1. Факторы, влияющие на стоимость древесины

Древесина на корню оценивается по таксам. *Таксы* по своей сути – это цены древесины на корню, призванные за счет продажи такой древесины (на корню) возместить общественно необходимые затраты на ведение лесного хозяйства с учетом дифференциальной ренты. К сожалению, таксы в СССР и в Беларуси почти никогда не обеспечивали возмещение этих затрат. Причиной было то, что лес, древесина представляли и представляют общенародную собственность и при ее оценке учитывались социальные факторы: покупательная способность населения, платежеспособность субъектов хозяйствования, ведущих лесное хозяйство и т. д. Поскольку наша Республика Беларусь – социально ориентированное государство, то и цены на древесину устанавливали такие, которые обеспечивали ее доступность всем слоям населения, особенно социально уязвимым в сельской местности, а также позволяли вести безубыточную работу лесозаготовительных предприятий. Так, таксовая стоимость 1 м<sup>3</sup> дров соизмерима с ценой проездного билета в городском транспорте. С развитием рыночных отношений, постепенным переводом лесного хозяйства на самофинансирование и самокупаемость цена на лес на корню будет расти, пока не обеспечит возмещение расходов на ведение лесного хозяйства.

В огромной стране СССР, а теперь и в России, цена на лес в основном определялась лесотаксовым поясом. Эти пояса устанавливались в зависимости от природно-климатических зон, процента лесистости территории и плотности населения. Цены на древесину в Средней Азии, в степной зоне РСФСР и в таежной зоне Европейского Севера или Восточной Сибири различались во много раз.

В Беларуси нет столь резких различий в экономических и природно-климатических условиях роста леса. Поэтому различные лесотаксовые пояса в нашей стране не выделены.

Таксовая стоимость древесины зависит от вида пользования – главного или промежуточного. Это вызвано тем, что при главном пользовании древесина более высокого качества, а себестоимость ее заготовки ниже.

*Таксовая стоимость древесины в Беларуси зависит от следующих параметров:*

- древесной породы;
- качественной категории: крупной, средней или мелкой деловой древесины и дров;
- разряда такс.

*Древесные породы делятся на следующие группы:*

- сосна, лиственница;
- ель, пихта, груша, яблоня, акация белая;
- дуб, ясень, клен;
- береза (кроме березы карельской), ольха черная, граб, ильмовые, липа. При этом дрова ольхи черной и ильмовых отпускаются по ценам сосны, а липы – по ценам осины;
- осина, ольха серая, осокорь, тополь.

*По СТБ 1711-2007 и 1212-2007, ТКП 622-2018 по крупности деловая древесина делится на крупную (от 26 см), среднюю (14–24 см) и мелкую (6–13 см).*

*Разряд такс устанавливается в зависимости от расстояния вывозки от места заготовки (квартал, лесничество, лесхоз) до станции железной дороги или мест потребления: ДОК, ЦБК и т. д.*

Всего установлено пять разрядов такс (таблица 6.21).

В Беларуси разряд такс для каждого квартала утверждается решением Министерства лесного хозяйства. Таксы на древесину, отпускаемую на корню, утверждаются Постановлением Совета министров. Таксы постоянно меняются. За последние 20 лет они менялись по 2–3 раза в год. С 2010 г. таксы оставались относительно стабильными. Поэтому приводить конкретные

величины таксовой стоимости древесины здесь не следует. В то же время соотношение по стоимости между породами, качественными категориями древесины и разрядами такс относительно стабильно. Соотношение по древесным породам показано в таблице 6.22.

Соотношение между таксовой стоимостью крупной, средней, мелкой деловой древесины в разрезе разрядов такс показано на примере сосны в таблицах 6.23 и 6.24.

Таблица 6.21

**Схема распределения лесов по разрядам такс**

Разряды такс	1	2	3	4	5
Расстояние вывозки, км	до 10	10,1–25	25,1–40	40,1–60	≥60,1

Таблица 6.22

**Соотношение таксовой стоимости деловой древесины и дров разных пород на рубках главного пользования**

<b>Порода</b>	<b>Сосна</b>	<b>Ель</b>	<b>Дуб</b>	<b>Береза</b>	<b>Осина</b>
Коэффициент для деловой древесины	1,0	0,86	2,5–3,2	0,42	0,08–0,09
Коэффициент для дров	1,0	0,9–1,0	1,7–1,9	1,4–1,6	0,25

Таблица 6.23

**Соотношение стоимости таксовой стоимости древесины в зависимости от качественной категории (порода – сосна)**

Качественная категория	Крупная	Средняя	Мелкая	Дрова
Коэффициент	1,0	0,67	0,39	0,008

Таблица 6.24

**Соотношение таксовой стоимости древесины в зависимости от разряда такс (порода – сосна)**

Разряд такс	1	2	3	4	5
Коэффициент	1,0	0,70	0,58	0,51	0,45

Приведенные коэффициенты несколько колеблются по породам, но в целом общую закономерность отражают достаточно полно.

Общая формула таксовой стоимости для конкретного участка следующая:

$$T_S = \left( \frac{D}{M} + S_{\max} - S_d \right) \frac{K_S}{K},$$

где  $M$  – общий запас леса, ежегодно назначаемый в главную рубку;

$D$  – лесной доход, компенсирующий все затраты на ведение лесного хозяйства;

$S_{\max}$  – транспортные издержки из наиболее удаленного участка;

$S_d$  – транспортные издержки из рассматриваемого участка;

$K_S$  – ценностный коэффициент на искомый вид древесины;

$K$  – средневзвешенный коэффициент:

$$K_S : K = T_S : T_{\text{cp}},$$

где  $T_S$  – такса на данный вид древесины;

$T_{\text{cp}}$  – средневзвешенная такса по лесосеке:

$$K = \frac{K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots + K_n P_n}{\sum P_n},$$

где  $K_n$  – ценностные коэффициенты отдельных видов древесины;

$P_n$  – доля древесины данной категории в общем объеме лесозаготовок.

$$T_{\text{ср}} = D : M + S_{\text{max}} - Sd;$$

$$T_{\text{ср}} = D : M.$$

Приведенные формулы показывают, как формируются таксы по породам, категориям крупности и разрядам такс.

В настоящее время ставится вопрос о пересмотре такс на других принципах, соответствующих требованиям рыночной экономики. Предлагается рассчитывать таксы по цене конечной продукции лесного комплекса с учетом всех переделов древесины и получения нормативной прибыли при каждом переделе. Владелец леса (у нас государство) должен получать рентный доход. При таком подходе к формированию цены древесины на корню вся лесная продукция, которая будет иметь сбыт (в том числе и лесосечные отходы при их применении как топлива для ТЭЦ), будут иметь свою рентную стоимость.

Соотношение между таксовой стоимостью крупной, средней, мелкой деловой древесины в разрезе разрядов такс показано на примере сосны в таблицах 6.23 и 6.24.

После выполнения отвода и таксации лесосеки приступают к ее материально-денежной оценке. Она делится на две части – материальную оценку и денежную. При материальной оценке устанавливают количество древесины на лесосеке и ее разделение на лесохозяйственные сортименты, то есть на крупную, среднюю и мелкую деловую древесину, дрова и отходы. Денежная оценка лесосеки представляет определение стоимости древесины по таксам.

В настоящее время материально-денежную оценку выполняют на компьютерах по специальным программам. Но специалист лесного хозяйства должен знать весь алгоритм этой оценки, который излагается ниже. Первым этапом при оценке лесосеки является материальная оценка.

Перед началом материально-денежной оценки лесосек по сортиментным таблицам мы имеем следующий материал:

- абрис и полевой журнал съемки лесосеки;
- перечетную ведомость, где приведено распределение деревьев по породам, ступеням толщины и качественным категориям;
- замеры 9–12 высот для каждой породы, если будем вести оценку по разрядным таблицам, или измерения диаметров и высот у 12–15 деревьев при использовании безразрядных таблиц.

*Для проведения материальной оценки лесосеки с помощью разрядных таблиц нам требуется:*

- начертить план лесосеки;
- составить оценочную ведомость;
- определить разряд высот;
- по соответствующей таблице сделать оценку.

План лесосеки вычерчивается обычно в масштабе 1:10 000, а площадь вычисляют с точностью 0,01 га. На основе перечетной ведомости составляют ведомость материально-денежной оценки (таблица 6.25).

Разряд высот устанавливается по соотношению среднего диаметра и средней высоты. Делается это по упрощенной схеме:

- устанавливается центральная ступень толщины, то есть та, где сосредоточено наибольшее число деревьев. В нашем примере для сосны это 28 см. Обычно число деревьев в ступенях толщины, меньших средней в 1,5–2 раза больше, чем в более толстых. В приведенном примере очень много деревьев по 8 см. Это свидетельствует о разновозрастности древостоя на лесосеке, где после интенсивных рубок промежуточного пользования появилось много самосева.

Ниже показан пример определения разряда высот для протаксированного древостоя. В данном примере высоты (по 3 шт.) измерены для ступеней толщины 24, 28, 32 см. Затем

определяют среднеарифметическую высоту для каждой ступени толщины, где измерены деревья. Полученные средние высоты сравнивают для требуемой породы с высотами при соответствующих диаметрах в таблице для определения разрядов высот. Такие таблицы являются составной частью всех разрядных сортиментных таблиц. По наиболее близкому сходству измеренных и табличных величин устанавливается разряд высот.

#### **Пример для определения разряда высот**

Нахождение среднеарифметических высот:

$$H_{24} = (23 + 21 + 20,5) : 3 = 21,5;$$

$$H_{28} = (23,5 + 24,5 + 25) : 3 = 24,3;$$

$$H_{32} = (27 + 26 + 25,5) : 3 = 26,2.$$

Определение разряда высот показано ниже.

Центральные ступени толщины	24 см	28 см	32 см
Средние высоты фактические	21,5 м	24,3 м	26,2 м
Табличные высоты II разряда	23 м	25 м	26 м
Табличные высоты III разряда	21 м	22 м	23 м
Разряды высот по ступеням	III	II	II

Как видно, средние высоты таксируемого древостоя полностью не совпадают с табличными, но в большей части близки к высотам таблиц II разряда, а это значит, что и весь древостой сосны должен таксироваться по II разряду.

Для соответствующего разряда высот и ступени толщины берутся соответствующие данные и умножаются на число стволов. Из деловых стволов получаем крупную, среднюю и мелкую деловую древесину, дрова (приведенные в таблице для соответствующей ступени толщины) и отходы. При этом специально выделяется ликвидная древесина, то есть предназначенная для реализации. Эту древесину в практике обычно называют просто ликвидом. Он представляет из себя совокупность деловой и дров, то есть то, что имеет товарную ценность, покупается и оплачивается. А. Г. Мошкалев рекомендует термин «ликвидная древесина» заменить на «товарная древесина», но сегодня применяется термин «ликвид».

В графу «дрова» надо добавлять ликвид из кроны.

Дровяные деревья целиком (с отходами) засчитываются в дрова, добавляя к их общему запасу ликвид из кроны.

Затем проводится суммирование. Сумма в горизонтальной строке «итого» контролируется суммой в вертикальных столбцах «итого деловой», «ликвид» и «всего». На этом материальная оценка лесосеки заканчивается.

Пример заполнения ведомости материально-денежной оценки лесосеки показан в таблице 6.25.

#### **6.4.2. Денежная оценка древесины на лесосеке**

Денежная оценка проводится по таксам, действующим на момент оценки. Предварительно выясняют разряд такс, которому соответствует наша лесосека. Для этого пользуются соответствующим приказом Министерства лесного хозяйства, в котором приведены разряды такс для каждого квартала в пределах лесхоза и лесничества.

В ведомости материально-денежной оценки против каждой категории древесины представляется ее таксовая цена за 1 м<sup>3</sup>. Затем цену одного кубометра древесины умножаем на объем каждого лесохозяйственного сортимента и дров. Суммируя результаты, находим общую стоимость древесины на лесосеке. Такая оценка в качестве примера показана в таблице 6.25.



### 6.4.3. Точность сортиментации лесосек

К отводу лесосек и их материально-денежной оценке предъявляются следующие требования:

- определение площади лесосеки – 0,01 га;
- точность учета общего запаса  $\pm 10\%$  на каждой лесосеке;
- точность учета деловой древесины  $\pm 10\%$  на каждой лесосеке;
- число деревьев при повторных перерешетах (общее и по диаметру пней) должно сходиться.

Оценка качества отвода и таксации каждой лесосеки выполняется при освидетельствовании мест рубок. Эта работа проводится после завершения рубки на отведенном участке и регулируется «Правилами освидетельствования мест рубок, заготовки живицы, заготовки второстепенных лесных ресурсов и побочных лесопользований», принятых в 2007 г. (ТКП 103-2007 (02080)).

По окончании вырубki лесосеки лесозаготовители представляют справку о количестве заготовленной древесины, по общему запасу, в том числе деловой, дровяной, ликвидной древесины, хвороста из сучьев и кроны. При учете древесины по площади методом сплошного перерешета или по числу деревьев (по пням) допускается расхождение с данными лесорубочного билета  $\pm 10\%$  от общего запаса.

При учете отпускаемой древесины по площади методами закладки круговых площадок (РКПП или КППР) или по примерному количеству заготовленной древесины допускается расхождение с данными лесорубочного билета  $\pm 20\%$  от общего запаса.

В случае превышения указанных расхождений дальнейшая рубка производится только после дооформления действующего лесорубочного билета на основании документов, содержащих данные о количестве фактически заготовленной древесины: справок, нарядов-актов и т. д. При отпуске древесины на корню с учетом по количеству заготовленной древесины ее обмер производится до ее вывозки в местах временного складирования.

В эти нормативы, если подходить к отводам по всем правилам, можно уложиться.

В ряде случаев требуется знать выход лесопромышленных сортиментов. Действующие сортиментные таблицы дают такие сведения для ограниченного числа наиболее распространенных сортиментов: пиловочника, фанерного кряжа. Ряд таблиц в России, составленных за последние 20–25 лет, выход таких сортиментов показывают достаточно полно.

В настоящее время лесхозы и лесничества Беларуси оснащены современными компьютерами. Для выполнения МДОЛ разработаны компьютерные программы, учитывающие как сплошные, так и выборочные методы таксации лесосек. Дорабатывается программа и для МДОЛ с применением безрядных сортиментных таблиц.

Поэтому в настоящее время проведение МДОЛ вручную практически не встречается.

### 6.4.4. Сортиментный состав лесного фонда Беларуси

Потенциальная товарная структура лесного фонда зависит от следующих факторов:

- распределения покрытых лесом земель по древесным видам. Разные древесные породы имеют неодинаковую товарность (у хвойных она выше);
- распределения насаждений, поступающих в рубку, по классам бонитета. Древостои более высоких классов бонитета в равном возрасте имеют больше крупной древесины;
- распределения спелых древостоев по классам товарности;
- возраста рубки древостоев.

Реальная товарная структура заготовленной древесины зависит от структуры потребления. Например, при сильно развитом целлюлозно-бумажном производстве значительная часть средней деловой древесины будет использована как балансы. В других условиях эта древесина может стать пиловочником, тарником и т. д.

Для того чтобы сделать анализ товарной структуры лесов Беларуси, проанализируем краткие сведения о лесном фонде нашего государства. При этом следует учитывать, что лесной фонд находится в постоянной динамике, и приведенные данные уже через год могут изменяться. В то же время такие изменения идут медленно и за 5–10 лет обычно не выходят за пределы 5–7 %.

На начало 2023 г. в Беларуси лесной фонд занимал площадь в 9 млн 719 тыс. га. При этом покрытые лесом земли, то есть, собственно леса, составили 8 млн 935 тыс. га или 91,9 %. Леса, где разрешена лесозаготовка, составили 6,69 млн га или 80,2 %, то есть почти 20 % наших лесов не эксплуатируются. Это очень большая доля лесов, где не ведется эксплуатация.

Общий запас древесины в лесах – 1,905 млрд м<sup>3</sup>.

Ежегодное среднее изменение запаса – 34,4 млн м<sup>3</sup>.

Средний запас насаждений на 1 га – 228 м<sup>3</sup>.

Средний запас спелых насаждений – 281 м<sup>3</sup>/га.

Ежегодное среднее изменение запаса на 1 га – 4,1 м<sup>3</sup>.

За последние 60 лет лесистость увеличилась в два раза, а за 40 лет – в 1,3 раза и составила 40,1 %. Запас в спелых и перестойных древостоях составил 19,6 % от общего запаса. При этом запас спелых в хвойных насаждениях составляет 15,8 %, в твердолиственных – 20,6 % и в мягколиственных древостоях – 32,0 %.

Породный состав лесного фонда показан в таблице 6.26.

Таблица 6.26

**Породный состав лесов Беларуси**

Порода	Процент занимаемой площади в лесах
Сосна	50,1
Ель	9,3
<b>Итого хвойных</b>	<b>59,4</b>
Дуб	3,4
Прочие твердолиственные	0,6
<b>Итого твердолиственных</b>	<b>4,0</b>
Береза	23,1
Ольха черная и серая	10,4
Осина	2,2
<b>Итого мягколиственных</b>	<b>35,7</b>
Прочие (ива, кустарники)	0,9
Всего	100,0

Средний возраст древостоев – 57 лет.

Средняя полнота – 0,71.

Средний класс бонитета составляет: сосна – II,7; ель – I,5; дуб – II,3; береза – II; осина – I<sup>a</sup>,7; ольха – I,7.

Выход древесины по крупности у нас следующий.

*Главное пользование:*

- крупная – 20 %; средняя – 47 %; мелкая – 13 %; итого деловой – 80 %;
- дрова – 10 %; отходы – 10 %.

*Промежуточное пользование:* крупная – 8 %; средняя – 22 %; мелкая – 10 %; итого деловой – 42 %; дрова – 45 %; отходы – 13 %.

Сортиментная структура на главном пользовании (заготовка концерном «Беллесбум-древпром»): пиловочник – 44 %; шпальник – 3 %; тарник – 4 %; фанерное и спичечное бревно – 20 %; балансы – 26 %; подтоварник – 1 %; прочие – 2 %.

Из приведенной сортиментной структуры заготовки древесины видно, что в лесах Беларуси низкие возрасты рубок главного пользования, что ведет к преобладанию в составе лесосечного фонда средней и мелкой деловой древесины. В ближайшие годы необходимо принять меры по улучшению сортиментной структуры лесосечного фонда.

---

---

## Глава 7

# ПРИРОСТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

---

---

7.1. Определение понятия «прирост», и его классификация.

7.2. Прирост отдельных деревьев.

7.3. Прирост и производительность древостоев.

7.4. Зависимость прироста от различных факторов.

---

---

### 7.1. Определение понятия «прирост» и его классификация

Изменение тех или иных параметров живого организма (в основном увеличение) за определенный период времени называется **приростом**.

В лесных насаждениях деревья ежегодно увеличивают свою высоту, диаметр, объем ствола, то есть прирастают по этим параметрам. Биологические законы, определяющие рост деревьев, изучаются смежными с лесной таксацией науками: ботаникой, анатомией и физиологией растений и другими, которые студенты-лесоводы изучают в порядке общебиологической подготовки на 1–2 курсах.

В лесном хозяйстве познание законов и закономерностей древесного прироста имеет важное значение. Именно прирост является показателем эффективности проводимых хозяйственных мероприятий: рубок ухода, мелиорации и т. д. Особое значение имеет прирост по объему и по диаметру. Он характеризует как увеличение запасов древесины, так и улучшение их сортиментной и товарной структуры.

Фактический объем выращиваемой древесины показывает текущий прирост по запасу. Зная его величину, мы можем лучше понять природу леса и решать ряд практических задач. Без этого показателя немислимы определение эффективности лесохозяйственных мероприятий и оценка хозяйственного режима в лесу, выявление того ущерба, который приносят лесу вредные насекомые и болезни, установление производительности лесов и ее динамики. Это значит, что *текущий прирост* – один из основных показателей, характеризующих состояние и динамику роста лесов. Он необходим и для организации лесного хозяйства, так как облегчает установление возрастов спелости и рубки, уточнение размера пользования в лесу, осуществление контроля за правильностью ведения хозяйства и для решения ряда экономических вопросов. Таким образом, показатели текущего прироста не только полезны, но и необходимы.

#### 7.1.1. Средний и текущий приросты

Увеличение с течением времени древесной массы дерева или насаждения – следствие изменения величины диаметров деревьев, их площадей сечения, высот и видовых чисел. Поэтому при рассмотрении вопроса об изменении древесной массы следует изучить методы определения прироста по всем перечисленным таксационным показателям.

В лесной таксации различают два вида прироста: средний и текущий.

**Средним приростом** считают величину, на которую в среднем в единицу времени (чаще всего за год) на протяжении всей жизни дерева или насаждения изменяется абсолютная величина одного из перечисленных выше таксационных показателей. Средний прирост определяется путем деления абсолютной величины таксационного показателя на возраст дерева.

**Текущий прирост** представляет собой величину, на которую изменяется данный таксационный показатель за определенное время жизни дерева, например, за последний год или за 5 лет. Он определяется как разность в величине того или иного таксационного показателя (особенно текущего прироста) в данный момент и год или 5 лет назад.

Величину изменения таксационных показателей дерева за год точно измерить трудно, так как она весьма незначительна, а таксационные измерения имеют невысокую точность. Правда, в последнее время созданы точные электронные приборы, снимающую эту проблему. Но они дороги и используются редко. Поэтому, чаще всего, этот показатель определяют по разности таксационных показателей не за 1 год, а за  $n$  лет (5, 10 и т. д.). Например, текущий годичный прирост по объему принимают равным разности в объемах дерева, наблюдаемых в данное время и 10 лет назад, разделенной на 10. При таком определении получают вместо текущего средний годичный прирост, наблюдаемый в последний период жизни дерева.

Так как при таксации леса вместо прироста за последний год определяется прирост за определенный период  $n$  лет, его называют периодическим. Однако величина периодического прироста мало показательна для суждения об успешности роста отдельного дерева или целого насаждения. Поэтому величину периодического прироста делят на число лет  $n$  в этом периоде.

Текущий прирост дерева и древостоя обозначается буквой  $Z^{\text{тек}}$ , средний  $Z^{\text{сп}}$ . Различие в обозначении прироста дерева и древостоя заключается в наличии различных индексов при приведенных обозначениях прироста, что будет показано ниже. При определении прироста какого-нибудь таксационного признака добавляют буквы, принятые для его обозначения: по высоте  $h$ , по диаметру  $d$ , по площади сечения  $g$ , по объему  $V$ , по видовому числу  $f$ , по запасу  $M$ . Например, текущий прирост по высоте обозначаем как  $Z_h^{\text{тек}}$  и т. д.

Средний и текущий приросты по всем этим таксационным показателям определяют по нижеприведенным формулам.

Средний прирост некоторого таксационного показателя ( $T$ ):

$$Z_T^{\text{сп}} = \frac{T_A}{A}, \quad (7.1)$$

где  $Z_T^{\text{сп}}$  – средний прирост таксационного показателя  $T$ ;

$T_A$  – величина таксационного показателя в возрасте  $A$ ;

$A$  – возраст исследуемого древостоя.

$$Z^{\text{тек}} = T_A - T_{A-n}, \quad (7.1a)$$

где  $Z^{\text{тек}}$  – текущий прирост показателя  $T$ ;

$T_A$  – величина таксационного показателя в возрасте  $A$ ;

$T_{A-n}$  – величина таксационного показателя в возрасте  $T_{A-n}$ ,  $n$  – количество лет, за которые определяется прирост.

Для каждого таксационного показателя в формулу прироста вводится индекс, соответствующий обозначению этого показателя в лесной таксации. Например, прирост по диаметру, высоте и объему, запасу и т. д. выражается следующими формулами:

$$Z_D = D_A - D_{A-n}; Z_H = H_A - H_{A-n}; Z_f = f_A - f_{A-n}; \quad (7.2)$$

$$Z_q = Q_A - Q_{A-n}; Z_V = V_A - V_{A-n}; Z_M = M_A - M_{A-n}. \quad (7.3)$$

Следует строго разграничивать понятия «прирост» и «изменение запаса», которые могут существенно различаться между собой. Они делятся соответственно на текущий  $Z_M$  и средний  $Z_M^{cp}$  приросты; текущее  $\Delta_M$  и среднее  $\Delta_M^{cp}$  изменение запаса (рис. 7.1).

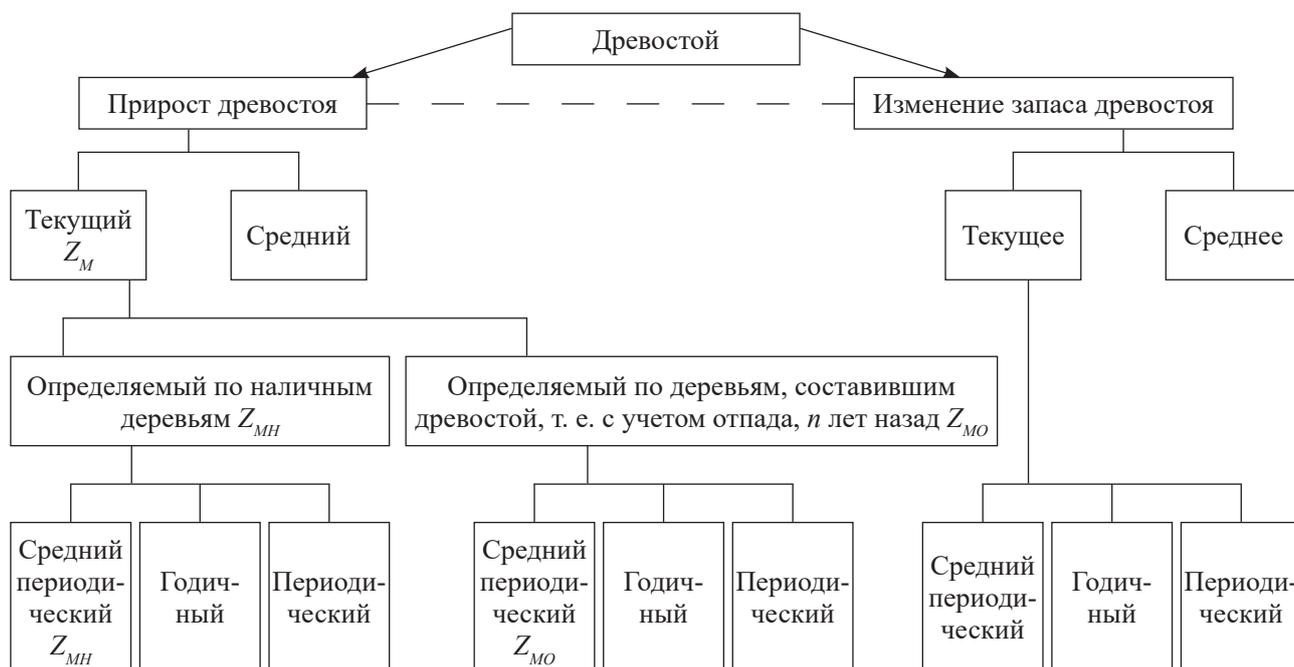


Рис. 7.1. Схема классификации прироста и изменения запаса древостоя

Текущий прирост по запасу древостоя подразделяют на два вида, определяемые по наличным деревьям  $Z_{MH}$ ; по деревьям, составлявшим древостой  $n$  лет назад  $Z_{M\sigma}$  находят в том случае, если есть данные о древостое  $n$  лет назад. Разница между этими показателями по величине незначительна (до 3 %), однако в отдельных случаях прикладного применения этих двух видов текущего прироста ее следует учитывать.

Оба вида прироста запаса древостоя имеют средний периодический (соответственно  $Z_{MH}$  и  $Z_{M\sigma}$ ), годичный ( $Z_{MH}^r$  и  $Z_{M\sigma}^r$ ) и периодический приросты ( $Z_{MH}^п$  и  $Z_{M\sigma}^п$ ).

Текущее изменение запаса древостоя подразделяют на среднее периодическое  $\Delta_M^п$ , годичное  $\Delta_M^r$  и периодическое  $\Delta_M^п$ . Изменение запаса древостоя находят обычно по разнице запасов древостоев в разном возрасте. В этом случае надо знать предыдущий запас. Если этих данных нет, то учитывают прирост на наличных деревьях и, отняв его от наличного запаса, получают запас  $n$  лет назад. При этом может быть погрешность до 5 %.

В лесной таксации существует строгая классификация прироста изменения запаса деревьев и древостоев. Она утверждена как ГОСТ 18264-72. Этот стандарт действует до сих пор. Классификация прироста и изменения запаса деревьев и древостоев показана на рисунке 7.1. Формулы, для соответствующих вычислений приведены ниже (7.4–7.25).

### 7.1.2. Формулы для определения разновидностей прироста запаса древостоя

Средний прирост запаса древостоя:

$$Z_M^{cp} = M_A^{cp} / A. \quad (7.4)$$

Процент среднего прироста запаса древостоя:

$$P_M^{cp} = 100 / A. \quad (7.5)$$

В настоящее время существует классификация прироста (рис. 7.1), описанная ниже. Формулы для вычисления прироста в соответствии с его классификацией следующие. Текущий прирост запаса древостоя, определяемый по наличным деревьям:

- средний периодический

$$Z_{MH} = (M_A - M_{A-n}) / n; \quad (7.6)$$

- годичный

$$Z_{MH}^r = M_A - M_{A-1}; \quad (7.7)$$

- периодический

$$Z_{MH}^n = M_A - C_{A-n}. \quad (7.8)$$

Процент текущего прироста запаса древостоя, определяемого по наличным деревьям:

- среднего периодического

$$P_{MH} = \frac{M_A - M_{A-n}}{M_A} \cdot \frac{100}{n} \quad (7.9)$$

или

$$P_{MH} = P_G + P_{HF} - nP_G P_{HF} / 100, \quad (7.10)$$

или

$$P_{MH} = \frac{M_A - M_{A-n}}{M_A + M_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}; \quad (7.11)$$

- годичного

$$P_{MH}^r = \frac{M_A - m_{A-1}}{M_A} \cdot 100. \quad (7.12)$$

### 7.1.3. Формулы для определения разновидностей изменения запаса древостоев

Среднее изменение запаса древостоя:

$$\Delta_M^{cp} = M_A / A; \quad (7.13)$$

процент среднего изменения запаса древостоя:

$$P\Delta_M^{cp} = 100 / A. \quad (7.14)$$

Текущее изменение запаса древостоя:

- среднее периодическое

$$\Delta_M = (M_A - M_{A-n}) / n; \quad (7.15)$$

- годичное

$$\Delta_M^r = M_A - M_{A-1}; \quad (7.16)$$

- периодическое

$$\Delta_M^n = M_A - M_{A-n}. \quad (7.17)$$

Процент текущего изменения запаса древостоя:

- среднего периодического

$$P\Delta_M = \frac{M_A - M_{A-n}}{M_A} \cdot \frac{100}{n} \quad (7.18)$$

или

$$P\Delta_M = \frac{M_A - M_{A-n}}{M_A + M_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}; \quad (7.19)$$

- годовичного

$$P\Delta_M^r = \frac{M_A - M_{A-1}}{M_A} \cdot 100 \quad (7.20)$$

или

$$P\Delta_M^r = \frac{M_A - M_{A-1}}{M_A + M_{A-1}} \cdot 200; \quad (7.21)$$

- периодического

$$P\Delta_M^{\text{п}} = \frac{M_A - M_{A-n}}{M_A} \cdot 100 \quad (7.22)$$

или

$$P\Delta_M^{\text{п}} = \frac{M_A - M_{A-n}}{M_A + M_{A-n}} \cdot 200. \quad (7.23)$$

Величину, получаемую делением наличного запаса древостоя на его возраст, называют *средним изменением запаса*. Иногда этот показатель называют средним накоплением запаса; в таблицах хода роста – средним приростом главной или господствующей части древостоя. По своему содержанию этот показатель не отображает биологического процента накопления органической древесной массы, поэтому наименование «прирост» для него не подходит. Сумма запаса древостоя, обозначаемая в настоящее время как  $M_A$ , а отпада или промежуточного пользования –  $M^{\text{отп}}$ , в стандарте названа *общей его производительностью*:

$$Z_{\text{Мпер}}^{\text{общ}} = M_A - M_{A-n}. \quad (7.24)$$

Текущий периодический прирост является промежуточной стадией расчета. Сам по себе он недостаточно наглядно характеризует интенсивность роста древостоя. Однако без него нельзя определить годичный текущий прирост. Таким образом, периодический текущий прирост играет роль промежуточного звена, посредством которого определяют годичный текущий прирост:

$$Z_{\text{Мнал}} = (M_A - M_{A-n}) / n. \quad (7.25)$$

Эта формула свидетельствует о том, что годичный текущий прирост в действительности является в пределах периода  $n$  усредненной величиной. К этому усреднению мы вынуждены прибегать вследствие того, что измерить прирост на деревьях за 1 год – задача весьма трудная, решаемая с большими погрешностями.

## 7.2. Прирост отдельных деревьев

Прирост древостоя складывается из прироста отдельных деревьев. Поэтому, прежде чем изучить прирост древостоя, рассмотрим подробно прирост дерева.

Камбиальный слой ствола и ветвей ежегодно в течение вегетационного периода откладывает новый слой древесины, а меристематические клетки верхушечной почки увеличивают высоту дерева и длину ветвей. В результате ствол и ветви растут, то есть увеличиваются в размерах. Это естественное увеличение размеров дерева называется приростом дерева. Особое значение имеет прирост ствола. Он зависит от древесной породы, условий местопроизрастания, от возраста деревьев и проводимых хозяйственных мероприятий.

При изучении прироста дерева необходимо установить закономерные связи между величиной прироста и факторами, обуславливающими его рост.

### 7.2.1. Определение прироста на срубленном дереве

На срубленном дереве методически достаточно просто найти прирост по диаметру и высоте. Путем несложных вычислений определяются приросты по видовому числу  $q_2$ , а затем и по объему. В то же время технически это трудоемкая работа, требующая большой тщательности и точности измерений.

Наиболее важным показателем является прирост объема дерева. Его определение сводится к нахождению объема ствола в настоящее время ( $V_a$ ) и  $n$  лет назад ( $V_{a-n}$ ). Методы определения прироста ствола и их точность зависят от принятого метода вычисления объема ствола. Для нахождения объема ствола применяют простые и сложные (секционные) формулы. Наиболее простым способом, хотя и имеющим низкую точность, является использование простых формул для вычисления объема ствола.

Его суть заключается в следующем: у срубленного дерева отрезают вершину; затем измеряют длину ствола без вершины, и определяется диаметр на его середине без коры. Отметим, что все измерения и вычисления прироста выполняются для диаметров без коры. На середине ствола приростным буравом берут керн древесины и измеряют прирост по радиусу за  $n$  лет. При этом  $n$  берется равным тому количеству лет, сколько колец оказалось на торце срезанной вершины (рис. 7.2).

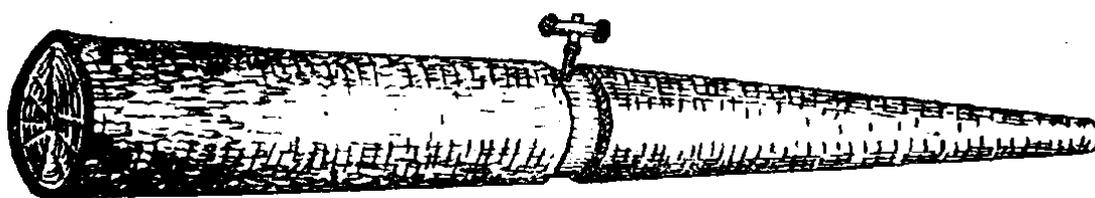


Рис. 7.2. Определение текущего прироста на срубленном дереве с помощью простых формул

Удвоив его, получают прирост по диаметру за  $n$  лет. Из величины диаметра без коры вычитают прирост по диаметру и находят диаметр  $n$  лет назад. Зная длину обезвершиненного ствола и диаметр его в настоящее время и  $n$  лет назад, можно по простой формуле срединного сечения найти объемы. Разность этих объемов, сложенная с объемом срезанной вершины и разделенная на  $n$  лет, дает текущий прирост по объему за год:

$$Z_V = \frac{g_{0,5}L_1 - g_{0,5}^1L_1 + V_B}{n} = \frac{(g_{0,5} - g_{0,5}^1)L_1 + V_B}{n}, \quad (7.26)$$

где  $g_{0,5}$  – площадь сечения без коры на середине ствола без вершины;  
 $g_{0,5}^1$  – площадь сечения ствола на середине длины  $n$  лет назад;

$L_1$  – длина обезвершиненного ствола;

$V_B$  – объем вершины, которая определяет прирост по высоте за  $n$  лет.

Объем вершины определяется по формуле объема конуса. Он составит весьма малую величину, которой можно пренебречь.

Для более точного определения текущего прироста объем обезвершиненного ствола можно вычислять по сложной формуле срединных сечений, разметив ствол на определенное число отрезков.

В таксационной практике длина отрезков  $l$  принимается за постоянную величину, устанавливаемую в 1 м, чаще всего в 2 м. При делении обезвершиненного ствола на отрезки длина последнего отрезка обычно получается несколько меньше всех остальных ( $1 - \lambda$ ). Поэтому прирост всего ствола учитывается по сложной формуле:

$$Z_V = (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots + \gamma_{n-1} - \gamma'_1 - \gamma'_2 - \gamma'_3 - \dots - \gamma'_{n-1})l + (\gamma_n - \gamma'_n)(l - \lambda) + V_B. \quad (7.27)$$

Минимальным числом отрезков, на которые может быть размечен ствол при пользовании сложной формулой срединных сечений, будет три. В этом случае определяются диаметры без коры в данный момент и  $n$  лет назад на  $1/6$ ,  $1/2$  и  $5/6$  частях обезвершиненного ствола.

Применяемая при этом формула имеет следующий вид:

$$Z_V = (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - \gamma'_1 - \gamma'_2 - \gamma'_3) L_1 / 3 + V_B.$$

Прирост ствола, размеченного на двухметровые отрезки (их количество обозначим через  $b$ ), можно определить по формуле:

$$Z_V = (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots + \gamma_n - \gamma'_1 - \gamma'_2 - \gamma'_3 - \dots - \gamma'_n)l / b.$$

А. В. Тюрин разработал метод определения текущего прироста по боковой поверхности древесного ствола без коры и ширине годичных слоев. Если площадь боковой поверхности ствола обозначить через  $S_c$ , а среднюю ширину годичного слоя через  $t$ , прирост по объему будет равен:

$$Z_V = S_c t. \quad (7.28)$$

Для определения площади боковой поверхности ствола его делят на  $n$  равных частей. Получаемые короткие отрезки можно рассматривать как цилиндры.

Боковая поверхность каждого из этих цилиндров равна:

$$S_{ц} = \pi \delta l,$$

где  $\delta$  – диаметр на середине отрезков;

$l$  – длина этих отрезков.

Боковая поверхность всего древесного ствола будет равна:

$$S_c = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n)\pi l + S_B, \quad (7.29)$$

где  $S_B$  – боковая поверхность вершины.

Площадь боковой поверхности вершины ничтожно мала, поэтому ею можно пренебречь, и формула в этом случае примет следующий вид:

$$S_c = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n)\pi l.$$

Отсюда формуле (7.29) можно придать такой вид:

$$Z_V = 3,14(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n)lt, \quad (7.30)$$

где  $t$  – средняя ширина годичного слоя, которую можно найти путем измерения ширины годичного слоя в разных сечениях ствола.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что при определении ширины годичного слоя необходимо измерить ширину нескольких слоев (5–10) и из полученных результатов измерения вывести среднюю величину.

Формула А. В. Тюрина, определяющая текущий прирост по площади боковой поверхности ствола и средней ширине годичного слоя, несколько преувеличивает величину прироста. Это объясняется тем, что последний слой у дерева наращается на боковую поверхность, которую оно имело год назад.

Большая доля прироста по объему откладывается в нижней части ствола. Поэтому при вычислении прироста по формуле (7.30) среднюю ширину годичного слоя следует выводить из результатов измерений ширины годичных слоев в нижней части ствола. Уподобляя древесный ствол цилиндру, имеющему такую же высоту, как и ствол, а основание, равное его срединному сечению, боковую поверхность ствола можно вычислить по формуле:

$$S_c = \pi dL,$$

где  $d$  – диаметр на середине ствола;

$L$  – длина ствола.

Умножив площадь боковой поверхности на среднюю ширину годичного слоя, находят прирост по объему:

$$Z_v = \pi dLt.$$

Если необходимо точно определить прирост отдельного дерева, надо применять один из способов, основывающихся на измерениях каждого отрезка, на которые размечается древесный ствол. При учете прироста множества деревьев можно исходить из средних данных. Для получения их надо определить прирост у каждого дерева путем измерения на одном из сечений.

Возможен промежуточный способ определения прироста, при котором ствол делят на три или четыре части и для каждой из них находят боковую поверхность и ширину годичного слоя по измерениям, производимым на середине этих частей.

В практике, равно как и при проведении научных исследований, применяют в основном метод определения прироста по секционным формулам. Предложение А. В. Тюрина более трудоемко, а повышение точности не дает, поэтому не нашло широкого практического применения.

Точность определения прироста дерева зависит от точности нахождения  $V_a$  и  $V_{a-n}$ . При применении простых формул она не выше 20–30 %. Использование секционных формул повышает точность до 2–5 % в зависимости от длины отрезков и точности измерений.

С помощью приростного бурава или, вырезая на срезах кружки древесины, можно точно определить прирост по диаметру. Правда, это относится к тем древесным видам, где годичные кольца хорошо видны: хвойным и твердолиственным. У рассееннопорых древесных видов – березы, осины, ольхи – кольца различаются с трудом. Для этого используют лупы большого увеличения и различные методы подкрашивания.

В практике автора был случай, когда на кружках березы возрастом 25–30 лет, взятых при температуре  $-25$  °С в Чериковском лесхозе, кольца различались столь же отчетливо как у сосны. Причину этого выяснить не удалось.

В настоящее время разработаны электронные приборы, которые автоматически считают и измеряют годичные кольца. Игла, вводимая в древесину, передает разницу в сопротивлении ранней и поздней древесины на датчик, соединенный с компьютером. Прибор может работать от аккумулятора и используется как в лаборатории, так и в лесу.

## 7.2.2. Определение процента текущего прироста у срубленных деревьев

Чтобы легче было сопоставить данные, относящиеся к отдельным деревьям и насаждениям, их прирост выражают в процентах от соответствующих величин таксационных показателей.

Величина годового прироста зависит от размеров самого дерева, поскольку объем ежегодно откладываемого слоя древесины обусловлен массой, накопленной деревом за предшествующие годы. Поэтому для определения текущего прироста деревьев можно применить правило сложных процентов, основанное на формуле:

$$V = V_n \cdot 1,0 \cdot p^n, \quad (7.31)$$

где  $V$  – объем дерева в данный момент;

$V_n$  – объем дерева  $n$  лет назад;

$p$  – процент ежегодного прироста;

$n$  – число лет, за которое вычислен прирост.

Процент текущего прироста соответственно будет определяться по формуле:

$$p = 100 \sqrt[n]{\frac{V}{V_n}} - 1. \quad (7.32)$$

Так как текущий прирост в разные периоды неодинаков, его процент будет изменяться. Между тем принцип сложных процентов предполагает неизменяемость процента хотя бы в течение некоторого промежутка времени. В связи с этим следует признать, что формула сложных процентов характеризует динамику роста деревьев довольно схематично. Вычисленный по ней процент текущего прироста может служить лишь ориентировочной мерой роста деревьев.

В широкой таксационной практике для определения текущего прироста чаще пользуются формулой простых процентов.

Текущий прирост деревьев по высоте в линейных мерах определяется по формуле:

$$Z_h = (h_a - h_{a-n}) / n. \quad (7.33)$$

Такая величина прироста наблюдается в период, когда возраст дерева изменяется от  $a - n$  до  $a$ . В промежутке между этими пределами высота дерева наиболее близка к среднеарифметической высоте в возрасте  $a - n$  и  $a$ , то есть  $(h_a - h_{a-n}) / 2$ . Поэтому, по предложению профессора Пресслера, *текущий прирост по высоте и другим таксационным показателям выражают в процентах от их среднеарифметических значений*. В этом случае процент прироста по высоте будет следующим:

$$P_h = \frac{z_h \cdot 100}{\frac{h_a + h_{a-n}}{2}} = \frac{\frac{h_a - h_{a-n}}{n} 100}{\frac{h_a + h_{a-n}}{2}} = \frac{h_a - h_{a-n}}{h_a + h_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.34)$$

Формула Пресслера применяется также для нахождения процента прироста и по другим таксационным показателям.

Прирост по диаметру ствола чаще всего определяют на основе обмеров на высоте груди. Линейная величина текущего прироста по диаметру может быть выражена в процентах по отношению к среднеарифметическому диаметру за изучаемый период.

$$P_d = \frac{d_a - d_{a-n}}{d_a + d_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.35)$$

Площадь поперечного сечения есть функция диаметра. Поэтому, установив прирост по диаметру, можно найти прирост по площади сечения. Процент текущего прироста по площади сечения определяют по подобной формуле:

$$p_g = \frac{g_a - g_{a-n}}{g_a + g_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.36)$$

Обычно годичный прирост вычисляют по десятилетиям за весь период жизни дерева. В практике лесного хозяйства может возникнуть необходимость установить прирост за более короткий промежуток времени. В этом случае техника расчетов прироста остается той же, но вычисления ограничиваются заданным периодом времени.

Процент текущего прироста по диаметру за последний год определяется по формуле:

$$p_d = z_d 100 / d_a. \quad (7.37)$$

При сравнении последних двух формул видно, что процент текущего прироста по площади сечения в два раза больше, чем по диаметру:

$$p_g = 2p_d. \quad (7.38)$$

Этот теоретический вывод подтверждается опытными данными.

Рассмотрим теперь, как определяется процент текущего прироста по объему. Используем и в этом случае сначала основную формулу Пресслера:

$$p_v = \frac{v_a - v_{a-n}}{v_a + v_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.39)$$

Объем дерева находим по формуле:

$$V_a = ghf.$$

Определить объем, который дерево имело год назад, можно по формуле:

$$V_{a-1} = (g - Z_g)(h - Z_h)(f - Z_f). \quad (7.40)$$

Подставим значения  $V_a$  и  $V_{a-1}$  в формулу (7.39). При этом в знаменателе полученной формулы вместо  $V_a + V_{a-1}$  можно принять  $2V_a$  или  $2ghf$ . При таком допущении существенной ошибки в расчетах не получится, так как у дерева в возрасте, равном нескольким десяткам лет, объем за 1 год изменяется на относительно небольшую величину. Формула, определяющая процент прироста по объему, примет следующий вид:

$$p_v = \frac{ghf - (g - Z_g)(h - Z_h)(f - Z_f)100}{ghf}. \quad (7.41)$$

После перемножения второй член числителя превращается в следующий многочлен:

$$ghf - Z_g hf - Z_h gf - Z_f gh + Z_g Z_h f + Z_g Z_f h + Z_h Z_f g - Z_g Z_h Z_f.$$

В этом многочлене 5, 6, 7 и 8-й члены представляют незначительные величины, и их можно не принимать во внимание. При этом условии формула будет такой:

$$\begin{aligned} p_v &= \frac{ghf - ghf + Z_g hf + Z_f gh}{ghf} 100 = \\ &= \frac{100Z_g hf}{ghf} + \frac{100Z_h gf}{ghf} + \frac{100Z_f gh}{ghf} = \frac{100Z_g}{g} + \frac{100Z_h}{h} + \frac{100Z_f}{f} = \\ &= p_g + p_h + p_f. \end{aligned} \quad (7.42)$$

Исходя из основной формулы (7.39), находим, что процент прироста по видовому числу:

$$p_f = \frac{f_a - f_{a-n}}{f_a + f_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.43)$$

Мы рассмотрели формулы для определения в процентах текущего прироста. Однако при таксационных расчетах может возникнуть необходимость знать в процентах не только текущий, но и средний прирост.

Если средний прирост в возрасте  $a$  обозначить через  $Z^{\text{cp}}$ , а объем таксируемого ствола через  $V$ , получим следующую формулу для определения процента среднего прироста:

$$p_v = Z / V \cdot 100. \quad (7.44)$$

Из предыдущего нам известно, что средний прирост равен абсолютной величине таксационного показателя, деленного на возраст дерева, то есть в данном случае  $V / a$ . В формуле (7.44) заменим обозначение среднего прироста  $Z$  через  $V / a$ , тогда будем иметь:

$$p_v = V100 / aV = 100 / a. \quad (7.45)$$

Из этой формулы следует, что процент среднего прироста для любого таксационного признака (объема, высоты, площади сечения и др.) зависит только от возраста. Например, процент среднего прироста всех 50-летних деревьев как по объему, так и по высоте и по любому таксационному показателю равен  $100 / 50 = 2$ .

