

Электронный архив УГГТУ \*  
В.А. УСОЛЬЦЕВ



**Рост  
и  
структура  
фитомассы  
ДРЕВОСТОЕВ**

Электронный архив УГЛТУ  
АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЛЕСА И ДРЕВЕСИНЫ им. В. Н. СУКАЧЕВА

В. А. УСОЛЬЦЕВ

# РОСТ И СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ

Ответственный редактор  
д-р с.-х. наук проф. Л. К. Поздняков



НОВОСИБИРСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1988

**Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы  
древостоев.**— Новосибирск: Наука, 1988.

В монографии разработаны принципы многомерного подхода к оценке количественных и качественных показателей фитомассы (ствол, ветви, хвоя, листва, корни) деревьев и древостоев сосны, березы, осины и саксаула на основе 20 различных по структуре и назначению рекуррентных систем регрессионных уравнений. Предложен метод диагностирования и выявления динамики оптимальных и предельных эколого-ценотических состояний древостоев по показателю массы хвои (листвы). Для Казахстана и Западной Сибири на обширном экспериментальном материале автора составлены таблицы биологической продуктивности основных пород-лесообразователей, в том числе совмещенные с местными и всеобщими таблицами хода роста. Результаты полезны при научном мониторинге лесов и планировании комплексного освоения их фитомассы.

Книга рассчитана на специалистов лесного хозяйства и лесной промышленности, экологов, биологов и ботаников-ресурсоведов.

Рецензенты *А. И. Бузыкин, Г. Б. Кофман, Е. А. Ваганов*

У  $\frac{3903000000-759}{042(02)-88}$  289—88—I

© Издательство «Наука», 1988

ISBN 5—02—028865—9

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Взаимоотношения человека с природной средой достигли такого состояния, когда оптимизация природопользования представляет собой одну из важнейших проблем современности. Рациональное использование природных, в том числе лесных, ресурсов является постоянной заботой КПСС и Советского правительства. Об этом свидетельствуют решения XXVII съезда КПСС, «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», принятые в 1977 г. «Основы лесного законодательства Союза ССР и союзных республик», 15 и 18 статьи Конституции СССР, Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об улучшении использования лесосырьевых ресурсов» (август 1984 г.) и другие партийные и правительственные документы.

В постановлениях партии и правительства указывается на необходимость создания отраслевых автоматизированных систем управления (ОАСУ), объединенных в общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации (ОГАС) для планирования и управления народным хозяйством. В функциональные звенья этой системы войдут автоматизированная система плановых расчетов (АСПР) в лесном хозяйстве и ОАСУ-лесхоз, обеспечивающие оперативную информацию о состоянии лесного фонда и автоматизацию процессов контроля и управления лесными ресурсами [Атрощенко, Костенко, 1980]. Эффективность функционирования названных систем определяется наличием достоверных моделей динамики всей фитомассы лесов. В резолюции научной конференции «Закономерности роста и производительности древостоев» (16—17 апреля 1985 г., Каунас) записано, что в целях регулирования многоцелевого лесопользо-

вания модели, отражающие закономерности роста лишь стволовой древесины, представляются недостаточными: такие модели следует дополнять сведениями о динамике фитомассы других фракций древостоев и компонентов лесных экосистем. Проблема таксации всей фитомассы древостоев становится неотложной в связи с мероприятиями по рациональному использованию лесосырьевых ресурсов в стране. К сожалению, этот вопрос совершенно выпал из поля зрения составителей новой лесоустроительной инструкции [Лебков, 1986].

Для многих наук о лесе, в том числе для лесоводства и лесной таксации, характерна все большая их экологизация [Стадницкий, 1984; Антанайтис, 1985; Гельтман, Ловчий, 1985]. Это связано с обострением так называемого экологического кризиса, выражающегося, с одной стороны, в ухудшении качества окружающей среды, с другой — в исчерпании некоторых природных ресурсов в ближайшем будущем [Оя, 1984]. Другая не менее важная тенденция — математизация наук о лесе как альтернатива информационному кризису и как реализация системного подхода к анализу сложных биологических систем — лесных фитоценозов. Резко возросшие практические требования к точности оценки состояния лесных биогеоценозов в плане экологического прогнозирования и разработки систем научного мониторинга обуславливают необходимость перехода от описательных к количественным методам анализа, к формулированию основных закономерностей динамики всей фитомассы лесов и основных ее фракций в количественной форме.

В последние годы интенсивно развивается комплексное научное направление — информатика, изучающая процессы передачи и обработки информации и включающая три составные части — технические (ЭВМ), программные и алгоритмические средства [Дородницын, 1986]. Сфера информатики в экономике Японии и Франции охватывает уже около половины рабочих мест, и развитие ее во всем мире опережает все прогнозы и планы [Велихов, 1986]. В решение задачи прогнозирования явлений, изучаемых традиционно описательными науками (например, биологией), информатика внесла два основных метода: математического (компьютерного) моделирования и распознавания образов. Поразительный прогресс техники

за последние 200 лет стал следствием математизации основополагающих наук (механики, физики, химии), в результате чего каждый новый объект мог быть заранее рассчитан. Внедрение в биологию информатики, превращение ее из описательной науки в точную могут стать важнейшей проблемой ближайшего будущего [Дородницын, 1986].

Лесной биогеоценоз как элемент биосферы представляет собой сложную динамическую систему, и единственным объективным подходом к исследованию его структуры и динамики, к оценке и регулированию его комплексной продуктивности в плане реализации принципов рационального природопользования может быть системный анализ с применением аппарата математического моделирования. Необходимость поддержания лесов в устойчивом состоянии при наличии нарастающего антропогенного воздействия на биосферу делает реализацию системного подхода к лесным биогеоценозам особенно актуальной. Исходными данными при любом виде моделирования с целью изучения экологической роли леса служат количественные и качественные показатели фитомассы лесных фитоценозов [Протопопов, 1980].

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР (ноябрь 1986 г.) об усилении научно-исследовательских работ в области математики предусмотрено разработать общегосударственную программу использования методов математического моделирования. В совокупности сложилась парадоксальная ситуация: успехи информатики дают колоссальные возможности для моделирования с целью управления биопродукционным процессом лесного биогеоценоза, которые пока практически не реализованы. Это обусловлено отставанием уровня системного мышления специалистов-лесоводов от уровня технических возможностей ЭВМ и вследствие этого — недостаточным алгоритмическим обеспечением; отсутствием общей стратегии исследований на основе методов математического моделирования, определяющих взаимосвязи и оптимальные пропорции между натурным экспериментом и собственно моделированием, и поэтому дефицитом пакетов экспериментальных данных для построения и идентификации моделей при одновременном наличии бесполезных «кладбищ цифр», полученных за многие годы при разрозненных, бессистемных экспериментах.

В плане развития феноменологической теории биопродуктивности лесов и ее прикладных направлений необходима разработка общей стратегии моделирования. До сих пор ведутся дискуссии о том, что лучше: упрощать или усложнять модели? При вполне разумном требовании наиболее экономичного описания природных явлений количественными методами не дискредитируются и подходы к моделированию лесных фитоценозов на основе сложных моделей, особенно если последние дополняются некоторыми исходными интерпретируемыми взаимосвязями [Drew, Flewelling, 1977]. Прикладная сторона проблемы, по существу, сводится к согласованию уровня требуемой точности и соответствующей сложности модели с возможностями их реализации на практике. Если иметь в виду только сегодняшние нужды промышленной таксации всей фитомассы древостоев, то кажется вполне логичным требование максимального упрощения нормативов [Методические рекомендации..., 1985] или использование простых таблиц фитомассы хотя бы на первом этапе работ по их составлению [Лебков, 1986]. Однако возрастающая актуальность разработки систем экологического прогнозирования, научного мониторинга лесов, автоматизированного управления лесными ресурсами требует системного подхода, выявления и комплексного учета основных факторов, определяющих структуру и динамику фитомассы древостоев. Локализация полученных при этом достаточно общих моделей на тех или иных лесных массивах с известными значениями названных факторов не представляет трудностей. Альтернативой этому неизбежно будет дальнейшее пополнение «кладбища цифр», поскольку в первом случае получаем простую, например одно-, двухходовую, модель или таблицу на известном фоне прочих определяющих факторов, а во втором — на неопределенном, «плавающем» и тем самым обесценивающим тот или иной норматив. Однако проблема установления в каждом случае равновесия между упрощением и усложнением этим не снимается. В теоретическом аспекте проблемы критерием может быть сохранение минимального числа связей, достаточных для интерпретации аналитического решения [Джефферс, 1981].

В монографии «Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев», опубликованной в 1985 г., были изложены результаты начального этапа разра-

ботки принципов и методов полифакторальной оценки биопродуктивности древостоев. Цель предлагаемой читателю книги — дальнейшая разработка на основе системного подхода прикладных и программно-методических положений теории биопродуктивности лесных фитоценозов, а также методологии, методов и таблиц учета всех фракций фитомассы. Книга представляет реализацию следующих задач:

проанализировать возможности многомерного регрессионного моделирования, оценить его роль и место в реализации системного подхода к изучению продуктивности и структуры фитомассы лесных фитоценозов;

исследовать закономерности изменения биопродуктивности в статике и динамике с выявлением предельных и оптимальных ценотических состояний древостоев;

разработать нормативы количественной и качественной оценки фитомассы дерева и древостоя и актуализировать действующие нормативы по учету древесных запасов с ориентацией их на использование всей фитомассы древостоев;

оценить неиспользуемые ресурсы фитомассы древостоев и наметить пути их утилизации (на примере Северного Казахстана).

В основе разработанных принципов количественной и качественной оценки фитомассы древостоев лежит оригинальная концепция разложения исследуемых полифакториальных закономерностей на составляющие, связанные между собой рекуррентными соотношениями [Усольцев, 1985д]. Методические основы разрабатываемого подхода можно отнести к области лесной таксации, а результаты и их интерпретация составляют вклад в дальнейшее развитие теории биопродуктивности и стабильности лесов.

Автор выражает искреннюю благодарность за помощь в сборе и обработке экспериментального материала сотрудникам ВЦ, лабораторий лесной экологии и лесного хозяйства КазНИИЛХА, а также В. В. Антанайтису, А. И. Бузыкину, Г. Венку, Г. Б. Кофману, И. Я. Лиепе, А. А. Макаренко, А. М. Мауриню, П. С. Пастернаку, Л. К. Позднякову, О. И. Полубояринову, А. И. Уткину, В. С. Чуенкову, А. З. Швиденко и Л. Н. Яновскому, высказавшим ценные замечания при обсуждении результатов и подготовке рукописи к изданию.



## 1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Районы исследований (юг Западной Сибири, север и юг Казахстана) в орографическом отношении сложны и разнообразны. Выделяются четыре крупные геоморфологические области [Доскач, 1960]: Западно-Сибирская равнина, Казахский мелкосопочник к югу от 54° с. ш., Тургайская столовая страна в пределах Тургайского прогиба, представляющего область относительного погружения между Уралом и Казахским мелкосопочником [Грибанов и др., 1970], Сырдарьинская равнина в пределах обширной Туранской равнины.

Лесная растительность представлена основными лесообразователями: сосной обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), в том числе подвидом кулундинским (*P. silvestris* L. sub sp. *kulundensis* Sucaczev), березой повислой (*Betula pendula* Roth.), пушистой (*B. pubescens* Ehrh.) и березой Крылова (*B. krylovii* G. Kryl.), осиной (*Populus tremula* L.), саксаулом белым (*Haloxylon persicum* Vge. ex Boiss) и черным (*H. aphyllum* (Minkw.) Iljin). По совокупности биоэкологических и географических признаков лесная растительность разделяется на ряд территориально обособленных типов лесных массивов, краткое описание которых дано в работе В. А. Усольцева [1985в].