### 7.2.3. Определение прироста у растущих деревьев

Если при определении прироста на срубленном стволе мы встречаемся только с техническими трудностями, то при вычислении прироста растущего дерева нас ожидают методические проблемы. На растущем дереве мы лишены возможности измерить прирост по радиусу на отрезках по высоте дерева. Известную неопределенность вносит и невозможность точного установления прироста по высоте, особенно у деревьев, не образующих мутовки. Поэтому основным измеряемым показателем остается прирост по радиусу или диаметру на высоте 1,3 м. В принципе современные приборы могут обеспечить измерение диаметра и прироста на любой высоте. Но такие приборы дороги, работа с ними идет очень медленно. Поэтому измерение прироста растущего дерева столь трудоемким способом экономически нецелесообразно. Названный метод может применяться в исключительных случаях.

В обычной практике исследований прирост дерева находят через процент прироста. За основу здесь берется вышеприведенная формула Пресслера (7.39)

$$P_v = \frac{V_a - V_{a-n}}{V_a + V_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.46)$$

Объем дерева принимаем равным: в данное время  $V_a = ghf$ ; а  $n$  лет назад  $V_{a-n} = g_1 h_1 f_1$ . Подставляем эти обозначения в формулу (7.46), получим:

$$p_v = \frac{ghf - g_1 h_1 f_1}{ghf + g_1 h_1 f_1} \cdot \frac{200}{n}.$$

Если допустить, что за  $n$  лет высота и видовое число остались неизменными, формула, определяющая процент прироста по объему, примет следующий вид:

$$p_v = \frac{g - g_1}{g + g_1} \times \frac{200}{n}; \quad g = \pi d^2 / 4, \quad g_1 = \pi d_1^2 / 4,$$

отсюда

$$p_v = \frac{\pi d^2 / 4 - \pi d_1^2 / 4}{\pi d^2 / 4 + \pi d_1^2} \cdot \frac{200}{n} = \frac{d^2 - d_1^2}{d^2 + d_1^2} \cdot \frac{200}{n}.$$

Для упрощения вычислений введем в формулу *относительный диаметр*. Относительным диаметром  $r$  называется частное от деления диаметра без коры  $d$  в данный момент на его прирост  $Z_d$  за  $n$  лет:

$$r = d / Z_d, \text{ отсюда } d = rZ_d.$$

Диаметр  $d_1$ , который имело дерево год назад, обозначим через  $d - Z_d$ . В этом случае можно написать:

$$d_1 = d - Z_d = rZ_d - Z_d(r - 1). \quad (7.47)$$

Подставив эти величины в формулу для нахождения процента прироста по объему, выраженного формулой Пресслера, то есть

$$p_v = \frac{d^2 - d_1^2}{d^2 + d_1^2} \cdot \frac{200}{n}, \text{ получим } p_v = \frac{r^2 Z_d^2 - Z_d^2 (r - 1)^2}{r^2 Z_d^2 + Z_d^2 (r - 1)^2} \cdot \frac{200}{n} = \frac{r^2 - (r - 1)^2}{r^2 + (r - 1)^2} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.48)$$

Формула (7.48), определяющая процент прироста по объему в зависимости от величины относительного диаметра, применима для деревьев, у которых прирост в высоту прекратился. Для деревьев, имеющих прирост в высоту, показатели степени в формуле должны соответственно измениться. По мере увеличения роста в высоту показатель степени также увеличивается. По опытным данным, величина его колеблется в пределах величин от 2 до 4.

Исходя из этого, формуле Пресслера, определяющей процент прироста по относительному диаметру, можно придать следующий общий вид:

$$p_v = \frac{r^x - (r - 1)^x}{r^x + (r - 1)^x} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.49)$$

Исследования показали, что у большей части стволов показатель степени изменяется величиной от 2 до 3,5.

Процент прироста по объему для деревьев, у которых прирост в высоту прекратился и форма ствола осталась неизменной, определяется по формуле:

$$p_v = p_g = 2p_d = 200Z_d / d.$$

Годичный прирост по диаметру  $Z_d$  равен удвоенному приросту по радиусу  $2Z_r$ . Отсюда получим:

$$p_v = 200 \cdot 2Z_r / d = 400Z_r / d.$$

Годичный прирост по радиусу  $Z_r$  представляет не что иное, как ширину одного годичного слоя. Обозначим ее через  $i$ . Тогда формула примет такой вид:

$$p_v = 400i / d. \quad (7.50)$$

При определении ширины годичного слоя подсчитывают число слоев  $n$  на последнем сантиметре толщины ствола. Разделив 1 см на число слоев  $n$ , получим среднюю ширину годичного слоя  $1 / n$ .

Подставив в формулу (7.50) вместо  $i$  величину  $1 / n$ , получим следующую формулу, определяющую процент текущего прироста:

$$p_v = 400 / dn.$$

Эта формула еще в прошлом столетии была предложена немецким лесоводом Шнейдером.

Для деревьев, имеющих прирост по высоте, соответственно интенсивности этого прироста, коэффициент, стоящий в числителе формулы, увеличивается. Коэффициент 400 соответствует показателю степени  $x$  в формуле (7.49), равному 2. Отсюда на единицу показателя степени приходится коэффициент  $400 / 2 = 200$ .

При определении по выведенной формуле процента прироста для данного дерева надо на этот показатель умножить коэффициент 200. Если диаметр дерева без коры принять 38 см, а число слоев на 1 см радиуса равным 10, процент прироста по объему составит:

$$p_v = \frac{200 \cdot 2^{\frac{2}{3}}}{38 \cdot 10} = \frac{530}{380} = 1,4 \%$$

Коэффициент, стоящий в числителе формулы, изменяется в зависимости от длины кроны и интенсивности роста в высоту. Поэтому рассмотренной формуле следует придать такой общий вид:

$$p_v = K_i / d, \text{ или } p_v = K / dn.$$

При определении прироста необходимо учитывать соотношение между приростом по высоте и по диаметру. Связь этих двух величин профессор Г. М. Турский характеризует таким уравнением:

$$h_{a-n} / h_a = (d_{a-n} / d_a)^k. \quad (7.51)$$

*Показатель степени  $k$  характеризует особенности роста деревьев.* Если  $k$  принять равным единице, формула примет следующий вид:

$$h_{a-n} / h_a = d_{a-n} / d_a. \quad (7.52)$$

В этом случае рост дерева в высоту пропорционален росту в толщину. Такой рост называют нормальным. При нормальном росте видовое число остается неизменным и ствол во всех своих частях сохраняет в росте пропорциональность. При  $k = 0$  отношение  $h_{a-n} / h_a = 1$ .

Такой характер роста наблюдается у деревьев, прекративших прирост в высоту, то есть у старых деревьев с отмирающей верхушкой.

Анализируя различные соотношения прироста по высоте и диаметру, можно прийти к выводу, что чем больше  $k$ , тем энергичнее рост в высоту в сравнении с ростом в толщину.

На основании уравнения (7.4) находим, что

$$h_{a-n} = \frac{h_a d_{a-n}^k}{d_a^k}. \quad (7.53)$$

Нам известно, что процент прироста по объему можно найти по формуле (7.46)

$$p_v = \frac{v_a - v_{a-n}}{v_a + v_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}.$$

Эту формулу выразим следующим образом:

$$p_v = \frac{g_a h_a f_a - g_{a-n} h_{a-n} f_{a-n}}{g_a h_a f_a + g_{a-n} h_{a-n} f_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.54)$$

Допустим, что в течение  $n$  лет видовое число ствола остается неизменным. Тогда этой формуле можно придать такой вид:

$$P_v = \frac{\frac{\pi d_a^2 h_a}{4} - \frac{\pi d_{a-n}^2 h_a d_{a-n}^k}{4d_a^k}}{\frac{\pi d_a^2 h_a}{4} + \frac{\pi d_{a-n}^2 h_a d_{a-n}^k}{4d_a^k}} \cdot \frac{200}{n} = \frac{d_a^{k-2} - d_{a-n}^{k+2}}{d_a^{k-2} + d_{a-n}^{k+2}} \cdot \frac{200}{n}.$$

Подставив  $x$  вместо  $k + 2$ , получим:

$$P_v = \frac{d_a^x - d_{a-n}^x}{d_a^x + d_{a-n}^x} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.55)$$

При замене абсолютных диаметров относительными выше была получена формула:

$$P_v = \frac{r^x - (r-1)^x}{r^x + (r-1)^x} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.56)$$

Мы уже говорили, что у большей части стволов показатель степени изменяется от 2 до  $3\frac{1}{3}$ . Разделив разность между этими числами на пять частей, получаем следующие нормативы для показателя степени: 2; 2,4; 2,7; 3 и 3,3.

Основываясь на правилах сложных процентов и разложив полученные величины в ряды по биному Ньютона, в результате математических преобразований Г. М. Турский получил следующую формулу для определения процента прироста по объему:

$$p_v = Kp_d, \quad (7.57)$$

или

$$p_v = \frac{d_a - d_{a-n}}{d_a + d_{a-n}} \cdot \frac{200}{n} K. \quad (7.58)$$

Ранее, когда расчеты велись лишь вручную, для упрощения счета составлялись вспомогательные таблицы и номограммы. Н. П. Анучин разработал номограмму, где по величине диаметра дерева и радиального прироста на 1,3 м определяются процент прироста и его абсолютная величина.

Так как вычисления прироста обычно делают в лабораторных условиях, где есть компьютеры, то вспомогательные таблицы и номограммы практически потеряли свое значение.

В силу того, что при нахождении процента прироста растущего дерева используется относительно субъективный показатель (энергия роста в высоту) и при этом применяются формулы для определения объема, описанный метод имеет невысокую точность: 15–30 %.

В практике часто используют таблицы прироста, составленные по средней ширине годичного слоя, по относительному диаметру дерева. Эти таблицы имеются в соответствующих справочниках.

#### 7.2.4. Анализ хода роста ствола

**Анализом хода роста древесного ствола** называются специальные исследования, ставящие своей задачей изучить динамику роста дерева или изменение с возрастом его размеров.

Выбор дерева для анализа ствола зависит от цели исследования: в одних случаях выбирают самое толстое и самое высокое, в других – среднее для данного насаждения дерево. Исследователь, задавшийся целью произвести анализ ствола, должен выбирать не случайное дерево, а типичное, удовлетворяющее поставленной задаче.

*Выбранное для анализа растущее дерево прежде всего нужно описать на корню.* В описании следует указать, к какому классу развития оно относится, какая у него форма кроны, размеры ее проекции, на каком расстоянии находятся соседние деревья, как они расположены

по отношению к анализируемому дереву, их породу, диаметр на высоте груди и высоту. Необходимо также подробно описать природную среду, в которой возникло и росло дерево (местоположение, почву, характер окружающего насаждения, подрост, подлесок, напочвенный покров), указать степень очищенности ствола от сучьев и прочие сведения. Все эти данные заносят в особый бланк.

У анализируемого дерева отмечают северную и южную стороны и устанавливают местоположение шейки корня. От правильности его установления зависит точность определения возраста.

Прежде чем спилить дерево, необходимо подготовить вокруг него место, чтобы было удобно работать бензопилой и топором, тщательно очистить шейку корня от мха и наслоений подстилки, а если она несколько углублена в землю – также и от земли. Затем выбирают направление валки дерева с таким расчетом, чтобы оно не зависло на окружающих деревьях. В том месте, где дерево должно упасть, кладут поперечные подкладки, чтобы его удобнее было разделять.

Чтобы сохранить в целости срез шейки корня, подпил надо сделать ниже намеченной линии среза. Вообще, следует принять все меры к тому, чтобы не испортить нижний срез и чтобы при падении дерева сохранились все части ствола вплоть до самой вершины. У срубленного дерева прежде всего измеряют расстояние от основания ствола до первого мертвого и первого живого сука, затем до начала кроны. Ствол очищают от сучьев, обязательно сохраняя его вершину, и размечают на отдельные отрезки (рис. 7.3).

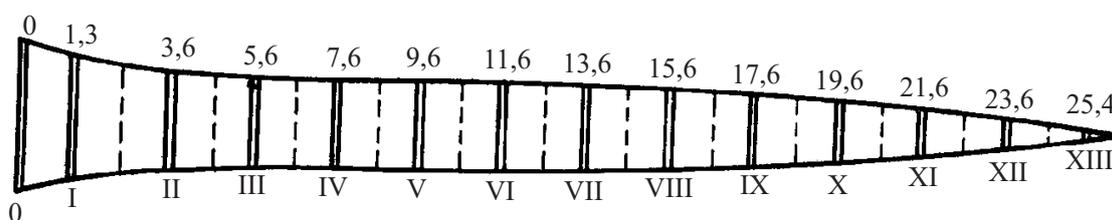


Рис. 7.3. Схема разметки древесного ствола при анализе

Длина всех отрезков может быть одинакова, или первый отрезок делают равным удвоенному расстоянию от шейки корня до высоты груди, то есть 2,6 м. Остальные отрезки намечают длиной по 2 м. В зависимости от цели анализа ствола и требуемой точности исследования можно принять и другую длину отрезков, например через  $0,1H$ . При делении ствола на отрезки отмечают их середины, то есть места, где должны быть вырезаны кружки для анализа. Последний кружок выпиливают у основания вершины. В местах, намеченных для выпиливания кружков, обозначают северную и южную стороны, руководствуясь пометками стран света, сделанными на высоте груди и у шейки корня.

Выпиливать кружки начинают от основания к вершине, причем первый срез делают на месте отметки, а второй – отступая от него к вершине на толщину кружка. Если отметка придется на основание сучьев, ее переносят несколько ниже их.

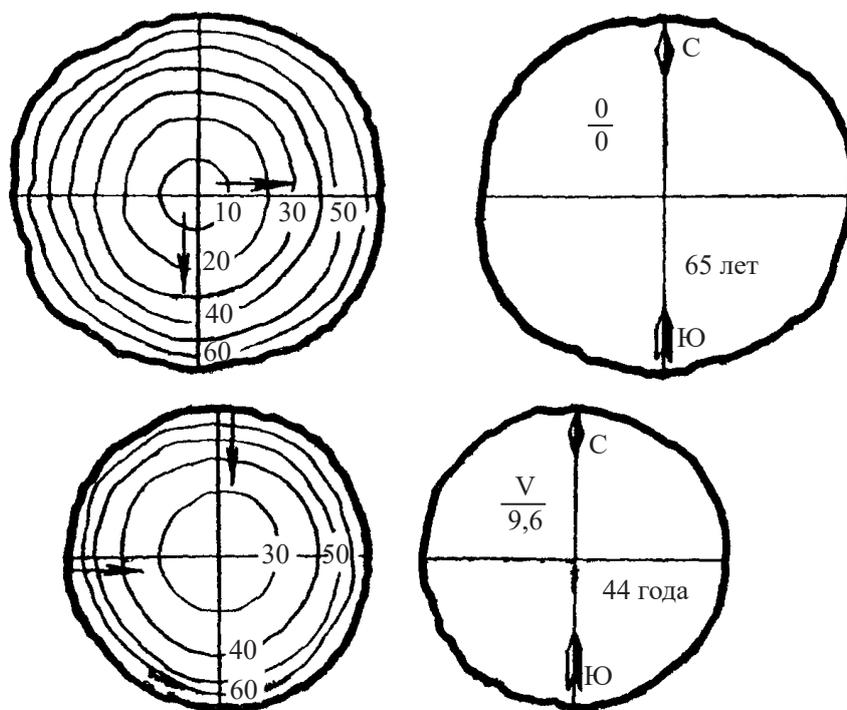
Толщина кружков по мере возможности должна быть поменьше. Здесь надо учитывать и возможности сохранить кружки невредимыми при транспортировке. Обычно их толщина колеблется от 1 до 4 см в зависимости от диаметров. Кружки необходимо выпиливать перпендикулярно оси ствола.

Каждому отпиленному кружку дают определенный номер. При этом соблюдается следующий порядок нумерации: если дерево для анализа взято на пробной площади, указывают номер модели и номер кружка: в числителе номер пробы и модели, а в знаменателе – кружка; при анализе ствола, без закладки пробных площадей ставят только порядковый номер кружка. Обозначения делают на несколько сглаженной верхней части кружков. Нижние части кружков, то есть обращенные к основанию ствола, используют для подсчета годичных колец и измерения диаметров.

Вырезанием кружков заканчивается работа по анализу ствола в лесу. Дальнейшие исследования производят камеральным путем. Обработку кружков лучше начать немедленно. К сожалению, сделать это удастся редко. Поэтому следует правильно сохранить собранный материал. Во избежание растрескивания, усушки и деформации кружки помещают в полиэтиленовые пакеты. Туда добавляют небольшое количество технического спирта, смешанного с глицерином. Мешки плотно завязывают. В таком виде собранный материал может сохраняться довольно долго.

Перед началом измерений у кружков следует сгладить поверхность, на которой должен производиться отсчет годичных колец, чтобы лучше увидеть их наложение. В зависимости от цели, точности исследования и имеющихся возможностей кружки обрабатывают на строгальном или шлифовальном станке. При ограниченных возможностях на поверхности кружков стамеской вырезают желобки в направлении диаметров с севера на юг и с востока на запад.

Затем на кружках подсчитывают годичные слои. Считают их обычно десятками или по пять штук. Прежде всего, *пересчитывают слои на нулевом кружке* (рис. 7.4). *Счет на нем ведут от центра (сердцевины) к периферии*. Каждые десять или пять слоев отделяют, обводя по всему годичному слою замкнутый круг. В последнем, периферийном, отсчете чаще всего десяток или пяток слоев оказывается неполным.



**Рис. 7.4. Порядок счета слоев от центра к периферии на кружке, выпиленном у шейки корня (верхняя часть рисунка), и от периферии к центру на кружке, выпиленном на высоте 9,6 м (нижняя часть рисунка)**

При счете годичных слоев замечают характерные слои, резко отличающиеся от других по ширине, окраске, толщине летней древесины и т. п. По этим слоям проверяют правильность отметок по десяткам в последующих кружках, так как обычно такие слои хорошо заметны почти на всех кружках.

На остальных кружках, начиная с первого, счет годичных слоев ведут от периферии к сердцевине. Сначала от периферии откладывают неполный десяток или пяток годичных колец, который получился при подсчете на нулевом кружке, а далее ведут счет по десяткам или пятеркам. Такой порядок разметки годичных слоев важен потому, что дает возможность определять размеры анализируемого ствола в разные периоды его жизни.

Допустим, что анализируемый ствол имеет возраст 55 лет. Если на всех выпиленных кружках отсчитать в направлении от периферии к центру с обоих концов диаметра пять слоев и ширину их исключить из величины диаметра, то в итоге получим диаметр анализируемого ствола в возрасте 60 лет. Количество годовичных колец, оказавшихся на каждом кружке, записывают в соответствующую графу формы анализа ствола (таблица 7.1).

Таблица 7.1

Пример заполнения формы анализа ствола сосны

№ отреза	Высота отреза / число слоев	Диаметр сечений (см) в возрасте, лет							Возраст дерева, в котором оно достигло высоты среза
		55		50	40	30	20	10	
		В коре	Без коры						
0	0/55	37,5	34,5	32,7	28,8	—	—	—	—
1	1,3/49	28,7	26,7	25,6	22,8	16,9	12,6	5,6	8
2	2,0/45	26,0	25,0	24,4	21,8	15,2	11,7	2,3	10
3	4,0/42	23,8	23,0	22,1	20,8	13,9	10,5	-	13
5	6,0/39	21,8	21,0	20,5	18,4	13,0	8,3	-	15
...	...	...	...	...	...	...	...	...	49 ...
12	2,9/6	5,4	4,8	—	—	—	—	—	
Высота, м		24,3	24,3	22,7	19,3	15,4	10,6	5,5	
Длина вершинки, м		0,3	0,3	0,7	1,3	1,4	0,6	1,5	
Диаметр вершинки, см		1,3	0,9	1,1	1,3	1,5	0,9	2,1	

После подсчета и разметки годовичных слоев обмеряют диаметры тех сечений на каждом кружке, которые образовались в результате отграничения их по десятилетиям или пятилетиям. В зависимости от требуемой точности диаметры измеряют в миллиметрах или долях миллиметра с точностью до 0,25 мм.

В тех случаях, когда желобки, проведенные через сердцевину сечений ствола в направлении с севера на юг и с востока на запад, идут через очерченные круги, как и их диаметры, а не как хорды, эти диаметры можно измерять по линиям желобков. Если обнаружится, что желобки для некоторых сечений являются хордами, то для измерения диаметров в таких сечениях надо провести другие линии, несколько отступив от направлений по странам света, но с таким условием, чтобы эти линии были диаметрами. Проводить такие линии через сердцевину нет необходимости, так как в подобных случаях она не будет центром кругов. Для измерения диаметров могут быть взяты и другие направления, например, наибольшего и наименьшего диаметров, в зависимости от целей исследования и заданной точности.

Величину измеренных диаметров записывают в специальную форму для анализа (таблица 7.1). Диаметры кружков, относящиеся к определенным периодам (10, 20, 30 лет и т. д.), заносят в соответствующие графы. В результате получают для каждого принятого периода диаметры на разной высоте (при длине первого отреза 2,0 м и последующих 2 м), соответствующих высот, на которой вырезали кружки, то есть у основания, на высоте 1,3 м, 2,0 м и т. д.

Для вычислений площадей сечения на высоте каждого отреза в таблице 7.1 справа добавляют еще одну часть, где записывают аналогично диаметрам их площади сечения. В итоге этой части таблицы по площадям сечений на определенных высотах вычисляют объемы отрезков. Суммируя их, получаем объемы ствола в каждом интересующем нас возрасте.

По диаметрам на середине отрезков можно определить их объемы как объемы цилиндров. Для получения объема всего ствола находят сумму объемов цилиндров и прибавляют к ней объем вершины, которая начинается от конца последнего отреза. Чтобы определить объем

вершины ствола, относящейся к различным периодам, надо знать высоту ствола, соответствующую этому периоду, и длину вершины. Для этого определяют возрасты, в которые дерево достигло высоты, на которой выпилены соответствующие кружки. Эти возрасты составляют разность между числом годовичных слоев на нулевом кружке и числом слоев, оказавшихся на кружках, вырезанных на различной высоте.

При анализе ствола в первую очередь необходимо установить ход роста в высоту. Для этого сравнивают число годовичных слоев на вырезах, взятых на разной высоте от шейки корня.

В нашем примере у шейки оказалось 55 слоев, а на высоте груди (1,3 м) 49 слоев. Вычтя из числа слоев нулевого сечения число слоев на высоте 1,3 м, находим, что дерево достигло высоты 1,3 м в 6 лет. На вырезе, взятом на высоте 2,0 м, число слоев равно 45. Эту цифру вычитаем из 55. Полученная разность, равная 10 годам, определяет возраст, в котором дерево достигло высоты 2,0 м. Подобным образом можно найти возраст для всех последующих сечений, расположенных на разной высоте.

Установив высоту ствола в 8, 10, 13, 15 лет и т. д., можно построить график, отложив по оси абсцисс эти возрасты, а по оси ординат – соответствующие им высоты. Полученный ряд точек соединяют плавной линией, которая является кривой хода роста анализируемого ствола в высоту. При помощи этого графика находят высоту, которую ствол имел в 10, 20, 30, 40 и 50 лет. Полученные данные заносят в бланк анализа ствола.

Для определения длины вершин размером менее 2 м и диаметров их оснований необходимо построить продольные сечения ствола в принятые периоды, то есть в 10, 20, 30 лет и т. д. Продольное сечение может быть построено по диаметрам (полное сечение) или по радиусу (половинное сечение).

При построении продольного сечения по диаметрам к линии основания под прямым углом проводят ось ствола, на которой в определенном масштабе откладывают расстояния от вырезанных кружков до нулевого сечения и высоты стволов, найденные по графику. На всех сечениях, начиная от нулевого, откладывают также в определенном масштабе их диаметры – одной половиной в одну сторону от оси, а второй – в другую. При половинном сечении откладывают полудиаметры в одну сторону. Соединив точки, относящиеся к определенному возрасту дерева, получают образующую ствола для данного возраста (рис. 7.5). Отмечая затем по оси продольного сечения границы отрезков линиями, перпендикулярными оси, получают длину вершины, равную расстоянию от верхней границы последнего отрезка до конца ствола. Диаметры верхних границ последних отрезков будут диаметрами оснований вершин. Длину вершин и диаметры их оснований для каждого периода записывают внизу левой страницы формы анализа ствола. Этим заканчивается подготовительная стадия обработки материалов по анализу ствола.

Вторая стадия заключается в определении объема ствола для каждого периода. В приведенном примере необходимо было найти объем ствола в возрасте 55 лет, затем в 50, 40, 30, 20 и 10 лет. Объем ствола для каждого периода определяют как сумму объемов выпиленных отрезков плюс объем вершины.

Объем ствола можно найти двумя способами. При первом способе по диаметрам и длине отрезков определяют их объемы как объемы цилиндров, а объем вершины как объем конуса. При втором способе по срединным диаметрам отрезков находят площади сечений. Для отрезков одинаковой длины сумму их площадей сечений умножают на длину этих отрезков. Полученные объемы отрезков разной длины складывают и прибавляют к ним объемы вершинок. В приведенном примере анализа объемы ствола в разном возрасте вычислены вторым способом и записаны в правой части формы анализа ствола.

Последняя стадия работ по анализу ствола заключается в изучении полученных цифровых данных, то есть вычислений приростов по высоте, диаметру на высоте груди, площади сечения и объему.

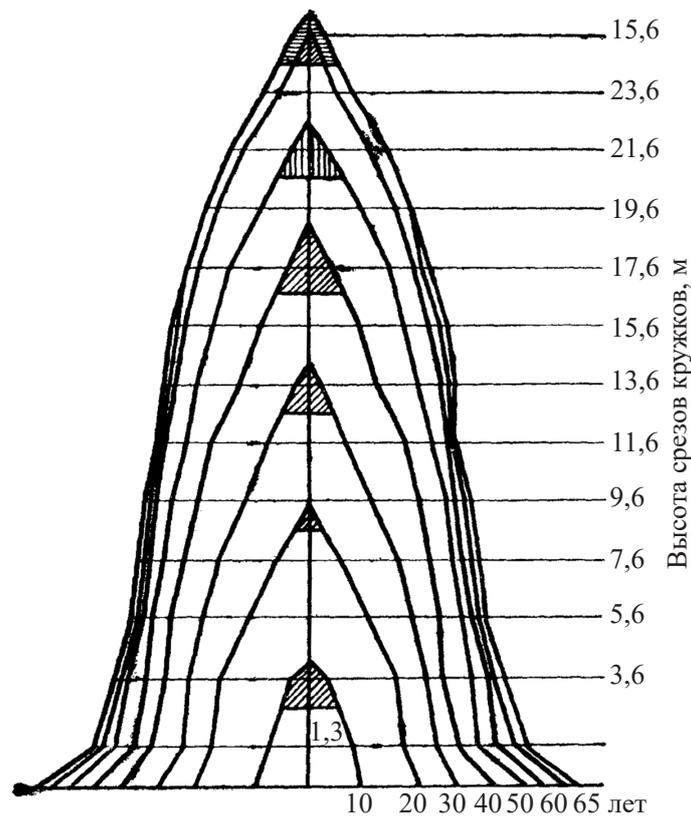


Рис. 7.5. График продольного сечения древесного ствола по данным анализа

На основании этих данных по формуле  $Z_v = V_a / a$  для каждой возрастной стадии определяют средний прирост по объему, а по формуле  $Z_v = (V_a - V_{a-n}) / n$  – текущий прирост по объему.

После того как установлены высота, диаметр, площадь сечений и объем стволов в отдельные возрастные периоды, вычисляют видовые числа. Полученные данные заносят в итоговую таблицу (таблица 7.2), графы 2–9). Пример заполнения таблицы 7.2 сделан на основе анализа рисунков 7.4 и 7.5. По данным таблицы 7.2 легко вычисляются абсолютные величины приростов и проценты прироста по основным таксационным показателям.

Таблица 7.2

Пример заполнения итоговой таблицы анализа ствола

Возраст, лет	Ход роста				Прирост, дм <sup>3</sup>	
	по высоте, м	по диаметру, см	по объему, м <sup>3</sup>	по видовому числу	средний	текущий
10	4,2	5,7	0,0072	0,685	0,7	0,7
20	9,2	13,0	0,0679	0,556	3,4	6,1
30	14,4	16,9	0,1704	0,528	5,6	10,2
40	19,1	20,3	0,3141	0,508	7,8	14,4
50	22,6	22,6	0,4859	0,528	9,7	17,5
60	25,4	25,6	0,6624	0,506	11,0	17,3
65	26,3	26,7	0,7291	0,495	11,2	13,3

Как видно из приведенного ряда видовых чисел, с увеличением возраста дерева видовые числа уменьшаются. В нашем примере исключением является видовое число, которое имел ствол в возрасте 50 лет. Это, по-видимому, является результатом изменившихся в этот период условий роста дерева, что привело к наращиванию более узких годовичных слоев в нижней части ствола и более широких в вершине.

Установив видовые числа для разных возрастов дерева, определяют с помощью формулы  $Z_f = (f_a - f_{a-n}) / n$  текущий прирост по видовому числу и вносят его в графу 10. Как видим, с увеличением возраста деревьев наблюдается отрицательный прирост по видовому числу, за исключением возраста 40–50 лет.

Анализ приведенных цифр подтверждает высказанные ранее выводы и позволяет сделать ряд новых практически важных выводов. Из предыдущего материала нам известно, что процент прироста по площади сечения в среднем в два раза выше процента прироста по диаметру. Проценты прироста по объему близки к сумме процентов прироста по площади сечения, высоте и видовому числу. У деревьев, имеющих высоту более 2,6 м, с увеличением возраста видовое число уменьшается, вследствие чего прирост по видовому числу характеризуется отрицательной величиной.

Сумма процентов приростов по площади сечения и высоте оказывается несколько больше, чем процент прироста по объему. Наблюдения показывают, что процент прироста по видовому числу округленно составляет 0,3 от процента прироста по высоте. Отсюда для приближенного определения процента прироста по объему можно применять следующую формулу:

$$p_v = pg + 0,7p_h. \quad (7.59)$$

Рассмотрим вопрос о точности результатов, полученных при анализе ствола. Для этого применим формулу:

$$p_v = p_g + p_h + p_f. \quad (7.60)$$

Допустим, что в этих трех компонентах, определяющих процент прироста по объему, допущены ошибки  $p'_g, p'_h, p'_f$ . Из теории ошибок известно, что ошибка суммы равняется квадратному корню из суммы квадратов ошибок отдельных слагаемых. Следовательно, ошибка процента прироста по объему будет равна:

$$p_v = \pm \sqrt{(p'_g)^2 + (p'_h)^2 + (p'_f)^2}. \quad (7.61)$$

Известно, что процент прироста по площади сечения в два раза выше процента прироста по диаметру. Соответственно этому:

$$p'_g = 2p'_d. \quad (7.62)$$

Подставив выражение (7.62) в формулу (7.61), получим:

$$p'_v = \pm \sqrt{4(p'_d)^2 + (p'_h)^2 + (p'_f)^2}. \quad (7.63)$$

При определении диаметров и высоты деревьев неизбежны ошибки измерений, а также связанные с округлением результатов.

При анализе ствола изменения диаметров учитываются по десятилетиям с дробностью 1 мм. В этом случае ошибка округления будет близка к  $\pm 0,3$  мм. При средней ширине годичного слоя 1,5 мм прирост по диаметру за 10 лет будет равен 30 мм. Ошибка измерения от этой величины составит  $\pm 1$  %.

Высоту стволов измеряют с округлением до 10 см. Средняя ошибка округления от этой величины составляет 1/3, то есть около  $\pm 3$  см. По отношению к приросту за 10 лет, в среднем равному 3 м, ошибка округления при измерении составит  $\pm 1$  %.

Вследствие неправильностей формы поперечных сечений и интерполяций, допускаемых при установлении высоты анализируемого дерева, ошибки в вычислении диаметра и высоты можно принять  $\pm 1,5$  %, а ошибку в установлении видового числа  $\pm 2$  %. Подставим эти величины в формулу (7.64):

$$p'_v = \pm \sqrt{4 + 1,5^2 + 1,5^2 + 2^2} = \pm 4 \%. \quad (7.64)$$

Этот расчет позволяет заключить, что при самом тщательном определении объемного прироста путем проведения анализа ствола ошибка в полученных конечных результатах в среднем составляет  $\pm 4\%$ .

Анализ ствола довольно трудоемкое дело. В настоящее время разработаны приборы, существенно облегчающие эту работу. Электронный датчик в виде специальной иглы, пронизывая подготовленные кружки, по разнице сопротивления (в некоторых случаях на основе других физических или химических принципов) передает данные на компьютер, на дисплее которого будут показаны цифровые значения ширины годовых колец. Специальная программа позволяет автоматически заполнить требуемые формы таблиц.

### 7.3. Прирост и производительность древостоев

В отличие от прироста дерева, прирост древостоя – более сложное понятие. Прирост древостоя представляет собой сумму приростов отдельных деревьев, то есть:

$$Z_{др} = \sum Z_{дер}. \quad (7.65)$$

В процессе роста леса часть деревьев отмирает или вырубается. Эта отмершая часть насаждения называется *отпадом*. Если бы нас интересовал только прирост растущих деревьев, то определить его было бы методически несложно: надо из запаса в возрасте  $A$  отнять запас в возрасте  $A - n$  лет. Но наличие отпада требует увеличить существующий запас на величину отпада. Поэтому текущий прирост насаждения (древостоя) определяется по формуле:

$$Z_A^{тек} = M_A - M_{A-n} + O_n, \quad (7.66)$$

где  $Z_A^{тек}$  – текущий прирост за  $n$  лет;

$M_A$  – запас древостоя в возрасте  $A$  лет;

$M_{A-n}$  – запас древостоя в возрасте  $A - n$  лет;

$O_n$  – запас отпада за  $n$  лет;

$n$  – период, за который определяют прирост.

Например, запас древостоя сосны при полноте 0,8 для 2-го класса бонитета в 60 лет составил 260 м<sup>3</sup>/га. В 50 лет запас на этом участке был 220 м<sup>3</sup>/га. За 10 лет запас увеличился на 40 м<sup>3</sup>/га или в среднем по 4 м<sup>3</sup>/га в год. Этот показатель называется *изменением запаса* и обозначается греческой буквой дельта:  $\Delta_M^{тек}$ .

В то же время за этот период отмерло 420 деревьев, запас которых (отпад) составил 42 м<sup>3</sup>. Для получения общей продуктивности древостоя за период с 50 до 60 лет нам надо сложить  $M_{A-n}$ ,  $O_n$  и  $\Delta_M^{тек}$ . Для нашего примера

$$P_M^{общ} = 320 \text{ м}^3/\text{га} + 42 \text{ м}^3/\text{га} + 40 \text{ м}^3/\text{га} = 402 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Текущий прирост за этот период будет равен

$$\Delta_M^{тек} = 260 \text{ м}^3/\text{га} - 220 \text{ м}^3/\text{га} + 42 \text{ м}^3/\text{га} = 82 \text{ м}^3/\text{га}.$$

В среднем за год это будет 8,2 м<sup>3</sup>/га. Если бы определяли общую продуктивность нашего древостоя в 50 лет, то нашли бы ее равной 342 м<sup>3</sup>. Разница в общей продуктивности в  $A$  и  $A - n$  лет дает текущий прирост. Нетрудно убедиться, что оба метода расчета приводят к одинаковому результату – 8,2 м<sup>3</sup>/га, то есть  $424 \text{ м}^3/\text{га} - 342 \text{ м}^3/\text{га} = 8,2 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Таким образом, констатируем следующее: разница наличных запасов древостоя дает текущие изменения запаса  $\Delta_M^{тек}$ . Величина наличного запаса, деленная на возраст, равна среднему изменению запаса:

$$\Delta_M^{\text{ср}} = \frac{M_A}{A}. \quad (7.67)$$

Общая производительность древостоя за  $A$  лет, то есть наличный запас плюс весь отпад (и вырубленная при уходе древесина) – это показатель общей производительности насаждения ( $\Pi$ ).

$$\Pi_M = M_A + O_A, \quad (7.68)$$

где  $M_A$  – наличный запас в  $A$  лет;

$O_A$  – запас отпада (и вырубленной древесины) за  $A$  лет.

Текущий прирост определяется как:

$$Z_M^{\text{тек}} = \Pi_A - \Pi_{A-n}, \quad (7.69)$$

где  $\Pi_{A-n}$  – общая производительность  $n$  лет назад.

Средний прирост будет:

$$Z_M^{\text{ср}} = \frac{\Pi_A}{A}. \quad (7.70)$$

Из формул (7.69) и (7.70) нетрудно вывести вышеприведенное основное уравнение (7.66) для нахождения текущего прироста.

В отличие от текущего прироста дерева, который в отдельные неблагоприятные годы может быть равен нулю, но не бывает отрицательным, текущий прирост древостоя может быть с минусом. Это происходит, если величина отпада превышает прирост на растущих деревьях. Такое явление наблюдается в перестойных древостоях в стадии их распада или при сильном повреждении насаждений вредителями, болезнями, пожарами и другими стихийными бедствиями. Отрицательная величина текущего прироста может быть следствием чрезмерной вырубki древесины при промежуточном пользовании.

В отличие от текущего прироста, средний прирост (и среднее изменение запаса) представляет собой только положительную величину, которая всегда больше нуля. На практике чаще всего определяют текущий периодический прирост за 5 или 10 лет и на его основе находят текущий прирост за 1 год.

Наиболее точно текущий прирост можно вычислить путем повторных обмеров на постоянных пробных площадях. В этом случае расчет ведут по формуле:

$$Z_M = (M_A^{\text{общ}} - M_{A-n}^{\text{общ}}) / n. \quad (7.71)$$

В силу большой трудоемкости и длительности определения текущего прироста на постоянных пробных площадях, этот метод применяется ограниченно. Чаще всего текущий прирост находят путем однократных обмеров деревьев на временных пробных площадях по формуле:

$$Z_{M \text{ нал}} = (M_A - M_{A-n}) / n. \quad (7.72)$$

В этой формуле  $M_A$  означает древесный запас древостоя, имеющийся в данный момент;  $M_{A-n}$  – запас всех деревьев в этом же древостое, уменьшенный на величину прироста этих деревьев за  $n$  лет.

Таким образом, путем однократных обмеров определяется текущий прирост по запасу только того числа деревьев, которые составляют древостой в момент его таксации. Это неполный прирост.

В отдельные периоды жизни насаждения соотношение между количеством древесины, наращиваемой за год стоящими на корню деревьями, и кубатурой отмерших за этот год деревьев,

бывает различным и зависит от возраста насаждения. В развитии и росте древостоя устанавливают *первую фазу*, характеризующуюся непрерывным увеличением запаса. По исследованиям А. В. Тюрина, у сосновых насаждений эта фаза заканчивается к 160-летнему возрасту, после чего наступает *вторая фаза*, когда запас древесины в древостое уменьшается, и прирост, определяемый по разности запасов древостоя во времени, оказывается отрицательной величиной. Полное отмирание неэксплуатируемых сосновых насаждений, по данным А. В. Тюрина, наступает в 360-летнем возрасте.

Рассмотренная нами динамика изменения древесных запасов определяет величину прироста насаждения. Эта динамика, включающая два противоположных процесса в развитии насаждения, обуславливает величину среднего и текущего приростов насаждения, определяемую по следующим формулам:

$$Z_M^{\text{cp}} = (M_A + \sum M_o) / A, \quad (7.73)$$

$$Z_M^{\text{тек}} = (M_A - M_{A-n} + M_o) / n, \quad (7.74)$$

где  $Z_M^{\text{cp}}$  – средний годичный прирост насаждения;

$Z_M^{\text{тек}}$  – текущий прирост насаждения;

$M_A$  – запас насаждения в возрасте;

$M_A; M_{A-n}$  – запас насаждения в возрасте  $n$  лет назад;

$M_o$  – отпад древесины за  $n$  лет;

$\sum M_o$  – сумма отпада древесины с момента возникновения насаждения до возраста  $A$ .

Так как величину  $\sum M_o$  определить трудно, в широкой производственной практике ею часто пренебрегают и средний прирост насаждения принимают как частное от деления наличного запаса на возраст насаждения. Фактически это будет не средний прирост, а среднее изменение запаса, величина которого всегда меньше среднего прироста. Следует отметить, что в последние 25–30 лет в лесном хозяйстве Беларуси эти термины, то есть средний прирост и среднее изменение запаса, употребляют правильно как при Государственном учете лесного фонда, так и в других случаях.

На основании формулы (7.65) можно заключить, что запас насаждения с возрастом изменится лишь на разность между текущим приростом и ежегодным отпадом древесины в насаждении. В связи с этим следует еще раз подчеркнуть, что *текущий прирост и изменение с возрастом запаса насаждений – величины неравнозначные*.

Из вышеизложенного вытекает, что текущий прирост насаждений можно определить двумя способами: 1) повторными обмерами деревьев на постоянных пробных площадях и 2) путем рубки моделей и однократного обмера насаждения.

При определении текущего прироста способом повторных обмеров деревьев устанавливают разность запасов, найденных при первом и втором обмерах, и прибавляют к ней кубатуру деревьев, вырубленных или отмерших за этот период. Аналогичным путем определяют прирост суммы площадей сечения деревьев.

Для применения первого способа нужно заложить постоянные пробные площади и производить на них систематические наблюдения. Все отмирающие и поваленные ветром деревья необходимо своевременно учитывать. Общий объем этих деревьев определяет величину отпада за соответствующий период.

Текущий годичный прирост насаждения по площади сечения определяется по следующей формуле:

$$Z_G = (\sum G_A - \sum G_{A-n} + G_{\text{отп}}) / n, \quad (7.75)$$

где  $\sum G_A$  – сумма площадей сечения насаждения при повторной таксации;

$\sum G_{A-n}$  – сумма площадей сечения  $n$  лет назад;

$G_{\text{отп}}$  – сумма площадей сечения деревьев, отмерших за  $n$  лет, прошедших между первой и повторной таксацией.

Текущий прирост других таксационных показателей находят простым вычитанием меньшей величины из большей. Например, средний диаметр древостоя в возрасте 50 лет равен 17 см, а в 40 лет он соответствовал величине в 14 см. Тогда прирост по среднему диаметру составил за 10 лет 3 см, а в среднем за год – 0,3 см.

При определении прироста методом модельных деревьев сначала находят одним из описанных выше способов текущий прирост каждой срубленной модели, а затем определяют текущий прирост всего насаждения. Модели для определения прироста насаждения берут обычно по ступеням или классам толщины.

Порядок отбора моделей и вычисление соответствующих показателей изложены выше при описании работы на пробных площадях.

По абсолютному текущему приросту моделей определяют текущий прирост ступеней толщины, классов и т. д. Суммируя эти величины вычисляют текущий прирост древостоя, то есть находят его абсолютную величину.

$$Z_M = Z_1 n_1 + Z_2 n_2 + \dots + Z_n n_n, \quad (7.76)$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_n$  – число деревьев в отдельных ступенях толщины.

При ограниченном числе моделей (до 7–8 шт.) их предпочтительнее брать их по классам толщины. Если модели взять по способу деления деревьев по классам с одинаковым числом деревьев, наличный текущий прирост насаждения определяют на основании формулы:

$$Z_M = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \cdot \frac{\sum G}{G_{\text{мод}}}, \quad (7.77)$$

где  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  – абсолютный прирост отдельных моделей по объему;

$\sum G$  – сумма площадей сечения всех деревьев на пробной площади;

$G_{\text{мод}}$  – сумма площадей сечения срубленных моделей.

Можно определить прирост растущих деревьев насаждения по моделям путем построения графика или его математического выражения. Абсолютные приросты отдельных моделей откладывают по оси ординат, а соответствующие им диаметры на высоте груди или площади сечений – по оси абсцисс. При откладывании по оси абсцисс диаметров получают кривую приростов насаждения, а при откладывании площадей сечений – прямую приростов насаждения. Умножив величину прироста одного дерева по объему на число деревьев в ступени, получают прирост для каждой ступени толщины, а после сложения всех найденных величин – для всего наличного насаждения. Формула для определения прироста насаждения при помощи графика та же, что и при взятии моделей по ступеням толщины.

Как известно, наиболее характерны для насаждения деревья средних ступеней толщины, на долю которых приходится большая часть запаса. Если у деревьев этих ступеней толщины найти прирост в процентах, то для всего насаждения с достаточной точностью можно будет определить процент прироста как среднеарифметическую из величин для отдельных деревьев:

$$P_M = (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) / n, \quad (7.78)$$

где  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – процент текущего прироста отдельных ступеней толщины;

$n$  – общее число наблюдений.

Процент текущего прироста для всего насаждения можно также найти по формуле:

$$P_M = (P_1 g_1 + P_2 g_2 + P_3 g_3 + \dots + P_n g_n) / \sum G, \quad (7.79)$$

где  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – проценты текущего прироста по объему отдельных деревьев

$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$  – площади сечений отдельных деревьев.

Если в этой формуле  $g$  заменить через  $\pi d^2 / 4$ , то она примет такой вид:

$$P_M = \frac{p_1 d_1^2 + p_2 d_2^2 + \dots + p_n d_n^2}{\sum d^2}. \quad (7.80)$$

Если процент прироста отдельных деревьев вычислять по формуле  $P_V = K / dn$ , то для всего насаждения он определяется путем следующего расчета:

$$P_M = \frac{\frac{K_1 d_1^2}{d_1 n_1} + \frac{K_2 d_2^2}{d_2 n_2} + \dots + \frac{K_n d_n^2}{d_n n_n}}{\sum d^2} = \frac{\frac{K_1 d_1}{n_1} + \frac{K_2 d_2}{n_2} + \dots + \frac{K_n d_n}{n_n}}{\sum d^2}. \quad (7.81)$$

Если коэффициенты  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$  для отдельных деревьев примерно равны, их заменяют общим коэффициентом  $K$  и выносят за скобку:

$$P_M = \frac{K \sum \frac{d}{n}}{\sum d^2}. \quad (7.82)$$

Применение этой формулы на практике значительно упрощает вычисление процента прироста насаждений.

Методов определения прироста растущих деревьев очень много. Вызвано это трудоемкостью его нахождения и недостаточной точностью в применении. Поэтому они постоянно совершенствуются. В. В. Антанайтис и В. В. Загреев в книге «Прирост леса» описывают более 100 разных способов для определения прироста насаждения и лесного массива. Мы не будем все их перечислять. Назовем только *главные подходы к определению прироста*.

1. Способы непосредственного определения  $Z_M^{\text{тек}}$  с рубкой модельных деревьев. Это самый точный, но и самый трудоемкий способ. Описано 14 формул.

2. Способ без рубки моделей. Он включает обмеры на постоянных пробных площадях, табличные материалы, учет таксационных показателей древостоев и т. д.; 26 методов и формул, часть которых имеет свое дополнительное деление. Например, по таблицам прироста: описано шесть таких таблиц, а имеется их не менее 30.

3. Способы определения  $Z_M^{\text{тек}}$  через процент прироста с рубкой моделей. Здесь наиболее известна уже ранее названная формула М. Пресслера:

$$P_M = \frac{M_A - A_{A-n} + M^{\text{отп}}}{M_A + M_{A-n}} \cdot \frac{200}{n}. \quad (7.83)$$

По этой позиции описано 11 уравнений.

Здесь обратим внимание на метод, предложенный Ф. П. Моисеенко и А. Г. Мурашко: на 8 срубленных (модельных) и 25–30 учетных деревьях находят  $P_g, Z_d$  и  $Z_g$ , а затем вычисляют процент прироста по формуле  $P_M = f(Z_M \text{ или } Z_g)$ .

Тогда  $Z_M = \bar{Z}_V N$ .

4. Способ определения по проценту прироста без рубки моделей.

Здесь наиболее известна формула Шнейдера:

$$P_{vi} = K Z_r / d, \quad (7.84)$$

где  $Z_r = i$  (средняя ширина годовичного слоя за 10 лет);

$K$  – коэффициент, который зависит от интенсивности роста дерева и протяженности кроны (таблица 7.3).

Значение  $K$  в формуле Шнейдера

Протяженность кроны	Прирост в высоту					
	прекратился	слабый	умеренный	хороший	очень хороший	превосходный
Ниже $1/2H$	400	470	530	600	670	730
Между $1/2$ и $3/4H$	400	500	570	630	700	770
Выше $3/4H$	400	530	600	670	730	800

Пример:  $d_{1,3} = 28,4$  см;  $i = 0,17$ ;  $k = 630$ ;  $P_v = K_i / d_{1,3} = 630 \cdot 0,17 / 28,4 = 3,76$  %.