### 1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВОСТОЕВ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Исследования фитомассы сосновых лесов проведены в Кустанайской (островные боры Тургайского прогиба), Кокчетавской и Целиноградской (Казахский мелкосопочник) областях. Для прилегающих к островным борам степных площадей характерны темно-каштаново-

вые супесчаные почвы, подстилаемые суглинками и глинами [Маланьин, 1975]. Здесь, особенно в Кустанайской области, в течение последних 30 лет проводился основной объем лесокультурных работ. В настоящее время более чем на половине этих площадей сосновые лесные культуры или погибли, или находятся на различных стадиях деградации. Состояние их по шкале Г. Г. Вибе [1976] оценивается категориями от  $C_3$  до  $C_5$ . На возможность гибели культур сосны на темно-каштановых почвах бора в свое время указывали А. Г. Гаель, Н. А. Воронков [1963]. Они отмечали, что при тщательном уходе лесные культуры здесь можно довести до возраста смыкания, но в дальнейшем их успешный рост не гарантирован. А. Н. Маланьин [1975], В. А. Сидоров с соавторами [1978] отмечают сильное влияние на устойчивость сосновых культур глинистых водоупоров, особенно при залегании на глубине 0,5—1,0 м, когда сосна формирует поверхностную корневую систему и повреждается от обезвоживания в засушливые годы. А. И. Прохоров с соавторами [1985а, б] разработали классификацию лесорастительных условий Аман-Карагайского бора, согласно которой устойчивость сосняков к повреждающим факторам среды определяется соотношением двух основных характеристик: уровнем грунтовых вод и мощностью песчаных отложений, подстилаемых или не подстилаемых водоупорным прослоем из глин или суглинков.

Естественные сосняки островных боров представлены очень сухими, сухими и свежими лесорастительными условиями на дерново-боровых песчаных (Ia—Va — здесь и далее в скобках — класс бонитета) и темно-каштановых (Ia—II) почвах, всего 28 пробных площадей (табл. 1.1). Примерно в таком же диапазоне условий заложено 25 пробных площадей в сосновых культурах Аман-Карагайского бора. Естественные сосняки Казахского мелкосопочника представлены очень сухими, сухими и свежими лесорастительными условиями на бурых супесчаных скелетных, элювированных мелкопрофильных и глубокопрофильных скелетных почвах (I—V); заложено в Бармашинском и Золотоборском лесхозах Кокчетавской области и в Красноборском лесхозе Целиноградской области 11 пробных площадей. Общее число пробных площадей сосны — 64, модельных деревьев — 637.

Распределение древостоев пробных площадей по породам, происхождению, возрасту и таксационным показателям

Возраст, лет	Число пробных площадей	Число молодых деревьев	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Число стволов, тыс. экз./га	Относительная густота*	Класс бонитета
<b>Сосна</b>								
<i>Естественные сосняки островных боров</i>								
13	1	9	1,7	2,7	18,5	82,4	1,13	III
20—27	7	68	3,0—7,0	3,3—6,6	10,3—36,7	6,05—44,40	0,42—1,94	II—IV
31—42	11	111	2,5—17,0	4,9—17,8	27,6—51,5	2,05—56,30	0,64—5,96	Ia—Va
54—70	4	40	11,6—22,4	14,3—21,6	29,6—41,7	0,87—3,95	0,55—2,50	II—IV
101—110	5	50	20,0—27,0	20,5—23,0	22,1—51,5	0,40—1,35	0,50—1,88	III—IV
<i>Культуры островных боров</i>								
4	1	7	—	0,8	—	13,40	0,01	III
9—15	7	69	2,5—4,4	2,6—4,3	5,68—18,50	8,44—19,3	0,18—0,26	I—III
19—22	11	101	3,0—12,0	4,8—10,2	9,60—44,20	1,49—7,00	0,08—0,58	Ia—III
23—26	5	45	7,0—11,0	5,3—11,4	7,08—46,50	1,04—8,64	0,04—0,83	Ia—IV
50	1	10	16,0	16,4	36,3	1,81	0,90	II
<i>Естественные сосняки Казахского мелкосопочника</i>								
44	1	20	6,9	10,0	32,8	8,76	2,18	III

61—70	5	39	15,3—23,5	15,0—23,4	29,1—53,7	1,06—2,45	1,15—2,61	I—IV	
80—92	5	68	13,8—25,7	14,0—24,0	28,4—48,0	1,11—2,47	1,11—1,48	II—V	
<b>Береза</b>									
5—19	8	82	2,0—5,5	3,2—9,3	2,0—14,7	6,55—33,08	0,20—4,46	I—III	
22—29	7	86	4,4—9,7	8,9—14,0	13,1—25,8	2,21—13,69	0,76—6,29	I—III	
32—36	7	75	7,3—12,7	10,1—17,6	16,6—30,2	1,46—4,05	0,90—2,23	I—III	
43—49	4	39	11,0—16,4	12,2—18,3	16,1—37,5	0,86—1,74	0,54—1,62	II—IV	
50—59	6	56	14,3—19,0	13,7—18,0	14,1—29,1	0,49—1,41	0,37—1,25	III—IV	
60—68	5	63	17,2—20,4	17,0—20,3	16,8—38,8	0,55—1,21	0,43—1,05	II—IV	
70—86	8	124	17,0—25,0	19,3—21,6	16,3—31,2	0,34—0,84	0,41—0,91	II—III	
<b>Осина</b>									
10—19	8	94	2,3—9,2	4,0—11,9	6,6—24,7	3,39—12,62	0,56—1,92	I—IV	
22—29	6	49	6,2—12,5	8,0—14,8	17,6—18,7	1,43—5,32	0,51—1,72	Ia—IV	
35—36	7	85	16,6—20,0	12,8—20,5	18,0—33,8	0,80—1,88	0,54—1,57	Ia—III	
41—49	9	82	20,1—25,1	15,0—23,0	17,6—37,2	0,52—1,06	0,57—1,51	I—III	
52—53	2	15	31,0	17,4—18,3	26,6—28,8	0,41—0,45	0,66—0,75	II—III	

\* Определена как отношение фактического числа стволов на 1 га при известных возрасте и классе бонитета к табличному [Справочник..., 1980].

Многомерная оценка фитомассы сосны с использованием показателя радиального прироста выполнена в культурах (25 пробных площадей) и естественных сосняках (13 площадей) Аман-Карагайского бора. Возраст сосняков 5—110 лет, класс бонитета Ia—Va. Состояние жизнеспособности  $C_1$ — $C_4$ . Взято 320 модельных деревьев по группам рангов толщины, по 5—10 шт. на пробной площади. Исследованы соотношения надземной и подземной, ассимилирующей и структурной фракций деревьев. Экспериментальные данные по массе 22 корневых систем сосны, полученные на 11 пробных площадях путем полной раскопки и отмывки, предоставлены И. С. Крешким. Возраст древостоев 8—40 лет, класс бонитета Ia—IV.

Для исследования фитомассы березы и осины в зоне лесостепи в Согровском лесхозе на границе Тюменской и Северо-Казахстанской областей во влажных и сырых березняках и осинниках на солодях заложено 29 пробных площадей, в том числе 17 для березы (I—II) и 12 для осины (Ia—I). Пять площадей для березы (II), в условиях несколько меньшего увлажнения, заложено в Полудинском лесхозе на юге лесостепной зоны. Здесь преобладают береза пушистая и осина зеленокорой формы с полным отсутствием ствольной гнили. В степной зоне пробные площади (19 для березы и 5 для осины) заложены в свежих березняках (III—IV) и осинниках (III—V) на черноземах выщелоченных и лугово-черноземных почвах — Боровского и Аракарагайского лесхозов Кустанайской области. Преобладают береза повислая и осина серокорой формы. В подзоне лесостепного высотного пояса (Казахский мелкосопочник) пробные площади (4 для березы и 5 для осины) подобраны во временных и коренных типах березняков и осинников (II—IV), на территории Буландинского лесхоза на границе Целиноградской и Кокчетавской областей и на территории Бармашинского и Золотоборского лесхозов Кокчетавской области. Общее число пробных площадей для березы — 45, для осины — 32 с числом модельных деревьев соответственно 525 и 325 (см. табл. 1.1).

Основной экспериментальный материал по фитомассе саксаула получен в 1983—1984 гг. в Чилийском и Казалинском лесхозах Кызылординской области Казахским лесоустроительным предприятием. Фитомасса саксаула определялась на пробных площадях (75 для

Распределение пробных площадей в саксаульниках по группам типов леса [Бирюков, 1982] и таксационным показателям

Группа типов леса	Число пробных площадей	Число модельных деревьев	Класс бонитета	Возраст, лет	Сумма проекций крон, тыс. м <sup>2</sup> /га	Густота, тыс. экз./га	Полнота
<b>Саксаул белый</b>							
Травяные	31	779	I—II	13—25	0,3—1,4	0,1—1,3	0,1—0,7
Жузгуновые	44	1106	III	15—33	0,5—1,8	0,2—1,7	0,2—1,0
<b>Саксаул черный</b>							
Травяные	11	330	I—II	11—16	0,4—1,1	0,2—1,6	0,1—0,5
Солончаковые	14	420	III	15—21	1,0—2,2	0,6—1,9	0,5—1,0

саксаула белого и 25 для черного), где взято по ступеням диаметров крон соответственно 1885 и 750 деревьев (табл. 1.2) в среднем по 25 на пробной площади. Размер пробных площадей от 0,1 до 1,2 га, число деревьев на них от 150 до 400. Возраст саксаульников 5—33 года, класс бонитета I—III. При составлении таблиц для подеревного учета общей и товарной массы саксаула белого использованы данные В. М. Кричуна [Кричун, Усольцев, 1979] по 335 модельным деревьям на 14 пробных площадях, заложенных по методике М. В. Гудочкина [1961] в лесхозах Чимкентской области.

Исследование закономерностей динамики плотности и содержания сухого вещества древесины и коры стволов выполнено на пробных площадях (из числа приведенных в табл. 1.1), заложенных в древостоях III класса бонитета: для сосны по 140 модельным деревьям на 14 пробных площадях в возрасте древостоев 25—106 лет; для березы по 253 модельным деревьям на 9 пробных площадях в возрасте древостоев 5—50 лет и для осины по 70 модельным деревьям на 7 пробных площадях в возрасте древостоев 10—50 лет.

Квалиметрическая оценка ветвей кроны в статике выполнена на двух пробных площадях в сосняках

Аман-Карагайского бора. Пробная площадь 25 заложена в 1982 г. в 24-летних культурах Iа класса бонитета на темно-каштановых почвах, густота 5,34 тыс. экз./га, сумма площадей сечений 46,5 м<sup>2</sup>/га. Пробная площадь 44 заложена в 1983 г. в естественном 22-летнем сосняке III класса бонитета на дерново-боровых почвах, густота 43,8 тыс. экз./га, сумма площадей сечений 36,7 м<sup>2</sup>/га. Крону модельных деревьев, взятых по группам рангов толщины (10 шт. в естественном сосняке и 6 — в культурах), расчленили по мутовкам и от каждой (у крупных деревьев от каждой второй) брали среднюю по размерам ветвь первого порядка, разрезали ее через 0,1 в культурах и через 0,2 длины ветви в естественном сосняке и в местах срезов брали диски для определения плотности в свежесрубленном состоянии древесины и коры, содержания сухого вещества и процента коры в свежесрубленном состоянии по массе. Всего взято 380 дисков на 42 ветвях в культурах и 375 — на 73 ветвях в естественном сосняке.

Экспериментальный материал для исследования формы стволов, определяющей средние квалиметрические характеристики последних по известным локальным, получен на 40 пробных площадях (из числа приведенных в табл. 1.1), заложённых в древостоях I—VIII классов возраста, III класса бонитета, с относительной густотой от 0,2 до 6,3. Всего обработано 560 модельных деревьев, в том числе 140 сосен, 250 берез и 170 осин.

Для пересчета объема древесины и коры стволов из объемных единиц в весовые взято 6370 дисков сосны, 5250 — березы и 3250 — осины по относительным высотам ствола. Для расчета соотношения древесины и коры в ветвях диски брали произвольно по длине ветви и высоте дерева (954 сосны, 520 берез и 421 осина, всего 1895). Процент коры в дисках пересчитывали по специальной методике и получали значение процента коры в ветви в зависимости от диаметра нижнего среза. Пересчет массы листвы и хвои со свежего на сухое состояние выполнен по данным 2220 пробных навесок.