Всего для применения этого метода описано более 40 формул.

5. Формулы для лесного массива. В эти формулы в качестве сомножителя дополнительно включена полнота. Описано 17 формул.

Множество формул говорит о том, что простого, точного и удовлетворяющего всем требованиям метода нет, и создать его – задача новых поколений лесоводов.

## 7.4. Зависимость прироста от различных факторов

### 7.4.1. Использование показателей прироста в лесном хозяйстве

При рассмотрении прироста деревьев и древостоев становится очевидным, что величина прироста находится в прямой зависимости от почвенных условий: богатства почвы и ее увлажнения. Это находит свое выражение в типе леса и классе бонитета. Поэтому для конкретного географического района динамику прироста леса, как и других таксационных показателей, определяют в зависимости от класса бонитета или типа леса.

Сравнивая рост леса в разных географических широтах, не представляет труда прийти к заключению, что его интенсивность зависит от климатических условий. Имея это в виду, при изучении динамики роста леса некоторые исследователи стремились найти такой показатель, называемый *климатическим индексом*, который отражал бы корреляционную зависимость между климатом и производительностью лесных насаждений данного района.

В отдельных географических зонах, действительно, в первую очередь климат обуславливает мощность древесной растительности. Почва является хотя и важным фактором, но зависящим от климата.

Наибольший интерес представляют исследования, проведенные Х. Патерсоном, установившим, что прирост органического вещества в разных климатических зонах определяется гидротермическим режимом территории. В своих исследованиях Х. Патерсон опирался на данные ряда лесных станций, изучивших потенциальную производительность лесов во многих зонах земного шара. Эту производительность он характеризовал величиной годичного прироста по запасу на 1 га насаждения. Ученый установил, что производительность насаждений, выраженная показателем ( $J$ ), названным индексом Петерсона, описывается следующим уравнением:

$$J = \frac{T_v p G \epsilon}{T_a 12 \cdot 100}, \quad (7.85)$$

где  $T_v$  – средняя температура самого теплого месяца, градусов;

$T_a$  – разность средних температур самого теплого и самого холодного месяцев;

$p$  – среднее количество осадков, мм за год;

$G$  – продолжительность периода вегетации, месяцы;

$\varepsilon$  – редуцированный фактор испарения, значение которого зависит от широты изучаемого места; он характеризуется соотношением процента солнечной радиации на полюсе и в изучаемом районе. Этот фактор определяется по формуле:

$$\varepsilon = 100 R_p / R_s, \quad (7.86)$$

где  $R_p$  – количество падающей световой энергии на полюсе;

$R_s$  – количество падающей световой энергии на изучаемой местности.

В районе, имеющем  $J \leq 25$ , никакой лесной растительности нет. От полюса до экватора  $J$  варьирует от 0 до 20 000 и более.

Безусловно, индекс Х. Патерсона представляет интерес, но все же он не учитывает качества условий местопроизрастания. Этот индекс имеет значение только для обширной области, где представлены все классы бонитета.

Чтобы определить пригодность той или иной климатической зоны для роста деревьев и древостоев, изучают прирост однородных насаждений в отдельных зонах и сравнивают полученные результаты. Подробнее этот вопрос будет обсужден ниже при описании хода роста насаждений. Точность определения любого таксационного показателя зависит от применяемых методов его определения и коэффициента вариации этого показателя.

Изменчивость прироста изучают давно. Особенно важно знать изменчивость радиального прироста деревьев ( $Z_r$ ) на высоте 1,3 м. Многочисленные исследования позволили заключить, что изменчивость радиального прироста деревьев в древостое характеризуется коэффициентом вариации, который находится в пределах 30–60 %. На эту изменчивость одновременно влияет ряд факторов: порода, возраст, условия местопроизрастания, полнота, хозяйственный режим, характер распределения деревьев по ступеням толщины, по классам роста и другое. В связи с этим обстоятельством образовать отдельные группы древостоев с равными или близкими коэффициентами вариации практически невозможно.

Установлено, что отдельно взятые таксационные показатели (древесная порода, диаметр, условия местопроизрастания) оказывают незначительное влияние на изменчивость радиального прироста. Поэтому заранее предвидеть величину коэффициента вариации радиального прироста в конкретном древостое почти невозможно. На практике обычно применяют средние коэффициенты вариации, которые примерно равны 40–45 %.

В конкретном древостое изменчивость радиального прироста часто отличается от этой средней. Поэтому, если требуется установить точность результатов наблюдений, нужно в каждом случае определять конкретную изменчивость. В отдельных ступенях толщины изменчивость радиального прироста также высока, а в центральных ступенях может равняться или даже превышать изменчивость во всем древостое.

Вариация радиального прироста деревьев в совокупностях однородных древостоев очень близка к изменчивости в одном древостое; средний коэффициент вариации здесь также равен 40–45 %. Изменчивость прироста по высоте деревьев  $Z_h$  в древостое меньше варьирования радиального прироста в древостое.

Коэффициент вариации прироста по высоте дерева колеблется от 20 до 50 %. Влияние на эту изменчивость породы, возраста, условий местопроизрастания не установлено. Однако в ряде случаев замечено, что в древостоях теневыносливых пород, например ели, этот показатель выше, чем в древостоях светолюбивых пород.

Очень высокой изменчивостью отличается прирост деревьев по объему и площади сечения на высоте 1,3 м; коэффициент вариации этих показателей составляет 45–90 %. М. Л. Дворецкий установил, что в древостоях, не достигших возраста старения, изменчивость  $Z_v$  и  $Z_g$  более высока (60–90 %), чем в старых (45–70 %).

Изменчивость процента прироста по диаметру, площади сечения и объему у отдельных деревьев колеблется в пределах от 20 до 45 %. Это меньше, чем в ступенях толщины и во всем

древостое. Более высокая изменчивость процента прироста деревьев по видовой высоте. Она достигает 50 %. В еловых древостоях варьирование  $Z_H$  выше, чем в сосновых. С понижением ступени толщины изменчивость повышается. В пределах низких классов роста (IV по Крафту) она выше, чем в более высоких классах. Разделение деревьев на группы в зависимости от характера изменения радиального прироста по длине ствола не оказывает влияния на изменчивость его в древостое.

Исследованиями литовских ученых (В. В. Антанайтис и др.) установлено, что в относительно однородных древостоях (одна порода, одинаковые условия местопроизрастания, класс бонитета, возраст и полнота) изменчивость текущего прироста по запасу и его процент прироста зависят в основном от длительности периода, за который определяется прирост. Она характеризуется в среднем коэффициентами вариации, указанными в таблице 7.4.

Таблица 7.4

**Коэффициенты вариации (%) в зависимости от периода наблюдений**

Длительность периода, лет	При одинаковом календарном сроке измерения	При разных календарных сроках измерения
10	15–20	25–30
5	20–25	25–35
3	25–30	30–40
1–2	27–35	30–50

Между текущим приростом по запасу и шириной годичного слоя существует высокая корреляционная связь. Ее используют для разработки таблиц текущего прироста. При составлении таблиц текущего прироста, которыми пользуются в практике, древостои группируют по относительно однородным группам с учетом породы, возраста, бонитета и полноты. Но такие таблицы, даже при условии верного отображения ими средних величин за десятилетний период наблюдения среднепериодического текущего прироста, из-за особенностей этого показателя лишь в 68 случаях из 100 дают точность  $\pm 25\text{--}30\%$ . В остальных 32 случаях точность еще ниже. При определении среднепериодического текущего прироста за 1–5 лет ошибки больше.

Повысить точность таблиц текущего прироста можно при учете средней ширины годичного слоя (тогда средняя точность достигнет  $\pm 10\text{--}15\%$ ) или при замене относительной полноты суммой площадей сечений. Анализ изменчивости прироста древостоев показывает, что при составлении таблиц текущего прироста по абсолютной полноте (через каждые  $2\text{ м}^2$ ) точность повышается до  $\pm 15\text{--}20\%$  в 68 случаях из 100.

На прирост сильно влияют хозяйственные мероприятия: рубки ухода, удобрения и т. д. Проводя рубки ухода, мы расширяем площадь питания остающихся деревьев, даем им больше света, и прирост увеличивается. Но при этом остается меньше стволов на 1 га.

Таким образом, получается сложная картина, то есть наблюдается диалектическое единство одновременного увеличения и уменьшения  $Z_M^{\text{тек}}$ .

#### 7.4.2. Полнота и средний радиальный прирост древостоя

Эта связь выражается уравнением прямой линии:

$$Z_r = a_0 + a_1 I. \quad (7.87)$$

С понижением полноты ( $I$ ) средний радиальный прирост увеличивается. В пределах одного десятилетия теснота связи между  $Z$  и  $I$  характеризуется высоким коэффициентом корреляции: 0,80–0,94. По сравнению с другими таксационными показателями (средним диаметром, текущим приростом по запасу и его процентом) средний радиальный прирост древостоя,

как и величина среднего диаметра, наиболее чутко реагируют на изменение полноты (рис. 7.6 и 7.7). В целях сопоставления данных для разных классов возраста средний радиальный прирост выражают в долях от радиального прироста нормальных древостоев. С возрастом темп увеличения среднего радиального прироста снижается.

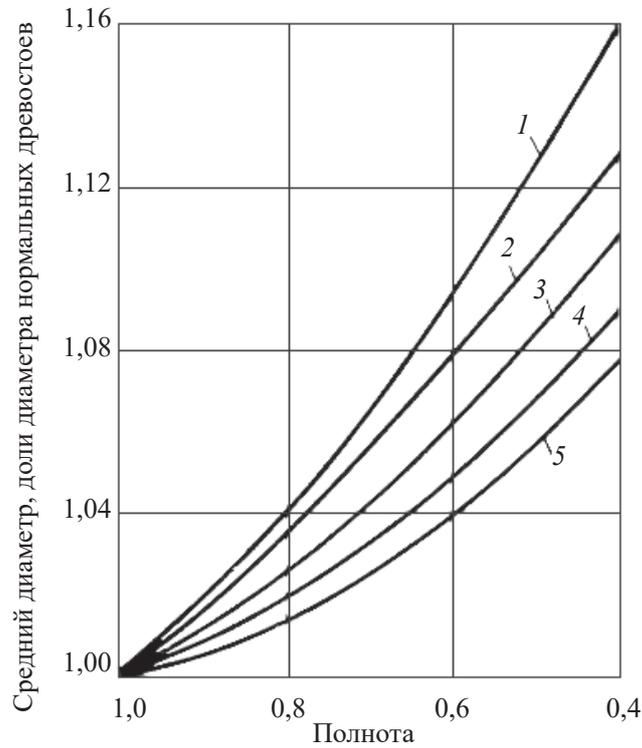


Рис. 7.6. Зависимость среднего диаметра от полноты в сосняках I класса бонитета Литвы: 1 – 40 лет; 2 – 50 лет; 3 – 60 лет; 4 – 70 лет; 5 – 80 лет

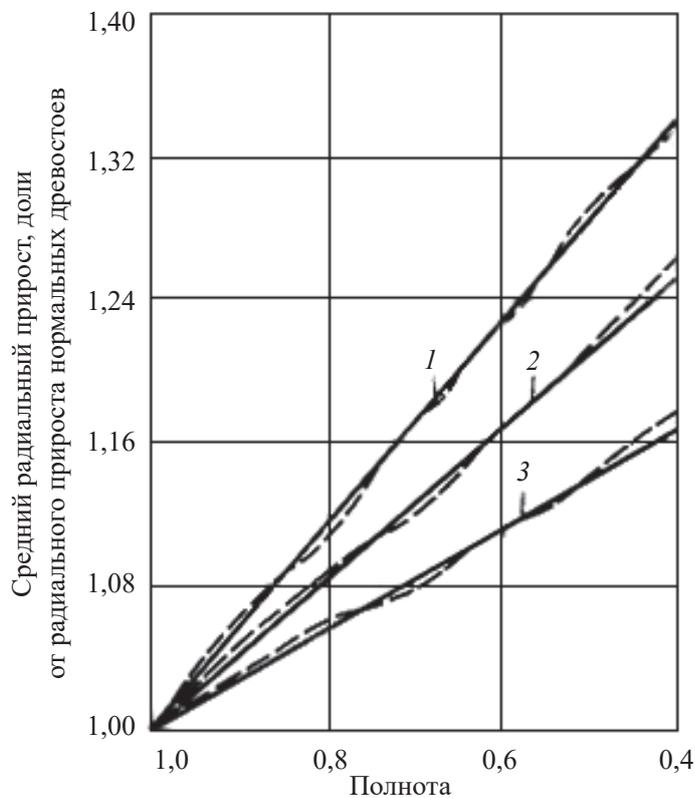


Рис. 7.7. Зависимость среднепериодического радиального прироста от полноты в сосняках I класса бонитета Литвы: 1 – 60 лет; 2 – 70 лет; 3 – 80 лет

### 7.4.3. Полнота и процент текущего прироста по запасу

Установление зависимости прироста от полноты имеет большое практическое значение. Выявленные здесь закономерности являются важнейшими критериями при назначении рубок ухода.

Исследования показывают, что связь между процентом текущего прироста и полнотой для чистых древостоев выражается уравнением прямой (рис. 7.8). С понижением полноты процент текущего прироста повышается (рис. 7.9). Коэффициенты регрессии в уравнениях зависят от древесной породы, возраста, почвенно-типологических условий, хозяйственного режима. Для одной древесной породы и примерно одинаковых почвенно-типологических условий зависимость процента прироста от возраста и полноты может быть выражена уравнением гиперболы.

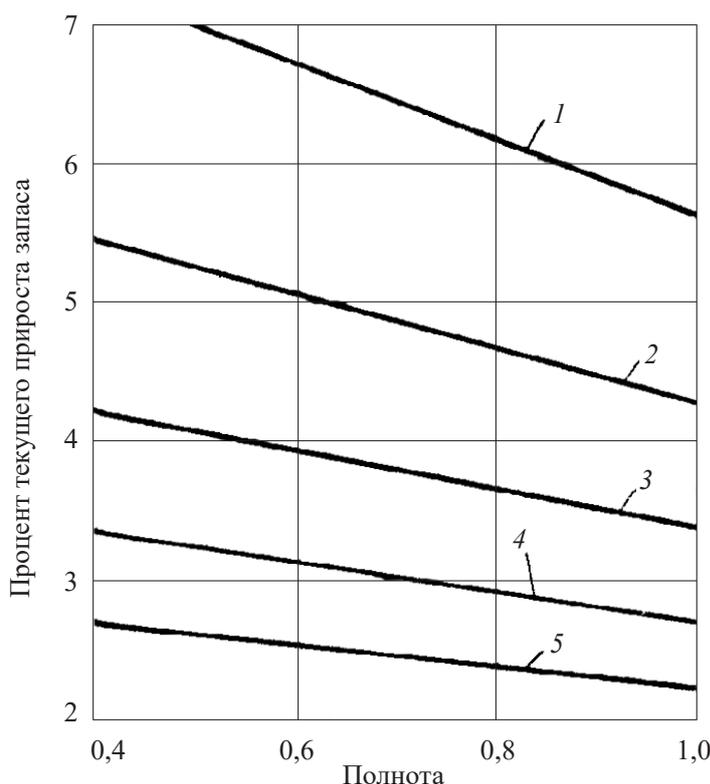


Рис. 7.8. Зависимость процентов текущего прироста запаса от полноты и возраста (ельники I класса бонитета Литвы): 1 – 40 лет; 2 – 50 лет; 3 – 60 лет; 4 – 70 лет; 5 – 80 лет

В ельниках I класса бонитета показатель меры точности выравнивания (коэффициент корреляции между экспериментальными и выровненными данными) очень высок, он доходит до 0,99. Коэффициенты регрессии зависят от угла наклона кривых к оси абсцисс, который выражается углом  $\alpha$ . Для выражения этого угла обычно применяют его тангенс ( $\operatorname{tg}\alpha$ ). Значения  $\operatorname{tg}\alpha$  позволяют вычислить величину повышения процента текущего прироста при снижении полноты на 0,1 для каждого возраста. Значения  $\operatorname{tg}\alpha$  для сосновых и еловых древостоев Литвы приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5

Значения величины  $\operatorname{tg}\alpha$  для сосновых и еловых древостоев Литвы

Возраст, лет	40	50	60	70	80
Сосняки I класса бонитета	3,13	2,23	2,12	1,53	0,74
Ельники I класса бонитета	5,00	4,55	4,10	3,84	3,78

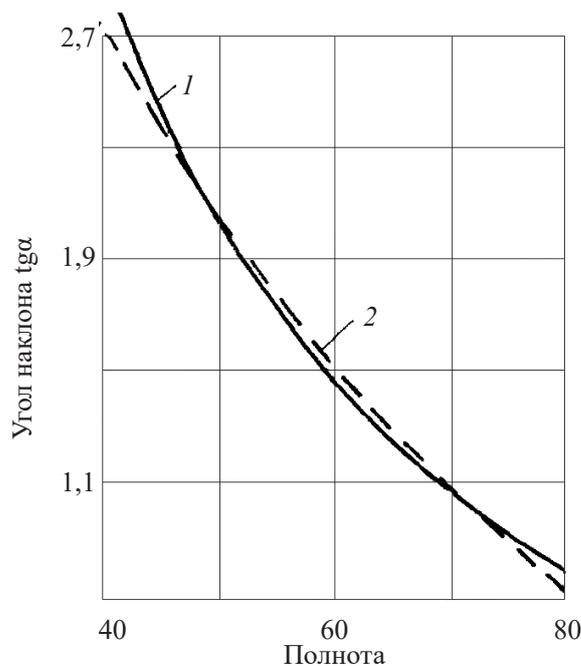


Рис. 7.9. Зависимость угла наклона прямых процентов текущего прироста от возраста (ельники I класса бонитета): 1 – выровненная кривая; 2 – экспериментальная кривая ( $tg\alpha = 15,776 / A-1,184$ )

Темп увеличения  $P_M$  при снижении полноты зависит от породы, возраста и почвенно-типологических условий. Большой темп характерен для теневыносливых пород, а также для более молодого возраста.

В Германии установлено, что темп увеличения  $P_M$  при снижении полноты зависит и от характера хозяйственного режима; можно достигнуть заметного повышения процента текущего прироста, снижая полноту древостоев правильно проводимыми рубками ухода, особенно в хороших почвенно-типологических условиях. Теснота связи между процентами текущего прироста по запасу и полнотой древостоев разнообразна. При тщательном подборе и группировке экспериментального материала коэффициенты корреляции высоки – 0,7–0,8. При неполном учете факторов, влияющих на  $P_M$ , коэффициент корреляции значительно понижается, например, без учета хозяйственного режима его значение 0,3–0,4.

Таким образом, процент текущего прироста по запасу является функцией возраста и полноты в группе древостоев одной породы и одного бонитета. Эта связь особенно четко проявляется при тщательном подборе экспериментального материала.

#### 7.4.4. Полнота и текущий прирост по запасу

Для определения текущего прироста по запасу древостоев при снижении полноты Г. Герхардтом предложены следующие формулы:

- для теневыносливых пород:

$$Z_M^D = Z_M^H(2 - 1\Pi)\Pi; \quad (7.88)$$

- для светолюбивых пород:

$$Z_M^D = Z_M^H(1,7 - 0,7\Pi)\Pi, \quad (7.89)$$

где  $Z_M^D, Z_M^H$  – текущий прирост соответственно тажируемого и нормально полного древостоев;  $\Pi$  – полнота древостоя.

Эти известные в лесной таксации формулы имеют существенный недостаток: не учитывают влияния возраста на величину прироста. Кроме того, они составлены по группам пород, что также снижает их значение. Поэтому изучение связи между приростом и полнотой было продолжено. В результате выявлено, что лишь в редких случаях текущий прирост при снижении полноты уменьшается пропорционально последней. Однако единых результатов по темпу изменения текущего прироста при снижении полноты до сих пор не получено (рис. 7.10).

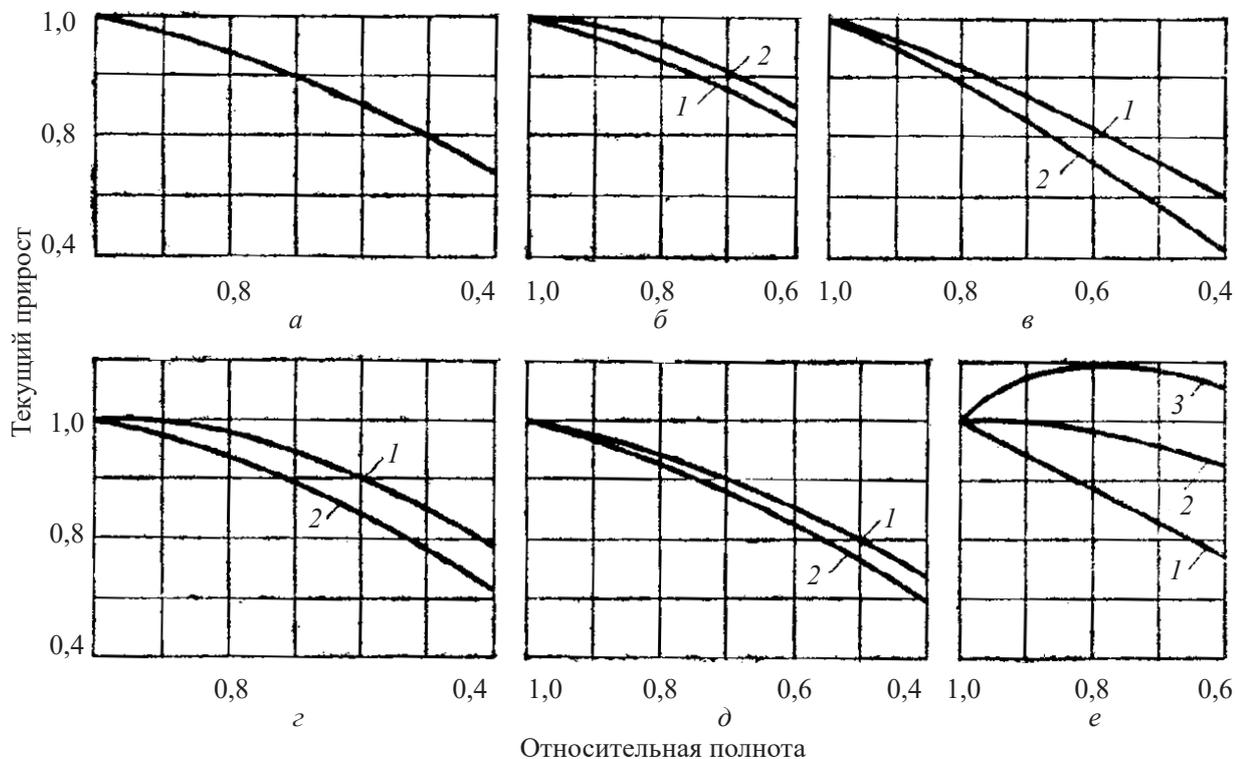


Рис. 7.10. Зависимость текущего прироста от полноты в сосняках I бонитета:  
*a* – по формуле Г. Гергардта; *б* – по таблицам И. М. Науменко (1 – 40 и 2 – 80 лет);  
*в* – по таблицам В. Ертельда (1 – 40 и 2 – 80 лет); *г* – по данным В. В. Загреева (1 – 40 и 2 – 80 лет);  
*д* – по данным В. Антанайтиса и П. Якаса (1 – 40 и 2 – 80 лет);  
*е* – по данным А. С. Бабакина (1 – 40 лет; 2 – 60 и 3 – 80 лет)

Различие данных, полученных разными исследователями, объясняется неоднородностью опытного материала, разными методиками его обработки и применением неодинаковых эталонов полноты 1,0. М. Л. Дворецкий справедливо отмечает, что при изучении влияния полноты на прирост не всегда учитывают качественную разнородность полноты древостоя. Естественная относительная полнота влияет на текущий прирост иначе, чем искусственная, созданная разными рубками и в разное время.

Для выявления достоверной связи текущего прироста с полнотой древостоев предстоит провести дальнейшие исследования, но и имеющиеся результаты позволяют заключить, что характер этой связи зависит от породного состава, возраста, почвенно-типологических условий и хозяйственного режима. Следовательно, при изучении связи необходимо учитывать эти факторы.

До сих пор влияние полноты на величину прироста изучалось только в чистых древостоях. Смешанные и сложные насаждения исследованы недостаточно. Отсутствие исчерпывающих данных о характере связи текущего прироста с полнотой в древостоях разного состава и возраста в тех или иных почвенно-типологических условиях, при разном хозяйственном режиме вынуждает пользоваться в практической работе обобщенными показателями. Однако не все такие показатели целесообразно применять. Приведенные выше формулы не в полной мере

учитывают влияние породы и возраста. Темп увеличения  $P_M$  при снижении полноты зависит от породы, возраста и почвенно-типологических условий. Большой темп характерен для теневыносливых пород, а также для древостоев молодого возраста. В этом ряду выделяется формула Ф. П. Моисеенко, выведенная для дубовых древостоев:

$$Z_M^D = Z_M^H(3 - 2\Pi)П. \quad (7.90)$$

В. В. Загребевым установлено, что процент текущего прироста в сосновых насаждениях высших классов бонитетов Рязанской области находится в обратной прямолинейной зависимости от полноты; эта связь может быть выражена уравнением общего вида:

$$P_M = a_0 + a_1\Pi.$$

На основе конкретных уравнений этого вида, характеризующих связи прироста с полнотой, составлена таблица, в которой абсолютная величина текущего прироста при различной полноте для каждого возраста выражена в долях прироста нормальных насаждений (таблица 7.6).

Таблица 7.6

Текущий прирост сосновых древостоев при разной полноте в долях от прироста нормальных насаждений

Возраст, лет	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
30	1,0	1,06	1,09	1,08	1,03	0,95	0,83	0,68
50	1,0	0,95	0,89	0,82	0,74	0,64	0,54	0,42
70	1,0	0,92	0,83	0,74	0,65	0,55	0,45	0,34
90	1,0	0,91	0,81	0,72	0,62	0,52	0,42	0,32

Исследования В. В. Антанайтиса и др. подтвердили, что в общем виде характер связи текущего прироста по запасу с полнотой выражается параболой второго порядка (рис. 7.11). Лишь в редких случаях, например, в перестойных древостоях, эта зависимость может быть описана уравнением прямой линии.

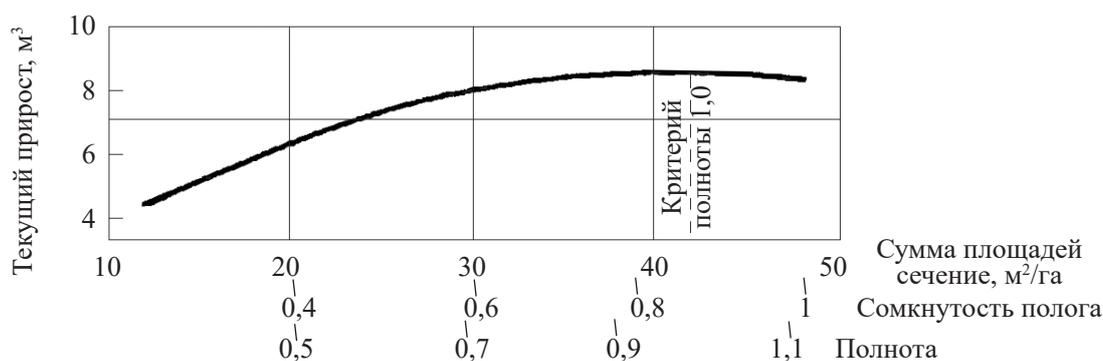


Рис. 7.11. Зависимость текущего прироста запаса от суммы площадей сечений, сомкнутости полога и полноты (сосняки I класса бонитета 60 лет;  
 $Z_m = -0,00497G^2 + 0,4159G - 0,0675; \eta = 0,46 \pm 0,052$ )

Темп увеличения  $P_M$  при снижении полноты зависит от породы, возраста и почвенно-типологических условий. Большой темп характерен для теневыносливых пород, а также для древостоев относительно молодого возраста.

Руководствуясь приведенными закономерностями, В. В. Антанайтис и его ученики составили таблицу 7.7, где показана зависимость величины текущего прироста от полноты.

Теснота связи между текущим приростом по запасу и полнотой в обобщенных формулах и таблицах умеренная или даже слабая, так как корреляционное отношение составляет

0,25–0,40. В результате этого камеральные расчеты при росте отдельных древостоев с использованием таблиц и формул могут давать большие ошибки. Такие расчеты рекомендуются для ориентировочного нахождения прироста лишь значительной совокупности однородных древостоев.

Таблица 7.7

**Коэффициент  $K$ , выражающий соотношение между текущим приростом нормальных и неполных ельников разной полноты**

Возраст, лет	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
40	1,0	0,945	0,880	0,805	0,720	0,625	0,520
50	1,0	0,941	0,873	0,795	0,709	0,614	0,509
70	1,0	0,935	0,862	0,781	0,692	0,597	0,493
80	1,0	0,933	0,860	0,778	0,689	0,593	0,490

В лесотаксационной литературе имеются противоречивые мнения о точности таблиц прироста, построенных с учетом полноты. И. М. Науменко указывал, что текущий прирост отдельного древостоя определяется по таким таблицам с точностью  $\pm 25\%$ . По мнению А. С. Бабакина, местные таблицы обеспечивают точность  $\pm 10\text{--}15\%$ .

Анализ данных с учетом материалов других исследователей позволяет отметить следующее:

- оптимальной полнотой, при которой наилучшим образом сочетаются факторы, обуславливающие максимальное накопление высококачественной древесины, является полнота 0,8–1,0;
- оптимальная полнота зависит от возраста. В насаждениях в 30 лет при полноте 0,7–0,9 текущий прирост максимальный и превышает таковой в нормальном насаждении на 8–9%. В 40 лет и старше максимум прироста приходится на полноту 1,0;
- с увеличением возраста снижение полноты ведет к уменьшению прироста, однако до 80 лет темпы уменьшения не пропорциональны интенсивности падения полноты. В насаждениях старше 80 лет абсолютную величину текущего прироста при полноте меньше 1,0 можно определить простым редуцированием прироста, взятого из таблиц хода роста. В более молодом возрасте такое редуцирование всегда преуменьшает величину прироста, и тем больше, чем ниже полнота древостоя.

В настоящее время значение учета прироста существенно повышается. В государственных учетах лесного фонда обязательно указывают величину изменения запаса. В Беларуси за последние 60 лет она постоянно повышается. Темпы повышения усилились, начиная с 80-х гг. прошлого века, и сохраняются до настоящего времени. Величина среднего изменения запаса составляет в настоящее время 29 млн м<sup>3</sup>, а текущего – 38 млн м<sup>3</sup>.

Со временем приходит понимание того, что текущий прирост должен стать одним из ведущих показателей качества ведения лесного хозяйства, хотя теперь он практически в системе этих показателей важной роли не играет. В научных исследованиях, особенно при оценке эффективности хозяйственных мероприятий, именно текущий прирост является критерием, по которому судят о результативности проведенной работы. С повышением интенсивности хозяйства, улучшения качества лесов, повышения их продуктивности значение прироста как универсального оценочного показателя будет возрастать.

---

---

## Глава 8

# ХОД РОСТА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

---

---

8.1. Таблицы хода роста как модели динамики древостоев. Классификация таблиц хода роста.

8.2. Методы составления таблиц хода роста.

8.3. Географические закономерности хода роста.

8.4. Использование таблиц хода роста в практике лесного хозяйства и лесоустройства.

---

---

### 8.1. Таблицы хода роста как модели динамики древостоев. Классификация таблиц хода роста

С момента возникновения насаждения и до его распада и гибели таксационные показатели как всего насаждения, так и его главной части – древостоя – постоянно меняются. Это изменение таксационных показателей с течением времени называется **динамикой древостоя**. Знания о динамике древостоя, то есть прогноз изменения таксационных показателей, необходимы для организации и ведения лесного хозяйства.

Лесные насаждения неоднородны. Они имеют разную высоту, диаметр, запас древесины на 1 га. Эта неоднородность зависит как от природных факторов, так и от хозяйственной деятельности человека. Сравнивая древостои между собой, нужно знать, какие из них лучше или хуже используют природный ресурс: почвенное плодородие, климатический фактор, в какой степени хозяйственное воздействие повлияло на таксационные показатели.

Для сравнения нам необходим некоторый эталон – идеальное насаждение, в полной мере отвечающее предъявляемым требованиям. Характеристику насаждений мы должны знать в динамике. Это значит, что необходимо установить, какие таксационные показатели будет иметь древостой в 10, 20, ..., 120... лет в определенной природной зоне и при фиксированных почвенно-грунтовых условиях.

При этом предполагается, что за этот период не произойдет значительных природных или антропогенных нарушений, существенно изменяющих ход роста: стихийных бедствий (засухи, пожары, наводнения, ливневые дожди, буреломы и ветровалы, массовых вырубок или других хозяйственных воздействий, изменяющих ход роста: мелиорация, деградация древостоя от избыточного рекреационного использования и т. д.

Прогноз хода роста древостоя или его динамика изучается по специальным научным методикам и завершается составлением моделей динамики древостоев. Они могут представлять собой уравнения или системы уравнений, изображаться графически в табличном виде. Наиболее удобно выражать динамику древостоев в табличном виде. Таблицы, сохраняя в основном наглядность динамики таксационных показателей, позволяют быстро и точно получить численные значения требуемых нам величин.

Таблицы, в которых представлена динамика древостоя, то есть показаны величины его таксационных показателей ( $H$ ,  $D$ ,  $N$ ,  $G$ ,  $M$ ,  $Z$  и др.), называют **таблицами хода роста**. Обычно за одну таблицу хода роста принимают динамику таксационных показателей одной линии

развития насаждений: одного класса бонитета, одного типа леса, единого происхождения, одинакового режима ухода и т. д.

В силу множества задач, которые необходимо решать с помощью таблиц хода роста, а также из-за разнообразия древостоев по породам, условиям местопроизрастания, уровням продуктивности, полноте и густоте, районам произрастания и т. д. таблицы хода роста делятся на *крупные классификационные единицы*. По территориям, где применяются таблицы хода роста (в дальнейшем будем их сокращенно именовать т. х. р.), выделяют *всеобщие, общие и местные таблицы хода роста*.

Из всеобщих т. х. р. у нас наибольшую известность получили т. х. р., составленные А. В. Тюриным в России в дореволюционное время. Теоретическое обоснование правомерности существования таких таблиц базируется на известном утверждении этого ученого, которое сделано в 1913 г.; «нормальные, то есть чистые сомкнутые одновозрастные сосновые насаждения с одинаковыми высотами имели одинаковый ход роста в прошлом и будут иметь одинаковый рост в будущем, независимо от того, находятся ли они в Германии, Петербургской или Архангельской губернии». Сам А. В. Тюрин к этому времени составил т. х. р. для сосны Архангельской губернии, обобщил германские и известные российские т. х. р. для сосны и ели. Они характеризуются очень высокими показателями запасов и общей продуктивности, в дальнейшем не подтвержденными другими разработчиками т. х. р.

Общие т. х. р. базируются на тех же принципах о единстве динамики однородных древостоев на больших площадях, но район их применения меньший. Обычно это одна большая страна (Россия) или ее крупные части – Европейский Север России, Сибирь, Дальний Восток. Примером общих т. х. р. являются таблицы для дуба (автор Ф. П. Моисеенко), составленные в 50-е гг. XX в. Сначала ученый составил такие таблицы для БССР. Затем, найдя их сходство с т. х. р. для других районов Европейской части СССР (т. х. р. И. М. Науменко для южной части РСФСР, М. В. Давидова для УССР), он объединил материал и составил общие т. х. р. для Европейской части СССР. Другим примером являются общие т. х. р. для сосны В. В. Загреева, составленные им в конце 80-х гг. прошлого века по оригинальному методу. Сделав анализ имевшихся на тот момент т. х. р. для разных областей СССР, он обобщил их и разработал новые т. х. р. для сосновых древостоев Советского Союза.

Исследования более позднего времени, начатые с 30-х гг. XX в. и принявшие широкий размах в 50–80 гг., показали, что общие т. х. р. представляют собой лишь упрощенную модель динамики древостоев. На ход роста насаждений влияют климатические условия и особенности хозяйства. Поэтому началась интенсивная разработка таблиц хода роста для отдельных республик в составе СССР, областей, районов и даже лесхозов. Такие т. х. р. названы местными. Они получили очень широкое распространение. В качестве примеров назовем т. х. р. для культур сосны, составленные в конце 30-х г. XX в. Д. И. Вуевским (БелНИИЛХ) для Гомельского лесхоза, многочисленные т. х. р. для лесов Ленинградской и Архангельской областей. В Беларуси т. х. р. составляли Ф. П. Моисеенко (50-е гг.), В. Д. Арещенко (50-е гг.), О. А. Атрощенко (60–70-е гг.), В. С. Мирошников, О. А. Труль, В. Е. Ермаков (70–80-е гг.), В. Ф. Багинский (60–90-е гг.) и др.

В учебниках по таксации довоенного и первого послевоенного времени обычно описывались практически все имевшиеся т. х. р. При этом всегда упоминалось, что первые в мире т. х. р. составил русский таксатор Варгас де Бедемар в 40-е гг. XIX в. для сосны Петербургской губернии и для березы Тульской и Самарской губерний. В настоящее время такое описание в учебниках сделать невозможно, да и не нужно. Уже к началу 70-х гг. прошлого века т. х. р. появилось очень много. Причем для одного района (области, республики) составлено по несколько дублирующих, а часто и противоречащих друг другу т. х. р. Например, в справочнике В. Б. Козловского и В. М. Павлова «Ход роста основных лесообразующих пород СССР», изданном в 1967 г. и получившем широкое распространение, описано 113 таблиц

хода роста. Если их перевести на таблицы одной линии развития, то количество таких линий станет более 500.

В упомянутом справочнике приведены только наиболее известные, получившие признание т. х. р. В картотеке автора учебного пособия имеется более 2000 т. х. р., причем многие дублируются. В 50–60-е гг. составление т. х. р. по 1–2 породам для некоторого региона стало распространенной темой кандидатских диссертаций. Ясно, что такое обилие т. х. р. избыточно. Поэтому в 1971 году высший орган управления лесным хозяйством СССР – Гослесхоз – принял решение систематизировать все т. х. р., отобрать лучшие и утвердить их как нормативный материал.

Эту работу поручили 17 НИИ и вузам лесного профиля. Координировал выполнение задания ВНИИЛМ (профессор В. В. Загреев). По Беларуси данную работу выполнил БелНИИЛХ (В. Ф. Багинский). За 10–15 лет (в разных регионах не одновременно) работа была завершена. Результаты географических особенностей динамики древостоев изложены ниже. Таким образом, мы сегодня имеем всеобщие, общие и местные т. х. р. Практическое применение находят последние.

Первые таблицы хода роста разрабатывались для максимально полных насаждений, которые считались эталонами для ведения хозяйства. А. В. Тюрин такие насаждения называл нормальными. В его понимании нормальное насаждение – это такое, где нет ни одного недостающего и ни одного лишнего дерева, а потенциал почвенного плодородия используется максимально. *Нормальные древостои имеют полноту 1,0*. Именно такими являются т. х. р., разработанные А. В. Тюриным, как местные (для Архангельской губернии), так и всеобщие. Таблицы А. В. Тюрина на десятилетия были взяты за идеал.

В то же время далеко не всегда и не везде ученым удавалось найти древостои, которые по  $G$  и запасу соответствовали величинам из т. х. р. А. В. Тюрина. Обычно у местных авторов получались меньшие величины. Так, белорусский ученый Ф. П. Михневич собирал материал в наиболее полных, сомкнутых сосновых древостоях БССР в начале 30-х гг. прошлого века. Он определил их полноту в 0,85 по сравнению с т. х. р. А. В. Тюрина.

В дальнейшем авторы, которые закладывали пробные площади в наиболее полных древостоях, отошли от некоторого заранее заданного критерия полноты 1,0 (по А. В. Тюрину или по данным других ученых) и стали принимать свои материалы за местный критерий полноты 1,0. Это в большей мере соответствовало природе леса с учетом местных почвенных и климатических условий. Так появились местные критерии полноты 1,0: т. х. р. Ф. П. Моисеенко, В. Ф. Багинского и др. (для Беларуси); Н. Д. Дударева, Ю. Н. Савича и др. (для Украины); В. М. Павлова, Г. А. Хадота и др. (для разных областей России).

Нормальные древостои, которые представляют собой идеальные насаждения, в условиях интенсивного хозяйства встречаются редко. Обычно древостои имеют полноту меньше 1,0. Для целей учета леса, сравнительной характеристики различных древостоев представляет интерес разработка т. х. р. для насаждений разной полноты. Наибольшее распространение получили здесь т. х. р. для модальных древостоев. *Модальными древостоями* (от слова «мода» – середина) принято называть наиболее распространенные (обычно по полноте) насаждения определенной породы и уровня производительности.

Модальную, или среднюю, полноту обычно устанавливают по лесостроительным материалам. Она часто определяется для всего возрастного диапазона древостоев, например, сегодня полнота сосновых насаждений Беларуси близка к 0,7. Более правильно находить эту полноту в разрезе классов или групп возраста. Известно, что в белорусских лесах средняя полнота снижается от 0,8–0,85 в молодняках до 0,6–0,55 в спелых насаждениях, а в среднем действительно будет около 0,7.

Современные т. х. р. для модальных насаждений составляют как для полноты, усредненной по всему возрастному диапазону (еловые древостои Литвы по В. В. Антанайтису, т. х. р.

для Беловежской пуши О. А. Атрощенко и А. Г. Костенко и др.), так и с учетом динамики полноты с повышением возраста: т. х. р. для Беларуси В. Ф. Багинского.

Разновидностью т. х. р. для разнополнотных древостоев являются таблицы, построенные по уровням первоначальной густоты насаждений: П. В. Воропанов, М. Д. Евдокименко, Г. С. Разин. Так как вариантов первоначальной густоты много, то обычно ограничиваются 1–3 уровнями густоты, которые наиболее распространены в регионе.

Одним из важнейших условий составления т. х. р. является принцип группировки экспериментального материала – по классам бонитета или по типам леса. Оба способа имеют свои достоинства и недостатки. С момента появления бонитетных шкал т. х. р. составляли в основном по бонитетам. Такие таблицы удобны для организации учета леса, при сопоставлениях. Ими легко и просто пользоваться, они дают однозначный ответ на вопрос о величине запаса и других показателях древостоя конкретного бонитета в искомом возрасте.

В то же время бонитетная шкала далеко не всегда отражает ход роста конкретного древостоя в течение его жизни. Бонитет одного и того же насаждения при изменении возраста может как понижаться, так и повышаться. Поэтому т. х. р. по бонитетам показывают некоторые усредненные величины для совокупности древостоев в конкретном возрасте, то есть для отдельного древостоя носят скорее статический, чем динамический характер.

Таблицам на бонитетной основе часто противопоставляют т. х. р. по типам леса. Первые подобные таблицы составлены Н. В. Огородовым в первой четверти XX в. для лесов Республики Коми. Впоследствии многие ученые разрабатывали т. х. р. по типам леса. В Беларуси такие таблицы составили В. Е. Ермаков для сосны, ели и березы; И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман и Н. Ф. Ловчий для черной ольхи и др. Т. х. р. по типам леса более удобны для организации лесовыращивания, отражая конкретные условия роста насаждения. Их недостатком является неопределенность уровней производительности древостоев. По самым жестким требованиям к типам леса, например, по типологии И. Д. Юркевича, один тип леса включает не менее двух классов бонитета. По другим данным (А. А. Гурский), отдельных уровней производительности, выражаемых разными классами бонитета, для одного типа леса насчитывается больше. Поэтому такие т. х. р. непригодны для лесочетного дела и лесоустройством не используются. Не улучшает положение применение вместо типов леса классификации по типам условий местопрорастания (ТУМ), как это предполагают украинские ученые и их последователи: П. С. Пастернак, А. Д. Дударев, Г. С. Разин и др. В пределах одного ТУМ можно встретить древостой, характеризующиеся еще большим количеством классов бонитета, чем в типе леса из-за климатических различий в разных районах.

Таким образом, мы видим, что принципы группировки материала при составлении т. х. р. остаются темой для дискуссий. Поскольку т. х. р. в основном нужны для целей учета леса и прогноза накопления запасов древесины, то наиболее широкое применение находят таблицы, составленные на бонитетной основе. Таковыми являются известные т. х. р. А. В. Тюрина, В. В. Загреева, К. Е. Никитина, Н. Н. Гусева, В. И. Левина, Ф. П. Моисеенко, Л. В. Бицина, И. М. Науменко, О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинского и др. Поэтому между двумя описанными подходами (группировка по бонитетам или типам леса) установлен определенный компромисс. В современных т. х. р., составленных на бонитетной основе, указываются главные типы леса, которые соответствуют определенному бонитету. В качестве примера можно назвать т. х. р. Ф. П. Моисеенко, К. Е. Никитина, О. А. Атрощенко, В. Д. Арещенко, В. Ф. Багинского и др.

Помимо т. х. р. для чистых древостоев требуются и подобные таблицы для смешанных (простых и сложных) насаждений. Их составление значительно труднее, так как кроме учета породы, бонитета, полноты и густоты здесь появляется сильно варьирующий фактор – динамика породного состава. Поэтому количество т. х. р. для смешанных древостоев на порядок меньше, чем для чистых насаждений. В Беларуси т. х. р. для сосново-еловых, сосново-березовых

и других древостоев составлены В. Ф. Багинским с соавторами: Р. Л. Тереховой, В. М. Ефименко и др.

Для древостоев естественного происхождения лесных культур составлены отдельные т. х. р. – В. И. Рубцова, В. В. Успенского, Л. Ф. Ипатова, В. Н. Полякова, А. М. Кожевникова с соавторами (В. М. Ефименко, В. Ф. Решетников), В. Ф. Багинского и др.

Динамика древостоя зависит от режима хозяйства. Поэтому в интенсивной хозяйственной зоне имеются т. х. р., учитывающие этот фактор. В качестве примера можно назвать таблицы А. М. Кожевникова, В. Е. Ефименко и В. Ф. Решетникова для культур сосны и ели, при разном режиме рубок ухода.

На основании изложенного отметим, что отдельные таблицы хода роста можно классифицировать по разным признакам: по району произрастания, по бонитету, по типу леса, густоте, полноте и т. д. Важно, чтобы насаждения, описываемые одной таблицей, во все периоды своей жизни были классифицированы одинаково. Наибольшее распространение получили т. х. р. для нормальных насаждений. В настоящее время нормальными древостоями считаются те, которые имеют полноту 1,0. В. К. Захаров считает, что, приступая к исследованию хода роста насаждений, необходимо, прежде всего, представить зависимость хода их роста от различных факторов внутренней и внешней среды произрастания. Из упомянутых факторов отметим следующие:

- древесную породу, возраст насаждения;
- его происхождение (семенное, порослевое);
- условия местопроизрастания, физико-климатические условия (области роста), степень полноты насаждения;
- режим хозяйства.

Различают две стадии работ по исследованию хода роста насаждений. Первая – сбор полевых экспериментальных материалов, вторая – научная обработка полевого материала с оформлением конечных результатов в виде таблиц хода роста и описание методики их составления.

Техника сбора полевых материалов имеет следующие варианты:

- многократный обмер одного объекта (стационара) в разные периоды роста древостоя насаждения;
- однократный обмер многих объектов в разном возрасте;
- многократный обмер многих объектов разных возрастов.

Важнейшим вопросом при изучении хода роста насаждений является выбор объектов. При этом особое внимание должно быть обращено на их однородность по всем признакам, обуславливающим ход роста, но различающимся по возрастам.

В отношении выбранных объектов обязательным требованием является принадлежность их к одному естественному ряду роста и развития, то есть объекты разных возрастов по своим таксационным признакам должны представлять собой как бы одно и то же насаждение, но в разные периоды его роста. Следовательно, объекты одной и той же породы при одинаковых условиях местопроизрастания должны быть однородны по биологическим и экологическим показателям, а различаться могут лишь по возрастам. При этих условиях они составят звенья одного естественного ряда. Результаты, полученные при таком исследовании (средние значения таксационных признаков, включенные в таблицы хода роста), будут характеризовать как бы последовательные стадии развития одного и того же среднего насаждения.