## 1.2. К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ

Точность учета фракций фитомассы древостоя зависит в первую очередь от метода отбора модельных деревьев [Молчанов, Смирнов, 1967; Горбатенко, Протопопов, 1971; Семечкина, 1978]. На начальном этапе исследователями практиковался расчет фитомассы древостоя по данным среднего дерева. Сейчас уже признана низкая точность такого метода, объясняемая тем, что место среднего дерева различается в зависимости от признака, по которому составлен ряд распределения, т. е. деревья, средние, например, по площади сечения, не всегда оказываются средними по другим показателям, например по массе кроны [Ovington, Madgwick, 1959; Baskerville, 1965a; Attiwill, 1966; Madgwick, 1970]. Кроме того, в ряду распределения даже по одному признаку место среднего дерева обладает определенной изменчивостью [Макаренко, 1975; Семечкина, 1978]. Из многочисленных методов оценки фитомассы древостоя Т. Сато [Sato, 1970] выделяет три наиболее распространенных: метод среднего дерева; отношения площадей сечений модельных деревьев и древостоя; регрессионный метод. Лучшими признаются последние два, из них регрессионный обладает определенной универсальностью, поскольку дает возможность составлять таблицы фитомассы на уровнях не только древостоя, но и дерева. Предпочтителен отбор модельных деревьев в пределах всего диапазона варьирования их размеров на пробной площади. Количество деревьев и метод их отбора в каждом конкретном случае должны определяться исходя из оптимального соотношения трудозатрат и требуемой точности. Однако вряд ли можно согласиться с модификацией регрессионного метода, предложенной Ю. И. Даниловым [1985]: на основе линейности связи фитомассы с диаметром ствола в логарифмических координатах регрессия рассчитывается по двум достаточно удаленным одна от другой ступеням толщины, которые представляют крайние значения ряда распределения деревьев и, следовательно, наименее репрезентативны для оценки фитомассы древостоя.

Чтобы выяснить, как влияет на точность учета фитомассы метод отбора модельных деревьев и их общее число, автором выполнена специальная методи-



ческая работа в 45-летнем березняке порослевого происхождения на площади 0,16 га, где срублено и обработано 104 дерева [Усольцев, 1985в]. Исследовано три метода подбора модельных деревьев: систематической и случайной выборками (закодированы соответственно  $A_1$  и  $A_2$ ), в их пределах — методы подбора по ступеням толщины и по рангам ( $B_1$  и  $B_2$ ) и в пределах последних — отбор в количествах 5, 10, 15 и 20 деревьев ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$ ). Каждый вариант (метод) выполнен в трех повторностях, рассчитаны аллометрические уравнения связи фракций фитомассы с диаметром ствола. Для каждой фракции получено по 48 уравнений (4 градации по числу моделей  $\times$  4 градации по способу отбора  $\times$  3 повторности). Каждое уравнение идентифицировано по опытным данным всех 104 деревьев и рассчитаны систематическая и случайная ошибки на уровне отдельного дерева и древостоя. Полученные значения ошибок обработаны по программе трехфакторного дисперсионного анализа. Оказалось, что на точность оценок всех фракций фитомассы на уровне отдельного дерева, за редким исключением, достоверно не влияют ни факторы  $A$  и  $B$  [ $F = (0,01 - 3,42) < F_{0,05} = 4,1$ ], ни фактор  $C$  [ $F = (0,24 - 0,80) < F_{0,05} = 2,8$ ]. То же справедливо для точности оценок фракций фитомассы на уровне древостоя соответственно [ $F = (0,03 - 2,15) < F_{0,05} = 4,1$ ] и [ $F = (0,03 - 0,76) < F_{0,05} = 2,8$ ]. В последнем случае исключение составляет оценка массы древесины ( $F = 7,4 > F_{0,05} = 4,1$ ) и коры ( $F = 6,9 > F_{0,05} = 4,1$ ) ствола по фактору  $A$ . Однако если по массе ствола фактор  $A_1$  дает систематическое завышение оценки по сравнению с  $A_2$ , то по массе коры наоборот. Такое противоречие в оценке двух взаимосвязанных показателей — массы древесины и коры ствола — свидетельствует, по видимому, о том, что для массы ствола повторность выборки ( $n = 3$ ) должна быть увеличена. Нет оснований ожидать существенного повышения точности при альтернативной оценке фитомассы древостоя с отбором деревьев по тому или другому методу. Отклонение расчетных значений фитомассы от опытных наибольшее при взятии одного среднего дерева, а при 5 и более деревьях — ниже и практически не зависит от числа деревьев. Изложенное дает основание полагать, что метод отбора модельных деревьев по группам рапгов толщины и объем выборки в количестве 10 де-

ревьев, обычно практикуемые автором, вполне правомерны. Это позволяет сократить количество наиболее крупных модельных деревьев, увеличение времени обработки которых не адекватно возрастанию их размеров.

Методы обработки модельных деревьев сосны, березы и осины в полевых условиях в основном изложены ранее [Усольцев, 1985в], поэтому здесь ограничимся некоторыми дополнениями. Из числа представленных в табл. 1.1 взято 320 модельных деревьев сосны на 25 пробных площадях в культурах и на 13 — в естественных сосняках. С помощью измерительного микроскопа МИ-1 измерены радиальные приросты на дисках, выпиленных на высоте груди и на трети высоты ствола, средние за 5 и 10 лет в четырех направлениях. По ним рассчитаны средние значения для каждого диска.

Общая масса корней с довольно высокой точностью (случайная ошибка определения 4—5% [Усольцев, Крепкий, 1984]) может быть определена простым электрометрическим методом [Якушев, 1972]. Однако вследствие срастания корневых систем он может дать завышенные оценки, особенно для деревьев низших рангов. Именно «подпитка» таких деревьев за счет доминирующих через сросшиеся корни в какой-то мере помогает им выдерживать длительное угнетение основного полога. В загущенных сосновых молодняках Казахстана число сросшихся корневых систем достигает 5 тыс. шт./га [Макаренко, 1984]. Поэтому здесь использованы данные по массе корневых систем, полученные путем раскопки и отмывки [Рахтеенко, Якушев, 1968]. Корни отбирали в процессе просеивания почвогрунта на сите с размером ячеек 3 мм и сортировали по толщине. Фракцию толщиной менее 1 мм (тонкие корни) отмывали от просеянного почвогрунта. Все корни высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 100—105°C.

С учетом трудоемкости деструктивного метода учета корневых систем, особенно тонкой фракции, масса корней определена не у каждого из 10 модельных деревьев на площади, а главным образом у средних деревьев. Для среднего дерева рассчитывали площадь роста путем деления величины пробной площади на число деревьев на ней. Полученную площадь отграничивали вокруг дерева в форме квадрата и раскапы-

Ваги по 10-сантиметровым слоям на глубину проникновения стержневого корня (2—5 м). При диаметре среднего дерева более 12 см раскапывали корневую систему на половине квадрата по одну сторону от ствола, а при диаметре менее 3—4 см — корневую систему биогруппы из 2—6 деревьев с разделением массы тонких корней пропорционально массе комля (припенной части корня) каждого дерева в биогруппе.

На пробных площадях, заложенных в саксаульниках, проводили перечет деревьев по ступеням диаметров кроен. У модельных деревьев измеряли в двух направлениях диаметр кроны и диаметр шейки корня, высоту, а по числу развилки — приблизительный возраст. У дерева кустовой формы (порослевого происхождения) измеряли все диаметры шейки корня ( $d_i$ ) и рассчитывали диаметр ( $D_0$ ), по площади сечения равновеликий составляющим, по формуле  $D_0 = \sqrt{\sum d_i^2}$ . Путем непосредственного взвешивания определяли общую фитомассу дерева, товарную массу (с диаметром среза ветвей более 2 см) и массу веточного корма (побеги последних двух лет толщиной 2—3 мм, срезаемые на высоте до 1,2 м над уровнем почвы, доступные для поедания овцами). Последняя определялась у 5—8 деревьев на пробной площади. Влажность фракций у саксаула не учитывалась. Масса общая и товарная на 1 га рассчитана по модельным деревьям и распределению деревьев по данным перечета, а кормовая — методом отношения площадей сечений, по точности не уступающим расчету с использованием регрессионных уравнений [Madgwick, 1982]:  $\Sigma P_j = \frac{\Sigma p_i}{\Sigma d_i^2} \cdot \Sigma D_j^2$  где  $\Sigma P_j$  и  $\Sigma p_i$  — кормовая масса деревьев соответственно всех в древостое и модельных,  $\Sigma D_j^2$  и  $\Sigma d_i^2$  — сумма квадратов диаметров кроен соответственно всех и модельных.

При оценке фитомассы дерева диаметр ствола на высоте груди неоднозначен по своей информативности, поскольку с уменьшением высоты дерева точка замера такого диаметра сдвигается вверх по стволу, а при высоте дерева менее 1,3 м показатель теряет информативность. Поиск оптимального диапазона высоты замера диаметра ствола для оценки его объема с использованием метода М. Коватса [Kovats, 1977] на

примере березы и осины показал, что минимальную ошибку (соответственно 8 и 6%) даст замер диаметра на трети высоты ствола [Усольцев, 1985в]. Этот факт хорошо известен в лесной таксации [Lönnroth, 1927; Petrini, 1928; Perkal, 1953; Кузьмичев, 1977] и объясняется он наименьшей изменчивостью нормального видового числа для этой высоты, совпадающей с центром тяжести ствола [Forslund, 1982]. Наибольшая информативность диаметра на трети высоты ствола подтверждается по отношению не только к объему ствола, но и к остальным фракциям надземной фитомассы — хвое, ветвям и общей [Усольцев, 1984]. При меньшей технологичности этого диаметра, по сравнению с диаметром на высоте груди, использование его дает возможность составлять таблицы фитомассы для молодняков, когда диаметр ствола на высоте груди не пригоден в качестве определяющего фактора. Возможность установления достаточно надежных связей диаметра на высоте груди с таковыми на относительных высотах порождает надежду на обход технической трудности прямого замера диаметра на трети высоты ствола путем его оценивания расчетным методом. Для целей сопоставления моделей или таблиц такой подход оправдан, но повысить точность определения массы фракций дерева он не в состоянии, поскольку в этом отношении ничем не отличается от традиционной оценки по диаметру на высоте груди.

## **2. МНОЖЕСТВЕННЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ**

### **2.1. О СТАНОВЛЕНИИ МЕТОДА ПОЛИФАКТОРИАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ**

Изучение продуктивности и структуры фитомассы древостоев представляет комплексную проблему, составляющую предмет различных научных дисциплин: экологии, лесоведения, лесной таксации, экологического лесоведения, — которая сегодня еще далека от приемлемого решения. Это объясняется неполной изу-

ченностью продукционного процесса лесных биогеоценозов в плане совместного исследования их структуры и функционирования. Поток публикаций, посвященных изучению биологической продуктивности древостоев, непрерывно нарастает, что обогащает науку новой информацией и оригинальными методическими подходами, но в то же время усугубляет неоднозначность и противоречивость результатов и предложений [Grigal, Kernik, 1984]. В определенной мере это является следствием недостаточной разработки методологических основ теоретической биологии [Блауберг, Юдин, 1973; Смирнов, 1978], в том числе теории биопродуктивности растительных ценозов.

Л. К. Поздняков с соавторами [1969] выделяют два основных направления в изучении биопродуктивности лесов: биогеоценологическое, связанное с познанием круговорота веществ и энергии в лесном фитоценозе, и ресурсоведческое, предполагающее оценку лесной фитомассы с точки зрения ее утилизации. Соответственно должны различаться и методы учета фитомассы: в первом случае основное внимание уделяется обеспечению высокой точности результатов, во втором — поиску адекватных взаимосвязей показателей фитомассы с таксационными (ТХР и другие нормативы). Однако эти направления неразделимы и представляют две стороны одной задачи — изучения биологической и хозяйственной продуктивности лесов с целью удовлетворения потребностей нашего общества [Поздняков, 1970].

С точки зрения применения количественных методов в исследованиях по биопродуктивности можно проследить четкую тенденцию перехода от формы подачи материала в исходном состоянии с элементами его систематизации к выявлению парной связи с ведущим фактором и, наконец, к объяснению изменчивости показателей фитомассы на основе многомерных методов, в частности, с использованием множественного регрессионного анализа.

Данные о фитомассе крон, хвои и корней деревьев встречаются уже в начале XX столетия в работах М. К. Турского и М. М. Орлова [см.: Гордина, 1985]. В 30-е гг. учет фитомассы древостоев занимался А. С. Яблоков [1934]. В исследованиях формирования культур лиственницы он установил взаимосвязь сырой растущей массы хвои и диаметра на высоте груди

с объемным приростом ствола в виде линейных уравнений парной связи. В 40-е гг. количественные показатели массы крон изучались Н. Л. Коссович [1940], А. И. Челябиновой [1941], Н. П. Георгиевским [1948]. Последний выявил наличие парных связей массы хвои дерева с диаметром ствола и диаметром кроны, длиной кроны и объемным текущим приростом ствола. Введя показатель продуктивности хвои как отношение текущего объемного прироста ствола к массе хвои, он выявил отрицательную связь названного показателя с массой хвои дерева. Н. Л. Коссович [1967] в качестве показателя продуктивности хвои использовала величину, обратную аналогичному показателю Н. П. Георгиевского [1948].

Спустя 10 лет после опубликования работы А. С. Яблокова, Дж. Китредж [Kittredge, 1944] без ссылки на эту работу применил, по существу, те же уравнения связи массы листвы с диаметром и текущим приростом по объему и площади сечения. Такое же уравнение при исследовании массы крон сосны и березы в связи с диаметром ствола вскоре применил А. И. Ахромейко [1950]. М. Д. Данилов [1956] исследовал связь листовой массы с диаметром ствола в возрастной динамике.

В теоретической биологии для описания парных взаимосвязей получил распространение логарифмический полином первого порядка, известный как аллометрическая функция

$$y = ax^b, \quad (2.1)$$

константы которой имеют определенную биологическую интерпретацию [Thompson, 1917; Huxley, 1932; Reeve, Huxley, 1945; Gould, 1966; Мина, Клевезаль, 1976; Кофман, 1981, 1982]. Г. Б. Кофман показал теоретический характер аллометрической формулы как проявление подобия в сравниваемой совокупности состояний и исследовал его нетрадиционные варианты, в частности в процессах роста и изреживания древостоев.

Выражение (2.1) известно в лесной таксации и как уравнение Беркута [Prodan, 1965], применяемое вначале для оценки объема ствола по его диаметру, а позднее предложенное Дж. Китреджем [Kittredge, 1944] для определения массы листвы деревьев. Модификация уравнения (2.1) в результате замены диа-

метра произведением квадрата диаметра на высоту дерева, известная как уравнение Спурра [Prodan, 1965]:

$$y = a(x_1^2 x_2)^b, \quad (2.2)$$

также первоначально применялась для более достоверной оценки объема ствола [Sato, 1970], нежели по (2.1). Известны случаи, когда и для массы листвы (2.2) дает более точные оценки, нежели (2.1) [Madgwick, Sato, 1975], и таковые, когда этого не наблюдается [Schmitt, Grigal, 1981; Усольцев, 1985в].

Поскольку константы уравнений (2.1) и (2.2) для массы листвы изменяются от древостоя к древостою [Sato, 1962, 1966; Tadaki, 1966; Kira, Shidei, 1967], в качестве более значимой прогностической переменной предлагался диаметр у основания кроны [Yamaoka, 1958; Shinozaki et al., 1964; Kira, Shidei, 1967]. В этом случае масса кроны модельных деревьев в древостоях разных условий произрастания может быть описана одним и тем же регрессионным уравнением [Kira, Shidei, 1967; Sato, 1970]. Как отмечает Т. Сато [Sato, 1970], этот метод хорош в теории («трубчатая» модель, или пайп-модель), но фактически нереализуем на практике. Если же оценивать диаметр у основания кроны расчетным методом по связи его с диаметром на высоте груди [Yamaoka, 1958], то такой подход ничем не отличается от исходного уравнения (2.1).

Функция (2.1) известна в теоретической биологии и как функция параболического роста [Шмальгаузен, 1935]. И. А. Терсков и М. И. Терскова [1980] делили период большого роста древостоев на несколько возрастных этапов и аппроксимировали таксационные показатели уравнением ступенчатого параболического роста, при этом рассчитывались константы функции (2.1) для каждого этапа. Не отрицая общепараболической концепции авторов о наличии физиологически обусловленных точек перелома кривой, характеризующей рост организма, мы тем не менее склонны интерпретировать логарифмический полином  $n$ -го порядка как «исправленную» параболическую функцию. Действительно, прологарифмировав (2.1), получим  $\lg y = \lg a + b \lg x$ . Предположив, что константа  $b$  изменяется не дискретно от одного возрастного периода к другому, а непрерывно, например  $b = c_1 + c_2 \lg x$ , и

обозначив  $\lg a = c_0$ , получаем логарифмический полином второго порядка, или функцию Корсуна — Бакмана, математические и биологические основы которой в литературе детально проанализированы [Korsun, 1935; Backman, 1938; Weck, 1950; Мауринь, 1980]:

$$\lg y = c_0 + c_1 \lg x + c_2 \lg^2 x. \quad (2.3)$$

В свою очередь, если в (2.3)  $c_2 = d_2 + d_3 \lg x$ , то имеем логарифмический полином третьего порядка [Усольцев и др., 1984]:

$$\lg y = d_0 + d_1 \lg x + d_2 \lg^2 x + d_3 \lg^3 x. \quad (2.4)$$

Морфологические проявления адаптации деревьев к изменяющимся условиям среды неизбежно регистрируются в ширине годичного кольца ствола. Радиальный прирост ствола, являющийся интегральным выражением комплексного воздействия экзо- и эндогенных факторов, используется в современных методиках расчета динамики древесных запасов [Лиена, 1980; Лиена, Усольцев, 1985, 1986]. Этот показатель, тесно связанный с количественными и качественными характеристиками ассимиляционного аппарата, находит применение при экологическом мониторинге лесов [Антакайтис, 1983] и может быть с достаточной достоверностью предсказан с помощью моделей самоорганизации [Розенберг, Феклистов, 1982]. Использование радиального прироста с целью оценки массы кроны деревьев особенно перспективно в экологических исследованиях лесов.

Примечательно, что с самого начала работ по биопродуктивности древостоев исследователи устанавливали связь массы листвы не только с морфометрическими параметрами деревьев, но и с текущим приростом, считая эти факторы наиболее тесно связанными с массой листвы [Busse, 1930, цит. по: Melzer, 1962; Яблоков, 1934; Burger, 1929—1953; Kittredge, 1944; Георгиевский, 1948; Полякова, 1954; Ovington, 1957]. Однако характер связи массы листвы дерева с текущим приростом (угол наклона линий регрессии) разноречивый как в силу индивидуальной изменчивости реакции деревьев на внешние условия, так и изменчивости самих условий по годам [Полякова, 1961]. Столь же неочевидна простая связь названных показателей на уровне древостоя: по К. М. Мёллеру [Möller, 1947], масса листвы на 1 га сомкнутого древостоя инвариант-



на, а прирост запаса определяется приростом в высоту, последний же — эдафическим фактором. И это согласуется с общим принципом продукционной инвариантности [Уткин, Рождественский, 1985а, б].

Обширные материалы по массе разных фракций деревьев и древостоев в лесах различных зон европейской части СССР были получены А. А. Молчановым [1971] и В. В. Смирновым [1971]. В 50—60-е гг. исследования количественных показателей фитомассы лесов интенсивно проводились за рубежом [Ovington, 1956, 1957; Ando, 1962; Attiwill, 1962, 1966; Baskerville, 1965a; Tadaki, 1966; Satoo, 1966; Kira, Shidei, 1967; Newbould, 1967]. И сегодня по-прежнему идет процесс накопления сведений о биопродуктивности лесов по природно-климатическим зонам, древесным породам, типам леса и т. д. Авторы работ, отличающихся как глубиной проработки вопросов, так и степенью обобщения [Kira, Shidei, 1967; Newbould, 1967; Поздняков и др., 1969; Уткин, 1969, 1970, 1975; Madgwick, 1970; Satoo, 1970; Молчанов, 1971; Смирнов, 1971; Поздняков, 1973; Young, 1976; Габеев, 1976; Рубцов и др., 1976; Семечкина, 1978; Parde, 1980], в той или иной мере систематизируют результаты исследований и находят биопродуктивному направлению специфичные приложения. Л. К. Поздняков [1973] выделяет лесное ресурсоведение как самостоятельную отрасль лесных наук, В. В. Протопопов [1965] исследует структуру фитомассы лесов в биофизическом плане, М. Г. Семечкина [1978] анализирует строение древостоев по элементам фитомассы, Э. Н. Фалалеев и Н. П. Гордина [1980], Т. Х. Токмурзин [1984] анализируют динамику фитомассы с целью установления защитной способности леса. Л. Н. Яновский и В. С. Моисеев [1972] используют показатели фитомассы в плане формирования структуры ландшафтов в лесопарках и зеленых зонах, Ю. Л. Ковалев [1981] — при оценке ветрозащитных свойств лесных полос в агролесомелиорации, В. О. Казарян [1969] — при исследовании так называемых корнелистовых функциональных связей, М. Мартенс [Martens, 1980] — при оценке акустических свойств лесного полога, который, как оказалось, может играть одновременно роль и фильтра, и резонатора звуковых частот в зависимости от области звукового спектра. Японские исследователи [Ando, 1962; Hozumi, 1977, 1980] учитывают биопродуктивность деревьев

и древостоев с целью подведения теоретической базы под процессы роста и естественного изреживания насаждений (логистическая теория роста, «правило 3/2») и разработки адекватных режимов рубок ухода. А. И. Уткин и А. Ф. Ильюшенко [Биологическая продуктивность..., 1982] уделяют внимание не только соотношениям фракций, но и характеристикам состояния (плотности и влажности) фитомассы, оценивая возможность использования лесотаксационных методов и материалов лесоинвентаризации в ориентировочных расчетах биопродуктивности. Анализируются не только валовые показатели фитомассы, но и годовая продукция последней [Кучко, 1975; Ватковский, 1976; Уткин, 1981; Зябченко, 1984; Гульбе, 1985; Рождественский, 1985], что особенно важно в биогеоценотических исследованиях при сравнении фактической и потенциальной продуктивности лесных местообитаний.

При математическом описании изменения массы фракций дерева с привлечением его морфометрических признаков всегда имеется остаточная дисперсия как выражение несоответствия между динамичностью массы кроны, особенно листвы, и дискретным учетом сравнительно стабильных морфометрических признаков. Другие причины остаточной дисперсии при включении в уравнение регрессии только морфометрических параметров кроются в различии экологических условий роста отдельных деревьев, а также в различиях, обусловленных генетическим разнообразием популяции древесной породы [Thomasius, 1964; Satoo, 1966; Мамаев, 1972; Биологическая продуктивность..., 1982].