## 8.2. Методы составления таблиц хода роста

Методы составления таблиц хода роста, начало которым положил Варгас де Бедемар в 40-е гг. XIX в., постоянно совершенствовались. К 60–70 гг. XX в. общепризнанными считались несколько таких методов. Это *метод стационарных наблюдений*; *метод полосок (Бауэра)*, который в настоящее время именуется *статистическим*; *метод указательных насаждений*, или *аналитический*; а также *многократного обмера разных объектов*, называемый еще *комбинированным*; *метод ЦНИИЛХ*, который разработан в 30-е гг. XX в. Н. В. Третьяковым и его учениками в ЦНИИЛХе. Этот институт сегодня называется С.-ПетерНИИЛХ.

Впоследствии с целью изучения модальных, смешанных и иных древостоев предложены другие способы составления т. х. р. для этих насаждений. Все традиционные методы уже устоялись, они в достаточно полной мере описаны в учебниках по лесной таксации В. К. Захарова, Н. П. Анучина, О. А. Атрощенко. Поэтому их изложение дадим в трактовке этих авторов.

Работы, связанные с составлением таблиц хода роста насаждений, разделяются на *подготовительные*, *полевые* и *камеральные*. Подготовительные работы включают установление категории исследуемых насаждений, сбор материалов, характеризующих ход роста насаждений данного района, определение числа пробных площадей. Полевые работы заключаются в подыскании характерных насаждений для закладки пробных площадей, их отводе, таксации, частичной обработке полученных результатов и классификации пробных площадей по категориям насаждений. В камеральные работы входит окончательная обработка пробных площадей, проверка пригодности имеющихся таблиц хода роста, исправление и дополнение их или составление новых таблиц в случае необходимости.

### 8.2.1. Метод стационарных наблюдений

Самым простым и надежным способом сбора материала для составления т. х. р. является *организация стационарных наблюдений за динамикой роста и развития насаждений*, начиная с самого момента их возникновения.

В насаждениях, выбранных для стационарных наблюдений, закладывают постоянные пробные площади и через каждые 5 лет обмеряют на них деревья. Не исключено, что в этот промежуток времени насаждение будет повреждено вредными насекомыми, грибами, ветром или пожаром. Поэтому для разных условий местопроизрастания закладывают несколько постоянных пробных площадей и ведут на них стационарные наблюдения. Средние величины из результатов наблюдений на этих постоянных пробных площадях служат материалом для составления таблиц хода роста насаждений в соответствующих условиях местопроизрастания.

В то же время следует отметить, что т. х. р., составленные на основе стационарных наблюдений, имеют недостатки, так как средние величины для региона могут отличаться от тех, которые мы получаем при измерениях лишь в 1–3 местах. Для устранения этого недостатка постоянные пробные площади должны располагаться по территории исследуемого района в соответствии с общобиометрическими требованиями к планированию эксперимента. Но выполнение названного требования вынуждает закладывать слишком много стационаров, что требует очень больших затрат. Поэтому в подобных случаях обычно ограничиваются небольшим числом постоянных пробных площадей.

Хотя этот метод обеспечивает получение надежных конечных результатов для определенных условий роста насаждений, проведение многократных наблюдений на постоянных пробных площадях требует десятилетий. Вполне понятно, что работу по составлению технических нормативов для лесного хозяйства нельзя растягивать на столь длительное время. Поэтому лесная таксация основывает изучение динамики роста и развития насаждений на методах, хотя и менее точных, но зато позволяющих более быстро составить таблицы.

## 8.2.2. Статистический метод

Для составления таблиц хода роста насаждений может быть применен статистический метод, или метод полосок, предложенный немецким лесоводом Бауэром. Для этого сначала собирают массовый материал, то есть выполняют обмер и таксацию нормальных полных насаждений различных возрастов и бонитетов, определенной древесной породы, а затем составляют графики. При построении графиков по оси абсцисс откладывают возрасты насаждений, по оси ординат – запасы. В результате на графике получается веер из точек, число которых равняется числу протаксированных насаждений (рис. 8.1). Графики нужны для наглядности, их можно дополнить математическими моделями.

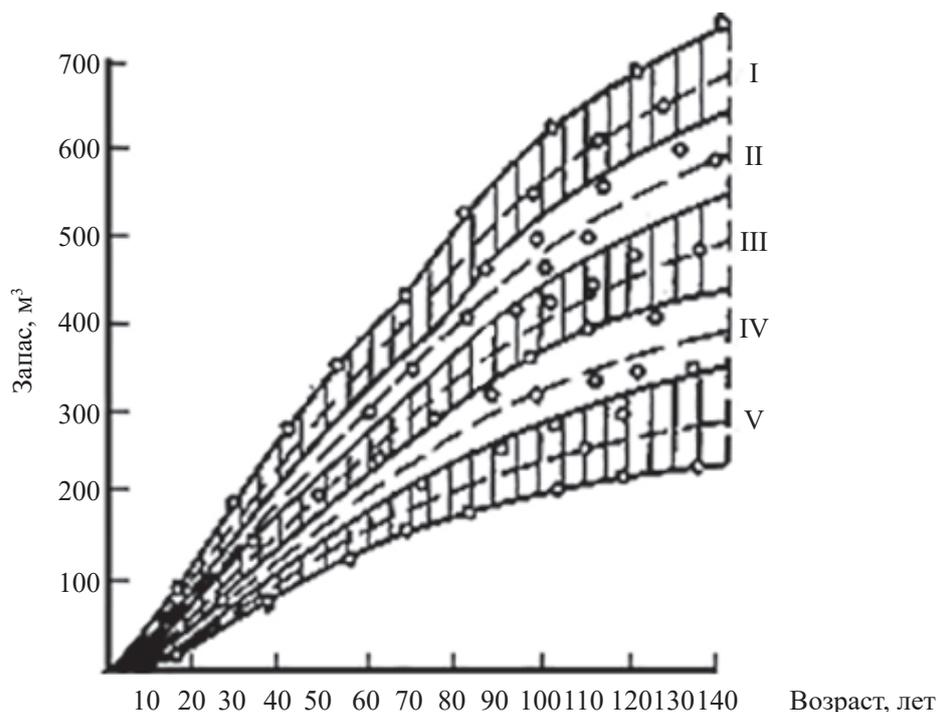


Рис. 8.1. Изменение с возрастом запаса насаждений по классам бонитетов (I–V)

Пространство, занятое на графике точками, снизу и сверху ограничивают кривыми линиями; проводят их с таким расчетом, чтобы они соединяли наибольшее число самых высших и самых низших точек. Проведенные кривые принимают за границы первого и последнего бонитетов. Ограничиваемую кривыми площадь разделяют на равные части по числу устанавливаемых классов бонитета. В результате график получается разделенным на полоски. Каждая полоска характеризует динамику изменения запасов соответствующего класса бонитета.

По середине каждой полоски проводят среднюю кривую. Путем измерения ординат этой кривой, соответствующих разным возрастам, получают запасы нормальных насаждений, которые и заносят в таблицы хода роста. После разделения насаждений на классы бонитета для каждого из них выводят среднюю высоту путем построения аналогичных графиков: на оси абсцисс откладывают возраст, а на соответствующих им ординатах – среднюю высоту насаждений того или иного класса бонитета. Там, где точки для насаждений близких возрастов сосредоточиваются в одном месте, их путем интерполяции приводят к одной точке, выражающей среднюю для данной группы возраста высоту насаждений.

Средняя высота насаждений в сочетании с возрастом является самым простым и надежным измерителем для определения класса бонитета насаждений. Поэтому при статистическом методе составления таблиц хода роста классификацию насаждений по бонитетам

более правильно производить не по запасам, а по средней высоте. В этом случае составление таблиц следует начинать с построения графика высот. В результате деления графика на полосы устанавливают класс бонитета для каждого протаксированного насаждения. Подобный графический способ вычисления средних табличных данных применяется для получения всех остальных таксационных показателей, предусматриваемых таблицами хода роста насаждений.

После этого для насаждений определенного класса бонитета строят кривую изменения запасов с возрастом. При построении графиков необходимо иметь в виду, что устанавливаемые по ним величины таксационных показателей должны быть взаимно увязаны.

Статистический метод составления таблиц хода роста насаждений имеет ряд недостатков. Например, очень трудно проводить крайние кривые, ограничивающие первый и последний классы бонитета, так как точек в самом верху и внизу обычно недостаточно и к тому же они очень неравномерно распределены по возрастам. Малейшая ошибка в проведении крайних кривых механически распространяется на средние кривые, поскольку при их проведении площадь графика, ограниченная крайними линиями, разделяется на равные части.

Вторым недостатком этого способа является то, что при нем отсутствует контроль, устанавливающий принадлежность таксируемых насаждений к одному естественному ряду развития. Естественным рядом принято называть совокупность однородных насаждений, достигающих одинаковой средней высоты в определенные возрасты и характеризующихся общностью развития и роста по другим таксационным показателям.

И, наконец, для применения статистического способа необходимо собрать большой материал в виде протаксированных пробных площадей. Несмотря на эти недостатки, статистический метод составления таблиц хода роста насаждений после внесения в него некоторых уточнений находит практическое применение.

Статистический метод Бауэра получил дальнейшее развитие в США. При изучении хода роста насаждений в США собирается массовый материал. Все насаждения делят на 10-летние классы возраста. Для каждого из этих классов на основании собранного материала выводят средние высоты  $h_A$  и средние квадратические отклонения от них  $\sigma_A$ . Для отдельных классов бонитета в возрасте 50 лет принимается следующая высота: 40; 50; 60; 70; 80; 90 и т. д. футов. При установлении хода роста по высоте в отдельных классах бонитета в США решающее значение придают кривой-гиду, характеризующей ход роста среднего класса бонитета. Соответственно этой идее выведена следующая формула, определяющая ход роста по высоте для каждого класса бонитета:

$$h_A^N = h_A - \sigma_A \left( \frac{h_{50}^{cp} - h_N}{\sigma_{50}} \right),$$

где  $h_A^N$  — искомая высота насаждений интересующего нас класса бонитета в заданном возрасте  $A$ ;

$h_A$  — высота насаждения в этом же возрасте, но в среднем классе бонитета;

$h_{50}^{cp}$  — высота насаждения среднего класса бонитета в возрасте 50 лет;

$h_N$  — высота насаждения в возрасте 50 лет для заданного нам класса бонитета;

$\sigma_A$  — среднее квадратическое отклонение в высоте среднего бонитета в заданном возрасте;

$\sigma_{50}$  — среднее квадратическое отклонение в высоте среднего бонитета в возрасте насаждения в 50 лет.

Определение высоты по этой формуле иллюстрируем примером. Допустим, что нам требуется найти высоту насаждения в 40 лет высшего бонитета, имеющего в возрасте 50 лет высоту 100 футов ( $h_{40}^{100}$ ). В среднем классе бонитета в возрасте 50 лет высота равна 70 футам, а в 40 лет — 60 футам. Среднее квадратическое отклонение в 50-летнем возрасте оказалось

10 футов, а в 40-летнем возрасте – 9 футов. При этих исходных данных искомая высота будет следующей:

$$h_A^N = h_{40}^{100} - 9 \left( \frac{70 - 100}{10} \right) = 60 - 9(-3) = 87 \text{ футов.}$$

Одним из недостатков традиционных методов составления т. х. р. насаждений является необходимость подыскивать для исследований полные нормальные насаждения. В природе они встречаются редко. В зоне интенсивного хозяйства, где ведут регулярные рубки промежуточного пользования, древостои с полнотой 1,0 встречаются очень редко, чаще всего в труднодоступных местах. Даже выбрав как бы полное насаждение, нельзя быть уверенным в том, что в природе нет еще более густого, чем выбранное. Выбор насаждений основывают на глазомерной оценке их полноты по сомкнутости полога, и на этих насаждениях базируют все последующие расчеты по составлению т. х. р. насаждений.

С точки зрения вариационной статистики и теории вероятностей выводы, основывающиеся на учете крайних единичных вариантов (в данном случае на наиболее полных нормальных насаждениях), следует признать не в полной мере надежными. Редко встречающиеся варианты в совокупностях могут широко отклоняться в ту или другую сторону и создавать превратное представление о свойствах всей совокупности.

Более типичны для изучения совокупностей средние величины. Опираясь на них, можно сначала установить в зависимости от возраста насаждений наиболее вероятные средние значения таксационных показателей и затем, исходя из степени их изменчивости, наметить линии развития и изменения таксационных показателей насаждений, существенно отличающихся от средних величин.

Современная лесная таксация, имея в качестве объектов исследования различные множества, при изучении их опирается на законы вариационной статистики и теорию вероятностей. При изучении хода роста насаждений широко используют законы лесной биометрии. Так, для определенных условий местопроизрастания или классов бонитета находят наиболее вероятные средние величины. Вместе с тем в пределах отдельных категорий насаждений можно выявить изменчивость таксационных показателей. На этой основе устанавливают требуемое число наблюдений, гарантирующее получение средних показателей с определенной точностью.

На основе исследования средних величин и их статистического оценивания разработан метод нахождения критериев полноты 1,0 и составления т. х. р. нормальных древостоев. Суть этого метода заключается в закладке большого количества пробных площадей без их сортировки по полноте. Затем находят средние значения сумм площадей сечений и запасов и их среднеквадратические отклонения. Предельно полные насаждения, полнота которых должна быть принята за единицу, должны иметь суммы площадей сечений и запасы, увеличенные на тройные среднеквадратические отклонения от средних значений, то есть максимальные величины  $G$  и  $M$  выразятся как  $G_{\max} = \sum \sigma G + 3\sigma_{\sum G}$  и  $M_{\max} = M + 3\sigma_M$ . Этим методом воспользовался А. В. Вагин для нахождения критериев полноты 1,0.

Согласно закону нормального распределения те насаждения, которые отличаются от средних по сумме площадей сечений и запасу на величину от 2 до 3 $\sigma$ , составляют в природе не более 2,5 %. Поэтому Н. П. Анучин считает, что ими можно пренебречь, и за насаждения высшей полноты принять такие, у которых запас и сумма площадей сечений отклоняются от средних значений на +2 $\sigma$ . Такую точку зрения разделяют не все ученые, справедливо полагая, что этим будет занижен критерий полноты 1,0.

В то же время описанный метод, несмотря на его достаточную теоретическую обоснованность, при применении в практике не дал положительных результатов. Дело в том, что при практической таксации полнота определяется глазомерно. У разных исполнителей

подходы к определению данного показателя несколько отличаются. Имеющиеся различия вносят неопределенность в конечные результаты. Практика использования средних величин для установления критериев полноты 1,0 (А. В. Вагин, В. Ф. Багинский) не дала положительных результатов.

### 8.2.3. Аналитический метод

При составлении т. х. р. насаждений в настоящее время чаще всего используют аналитический метод, или метод указательных насаждений. Этот метод называется аналитическим потому, что выбор насаждений, имеющих сходство в динамике роста, производят по данным анализа стволов. Он разработан в Германии тремя поколениями лесоводов Гартигов, работавших на протяжении почти всего XIX в. Дальнейшую детализацию этого метода осуществил советский ученый А. В. Тюрин. Суть метода заключается в следующем.

В лесном массиве в совершенно одинаковых условиях местопроизрастания подыскивают несколько чистых по составу и наиболее полных насаждений одной породы, но разного возраста. Каждое из этих насаждений должно быть разновозрастным. Выбирать их надо так, чтобы по истории своего развития или ходу роста эти насаждения принадлежали к одному естественному ряду, иными словами, являлись бы отдельными звеньями этого ряда. Более старое насаждение, включенное в этот ряд, по своему развитию и росту в прошлом в соответствующем возрасте должно быть таким, как наблюдаемый в природе более молодой древостой в этом же возрасте. В свою очередь, молодое насаждение в будущем к определенному возрасту должно иметь таксационные показатели, которые наблюдаются у старого древостоя в том же возрасте. В связи с этим насаждения, указывающие характер последующего развития молодого насаждения, называются *указательными*. Этим же термином характеризуют и сам метод составления т. х. р.

Чтобы убедиться, удовлетворяют ли этому условию выбранные древостои, в каждом из них нужно срубить модели и ствол каждой модели подвергнуть анализу. В результате анализа устанавливают, какой высоты достигало дерево в каждом насаждении к определенному возрасту. Если в нескольких древостоях наиболее высокие и толстые стволы в прошлом в одинаковом возрасте имели близкую высоту, такие насаждения принадлежат к одному естественному ряду и имеют одинаковый ход роста. При выборе моделей для анализа ствола преимущественно берут деревья I класса роста, так как в большинстве случаев они в прошлом не задерживались в росте, не были заглушены более крупными соседними деревьями и, таким образом, имеют нормальный ход роста, всецело зависящий от условий местопроизрастания.

Исследования В. К. Захарова и А. И. Кондратьева показали, что в однородных чистых древостоях высота деревьев изменяется в пределах  $\pm 6-8\%$ . Соответственно этому, деревья, занимающие в насаждении крайнее положение, могут отличаться по высоте от средней высоты древостоя на 20–25%. Эти данные подтверждены многочисленными более поздними работами. Из-за такой амплитуды колебаний высоты при изучении хода роста отбор насаждений рискованно основывать на анализе ствола одного дерева, срубаемого в каждом древостое. Для установления с точностью до 2% средней высоты, которую имело таксируемое насаждение в разные фазы его развития, надо брать 10–15 моделей и на основе анализа их стволов вывести среднюю высоту насаждения по десятилетиям.

В таблице 8.1 приводятся результаты анализа стволов березы, срубленных на восьми пробных площадях, для выявления принадлежности насаждений к одному естественному ряду. Эта таблица показывает, что при анализе моделей высота их в одинаковом возрасте различается всего на десятые доли метра. Отсюда можно заключить, что насаждения, в которых заложены пробные площади, имеют одинаковый ход роста и, следовательно, принадлежат к одному естественному ряду.

Выбор указательного насаждения является самым важным моментом в применении аналитического метода составления т. х. р. насаждений. Выбираемые насаждения по условиям роста должны быть средними для данного бонитета. Отклонение от средних условий повлечет за собой соответствующее отклонение от средних всех табличных показателей. В свою очередь, малейшие погрешности в выборе моделей или ненормальности в их росте, проявившиеся в прошлом, вызывают незаметные и к тому же неисправимые ошибки в составляемых таблицах.

Таблица 8.1

Результаты анализа стволов березы

№ пробной площади	Средний возраст моделей, лет	Высота наибольших деревьев, м, в возрасте, лет						
		10	20	30	40	50	60	70
1	72	6,5	12,7	18,2	21,3	26,6	27,0	28,2
2	59	6,8	13,0	18,0	21,4	24,7	27,5	–
3	59	7,0	13,2	17,9	21,6	24,5	27,0	–
4	52	6,8	12,8	17,8	21,7	24,1	–	–
5	49	7,0	13,4	18,6	22,0	24,5	–	–
6	49	6,8	12,2	17,9	22,3	24,4	–	–
7	40	7,0	13,0	18,0	22,4	–	–	–
8	34	7,2	12,9	18,7	–	–	–	–
Средний	–	6,9	12,9	18,1	21,8	24,5	27,2	28,2

Если мы составляем т. х. р. для нормальных древостоев, то все выбираемые насаждения должны быть нормальными, то есть имеющими полноту 1,0 с самого момента их смыкания. Весь ряд выбранных насаждений должен быть одинакового происхождения, с одинаковым режимом ухода.

В процессе работы по составлению т. х. р. используют закономерности в строении насаждений, позволяющие вскрыть постоянные соотношения между отдельными таксационными показателями (высотой, запасом, формой стволов и т. д.) и отобрать типичный материал.

#### 8.2.4. Типологический метод

Типологический метод составления т. х. р. насаждений предусматривает группировку экспериментального материала по типам леса. При этом методе сначала устанавливают наиболее распространенные для изучаемого района типы леса. Для каждого из выделенных типов закладывают несколько пробных площадей, характеризующих древостой разных возрастов. Правильно отобранные пробные площади являются эталоном для насаждений разного возраста, относящихся к одному естественному ряду. Поэтому пробные площади, закладываемые в старых древостоях, должны характеризоваться таксационными показателями, которых через определенное время достигнут более молодые насаждения, и, наоборот, таксационные показатели молодых насаждений должны определять прошлое старых.

Отбирая по напочвенному покрову совокупности пробных площадей, характеризующих один естественный ряд насаждений, следует иметь в виду, что типичный для данных условий роста напочвенный покров складывается обычно в среднем возрасте. Поэтому по одному лишь покрову трудно судить, к какому типу леса относится молодое насаждение. Кроме того, в разных лесорастительных подзонах древостой с одинаковым напочвенным покровом могут принадлежать к разным естественным рядам развития.

Все это свидетельствует о том, что принадлежность насаждений к одному и тому же типу леса должна служить одним из показателей для выбора насаждений и закладки пробных площадей. Однако этот показатель не может заменить все другие признаки, используемые для выбора древостоев, принадлежащих к одному естественному ряду.

Сопоставляя описанные способы составления т. х. р. насаждений, можно сделать вывод, что первый из них гарантирует более точные конечные результаты, но неприемлем из-за длительности периода, требуемого для составления таблиц. Преимущество второго и третьего способов заключается в том, что при пользовании ими требуются однократные обмеры насаждений, выполнимые в течение одного летнего сезона. Однако преимущество это одновременно является и недостатком, так как однократный обмер не всегда гарантирует выбор насаждений, принадлежащих к одному типу развития и роста.

### 8.2.5. Комбинированный метод

В лесной таксации разработан так называемый комбинированный метод составления т. х. р. насаждений, основывающийся на многократных обмерах.

Для сокращения срока составления т. х. р. повторяющиеся обмеры ведут в нескольких насаждениях разного возраста. Если при этом выбраны действительно нормальные насаждения, принадлежащие к одному классу бонитета, в результате многократного обмера получают данные, характеризующие динамику развития насаждения этой категории за определенный период их роста.

Положительной стороной комбинированного метода является то, что в результате многократных обмеров одних и тех же насаждений вскрываются ошибки, допущенные при их выборе. Поэтому можно быть уверенным, что окончательно отобранный и используемый для составления таблиц хода роста насаждений материал отобразит динамику роста насаждений, однородных по всем показателям. В то же время этот метод требует повторных обмеров через 5–10 лет, то есть растянут по времени, что является его недостатком.

### 8.2.6. Метод ЦНИИЛХ

В Центральном НИИ лесного хозяйства под руководством профессора Н. В. Третьякова разработан метод составления т. х. р. насаждений, известный под названием метода ЦНИИЛХ. Впоследствии в связи с переименованием этого НИИ в ЛенНИИЛХ метод называли методом ЛенНИИЛХ. Теперь это СПбНИИЛХ, а метод чаще всего именуют по первому названию. Для выявления принадлежности насаждений к одному естественному ряду здесь используют закономерности в ходе роста, обобщаемые уравнениями прямых линий.

Основой метода ЦНИИЛХа являются графические построения. С их помощью определяют принадлежность насаждений к одному естественному ряду и находят таксационные показатели, включаемые в т. х. р. В более позднее время вместо графиков применяли математическое выравнивание с помощью различных уравнений.

При сборе материала для каждой категории насаждений закладывают в среднем 12 пробных площадей, характеризующих насаждения разных классов возраста. По материалам, собранным на пробных площадях, строят графики высот и диаметров. По оси абсцисс откладывают возраст насаждений, а по оси ординат – в одном случае высоты, в другом – диаметры. Точки, характеризующие насаждения одной категории, располагаются на графике узкой полосой, что позволяет провести обобщающую среднюю кривую, изображающую наиболее вероятный ход роста насаждений как по средней высоте, так и по среднему диаметру данного типа леса.

Кроме двух рассмотренных графиков, дающих кривые линии, строят три графика прямых линий по следующим уравнениям, предложенным Н. В. Третьяковым:

- график высот

$$Ah = aA + b; \quad (8.1)$$

- график диаметров

$$Ad = aA + b; \quad (8.2)$$

- график коэффициентов формы

$$q_2h = ah + b. \quad (8.3)$$

При построении графика высот по оси абсцисс откладывают возраст насаждений, в которых заложены пробные площади, а по оси ординат – произведение возраста на высоту. На графике диаметров по оси абсцисс откладывают возраст, а по ординатам – произведение возраста на диаметр; на графике коэффициентов формы – по оси абсцисс средние высоты насаждений, а по ординатам – произведения их на соответствующие коэффициенты формы. Графики строят для насаждений со средней высотой не менее 14 м. Все графики выполняют в полевых условиях.

Пробные площади, показатели которых дают отклонения от прямых по высоте более чем на  $\pm 10\%$ , по диаметру на  $\pm 15\%$  и по второму коэффициенту формы на  $\pm 6\%$ , Н. В. Третьяков рекомендует дополнительно проверять в натуре или исключать из материала, используемого для составления т. х. р.

В настоящее время считается, что нормативы, рекомендуемые Н. В. Третьяковым для разделения насаждений на однородные категории, имеют чрезмерно широкие пределы. При пользовании ими в одну категорию попадают насаждения, заметно различающиеся в ходе роста и относящиеся к разным типам леса.

При составлении таблиц по методу ЦНИИЛХа первым признаком принадлежности насаждений к одному естественному ряду является общность типа леса. Кроме того, у насаждений, являющихся звеньями одного естественного ряда, произведения средней высоты на возраст, среднего диаметра на возраст и среднего коэффициента формы на высоту, будучи отложены на графике соответственно уравнениям (8.1), (8.2) и (8.3), должны расположиться на одной прямой линии.

Основное преимущество рассмотренного метода заключается в том, что путем построения графиков проверяется правильность выбора пробных площадей. Однако это преимущество не следует переоценивать, поскольку метод допускает широкие отклонения отдельных точек от обобщающей прямой линии.

Правильно было бы принадлежность насаждений к одному естественному ряду способом прямых линий дополнять анализом стволов, позволяющим сравнивать развитие и рост насаждений, начиная с их возникновения и кончая временем исследования хода роста этих насаждений. Именно так поступали многие ученые, составлявшие т. х. р. в 50–60-е гг. прошлого века: Ф. П. Моисеенко, В. Д. Арещенко и др.

Метод ЦНИИЛХа в силу своей простоты и относительной легкости в сборе полевого материала – 12 пробных площадей на одну линию развития против нескольких десятков проб при аналитическом и сотен проб при статистическом методе – и авторитет профессора Н. В. Третьякова, лидера лесной таксации в СССР, в 30–40-е гг. XX в., обеспечил этому методу доминирующее положение с начала 40-х до конца 60-х гг. Но постепенно все яснее выступали недостатки метода: неоднородность древостоев, слишком широкие придержки для группировки материала; было установлено, что рост древостоев описывается более сложными уравнениями, чем прямые линии и т. д. Поэтому с 70-х гг. метод ЦНИИЛХа почти не используется.

### 8.2.7. Таблицы хода роста модальных насаждений

Н. П. Анучиным предложен метод составления таблиц хода роста модальных насаждений, использующий в качестве основы для построения таблиц производственные материалы. Он считал, что такие нормативы надо получать путем массовых наблюдений и на их основе вывести средние значения.

Обобщающей сводкой производственных материалов является таблица классов возраста, бонитетов, полноты и запасов, составляемая при лесоустройстве. В этой таблице все найденные в лесу древостои подразделяются по соответствующим классам возраста. В пределах отдельных классов возраста насаждения расчленяются по классам бонитета и по полноте. Соответственно этим подразделениям в пределах класса возраста нетрудно вывести для каждого бонитета среднюю полноту и средний запас. Для насаждений, на материале которых выводились эти средние, из таксационного описания следует дополнительно выписать среднюю высоту, средний диаметр и состав древостоя, а также вывести их средние величины. В итоге такой статистической обработки по большинству показателей, входящих в состав таблиц хода роста насаждений, получаем средние нормативы, среднеквадратические отклонения и средние ошибки.

Средние величины и их тройные ошибки с учетом знаков надо нанести на графики и графическим способом выровнять. Эту же задачу можно решить путем аналитического выравнивания. Полученные средние значения таксационных показателей надо увязать между собой. Выровненные средние величины вписывают в соответствующие графы т. х. р. насаждений, составленные для наиболее распространенных так называемых модальных насаждений.

Недостатком этого метода можно считать, что он не предусматривает тщательного отбора насаждений одного естественного ряда. Среднестатистические величины для отдельных классов возраста выводятся на основании данных, характеризующих насаждения, которые в биологическом отношении могут быть неоднородными. В производственных условиях таксационные показатели отдельных насаждений устанавливают глазомерно, в результате чего их средние значения могут быть неточными.

### 8.2.8. Другие методы составления таблиц хода роста

За последние десятилетия методы составления таблиц хода роста постоянно совершенствовались. В основном они сводились к соединению в одной методике разных приемов разработки т. х. р. Так, В. Ф. Багинский при составлении т. х. р. для основных лесообразующих пород Беларуси применил статистический метод в сочетании с аналитическим. Обширный полевой материал был разделен по бонитетам в соответствии с принципами статистического метода, но каждая линия развития проверяется по анализу модельных деревьев. При этом в учет берут не только самые крупные, но и средние деревья, выбирая те из них, которые растут при относительно свободном стоянии. При этом пробные площади закладываются с учетом идентичности типов леса и ТУМ.

В. В. Загреев разработал метод построения т. х. р., основанный на использовании типовых линий роста. Автором разработана сетка из типовых линий роста по всем таксационным показателям. Для отнесения древостоя к одной из этих типовых линий закладывают три пробные площади в 20–30, 50 и 90–100 лет и определяют индексы роста. Индекс роста – это отношение значения конкретного таксационного показателя к его величине в фиксированном возрасте, обычно в 100 лет, но иногда принимают и в 50 лет. Нахождение типовой линии роста определяется совпадением индексов.

Метод привлекает своей простотой и легкостью. На основе предложений В. В. Загреева составлено несколько таблиц хода роста в России: по березе, осине и т. д. В то же время он не получил очень широкого применения из-за того, что типовые линии выведены с достоверностью 0,68.

Многие новые методы базируются на применении новых моделей, динамики древостоев, что будет рассмотрено ниже.

### 8.2.9. Камеральные работы при составлении таблиц хода роста насаждений

Материалы, используемые для составления т. х. р. насаждений, могут быть обработаны двумя способами: аналитическим и графическим. Последовательность отдельных операций по составлению таблиц при обоих методах одинакова. Разница между ними заключается в том, что в одном случае цифровые выражения таксационных показателей вычисляются по соответствующим уравнениям, а в другом определяют графически.

Использование аналитических выражений предпочтительнее из-за отсутствия субъективизма. В то же время графические построения обеспечивают наглядность. Желательно использовать оба метода одновременно, тем более, что графики успешно вычерчиваются на компьютере.

Известно, что зависимость между таксационными показателями может выражаться графически как кривыми, так и прямыми линиями (кривые и прямые высот, площадей сечений, объемов и т. д.). Оба вида этих графиков широко используются в камеральных работах по составлению т. х. р. насаждений. Графики прямых линий имеют то преимущество, что при их применении быстрее обнаруживаются ошибки и исключается возможность субъективно влиять на результаты при сглаживании кривых.

Приступая к обработке полевых материалов, сначала строят прямую средних высот (рис. 8.2). Как правило, прямую высот можно построить, начиная с возраста 30–40 лет, что наглядно видно на рисунке 8.2. Для проверки правильности построения прямой средних высот на том же графике можно построить тем же методом прямую наибольших высот анализированных стволов, срубленных на пробных площадях в качестве моделей. Для возрастов, различающихся между собой на 10 лет (то есть равных 10; 20; 30; 40 годам и т. д.), по графику средних высот отсчитывают длины ординат  $AH$ , делят их на возраст, при этом получают средние высоты насаждений, которые вписывают в т. х. р. насаждений (таблица 8.2). Эта же задача может быть решена путем построения кривой хода роста по высоте (рис. 8.3).

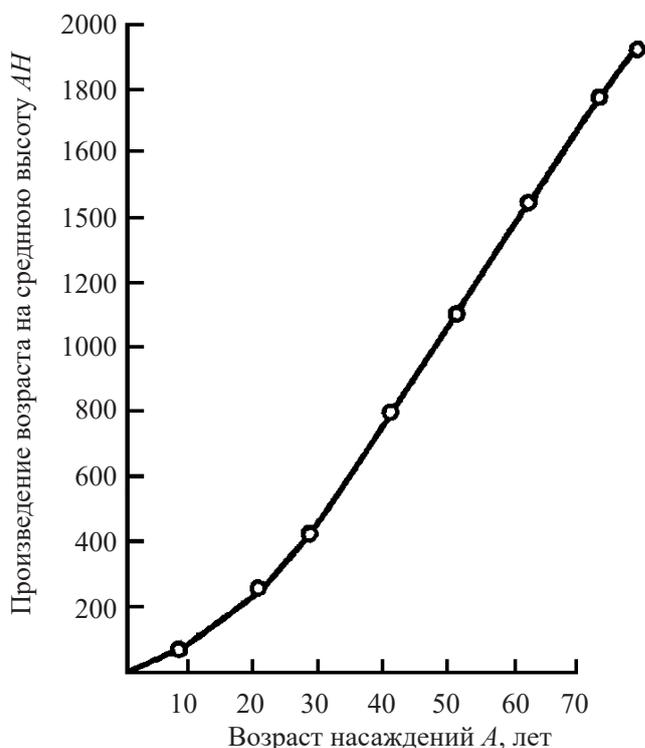


Рис. 8.2. Прямая хода роста насаждений по высоте

Таблица хода роста сосновых древостоев II класса бонитета (по В. Ф. Багинскому)

Возраст, лет	Средние		Число стволов на 1 га, шт.	Сумма площадей сечений м <sup>2</sup> /га	Видовое число	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га	Изменение запаса, м <sup>3</sup> /га			Подчиненная часть		Общая производительность		Прирост, м <sup>3</sup> /год на 1 га	
	Высота, м	Диаметр, см					Среднее	Текущее	Число стволов, шт./га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Суммарный запас, м <sup>3</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Средний	Текущий	
II бонитет (сосняки мшистые, брусничные и черничные)															
20	8,3	5,7	8269	21,1	0,562	98	4,9	—	—	—	—	98	4,9	—	—
30	11,4	8,4	4674	25,9	0,520	154	5,1	5,6	45	3595	45	199	6,6	10,1	10,1
40	14,4	11,3	2961	29,7	0,497	212	5,3	5,8	51	1713	51	308	7,7	10,9	10,9
50	17,1	14,4	2014	32,8	0,483	271	5,4	5,9	50	947	50	417	8,3	10,9	10,9
60	19,5	17,3	1510	35,5	0,474	328	5,5	5,7	47	504	47	521	8,7	10,4	10,4
70	21,5	20,1	1185	37,6	0,468	378	5,4	5,0	46	325	46	617	8,8	9,6	9,6
80	23,2	22,7	969	39,2	0,464	422	5,3	4,4	43	216	43	704	8,8	8,7	8,7
90	24,6	25,0	827	40,6	0,461	460	5,1	3,8	39	142	39	781	8,7	7,7	7,7
100	25,7	27,1	718	41,7	0,459	492	4,9	3,2	36	109	36	849	8,5	6,8	6,8
110	26,6	29,1	642	42,7	0,457	519	4,7	2,7	33	76	33	909	8,3	6,0	6,0
120	27,4	30,8	582	43,4	0,455	541	4,5	2,2	31	60	31	962	8,0	5,3	5,3
130	28,0	32,6	528	44,1	0,454	560	4,3	1,9	28	54	28	1008	7,7	4,6	4,6
140	28,6	34,3	483	44,6	0,453	578	4,1	1,8	20	45	20	1047	7,5	3,9	3,9

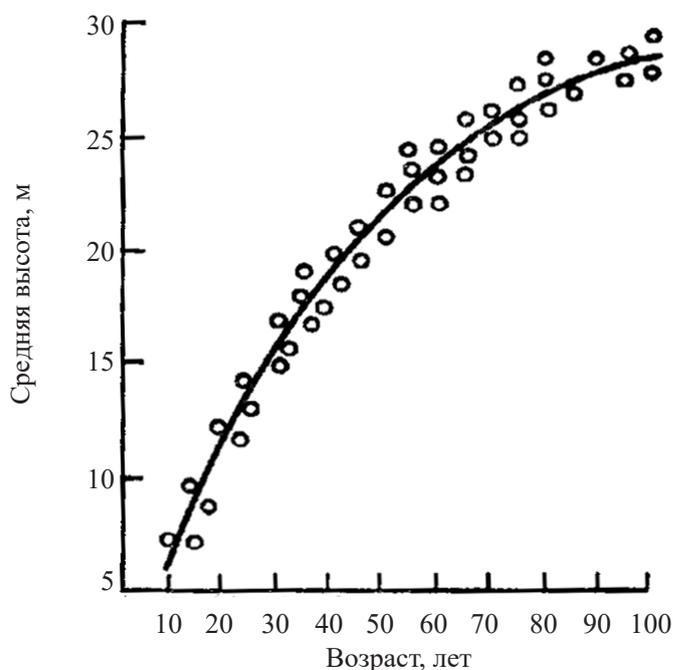


Рис. 8.3. Кривая хода роста насаждений по высоте

Чтобы установить запасы насаждений в возрастах, разнящиеся между собой на 10 лет, строят прямую запасов (рис. 8.4). Затем отсчитывают по десятилетиям длины ординат и, разделив их на возрасты, получают выровненные запасы, которые вписывают в соответствующую графу т. х. р. насаждений (таблица 8.2). Аналогичным путем строят графики изменения с возрастом средних диаметров и сумм площадей сечения деревьев и полученные показатели вписывают в т. х. р. насаждений.

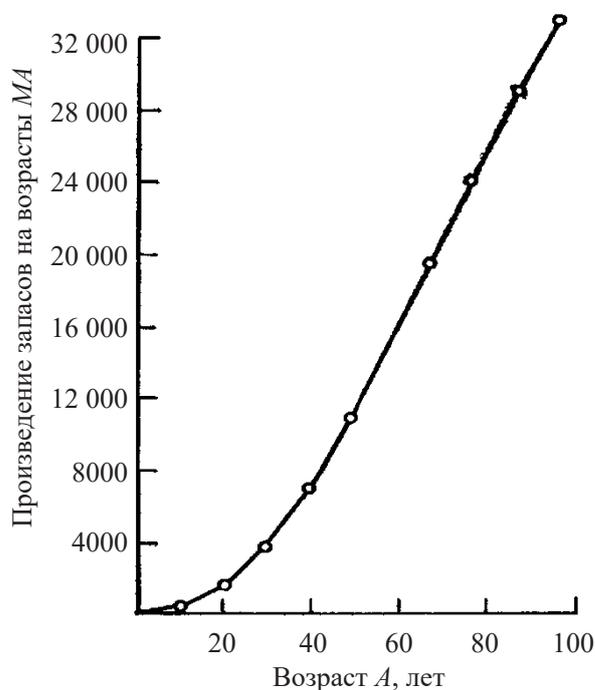


Рис. 8.4. Прямая хода роста насаждений по запасу

При построении графиков, отражающих прямолинейную зависимость от возраста, произведений сумм площадей сечений и запасов насаждений на возраст  $\dot{\Delta}\Sigma G$  и  $AM$ , необходимо иметь в виду, что описанная зависимость наблюдается лишь после прохождения древостоем стадии

молодняка и до начала усиленного отмирания насаждения. Построение прямых линий, отражающих данные зависимости, было широко распространено, вплоть до 70–80-х гг. прошлого века, когда т. х. р. составляли в основном для возрастного интервала от 20–40 до 100–120 лет.

В настоящее время описанные построения выполняют на компьютерах с помощью аналитических выражений. В то же время необходимо строить и графики (это тоже делается на компьютере) для наглядности и чтобы избежать грубых ошибок. Получив при помощи графиков или аналитических выражений средние диаметры и суммы площадей сечений, находят число деревьев по формуле:

$$N = G / g_{\text{cp}} = G / (\pi D^2 / 4),$$

где  $D$  – средний диаметр древостоя.

В т. х. р. число растущих деревьев и отпавших (вырубленных), должно быть взаимно увязано, то есть уменьшение числа растущих деревьев за десятилетие в основной части насаждения должно равняться числу деревьев вырубленной части (отпада):

$$N'_A = N'_{A-10} - N''_A \text{ или } N'_{A-10} = N'_A + N''_A,$$

где  $N'_A$  – число растущих деревьев в основной части насаждения в возрасте  $A$ ;

$N'_{A-10}$  – число растущих деревьев в основной части насаждения 10 лет назад;

$N''_A$  – число деревьев, идущих в отпад за 10 лет.

Для части деревьев, идущих в отпад, на основе материалов пробных площадей, заложенных в насаждениях разных возрастов, находят средние размеры, путем срубki моделей устанавливают их объемы и определяют запас по формуле:

$$M_{\text{отп}} = N_{\text{отп}} V,$$

где  $N_{\text{отп}}$  – число деревьев, идущих в отпад;

$V$  – объем среднего дерева в отпаде.

После графического или аналитического выравнивания запасов отпада по десятилетиям их заносят в т. х. р. Последовательное суммирование запасов отпада по десятилетиям дает сумму запасов отпада за весь период жизни насаждения. Сумма запасов основной части насаждения и запасов отпада дает общую продуктивность насаждения за весь период его жизни.

При составлении т. х. р. насаждений в отпад или в вырубляемую часть насаждения включают деревья, отставшие в росте и относящиеся к IV и V классам развития. Исследования последних десятилетий показали, что в числе отмирающих оказываются не только отставшие в росте деревья, но и некоторая часть деревьев верхнего полога насаждения, то есть относящиеся к высшим классам развития. Число отмирающих деревьев в верхнем пологе с увеличением возраста увеличивается. Поэтому в т. х. р. прошлых лет отпад преуменьшен.

При установлении величины отпада по числу деревьев низших классов развития нужно при перечете на пробных площадях делить деревья на две части: деревья, относящиеся к высшим классам развития, образующие основной полог насаждения, и деревья низших классов развития, идущие в отпад. При делении деревьев на эти две категории учитывают различие их по высоте и развитию кроны.

Для деревьев основного полога и деревьев, отставших в росте, должны быть построены отдельные кривые высот. Как видно из графика, кривая высот деревьев, идущих в отпад, находится ниже кривой высот деревьев основного полога. Разное положение этих двух кривых на графике подтверждает необходимость разделять насаждения на основную часть и часть, идущую в отпад.

Более надежным методом определения запаса отпада является вычисление его через показатели текущего прироста по формуле  $O = Z^{\text{тек}} + M_{A-n} + M_A$ , которая вытекает из определения текущего прироста (7.24). В этом случае запасы древостоев в возрасте ( $A$ ) и ( $A - n$ ) находят с высокой точностью по обмерам пробных площадей.

Определение текущего прироста с достаточной точностью представляет относительно сложную задачу в силу трудоемкости. Для вычисления прироста с точностью 2–5 % необходимо срубить и обмерить от 15–20 до 30–40 моделей в зависимости от возраста и других показателей древостоя. Но дополнительные затраты труда и средств окупаются значительно более высокой точностью установления запасов отпада и уточненным прогнозом величины лесопользования на длительную перспективу.

При нахождении отпада через величину текущего прироста у нас остается не учтенным прирост на деревьях, перешедших в отпад за исследуемый период, который обычно составляет 5 или 10 лет. Это происходит потому, что, определяя прирост по модельным деревьям, мы берем их из числа растущих в настоящее время. Исследованиями многих ученых (В. В. Антанайтиса, В. В. Загреева, П. В. Воропанова, В. Ф. Багинского) установлено, что величина прироста на деревьях, перешедших в отпад, небольшая. Она не превышает 2–5 % от общего прироста древостоя. Поэтому ошибка в величине отпада в данном случае гораздо меньшая, чем при использовании традиционных методов с выделением угнетенных деревьев.

Другие показатели в т. х. р. определяем по соответствующим формулам, которые описаны выше.

Между таксационными показателями, включаемыми в таблицы хода роста, имеется определенная зависимость, характеризующая следующими уравнениями:

$$M_A = \frac{\pi D^2}{4} H f N; \quad g_\gamma = \frac{G}{N}; \quad N = \frac{4 \sum G}{\pi d^2};$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{\gamma}{\pi}}; \quad H = \frac{M_A}{\frac{\pi D^2}{4} f N}; \quad f = \frac{M_A}{\frac{\pi}{4} d^2 N H} = \frac{M_A}{\sum G H};$$

$$z_M = \frac{M_A - M_{A-n}}{n}; \quad \Delta_M = M_A / A;$$

$$N'_A = N'_{A-10} - N''_A; \quad N'_{A-10} = N'_A + N''_A.$$

Таксационные показатели, вычисленные по всем этим уравнениям, должны полностью совпадать с табличными данными. Их взаимная увязка трудоемка, но необходима. Но поскольку у отдельных деревьев и насаждений, как мы знаем, таксационные показатели изменяются под воздействием многих факторов, результаты наблюдений, относящиеся к отдельным пробным площадям, в процессе составления таблиц приходится выравнивать. Это в свою очередь может вызвать отклонение выровненных данных от результатов вычислений по приведенным формулам. При составлении т. х. р. насаждений таксационные данные, полученные графическим путем, надо проверять по этим уравнениям.

### 8.3. Географические закономерности хода роста

Мы уже отмечали, что т. х. р. бывают всеобщие, общие и местные. Основатель современного лесоведения профессор Г. Ф. Морозов писал, что лес – понятие географическое. Это значит, что в разных географических районах древостой будут отличаться по росту. В силу сказанного, наиболее правильно отражают динамику древостоев именно местные т. х. р.

В то же время понятие «местные т. х. р.» также не определено. Местными называли таблицы и для одного лесхоза, и для области, и для республики: Литвы, Беларуси и т. д. К тому же к 70–80-м гг. в СССР для одной области было составлено по несколько т. х. р. для одной породы. Особенно много таких таблиц есть для сосны и ели Севера и Северо-запада Европейской

части России, южной части центрального Черноземного района, среднего Поволжья, Украины, Беларуси, Брянской области и др.

Все это усложняло практическое использование т. х. р. Необходимо было обосновать и выделить лесотаксационные районы. Лесотаксационный район – это географический район, включающий в себя одно или несколько административных образований (районов, областей), где наблюдается единая динамика древостоев одной породы в конкретных условиях место-произрастания, что имеет следствием применение единообразных т. х. р. Подчеркнем, что лесотаксационные районы выделены именно по единству динамики древостоев. Их следует отличать от районов, где возможно применение единых сортиментных и товарных таблиц. Иногда, например, в Беларуси, эти районы совпадают, но в целом (по России) районы с единой товарной структурой древостоев значительно крупнее.

Работа по лесотаксационному районированию в СССР началась в 1971 г. Участвовали все НИИ и большая часть высших учебных заведений лесного профиля. Для Беларуси эту работу проводил БелНИИЛХ, который сегодня именуется Институтом леса НАН Беларуси. В этом институте руководил выполнением задания В. Ф. Багинский.

Перед началом работы по сравнению т. х. р. следовало определить критерии, по которым будут выделяться районы применения этих таблиц. Здесь естественно напрашивалось использование различных гидроклиматических критериев: Х. Петерсона, Т. Венка и др. Действительно, интенсивность роста конкретного древесного вида зависит от плодородия почвы, количества осадков, особенно в мае – июле, и суммы положительных температур, тоже в основном в период вегетации

Для выделения лесотаксационных районов необходимо было сравнивать древостои, растущие в примерно одинаковых условиях почвенного плодородия и увлажнения. В этом случае решающим фактором при отличиях в росте становится влияние климата. Но и здесь не все так просто. Например, в северо-западном районе России осадков достаточно, но есть дефицит тепла. В южных районах Европейской части России, в средней и южной Украине тепла хватает с избытком, но мало влаги.

По соотношению двух факторов «тепло – влага» было установлено, что в бывшем СССР, если исключить небольшие площади субтропиков, Черноморское побережье Кавказа и др., наилучшие природные условия для роста леса существуют в Карпатах. Действительно, леса Карпат, особенно еловые, пихтовые, дубовые и буковые, пожалуй, самые продуктивные в бывшем СССР. На второе место по условиям роста вышли леса Беларуси, Украинского Полесья и южной Литвы. Некоторое исключение составила лишь небольшая территория на северо-востоке Беларуси, укладывающаяся в основном в пределы Городокского района.

Показанная система районирования в то же время была неудобна для практического применения. Она не имела четких количественных критериев, позволяющих сравнить разные т. х. р. К тому же эта система не увязывалась с административным делением, составляла разорванные и отдаленные друг от друга территории. Казалось бы, административное деление не может влиять на динамику древостоев. Но это верно лишь в том случае, если леса не подвергаются хозяйственному воздействию. Последнее сильно влияет на динамику древостоев, и его особенности должны учитываться в зоне интенсивного хозяйства. Например, в сходных природно-климатических условиях Латвии и Северо-Запада России интенсивность хозяйства существенно отличается. В Латвии против соседнего района России значительно большая процентная доля выборочных рубок, то есть рубок промежуточного пользования и постепенных рубок главного пользования. Это приводит к отличиям в динамике древостоев. Поэтому понадобились иные количественные критерии выделения лесотаксационных районов. В. В. Загребов предложил в качестве такого критерия тип роста. При отличии типов роста (5 % разницы) он выделял отдельный район.