История развития таксационно-продуктивного направления в лесной науке свидетельствует, что привлечение для описания хода роста древостоя только морфометрических показателей при всей их простоте не нашло практического применения, как это произошло, например, с так называемым «законом Эйхгорна» [Thomasius, 1963]. Более предпочтительна зависимость продуктивности от возраста с учетом экзо- и эндогенных воздействий. «Изучая рост древостоев по высоте, диаметру, запасу древесины и пр., — пишет К. Е. Никитин [1965], — лесовод учитывает, что числовые значения этих показателей изменяются и зависят от многих причин. Однако при прочих равных условиях изменение их находится в зависимости от возраста насаждений. В этом случае можно сказать, что любой

из названных показателей является функцией возраста...» (с. 25). Представляется перспективным выявление роли онтогенетического фактора в динамике как количественных, так и качественных показателей различных фракций фитомассы в увязке с экологическими факторами: абиотическими и биотическими, опосредованными через дендрометрические (таксационные, морфометрические и др.) характеристики деревьев и древостоев. Лишь в очень немногих работах динамика фитомассы описана регрессиями, включающими возраст и опосредованные экологические факторы [Токмурзин, Нурпейсов, 1976; Казимиров, Митруков, 1978; Тябера, 1981; Гордина, 1985; Кожевников и др., 1985]. Н. И. Казимиров и А. Е. Митруков [1978] описывают изменчивость различных фракций фитомассы у деревьев сосны регрессионной моделью, включающей возраст, среднюю высоту, относительную полноту древостоя, а также диаметр и высоту дерева. А. М. Кожевников с соавторами [1985] рассчитывают регрессионные модели роста надземной фитомассы полных и оптимально изреживаемых еловых культур, используя в качестве основных факторов возраст, высоту и диаметр деревьев или древостоев. Т. Х. Токмурзин и К. Н. Нурпейсов [1976] при построении модели хода роста фитомассы сосновых древостоев Прииртышья использовали три фактора — возраст, относительную полноту и класс бонитета, Н. П. Гордина [1985] приходит к выводу о достаточной информативности в подобных моделях лишь двух факторов — возраста и полноты, объясняющих около 90% общего варьирования фракций фитомассы.

А. А. Опучин и А. Н. Борисов [1984], используя выводы и рекомендации Л. К. Позднякова с соавторами [1969], В. В. Протопопова и В. И. Зюбиной [1977] о перспективности учета фракций фитомассы путем отнесения их к объему ствола, ввели переводной коэффициент как отношение массы какой-либо фракции к запасу стволов в коре. Они вывели множественные регрессионные уравнения, описывающие связь названного коэффициента с возрастом, классом бонитета и запасом стволов в коре, и на основе их составили таблицы массы хвои, крон и корней сосновых древостоев по трем входам. Таблицы просты в употреблении, так как включают интегральный показатель — запас стволов, который отражает многие ценотические характе-

ристики древостоя (густоту, средний диаметр, характер распределения деревьев по толщине и т. д.). Хотя модели А. А. Онучина и А. Н. Борисова [1984] и отличаются довольно высокой адекватностью, их применимость в экологических исследованиях ограничена, поскольку запас древостоя нельзя определить с такой же легкостью и точностью, как, например, сумму площадей сечений или густоту.

Итак, на сегодня еще не разработаны общие принципы и инструментарий полифакториальной оценки биопродуктивности древостоев, необходимые для развития феноменологической теории биопродуктивности, корректной увязки таблиц биопродуктивности с ТХР, создания единой системы нормативов для таксации всей фитомассы лесов и т. д. Недостаточная популярность многомерного подхода в исследованиях биопродуктивности лесов обусловлена трудоемкостью учета фитомассы по сравнению с традиционной оценкой запасов стволовой древесины, слабой координацией работ, разобщенных по ряду академических и отраслевых институтов различного подчинения, и недостаточным использованием современной компьютерной техники: бурный рост технических возможностей ЭВМ опережает способность исследователей-прикладников использовать эти возможности в плане реализации системного анализа характерных для биологии и экологии многомерных процессов.

## **2.2. О НЕКОТОРЫХ МЕТОДАХ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ОЦЕНКЕ БИОПРОДУКТИВНОСТИ**

Моделирование биопродукционного процесса на основе имитационных экспериментов возникло в связи с развитием ЭВМ и нового научного направления — биокibernетики [Смирнов, 1978]. Рассматривая фитоценоз как кибернетическую систему, Т. Э.-А. Фрей [1971] пишет: «Понятия жизнь и регуляция настолько тесно взаимосвязаны, что следует удивляться не тому, что принципы кибернетики и теории информации применяются с большим успехом в биологических исследованиях, а скорее всего тому, что эти дисциплины возникли в технической, а не в биологической области науки» (с. 293). И понятно, почему: методология физики опережает в своем развитии принципы системно-

логии [Флейшман, 1986]. К. Кулли и Т. Оя [1984], анализируя физиологические модели продукционного процесса дерева в аспекте их структуры и учета различных факторов роста, приходят к выводу, что с помощью таких моделей проясняются многие качественные эффекты продукционного процесса, однако ни одна из них пока не дает количественно удовлетворительного прогноза. Это происходит главным образом из-за несовершенства наших представлений о продукционном процессе лесного фитоценоза и вследствие неполного учета в моделях основных потоков веществ и энергии, что в общем случае сводится к проблеме недостатка информации при экологическом моделировании [Свирижев, 1981].

Потребность в разработке методических приемов, обеспечивающих с помощью ЭВМ выявление и адекватное количественное описание основополагающих экзо- и эндогенных воздействий на лесной фитоценоз, в частности на структуру и продуктивность фитомассы, ощущается все более остро. К сожалению, появляются иногда публикации, компрометирующие системный подход и его простейшую реализацию — множественный регрессионный анализ. Наиболее частая причина подобных явлений — неумение, а иногда и нежелание исследователя провести исчерпывающий содержательный анализ исходного экспериментального материала с целью выработки предварительного представления о структуре и взаимосвязях исследуемой системы, стремление переложить эту функцию на машину. Ранее автором уже приводились [Усольцев, 1985в] примеры неудачного использования метода множественных регрессий.

Совершенно не очевидна также правомерность введения в регрессионную модель поправок на ретрансформацию теоретических данных с целью компенсации имеющихся, например при логарифмировании, смещений. Х. Мэдгвик [Madgwick, 1983] исследовал точность оценки массы стволов, ветвей и листьев по модельным деревьям с использованием нескольких регрессий как без коррекции, так и с четырьмя способами коррекции на смещение [Flewelling, Pienaar, 1981]. Им установлено, что скорректированные лог-лог-регрессии (аллометрические) дают меньшую точность по сравнению с нескорректированными вследствие особой их чувствительности к нетипичным модельным деревьям. И наконец, в подтверждение мнения

Е. М. Четыркина [1977], К. Е. Никитина и А. З. Швиденко [1978] о невозможности выбора оптимального уравнения регрессии по тому или иному статистическому критерию (внутреннему в отличие от внешних, по А. Г. Ивахненко [1982]) была проиллюстрирована противоречивость некоторых статистических критериев, в частности показателя линейности связи и критерия Дарбина — Уотсона [Усольцев, 1985в].

Перечисленное, казалось бы, ставит под сомнение правомерность переключивания на машину права выбора «наилучшей» модели. Тем не менее А. Г. Ивахненко [1982] изложенному принципу подбора регрессионной модели предлагает альтернативный вариант. Разработанный им метод группового учета аргументов (МГУА) основан на теореме А. Геделя о неполноте [Успенский, 1982]. Согласно этой теореме, никакая система аксиом не может быть логически замкнутой: всегда существуют высказывания, для доказательства или отрицания которых необходима новая аксиома (внешнее дополнение), не зависящая от исходных и не противоречащая им. А. Г. Ивахненко на основе теоремы А. Геделя разработал принцип самоорганизации моделей, лежащий в основе МГУА и решительно отвергающий как интуитивный фактор, так и роль ЭВМ в качестве «большого арифмометра» в диалоге человека и машины. При этом метод самоорганизации моделей, как объективный, противопоставляется А. Г. Ивахненко другим методам, в частности имитационному моделированию, как чисто субъективному, отражающему представления автора о способе действия объекта.

Однако Д. Б. и А. Д. Юдины [1985], рассматривая системный подход с позиций теории сложности, констатируют, что усилия, предпринятые математиками для избавления научной системы от интуитивного элемента, привели к противоположному результату, и необходимость внелогического этапа (интуиции) в математическом мышлении вытекает из сугубо формальных соображений. Свои выводы Д. Б. Юдин, А. Д. Юдин [1985] основывают на той же теореме А. Геделя, интерпретируя ее альтернативным образом: «...Развитие формальной теории требует непрерывного обогащения ее аксиоматических основ внелогическими интуитивными элементами...» (с. 183) и считают возможным синтез логического и нелогического подходов к позна-

нию действительности как способ преодоления сложности окружающего мира.

А. Г. Ивахненко поручает машине как выбор вида опорных функций (линейные, степенные полиномы и т. д.), так и выбор класса уравнений модели (алгебраические, интегро-дифференциальные и др.) путем последовательного их перебора. С позиций же системологии и теории сложности [Д. Б. Юдин, А. Д. Юдин, 1985; Флейшман, 1986] переборная задача обычно является экспоненциально сложной, т. е. сложность обработки результатов наблюдений растет как экспонента от размерности соответствующей статистической системы («проклятие размерности»). По-видимому, в реальных эколого-экономических задачах нужное число измерений невозможно реализовать в приемлемые сроки при любом уровне развития техники измерений, а учет множества действующих и взаимодействующих факторов невозможен при любом уровне развития компьютерной техники. Перебор — узкое место теории самоорганизации [Флейшман, 1986].

Н. Н. Моисеев [1978] пишет, что системный анализ не возник на голом месте, «...наука исподволь подготавливала переход от изучения отдельных фактов к изучению сложных систем моделей... Лучшей школой системного анализа является именно физика, где создана стройная система связанных между собой моделей» (с. 38). С другой стороны, Б. С. Флейшман [1986] указывает на «...противоположность принципов физики и системологии, что обусловлено понижением объективных возможностей построения моделей при переходе от простых систем к сложным» (с. 106). Более того, он с сожалением констатирует: «В недалеком будущем, видимо, придется смириться с сосуществованием двух противоположных типов методологии науки: физического и системологического, причем с преобладанием первого. Слишком уж сильны физикалистские традиции, утвердившиеся в науке и образовании» (с. 110). Последнее порождает не всегда обоснованную недооценку [Pielou, 1981] многомерных стохастических моделей или их противопоставление феноменологическим моделям, построенным «в духе физики принципов» [Кофман, 1986, с. 5].

Приведенные примеры имеют единственной целью показать, что как интерпретация, так и конкретные реализации системного подхода обнаруживают их про-

Электронный архив УрФУ

тиворечия на концептуальном и методическом уровнях, и абсолютизация того или иного метода математического моделирования при исследовании сложных систем должна иметь разумные пределы. Но, пожалуй, наибольшая опасность связывается «...с тем искажением, которое можно привести в саму проблему, упорно отстаивая конкретную модель, даже если в действительности она не соответствует фактам, а также с теми трудностями, которые возникают иногда при необходимости отказаться от модели, оказавшейся неперспективной. Математическое моделирование — настолько опьяняющее занятие, что «модельеру» очень легко отойти от реальности и увлечься применением математических языков к искусным абстрактным формам. Именно поэтому необходимо помнить, что моделирование в прикладном системном анализе — это лишь один из этапов широкой стратегии исследования. Мы должны внимательно следить за тем, чтобы моделирование не превратилось в самоцель!» [Джефферс, 1981, с. 38]. Наличие уникальных данных о численности рысей и зайцев в Канаде за 100 лет давало экологов надежду на адекватное ее описание и прогноз с помощью классической модели В. Вольтерра «хищник — жертва». Однако идентификация полученной модели обнаружила артефакт: жертвами оказались рыси, а хищниками — зайцы. Не удалось получить удовлетворительного прогноза также с помощью модели самоорганизации и других методов, по-видимому, вследствие безнадежно утраченной существенной дополнительной информации. Пример отражает типичную ситуацию, когда при изучении конкретной биосистемы однозначного объяснения или прогноза получить либо не удастся, либо его просто не существует, что, по-видимому, справедливо для всех видов отражения с помощью математических и иных средств [Брусиловский, 1985].

Другая уже упоминаемая выше опасность связана с попытками исследователей переложить решение проблемы на ЭВМ. «В машины нужно закладывать системную логику мышления в цифрах или других ей понятных символах. И не программист этим должен заниматься, думать должен инженер, экономист, социолог. Но вот их-то пока по-настоящему системно мыслить, то есть анализировать во взаимосвязи и взаимодействии всех влияющих на объект факторов,



не учат, да и преподавателям в один день системное мышление не привьешь» [Алексеева, 1986, с. 11]. Сейчас уже невозможно отрицать актуальность формирования системного мышления у специалистов, формирования наряду с институтом специалистов института «генералистов», в котором резко повысится престиж традиционных аналитических исследований, требующих усилий «одиночек интеллектуалов», хотя это и противоречит предсказаниям о наступлении века индустриальной науки [Флейшман, 1986].

Имитационное моделирование как одно из основных методологических достижений научно-технической революции [Самарский, 1986] является качественно новым этапом в исследовании биопродукционного процесса лесного фитоценоза, однако отставание эмпирических знаний от мощи компьютеров зачастую обуславливает подмену конкретного знания интуицией исследователя. Напротив, метод самоорганизующихся моделей совершенно не поддается содержательной интерпретации, что может привести к отрыву математической формы описания процесса от его биологического содержания [Плохинский, 1978]. По мнению Дж. Джефферса [1981], псевдонаука потому и процветает, что не каждый утруждает себя переводом результата с языка алгебры на повседневный язык, легко позволяющий выявить абсурдность суждения.

В плане реализации общегосударственной программы развития математического моделирования на базе ЭВМ весьма перспективно создание комбинированных моделей по принципу «модельного штурма». П. М. Брусиловский и Г. С. Розенберг [1981], объединив два подхода — методы имитационного моделирования и самоорганизации — улучшили прогноз динамики фитомассы исследованных растительных сообществ почти вдвое. Имитационные модели, построенные по принципам системной динамики Форрестера, основаны на концепции равновесия экосистем, что противоречит принципу необратимости происходящих в них процессов [Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Мауринь, 1978; Смагин, 1980; Уткин, 1981; Антанайтис, 1983]. Поэтому важное значение придается определению временных интервалов, на протяжении которых нет качественных скачков в динамике прогнозируемой системы [Розенберг, 1981]. В этой ситуации может оказаться плодотворным применение метода теории катастроф

[Thom, Zeeman, 1975; Чиллингуорт, 1979], позволяющего в рамках одной математической модели описать нарушения непрерывности развивающихся процессов, когда, казалось бы, устойчивое состояние системы скачкообразно переходит в другое устойчивое состояние под воздействием малого возмущения в точке бифуркации. Однако проблема верификации таких моделей на больших временных интервалах остается открытой.

В этой связи Е. Пилу [Pielou, 1981] полагает, что сравнивать модель с действительностью — это, в сущности, означает задавать одновременно массу вопросов, тогда как более полезным было бы справляться с ними в отдельности. Поиск ответов на единичные вопросы она определяет термином «исследование» (в противовес моделированию) и считает его более результативным для прогресса знаний, чем моделирование. Но и в этом случае проблема точности оценки или измерения параметров занимает одно из ведущих мест. Анализируя эколого-физиологические методы исследования растительности, Г. Вальтер [1974] пишет: «Каждый метод содержит свой источник ошибок, поэтому точность публикуемых цифр нельзя переоценивать. Чаще они дают нам только представление о порядке величин, а нередко лишь отправную точку для качественной оценки» (с. 8).

Оценка того или иного метода моделирования биопродукционного процесса возможна при наличии четкой классификации математических моделей по их целевой ориентации. Последнее представляет непростую задачу, поскольку цели моделирования не менее разнообразны, чем методы, а часто оказывается, что модели строятся вовсе без определенной цели [Pielou, 1981]. К. Е. Никитин и А. Э. Швиденко [1973] полагают, что математическое моделирование в лесном хозяйстве и лесной науке выполняет заместительно-эвристическую, аппроксимационную, иллюстративную, экстраполяционно-прогностическую и другие функции. По принципам же подхода модели, применяемые в различных областях лесного дела, они условно разделяют на две обширные группы: традиционные «эмпирические», главным образом регрессионные, и модели кибернетического характера.

Г. С. Розенберг [1984] по методам построения подразделяет модели сложных систем на эмпирико-стати-

стические, имитационные, самоорганизующиеся и аналитические, придавая им, вслед за Б. А. Глинским с соавторами [1965] и Б. С. Флейшманом [1978], в различных сочетаниях измерительную, описательную, интерпретаторскую, объяснительную, предсказательную и критериальную функции.

Анализируя применение математических моделей в экологии, Е. К. Пилу [Pielou, 1981] расчленила все их многообразие (от имитационных до функций роста) на четыре группы.

Модели как средство объяснения динамики популяций. Объяснительная функция экологических моделей была основной исходной задачей, однако именно с ней, по мнению Е. К. Пилу, эти модели справляются хуже всего. Она подвергает сомнению правомерность постулирования ответов, построения модели на основе этих постулатов, а затем проверки и обсуждения того, является ли реально существующая система реализацией именно этой частной модели и никакой другой.

Модели как средство предсказания поведения экосистем, осуществляемое двумя методами: прогнозированием временного ряда и применением динамических моделей, имеющих также объяснительную функцию.

Модели как генераторы новых идей и гипотез. Модели, дающие «контринтуитивный» результат, рассматриваются Е. К. Пилу как стимулятор познания: не сходство моделей с реальностью ведет к новым открытиям, а их расхождение.

Модели как эталоны для сравнения. Любая функция роста дерева и древостоя может рассматриваться в качестве «идеального» тренда, с которым сравнивается эмпирическая кривая роста.

Множественный регрессионный анализ Е. К. Пилу рассматривает лишь как статистический прием обработки экологических данных. Она полагает, что такой анализ является лишь инструментом, призванным помочь в подготовительной работе по конструированию более реалистических моделей, основанных на дифференциальных уравнениях. Это в какой-то мере подтверждается опытом использования множественных регрессий (производственных функций Кобба — Дугласа) в качестве подмоделей в моделях глобального экологического развития [Егоров и др., 1980]. Аналогичным образом регрессионные многомерные модели могут рассматриваться в качестве необходимого исходного

этапа моделирования биопродукционного процесса лесного фитоценоза, его динамики, выполняя функцию вычленения основных определяющих факторов воздействия и количественной оценки их совокупного эффекта.

Тем не менее ограничивать подобным образом область применения регрессионных моделей не представляется правомерным. Накопленный опыт множественного регрессионного моделирования применительно к лесным фитоценозам убедительно свидетельствует, что такие модели являются не просто вспомогательным инструментом или средством выгодно показать полученные результаты, а действенным методом исследования сложных многопараметрических систем, к которым относятся лесные фитоценозы. Более того, множественные регрессионные модели выполняют, в сущности, все выделенные Е. К. Пилу функции. Вычленяя из комплекса действующих и взаимодействующих факторов основные, определяющие общую изменчивость искомого параметра лесного фитоценоза факторы, регрессионная модель на том или ином уровне значимости «объясняет» эту изменчивость и дает возможность интерпретации полученного результата. При наличии ретроспективных данных, характеризующих ту или иную составляющую продукционного процесса за длительный промежуток времени, множественная регрессионная модель в состоянии дать достаточно надежный прогноз этого процесса, особенно самоорганизующаяся модель [Розенберг, Феклистов, 1982]. Растущие возможности ЭВМ опережают способность исследователей адекватно их использовать, что является одной из причин получения абсурдных результатов. Компрометируя подход в целом, это тем не менее стимулирует поиск причин подобных «контринтуитивных» результатов и путем познания ошибки способствует развитию нового знания. И наконец, регрессионные модели могут служить эталонами для сравнения. Модели динамики фитомассы дерева, опробованные за пределами региона, в котором получены исходные данные, дают возможность выявить смещения, обусловленные ранее не учтенными и не включенными в модель факторами.

В теоретической биологии в качестве перспективного метода количественной характеристики роста и развития организмов рассматривается применение безразмерных критериев, к достоинствам которого можно

отнести «...уменьшение числа переменных, подлежащих изучению, более четкое выражение внутренних связей процессов, получение для некоторого множества случаев обобщенных характеристик, позволяющих выяснить общие закономерности для этого множества и представить их в конечном счете в количественной форме» [Т. А. Детлаф, А. А. Детлаф, 1982, с. 27]. В этом направлении пока делаются лишь первые шаги.

Важное достоинство метода безразмерных показателей связано также с применением классического многомерного регрессионного анализа: факторы, определяющие динамику того или иного биологического процесса, как правило, взаимно коррелированы, являются интегральными характеристиками нескольких, иногда противоположных, трендов, поля распределения экспериментальных данных бывают вследствие этого растянуты и взаимно смещены по тому или иному фактору. В результате даже при соблюдении требований планирования многофакторного эксперимента получить регрессионную модель иногда невозможно вследствие образования плохо обусловленной матрицы. Введение определяющих факторов в виде безразмерных показателей позволяет снизить уровень их взаимной корреляции, что особенно важно при описании квалитетрических показателей фитомассы, обладающих высокой изменчивостью, сравнительно плохо объясняемой (по отношению к количественным показателям) обычными морфометрическими показателями дерева и древостоя.

Резюмируя сказанное, необходимо согласиться с мнением Е. М. Четыркина [1977], что если выполнять все статистические предписания как залог корректности многофакторной модели, то от применения множественного статистического моделирования придется отказаться. По-видимому, при аппроксимации эмпирических данных практический смысл имеет оценка регрессий по соотношению остаточной и общей дисперсий, по стандартной ошибке с указанием пределов применимости регрессии и достоверности констант по критериям Стьюдента или Фишера. Требуемую точность необходимо соотносить с возможностью реализовать ее на практике, так как бессмысленно доводить модель до точности 5%, если исходные данные могут быть получены с ошибкой 10% [Мак-Лоун, 1979]. При моделировании структуры и динамики фитомассы дре-

востоев автором применялось логическое обоснование аргументов с приведением их к линейному виду путем трансформирования на основе предварительного графического анализа, что хотя и не представляется бесспорным, но по крайней мере не уводит далеко от истины.

Процесс этот чрезвычайно трудоемкий. Факторы, определяющие продуктивность и структуру фитомассы древостоя, как правило, взаимно коррелированы, и это накладывает определенные ограничения на метод регрессионного анализа. Регрессионная модель «работает» устойчиво лишь при условии, что экспериментальный материал представлен в максимальном диапазоне варьирования каждого определяющего фактора при стабилизированных остальных. В итоге приходится оперировать с массивами данных из тысяч измерений (дат). Абсолютизация корректности применяемых методов и приемов, связанных с построением регрессионных моделей, должна иметь разумные пределы. Совершенствуя модель, необходимо соотносить требуемую корректность с фактической точностью, а требуемую точность — с возможностью ее реализации на практике.

Подобрать структуру множественной регрессионной модели путем последовательного расчета парных связей на фоне стабилизированных факторов с нарастающим уровнем обобщения позволяет метод так называемого последовательного сокращения размерности. Метод обеспечивает также возможность содержательного анализа основополагающих закономерностей и изложен в работе В. А. Усольцева [1985в]. По-видимому, первые попытки применения названного метода в исследованиях биопродуктивности лесных фитоценозов были предприняты японскими исследователями [Ando, 1962; Satoo, 1966]. Принцип последовательного сжатия информации реализуется также в экономических отраслях знания, позволяя снизить размерность народнохозяйственных задач на несколько порядков [Пугачев, 1968]. В любом случае построению модели должен предшествовать содержательный, или качественный, анализ исследуемой системы, разрешение ее внутренней неопределенности, четкое осознание ее структуры и принципа работы как залог адекватной интерпретации результата моделирования. «Успех или неудача всего исследования, — пишет Дж. Джефферс [1981], —

во многом зависят от тонкого равновесия между упрощением и усложнением, равновесия, при котором сохранены все связи с исходной проблемой, достаточные для того, чтобы аналитическое решение поддавалось интерпретации» (с. 15).