Проанализировав предложенные типы роста, В. Ф. Багинский пришел к выводу, что они характеризуют особенности динамики древостоев конкретного района с достоверностью 0,68,

то есть 32 % реальных линий роста «секут» предложенную сетку типовых линий. Другой критерий предложили Л. И. Крестьяшин, В. Г. Рубцов и А. Г. Мошкалев. Они считали, что в качестве показателя здесь следует принимать отношение  $H/D$  или  $H/D$ . Но этот критерий зависит от интенсивности рубок ухода значительно больше, чем от географического района. Поэтому признания он не получил.

Все сказанное вынудило разработать новый критерий районирования. По предложению Ф. П. Моисеенко и В. Ф. Багинского критериями районирования т. х. р. стали величины, равные  $1/3$  разницы между таксационными показателями соседних классов бонитета в т. х. р. При лесотаксационном районировании лесов Беларуси эти критерии установлены по анализу 20 т. х. р., составленных для нашего государства и соседних областей России и Украины.

Руководствуясь названным критерием районирования, сделано лесотаксационное районирование Беларуси. Для этого использован экспериментальный материал 2300 пробных площадей. Весь материал разделили на три группы по месту сбора, приуроченному к лесорастительным подзонам Беларуси. Затем для каждой группы вывели динамику таксационных показателей:  $H$ ,  $D$ ,  $G$ ,  $F$ ,  $M$ . Оказалось, что внутригрупповая изменчивость этих показателей была иногда выше внегрупповой. Конечно, полного совпадения динамики таксационных показателей не наблюдается, но это объяснимо естественной изменчивостью. Отличия выделенных подрайонов от соседних не выходят за минимальные значения критериев районирования. Оказалось, что, некоторое повышение количества осадков в северной части страны компенсировалось более длительным вегетационным периодом на юге.

В целом же ход роста древостоев на всей территории Беларуси оказался схожим, то есть лежал в пределах допустимых отклонений. Это позволило сделать вывод, что для лесов Республики Беларусь необходимо разработать и применить единые т. х. р. без деления на районы. Для СССР выделено 17 лесотаксационных районов. Как показали дальнейшие исследования, леса Украины, Прибалтики, Европейской части России в лесотаксационном отношении районированы хорошо. В лесах Урала, Сибири и Дальнего Востока выделены слишком крупные районы, которые требуют уточнения.

### 8.3.1. Таблицы хода роста и продуктивность древостоев для Беларуси

Для Беларуси первые т. х. р. составлены Ф. П. Михневичем в 1933 г. для модальных древостоев (с полнотой 0,85 по отношению к т. х. р. А. В. Тюрина). В 30–40-е гг. прошлого века ряд местных таблиц составили Д. И. Вуевский (сосна Гомельского района), К. Захаров (сосна в Беловежской пуще) и др.

В 50–70-е гг. прошлого века составлены т. х. р. Ф. П. Моисеенко для дуба (местные и общие) и ели (местные). В. С. Мирошников и О. А. Трульь предложили местные таблицы по сосне и ели, О. А. Атрощенко – по березе. В. Е. Ермаков составил таблицы хода роста по типам леса для сосны, ели и березы. Также по типам леса составлены подобные таблицы для ольхи черной И. Д. Юркевичем, В. С. Гельтманом и Н. Ф. Ловчим, а для сероольшанников И. Д. Юркевичем, В. С. Гельтманом и В. И. Парфеновым. Для культур сосны есть т. х. р. А. М. Кожевникова, В. М. Ефименко и В. Ф. Решетникова, В. С. Мирошникова, В. Ф. Багинского. Ход роста культур ели описан А. М. Кожевниковым, В. М. Ефименко и В. Ф. Решетниковым, а также А. Ф. Киселевым. Динамику древостоев лиственницы исследовал А. Д. Янушко. Гослесхозом СССР в 1984 г. официально утверждены и приняты для использования в качестве нормативных материалов для таксации леса нашей страны т. х. р. нормальных и модальных древостоев для сосны, ели, дуба, березы, осины, ольхи черной, составленные В. Ф. Багинским и Ф. П. Моисеенко. Есть ряд и других местных таблиц.

В 1984 г. Минлесхоз БССР и Гослесхоз СССР специальным решением утвердили «Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР», куда вошли многие из перечисленных

т. х. р. Эти нормативы до сих пор не пересматривались и являются официальным документом для использования в лесном хозяйстве.

В 2014 г. вышли новые т. х. р., разработанные Гомельлеспроектom (Е. А. Усс, В. Ф. Багинский и Ф. Ф. Бурак). Эти таблицы положены в основу новых нормативов для таксации леса, которые действуют с 2015 г.

#### **8.4. Использование таблиц хода роста в практике лесного хозяйства и лесоустройства**

Основное предназначение т. х. р. – быть научной основой для проведения лесоучетных работ. Сами т. х. р. при лесоинвентаризации почти не применяются. Но на их материале выводятся закономерные связи  $H - G$ ,  $H - M$ ,  $H - F$ , являющиеся научной основой для разработки стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0. Для сокращения ее обычно называют просто стандартной таблицей.

Критерии полноты 1,0 в этих таблицах утверждены в установленном порядке Минлесхозом Беларуси и используются в широкой практике. В Беларуси в 1984–2015-х гг. действовали критерии полноты 1,0, выведенные В. Ф. Багинским на основе объединенного анализа т. х. р. В. Ф. Багинского, Ф. П. Моисеенко, В. Е. Ермакова, В. С. Мирошниковой, О. А. Трулля, О. А. Атрошенко. С 2015 г. в Беларуси принята новая стандартная таблица, разработанная Гомельлеспроектom (Е. А. Усс).

Поясним принципы пользования стандартной таблицей. Мы знаем, что запас насаждения равен произведению суммы площадей сечений на высоту и видовое число ( $M = GHF$ ). На основании этой формулы можно заключить, что с увеличением каждого из компонентов, входящих в ее правую часть, запас древесины соответственно будет возрастать. В эту формулу ни бонитет, ни возраст в качестве объемообразующих факторов не входят. Запас насаждений является только функцией суммы площадей сечений, высоты и видового числа. У множества деревьев одной породы и одинаковой высоты видовые числа в среднем близки между собой. Поэтому запас насаждения можно рассматривать как функцию высоты и суммы площадей сечений.

Для определения запаса и полноты насаждения надо использовать среднюю высоту и сумму площадей сечений, не принимая во внимание возраст и бонитет насаждения. Конкретные соотношения запасов, сумм площадей сечений, высоты и видовых чисел имеются в т. х. р. насаждений. Все встречающиеся в этих таблицах значения высоты можно выписать в порядке постепенного ее возрастания, начиная от самой низкой высоты, характеризующей молодняки низших классов бонитета, и кончая высотой насаждений высших бонитетов при более высоких возрастах.

Параллельно с этим последовательным рядом возрастающей высоты во второй и третий ряды могут быть выписаны из т. х. р. насаждений соответствующие им суммы площадей сечений и запасы насаждений. Все эти три ряда цифр можно нанести на график, отложив по оси абсцисс высоту, а по оси ординат суммы площадей сечений и запасы насаждений. Полученные два ряда точек надо соединить прямыми линиями и образовавшиеся две ломаные линии выровнять в плавные кривые. В настоящее время выравнивание делают аналитически на компьютерных, но график все равно необходим для наглядности.

По полученным кривым отсчитывают суммы площадей сечений и запасы насаждений, имеющих средние высоты, разница между которыми составляет 1 м. Таким образом, в результате анализа т. х. р. насаждений и графических или аналитических построений можно получить три ряда цифр: первый ряд – среднюю высоту насаждений с градацией 1 м, второй – соответствующую каждой высоте сумму площадей сечений, третий – запасы нормальных насаждений (таблица 8.3).

Зависимость суммы площадей сечений и запасов древостоя от средней высоты

Показатели	Величины							
	12	14	16	18	20	22	24	26
Средняя высота, м								
Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	25,0	27,8	30,3	32,7	35,0	37,2	39,3	41,4
Запас, м <sup>3</sup>	155	195	235	280	330	375	430	485

Еще в начале XX в. Г. Герхардт установил зависимость суммы площадей сечений и запаса от высоты:  $G, V = f(H)$  – принцип Герхардта. На этом принципе основано построение стандартных таблиц. Первая таблица такой конструкции для нескольких групп пород была составлена в 1940 г. под руководством Н. В. Третьякова. При ее составлении в качестве материала использованы существующие в то время т. х. р.

Таблицу сумм площадей сечения и запасов древостоев можно использовать в качестве нормативных измерителей при определении полноты и запаса таксируемых насаждений. Для этого надо найти в натуре среднюю высоту и на основе перечета деревьев или с помощью углового шаблона В. Биттерлиха определить сумму площадей сечения.

Последнюю делят на сумму площадей сечений нормальных насаждений, взятую из стандартной таблицы для соответствующей породы, и получают полноту таксируемого насаждения. Умножив ее на запас нормального насаждения при полноте 1,0, также взятый из стандартной таблицы, находят запас таксируемого насаждения.

При этом способе для определения полноты и запаса насаждения не нужно устанавливать его возраст, что является некоторым преимуществом. Второе преимущество заключается в том, что для насаждений одной породы с одинаковой средней высотой, независимо от класса бонитета, применяется единое основание для нахождения полноты и запаса древостоя, а это гарантирует сопоставимость получаемых результатов.

Учет леса должен быть в максимальной степени унифицирован на единых принципах. Поэтому при оценке степени использования насаждением условий местопроизрастания, то есть при определении полноты и запаса следует пользоваться едиными нормативами и унифицированными методами.

Отстаивая необходимость унифицировать методы учета древесины и выработать единые нормативы этого учета, мы должны подчеркнуть, что этот принцип обобщений не должен игнорировать биологических особенностей отдельных пород, различий в динамике их роста и специфических особенностей среды и условий местопроизрастания. Все эти факторы должны быть учтены при разработке таксационных нормативов, измерителей и классификаций.

Классификации должны быть дифференцированы в соответствии с встречающимися в природе различиями насаждений в той мере, которая оправдывается практикой и нуждами производства. Математический метод, являющийся основой для решения научных проблем, обязывает находить в изучаемых явлениях главное, ведущее звено и в соответствии с ним делать обобщения, выводы и практические предложения.

При таксационных работах для классификации лесов на соответствующие категории основными измерительными пособиями являются шкала деления насаждений на классы бонитета, таблицы и другие вспомогательные средства для определения полноты и запасов насаждений. Все эти пособия должны быть едиными.

Ряд ученых (В. В. Загреев и др.) считают, что на связь  $G = f(H)$  влияют условия произрастания, то есть  $G = f(H, B)$ . Но это влияние незначительно и не выходит за пределы точности определения запасов при практической таксации. Поэтому в настоящее время стандартная таблица используется без деления по классам бонитета.

Стандартная таблица дифференцирована по древесным породам. Образец стандартной таблицы для трех лесообразующих пород Беларуси приведен в таблице 8.4.

**Стандартная таблица сумм площадей сечений и запасов  
при полноте 1,0 для сосновых, еловых и березовых древостоев**

<i>H</i> ,	Сосна			Ель			Береза		
<i>M</i>	<i>G</i> , м <sup>2</sup>	<i>F</i> , 0,001	<i>M</i> , м <sup>3</sup>	<i>G</i> , м <sup>2</sup>	<i>F</i> , 0,001	<i>M</i> , м <sup>3</sup>	<i>G</i> , м <sup>2</sup>	<i>F</i> , 0,001	<i>M</i> , м <sup>3</sup>
5	14,5	663	48	11,4	635	36	11,5	595	34
6	16,7	621	62	13,5	602	49	12,8	562	43
7	18,7	590	77	15,0	578	61	14,0	539	53
8	20,6	568	94	16,9	560	76	15,1	521	63
9	22,3	550	110	19,2	546	94	16,3	508	75
10	23,9	534	128	21,4	535	114	17,4	497	87
11	25,4	524	146	23,5	526	136	18,5	488	99
12	26,8	515	166	25,6	518	159	19,6	481	113
13	28,1	507	185	27,5	512	183	20,7	474	128
14	29,3	500	205	29,4	506	208	21,7	469	142
15	30,5	494	226	31,1	501	234	22,7	464	158
16	31,6	488	247	32,8	497	261	23,7	460	174
17	32,7	484	269	34,4	493	288	24,7	456	192
18	33,8	480	292	35,9	490	317	25,6	453	209
19	34,9	476	316	37,3	487	345	26,5	450	227
20	35,9	473	340	38,6	484	374	27,4	448	245
21	36,9	470	364	39,9	482	404	28,3	446	265
22	38,0	467	390	41,0	480	433	29,1	443	284
23	39,0	464	416	42,1	478	463	29,9	441	303
24	40,0	462	444	43,0	476	491	30,6	440	323
25	41,0	460	472	43,9	474	520	31,4	438	344
26	42,0	458	500	44,8	473	551	32,1	437	365
27	43,0	456	529	45,6	472	581	32,7	435	384
28	44,0	454	559	46,3	470	609	33,4	434	406
29	44,9	453	590	47,0	469	639	34,0	433	427
30	45,9	451	621	47,6	468	668	34,6	432	448
31	46,8	450	653	48,0	467	695	35,1	430	468
32	47,6	449	684	48,6	466	725	36,6	429	489

Пользование таблицей несложно. Например, мы нашли, что в еловом древостое имеются следующие таксационные параметры:  $H = 27$  м,  $G = 36$  м<sup>2</sup>. При измерительном методе таксации относительная полнота ( $\Pi$ ) определяется как  $\Pi = G_{\phi} / G_n$ . Тогда относительная полнота равна  $36 / 45,6 = 0,79$ ; а запас определится как  $581 / 0,79 = 460$  м<sup>3</sup>/га.

Обобщая изложенное в настоящей главе, отметим, что для лесосучетных целей наиболее приемлемыми являются т. х. р. на бонитетной основе. Используют т. х. р. и для прогноза результатов лесовыращивания. Здесь в основном требуются т. х. р. по типам леса. Таблицы хода роста как модели динамики древостоев применяют при оценке возможного ущерба народному хозяйству, а также при разработке проектов, по переводу лесов в другие угодья, что связано со строительством промышленных и сельскохозяйственных объектов, дорог и т. д. В отдельных случаях т. х. р. служат эталоном лесовыращивания отдельных древесных пород, особенно если эти таблицы учитывают режимы рубок ухода. Область применения т. х. р. постоянно расширяется.

---

---

## Глава 9

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДРЕВОСТОЕВ

---

---

- 9.1. *Общее представление о моделях динамики древостоев.*
  - 9.2. *Модели изменения основных таксационных показателей древостоя.*
  - 9.3. *Современные направления в моделировании динамики древостоев.*
  - 9.4. *Область применения и точность моделей динамики древостоев.*
- 
- 

#### 9.1. Общее представление о моделях динамики древостоев

Динамика древостоев исследуется в основном с помощью математического моделирования. Моделями являются и сами таблицы хода роста. Есть много определений модели, одним из лучших будет то, которому отдают предпочтение К. Е. Никитин и А. З. Швиденко (формулировка В. А. Штоффа): «**Модель** – это мысленно представляемая или материально реализуемая система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте». Таким образом, модель – это абстракция, возможная при достижении некоторой степени изученности или процесса, а **моделирование** – специфический способ их познания и научного объяснения. Научной основой моделирования является теория подобия, которая позволяет установить аналогию – сходство объектов, явлений или процессов разной природы по некоторым признакам.

Существуют многочисленные классификации моделей. Обычно выделяют модели вещественные и символические (как правило, математические). Вещественные модели – это либо модели-копии, отличающиеся от моделируемого явления или объекта только масштабом, либо модели-аналоги, воспроизводящие объект в ином материале. В лесном деле почти исключительно применяют математические модели, вещественные же крайне редко.

Математические модели выполняют свою роль в зависимости от их целей и методов построения, а также от особенностей моделируемых явлений или процессов. Модели могут быть статическими (модель распределения некоторого таксационного признака, пространственная модель размещения деревьев в древостое или лесосырьевых баз в регионе) и динамическими (модели изреживания древостоя с возрастом, накопления биоценозом древесной массы и т. д.), эмпирическими и структурными (функциональными). Термином «эмпирическая модель» подчеркивается то обстоятельство, что внутренняя сущность, «механизм» моделируемого явления не понята настолько глубоко, чтобы им можно было дать пригодное для использования адекватное математическое описание. Эмпирические модели дают «внешнее» описание, отражающее феноменологическую сторону моделируемого явления или процесса на основе опытных представлений либо просто статистической констатации. Это модели индуктивного плана, идущие от частного к общему, от экспериментальных данных к обобщению, к попытке установления закономерностей.

Построение функциональных моделей предполагает, что известны суть и форма причинно-следственных связей. Эти модели основываются на дедукции, исходят из общих логических предпосылок и законов живого и неживого мира.

Сложность процессов, протекающих в природных биоценозах, взаимодействий, подлежащих отображению, недостаточность нашего знания о них приводит к тому, что структурные модели в лесном хозяйстве в целом немногочисленны и их применение пока ограничивается теоретическими исследованиями. Основное место в лесных исследованиях занимают эмпирические модели, которые делят на несколько видов:

- модели подгонки в задачах свертки информации, аппроксимации и интерполяции, применяемые в случаях, когда опытные или производственные данные необходимо представить в виде аналитических выражений или «сжать» большие численные массивы для рационального использования компьютеров;
- модели управления;
- модели прогноза или экстраполяции.

Конечно, между структурными и эмпирическими моделями нельзя провести резкой границы: чем больше теоретических предпосылок использовано в эмпирической модели, тем она содержательнее; но любая структурная модель требует экспериментального подтверждения.

Одна из важнейших целей моделирования – оптимизация явления или процесса, то есть поиск наилучшей структуры объекта либо варианта функционирования. Понятие «наилучший», или «оптимальный», приобретает смысл только при наличии количественно определенного правила, устанавливающего «что есть лучше»; это правило называется критерием оптимальности.

По сущности подхода и специфике отражаемого явления модели могут быть детерминированными и недетерминированными (стохастическими, вероятностными). К детерминированным процессам (следовательно, и моделям) относятся те, в которых причины и следствия строго связаны между собой, а внешними (неучтенными) влияниями можно пренебречь. Очевидно, что никакое явление или процесс нельзя отделить от окружающего мира, однако на практике бывают ситуации, которые можно описать точными математическими соотношениями, например, явления, в основе которых лежат фундаментальные законы физики.

Подавляющее большинство явлений и процессов в лесном хозяйстве не может быть описано таким образом из-за сложности количественной и качественной их оценки, невозможности (принципиальной) учесть все взаимовлияния и взаимозависимости и т. д. В целом границы между детерминированными и недетерминированными процессами (а отсюда и подход к моделированию) определяются соображениями практического удобства и требуемой точностью, поскольку в реальном мире нет ни одного строго детерминированного процесса.

Для моделирования стохастических процессов используют соответствующий аппарат математической статистики, теории случайных процессов, стохастических дифференциальных уравнений и т. д.

Модели (таблицы) роста и производительности насаждений являются основой при изучении динамики древостоев в нашей стране. Этими вопросами занимались многие ведущие ученые. Фактически модельный подход был уже у ученых конца XIX – начала XX в.: А. В. Тюринна, Н. В. Третьякова и др. Особое развитие методы моделирования получили, начиная с 60-х гг. прошлого века. Здесь надо отметить важную роль, которую сыграл профессор К. Е. Никитин и его киевская научная школа: А. З. Швиденко, Я. А. Юдицкий, А. А. Строчинский, П. И. Лакида и др. Большой вклад внесли Н. Н. Свалов, В. С. Чуенков, В. В. Загреев, И. В. Карманова и др. Так, Н. Н. Свалов выполнил детальный обзор и анализ методов исследования динамики насаждений, разработал новый метод составления таблиц хода роста, включающий случайный отбор исходных данных, классификацию насаждений по верхней высоте и производительности древостоев, моделирование уровней полноты и производительности насаждений. Моделирование динамики древостоев получило широкое развитие среди ученых сибирских научных школ: И. А. Терсков, В. В. Кузьмичев, В. Ф. Лебков и др. Весьма существенный вклад в решение проблемы моделирования внесли белорусские исследователи: О. А. Атрощенко, В. Е. Ермаков, В. П. Машковский, В. Ф. Багинский, Р. Л. Терехова, В. А. Севастьянов и др.

## 9.2. Модели изменения основных таксационных показателей древостоя

Для описания динамики таксационных показателей обычно используют уравнения различных кривых, вычисляемых с применением методов биометрии. Модели хода роста в первую очередь выводят для описания связи возраста со средней высотой, средним диаметром, суммой площадей сечения, видовым числом и текущим приростом. Следует отметить, что связь суммы площадей сечения и видового числа первоначально находят в зависимости от высоты, а потом увязывают эти показатели с возрастом. Одной из наиболее сложных зависимостей является взаимосвязь среднего и текущего прироста с учетом их изменения с повышением возраста. Многие закономерности динамики прироста в зависимости от различных факторов рассмотрены выше (глава 7). Здесь же опишем модель текущего и среднего прироста в их взаимосвязи.

### 9.2.1. Моделирование динамики прироста древостоев

*Модель текущего и среднего прироста должна отвечать следующим условиям.*

1. Рост дерева начинается с его появления из семени или из черенка и др. при вегетативном размножении. На временной шкале этот момент соответствует нулевой точке. На координатных осях в подобных случаях временной осью является ось абсцисс.

2. В начальном периоде жизни рост относительно медленный, но в какой-то момент он ускоряется.

3. В старшем возрасте рост резко замедляется. Прирост дерева не может быть отрицательным. Равным нулю – да, но не отрицательным. Прирост насаждения по запасу и другим средним таксационным признакам, когда отпад превышает увеличение запаса растущих деревьев, может быть отрицательным.

Таким образом, сформулируем требования к модели текущего и среднего прироста:

- начало кривой должно проходить через начало координат – точку 0;
- кривая должна иметь не менее двух точек перегиба: начало интенсивного роста и его конец;
- до определенного времени кривая идет вверх (увеличение абсолютной величины прироста), а потом она направлена вниз – снижение прироста;
- кривая, характеризующая рост дерева, не должна пересекать ось абсцисс, а эта же кривая для насаждения может ее пересекать.

Перечисленным требованиям могут соответствовать разные кривые. Выбор оптимального уравнения определяется из условия минимальной достаточности. Предпочтение отдают наиболее простому выражению, отвечающему заданным требованиям. Этому условию в отношении прироста отвечает парабола 3-го порядка:  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$ .

В настоящее время для моделирования прироста древостоев используют более сложные модели, учитывающие много факторов: древесную породу, регион, полноту класса бонитета, состав древостоя и т. д. Примером может служить модель текущего прироста по запасу для сосны в сосново-еловом древостое, разработанная В. Ф. Багинским и Р. Л. Тереховой:

$$\begin{aligned} \ln Z_M^{\text{тек}} = & \ln(9,718 0 - 1,130B) + 0,310 5 \exp(0,280B) \ln(A / 10) + \\ & + A / (-4,735 + 0,465 6B) + 0,773 0 \ln(G / 10) + 0,002 4A \ln(G / 10) + \\ & + [(-0,280 0)(\ln G / 10)^2] + 0,002 7A(\ln G / 10)^2, \end{aligned} \quad (9.1)$$

где  $Z$  – текущий прирост, м<sup>3</sup>/га;

$G$  – сумма площадей сечения сосновой части древостоя, м<sup>2</sup>/га;

$B$  – класс бонитета;

$A$  – возраст лет.

Графики прироста ели (9.1) для древостоев разных классов бонитета (1–4) показаны на рисунке 9.1.

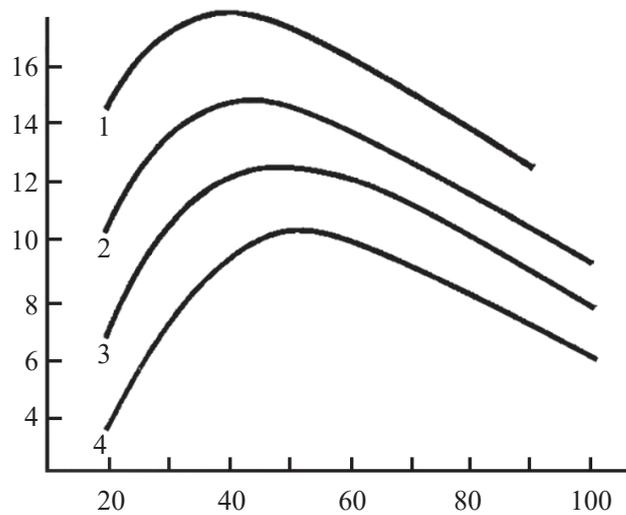


Рис. 9.1. Текущий прирост еловых древостоев при максимальных суммах площадей сечения по классам бонитета

Модели текущего и среднего прироста пересекаются в точке максимума последнего. Впервые это убедительно доказал, используя методы математического моделирования, К. Е. Никитин. Приведем это доказательство в интерпретации и символах названного ученого.

Для древостоев хвойных пород до 50–60 лет текущий прирост обычно больше среднего, в 50–60-летнем возрасте оба вида прироста одинаковы, а в последующий период они неизменно уменьшаются, причем быстрее падает текущий прирост. Такое соотношение между приростами, установленное по опытным данным, закономерно, что подтверждается также приводимым ниже теоретическим расчетом.

Для выведения моделей среднего и текущего прироста возьмем в жизни дерева или насаждения два момента, отделенных один от другого промежутком в 1 год. Первый момент обозначим через  $n$ , второй через  $n + 1$ . Соответственно этому текущий прирост в эти два момента обозначим через  $Z_n$  и  $Z_{n+1}$ , а средний –  $\Delta_n$  и  $\Delta_{n+1}$ .

Составим следующее уравнение для определения текущего прироста:

$$Z_{n+1} = \Delta_{n+1}(n + 1) - \Delta_n n. \quad (9.2)$$

После несложных алгебраических преобразований оно примет следующий вид:

$$Z_{n+1} - \Delta_{n+1} = (\Delta_{n+1} - \Delta_n)n. \quad (9.3)$$

Анализируя это уравнение, приходим к заключению, что при увеличении среднего прироста текущий прирост будет больше среднего:

$$\Delta_{n+1} > \Delta_n; Z_{n+1} > \Delta_{n+1}, \quad (9.4)$$

при уменьшении – меньше среднего:

$$\Delta_{n+1} < \Delta_n; Z_{n+1} < \Delta_{n+1}, \quad (9.5)$$

а при неизменности среднего прироста – текущий прирост равен среднему:

$$\Delta_{n+1} = \Delta_n; Z_{n+1} = \Delta_{n+1}. \quad (9.6)$$

Отсюда можно заключить, что в изменении приростов наблюдаются два периода. В первый период средний прирост хотя и возрастает, но текущий прирост неизменно оказывается выше среднего; во второй период оба вида прироста уменьшаются, причем текущий прирост оказывается меньше среднего. В момент равенства приростов средний прирост достигает максимума, а затем начинает уменьшаться.

Этот факт в настоящее время бесспорен и имеет убедительное математическое обоснование. Действительно, учитывая, что изменение текущего и среднего прироста с возрастом описывается уравнениями элементарных функций, можем записать, что текущий прирост ( $y_1$ ) представляет собой функцию возраста ( $x$ ), то есть  $y_1 = f(x)$ . Общая производительность древостоя в возрасте  $x$  ( $M_x$ ) – это сумма текущих приростов до этого возраста, то есть:

$$M_x = \int_0^x f(x) dx. \quad (9.7)$$

Средний прирост  $y_2$  в возрасте  $x$  определяем по формуле:

$$y_2 = M_x / x. \quad (9.8)$$

Учитывая (9.7), имеем:

$$y_2 = \frac{\int_0^x f(x) dx}{x} = F(x). \quad (9.9)$$

Поскольку нам необходим  $\max y_2$ , то уравнение (9.9) исследуем на максимум:

$$F(x) = \left( \frac{\int_0^x f(x) dx}{x} \right)' = \frac{x \frac{d}{dx} \int_0^x f(x) dx - \int_0^x f(x) dx}{x^2} = 0,$$

откуда

$$\begin{aligned} x \frac{d}{dx} \int_0^x f(x) dx - \int_0^x f(x) dx &= 0, \\ xf(x) - \int_0^x f(x) dx &= 0, \\ f(x) &= \frac{\int_0^x f(x) dx}{x}. \end{aligned}$$

Принимая во внимание (9.8) и (9.9), получим:

$$f(x) = M_x / x,$$

или

$$\max Z_M^{\text{сп}} = Z_M^{\text{тек}}.$$

Максимум текущего прироста по массе наступает раньше, чем максимум среднего прироста. По абсолютной величине максимум текущего прироста больше максимума среднего, по-

сколькo последний наступает в тот момент, когда текущий прирост перешел в стадию падения. Представление о соотношении приростов дает рисунок 9.2.

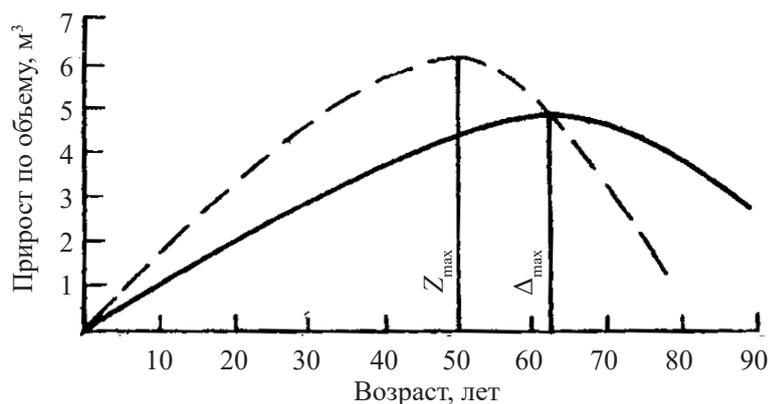


Рис. 9.2. Соотношение текущего (пунктир) и среднего (сплошная линия) приростов

Приведенное на рисунке 9.2 соотношение двух кривых типично для отдельных деревьев и целых древостоев. Этот же рисунок дает представление о характере изменения прироста при увеличении возраста, о чем сказано выше.

Эта закономерность имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение, так как широко используется при установлении возрастов количественной и технической спелостей леса.

### 9.2.2. Модели динамики средних высот, диаметров и видовых чисел

Изменение средней высоты, диаметра и видового числа подчиняется несколько иным законам, чем прирост. С началом жизни дерева высота и диаметр начинают увеличиваться. Сначала медленно, но с некоторого периода наступает период бурного роста, а в приспевающих и спелых насаждениях рост деревьев замедляется. В конечном итоге рост по высоте прекращается, а по диаметру живое дерево растет постоянно. Поэтому требования к модели роста по высоте следующие:

- кривая должна начинаться в начале координат (точка 0);
- первоначальный рост идет медленно. Кривая имеет малый угол наклона к оси  $OX$ ;
- с определенного возраста идет ускорение роста;
- после достижения возраста спелости рост сильно замедляется, а затем практически останавливается. Эта часть кривой становится почти параллельной оси абсцисс.

Наилучшим образом отмеченным условиям отвечает уравнение В. Н. Дракина и Д. И. Вуевского

$$H_a = H_{\max} (1 - e^{-ka})^m, \tag{9.10}$$

где  $H_a$  — высота в возрасте  $a$  лет;

$H_{\max}$  — максимально достижимая высота породы;

$a$  — возраст;

$k, m$  — коэффициенты.

Часто требуется описать (смоделировать) ход роста, когда начальный возраст древостоя равен 10 или 20 годам. Такое обычно бывает при составлении таблиц хода роста. В этом случае можно применить разные кривые. Наиболее простой из них является парабола 3-го порядка. Квадратную параболу ( $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ ), которую иногда тоже здесь используют, применять нежелательно из-за ее большой «жесткости»: она занижает или завышает граничные значения.

В настоящее время предложено много функций роста. Для примера приведем уравнение Я. А. Юдицкого, являющееся одним из лучших:

$$y = a_1 \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a_2(t-a_3)} e^{-u^2} du,$$

где  $a_1, a_2, a_3, t$  – параметры;

$u$  – возраст;

$e$  – основание натуральных логарифмов.

В ряде последних научных публикаций можно встретить утверждение, что функция  $H = f(A)$  в конце жизни насаждения загибается книзу из-за усыхания крупных деревьев. Но результаты большинства исследований показывают, что такого не происходит.

Модель динамики среднего диаметра сходна с моделью изменения высоты. Отличие здесь в том, что правая ветвь кривой, которая выражает динамику диаметров, у живого дерева никогда не становится строго параллельной оси  $OX$ . Графики уравнений, описывающих зависимость высоты и диаметра от возраста, то есть  $H = f(A)$  и  $D = f(A)$ , которые взяты из т. х. р. В. Ф. Багинского и Ф. П. Моисеенко, приведены на рисунках 9.3 и 9.4.

Закономерности изменения видового числа иные, чем диаметра и высоты. В лесной таксации обычно используют старое видовое число, которое находят по формуле:

$$f = \frac{V_{\text{ств}}}{V_{\text{цил}}},$$

где  $V_{\text{ств}}$  – объем ствола;

$V_{\text{цил}}$  – объем цилиндра с диаметром основания  $Dm$ .

В этом случае  $f$  будет меньше 1,0, когда  $H \geq 1,3$  м. Видовое число имеет высокую корреляцию с высотой. Как правило, связь  $f - H$  выражается уравнением гиперболы:

$$f = \frac{a_1}{H} + a_2.$$

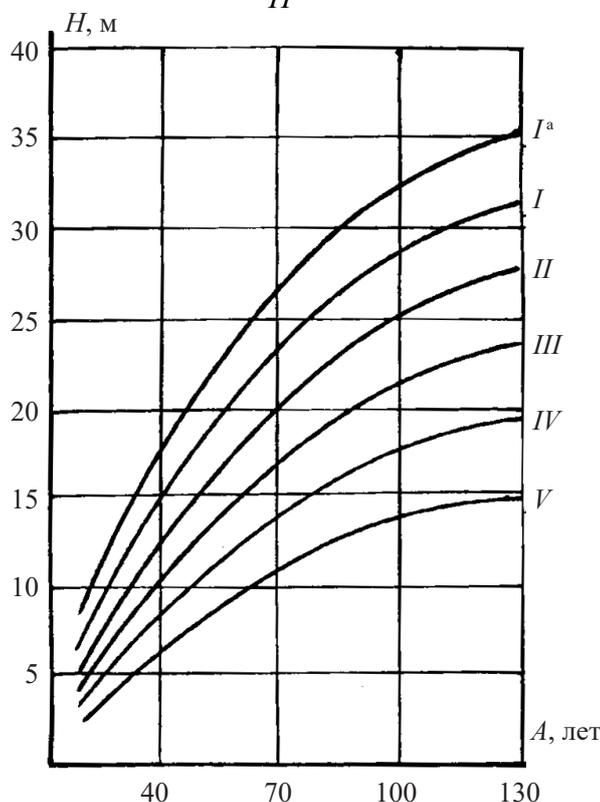


Рис. 9.3. Динамика высот древостоев сосны

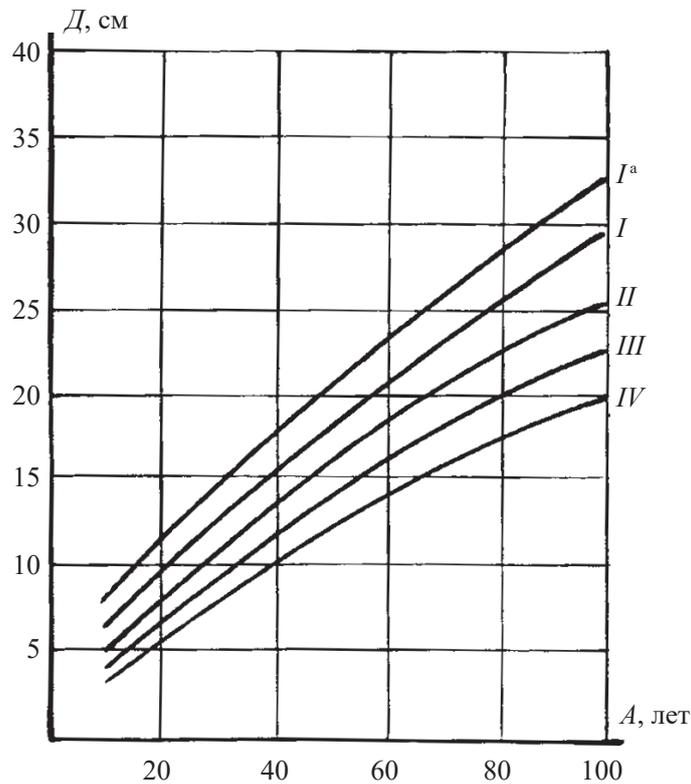


Рис. 9.4. Динамика диаметров древостоев березы

Средний диаметр на величину видового числа существенного влияния не оказывает, так как оно поглощается корреляцией  $H - D$ . Более существенное значение в уравнении связи  $f = \varphi(H, D)$  диаметр оказывает в молодняках возрастом до 20–30 лет. Уравнения связи здесь бывают разные, но тоже типа гиперболы. Например,

$$f = \frac{a_1}{H} + \frac{a_2}{D} + a_3.$$

График, показывающий связь видового числа с высотой  $f = \varphi(H)$ , имеет вид, показанный на рисунке 9.5.

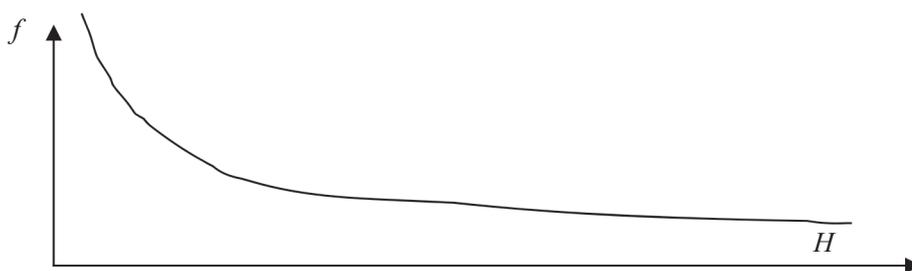


Рис. 9.5. График зависимости видового числа от высоты

Из рисунка 9.5 видно, что при увеличении высоты с минимальных значений до 15–25 м снижение  $f$  идет быстро, а после высоты 30–32 м кривая становится почти параллельной оси абсцисс.

Изменение сумм площадей сечений ( $\Sigma g$ ) и запасов ( $M$ ) подчиняется примерно тем же законам, что и динамика средней высоты и диаметра. До определенного возраста эти величины увеличиваются медленно, затем идет бурный рост, а в конце жизни древостоя их приращение небольшое. В перестойных насаждениях  $\Sigma g$  и  $M$  могут даже уменьшаться, если идет распад древостоя и отпад превышает прирост на живых деревьях. Для математического выражения

динамики  $\sum g$  и  $M$  от возраста можно использовать уравнение В. Н. Дракина и Д. И. Вуевского, параболу 3-го порядка и др. В связи с высокой корреляцией  $\sum G - M$  обычно по уравнениям связи вычисляют динамику  $H$ ,  $G$ ,  $F = f(A)$ , а  $M$  определяют по формуле  $M = GHF$ . В практике лесоустройства запас обычно определяют по стандартной таблице сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0.

### 9.3. Современные направления в моделировании динамики древостоев

Настоящий учебник нужен не только студентам, но и магистрантам. Для этой категории обучающихся необходимо более подробное изложение вопросов моделирования. Весьма обстоятельно проблема моделирования динамики древостоев изучена профессором О. А. Атрощенко и изложена в его монографии «Моделирование роста леса и хозяйственных процессов» и в учебном пособии «Лесная таксация». Поэтому приведем описание моделирования хода роста древостоев в его интерпретации.

Математическое моделирование роста леса с помощью компьютеров является относительно новым направлением в лесотаксационной науке. Как и в большинстве новых направлений, первоначальное внимание было сконцентрировано на решении узких, специальных вопросов, а не на перспективу применения моделей в системе управления лесными ресурсами. Системный подход к моделированию роста леса на компьютерах связан с пересмотром идей и способов моделирования.

Первоначально исследователи пытались связать отдельные цели (назначения) моделирования роста леса, а не основные принципы моделирования, что привело к несколько путаной классификации направлений моделирования. Тем не менее практически все модели имеют одну общую цель: в некоторой точке или точках времени (возрасте) можно получать данные о состоянии насаждения. Д. Манро (1974) выделяет три основных принципа в моделировании роста насаждений.

Первый принцип предполагает, что основной единицей моделирования является отдельное дерево и его части. Для разработки модели роста насаждения необходимы данные таксации частей древесного ствола, измерений коры, оценки биологической конкуренции деревьев и их пространственного размещения на площади в системе координат.

Второй принцип предполагает, что основная единица моделирования – отдельное дерево. Переменными в модели представлены таксационные признаки деревьев без учета их пространственного размещения и данных таксации частей древесного ствола.

Третий принцип моделирования предполагает, что основной единицей моделирования является древостой, и поэтому модели строятся для совокупности насаждений по их средним таксационным показателям.

Модели первого типа создаются на основе информации о росте отдельных деревьев в насаждении: индекс условий произрастания, фактор конкуренции деревьев, измерения ширины и длины кроны, расстояние между деревьями, анализ хода роста древесного ствола, текущий прирост по диаметру и высоте по 5-летиям вдоль ствола, положение дерева в системе координат.

Это направление получило развитие в Северной Америке. Модели Ньюнхама (Newnham, 1964), Ли (Lee, 1967), Лина (Lin, 1974), Белла (Bella, 1970), Митчелла (Mitchell, 1967), Арнея (Arney, 1974) и др., хотя отчасти различные в деталях, являются в принципе подобными. Каждая модель основывается на постулате: размер конкуренции, которой подвергается дерево, пропорционален той части круга, которая перекрывается кругами конкуренции соседних деревьев. Круг конкуренции обычно определяется как некоторая функция диаметра дерева на 1,3 м. Фактическое количество перекрытия (то есть конкуренция) выражалось различными авторами в единицах площади окружности или углов.

Ньюнхам проверил влияние различных пространственных распределений на отпад. Лин показал, что конкуренция, которой дерево подвергалось последние 5 лет, является полезной переменной в модели роста дерева. Белла дал итеративный алгоритм для определения пределов влияния конкуренции. Арней показал возможность использования для имитационной модели насаждения текущего прироста каждого дерева по 5-летиям.

Дж. Лин разработал имитационную модель для прогноза текущего прироста древостоя. В насаждении проводится перечислительная таксация, измеряются положение деревьев в системе координат и текущий прирост каждого дерева по высоте и диаметру. Функции связи текущего прироста с показателями имеют вид:

$$Z_d = f(SI, A, d, GSI, AGSI),$$

$$Z_h = f(SI, A, d),$$

где  $Z_d$ ,  $Z_h$  – абсолютный текущий годичный прирост дерева по диаметру и высоте соответственно;

$SI$  – индекс условий местопроизрастания – показатель их потенциальной производительности;

$A$  – возраст дерева, лет;

$GSI$  – индекс растущего пространства, или площадь питания дерева;

$AGSI$  – текущее изменение индекса растущего пространства;

$d$  – диаметр дерева, см.

Индекс  $GSI$  вычисляется путем оценки угла между деревом и его конкурентами. Методический подход заключается в установлении связей между шириной кроны и диаметром деревьев, растущих на открытом пространстве (индекс  $GSI = 0$ ) и угнетенных ( $GSI = 100$ ), которые показывают соответствующий угол (рис. 9.6).



Рис. 9.6. Связь между шириной кроны и диаметром деревьев, растущих на открытом пространстве и угнетенных

Между прямыми линиями на рисунке 9.6 находятся пределы растущего пространства дерева. Таким образом, если угол между деревом и его конкурентом меньше  $2,15^\circ$ , то конкуренция отсутствует ( $GSI = 100$ ), если угол равен или больше  $5,25^\circ$ , то конкуренция максимальная и индекс  $GSI = 0$ .

Индекс вычисляется на ПК с использованием карты пространственного распределения деревьев по площади насаждения. Для отдельного дерева растущее пространство делится на четыре части (рис. 9.7). В квадрате северо-запад конкуренция равна нулю (нет соседних деревьев), то есть индекс  $GSI = 100$ . В квадрате северо-восток угол конкуренции уменьшается в 5 раз, то есть  $GSI = 25 - 5 = 20$ . В квадрате юго-восток угол конкуренции  $5,25^\circ$ , то есть конкуренция составляет 25 и индекс  $GSI = 25 - 25 = 0$ .

Прогноз текущего прироста на 18 лет по имитационной модели сравнивался с данными перечислительной таксации древостоев на пробных площадях. Результаты показывают максимальные отклонения по среднему диаметру древостоя от  $+4,5$  до  $-5,0$  см, средней высоте от  $+3,6$  до  $-3,4$  м.

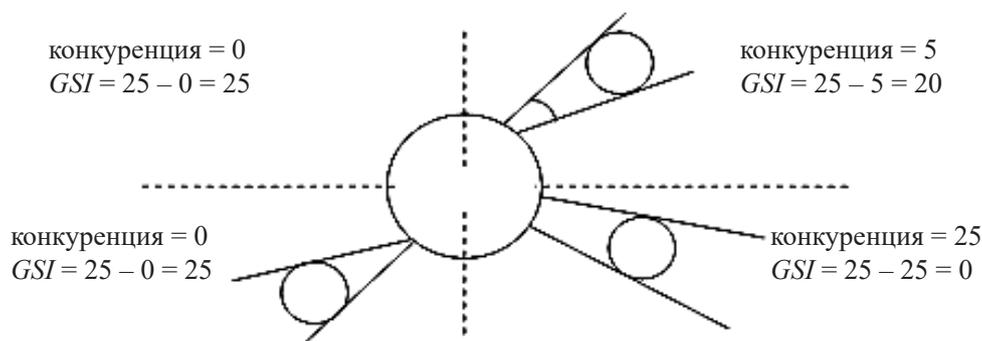


Рис. 9.7. Оценка индекса растущего пространства

Модели данного типа дают весьма детальную информацию о строении древостоя, и главное их назначение – проверить влияние различных лесохозяйственных программ, таких как схемы посадки, рубки ухода и удобрения, на рост леса. Однако самым большим препятствием к практическому применению этих моделей является требование информации о пространственном распределении деревьев и данных таксации частей древесного ствола. Такая информация дорогостоящая и не всегда имеется в наличии. Трудно также измерить биологическую конкуренцию деревьев. Применение крупномасштабной аэрофотосъемки позволит более эффективно выполнять картирование деревьев по пробе, но это не уменьшит стоимость таксации частей ствола и трудности практического применения данного типа моделей.

Модели второго типа разрабатываются с использованием зависимостей относительного прироста по высоте, диаметру и объему от таксационных показателей дерева и насаждения, факторов окружающей среды (среднее расстояние между деревьями, температура и длина сезона роста, величина осадков и т. д.). В этих моделях широко используются функции распределения деревьев по диаметру, высоте и другим признакам. Моделирование режимов рубок ухода выполняется имитацией строения древостоев по диаметру с прогнозированием прироста по площади сечения, вырубаемой части, по числу деревьев и площади сечения.

Моделирование прироста и отпада древостоя отличается от простых регрессионных моделей роста (Lemon, Shumaher 1962), в которых периодический текущий прирост по диаметру является функцией фактора конкуренции, условий местопроизрастания и объема дерева. Наибольшее распространение эти модели получили в Скандинавских странах. Сторонники «аналитического» способа моделирования хода роста насаждений, К. Тонбулл, Л. Пиенар (Turnbull, Pienaar 1973), Дж. Клуттер (J. Clutter 1963, 1972) концентрируют внимание на развитии математической теории и совместимости функций прироста и общей производительности насаждений. С другой стороны, сторонники эмпирического изучения «лучшей» функции прироста К. Голдинг (Golding, 1972), Ю. Вуокила (Vuokila, 1973), П. Стейдж (Stage, 1973) обычно применяют регрессионный анализ с подбором наиболее подходящей регрессии без строгого внимания к математической элегантности и совместимости функций прироста и производительности.