В последующих главах реализуется программа комплексной оценки фитомассы деревьев и древостоев на основе рекуррентного принципа построения регрессионных моделей и таблиц фитомассы, различных по своим назначению и структуре. На основе многомерного количественного подхода и содержательного анализа показан основополагающий характер совокупного воздействия возраста и экологических факторов, опосредованных дендрометрическими характеристиками деревьев и древостоев, на количественные и качественные показатели фракций фитомассы.

### **3. БИОПРОДУКТИВНОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ В СТАТИКЕ**

Для практических целей, а именно при лесоинвентаризационных работах и расчетах размера лесопользования в ориентации на комплексное освоение лесов, при материально-денежной оценке лесосек и т. д., необходимы упрощенные регрессионные уравнения и составленные на их основе таблицы фитомассы по образцу обычных объемных или сортиментных таблиц с двумя входами — диаметром и высотой дерева. Опыт составления подобных таблиц изложен в литературе, подходы авторов неоднотипны. Несмотря на ограниченность информативности только диаметра и высоты в многомерной оценке фитомассы деревьев в статике, подобный подход вследствие его простоты и, видимо, в качестве начального этапа исследований вплоть до самого последнего времени пользуется популярностью у исследователей как у нас в стране [Семечкина, 1978; Биологическая продуктивность..., 1982; Лесотаксационный справочник..., 1984], так и за рубежом [Baker et al., 1984; Grigal, Kernik, 1984; Harding, Grigal, 1985; Petras et al., 1985]. Обычно внимание акцентируется на регрессионных уравнениях с установлением их адекватности экспериментальному материалу и после-

Остаточным образом УБПТУ  
дующим составлением двухходовых таблиц фитомассы деревьев.

Основу объемных и сортиментных таблиц составляет шкала разрядов высот как функция

$$H = f(D, E), \quad (3.1)$$

где  $H$  — высота дерева, м;  $D$  — диаметр на высоте груди, см;  $E$  — порядковый номер разряда высот. При составлении таблиц фитомассы сосны, ели, березы и осины, совмещенных с объемными и (или) сортиментными [Токмурзин, Байзаков, 1970; Усольцев, 1985в], первоначально выводится множественная регрессионная зависимость

$$P_i = f(H, D), \quad (3.2)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции дерева, кг. Зависимости (3.1) и (3.2) образуют рекуррентную систему: зависящая переменная  $H$  первой из них входит во вторую уже в ином качестве — в роли независимой переменной. Система зависимостей (3.1) и (3.2) может быть выражена схемой

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i = f(H, D); \\ \uparrow \\ \text{II. } H = f(D, E). \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

Уравнение (I) в системе (3.3) основное, оно отражает зависимость фитомассы от определяющих факторов, а уравнение (II) — вспомогательное и служит в данном случае для совмещения таблицы фитомассы с сортиментной или объемной. Стрелка здесь и далее показывает последовательность оценки и табулирования уравнений: вначале (II), затем (I). Если уравнение (I) действительно для всего аппроксимированного диапазона высот и диаметров независимо от соотношения последних, то уравнение (II) — лишь для одного соотношения высот и диаметров, соответствующего данной шкале разрядов высот, и таких шкал может быть несколько. Иными словами, уравнение (I) имеет более общий характер по сравнению с (II), а поскольку одному уравнению (I) может соответствовать несколько уравнений (II), то рекуррентная система всегда многовариантна. Это ее свойство имеет важный практический смысл: возможность привязки уравнения (I) к любой шкале разрядов высот с целью составления таблицы фитомассы.



Свойство многовариантности не менее очевидно на примере рекуррентной системы, использованной при составлении таблицы объемов ветвей березы [Кричун, Усольцев, 1978]. В этом случае основное уравнение для объема ветви (без учета ответвлений более высоких порядков) является детерминистским и, следовательно, имеет всеобщий характер

$$V = (\pi/4) L f_n D_{0,1}^2, \quad (3.4)$$

где  $L$  — длина ветви,  $f_n$  — нормальное видовое число,  $D_{0,1}$  — диаметр на  $1/10$  длины ветви. Вспомогательные уравнения, аппроксимирующие экспериментальные данные:

$$f_n = 0,505 - 0,048/L, \quad r^2 = 0,910; \quad (3.5)$$

$$D_{0,1} = 0,218 + 0,852D_0; \quad r^2 = 0,994, \quad (3.6)$$

имеют стохастический вид и действительны только для диапазона значений  $f_n$ ,  $L$ ,  $D_{0,1}$  и  $D_0$ , характеризующих исследуемую совокупность ветвей. Система имеет общий вид

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } V = f(L, f_n, D_{0,1}); \\ \uparrow \\ \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } f_n = f(L), \\ \text{б) } D_{0,1} = f(D_0). \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (3.7)$$

На основе (3.7) составлена таблица объемов ветвей (типа баварских для стволов) по двум входам: длине ветви и диаметру ( $D_0$ ) у ее основания [Кричун, Усольцев, 1978].

Уравнения, подобные (I) и (II) в системах (3.3) и (3.7), называют взаимозависимыми [Четыркин, 1977] либо одновременными [Маленко, 1975, 1976; Джонстон, 1980; Фёрстер, Рёнц, 1983; Айвазян и др., 1985]. Обычно такие уравнения возникают при изучении сложных (например, биологических) систем или объектов, поведение которых описывается совокупностью зависимостей, связывающих основные характеристики системы [Айвазян и др., 1985]. Иными словами, рекуррентная система одновременных уравнений характеризует некоторую исходную концепцию о взаимосвязи явлений. Эта зависимость односторонняя, без обратных связей, с последовательной оценкой и табулированием уравнений. В эконометрии подобные системы применяются под названием рекурсивных [Четыркин, 1977; Фёрстер, Рёнц, 1983; Айвазян и др.,

1985]. Основное условие их идентифицируемости — общее число независимых и зависимых переменных (за вычетом повторов) — не должно быть меньше числа уравнений системы минус единица [Четыркин, Калихман, 1982]. В дальнейшем изложении принцип действия рекуррентных систем будет показан на более сложных примерах.

Рекуррентный подход представляет реализацию принципа параметрического прогнозирования, о котором упоминает И. Я. Лица [1980], и включает процедуру разложения многофакторной зависимости либо интегрального показателя на исходные составляющие как важное условие реализации системного подхода. Ранее [Усольцев, 1985в] уже обсуждался практикуемый в лесоводственной науке метод разложения колоколообразных кривых на составляющие, описываемые монотонными функциями, применявшийся как в явном [Кофман, Кузьмичев, 1979], так и неявном [Assmann, 1961] виде. Обсуждение дает основание предполагать результативность метода по отношению ко многим полифакториальным зависимостям в биологии.

### **3.1. ОЦЕНКА НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ТРЕХФАКТОРНОЙ РЕГРЕССИЕЙ ПО ВЫСОТЕ, ДИАМЕТРУ КРОНЫ И СТВОЛА ДЕРЕВА (НА ПРИМЕРЕ САКСАУЛА)**

Особенности биологии саксаула, разнообразие его морфоструктуры делают невозможным применение обычных способов таксации, которыми пользуются в лесной зоне. Если биология и экология саксаульников более или менее изучена, то вопросы о методах их таксации в литературе разработаны слабее. Ничего нет по вопросам таксации саксаульников и в учебниках. Известна специфичность саксауловых лесов. В отличие от большинства древесных пород лесной зоны морфоструктура полога саксаульников ближе к кустарниковому типу. Крона опущена низко, поэтому перечет деревьев обычно проводится по диаметру шейки корня, который, как и диаметр кроны деревьев одной ступени толщины, и форма ствола в целом, очень изменчив.

При подеревной таксации саксаула В. М. Леонтьевым [1950, 1954] установлено наличие положительных парных связей фитомассы ( $P$ , кг) с диаметром корне-

вой шейки ( $D_0$ , см), высотой ( $H$ , м) и диаметром кроны ( $D_{кр}$ , м) и составлены соответствующие одноходовые таблицы. В. М. Кричуном [1965] составлены таблицы фитомассы отдельно для белого и черного саксаула по двум входам —  $H$  и  $D_0$ . С. Вейнсов и В. Г. Каплин [1976], используя модель

$$P = 2,03 (D_{кр}^2 H)^{0,874}, \quad (3.8)$$

составили для саксаула белого помограмму для определения фитомассы деревьев по двум соответствующим входам —  $H$  и  $D_{кр}$ .

Использование метода множественного регрессионного анализа позволило нам рассчитать для общей ( $P_0$ ) и товарной ( $P_T$ ) массы саксаула трехфакторные регрессионные модели общего вида:

$$P_i = f(D_0, H, D_{кр}), \quad (3.9)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции дерева, кг. Для кормовой массы ( $P_K$ ) в уравнение (3.9) в качестве определяющего фактора дополнительно введен показатель общей надземной фитомассы  $P_0$

$$P_K = f(D_0, H, D_{кр}, P_0). \quad (3.10)$$

Для расчета констант модель (3.9) приводилась к линейному виду тремя способами:

$$\lg P_i = f(\lg D_0, \lg H, \lg D_{кр}); \quad (3.11)$$

$$\sqrt[3]{\overline{P}_i} = f(D_0, H, D_{кр}); \quad (3.12)$$

$$\sqrt{\overline{P}_i} = f(D_0, H, D_{кр}). \quad (3.13)$$

Выбор наилучшей модели проводили по наибольшему коэффициенту детерминации. По каждой из трех фракций — общей, товарной и кормовой — для саксаула белого лучшие результаты аппроксимации показала модель (3.11), для черного — (3.13).

Изменение показателей общей и товарной массы саксаула белого достаточно адекватно описывается уравнениями множественной аллометрии [Кричун, Усольцев, 1979]:

для общей надземной массы древесины

$$\begin{aligned} \lg P_0 = & -0,1551 + 0,6207 \lg D_0 + 0,7119 \lg H + \\ & + 1,1994 \lg D_{кр}, \quad R^2 = 0,901, \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\lg P_{\tau} = -1,2274 + 0,6443 \lg D_0 + 2,314 \lg H + \\ + 0,9555 \lg D_{кр}, \quad R^2 = 0,930. \quad (3.15)$$

Уровень значимости констант здесь и далее (обычно не ниже  $t_{05}$ ) оценивался по Стьюденту. Критерий Фишера не применялся для оценки констант, поскольку эти два критерия связаны между собой функционально [Поляков, 1982].

Для кормовой массы саксаула белого и всех фракций саксаула черного уравнения вида (3.14) оказались неудовлетворительными. С целью нахождения адекватной модели мы использовали процедуру последовательного сокращения размерности имеющегося массива опытных данных. Значения фитомассы саксаула в начале систематизированы по ступеням толщины  $D_0$ , затем в пределах каждой ступени — по разрядам высот  $H$  и в пределах каждой ступени высот — по градациям диаметра кроны  $D_{кр}$ . Далее при фиксированных значениях  $D_0$  и  $H$ , т. е. в пределах каждой ступени  $D_0$  и разряда высот  $H$ , вычислены регрессии

$$\lg P_i = a_0 + a_1 \lg D_{кр}. \quad (3.16)$$

Константы  $a_0$  и  $a_1$  скоррелированы при фиксированных  $D_0$  с высотой  $H$  соответствующими уравнениями, а полученные значения констант скоррелированы, в свою очередь, с  $D_0$ . Последовательная подстановка полученных констант в (3.16) дала следующую линеаризованную модель:

$$\lg P_i = f(\lg D_0, \lg^2 D_0, \lg H, \lg H \lg D_0, \lg D_{кр}, \\ \lg D_0 \lg D_{кр}, \lg^2 D_0 \lg D_{кр}, \lg H \lg D_{кр}, \lg H \lg D_0 \lg D_{кр}). \quad (3.17)$$

Для саксаула черного в модель (3.13) введены аналогичные синергизмы, но без логарифмирования.