А. Силливан и Дж. Клуттер предложили систему уравнений, составляющих алгебраически логическую модель хода роста одновозрастных насаждений по сумме площадей сечения и запасу. Цель – получить совместные модели роста и производительности насаждений. Прогнозирование запаса древостоя выполняется по модели:

$$M_2 = b_0 + b_1 H_{100} + b_2 A_2^{-1} + b_3 (A_1 / A_2) \ln G_1 + b_4 - (1 - A_1 / A_2) + b_5 (A_1 / A_2) H_{100}. \quad (9.11)$$

Прогнозирование суммы площадей сечения древостоя:

$$\ln G_2 = (A_1 / A_2) \ln G_1 + b_1 (1 - A_1 / A_3) + b_2 (1 - A_1 / A_2) H_{100} - A_{(100-A)100}. \quad (9.12)$$

Прогнозирование общей производительности насаждений:

$$M = b_0 + b_1 H_{100} + b_2 A^{-1} + b_3 \ln G, \quad (9.13)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  – коэффициенты регрессий;

$H_{100}$  – индекс условий местопроизрастания, определяемый верхней высотой в возрасте 100 лет;

$A_1$  и  $A_2$  – возраст древостоя в настоящий момент и через  $n$  лет;

$G_1$  и  $G_2$  – соответственно сумма площадей сечения древостоя теперь и через  $n$  лет;

$M$  – общая производительность.

Проверка моделей (9.11)–(9.13) на данных таксации древостоев (102 постоянные пробные площади) подтвердила логическое постоянство и адекватность моделей.

Ю. Вуокила (1980) при моделировании роста и производительности сосновых насаждений Финляндии использовал функции относительного текущего прироста деревьев и древостоев по диаметру, высоте и объему. Независимыми переменными в моделях явились показатели среднего дерева древостоя (диаметр, высота, возраст, объем); таксационные показатели древостоя (диаметр, верхняя высота, возраст, площадь сечения, запас, процент отпада по площади сечения); переменные окружающей среды: среднее расстояние до соседних деревьев, средняя температура сезона роста, число дней с положительной температурой более 16 °С. Рубки ухода прогнозируются по программам рубок ухода (способ, интенсивность и повторяемость рубок) на ПК с применением динамики строения древостоев по диаметру с помощью бета-функции.

Модели второго типа требуют меньше информации и могут быть полезны при создании системы принятия решений и оценке альтернативных вариантов ведения лесного хозяйства. Серьезный недостаток этих моделей – отсутствие надежности в прогнозировании текущего прироста древостоев и имитации роста насаждений.

Дальнейшим развитием моделей второго типа явились модели роста леса в виде случайного стохастического процесса (Т. Suzuki, 1971, 1974; L. Peden и др., 1973; Н. Bruner, J. Moser, 1973). Информация собирается в виде данных периодической таксации насаждений на стационарах. За период роста (1 год) дерево может остаться в данной ступени толщины или перейти в другое состояние – следующую ступень толщины, из растущего состояния в отпад или вырубленную часть. Процесс роста леса рассматривается в виде непрерывно-временной модели описания вероятностей перехода дерева из одного состояния в другое. А. Маркова, Т. Сузуки и Ж. Умемура (1974) условные переходные вероятности описывают дифференциальным уравнением А. Н. Колмогорова. Л. Педен и др. (1973) применили модель А. Маркова.

Это направление моделирования роста насаждений является попыткой еще глубже и точнее описать процесс роста леса. Основная цель – прогнозирование роста насаждений. Трудностью в создании моделей является большой объем опытных данных и вычислительных работ на компьютере.

Модели третьего типа широко используются в различных странах в виде т. х. р. Современные компьютеры позволяют разработать сложные регрессионные модели. К сожалению, ценность таких регрессионных моделей в условиях пассивного эксперимента невелика, поэтому работа идет по созданию имитационных моделей роста леса, использующих регрессионные модели связи таксационных признаков древостоев. Большое преимущество регрессионных моделей состоит в возможности использовать массовую лесоустроительную информацию, получаемую в процессе инвентаризации лесов, в их простоте и меньшем объеме вычислений на компьютерах.

В СССР развивался биофизический подход к теории роста леса (Г. М. Хилыми, 1955; И. А. Тересков, М. И. Терескова, 1980), решались задачи прогнозирования древесных запасов и экологической обусловленности динамики биологических систем (И. Я. Лиёпа, 1980),

применения математических методов для оценки биологических закономерностей роста и продуктивности насаждений (И. В. Карманова, 1976; В. В. Кузьмичев, 1977).

Особый подход применяется к моделированию хода роста разновозрастных насаждений (П. М. Верхунов, 1976; В. Ф. Лебков, 1967; И. В. Семечкин, 1967; Э. Н. Фалалеев, 1983; В. Г. Кузнецова, Д. П. Столяров, 1981).

Хотя сейчас имеются четкие различия между тремя типами моделей роста леса, но со временем они уменьшаются, и рассмотренные принципы моделирования будут дополнять друг друга. Моделирование роста леса в значительной степени зависит от наличия достаточно надежной и полной лесоводственной информации. Сбор этой информации – весьма трудоемкий и дорогостоящий процесс. Однако в противоположность распространенному мнению огромный банк долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях является необязательным. Относительно малое число проб, особенно полезных для создания системы принятия решения, в сочетании с временными выборочными пробами (выборочная лесоинвентаризация) и анализами хода роста древесных стволов могут обеспечить данными для разработки приемлемых функций роста насаждений.

В то же время с последним тезисом многие лесоводы не согласны. Закладка постоянных пробных площадей хотя и является трудоемким и дорогостоящим делом, но компенсируется получением точной и достоверной информации, которую другим способом добыть нельзя. Ряд НИИ и вузов Беларуси и СНГ накопили большое количество стационаров. Многие из них уже имеют давность наблюдений в 40–80 лет. Такие пробы есть в БГТУ, Институте леса НАН Беларуси, С.-Петербург. НИИЛХ, С.-ПетербургЛТА и в других местах. Зарубежные специалисты (шведы, немцы и др.), посещая стационары в лесах Беларуси, были в восторге от них и отмечали огромное значение постоянных пробных площадей для проведения исследований.

### 9.3.1. Функции роста леса

Общая математическая модель временного ряда хода роста некоторого таксационного показателя древостоев  $Y(t)$  может быть представлена в виде:

$$Y(t) = V(t) + U(t),$$

где  $V(t)$  – детерминированная компонента;

$U(t)$  – случайная составляющая.

Детерминированную компоненту, или систематическую составляющую, можно рассматривать как некоторую лесорастительную норму, выявляющуюся в исследованиях массовых процессов роста насаждений. Это – оптимальная лесорастительная норма роста по высоте, диаметру, запасу и т. д., к которой стремится древостой в данных лесорастительных условиях. Случайная составляющая  $U(t)$ , подчиняющаяся некоторому вероятностному закону распределения, представляет колебания (отклонения) в росте вокруг лесорастительной нормы. Эти отклонения возникают при неоднородности в условиях произрастания отдельных насаждений, различий в биологической конкуренции деревьев в древостое. Они возможны также из-за влияния окружающих объектов, ошибок измерений и т. д. В принципе, при повторении ситуации целиком функция  $V(t)$  должна была оставаться одной и той же (при одинаковых условиях), а случайные составляющие оказались бы различными как разные реализации случайного процесса роста леса.

Существующие таблицы хода роста насаждений представляют собой модели, в которых влияние возраста древостоев проявляется только в детерминированной  $V(t)$  составляющей с той или иной степенью надежности и достоверности. Это классическая ситуация регрессионных моделей, где предполагается, что течение времени никак не отражается на случайной

составляющей, то есть математическое ожидание (среднее значение) случайной составляющей тождественно равно нулю, дисперсия равна некоторой постоянной величине, а значения  $U(t)$  в различные моменты времени некоррелированы. Такое определение приводит к тому, что всякую зависимость от времени приходится включать в систематическую составляющую  $V(t)$ .

Регрессия (линейная или криволинейная) обычно может быть использована для аналитического выравнивания опытных данных, однако применять ее для экстраполяции или прогноза роста древостоев следует весьма осторожно. Наконец, мы проводим исследования в условиях так называемого пассивного эксперимента, где эксперимент ведет природа (древостой растет под влиянием факторов окружающей среды) с учетом хозяйственной деятельности человека. Это обстоятельство объясняет одну из причин низкой работоспособности регрессионных моделей, полученных в условиях пассивного эксперимента при сильной корреляции входных переменных и искажениях в оценках коэффициентов регрессии.

Для математического описания детерминированной составляющей, или тренда, временного ряда роста древостоев  $V(t)$  применяются различные функции (К. Е. Никитин, 1963; Л. Странд, 1964; М. Продан, 1968; Н. Н. Свалов, 1974; Я. А. Юдицкий, 1982). Это параболы 2–3-го порядков, уравнения, предложенные Ф. Корсунем, модель логарифмического типа Бакмана и т. д. М. Продан (1965) и Е. Ассман (1970) указывают два основных признака кривых роста деревьев и древостоев:

- кривые роста являются асимптотическими, то есть при неограниченном увеличении возраста кривые имеют асимптоту – прямую, параллельную оси абсцисс;
- текущий прирост кривой роста возрастает и достигает максимума в точке перегиба кривой, а затем уменьшается и медленно падает до нуля, то есть до полного распада древостоя.

Максимум прироста зависит от древесной породы и условий произрастания. Если эти принципы процесса роста насаждений удовлетворяются математической моделью, то такая модель вполне подходит для моделирования производительности древостоев.

Число функций роста, предложенных в разное время исследователями, составляет несколько сотен и увеличивается с каждым годом. Анализ значительного их количества проведен В. Пешелем (Peshel, 1938), а техника расчетов параметров описана в книге М. Продана (1961). Все формулы разделены В. Пешелем на две группы: полученные путем формально-математических построений или сконструированные на основе энергетических представлений. После анализа уравнений первой группы В. Пешель пришел к заключению, что хорошие результаты достигаются применением формулы Леваковича (Lewacowic, 1935):

$$Y = a / (1 + b / x)^c.$$

Отмечает он также формулу В. Корсуна (Korsun, 1935):

$$Y = ae^{b \ln x + c \ln^2 x}.$$

Во второй группе В. Пешель выделил функцию Р. Хугерсхофа (Hugershof):

$$Y = ax^2 e^{-cx}.$$

В 1878 г. Д. Коллер предложил формулу выравнивания хода роста древостоев по высоте:  $Y = ax^u e^{-cx}$ . Японский лесовод Т. Теразани в 1915 г. рекомендует простую S-образную функцию роста:  $Y = ae^{-h/x}$ . В. Корф (Korf, 1939) использовал для описания хода роста деревьев уравнение  $Y = ae^{k(1-n)x^{n-1}}$ .

И. Шимек (Shimek, 1967) при исследовании хода роста древостоев рекомендует более сложную функцию роста:

$$Y = ae^{k(1-a)x^{1-n}} bx.$$

В настоящее время исследователи роста и производительности древостоев стремятся разработать гибкую теорию роста насаждений. Это означает переход от чисто эмпирического и индуктивного подхода к дедуктивному методу исследования. В эмпирических уравнениях значения коэффициентов используются для оценки факторов, влияющих на рост леса, но они не имеют биологического смысла.

Ход роста деревьев и древостоев представляет аналогичный процесс. Он выражается S-образной кривой роста. В первый начальный период роста кривая медленно возрастает, затем идет второй период интенсивного роста до максимума прироста. Достигнув какой-то максимальной величины, прирост снижается, но кривая роста возрастает. Наконец, прирост падает до нуля, рост прекращается, и кривая роста приближается к асимптоте, параллельной оси X (возрасту). Интенсивность роста и S-образность кривой зависят от биологических особенностей древесной породы, лесорастительных условий роста. Кривые роста быстрорастущих пород (осина, береза) имеют слабо выраженную S-образность в молодом возрасте, медленно растущие (ель, дуб) характеризуются четкой S-образностью.

Большинство математических моделей, применяемых для описания биомассы единичного растения и в культурах, основаны на функциях роста. Наиболее простой формой роста является так называемый экспоненциальный рост с постоянной относительной скоростью. Размеры растения вычисляют по формуле:

$$W_t = W_0 e^{kt},$$

где  $t$  – время роста от начала наблюдения, когда размеры (например, масса) особи составляют  $W_0$ ;

$e$  – основание натуральных логарифмов;

$k$  – скорость роста.

Прологарифмировав это выражение, имеем линейную форму:  $\ln W_t = \ln W_0 + kt$ .

Впервые математический принцип экспоненциального роста сформулировал Г. Бакман. Он указал, что рост по экспоненте происходит по правилу сложных процентов. Экспоненциальный закон роста не может продолжаться бесконечно, так как это должно привести к гигантским размерам растений. Экспоненциальный рост наблюдается в начальный период роста деревьев; экспонентой выражается зависимость объемов деревьев от их диаметров.

В биологической литературе, посвященной изучению относительного роста растений и животных, часто встречается степенная функция роста:  $Y = bx^a$ , получившая название **формулы простой аллометрии**. Само понятие «аллометрия» означает неравномерный рост. Оказалось, что соответствие размеров особей данного вида в фиксированном возрасте удовлетворительно описывается степенной функцией роста.

В 50-х гг. XX в. японскими исследователями Шинозаки, Кира (Shinozaki, Kira, 1956) были предложены обобщенные ростовые функции. Берталанффи (Von Bertalanffi, 1938) сформулировал научную гипотезу, согласно которой прирост (интенсивность роста) по объему организма ( $dV/dt$ ) выражается разностью между анаболическим ( $nV^e$ ) и катаболическим ( $yV$ ) темпами роста:

$$dV/dt = nV^e - yV,$$

где  $n, y$  – параметры;

$V$  – объем биомассы.

Анаболический темп роста пропорционален площади поверхности организма, катаболический – объему биомассы. Аллометрическая константа ( $c$ ) характеризует особенности вида растения и окружающей среды, то есть отражает измерительные связи между размерами

растения. Интегрируя дифференциальное уравнение, получим обобщенную функцию роста П. Бергаланффи:

$$V(t) = A[1 - e^{-k(t-t_0)}]^{1/(1-c)},$$

где  $A$  – асимптота по объему:  $A^{1-c} = n / y$ ;  $K = y(1 - c)$ ;

$t_0$  – начало роста.

Ф. Ричардс (F. Richards, 1959), изучая рост растений, и Р. Чепмен (Charman, 1961) – рост рыб, пришли к выводу, что аллометрическая константа ограничивает область применения функции роста, и предложили параметр ( $m$ ). Отсюда появилась обобщенная функция роста Ричардса – Чепмена, которая широко используется в биометрии, в том числе при моделировании роста леса:

$$W = A(1 - be^{-kt})^{1/(1-m)},$$

где  $W$  – значение таксационного признака во время  $t$ ;

$A$  – максимальное значение признака;

$b, k, m$  – параметры роста.

Кривая роста определяется параметрами роста.

Параметр роста  $A$  представляет предельное значение таксационного показателя, когда неограниченно увеличивается время, то есть древостой прекращает прирост и отмирает. Точка перегиба кривой определяется  $W = Am^{1/(1-m)}$ . Кривая роста является асимптотической к горизонтальной асимптоте. Из этого следует, что если  $A = \text{const}$ , то четвертый параметр ( $m$ ) является основным, характеризующим расположение точки перегиба на кривой роста.

Параметр роста  $b$  с биологической точки зрения не имеет большого значения, так как определяет только выбор начала отсчета. Для кривых, описывающих связь высоты с возрастом (бонитировочные шкалы), параметр  $b$  всегда должен быть равен 1,0 (теоретически), так как все эти кривые проходят через начало координат. Если начало отсчета времени (возраста) принято в возрасте посадки леса, то кривые роста не проходят через начало координат.

Параметр роста ( $k$ ) выражает скорость роста, при которой значение зависимой переменной следует из линейной функции:

$$\ln\{1 - (W / A)^{1-m}\} = \ln b - kt.$$

Значение ( $k / m$ ) есть средняя относительная скорость роста совокупности в виде временного ряда, в которой все классы возраста или 5–10-летние периоды представлены с одинаковой вероятностью. Это отношение есть также взвешенная средняя скорость роста на весь период роста.

Параметр роста ( $k$ ), таким образом, имеет три различные интерпретации:

а) площадь под кривой равна  $[A^2k / (2m + 2)]$  и зависит от параметров кривой ( $A, k, m, b$ );

б) средняя высота (ордината) кривой равна  $[Ak / (2m + 2)]$ ;

в) функция скорости роста (прирост) зависит от функции роста и наоборот:  $dW / dt = nW^m - k_1W$ . Если функция роста аппроксимирована по наблюдениям, параметры ( $n$ ) и ( $k_1$ ) функции скорости роста получают значения:

$$k_1 = k / (1 - m); n = k_1 A^{1-m}.$$

Параметр  $Ak / (2m + 2)$  – средневзвешенная абсолютная скорость роста в течение всего периода развития.

Абсолютная скорость роста составляет:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{kW}{1-m} \left[ \left( \frac{A}{W} \right)^{1-m} - 1 \right].$$

Коэффициент  $kW$  характеризует выражение экспоненциального роста с постоянной относительной скоростью. Такой рост можно рассматривать как основную тенденцию всех живых организмов к росту и усложнению. Выражение  $(A/W)^{1-m} - 1$  показывает отклонение величины относительной скорости роста от экспоненциального роста, или меры эффективности факторов, тормозящих увеличение признака (объема  $W$ ).

Функция роста Ф. Ричардса – Чепмена выражается кривыми разной формы в зависимости от параметров  $a, k, m$  (рис. 9.8).

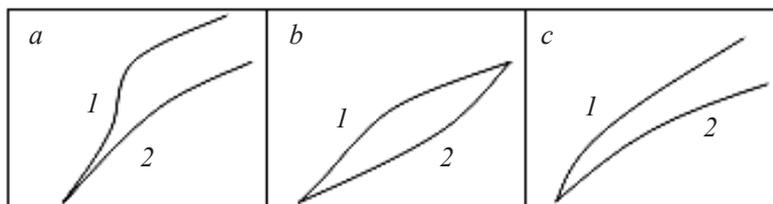


Рис. 9.8. Функция Ричардса различной формы:  
 a –  $A = 100; m = 0,5; k = 0,1$  (кривая 1);  $k = 0,05$  (кривая 2);  
 b –  $A = 50; m = 0,8; k = 0,1$  (кривая 1);  $k = 0,05$  (кривая 2);  
 c –  $A = 100; m = 0,0; k = 0,1$  (кривая 1);  $k = 0,05$  (кривая 2)

Четыре параметра  $b, m, k/m, Ak(2m+2)$  определяют семейство кривых функции роста Ричардса – Чепмена, которая является обобщением многих функций роста: мономолекулярной Гомперца, Дракина – Вуевского, логистической. При значениях параметра от 0 до 1 кривые существуют между мономолекулярной и функцией Гомперца. При значениях 1; 2 типы кривых распространены от функции Гомперца до логистической.

Монокулярная функция роста получается из функции Ф. Ричардса при  $k = 0$ , то есть в виде

$$W = A(1 - be^{-kt}).$$

Эта функция роста растений создана как аналог химической реакции, где  $W$  – количество вещества, которое исчезает через время  $t$ , а  $A$  – количество исходной субстанции. При характеристике биологических объектов  $A$  будет предельной величиной особи, а  $W$  показывает размеры растения во время  $t$ . Скорость роста характеризуется величиной  $dW/dt = k\{A - W\}$ , то есть монокулярная функция не имеет точки перегиба. В этом случае прирост уменьшается линейно с увеличением возраста. Эта модель показывает хорошее совпадение с экспериментальными данными при характеристике заключительных этапов роста, когда снижается абсолютная скорость роста растений.

Монокулярная функция относится к типу кривых с ограниченным ростом и известна как закон Э. А. Митчерлиха (1957), выражающий зависимость между урожаем и факторами среды, определяющими рост растений:

$$dY/dx = C(A - x),$$

где  $Y$  – урожай;

$A$  – константа, обозначающая предельный урожай, к которому стремится  $Y$ , когда  $x$  стремится к бесконечности и постоянстве остальных факторов;

$X$  – уровень испытываемого фактора.

Белорусские исследователи В. Н. Дракин и Д. И. Вуевский еще в довоенное время разработали функцию роста, отражающую S-образную закономерность хода роста древостоев по высоте. В основе ее создания лежит предложенная авторами научная гипотеза: скорость роста насаждения по высоте, начиная от нуля, возрастает до некоторого максимума, после чего стремится к нулю при неограниченном увеличении возраста. Функция Дракина – Вуевского приведена выше (формула (9.1)).

Следовательно, белорусские ученые В. Н. Дракин и Д. И. Вуевский на 20 лет раньше Ричардса (1959) и Уэмпмена (1961) разработали обобщенную функцию роста при параметре  $b = 0$ , когда кривые роста проходят через начало координат. При  $b = 0$  и  $W = 0$ , то есть соблюдается условие, которое необходимо для характеристики хода роста древостоя по высоте, диаметру, суммам площадей сечения и другим таксационным показателям. Положительным свойством этой функции является то, что при  $m > 1$  она имеет точку перегиба и S-образный вид. При  $m < 1$  или  $m = 1$  точка перегиба отсутствует и кривая обращена выпуклостью вверх. Отсюда функция Дракина – Вуевского применима для математического описания хода роста как быстрорастущих, так и медленно растущих древесных пород. Функцию Дракина – Вуевского можно изобразить в разном виде, но широкое применение она нашла в виде формулы

$$Y = a(1 - e^{bx})^c,$$

где  $Y$  – функция, выражающая изменение средних высот, м;

$x$  – аргумент, выражающий возраст древостоя, лет;

$e$  – основание натуральных логарифмов (число Непера);

$a, b, c$  – параметры данной функции.

Эта формула реализована в виде компьютерных программ, используемых для обработки экспериментального материала при исследованиях в лесоводстве и лесной таксации.

Обобщенная функция роста Ричардса – Чепмена находит широкое применение при моделировании роста и производительности древостоев. А. Рават и Ф. Франц (A. Rawat, F. Franz) детально исследовали функцию Ричардса для математического описания роста насаждений 10 основных древесных пород ФРГ и Индии и пришли к выводу, что эта асимптотическая нелинейная регрессия хорошо подходит для моделирования и построения системы кривых роста насаждений.

Для создания системы полиморфных кривых роста древостоев четыре параметра отдельных кривых роста ( $A, b, k, m$ ), предварительно оцененных по опытным наблюдениям, выравниваются в зависимости от класса бонитета с использованием полинома:

$$Y = b_0 + b_1 H_{100} + b_2 (H_{100})^2 + b_3 (H_{100})^3 + b_4 (H_{100})^4,$$

где  $Y$  – зависимая переменная (параметр функции Ричардса);

$H_{100}$  – индекс класса бонитета.

В результате получены системы кривых роста и производительность древостоев (рис. 9.9 и 9.10).

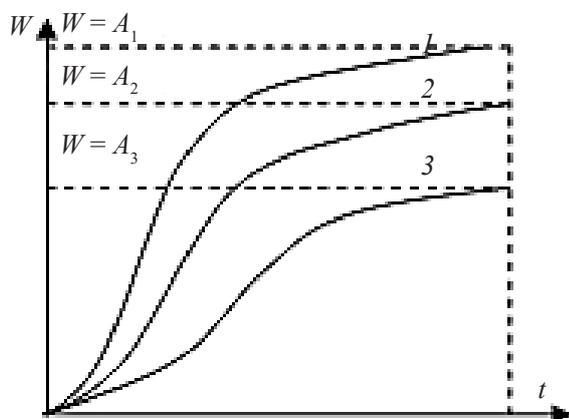


Рис. 9.9. Функция роста Ричардса, аппроксимированная к трем кривым роста по высоте

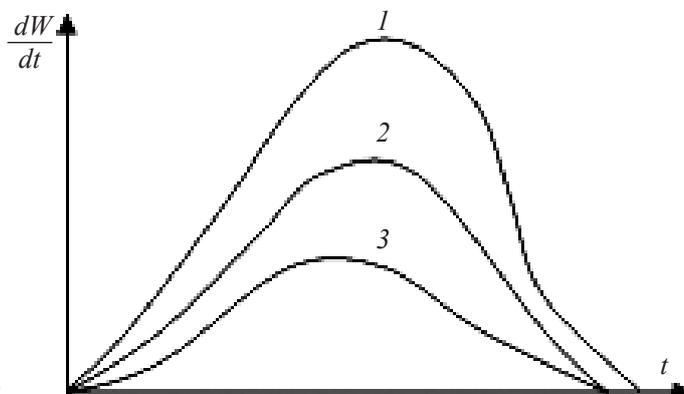


Рис. 9.10. Функция абсолютной скорости роста по высоте

Функция абсолютной скорости роста показывает динамику текущего прироста древостоев, его кульминацию для различных условий местопроизрастания.

Я. А. Юдицкий выполнил детальный анализ функций роста леса, разделив их на те, что получены из дифференциальных уравнений, и эмпирические. Он показал, что общим дифференциальным уравнением типа  $A$  является:

$$Y' = b(n^a - Y^a)Y.$$

На рисунке 9.10 три полиморфные кривые роста, три горизонтальные асимптоты ( $W = A_1$ ;  $W = A_2$ ;  $W = A_3$ ) и точки перегиба. Кривые роста являются  $S$ -образными и характеризуют биологическую особенность роста древесных пород.

Решение уравнения включает как частные следующие случаи модели роста: экспоненциальную, логистическую, Хильми (для запаса), Митчерлиха, Шарфа, Ричардса при различных соотношениях параметров. График функции  $Y$ , удовлетворяющий заданным условиям, имеет  $S$ -образную форму и ограничен прямыми  $Y = 0$  и  $Y = n$ . Решениями общего дифференциального уравнения  $Y' = (a / A^{a+1} - b)Y$  являются ростовые функции Шмальгаузена, Корфа, Терзаки, Колера, Хутерсфора, Шимека. Показано, что  $Y$  возрастает, достигает максимума при  $A = A^*$ , а потом убывает. Таким образом, при возрасте  $A < A^*$  решение уравнения может применяться для аппроксимации таксационных показателей, увеличивающихся с возрастом, а при  $A > A^*$  – убывающих.

Я. А. Юдицкий предложена новая функция роста:

$$Y = b_1 \Phi[b_2(A - b_2)] + b_4,$$

где  $\Phi(x)$  – функции Маркова;

$b_1, b_2, b_3, b_4$  – параметры.

Проблема времени является центральной в научном прогнозировании биологических явлений. Обязательное требование к любому биологическому процессу – это определение временных интервалов предсказываемого явления или состояния системы. Конструктивный подход к изучению проблемы биологического времени разработан Гастоном Бакманом, который в 1925 г. опубликовал первую работу такого направления в трудах Латвийского университета.

Проанализировав известные функции роста организмов (Фюрхюльста, Гопметца, Бестиена, Хеслина и др.), Г. Бакман выявляет их недостаточную адекватность. Кривая  $S$ -образной формы, которой обычно аппроксимировали рост организмов, не отражает характерную особенность их роста, а именно ту особенность, что период снижения скорости роста обычно более длителен, чем период ее возрастания. Поэтому половины своих конечных размеров организм достигает после наступления максимума роста. Это явление он объясняет логарифмическим характером биологического времени, то есть биологическое время рассматривается как логарифмическая функция физического. Основой функции Г. Бакмана есть постулат о том, что логарифм скорости роста пропорционален квадрату логарифма времени. Отсюда выводится функция роста:

$$\lg Y = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg^2 A.$$

А. М. Мауринь детально выполнил исследование функции роста Г. Бакмана, определив время максимальной скорости роста, продолжительности жизни, точки перегиба и другие особенности функции.

При выборе подходящих функций роста для математического описания хода роста и производительности древостоев следует исходить из точности исходных данных, их объема и времени обработки на ПЭВМ, требуемой точности и надежности результатов, практического применения модели.

### 9.3.2. Множественные регрессионные модели роста деревьев и древостоев

В моделировании хода роста насаждений и разработке имитационных моделей строения и производительности древостоев широко используются множественные регрессионные модели. Математическое описание функций системы (биогеоценоза, насаждения и т. д.) в целом и функций связи отдельных элементов системы можно выполнить в виде обобщенного дискретного полинома Колмогорова – Габора:

$$Y = b_0 + \sum b_4 x_n + \sum \sum b_{n_1 n_2} x_{n_1} x_{n_2} + \dots + \sum b_{n_1} x_{n_1}^m.$$

При двух факторах ( $x_1, x_2$ ) линейная модель первой степени

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты регрессии.

Линейная модель второй степени имеет уже 11 членов:

$$Y = b_0 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_1^2 x_2 + b_7 x_1 x_2^2 + b_8 x_1^2 x_2^2 + b_9 x_1 x_2^2 x_2 + b_{10} x_2^2 x_1^2 x_2^2.$$

Количество членов уравнения быстро растет с увеличением числа аргументов (факторов). Так, модель второй степени при четырех факторах включает 70 членов. Объем наблюдений также возрастает с увеличением числа переменных, так как число наблюдений должно быть в 5–7 раз больше числа факторов. При разработке модели необходимо провести эксперимент объемом 50–70 наблюдений. Для формального решения задачи объем наблюдений с ростом числа аргументов становится практически необозрим.

В уравнении можно выделить три качественно отличные части:

- 1) линейную – с коэффициентом при аргументах в степени единица ( $b_1 x_2$  и  $b_2 x_2$ );
- 2) нелинейную – с коэффициентами при аргументах в степени  $m > 1$  ( $b_4 x^2$  и  $b_5 x^2$ );
- 3) неаддитивную – с коэффициентами при произведениях аргументов по два, три и более ( $b_3 x_1 x_2$ ;  $a^6 x_1^2 x_2$  и т. д.).

Практика применения регрессионного анализа показывает, что нет необходимости рассматривать в уравнениях слишком высокие степени и произведения многих аргументов. На линейную часть уравнения часто приходится наибольшая информация (70–90 %), а вклад нелинейной и неаддитивной частей сравнительно невелик. Следовательно, сначала необходимо описать объект системой множественных линейных регрессионных моделей, а затем оценить, насколько улучшается аппроксимация функции, если дополнительно вводятся в уравнение нелинейные и неаддитивные члены.

### 9.3.3. Функции роста по А. К. Кивисте

Значительный вклад в моделирование процессов роста леса внесла эстонский исследователь А. К. Кивисте, опубликовавшая в 1988 г. специальную монографию. Этот автор отмечает, что функции роста леса являются одним из видов моделей хода роста, выражающих наиболее вероятные линии изменения важнейших таксационных показателей (признаков) древостоев в зависимости от их возраста.

Обычно проводится анализ функций роста средней высоты ( $H$ ), среднего диаметра ( $D$ ) и запаса ( $M$ ) древостоя, которые имеют S-образные кривые хода роста. Обобщенная кривая хода роста у исходит из точки начала координат, имеет точку перегиба и приближается к асимптоте, параллельной оси возраста. Эти закономерности называются **общими закономерностями хода роста древостоев**.

Закономерности хода роста выявляются более четко при анализе не самой величины  $y$ , а ее текущего прироста  $y'$ , который является первой производной функции роста и называется

часто **скоростью роста**. Обобщенная кривая прироста имеет асимметричную колоколообразную форму: исходит из точки начала координат, возрастает быстро до максимума и затем медленно снижается, приближается к оси возраста.

Исходя из общих закономерностей роста, к функциям роста можно предъявить следующие требования (в области  $A > 0$ ).

1. Функция роста  $y(A)$  должна исходить из точки начала координат,  $y(0) = 0$ .
2. Функция роста  $y(A)$  должна быть возрастающей, то есть  $y'(A) > 0$ .
3. Функция роста  $y(A)$  должна приближаться к асимптоте, параллельной оси возраста,  $\lim y(A) = Y_{M^-}$ .
4. У функции роста должна существовать одна точка перегиба.
5. Текущий прирост  $y'(A)$  должен исходить из точки начала координат,  $y'(A) = 0$ .
6. Текущий прирост  $y'(A)$  должен иметь справа и слева от его максимума  $T$  по одной точке перегиба.

Так как известных функций роста уже свыше полусотни, возникает вопрос об их классификации. В работе В. Пешеля функции роста разделены на две группы: **формально-математические** и «**законы роста**». В свете современных представлений о биофизике леса такая классификация не оправдана. Нецелесообразным с точки зрения А. К. Кивисте является и различие функций роста дерева и древостоя. Хотя процессы роста дерева и древостоя описываются разными механизмами, для их аппроксимации применяют, как правило, одни и те же функции роста.

Своеобразная классификация функций роста сделана Д. Тодоровичем. В этой работе каждый класс функций представлен одной общей формулой, объединяющей находящиеся там функции роста. Таким образом, все их многообразие описывается Д. Тодоровичем одиннадцатью общими функциями разного вида.

Классификация Д. Тодоровича имеет существенные недостатки. Некоторые функции роста (например, функция А. Леваковича) принадлежат одновременно к разным классам, а в некоторых группах существуют только разработанные Д. Тодоровичем функции, не имеющие практического применения до сих пор. К тому же в последние десятилетия опубликовано множество новых функций роста, которые выходят за рамки классификации Д. Тодоровича.

Опыт Д. Тодоровича показывает, что множество функций роста леса настолько разнообразно, что их группировка по внешнему виду на несколько непересекающихся подмножеств, имеющих примерно одинаковое число функций, практически невозможна. Но в то же время у многих функций роста заметны одинаковые конструктивные единицы, указывающие на некоторое сходство между ними. Поэтому А. К. Кивисте отказалась от конструирования громоздких общих формул для разных классов функций, а выделила в качестве основы группировки некоторые более характерные выражения (преобразования), применяемые в формулах функций роста. С учетом принципа от простого к сложному были выполнены следующие преобразования, упорядоченные на семь уровней:

- 1) линейные по параметрам:  $b_0 + b_1 f_1(A) + b_2 f_2(A) \dots +$ ;
- 2) дробные:  $f_1(A) / f_2(A)$ ;
- 3) степенные преобразования:  $k_0 [f(A)]^k$ ;
- 4) экспоненциальные:  $\exp[(A)]$ ;
- 5) Митчерлиха:  $1 - \exp:[f(A)]$ ;
- 6) степенно-показательные:  $[f_1(A)] f_2(A)$ ;
- 7) особые.

Основой данной классификации функций роста (ФР) является примененное преобразование наивысшего уровня. Для иллюстрации классификации представлен рисунок 9.11, на котором изображена принадлежность роста к разным группам в зависимости от преобразований, примененных в них. На этом рисунке показано, что почти все функции роста содержат линейное преобразование, но в группу функций линейного преобразования входят только функции,

линейные по всем ее параметрам. Функции второй группы содержат дробные преобразования и могут содержать также линейные.

У данной классификации, как и у других классификаций функций роста, есть недостатки. Один из них состоит в том, что некоторые функции, имея похожий внешний вид, могут входить в разные группы. Во избежание этого недостатка в работе А. Кивисте при представлении ФР наиболее точно сохранен их первоначальный вид.

Функции роста леса, линейные по параметрам, широко используются при составлении т. х. р. древостоев. К ним относятся полиномы, гиперболы и логарифмические кривые. Они не соответствуют строгим требованиям, которые предъявляются к функциям роста.

Функции дробных преобразований (II группа) являются простейшими ФР, но удовлетворяют большинству имеющихся здесь требований. Наиболее известной функцией роста из этой группы является функция Хосвельда:  $y = A^2 / (b_0 + b_1 A + b_2 A^2)$ , которая часто называется функцией Корсуна. С другой стороны, эти ФР не имеют явной точки перегиба и неудобны при актуализации.

Функции степенных преобразований имеют в своем составе неизвестный параметр в качестве степени. Большинство ФР этой группы соответствуют требованиям к ФР, но не имеют биофизической основы. Наиболее известна в лесной таксации функция А. Леваковича:  $y = c_1 [A / (c_0 + A)]^{c_2}$ .

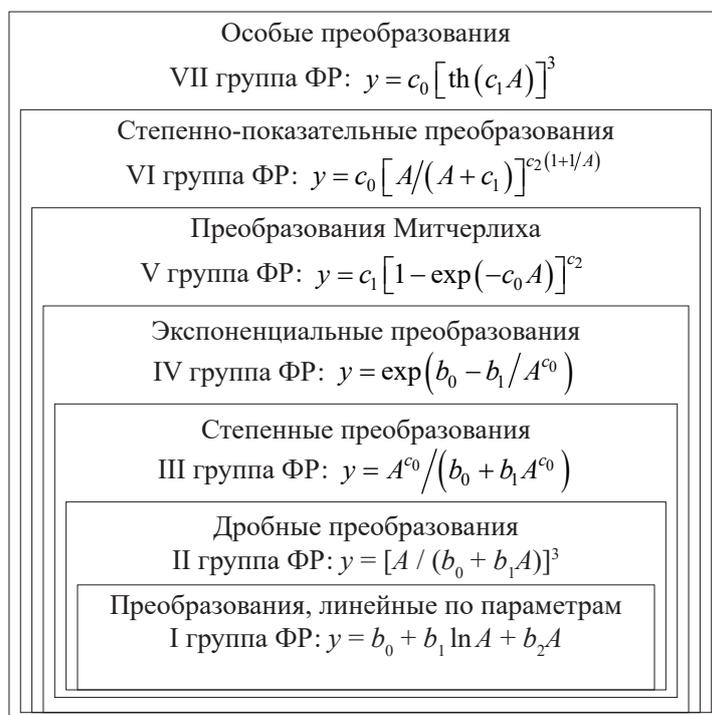


Рис. 9.11. Стандартные преобразования и классификация функций роста

Функции экспоненциальных преобразований имеют общий вид:

$$y = \exp[f(A)].$$

К этой группе относятся функции Т. Теразаки, В. Корфа, С. Гомперца, которые используются в биологии и лесной таксации.

Функции преобразования Э. Митчерлиха соответствуют требованиям, предъявляемым к ФР. Наиболее известными из них являются функции Э. Митчерлиха, В. Дракина – Вуевского, Ф. Ричардса – Чэпмана.

Степенно-показательные функции имеют общий вид:  $Y = [f_1(A)]^{f_2(A)}$ . Основание  $f_1(A)$  и показатель степени  $f_2(A)$  являются функциями, зависящими от возраста ( $A$ ) и содержащими

неизвестные параметры. В этой группе функций роста наиболее известны функции Д. Тодоровича. Функции роста отвечают требованиям к ФР, но являются сложными в вычислениях.

В седьмую группу классификации собраны ФР, отличные от предыдущих и имеющие в своем составе нестандартные  $S$ -образные элементарные функции (arctan, функция Маркова и т. п.). Функции роста леса данной группы малоизвестны в лесной таксации. Функция гиперболического тангенса  $Y = c_0[\text{th}(c_1 A)]$  применялась В. Д. Севостьяновым для моделирования биофизики чистых древостоев в Беларуси. Функции роста леса этой группы необычны и относительно сложны в применении.

В своей работе А. Кивисте выполнил детальный анализ 75 функций роста, представленных в семи группах классификации (рис. 9.12), и рекомендовал наиболее подходящие из них для моделирования хода роста древостоев по высоте, диаметру и запасу. В приложении к работе дана информация по аппроксимации данных к изученным функциям роста с применением ЭВМ.

### 9.3.4. Биофизическая теория роста леса

Рост и развитие лесного насаждения зависят от его генетических и физиологических характеристик, экологических условий существования. Наиболее значительный фактор, определяющий рост растений, – это питание как источник минеральных и органических соединений, необходимых организму, и как энергетическая основа его жизнедеятельности.

Источником энергии для всех видов растений является физиологически активная радиация солнечного излучения (ФАР). Фотосинтез представляет собой универсальный способ усвоения радиации. Количество усвоенной растениями энергии измеряется по запасу органического вещества в ценозе.

Существует много различных эмпирических и феноменологических подходов к характеристике лесных насаждений. Но в то же время есть и более общий биофизический подход, связанный с энергетикой роста биологических объектов. В СССР такое направление развивали Г. Г. Винберг (1966, 1975) и его последователи.

В отношении лесных насаждений энергетический подход к теории роста применен Г. Ф. Хильми. Исследование роста лесных фитоценозов в зависимости от поступающей и усваиваемой энергии (ФАР) весьма перспективно в отношении оценки динамики запаса насаждений, анализа процесса естественного изреживания, зависимости их роста от температуры, влажности, структуры и состава почвы и других параметров внешней среды.

Для характеристики роста надземной биомассы насаждения можно использовать систему единиц: длина ( $L$ ), время ( $T$ ), энергия ( $E$ ). Введем обозначения: ( $V$ ) – общая производительность насаждения, или объем надземной биомассы, произведенной на единице площади,  $V = L^3 / L^2 = L$ ;  $y_0$  – физиологически активная радиация (ФАР), падающая на единицу площади в единицу времени

$$[y_0] = Ey^{-2}T - 1,$$

где  $y$  – эффективная доля ФАР, то есть часть от полной радиации, пошедшая на прирост биомассы:  $y = ny_0$  ( $n = y / y_0$  – коэффициент полезного действия ФАР);

$y_0$  – количество энергии, сосредоточенной в единице объема органической массы древостоя  $[y] = EL^{-3}$ ;

$T$  – число лет активного роста биомассы.

Г. Ф. Хильми (1957) выдвинул основную гипотезу, которая заключается в том, что скорость изменения запаса есть функция потока свободной энергии насаждения и нормы энергии, расходуемой насаждением при увеличении его запаса на единицу:

$$dv / dt = f(y, l_0) = f(y, l - bv),$$

где  $b = y_1 / v$ ;  $y_1$  – часть энергии, затрачиваемой насаждением на поддержание жизнедеятельности его биомассы без прироста. Согласно методам теории размерности, запишем:

$$dv / dt = Cy^x(y - bv),$$

где  $C$  – безразмерная постоянная.

Числа  $x$  и  $y$  удовлетворяют условию  $LT^{-1} = E^{x+yL-2y}T^{-y}$ .

Решая это тождество, находим:  $x \sim -1$ ;  $y = -1$ . Отсюда имеем

$$Dv / dt = C / y(1 - bv).$$

Вторая гипотеза состоит в том, что для каждого вида древесных растений параметры не зависят от возраста насаждения (постоянные в динамике), но зависят от породы. Пусть запас насаждения возрастает от значения в момент времени  $t_0$  до значения в момент  $t$ . Тогда получим

$$\int_{v_0}^V \frac{-bdv}{1-bv} = -C \frac{b}{y} \int_{t_0}^t dt.$$

Выполним интегрирование:

$$\lg(1 - bv) = \lg(1 - bv_0) - C(b/y)(t - t_0), \text{ или } 1 - bv = (1 - bv_0)e^{-C(b/y)(t-t_0)}.$$

Решая относительно  $v$ , имеем

$$V = 1/b - [(1/b) - v_0]e^{-C(b/y)(t-t_0)}.$$

Полагая  $A = y/b$ ;  $B = C(b/y)$ , получим окончательную формулу для математического описания динамики запаса насаждения:

$$v = A - (A - v_0)e^{-B(t-t_0)}.$$

Параметры  $A$  и  $B$  можно оценить по таблицам хода роста насаждений. Г. Ф. Хильми выполнил расчеты параметров  $A$  и  $B$  по данным всеобщих таблиц хода роста сосновых, еловых и дубовых насаждений, составленных А. В. Тюриным. Значения параметра  $A$  для сосны изменялись от 1728 до 659 для Ia–V классов бонитета, параметра  $B$  – от 0,013 до 0,017. Наибольшее отклонение общей производительности сосновых древостоев по формуле от фактических данных таблиц хода роста составило +6,4 %.

И. А. Терсков и М. И. Терскова (1980) представили динамику общей производительности древостоя в виде

$$dv / dt = Cy(v/t); C = (dv/dt)/l; a = [y(dv/dt)]/n^{10}.$$

Параметр ( $C$ ) характеризует прирост объема биомассы в единицу времени за счет единицы эффективной ФАР (1 ккал/м<sup>2</sup>) и зависит от породы, климатических и почвенных условий, структуры древостоя. Параметр ( $y$ ) может характеризовать запас энергии в единице объема биомассы древостоя независимо от удельного веса древесины. Для нахождения ( $y$ ) можно пользоваться таблицами теплотворной способности древесины.

Величина  $a = Cy$  – константа роста, которая характеризует способность древостоя превращать ФАР в органическое вещество с учетом его теплотворной способности. Величина ( $a$ ) безразмерная и зависит от абсолютного количества поступающей на древостой ФАР. По этой величине можно судить, сколько энергии на древостой поступает и насколько рационально он использует основной энергетический источник.

Величина  $X_0$  также зависит от ряда факторов: широты местности, времени года, метеорологических условий, положения древостоя на местности и др. В работе даны оценка и анализ констант уравнений динамики общей производительности насаждений по таблицам хода роста А. В. Тюрина.

Биофизический подход к математическому моделированию хода роста и производительности древостоев позволяет представить процесс с точки зрения потребления энергии, что особенно важно при описании энергетических процессов в лесной экосистеме. Точность и надежность таких моделей динамики производительности древостоев следует оценить по данным таксации насаждений на стационарах. В этом случае можно пойти по более простому и экономному пути исследований, подбирая более простые уравнения, которые дают хорошее выравнивание экспериментального материала в пределах требуемого отрезка времени.

В то же время следует отметить, что все расчеты в данном случае выполнены на материале таблиц хода роста, то есть исходные данные представляли собой выровненный материал. По данным непосредственных замеров в лесу столь близкого совпадения расчетных величин с опытными может и не быть, во всяком случае, подобных публикаций у названных авторов не появлялось. Поэтому следует сказать, что биофизический подход к моделированию динамики древостоев, хотя и имеет веское теоретическое обоснование, но для практического применения пока не подходит.

Обобщая изложенное в настоящем разделе, отметим, что моделирование хода роста насаждений – весьма сложный и трудоемкий процесс. Это направление в исследовании лесных насаждений усиленно развивается как в нашей стране, так и за рубежом. Разнообразные методы, применяемые при моделировании, имеют разную точность, трудоемкость и в целом обеспечивают достаточную адекватность моделей роста и продуктивности древостоев. В то же время часто нам надо получить сведения о динамике древостоев не за весь период их жизни, а за относительно небольшой отрезок времени, например, с 20 до 100 лет.

#### **9.4. Область применения и точность моделей динамики древостоев**

Описанные модели широко применяются в лесном хозяйстве. В первую очередь их используют при составлении т. х. р. и продуктивности насаждений. Применяются они также для разработки прогнозов лесопользования и лесовосстановления, для оценки влияния хозяйственных мероприятий на рост древостоев. Наибольшее применение находит стандартная таблица. Она является основным вспомогательным нормативом для таксатора. На ее основе устанавливается полнота, от величины которой зависит назначение рубок ухода.

Важной областью применения моделей роста и производительности насаждений является актуализация лесного фонда. Проекты по актуализации и прогнозу динамики лесного фонда выполняются по материалам базового и непрерывного лесоустройства с учетом текущих изменений, происшедших в лесном фонде, вызванных рубками леса, приемкой и передачей земель, созданием лесных культур, стихийными явлениями. Данные по учету лесного фонда в отдельных предприятиях имеют различную давность, поэтому они приводятся к одной дате, то есть актуализируются. Для выполнения этой работы требуются нормативы, позволяющие надежно прогнозировать ход роста насаждений.

Актуализация предполагает внесение изменений, которые произошли в результате проведения хозяйственных мероприятий, естественного роста леса и стихийных явлений природы за определенный срок. Нередко необходимо сделать прогноз состояния лесов на длительный период (от 5 до 50 и даже до 100 лет), для чего тоже используют модели динамики древостоев.

Точность актуализации зависит от многих составляющих: качества моделей, возраста древостоя, характера происходящих изменений и возможности их прогнозирования. Например, выполняя прогноз состояния лесов на 5 лет вперед, мы можем относительно точно учесть возможные рубки главного пользования и рубки ухода. Но сделать прогноз прочих рубок уже затруднительно, а оценить последствия ураганов почти невозможно.

В Институте леса в начале 90-х гг. прошлого века под руководством В. Ф. Багинского была проведена актуализация лесного фонда Кореневской экспериментальной базы Института леса за период в 9 лет. Для этого опытный таксатор измерительным методом протаксировал около 7000 га насаждений разных пород, возраста, полноты, происхождения. В учтенных древостоях проводились различные хозяйственные мероприятия. При выполнении актуализации применяли модели динамики древостоев, которые использовались для составления таблиц хода роста, вошедших в перечень нормативных материалов для таксации лесов Беларуси.

Результаты актуализации показали, что прогноз запасов и других таксационных показателей для приспевающих и спелых древостоев, где не проводилось интенсивных хозяйственных мероприятий, уложился в пределы 10 % при достоверности 0,68.

Точность прогноза в средневозрастных насаждениях была в пределах 10–12 % в зависимости от интенсивности рубок ухода. Особо сильное отрицательное влияние на точность оказали выборочные санитарные рубки, где точность снижалась до 15–17 %.

В молодняках точность прогноза оказалась невысокой – 20–25 и даже 30 %. При этом часто (особенно в лучших условиях роста) неудовлетворительно прогнозировался состав древостоя.

Прогноз запасов в хвойных насаждениях был точнее, чем в мягколиственных. Достаточно точно определены запасы в дубравах.

Процесс естественного возобновления можно спрогнозировать относительно точно. Были и другие особенности при актуализации, которые имели меньшее значение.

В те же годы и теми же исполнителями выполнена актуализация лесного фонда для Тульской и Калининской (ныне Тверской) областей. Она проводилась по данным учета лесного фонда с уточнением моделей роста по экспериментальному материалу в виде пробных площадей. Результаты использованы заказчиками при разработке планов освоения лесосечного фонда, хотя точность прогноза здесь была невысокой – 15–20 %.

В Беларуси методы актуализации лесного фонда разработаны сотрудниками кафедры лесоустройства и лесной таксации БГТУ (О. А. Атрошенко и др.) и специалистами Белгослеса (А. П. Кулагиним и др.). Эта система актуализации лесного фонда создана как автоматизированная система на ЭВМ на основе банка данных «Лесной фонд Республики Беларусь». Актуализация лесного фонда имеет особое практическое значение при ведении повыдельного банка данных, лесного кадастра, в геоинформационной системе «Лесные ресурсы».

Актуализация выполняется двумя методами:

- на основе повыдельного банка данных;
- по итоговым таблицам классов возраста.

Повыдельная актуализация лесного фонда должна проводиться по каждому таксационному выделу лесного предприятия. Для этого в банке данных организуется файл (отдельный массив записей) таксационного выдела: основной файл, файлы рубок, лесовосстановления и прочих изменений.

Внесение текущих изменений и организация файла проводятся по сведениям, полученным от лесхозов. После внесения текущих изменений осуществляется прогнозирование роста по регрессионным моделям.

Регрессионная модель прогнозирования древостоев по диаметру и высоте имеет вид:

$$\lg P_H(P_D) = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg A + b_3 \lg H_{100}.$$

Прогноз запаса древостоев выполняется по следующей регрессионной модели:

$$\lg P_M = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg A + b_3 \lg H_{100}.$$

Сумма площадей сечения древостоя получается через запас и видовую высоту, которая оценивается по уравнению:

$$HF = b_0 + b_1H + b_2HD^{-2} + b_3H_{100},$$

где  $P_H$  – процент среднепериодического прироста древостоя по средней высоте и диаметру ( $P_D$ );

$P_M$  – процент среднепериодического текущего запаса древостоя;

$A$  – средний возраст древостоя;

$M$  – запас древостоя;

$H_{100}$  – индекс класса бонитета;

$H, D$  – средние высота и диаметр;

$b_0 - b_3$  – коэффициенты регрессии.

Связь между зависимыми переменными и коэффициентами регрессии для сосновой хозсекции представлена в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Регрессии прогноза диаметров, высот и запасов древостоев

	Коэффициенты регрессии				Детерминация	Стандартная ошибка	Критерий Фишера
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$			
$\lg P_H$	1,906 7	-0,415 2	-0,251 2	-0195 5	0,954	0,11	1 751,8
$\lg P_D$	1,759 7	-0,400 2	-0,215 6	-0,127 5	0,960	0,09	2 028,8
$\lg P_M$	2,310 2	-0,202 6	-0,909 6	-0,041 5	0,939	0,12	1 283,7

Показатели регрессионных моделей прогноза роста древостоя показывают, что модели объясняют 94–99 % вариационной зависимости переменной с абсолютной ошибкой до 1 % прироста. Модели, предсказывающие видовую высоту, характеризуются относительной ошибкой +5–10 %. Коэффициенты регрессии значимы на 5–10%-ом уровне значимости, и модели достоверны по  $F$ -критерию Фишера.

Более простым является второй способ актуализации лесного фонда по итогам распределения площадей и запасов насаждений хозсекций по классам возраста в разрезе древесных пород. Для актуализации необходим определенный период времени. Модели прогноза процесса среднепериодических (за год) текущих изменений запасов древостоев (в коре) имеют вид:

$$\lg P_M = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg M.$$

Регрессия включает фактические запасы древостоев, показывает относительную полноту насаждения или степень их изреживания. С увеличением возраста древостоя процент текущих изменений запасов уменьшается, а с уменьшением среднего запаса древостоев на 1 га – увеличивается. Регрессия объясняет 94–98 % вариации процента текущих изменений запасов древостоев.

Модели роста и производительности насаждений требуются для различных аспектов контроля и управления лесами: таксации насаждений, оценки вариантов ухода за лесом, прогнозирования продуктивности древостоев, оценки производительности условий произрастания. Главное же назначение математических моделей роста насаждений – обеспечить данными для анализа и проверки многочисленных гипотез, планов и прогнозов для различных вариантов ведения лесного хозяйства: лесопользования, лесовосстановления, рубок ухода, лесомелиорации и т. д. Совместно с моделями оптимизации лесохозяйственных мероприятий модели роста насаждений дают ключевую информацию при принятии правильных решений в управлении лесами.

Моделирование в лесном хозяйстве постоянно совершенствуется, и новые модели, которые будут разрабатывать поколения молодых ученых, должны в будущем быть лучше действующих.

---

## Глава 10

### МЕТОДЫ ТАКСАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ

---

10.1. Сущность выборочных методов таксации леса.

10.2. Выборочные методы таксации леса.

10.3. Использование выборочных методов для определения таксационных показателей древостоев.

10.4. Точность выборочных методов таксации леса. Использование в практике выборочных методов таксации древостоев.

---

#### 10.1. Сущность выборочных методов таксации леса

Методы таксации леса разделяют на две большие части: сплошные и выборочные. **Сплошные методы** таксации заключаются в учете каждого выдела и каждой лесосеки. Этот метод носит также название перечислительной таксации, что означает учет (перечисление) каждого дерева, каждого выдела и т. д. Такой учет можно делать по-разному: уже рассмотренными нами способами определения объемов деревьев по ранее описанным формулам или по-иному, но основным методом измерений здесь является сплошной пересчет и нахождение запаса древостоя по объемным таблицам. Таким образом, сплошные методы таксации предполагают учет всех объектов исследования: выделов, деревьев и т. д. Это требует больших затрат труда и средств. Поэтому сплошные методы таксации часто заменяют выборочными.

**Выборочные методы** предполагают измерять часть генеральной совокупности, которую нам надо оценить: часть деревьев лесосеки, часть оцениваемого массива и т. д. По этим данным судят о всей совокупности. Наиболее общая совокупность носит название **генеральной**. Это теоретически бесконечно большая или, во всяком случае, приближающаяся к бесконечности совокупность всех единиц или членов, которые могут быть к ней отнесены. Так, если бы можно было описать все особи данного вида, например, все деревья сосны в лесах Беларуси, то они составили бы генеральную совокупность.

Генеральная совокупность может состоять из такого большого количества единиц, что изучить их всех нет возможности. Поэтому практически приходится иметь дело со сравнительно небольшими выборочными совокупностями. Лесовод, закладывая пробную площадь, делает вывод о всей совокупности.

Вопрос о том, в какой степени по выборочной совокупности можно судить о генеральной, принадлежит к числу важнейших теоретических и практических вопросов в биологической статистике и лесной таксации.

Задачей изучения всякой совокупности является получение статистических (или, как иногда говорят, биометрических) характеристик или показателей. Они позволяют судить о данной совокупности в целом, о различиях внутри нее и об отличии этой совокупности от других, сходных с ней или близких к ней совокупностей. Совокупность становится статистической именно тогда, когда в ее описание вносится количественный метод.

Чтобы выборочная совокупность наиболее полно отражала генеральную, необходимо учитывать следующие основные положения.

1. Выборка должна быть вполне представительной, или *типичной*, то есть чтобы в ее состав входили преимущественно те варианты, которые наиболее полно отражают генеральную совокупность. Поэтому перед тем как приступить к обработке выборочных данных, их внимательно просматривают и удаляют явно нетипичные варианты. Например, при изучении хода роста деревьев в высоту надо исключить стволы, сломанные бурей, поврежденные огнем и т. д.

2. Выборка должна быть *объективной*. При образовании выборки нельзя включать в ее состав только те варианты, которые кажутся типичными, а все остальные браковать. Доброкачественная выборка производится без предвзятых мнений, она выполняется по методу жеребьевки или лотереи, когда ни один из вариантов генеральной совокупности не имеет никаких преимуществ перед остальными – попасть или не попасть в состав выборочной совокупности. Иными словами, выборка должна производиться по принципу случайного отбора без каких бы то ни было субъективных изъятий из ее состава. Например, если мы хотим для определения средней высоты измерить 20 деревьев ели, то нельзя их выбирать по своему вкусу, исключая, скажем, низкие угнетенные стволы. Надо измерять высоту у каждого 10-го или 20-го и т. д. елового дерева. При этом надо учитывать ограничения, упомянутые выше в п. 1, например, исключать деревья, сломанные ветром.

3. Выборка должна быть качественно *однородной*. Нельзя включать в состав одной и той же выборки данные, полученные на деревьях разного вида, возраста или физиологического состояния. Неоднородный по составу материал не дает верной информации об изучаемых явлениях. Например, нельзя объединять в одну пробную площадь древостои разных типов леса, хотя бы они росли рядом, например, сосняк брусничный и сосняк вересковый. Все эти условия может соблюсти только специалист, хорошо знающий предмет своего исследования. В нашем случае это лесовод.

Эмпирические, или выборочные, совокупности могут иметь самый различный объем. В зависимости от числа наблюдений принято различать *малые выборки*, содержащие не более 30 вариантов, и выборки *большие более 30*, включающие в свой состав до 100–200 единиц совокупности и больше. Верхний предел здесь не ограничен. Принципиальной разницы между большой и малой выборками нет. Различать их приходится на том основании, что сравнительная оценка биометрических показателей, вычисляемых на малых выборках, находится в зависимости от числа наблюдений.

Выборочные методы делятся на выборочно-перечислительные и выборочно-измерительные. Первые предполагают проводить пересчет части участка: на лентах, на пробных площадях различной конфигурации, на круговых пробных площадках постоянного радиуса. Данные пересчета переносятся на всю площадь участка по соотношению величины пробы и участка.

Выборочно-измерительные методы основываются на использовании круговых реласкопических площадок, закладываемых с помощью углового шаблона Биттерлиха или призмы Анучина. В случае необходимости в пределах площадок проводится пересчет деревьев и определение их высот. Обработка этих данных делается на компьютерах по специальным программам.

## 10.2. Выборочные методы таксации леса

Выборочные методы таксации леса используют для характеристики генеральной совокупности. В принципе, объем генеральной совокупности (все леса страны, области) в лесном хозяйстве никогда не был обмерен. Наиболее обширные исследования такого рода выполнены в конце 70-х гг. прошлого века под руководством профессора А. Г. Мошкалева силами студентов-лесоводов Ленинградской лесотехнической академии. Работа выполнялась в течение

нескольких лет. Проводился сплошной перечет толщины деревьев в лесных массивах Ленинградской области. Результатом этой работы явилось подтверждение основных закономерностей строения древостоев.

Часто столь обширные исследования, охватывающие всю генеральную совокупность, не требуются. Так, таксируя лесосеку, нам надо знать с достоверностью 0,9 973 запас древесины на этой конкретной лесосеке. Здесь наличный запас лесосеки выступает в роли своеобразной генеральной совокупности.

В Беларуси при лесоинвентаризации таксатор учитывает каждый выдел (лесной участок) в пределах лесничества и лесхоза. В конечном итоге эти данные сводят в банк данных «Лесной фонд». Таким образом, делают сплошной учет всех выделов в пределах страны. Но этот сплошной учет можно интерпретировать как сочетание сплошных и выборочных методов таксации. Хотя все выделы учтены, но в пределах одного выдела учет делается выборочным методом. Это значит, что таксатор осматривает или измеряет какую-то часть выдела, а результат переносит на все насаждение.

Есть разные способы выборочной таксации. Все их разнообразие сводится к различным методам закладки пробных площадей (пробы), видам самих проб и способам обработки материала. При применении выборочных методов должно быть выдержано основное условие – случайность отбора. Наибольшую опасность (впасть в ошибку при применении выборочных методов) представляет собой неадекватное отражение выборкой какой-то характерной части генеральной совокупности. Это приводит к систематической ошибке, которую нельзя устранить увеличением числа наблюдений.

Например, на выделе площадью 20 га имеем состав 5С4Е1Ос. При этом сосна и ель распределены по выделу относительно равномерно, а осина сосредоточена в двух куртинах (рис. 10.1). Каждый символ на рисунке 10.1 соответствует 2 % состава. Допустим, мы сделали выборку в 10 % от всей площади, то есть 2 га. Эта норма выборки даже превышает соответствующие требования действующих правил лесоустройства, где определено, что в этом случае надо заложить 10 площадок, общей площадью 1,0 га. Правилами по отводу и таксации лесосек предусмотрено, что на этом участке может быть максимально 10 площадок общей площадью 1,9 га.

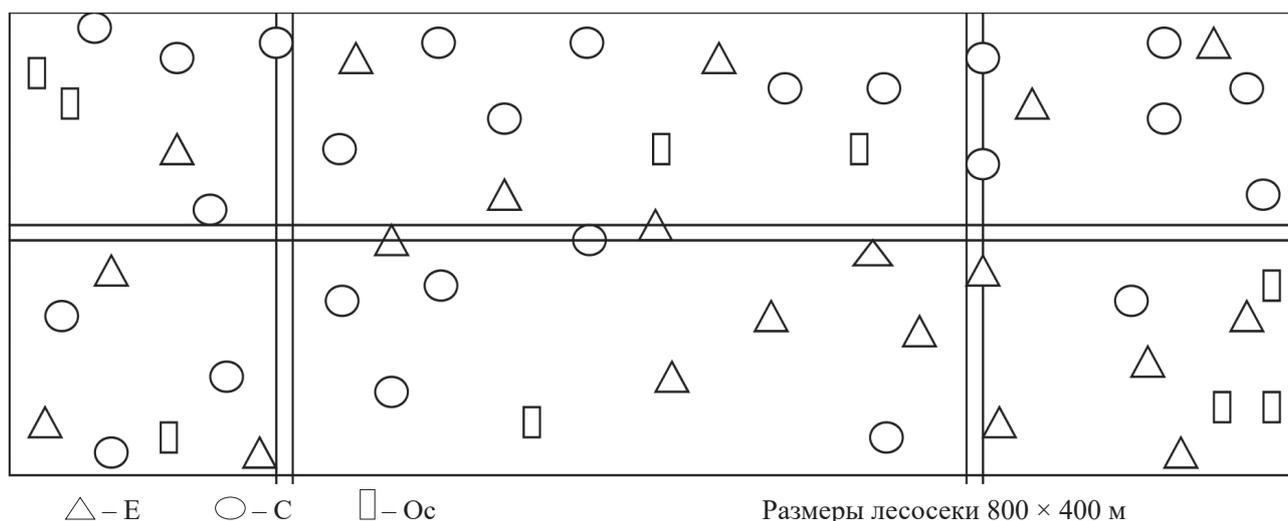


Рис. 10.1. Таксация лесосеки с помощью ленточных пробных площадей

Можно сделать выборку в 2 га, заложив одну пробную площадь в центре (типичная выборка) или 2–4 пробы по 1,0–0,5 га в типичных местах. Следующим вариантом будет закладка ленточных пробных площадей в виде ленты шириной 20 м, которая расположена параллельно длинной стороне участка и двух лент по 15 м, перпендикулярных первой.

В обоих случаях нет гарантии от наличия систематических ошибок. В примере, на рисунке 10.1, в учет не попадает осина. В практике автора были случаи, когда при проверке отводов лесосек в Беларуси из-за ошибок при выборе места закладки проб погрешность составила более 50 %. При этом «исчезли» целые породы: ясень, клен. Поэтому от подобных методов в настоящее время отказались.

В силу изложенного применение выборочных методов в настоящее время сводится к закладке некоторого расчетного количества пробных площадок относительно небольшого размера. По выделу или лесосеке они размещаются случайным путем. Наиболее корректно в этом случае распределять площадки по таблице случайных чисел, но в лесу это сделать практически невозможно. Поэтому площадки размещают по систематической сетке. Этот способ является одним из разновидностей выборочного метода и полностью соответствует его теоретическим положениям.

Таким образом, повторим еще раз, что самое главное при использовании выборочных методов – случайность отбора проб, деревьев и т. д. Никаких «характерных», «типических» мест для отбора не должно быть. Размещение площадок намечают на плане заранее, лучше всего в камеральных условиях. Куда бы ни попал центр площадки – на прогалину, на редины, в чащу и т. д., это место изменять нельзя.

В то же время выборочный метод не исключает некоторых элементов типического отбора. Это происходит обычно на первых этапах выбора объекта исследования. Например, если мы изучаем дубовые древостои, то пробы подбираем в дубравах. Когда изучаем дубраву кислую 1-го класса бонитета, то объектом исследований является именно этот тип леса и т. д. Выше уже сказано, что надо исключить из обмеров сломанные, сухие и другие поврежденные деревья, если целью работы не является изучение этих аномалий. Продолжая наш пример, в пределах лесхоза и лесничества отбор участков в дубраве кислой проводят случайным путем: по систематической сетке или выбирая выделы по жребию.

Определив места закладки пробных площадей, рассчитываем их количество. Для практических целей (отвод лесосек, лесоинвентаризация) придержки по количеству пробных площадок приведены в соответствующих нормативных документах. Для иных целей (в основном научных) количество единиц выборки (площадок, деревьев и т. д.) рассчитывают, исходя из варьирования изучаемого признака:  $D$ ,  $H$ ,  $G$ ,  $M$  и т. д. Изменчивость названных признаков изучена В. К. Захаровым, М. Л. Дворецким, Ф. П. Моисеенко, А. Г. Мошкалевым, А. З. Швиденко, В. Ф. Багинским. Их данные служат для проведения первоначальных расчетов количества наблюдений ( $N$ ) по известной формуле:

$$N = \frac{V^2}{P^2},$$

где  $V$  – коэффициент вариации;

$P$  – точность опыта.

В принципе, форма пробной площади значения не имеет. Но из соображений наибольшей технологичности форму пробы выбирают в виде круга. Так, пробную площадку, величиной 0,04 га можно заложить квадратной формы (20 × 20 м) и как круг радиусом 11,3 м. В первом случае потребуются измерять углы (иначе можем получить ромб) и сделать промер линий. Во втором случае технология ограничения площадки намного проще.

Особую роль в широком применении выборочных методов сыграло открытие австрийского ученого В. Биттерлиха, сделанное в 1948 г. и позволившее без большого количества измерений находить  $\sum g$  на выделе. Для этого используют предложенные В. Биттерлихом реласкопические площадки. Слово «реласкопические» происходит от двух слов: relative – относительный и скоро – наблюдать, то есть наблюдать относительно чего-то или наблюдать соотношения.

Результатом использования этого открытия стало разделение всех выборочных методов таксации древостоев и инвентаризации лесных массивов на следующие виды.

1. Измерительные или реласкопические.

2. Измерительно-перечислительные. Здесь сочетаются реласкопические методы с частичным перечетом.

3. Перечислительные. В этом случае проводится сплошной перечет на пробных площадках, заложенных случайным путем. Наиболее распространена здесь закладка круговых площадок постоянного радиуса.

4. Комбинированные методы.

Названные методы достаточно подробно описаны Н. П. Анучиным и особенно О. А. Атрощенко, которые приняты за прототип при изложении этих методов.

### 10.3. Использование выборочных методов для определения таксационных показателей древостоев

#### 10.3.1. Определение суммы площадей поперечных сечений и среднего диаметра методом Биттерлиха

В. Биттерлих для упрощенного определения сумм площадей сечений предложил прибор *die Winkelzahlprobe*, который получил название прибора Биттерлиха. Описание этого прибора сделано выше, когда шла речь о приборах, применяемых в лесной таксации. Сущность применения прибора Биттерлиха заключается в следующем.

Биттерлих для упрощенного определения сумм площадей сечений предложил прибор *die Winkelzahlprobe*. Сущность применения прибора Биттерлиха (рис. 10.2) заключается в следующем.

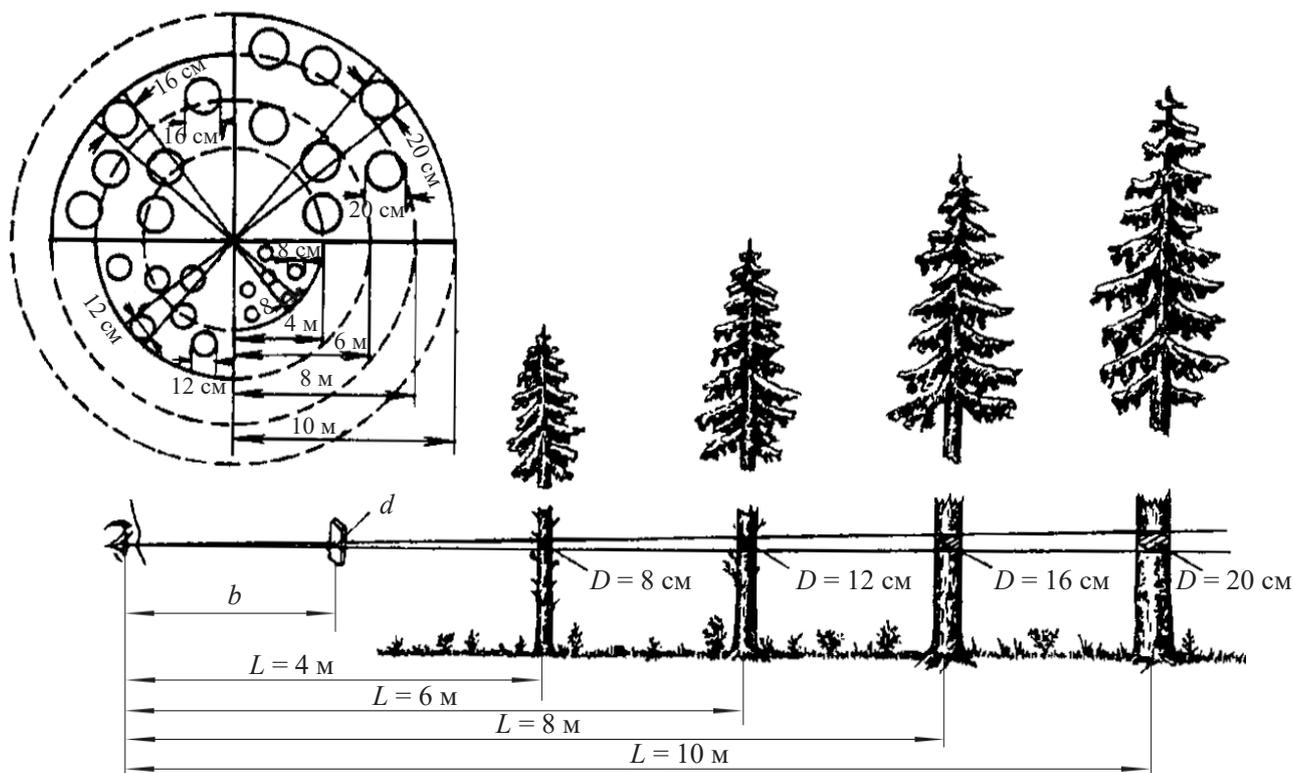


Рис. 10.2. Соотношение между диаметром дерева, перекрывающего прицельную рамку, и расстоянием от наблюдателя до дерева

Допустим, что диаметр дерева, прикрывающего в приборе угол прицела, равен  $D$ , а расстояние от наблюдателя до дерева  $L$ . Соотношения между этими величинами видны из рисунка 10.2.

Исходя из свойств построенных треугольников, можем составить следующую пропорцию:

$$D : d = L : b. \quad (10.1)$$

Решая эту пропорцию, находим:

$$L = \frac{b}{d} D. \quad (10.2)$$

Если вокруг себя мы опишем круг радиусом  $L$ , то его площадь будет равна:

$$S = \pi L^2 = \pi \left( \frac{b}{d} \right)^2 \cdot D^2.$$

Если наблюдатель, поворачиваясь на месте, прибором Биттерлиха опишет на местности круг, то диаметр этого круга будет 2 м, а радиус 1 м (рис. 10.3). Площадь такого круга:

$$\pi R^2 = \pi 100 \text{ см}^2.$$

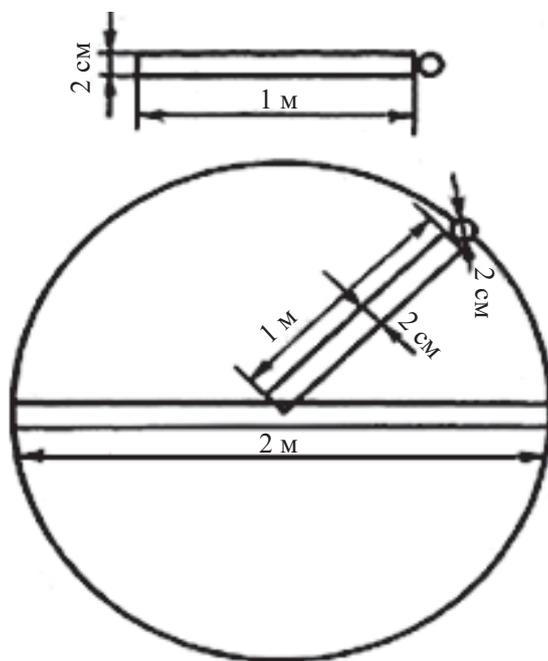


Рис. 10.3. Визирование прибором В. Биттерлиха

Если на окружности описанного круга окажутся три дерева диаметром 2 см каждое, то площадь их поперечного сечения будет равна  $3\pi 1 \text{ см}^2$ .

По отношению к площади описанного круга радиусом 1 м сумма площадей поперечных сечений трех деревьев, диаметром 2 см каждое, составит:

$$S = \frac{3\pi r^2}{\pi R^2} = \frac{3\pi l^2}{\pi 100^2} = \frac{3}{10\,000} = 0,0003. \quad (10.3)$$

Следовательно, площадь поперечного сечения каждого дерева равняется  $0,0003 : 3 = 0,0001$  круговой пробной площади. Если поперечные сечения имеющихся на пробной площади деревьев составляют 0,0001 ее части, то на 1 га древостоя, состоящего из таких же деревьев, они будут равны  $1 \text{ м}^2$ , так как 0,0001 от площади 1 га, или  $10\,000 \text{ м}^2$ , составляет  $1 \text{ м}^2$ .

Предположим, что в 2 м от наблюдателя находится дерево диаметром 4 см. Визируя на это дерево прибором Биттерлиха, мы увидим, то оно полностью закроет 2-сантиметровую рамку прибора Биттерлиха. Площадь поперечного сечения этого дерева:

$$\pi 2^2 = \pi 4.$$

Если из точки визирования описать круг радиусом 2 м, то его площадь будет равна:

$$\pi 200^2 = \pi 40\,000.$$

Отношение площади поперечного сечения дерева диаметром 4 см к площади круга радиусом 2 м в данном случае составляет:

$$\frac{\pi 4}{\pi 40\,000} = \frac{1}{10\,000} = 0,0001.$$

Следовательно, на 1 га площадь поперечных сечений аналогичных деревьев будет 1 м<sup>2</sup>.

Рассмотренные нами примеры позволяют заключить, что при пользовании прибором Биттерлиха дерево, полностью закрывающее предметную рамку диоптра, при учете сумм площадей поперечных сечений на 1 га можно приравнять к 1 м<sup>2</sup> поперечного сечения. Если таксатор, визируя вокруг себя на деревья, найдет 20 деревьев, прикрывающих прицельную рамку, то это означает, что в данном древостое на 1 га сумма площадей сечений равна 20 м<sup>2</sup>. Деревья каждой отдельной ступени толщины могут войти в число учитываемых только в той круговой пробе, диаметр которой равен такому числу метров, сколько сантиметров содержится в данной ступени толщины. Например, деревья толщиной 8 см будут учитываться на круговой пробе диаметром 8 м, а толщиной 12 см – на круговой пробе диаметром 12 м. Радиусы и диаметры круговых проб, на которых при таксации с помощью прибора Биттерлиха учитываются деревья отдельных ступеней толщины, были показаны на рисунке 10.2.

На основании изложенного и рисунка 10.2 можно заключить, что диаметры деревьев всех размеров относятся к радиусам круговых проб как 1 : 50, а к диаметрам – как 1 : 100. Ширина предметов, точно вписывающихся в угол визирования прибора Биттерлиха, увеличенная в 50 раз, указывает расстояние до этих предметов от глаза наблюдателя. Соответственно такому соотношению диаметров отношение площади поперечных сечений учитываемых деревьев к площади круговых проб будет следующим:

$$\frac{\frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{d^2}{D^2} = \frac{1^2}{100^2} = \frac{1}{10\,000}.$$

В аналогичном соотношении, то есть 1 : 10 000, находится площадь 1 м<sup>2</sup> с числом квадратных метров, содержащихся в 1 га. Этим постоянным, в обоих случаях одинаковым соотношением между поперечным сечением учитываемого дерева и площадью круговой пробы, с одной стороны, и 1 м<sup>2</sup> и числом квадратных метров в 1 га, с другой – и надо воспользоваться для перехода от числа деревьев к сумме площадей сечений деревьев на 1 га. При таком решении вопроса сумма площадей сечений деревьев каждой ступени толщины определяется в долях площади пробы. В обоих случаях доли площади имеют общий знаменатель (10 000). При наличии общего знаменателя для нахождения суммы дробных величин необходимо лишь суммировать числители. Полученный результат показывает в десятитысячных долях единицы сумму площадей поперечных сечений деревьев всех ступеней толщины, имеющих на круговых пробах.

Чтобы перейти от относительных значений к абсолютным, числитель полученной дроби надо рассматривать как сумму площадей сечений деревьев, выражаемую в квадратных метрах, а знаменатель – как число квадратных метров в 1 га.

В. Биттерлих математическое обоснование своего метода сводит к следующему.

Ограничивающий угол, или угол визирования прибора, обозначим  $\alpha$ , точно вписывающийся в этот угол диаметр дерева –  $d$ . Диаметр круговой площадки, на которой учитываются деревья данного размера, равен  $D$ , а радиус круговой площадки –  $r$ .

При этих условиях  $D = 2r$ . Диаметр ствола с диаметром круговой площадки находятся в следующем соотношении:

$$\frac{d}{2} : \frac{D}{2} = \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Отношение площади поперечного сечения ствола к площади круговой площадки, или ограничивающего круга, для дерева данного диаметра будет:

$$\pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 : \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Площадь поперечного сечения ( $\text{м}^2$ ) по отношению к площади 1 га ( $\text{м}^2/\text{га}$ ) составляет:

$$10\,000 \left( \frac{d}{2} \right)^2 \pi : \left( \frac{D}{2} \right)^2 \pi = 10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Если внутри ограничивающего круга для деревьев данного диаметра насчитано  $N$  стволов, то сумма площадей поперечных сечений (выраженная в  $\text{м}^2/\text{га}$ ):

$$\sum G = 10^4 \sin^2 \frac{\alpha}{2} N. \quad (10.4)$$

Это уравнение (10.4) в теории В. Биттерлиха является основным. Выражение  $10^4 \sin^2(\alpha / 2)$  является числовым множителем. Угол визирования у прибора надо выбирать такой, при котором этот множитель был бы равен целому числу. Более удобен для пользования прибор, для которого множитель  $10^4 \sin^2(\alpha / 2)$  равен единице. При этом условии число деревьев  $N$  равняется сумме площадей поперечных сечений  $\sum G$  ( $\text{м}^2$ ) на 1 га насаждения.

Например, если ширина предметной рамки 2 см и длина визирного бруска 100 см, угол визирования  $\alpha = 1^\circ 10'$ . Половина этого угла имеет  $\sin 35' = 0,01$ , а  $\sin^2 35' = 0,0001$ . Соответственно этому множитель  $10^4 \sin^2(\alpha / 2)$  равняется  $10^4 \cdot 0,0001 = 1$ .

При подсчете числа деревьев на круговых площадках следует иметь в виду, что одно дерево может заслонять другое и, чтобы избежать этого, подсчет надо начинать с самого толстого дерева, расположенного ближе всех к таксатору. Деревья, очертания которых как бы «касаются» линий угла, следует считать два за одно. Порядок учета деревьев при использовании прибора Биттерлиха показан выше в главе 4 (рис. 4.28). Если участок прямоугольной формы, ходовые линии надо прокладывать перпендикулярно длинным сторонам участков.

Число деревьев, оказавшееся на каждой круговой площадке, записывают в соответствующий учетный бланк. На каждой круговой площадке измеряют диаметры на высоте груди у 2–3 произвольно взятых деревьев. Опыт показал, что этого числа деревьев вполне достаточно для точного определения среднего диаметра.

Метод Биттерлиха позволяет весьма просто определить число деревьев на 1 га. Оно равняется:

$$N = \frac{\sum G}{g}, \quad (10.5)$$

где  $\sum G$  – сумма площадей поперечных сечений деревьев на 1 га, найденная по результатам учета деревьев на круговых площадках;

$g$  – площадь сечения среднего дерева.

При холмистом рельефе полученный результат необходимо разделить на косинус угла наклона местности.

Ограничивающий угол в приборе Биттерлиха может быть различным. Надо иметь в виду, что большой ограничивающий угол имеет малую дальность действия, а малый угол – большую. Работа с прибором, имеющим малый ограничивающий угол, требует больше времени. В тяжелой проходной местности и в расстроенных древостоях лучше применять прибор с меньшим ограничивающим углом. Для средних условий надо пользоваться ограничивающим углом, вытекающим из пропорции 1 : 50.

Толщина деревьев, точно вписывающихся в угол визирования прибора Биттерлиха, увеличенная в 50 раз, указывает расстояние до этих деревьев от глаза наблюдателя. Соответственно такому соотношению диаметров отношение площади поперечных сечений учитываемых деревьев к площади круговых проб будет следующим:

$$\frac{\frac{\pi}{4}d^2}{\frac{\pi}{4}D^2} = \frac{d^2}{D^2} = \frac{1^2}{100^2} = \frac{1}{10\,000}.$$

В аналогичном соотношении, то есть 1 : 10 000, находится площадь 1 м<sup>2</sup> с числом квадратных метров, содержащихся в 1 га. Этим постоянным, в обоих случаях одинаковым соотношением между поперечным сечением учитываемого дерева и площадью круговой пробы, с одной стороны, и 1 м<sup>2</sup> и числом квадратных метров в 1 га – с другой, и надо воспользоваться для перехода от числа деревьев к сумме площадей сечений деревьев на 1 га. При таком решении вопроса сумма площадей сечения деревьев каждой ступени толщины определяется в долях площади пробы. В обоих случаях доли площади имеют общий знаменатель (10 000). При наличии общего знаменателя для нахождения суммы дробных величин необходимо лишь суммировать числители. Полученный результат показывает в десятитысячных долях единицы сумму площадей поперечных сечений деревьев всех ступеней толщины, имеющих на круговых пробах:

- если диаметр (толщина) дерева полностью перекрывает прицел полнотомера, то принимают  $G = 1 \text{ м}^2$ ;
- если диаметр дерева совпадает с прицелом, то  $G = 0,5 \text{ м}^2$ ;
- при диаметре меньше прицела дерево не учитывается.

Метод Биттерлиха по существу является выборочным. Поэтому встает вопрос, как определить количество площадок на 1 га и места для закладки круговых площадок, то есть схему выборки. Места закладки круговых проб следует выбирать механически, не прибегая к нахождению более густых или редких куртин леса. За конечную сумму площадей поперечных сечений деревьев, имеющих на 1 га, следует принимать среднеарифметический результат, находимый из всех заложенных круговых пробных площадей (КПП).

Размер КПП можно определить по формуле:

$$R = 0,5d \sqrt{\frac{A}{q}}, \quad (10.6)$$

где  $R$  – радиус КПП;

$d$  – диаметр дерева;

$A$  – единица площади;

$q$  – коэффициент полнотомера.

Примеры:

$$q = 1 (G = 1 \text{ м}^2);$$

$$q = 2 (1 \text{ дерево } G = 2 \text{ м}^2);$$

$$A = 10\,000 \text{ м}^2;$$

$$R = \frac{50}{\sqrt{2}} d;$$

$$R = 0,5d \sqrt{\frac{10\,000}{l}} = 50d; \quad R = 35,355 \text{ м};$$

$$D = 20 \text{ см};$$

$$d = 20 \text{ см};$$

$$R = 10 \text{ м};$$

$$R \approx 7 \text{ м}.$$

Коэффициент Биттерлиха у полнотомера ( $q$ ) может быть равен 1, 2, 4 м<sup>2</sup> в зависимости от среднего диаметра древостоя и относительной полноты насаждения. В насаждениях без подроста, имеющих полноту 0,7–1,0, применяют коэффициент  $q = 1$ . В редких древостоях, где полнота не превышает 0,5–0,6, его принимают равным  $q = 2$ , а в насаждениях с подростом  $q = 4$ .

Ходовые линии – направления, по которым надлежит размещать круговые площадки, – намечаются с учетом конфигурации таксируемого участка. Ходовые линии должны быть параллельны. По ходовой линии круговые площадки закладывают через каждые 20–30 м (рис. 10.4). Если участок прямоугольной формы, ходовые линии надо прокладывать перпендикулярно длинным сторонам участков.

В. С. Чуенков пришел к выводу, что число реласкопических проб на выделе должно составлять:

$$N = 7\sqrt{F}, \quad (10.7)$$

где  $F$  – площадь таксируемого участка, га.

На основании этой формулы можно построить сетку квадратов в масштабе лесоустроительного планшета или плана лесонасаждений (рис. 10.4).

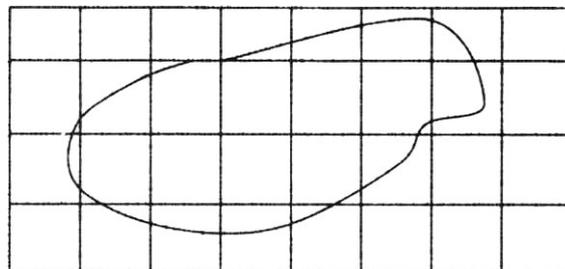


Рис. 10.4. Схема квадратов для закладки КПП

На практике широко используется систематическая выборка, например, по диагонали на выделе через равные расстояния закладываются круговые реласкопические площадки.

Исследования, проведенные во французских приморских сосновых лесах, показали, что на 1 га надо закладывать 4–5 круговых площадок. С увеличением площади участка число круговых площадок на 1 га может быть несколько уменьшено. На выделе площадью 10 га вместо 40 круговых площадок можно ограничиться 30. На участках с незначительной площадью должно быть заложено не менее 5 круговых площадок. При одной или двух круговых площадках ошибки в определении сумм площадей сечений достигают 20 %.

Если таксируемый древостой имеет смешанный состав, то каждая древесная порода подлежит отдельному учету. Допустим, что при первом обороте по кругу мы учитывали вокруг себя только сосновые деревья, причем их оказалось 15. Это означает, что сумма площадей поперечных сечений всей сосны на 1 га данного древостоя равна 15 м<sup>2</sup>. Находясь в этой же точке, мы визируем вокруг себя на деревья березы. В результате находим 10 деревьев березы

с частичным сдвигом при рассматривании их в призму. Это число указывает на то, что сумма площадей поперечных сечений всех стволов березы, имеющих на 1 га, равна 10 м<sup>2</sup>. Следовательно, общая сумма площадей поперечных сечений всех деревьев, имеющих на 1 га, будет 15 + 10 = 25 м<sup>2</sup>. Состав таксируемого смешанного древостоя определяется следующим расчетом:

- для сосны  $\frac{15}{15+10} = 0,6$ ;
- для березы  $\frac{10}{15+10} = 0,4$ .

В итоге формула состава выразится как 6С4Б.

Рассмотрим способ определения среднего диаметра древостоя на выделе с применением углового шаблона (прибора) Биттерлиха.

Для начала с помощью углового шаблона находим сумму площадей сечения на 1 га. У деревьев, попавших в учет, измеряют диаметры на высоте 1,3 м. Дальнейшие вычисления проводят по схеме, приведенной в таблице 10.5. В нашем примере сумма площадей сечений древостоя  $G = 28$  м<sup>2</sup>/га, число деревьев  $N = 873$ . Средняя площадь сечения  $g_{cp} = \frac{G}{N}$ . Отсюда

средний диаметр древостоя:  $D_{cp} = 2\sqrt{\frac{g_{cp}}{\pi}}$ . В приведенной таблице 10.1 в первой графе даны диаметры на высоте груди в сантиметрах, во второй графе – площадь сечения в метрах квадратных, соответствующая этим диаметрам. В третьей графе приведено число учтенных деревьев.

Таблица 10.1

Схема вычисления среднего диаметра

Диаметр на высоте груди, см	Площадь сечения $g_m$ , м <sup>2</sup>	Число учетных деревьев ( $n$ ) на круговой пробной площадке	Сумма площадей сечений таксируемого древостоя ( $G$ ), м <sup>2</sup>	Число деревьев на 1 га, определяемое по формуле $N_n = \frac{G_i}{g_m}$
12	0,011 3	1	1	$N_{12} = \frac{1}{0,011\ 3} = 89$
16	0,020 1	5	5	$N_{16} = \frac{5}{0,020\ 1} = 250$
20	0,031 4	9	9	$N_{20} = \frac{9}{0,031\ 4} = 286$
24	0,045 2	7	7	$N_{24} = \frac{7}{0,045\ 2} = 155$
28	0,061 6	5	5	$N_{28} = \frac{5}{0,061\ 6} = 81$
32	0,080 4	1	1	$N_{32} = \frac{1}{0,080\ 4} = 12$
Итого	–	28	28	$N = 873$

Ходовые линии должны быть параллельны. По ходовой линии круговые площадки закладывают через каждые 20–30 м.

Коэффициент варьирования диаметров в приспевающих и спелых древостоях равен 20–25 %. При измерении 28 деревьев, как показано в таблице 10.1, ошибка в определении среднего диаметра составит (вычисления ведем по формуле  $P = \frac{V}{\sqrt{N}}$ ), примерно, 4 %. Такая точность (около 5 %) вполне удовлетворяет лесоустроительную практику.

Профессор Токийского университета Т. Хирата, развивая идею В. Биттерлиха об угловых пробах, разработал оригинальный способ определения средней гармонической высоты древостоя, получивший в таксационной литературе широкую известность. Опубликованная им работа носит название «Вертикальные угловые пробы». Новизна предложения Т. Хирата прежде всего состоит в том, что закладку угловой пробы из горизонтальной плоскости он перенес в вертикальную. В конечном итоге угловая проба, закладываемая по способу Т. Хирата, представляет собой конус, перевернутый вершиной вниз, (рис. 10.5). Основание этого конуса находится вверху на уровне вершин деревьев, имеющих средние высоты.

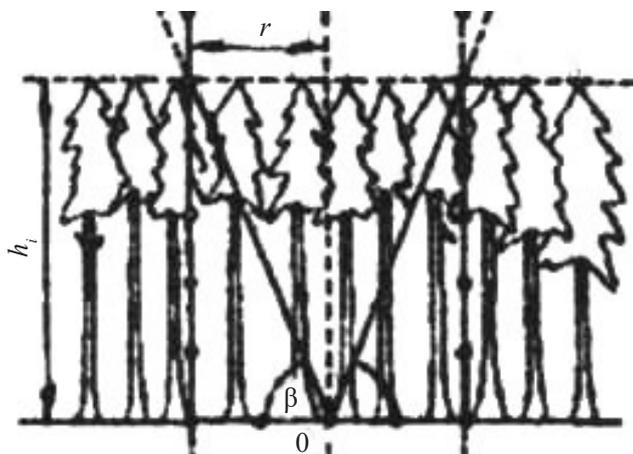


Рис. 10.5. Высота Хирата

Сущность этого способа такова. Допустим, что таксируемый участок имеет горизонтальную поверхность. Таксатор находится в точке О (в центре круговой площади) и через просвет прицела визирует на дерево, имеющее высоту  $h_i$ . Рассматриваемое дерево относится к категории деревьев  $i$ . Радиус закладываемой таким путем круговой пробы равен  $R_i$ .

На круговой пробе  $i$  площадью, равной  $\pi R_i^2$ , м<sup>2</sup>, оказывается  $t_i$  деревьев категории  $i$ , закрывающих просвет прицела  $M = 10 \cdot n$ , где  $n$  – число учетных деревьев категории  $i$ , закрывающих просвет прицела. Высоту дерева  $h_i$  уподобим радиусу и им опишем круг. Его площадь будет равна  $\pi h_i^2$ , м<sup>2</sup>, а сумма площадей кругов, описываемых радиусом  $h_i$  составит  $t_i \text{tg}^2 \beta$  м<sup>2</sup>.

Для площади древостоя в 1 га рассматриваемая величина будет равна:

$$t_i \pi h_i^2 \cdot \frac{10\,000}{\pi R^2} = 10\,000 t_i \left( \frac{h_i}{R} \right)^2 = 10\,000 t_i \text{tg}^2 \beta \text{ м}^2.$$

Для всей категории высот  $h_i$  сумма деревьев составляет  $\sum t_i = t$ , а площадь всех кругов равна  $10\,000 t \text{tg}^2 \beta$  м<sup>2</sup>.

Если число деревьев на гектаре обозначить через  $N$ , то средняя площадь круга будет составлять

$$\frac{10\,000 t \text{tg}^2 \beta}{N} = \pi \bar{H}^2,$$

откуда

$$H = 100 \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t}{N}}. \quad (10.8)$$

Если  $\beta = 60^{\circ}34'$ , то  $\operatorname{tg} \beta = \sqrt{\pi}$ . Отсюда средняя высота равна:

$$\bar{H} = 100 \sqrt{\frac{t}{N}}. \quad (10.9)$$

Угол визирования  $\beta$  при закладке круговой пробы строится не по поверхности земли, а на высоте ( $h$ ) от земли. Поэтому:

$$\bar{H} = h + 100 \sqrt{\frac{t}{N}}, \quad (10.10)$$

где  $t$  – количество деревьев, попавших в учет, то есть в угол визирования.

На основе открытия Биттерлиха можно непосредственно в лесу определить запас древостоя.

В 1961 г. В. М. Иванюта предложил метод «десятичных пробных площадей», в основе которого лежит теория угловых измерений и среднее для всех пород видовое число  $f = 0,472$ . Угол визирования в приборе В. М. Иванюты переменный и зависит от средней высоты древостоя, которая определяется предварительно. Запас древостоя ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) составляет:  $M = 10n$ , где  $n$  – число учетных деревьев.

Норвежский ученый Л. Странд разработал метод определения запаса древостоя с помощью угловых проб и перече́та деревьев. Странд в основу метода положил угловые пробы, закладываемые в вертикальной плоскости.

Форма проб у Странда получается прямоугольная. Длина одной стороны прямоугольника принимается постоянной, равной  $5\pi \approx 15,7$  м.

Другая сторона является переменной, изменяющейся пропорционально средней высоте и диаметру древостоя.

Длина переменной стороны находится по шкале тангенсов, имеющейся в реласкопе Биттерлиха.

Странд предлагает длину пройденного пути по визиру принять постоянной  $5\pi \approx 15,7$  м, а вертикальный угол визирования  $\alpha = 63^{\circ}30'$  ( $\operatorname{tg} \alpha = 2$ ) (рис. 10.6).

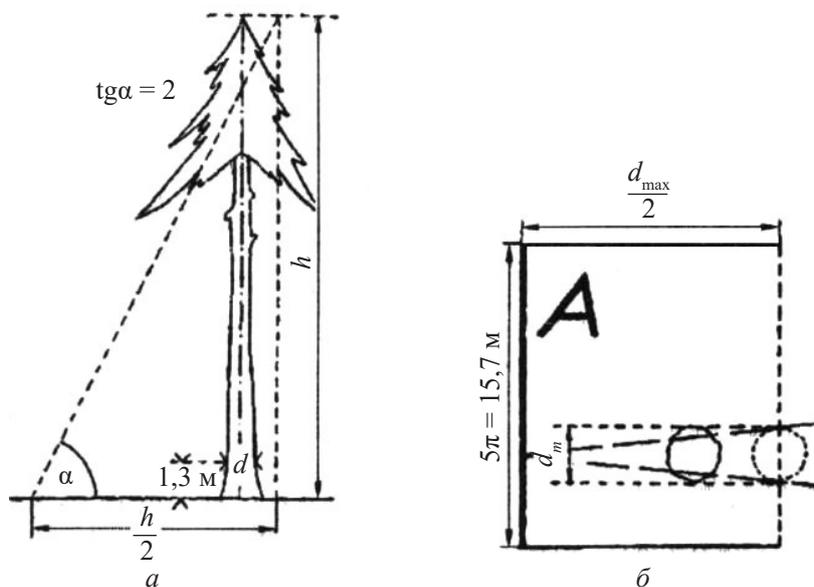


Рис. 10.6. Схема пробной площади Странда:  $a$  – вид по вертикали;  $b$  – вид по горизонтали

При этом визируют на основание и вершину дерева. Если эти две точки визирования лежат по разные стороны горизонтали, то результаты отсчетов суммируются. В противном случае из результата визирования на вершину вычитается отсчет, полученный при визировании на основание дерева.

Если полученный результат превышает число 50, то это означает, что дерево подлежит учету, так как оно находится в пределах пробы, имеющей длину стороны, равную половине высоты древостоя (рис. 10.6, а).

Площадь прямоугольной пробы при указанной длине ее сторон будет следующей:

$$A = \frac{5\pi h}{2},$$

а в долях гектара

$$A = \frac{5\pi h}{2 \cdot 10^4},$$

где  $A$  – площадь пробы;

$h$  – средняя высота древостоя.

Площадь поперечного сечения одного дерева:

$$g = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 10^4} \text{ м}^2.$$

Объем цилиндра, имеющего со средним деревом равные основания ( $g$ ) и высоту ( $h$ ):

$$C = gh = \frac{d^2 \pi h}{4 \cdot 10^4}.$$

Разделим объем цилиндра на площадь пробы:

$$\frac{gh}{A} = \frac{d^2 \pi 2 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^4 5\pi h} = \frac{d^2}{10}.$$

Соответственный расчет дает сумму площадей сечения древостоя, м<sup>2</sup>/га:

$$\frac{g}{A} = \frac{d^2 \pi 2 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^4 \cdot 5\pi d} = \frac{d}{10},$$

$$G = \frac{1}{10} \sum d. \tag{10.11}$$

Отсюда запас древостоя  $M = GHF$ .

Предложение Странда представляет интерес в том отношении, что оно открывает новые возможности применения угловых проб. Взяв за основу идею В. Биттерлиха и поставив несложную, но остроумно решенную математическую задачу, Странд вывел весьма простые формулы, определяющие запас и сумму площадей поперечных сечений деревьев на 1 га. Этим он пополнил теорию и технику определения запасов и сумм площадей сечений древостоев.

Пробные площади, закладываемые по методу Странда, имеют весьма ограниченные размеры. Между тем величине древесного запаса в пределах одного и того же таксационного участка свойственно большое варьирование. Вследствие этого пробные площадки незначительных размеров не гарантируют нахождения запасов с достаточной точностью. Отмеченный недостаток можно устранить путем закладки большого числа проб, равномерно размещенных по таксируемому участку. Однако в этом случае возрастают затраты труда на отграничение проб в натуре и отдельную таксацию леса на каждой из этих проб. Лучшим решением

поставленной задачи следует считать увеличение в 5 или 10 раз размера (15,7 м) постоянной стороны прямоугольной пробы.

В этом случае формулы Странда, определяющие запас и суммы площадей поперечных сечений деревьев на 1 га, будут следующими:

$$M = 0,5F \sum d^2 \text{ при } L = 15,7 \cdot 5 = 78,5 \text{ м;}$$

$$\sum g = 0,5 \sum d \text{ при } L = 15,7 \cdot 5 = 78,5 \text{ м;}$$

$$M = F \sum d^2 \text{ при } L = 15,7 \cdot 10 = 157 \text{ м;}$$

$$\sum g = \sum d \text{ при } L = 15,7 \cdot 10 = 157 \text{ м.}$$

Соответственно этим формулам при таксации леса по методу Странда в лесу надо закладывать прямоугольные пробы, имеющие ширину, пропорциональную высоте и диаметрам деревьев таксируемого древостоя. Длина пробных площадей должна соответствовать коэффициентам формул 78,5 или 157 м.

При таком решении задачи мы закладываем фактически ленточную пробную площадь, пересекающую значительную часть таксируемого древостоя и, таким образом, аккумулирующую в себе все его особенности.

Пробные площадки должны отражать характерные особенности всей площади насаждения. Деревья, имеющиеся на пробных площадках, измеряются, и на основе этих измерений вычисляется запас. Выше было показано, что ленточные пробы при неравномерном размещении деревьев, что является обычным в лесу, часто приводят к систематическим ошибкам. Результаты обмеров деревьев на пробных площадках в конечном итоге должны давать полную картину, характеризующую все насаждение. Поскольку метод Странда не гарантирует отсутствия систематических ошибок, особенно в смешанных древостоях и в насаждениях, пройденных рубками ухода, то широкого распространения у нас он не получил.

### 10.3.2. Таксация леса путем закладки круговых пробных площадок постоянного радиуса

Таксация с помощью углового шаблона В. Биттерлиха при ее простоте и экономичности имеет и существенные недостатки. Этот метод неприменим в древостоях с густым подростом и подлеском, что часто встречается в наших лесах. Выборочные методы таксации в этом случае корректно реализуются с помощью площадок постоянного радиуса (КППР). Хотя полевые работы здесь более трудоемки, но свертка материала и его обобщение проводятся просто. Переход от данных, полученных на КППР к запасу на выделе проводится по соотношению общей площади КППР и выдела. При использовании круговых площадок постоянного радиуса сохраняются проблемы их необходимого количества и размещения по площади выдела.

Размер, форма, число и метод распределения пробных площадей по территории таксируемого леса могут быть разными. Размеры круговых пробных площадок, закладываемых в различных странах, приведены в таблице 10.2.

Таблица 10.2

Размеры круговых пробных площадок

Страна	Средний диаметр насаждения, см	Площадь круговой площадки, м <sup>2</sup>	Радиус круговой площадки, м
Швеция	До 10	12,6	2,00
	От 10 до 25	78,5	5,00
	Свыше 25	314,2	10,00
Германия	Для всех насаждений	1000,0	17,84

В нашей стране, в России и в Украине КППР обычно закладывают площадью в 0,03; 0,04; 0,06 и 0,10 га. Размер площадок зависит от величины таксируемого участка, его характеристики и регламентируется лесоустроительной инструкцией и правилами по отводу и таксации лесосек. В СССР научные основы выборочных методов, в том числе обоснование количества закладываемых площадок и их размеров, заложены трудами А. Н. Федосимова, В. С. Чуенкова, В. В. Антанайтиса, А. А. Кулешиса, Р. А. Юкниса и др. Особо значимый вклад в разработку выборочных методов таксации и товаризации древостоев внес А. З. Швиденко.

Закладка круговых пробных площадок постоянного радиуса ценна в том отношении, что на этих пробах можно произвести сплошной пересчет. На основании его по сортиментным таблицам легко вычислить выход сортиментов. В данном случае устраняются те ошибки в сортиментации, которые неизбежны по отношению к отдельным таксационным выделам, когда выход сортиментов рассчитывают на основании средних диаметров древостоя по товарным таблицам.

На дереве, находящемся в центре круговой площадки, надо ставить отметку с указанием ее номера. Число круговых площадок с постоянным радиусом должно быть предварительно определено, и составлена схема-абрис их расположения в натуре. Для преобладающей породы на каждой круговой пробе измеряют высоту у одного из деревьев для построения кривой высот. У древесных пород, имеющих малую долю в запасе, измеряют высоту на одной из двух или трех круговых площадках.

Рассмотренный способ таксации леса по круговым пробам постоянного радиуса обеспечивает высокую точность при определении общих запасов древесины. Что касается выхода сортиментов, то в отдельных таксационных участках возможны существенные отклонения от полученных данных. Надежные результаты таксации этим способом можно получить для некоторой совокупности участков, рассматриваемых как одно целое. Подробно этот вопрос рассмотрен ниже. Данный способ таксации леса может быть рекомендован для многолесных районов и в тех случаях, когда имеются большие задания по лесозаготовкам и крайний недостаток лесохозяйственного персонала.

Изучение выборочной таксации леса измерительными методами провел А. Н. Федосимов. Он пришел к выводу, что повышение точности определения запасов измерительными методами исключает систематические ошибки и связанные с ними лесохозяйственные просчеты, ведет к экономии средств, расходуемых на таксацию лесосек в лесах третьей группы России.

### 10.3.3. Метод средних расстояний между деревьями

Таксация леса по средним расстояниям между деревьями являлась предметом исследования многих авторов. В ее основе лежит следующий простой расчет:  $N = \frac{F}{a^2}$ ;  $a = \sqrt{\frac{F}{N}}$ . В этих формулах через  $F$  обозначена площадь таксируемого древостоя, число деревьев – через  $N$  и среднее расстояние между ними – через  $a$ .

Зная площадь таксируемого участка  $F$  и измерив  $a$ , можно определить  $N$ . По значению  $N$  и частичному пересчету находят все остальные таксационные показатели: сумму площадей сечений, запас и др. Однако опыт показывает, что даже в самом однородном древостое расстояния между деревьями широко варьируют. Их можно определить двумя способами.

Исходя из случайно выбранной точки  $O$  (рис. 10.7), необходимо измерить расстояние  $a_1$  до наиболее близкого дерева, расстояние  $a_2$  до второго из более близких деревьев,  $a_3$  – до третьего близкого дерева и т. д.

При втором способе от случайно выбранного дерева измеряется расстояние  $a_x$  до наиболее близкого дерева, потом до  $a_2$  и т. д.

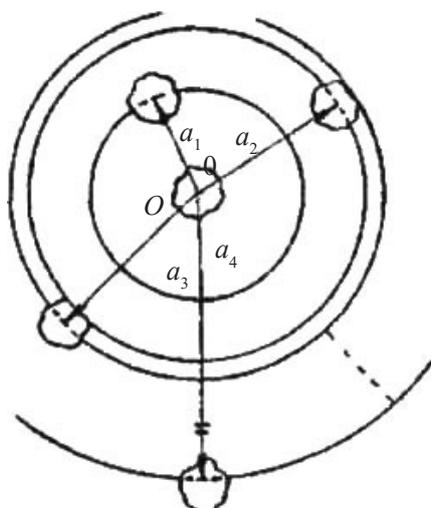


Рис. 10.7. Схема размещения деревьев

Эти схемы размещения деревьев были подвергнуты всестороннему статистическому исследованию. При этом определяли расстояния между центральным деревом и наиболее близкими к нему деревьями. На основании многих измерений установлено, что среднее расстояние между деревьями  $a$  находится между  $a_3$  и  $a_4$ .

Если вместо среднего расстояния ( $a$ ) берут любое расстояние  $a_i$ , то в формулу нужно ввести поправку  $k_i$ .

Тогда число деревьев в участке площадью  $F$  будет равняться

$$N = k_i \frac{F}{a_i^2}. \quad (10.12)$$

Бауерзахс предлагает брать  $a_2$ , которое легко определяется. В этом случае формула будет следующей:

$$N = k_2 \frac{F}{a_2^2}, \quad (10.13)$$

а по отношению к 1 га

$$N = k_2 \frac{10\,000}{a_2^2}. \quad (10.14)$$

Ряд авторов при некотором варьировании значений  $k_2$  предложены следующие формулы: Бразаускас:  $N = \frac{8\,500}{a_2^2}$ ; Кехлеч:  $N = \frac{8\,464}{a_2^2}$ ; Венк:  $N = \frac{7\,885}{a_2^2}$ ; Ессед:  $N = \frac{8\,200}{a_2^2}$ .

Если случайно выбранное дерево принять за центр круга (рис. 10.8) и соответственно расстоянию от него построить концентрические круги, то можно вывести число деревьев в каждом из этих кругов. В первом круге окажутся  $1 + \frac{1}{2}$  дерева, во втором  $2 + \frac{1}{2}$  и т. д.

Следовательно, при радиусе  $A_1$  имеется  $1 + \frac{1}{2}$  дерева при величине радиуса, равной  $a_2$ , будет  $2 + \frac{1}{2}$  дерева; а при радиусе  $a_3$  насчитаем  $3 + \frac{1}{2}$  дерева.

После некоторых преобразований приведенные формы принимают следующий вид:

$$\text{для } a_1 N / \text{га} = \frac{10\,000}{\pi a_1^2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{4\,775}{a_1^2} = \frac{10\,000}{2,094 a_1^2};$$

$$a_2 N / \text{га} = \frac{10\,000}{\pi a_2^2} \cdot \frac{5}{2} = \frac{7\,958}{a_2^2} = \frac{10\,000}{1,257 a_2^2};$$

$$a_3 N / \text{га} = \frac{10\,000}{\pi a_3^2} \cdot \frac{7}{2} = \frac{11\,141}{a_3^2} = \frac{10\,000}{0,898 a_3^2};$$

$$a_4 N / \text{га} = \frac{10\,000}{\pi a_4^2} \cdot \frac{9}{2} = \frac{11\,141}{a_4^2} = \frac{10\,000}{0,698 a_4^2}.$$

Для правильного определения числа деревьев при расстоянии между ними  $a_i$  Хаусбуг предлагает вносить поправочный коэффициент  $K_i$ , исчисляемый по формуле  $K_i = \frac{1}{\sqrt{k_i}}$ . С учетом этого коэффициента формула, определяющая число деревьев на 1 га, принимает следующий общий вид:

$$N / \text{га} = \frac{10\,000}{K_i^2 a_i^2}. \quad (10.15)$$

В результате статистической обработки полученных данных были уточнены замечания, сделанные практиками. Оказалось, что поправочный коэффициент зависит от расстояния между деревьями. В конечном итоге путем математического анализа была получена таблица 10.7, определяющая число деревьев на 1 га и поправочные коэффициенты к нему. Таблица составлена для среднего расстояния между деревьями, принимаемого с соответствующими поправками равными  $a_3$ . Следовательно, приводимые в таблице значения числа стволов ( $N$ ) на га,  $K_i$  и  $k$  являются функцией от  $a_3$  ( $y = a_3$ ). В основу таблицы 10.3 положена формула:

$$N / \text{га} = \frac{k_i 10\,000}{a_3^2} = \frac{10\,000}{K_i^2 a_3^2}. \quad (10.16)$$

Техника таксационных работ по определению числа деревьев, исходя из средних расстояний между ними, сводится к следующим операциям. Сначала определяют площадь таксируемого древостоя, устанавливают число необходимых измерений и их положение на плане при систематической выборке. Далее отыскивают в натуре замеченные точки наблюдений. Опираясь на них, находят третье ( $a_3$ ) из ближайших деревьев, с помощью рейки определяют ступень расстояния, выражаемую в полуметрах. В этих же пунктах производят частичные перечеты деревьев.

Исходя из результатов обмеров вычисляют среднеарифметическое расстояние третьих ближайших деревьев –  $a_3$ . Обработывая произведенные перечеты, определяют сумму площадей сечений ( $G$ ) и среднее дерево по  $g$ , находят число деревьев на 1 га по схеме, приведенной в таблице 10.3. На основе полученных данных вычисляют запас на 1 га и затем на всей площади древостоя.

По углам трактов закладываются реласкопические круговые пробные площадки (РКПП) для таксации деревьев диаметром большим или равным 7 см, а также пробные площадки постоянного радиуса для таксации деревьев диаметром менее 7 см, учета подроста, подлеска, оценки их состояния, санитарного и общего состояния деревьев древостоя. Таким образом, круговая пробная площадка состоит из нескольких «подплощадок» (рис. 10.8).

Расчет числа деревьев на 1 га

$y = a_3, \text{ м}$	$N$	$K_i$	$k_i$	Приложение	
				$y, \text{ м}$	$K_3$
1,0	7431	1,16	0,7431	1,0–1,9	0,8
1,5	3563	1,12	0,7972	2,0–2,6	0,9
2,0	2165	1,07	0,8734	2,7–3,7	1,0
2,5	1472	1,04	0,9245	3,7–4,6	1,05
3,0	1083	1,01	0,9803	4,7–5,2	1,1
3,5	836	0,99	1,0203	5,3–5,5	1,05
4,0	665	0,97	1,0628	5,6–6,0	1,0
4,5	536	0,94	1,1317		
5,0	432	0,96	1,0851		
5,5	344	0,98	1,0412		
6,0	264	1,03	0,9426		



Рис. 10.8. Круговые пробные площадки при проведении лесоустройства отдельного предприятия

В целом система лесоустройства в Германии состоит из двух подсистем: Bundeswaldinventur – государственная выборочная лесоинвентаризация (BWI) и Betriebsinventur (BWII) – лесоустройство для частных лесовладельцев и отдельных лесохозяйственных предприятий. Непрерывная инвентаризация лесного фонда проводится с 1961 г. Таким образом обеспечивается постоянный контроль за текущими изменениями в лесном фонде. В настоящее время в системе выборочной инвентаризации лесов страны широко применяются материалы дистанционного зондирования. Лесная администрация каждой области также проводит специальные лесоинвентаризационные работы. В частных лесах ее делают за счет средств самих лесовладельцев.

Цели проводимых работ могут быть достаточно разнообразными: Bavaria, 1970–1971 гг. – выборочная инвентаризация государственных лесов – получение детальной лесной статистики, оценка текущих изменений; Nordrhein-Westfalen 1995 г. – выборочная инвентаризация лесного фонда математико-статистическим методом – независимый контроль динамики лесного фонда, оценка влияния лесохозяйственных мероприятий; Baden-Wuerttemberg – изучение структуры прироста древостоев, прогнозирование роста и развития лесных экосистем, моделирование таксационных взаимосвязей и др.).

В основном задачей таких лесоинвентаризаций является не только получение развернутой лесной статистики, но и сбор сведений о текущем состоянии лесов региона, страны и динамике происходящих процессов.

В европейских странах, помимо государственной выборочной лесоинвентаризации, проводятся инвентаризации лесов отдельных предприятий, частных лесовладений. Повыдельное лесоустройство (standwise forest inventory) основывается на статистически обоснованных выборочных методах.

В Германии повыдельное лесоустройство проводят, как правило, частные лесостроительные компании. Вся территория объекта покрывается сетью пробных площадок, которые закладываются по схеме систематической выборки в углах сети квадратов или прямоугольников. Закладываются реласкопические круговые пробные площадки, а также круговые пробные площадки различных радиусов для таксации древостоя, оценки подраста, подлеска, напочвенного покрова, его видового разнообразия.

Система государственной выборочной лесоинвентаризации в Финляндии направлена на активное использование различных источников информации. Помимо данных таксации на пробных площадках, широкое применение находят космические многозональные снимки, цифровые топографические карты, изготовленные на основе геоданных и аэрофотоснимков, наложенных на единую топооснову масштаба 1 : 20 000 с размером одного пиксела  $2 \times 2$  м, а также цифровые карты категорий земель в растровом формате (размер пиксела  $25 \times 25$  м). Материалы дистанционного зондирования и данные цифровых карт используются для разделения различных категорий земель, а также для получения цифровых тематических карт пространственного распределения лесопокрытой площади.

Повыдельное лесоустройство в европейских лесных странах основывается на статистически обоснованных выборочных методах лесной таксации и проводится лесостроительными компаниями на тендерной основе. Пробные площадки размещаются на территории объекта по заранее известной схеме, и, таким образом, точность данных заранее известна и статистически обоснована. На основе данных повыдельного лесоустройства разрабатывается план лесопользования. Ведение лесного хозяйства без плана лесопользования не разрешается.

#### **10.4. Точность выборочных методов таксации леса.**

##### **Использование в практике выборочных методов таксации леса**

Точность определения общих запасов древесины на лесосеке и выхода деловой древесины при использовании перечислительных методов с помощью объемных и сортиментных таблиц составляет  $\pm 10$  %. Точность учета по модельным деревьям зависит от учитываемого признака (запаса, прироста), цели исследования и количества взятых моделей. В принципе, точность здесь может быть сколь угодно высокой, если взять нужное число моделей.

В практике обычно ограничиваются рубкой 10–15 модельных деревьев при определении общего запаса, достигая точности в 2–3 %. Для определения прироста берут от 25 до 40–50 моделей, достигая точности в 7–10 %, иногда 5–6 %. В каждом случае делают специальные расчеты, которые базируются на известных формулах биометрии, в основу которых положена величина варьирования исследуемого таксационного показателя. Число наблюдений ( $N$ ) рассчитывают по формуле:

$$N = \frac{V^2}{P^2},$$

где  $V$  – коэффициент вариации;

$P$  – точность опыта.

При отводах лесосек в лесхозах Беларуси чаще всего используют перечислительные методы таксации. Пробные площади обычно закладывают при проведении лесоустройства для тренировки глазомера таксатора. Пробные площади являются основой экспериментального

материала при проведении научных исследований. Точность перечислительных методов зависит от применяемой технологии, обработки материала, приборов, используемых при проведении таксации, и других обстоятельств. В целом точность сплошных методов таксации может быть задана, исходя из потребностей практики при оптимальных затратах труда и средств. Применяя соответствующие технологии учета (дробность ступени толщины, более точные приборы и т. д.), можно добиться любой заданной точности. В то же время слишком высокая точность часто не требуется, и мы ограничиваемся в зависимости от цели учета величиной от 2–3 до 10 %.

Точность выборочных методов зависит от того, будут ли исключены систематические ошибки и от количества единиц выборки. Последний показатель рассчитывают по вышеприведенным формулам, исходя из показателей варьирования исследуемых таксационных признаков. Можно добиться любой, заранее заданной точности, уменьшая случайную ошибку путем увеличения единиц выборки. Пределом здесь служит переход на сплошные методы учета, что исключит и систематическую ошибку.

В силу сказанного сплошные методы таксации точнее выборочных. Преимущества выборочных методов в экономии труда и средств. Они применяются там, где их точность устраивает практику. В Беларуси сплошные методы таксации применяют при отводе и таксации лесосек. Хотя здесь допускается использование выборочно-перечислительной таксации, но в практике этот метод почти не применяется. Лесоинвентаризация в лесах Беларуси осуществляется путем таксации каждого выдела. Это создает надежную информационную базу для проектирования хозяйственных мероприятий. В ряде западных стран, особенно где преобладают частные леса, применяют выборочные методы инвентаризации лесного фонда. Это обеспечивает достаточно надежный учет запасов древесины в целом по стране, но не может служить базой для проведения хозяйственных мероприятий в пределах лесных участков.

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

---

1. *Антанайтис, В. В.* Закономерности лесной таксации / В. В. Антанайтис. – Каунас: ЛитСХА, 1976. – 127 с.
2. *Антанайтис, В. В.* Современное направление лесоустройства / В. В. Антанайтис. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 280 с.
3. *Антанайтис, В. В.* Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загреев. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 200 с.
4. *Анучин, Н. П.* Лесная таксация / Н. П. Анучин – 4-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 512 с.
5. *Анучин, Н. П.* Сортиментные и товарные таблицы / Н. П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 536 с.
6. *Атрощенко, О. А.* Продуктивность модальных насаждений по типам леса, не затронутых рубками (по Беловежской пуще) / О. А. Атрощенко, А. Г. Костенко. – Минск: БелЛУП, 1982. – 36 с.
7. *Атрощенко, О. А.* Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов / О. А. Атрощенко. – Минск: БГТУ, 2004. – 249 с.
8. *Атрощенко, О. А.* Лесная таксация: учеб. пособие / О. А. Атрощенко. – Минск: БГТУ, 2009. – 468 с.
9. *Багинский, В. Ф.* Повышение продуктивности лесов / В. Ф. Багинский. – Минск: Урожай, 1984. – 135 с.
10. *Багинский, В. Ф.* Лесопользование в Беларуси / В. Ф. Багинский, Л. Д. Есимчик. – Минск: Беларуская навука, 1996. – 367 с.
11. *Багинский, В. Ф.* Системный анализ в лесном хозяйстве: учеб. пособие / В. Ф. Багинский. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 168 с.
12. *Багинский, В. Ф.* Таксация леса: учеб. пособие / В. Ф. Багинский. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 500 с.
13. *Буй, А. А.* Современный лесотаксационный инструмент. Высотомеры / А. А. Буй // Лесное и охотничье хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 27–31.
14. *Вагин, А. В.* Исследование параметров полноты древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А. В. Вагин. – М.: МЛТИ, 1978. – 41 с.
15. *Верхунов, П. М.* Изменчивость и взаимосвязи таксационных показателей в разновозрастных сосняках / П. М. Верхунов. – Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1975. – 208 с.
16. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2016 г. – Минск: Минлесхоз Республики Беларусь, 2017. – 63 с.
17. СТБ 1711-2007. Государственный стандарт Республики Беларусь. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2007. – 11 с.
18. СТБ 1712-2007. Государственный стандарт Республики Беларусь. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2007. – 16 с.

19. СТБ 2426-2015. Государственный стандарт Республики Беларусь. Лесоматериалы круглые. Правила приемки, методы контроля, сортировка, маркировка и транспортировка. – Минск: Госстандарт, 2015. – 4 с.
20. СТБ 2427-2015. Государственный стандарт Республики Беларусь. Пиломатериалы. Правила приемки, методы контроля, сортировка, маркировка и транспортировка. – Минск: Госстандарт, 2015. – 7 с.
21. *Гурский, А. А.* Ход роста сомкнутых сосняков ленточных боров Казахстана / А. А. Гурский // Леса и древесные породы Северного Казахстана. Ботанические исследования. – Л.: Наука. – 1978. – С. 52–57.
22. *Давидов, М. В.* Типы роста сосновых лесов Европейской части СССР / М. В. Давидов // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 1977. – № 4. – С. 36–41.
23. *Дворецкий, М. Л.* Изменчивость и взаимосвязь таксационных признаков / М. Л. Дворецкий // Сб. трудов Поволжского ЛТИ им. М. Горького. – Йошкар-Ола: ПЛТИ, 1975. – № 52. – С. 41–54.
24. *Ермаков, В. Е.* Продуктивность сосновых, еловых и березовых древостоев при одинаковых условиях местопроизрастания / В. Е. Ермаков // Лесоведение и лесное хозяйство: республик. межведомств. сб. научн. тр. – Минск: БТИ, 1975. – Вып. 10. – С. 73–82.
25. *Ермаков, В. Е.* Лесоустройство / В. Е. Ермаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1993. – 256 с.
26. *Ермаков, В. Е.* Особенности целенаправленного лесовыращивания в Республике Беларусь / В. Е. Ермаков // Труды белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 2000. – Вып. 16. – С. 12–18.
27. *Загреев, В. В.* Методические рекомендации по составлению таблиц хода роста / В. В. Загреев, Н. Н. Гусев, Н. Я. Саликов. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1975. – 35 с.
28. *Загреев, В. В.* Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В. В. Загреев. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 240 с.
29. *Захаров, В. К.* Варьирование таксационных признаков древостоев / В. К. Захаров // Лесное хозяйство, 1950. – № 11. – С. 48–50.
30. *Захаров, В. К.* Лесная таксация / В. К. Захаров. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 406 с.
31. Инструкция о порядке освидетельствования мест рубок, заготовки живицы. – Национальный интернет-портал Республики Беларусь. 21.12.2016. – № 8/31585. с.
32. *Карпов, А. Н.* Таксация пробных площадей / А. Н. Карпов // Бюллетень технической информации. – 1956. – № 2. – 64 с.
33. *Кожевников, А. М.* Рубки ухода за лесом в Белоруссии / А. М. Кожевников // Лесохозяйственная наука и практика. – Минск: Урожай, 1974. – Вып. 24. – С. 9–28.
34. *Кивисте, А. К.* Функции роста леса / А. К. Кивисте. – Тарту: Эст. СХА, 1988. – 171 с.
35. *Кожевников, А. М.* Эталоны максимально продуктивных сосновых культур Беларуси / А. М. Кожевников, В. М. Ефименко // Формирование эталонных насаждений. Мат. всесоюзн. конф. – Каунас-Гирюнис: ЛитНИИЛХ, 1979. – С. 95–99.
36. *Козловский, В. Б.* Методические указания по закладке пробных площадей, отбору модельных деревьев и составлению таксационных таблиц / В. Б. Козловский. – М.: ЦНИИТЭИ, 1965. – 87 с.
37. *Козловский, В. Б.* Ход роста основных лесобразующих пород СССР. Справочник / В. Б. Козловский, В. М. Павлов. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 327 с.

38. *Колтунова, А. И.* Моделирование роста и продуктивности древостоев (на примере лесобразующих пород Северной Евразии): автореф. дис. ... д-ра с.-х.н. наук / А. И. Колтунова. – Екатеринбург: УГЛУ, 2004. – 40 с.
39. Комплексная продуктивность земель лесного фонда / В. Ф. Багинский [и др.]; под ред. В. Ф. Багинского. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 295 с.
40. *Кузьмичев, В. В.* Закономерности роста древостоев / В. В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
41. *Курбатский, Н. П.* Методика исследования хода роста древостоев, установления пригодности существующих и составление новых таблиц хода роста / Н. П. Курбатский, Г. Е. Мокеев // Вопросы лесной таксации. – Л.: Гослесбумиздат, 1937. – С. 47–62.
42. *Левин, В. И.* Сосняки Европейского Севера / В. И. Левин. – М.: Лесная промышленность, 1966. – 236 с.
43. Лесной Кодекс Республики Беларусь. – Минск: Минлесхоз Республики Беларусь, 2015. – 110 с.
44. *Лосицкий, К. Б.* Эталонные леса / К. Б. Лосицкий, В. С. Чуенков. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 191 с.
45. *Мелехов, И. С.* Лесоведение / И. С. Мелехов. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 406 с.
46. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]. – 2-е изд. – Минск: Урожай, 1980. – 359 с.
47. *Моисеев, В. С.* Таксация молодняков / В. С. Моисеев. – Л.: ЛТА, 1970. – 283 с.
48. *Моисеенко, Ф. П.* О закономерностях в росте, строении и товарности древостоев: доклад, обобщающий содержание опубликованных работ ... д-ра с.-х. наук / Ф. П. Моисеенко. – Киев: УСХА, 1965. – 78 с.
49. *Моисеенко, Ф. П.* Таблицы для сортиментного учета леса на корню / Ф. П. Моисеенко. – 4-е изд. – Минск: Полымя, 1972. – 328 с.
50. *Морозов, Г. Ф.* Учение о лесе / Г. Ф. Морозов. – М.-Л.: Госиздат, 1925. – 367 с.
51. Таксация товарной структуры древостоев / А. Г. Мошкалева [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 157 с.
52. *Нейштанд, М. И.* История лесов и палеография СССР в голоцене / М. И. Нейштанд. – М.: Наука, 1957. – 216 с.
53. *Никитин, К. Е.* Лиственницы на Украине / К. Е. Никитин. – Киев: Урожай, 1966. – 331 с.
54. *Никитин, К. Е.* Использование ЭВМ для обоснования возрастов технической спелости древостоев / К. Е. Никитин // ЭВМ и математические методы в лесном хозяйстве: сб. трудов по матер. всесоюзн. совещания. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1969. – С. 9–17.
55. *Никитин, К. Е.* Методы и техника обработки лесохозяйственной информации / К. Е. Никитин, А. Е. Швиденко. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 270 с.
56. Сортиментные таблицы для таксации леса на корню / К. Е. Никитин [и др.]. – Киев: Урожай, 1984. – 632 с.
57. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / под ред. В. Ф. Багинского. – М.: ЦБНТИ-лесхоз, 1984. – 300 с.
58. Правила по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь. – Минск: Минлесхоз Республики Беларусь Национальный интернет-портал Республики Беларусь. 21.12.2016. – № 8/31598.

59. Правила проведения лесоустройства лесного фонда. – Минск: М-во лесного хозяйства Республики Беларусь, 2012. – 104 с.
60. Правила рубок леса в лесах Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.mln.by>.
61. *Рожков, Л. Н.* Динамика и состояние сосновых лесов Беларуси / Л. Н. Рожков, В. Е. Ермаков, Н. Ф. Ловчий // Труды белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 2005. – Вып. 13. – С. 7–13.
62. *Свалов, Н. Н.* Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н. Н. Свалов. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 216 с.
63. *Сеннов, С. Н.* Рубки ухода за лесом / С. Н. Сеннов. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 160 с.
64. История лесного дела Беларуси: в 2 ч. / В. П. Тарасенко [и др.]. – Минск: Минлесхоз Республики Беларусь, 1996. – Ч. 1. – 157 с.
65. *Терсков, Н. А.* Рост разновозрастных древостоев / Н. А. Терсков, М. И. Терскова. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд., 1980. – 204 с.
66. *Третьяков, Н. В.* Закон единства в строении насаждений / Н. В. Третьяков. – М.-Л.: Новая деревня, 1927. – 113 с.
67. *Тюрин, А. В.* Нормальная производительность сосны, березы, осины и ели / А. В. Тюрин. – М.-Л.: Сельхозизд, 1930. – 189 с.
68. *Тюрин, А. В.* Основы хозяйства в сосновых лесах / А. В. Тюрин. – М.: Госиздат, 1938. – 299 с.
69. Депонирование углерода в фитомассе лесов. Расчетный алгоритм и его реализация в среде СУБД ADABAS (на примере Уральского региона) / В. А. Усольцев [и др.] // Лесная таксация и лесоустройство. Международный научно-практический журнал. – Красноярск: СибГТУ, 2010. – № 1(43). – С. 78–92.
70. *Федоров, Н. И.* Древесиноведение и лесоматериалы: учебное пособие / Н. И. Федоров, Э. Э. Пауль. – Минск: БГТУ, 2006. – 292 с.
71. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / А. З. Швиденко [и др.]. – Киев: Урожай, 1987. – 559 с.
72. *Швиденко, А. З.* Теоретические и экспериментальные обоснования системы инвентаризации горных лесов зоны интенсивного ведения лесного хозяйства: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А. З. Швиденко. – Киев: УСХА, 1981. – 38 с.
73. *Юдицкий, Я. А.* Моделирование закономерностей роста древостоев как основа обновления лесотаксационной информации: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Я. А. Юдицкий. – Киев: УСХА, 1982. – 20 с.
74. *Юркевич, И. Д.* География, типология и районирование лесной растительности Беларуси / И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1965. – 288 с.
75. *Юркевич, И. Д.* Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адерихо. – Минск: Наука и техника, 1979. – 218 с.
76. *Юркевич, И. Д.* Выделение типов леса при лесоустроительных работах / И. Д. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1980. – 120 с.
77. *Янушко, А. Д.* Эколого-экономические основы и нормативы деления лесов на группы и категории / А. Д. Янушко // Труды Белорусского государственного технологического университета. – Минск: БГТУ. – 2008. – Серия 1. – Вып. XVI. – С. 3–7.

78. Янушко, А. Д. Лесное хозяйство Беларуси / А. Д. Янушко. – Минск: БГТУ, 2001. – 218 с.
79. Asmann, E. Waldertragekunde / E. Asmann. – München-Bonn-Wien: BLW, 1961. – 327 s.
80. Chapman, D. G. Statistcal Problems in Population Dinamics / D. G. Chapman // Proceedings of Fourtih Berkley Simposium on Mathematical Statistics and Probability Berkley: University of California Press., 1961. – P. 147–162.
81. Prodan, M. Holzmesslehre / M. Prodan. – Frankfurt am Mein: Sauerlandere Verlag, 1965. – 644 s.
82. Sikora, B. Hohenwachstumstypen von Kiefernbestanden / B. Sikora // Mitt. Forztl. – Wien: Bundes – Versuchssanst, 1974. – № 105. – S. 20–25.
83. Suzuki, T. Forest transition as a stochastic process / T. Suzuki, T. Umemura // In Col Growth modes for tree and stand simulation. – Stockholm, 1973. – P. 358–371.
84. Таксационно-лесоустроительный справочник / М. В. Кузьменков [и др.]. – Минск: Лесное и охотничье хозяйство, 2019. – 336 с.

---

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. Определение лесной таксации как науки и ее методология</b> .....	4
<b>2. Связь лесной таксации с другими науками</b> .....	6
<b>3. История развития лесной таксации</b> .....	7
<b>4. Перспективы развития лесной таксации</b> .....	15
<b>Глава 1. ТАКСАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ЛЕСОТАКСАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ</b> .....	16
<b>1.1. Принципы измерений. Измерительные системы и шкалы.</b>	
<b>Единицы и ошибки измерений</b> .....	16
1.1.1. Принципы измерений .....	16
1.1.2. Измерительные системы и шкалы .....	18
1.1.3. Ошибки измерений .....	20
<b>1.2. Лесотаксационные измерения в практике лесного хозяйства</b> .....	24
<b>1.3. Классификация приборов и инструментов</b> .....	26
<b>1.4. Основные лесотаксационные приборы и инструменты</b> .....	27
1.4.1. Измерение длины линий .....	27
1.4.2. Мерные вилки .....	28
1.4.3. Мерные скобы .....	32
1.4.4. Высотомеры .....	33
1.4.5. Угловые шаблоны и реласкоп .....	46
1.4.6. Бурав .....	48
1.4.7. Приборы для подсчета годичных колец .....	49
1.4.8. Другие приборы .....	49
<b>Глава 2. ТАКСАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ СТВОЛОВ</b> .....	51
<b>2.1. Методы определения объемов стволов</b> .....	51
2.1.1. Определение объемов срубленных стволов. Ксилометрический и весовой методы .....	51
<b>2.2. Форма древесных столов. Образующая древесного ствола.</b>	
<b>Формулы для определения объема ствола и их точность</b> .....	53
2.2.1. Поперечная форма древесного ствола .....	53

2.2.2. Форма продольных сечений древесных стволов. Продольная образующая древесного ствола .....	55
2.2.3. Формулы для определения объема ствола .....	62
2.2.4. Сложные стереометрические формулы для определения объемов ствола .....	66
2.2.5. Точность формул для определения объемов стволов .....	69
2.2.6. Погрешности измерений .....	71
2.2.7. Область применения стереометрических формул для определения объемов стволов .....	76
<b>2.3. Таксация стволов растущих деревьев .....</b>	<b>77</b>
2.3.1. Изменчивость формы растущих деревьев .....	77
2.3.2. Сбег ствола. Таблицы сбega стволов .....	78
2.3.3. Коэффициенты формы и видовые числа .....	80
2.3.4. Приближенные формулы для определения объема стоящих деревьев .....	93
<b>2.4. Объемные таблицы и определение запаса древостоев .....</b>	<b>94</b>
2.4.1. Запас насаждения и классификация методов его определения .....	94
2.4.2. Объемные таблицы типа баварских .....	97
2.4.3. Массовые таблицы по разрядам высот .....	99
2.4.4. Таблицы объемов стволов по коэффициентам формы .....	102
2.4.5. Современные таблицы объемов стволов .....	103
2.4.6. Безразрядные или многозарядные таблицы .....	104
2.4.7. Общая оценка массовых таблиц .....	107
2.4.8. Объем сучьев и технической зелени .....	110
2.4.9. Определение запаса древостоев в практике лесного хозяйства .....	110
<b>Глава 3. ТАКСАЦИЯ ЗАГОТОВЛЕННОЙ ЛЕСОПРОДУКЦИИ .....</b>	<b>113</b>
<b>3.1. Классификация заготовленной лесопродукции .....</b>	<b>113</b>
<b>3.2. Таксация круглых лесоматериалов .....</b>	<b>116</b>
3.2.1. Таблицы объемов бревен и метод их составления .....	116
3.2.2. Сбег ствола и его влияние на объем бревна .....	118
3.2.3. Объемы вершинных лесоматериалов .....	122
3.2.4. Обмер круглого леса и его маркировка .....	125
3.2.5. Установление сортности сортиментов .....	128
<b>3.3. Таксация делового коротья и дров .....</b>	<b>129</b>
3.3.1. Учет делового коротья .....	129
3.3.2. Учет дров .....	132
3.3.3. Учет хвороста .....	136
<b>3.4. Таксация лесоматериалов после первичной обработки .....</b>	<b>137</b>
3.4.1. Таксация пиломатериалов .....	137
3.4.2. Определение объема пиломатериалов .....	138
3.4.3. Отходы и потери древесины .....	141
3.4.4. Таксация колотых, тесаных, строганных и лущеных лесоматериалов .....	141
3.4.5. Единицы учета и определение объема колотых и тесаных лесоматериалов .....	142
3.4.6. Таксация прочих видов лесной продукции .....	142

<b>Глава 4. ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ.</b>	
<b>ПЕРЕЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТАКСАЦИЯ ДРЕВОСТОЕВ .....</b>	<b>145</b>
<b>4.1. Система таксационных показателей насаждений .....</b>	<b>145</b>
<b>4.2. Основные таксационные показатели древостоев .....</b>	<b>147</b>
4.2.1. Происхождение насаждений.....	147
4.2.2. Форма (вертикальное строение) насаждений .....	148
4.2.3. Состав насаждений.....	149
4.2.4. Класс бонитета древостоя.....	151
4.2.5. Средний диаметр насаждений.....	155
4.2.6. Средняя высота насаждений.....	157
4.2.7. Верхняя высота древостоя .....	159
4.2.8. Средний возраст насаждений .....	160
4.2.9. Полнота насаждений .....	164
4.2.10. Густота древостоя .....	167
4.2.11. Запас насаждений .....	168
4.2.12. Класс товарности насаждений .....	169
4.2.13. Элементы леса .....	170
4.2.14. Типы леса и типы условий произрастания.....	173
4.2.15. Подрост и подлесок .....	175
<b>4.3. Перечислительная таксация древостоев .....</b>	<b>176</b>
4.3.1. Таксация пробных площадей перечислительными методами.....	176
<b>4.4. Строение древостоев.....</b>	<b>182</b>
4.4.1. Общее понятие о строении древостоев. Показатели, характеризующие строение.....	182
4.4.2. Строение древостоев по диаметру.....	184
4.4.3. Строение древостоев по высоте .....	190
4.4.4. Строение древостоев по видовому числу ( $f$ ) и второму коэффициенту формы ( $q_2$ ).....	192
4.4.5. Закономерное распределение сумм площадей сечений и объемов деревьев в древостое .....	193
4.4.6. Моделирование закономерностей строения древостоев.....	195
4.4.7. Практическое использование моделей строения.....	199
 <b>Глава 5. ТАКСАЦИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА.....</b>	<b>201</b>
<b>5.1. Лесной фонд как объект изучения лесной таксации.....</b>	<b>201</b>
<b>5.2. Лесоустройство в Республике Беларусь .....</b>	<b>202</b>
<b>5.3. Методы таксации лесных насаждений .....</b>	<b>206</b>
5.3.1. Разделение лесного фонда на таксационные выделы. Нормативы для разделения лесных участков на таксационные выделы .....	206
5.3.2. Карточка таксации леса.....	207
5.3.3. Точность определения таксационных показателей насаждений при таксации .....	208
5.3.4. Методы инвентаризации лесного фонда .....	209
5.3.5. Глазомерный метод таксации .....	210
5.3.6. Глазомерно-измерительный и измерительный методы таксации .....	210
<b>5.4. Результаты проведенного базового лесоустройства .....</b>	<b>211</b>

<b>Глава 6. ТАКСАЦИЯ ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА</b> .....	213
<b>6.1. Сортиментные таблицы</b> .....	213
6.1.1. Методы сортиментации.....	213
6.1.2. Сортиментация по пробным площадям и модельным деревьям .....	216
6.1.3. Сортиментация запаса древостоя по модельным деревьям.....	217
6.1.4. Сбор полевых материалов для составления сортиментных таблиц .....	221
6.1.5. Сортиментные таблицы .....	222
6.1.6. Методы и модели для составления сортиментных таблиц.....	223
6.1.7. Установление длины деловой части ствола .....	224
<b>6.2. Товарные таблицы и таблицы динамики товарности</b> .....	229
6.2.1. Товарные таблицы .....	229
6.2.2. Таблицы динамики товарности .....	231
<b>6.3. Отвод и таксация лесосек</b> .....	232
6.3.1. Отвод лесосек .....	232
6.3.2. Виды учета .....	234
6.3.3. Составление планов отвода лесосечного фонда.....	235
6.3.4. Проведение отвода лесосек .....	236
6.3.5. Таксация лесосек перечислительным способом.....	242
6.3.6. Выборочные методы для таксации лесосек .....	245
6.3.7. Таксация лесосек при отпуске древесины с учетом по числу деревьев (по пням) и количеству заготовленных материалов .....	246
6.3.8. Закладка круговых реласкопических площадок .....	246
6.3.9. Закладка круговых площадок постоянного радиуса .....	248
6.3.10. Выборочно-измерительная таксация с частичным перечетом.....	251
<b>6.4. Материально-денежная оценка лесосек</b> .....	253
6.4.1. Факторы, влияющие на стоимость древесины .....	253
6.4.2. Денежная оценка древесины на лесосеке .....	256
6.4.3. Точность сортиментации лесосек .....	258
6.4.4. Сортиментный состав лесного фонда Беларуси.....	258
 <b>Глава 7. ПРИРОСТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ</b> .....	 260
<b>7.1. Определение понятия «прирост» и его классификация</b> .....	260
7.1.1. Средний и текущий приросты.....	260
7.1.2. Формулы для определения разновидностей прироста запаса древостоя.....	262
7.1.3. Формулы для определения разновидностей изменения запаса древостоев.....	263
<b>7.2. Прирост отдельных деревьев</b> .....	265
7.2.1. Определение прироста на срубленном дереве.....	265
7.2.2. Определение процента текущего прироста у срубленных деревьев .....	268
7.2.3. Определение прироста у растущих деревьев.....	270
7.2.4. Анализ хода роста ствола.....	273
<b>7.3. Прирост и производительность древостоев</b> .....	280
<b>7.4. Зависимость прироста от различных факторов</b> .....	285
7.4.1. Использование показателей прироста в лесном хозяйстве .....	285
7.4.2. Полнота и средний радиальный прирост древостоя .....	287
7.4.3. Полнота и процент текущего прироста по запасу .....	289
7.4.4. Полнота и текущий прирост по запасу.....	290

<b>Глава 8. ХОД РОСТА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ</b> .....	294
<b>8.1. Таблицы хода роста как модели динамики древостоев.</b>	
<b>Классификация таблиц хода роста</b> .....	294
<b>8.2. Методы составления таблиц хода роста</b> .....	299
8.2.1. Метод стационарных наблюдений .....	299
8.2.2. Статистический метод .....	300
8.2.3. Аналитический метод .....	303
8.2.4. Типологический метод .....	304
8.2.5. Комбинированный метод .....	305
8.2.6. Метод ЦНИИЛХ .....	305
8.2.7. Таблицы хода роста модальных насаждений .....	307
8.2.8. Другие методы составления таблиц хода роста .....	307
8.2.9. Камеральные работы при составлении таблиц хода роста насаждений .....	308
<b>8.3. Географические закономерности хода роста</b> .....	312
8.3.1. Таблицы хода роста и продуктивность древостоев для Беларуси .....	314
<b>8.4. Использование таблиц хода роста</b>	
<b>в практике лесного хозяйства и лесоустройства</b> .....	315
<b>Глава 9. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДРЕВОСТОЕВ</b> .....	318
<b>9.1. Общее представление о моделях динамики древостоев</b> .....	318
<b>9.2. Модели изменения основных таксационных показателей древостоя</b> .....	320
9.2.1. Моделирование динамики прироста древостоев .....	320
9.2.2. Модели динамики средних высот, диаметров и видовых чисел .....	323
<b>9.3. Современные направления в моделировании динамики древостоев</b> .....	326
9.3.1. Функции роста леса .....	330
9.3.2. Множественные регрессионные модели роста деревьев и древостоев .....	337
9.3.3. Функции роста по А. К. Кивисте .....	337
9.3.4. Биофизическая теория роста леса .....	340
<b>9.4. Область применения и точность моделей динамики древостоев</b> .....	342
<b>Глава 10. МЕТОДЫ ТАКСАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ</b> .....	345
<b>10.1. Сущность выборочных методов таксации леса</b> .....	345
<b>10.2. Выборочные методы таксации леса</b> .....	346
<b>10.3. Использование выборочных методов для определения</b>	
<b>таксационных показателей древостоев</b> .....	349
10.3.1. Определение суммы площадей поперечных сечений	
и среднего диаметра методом Биттерлиха .....	349
10.3.2. Таксация леса путем закладки круговых пробных площадок	
постоянного радиуса .....	359
10.3.3. Метод средних расстояний между деревьями .....	360
<b>10.4. Точность выборочных методов таксации леса.</b>	
<b>Использование в практике выборочных методов таксации леса</b> .....	364
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	366

Учебное издание

**Багинский Владимир Феликсович**

# **ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ**

Учебник

Редактор *И. М. Подоматько*

Компьютерная верстка *Т. В. Лукашонок*

Корректор *А. И. Кизик*

Подписано в печать 17.07.2024. Формат 60×84/8.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 43,71. Уч.-изд. л. 31,18. Тираж 200 экз. Заказ 35.

Издатель и полиграфическое исполнение:

государственное учреждение образования

«Республиканский институт высшей школы».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/174 от 12.02.2014.

Ул. Московская, 15, 220007, г. Минск.