В результате обработки массивов экспериментальных данных по всем модельным деревьям получены следующие регрессионные модели:

для кормовой массы саксаула белого

$$\lg P_{кр} = -0,4479 - 1,4783 \lg D_0 \lg H + \\ + 1,8695 \lg D_{кр} \lg D_0 \lg H + 0,6941 \lg P_0, \quad R^2 = 0,694; \quad (3.18)$$

для саксаула черного

$$\sqrt{P_{кр}} = 0,372 + 0,0113D_{кр}D_0 - 0,0225D_0H + 0,298\sqrt{P_0},$$

$$R^2 = 0,738. \quad (3.19)$$

Для саксаула черного выведены регрессионные модели, описывающие изменение общей надземной фитомассы

$$\sqrt{P_0} = 0,075 + 0,194D_{кр} + 0,247D_0 + 0,309H -$$

$$- 0,0078D_0^2 + 0,00016D_0^3 - 0,00098D_{кр}D_0^2 + 0,0126D_{кр}D_0H,$$

$$R^2 = 0,933 \quad (3.20)$$

и товарной массы

$$\sqrt{P_T} = - 0,158 + 0,337D_{кр} + 0,106D_0 - 0,003D_0^2 +$$

$$+ 0,023D_0H + 0,005D_{кр}D_0H, \quad R^2 = 0,912. \quad (3.21)$$

Модель (3.14) графически представлена [Усольцев, 1985в] серией поверхностей, каждая из которых при заданном значении диаметра кроны описывается двухфакторным уравнением  $P_0 = f(D_0, H)$ . В целях практического применения моделей изменения фитомассы (3.14), (3.15), (3.18) — (3.21) использована шкала разрядов высот [Кричун, Усольцев, 1979] как функция

$$H = f(D_0, E). \quad (3.22)$$

Взаимозависимые модели (3.9) — (3.10), с одной стороны, и (3.22) — с другой, образуют рекуррентную систему

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } \left\{ \begin{array}{l} P_i = f(D_0, H, D_{кр}), \\ P_i = f(D_0, H, D_{кр}, P_0); \end{array} \right\} \\ \uparrow \\ \text{II. } H = f(D_0, E). \end{array} \right\} \quad (3.23)$$

В результате табулирования моделей (3.14), (3.15) и (3.18) — (3.21) по разрядной шкале и градациям диаметров кроны составлены таблицы (прил., табл. 1). Проверка их по фактическим данным пробных площадей показала наличие ошибок при определении фитомассы отдельного куста (дерева) — общей, товарной и кормовой: систематической у саксаула белого соответственно  $-0,6$ ;  $-2,6$ ;  $-1,0\%$ , у черного  $-1,1$ ;  $+3,2$ ;  $-4,9\%$  и случайной у саксаула белого  $11,2$ ;  $13,4$ ;  $38,6\%$ , у черного  $36,5$ ;  $33,9$ ;  $38,4\%$ . Таблицы, составленные по трем входам (прил., табл. 1), имеют преимущество перед двухходовыми: в них учитывается

Электронный архив УГНТУ

влияние диаметра кроны. При одних и тех же значениях  $H$  и  $D_0$  общая фитомасса саксаула белого при изменении  $D_{кр}$  изменяется в 2—8 раз. В отличие от модели (3.8) модель (3.14) учитывает дополнительно влияние толщины ствола, которая при одних и тех же значениях  $H$  и  $D_{кр}$  может изменяться в 4 раза и тем самым обуславливает изменение фитомассы в 2,4 раза.

### 3.2. ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ПРИ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПУСТЫННЫХ ЛЕСОВ (НА ПРИМЕРЕ САКСАУЛА)

Дистанционные методы являются мощным и перспективным средством исследования природных ресурсов Земли. Растительный покров — наиболее физиономичный элемент ландшафта и для его распознавания на аэро- и космических снимках могут быть найдены корректные решения. Космические снимки пустынь соответствуют требованиям контурного дешифрирования типов рельефа и в сочетании с крупномасштабной аэрофотосъемкой могут составить основу инвентаризации древесно-кустарниковой растительности пустынь. Факторами, способствующими внедрению дистанционных методов при инвентаризации пустынных лесов, являются:

формирование сообществ растительности открытой структуры (редколесий);

более высокая точность камерального дешифрирования по сравнению с натурной глазомерной таксацией;

возможность действенного контроля качества работ; низкая трудоемкость по сравнению с наземной таксацией в условиях труднодоступности территории;

синоптическая устойчивость атмосферы региона, способствующая получению космических снимков высокого качества [Лагунов и др., 1986].

При составлении таблиц запасов фитомассы первостепенное значение имеет установление эталона полноты, принимаемого за 1,0. При наземной таксации для оценки полноты предлагались различные методы. В. Н. Данилов [1952] за единицу полноты принимал 1000 кустов на 1 га, независимо от класса возраста и бонитета древостоя. Однако постоянное число кустов не может характеризовать нормальный пустынный

древостой без учета его возрастных изменений, поскольку при одинаковом числе кустов полнота увеличивается с возрастом, а с увеличением возраста число кустов обычно уменьшается за счет сокращения площади их питания. А. М. Мушегян с соавторами [1957] устанавливали полноту по степени сомкнутости крон в зависимости от процента их проективного покрытия к общей площади. При этом к густым относились древостои с сомкнутостью крон выше 60%, к среднесомкнутым — 30—60 и к рединам — до 30%.

В практике наземной инвентаризации саксаульников Казахстана обычно применяется стандартная таблица товарного запаса, соответствующего определенному значению произведения средней высоты на средний диаметр корневой шейки [Справочник..., 1980]. Поэтому, чтобы рассчитать полноту саксаульника, необходимо предварительно определить его товарную массу либо непосредственным взвешиванием, либо произведением средних высоты, диаметра и видового числа куста. Форма поперечного сечения ствола у саксаула имеет мало общего с формой круга, а общей кроне порослевого куста соответствует несколько стволов. Вследствие низкой точности определения диаметра корневой шейки он не является таким же диагностическим признаком, как диаметр ствола на высоте груди в древостоях лесной зоны. Современные же методы аэро- и космических съемок позволяют определять такие параметры деревьев, как высота, диаметр и площадь проекции крон с большей точностью, чем при наземных работах [Weaver, 1977; Синицын, Сухих, 1979]. Кроме того, для пустынных лесов характерна естественная редкостойность и кустообразная форма составляющих деревьев, при которой диаметр кроны куста обладает диагностической функцией, присущей диаметру на высоте груди в древостоях лесной зоны [Weaver, 1977]. С учетом названных обстоятельств полнота саксаульника может быть рассчитана по соотношению сумм площадей проекций крон фактического и «нормального» насаждений. В качестве нормального насаждения, полнота которого принимается за 1,0, служит насаждение с суммой площадей проекций крон, реально существующей при оптимальных условиях роста. Для условий Средней Азии сумму площадей проекций крон нормального древостоя ( $G_{кр}^н$ , тыс. м<sup>2</sup>/га) для обоих видов саксаула рекомендуется определять

по соотношению ее с высотой древостоя ( $H_{\text{ср}}$ , м) [Жирин, 1966], которое описывается уравнением связи (символ «и» при  $G_{\text{кр}}$  означает «нормальность» древостоя, т. е. соответствие его полноте 1,0):

$$G_{\text{кр}}^{\text{н}} = 0,267 + 1,293H_{\text{ср}}. \quad (3.24)$$

При инвентаризации саксаульников необходим унифицированный эталон полноты, пригодный для наземной и аэрокосмической таксации. На каждой пробной площади нами рассчитана полнота по товарной массе по М. В. Гудочкину [Справочник..., 1980], при этом диаметр шейки корня и высота древостоя определены по модельным деревьям как средневзвешенные по числу деревьев в ступенях диаметра кроны и по отношению фактической площади проекции кроны к нормативной, рассчитанной для средней высоты данного древостоя по уравнению (3.24). Различие между показателями полноты, определенными по двум совершенно различным методам, оказалось недостоверным: для саксаула черного установлено незначительное систематическое завышение второго метода по отношению к первому (+0,040 ед. полноты), для белого — незначительное занижение (-0,026). Это дает основание считать определение полноты с использованием уравнения (3.24) и метода М. В. Гудочкина приемлемым при обоих способах инвентаризации саксаульников.

С учетом изложенного принят следующий порядок составления таблиц для учета фитомассы саксаула на 1 га. По фактическим данным пробных площадей рассчитаны множественные регрессии зависимости средней высоты от среднего диаметра кроны и класса бонитета:

для саксаула белого

$$\lg H_{\text{ср}} = 0,1369 + 0,7498 \lg D_{\text{кр}}^{\text{ср}} - 0,1982 \lg B, \quad R^2 = 0,810; \quad (3.25)$$

для саксаула черного

$$\lg H_{\text{ср}} = 0,1505 + 0,6134 \lg D_{\text{кр}}^{\text{ср}} - 0,2387 \lg B; \quad R^2 = 0,654, \quad (3.26)$$

где  $D_{\text{кр}}^{\text{ср}}$  — средний диаметр кроны, м;  $B$  — порядковый номер (1, 2, 3) класса бонитета по шкале Казахского лесоустроительного предприятия [Справочник..., 1980].



Аналогичным образом рассчитаны зависимости возраста ( $A$ , лет) от тех же показателей:

для саксаула белого

$$\lg A = 1,0402 + 0,5796 \lg D_{кр}^{cp} + 0,3133 \lg B, \quad R^2 = 0,368; \quad (3.27)$$

для саксаула черного

$$\lg A = 0,8679 + 0,7286 \lg D_{кр}^{cp} + 0,6458 \lg B, \quad R^2 = 0,803. \quad (3.28)$$

По заданным ступеням диаметра крон и класса бонитета уравнения (3.25) и (3.26) табулированы и по значениям  $H_{cp}$  табулировано уравнение (3.24). Получены зависимости суммы площадей проекций крон при полноте 1,0 (по [Жириц, 1966]) от среднего диаметра кроны по классам бонитета (прил., табл. 2).

При постоянном видовом числе (полнодревесности) куста фитомасса на 1 га определяется функцией

$$P_i = f(G_{кр}, H_{cp}). \quad (3.29)$$

Однако уравнение (3.29) при полноте, равной, например, 0,1, не дает фитомассу, составляющую 0,1 от фитомассы нормального древостоя вследствие незначительного изменения видового числа по мере изменения сомкнутости крон. С целью обеспечения соответствия полнот, определенных по двум разным методам, исходя из предположения постоянства видового числа куста при различных полнотах, фактор  $G_{кр}$  в (3.29) пришлось перенести в левую часть уравнения и аппроксимировать вместо  $P_i$  относительные показатели  $P_i/G_{кр}$ . В итоге получены регрессии:

для саксаула белого

$$\lg(P_o/G_{кр}) = 0,1850 + 0,8750 \lg H_{cp}, \quad R^2 = 0,640; \quad (3.30)$$

$$\lg(P_T/G_{кр}) = -0,3756 + 1,5258 \lg H_{cp}, \quad R^2 = 0,635; \quad (3.31)$$

$$\lg(P_K/G_{кр}) = -0,3972 - 0,9534 \lg H_{cp}, \quad R^2 = 0,171; \quad (3.32)$$

для саксаула черного

$$\lg(P_o/G_{кр}) = 0,2293 + 0,9018 \lg H_{cp}, \quad R^2 = 0,771; \quad (3.33)$$

$$\lg(P_T/G_{кр}) = -0,3227 + 1,3021 \lg H_{cp}, \quad R^2 = 0,707; \quad (3.34)$$

$$\lg(P_K/G_{кр}) = -0,4919 - 1,0839 \lg^2 H_{cp}, \quad R^2 = 0,383; \quad (3.35)$$

где  $P_o$ ,  $P_T$ ,  $P_K$  — соответственно общая, товарная и кормовая фитомасса, т/га;  $G_{кр}$  — фактическая сумма площадей проекций крон, тыс. м<sup>2</sup>/га.

Подстановкой известных значений  $H_{\text{ср}}$  и суммы площадей проекций крон при полноте 1,0 в уравнения (3.30) — (3.35) получены значения фитомассы при полноте 1,0 в зависимости от средних диаметров крон и соответствующих им высот по классам бонитета (прил., табл. 2). Таким образом, взаимозависимые модели (3.24) — (3.26) и (3.30) — (3.35) составляют трехэтапную рекуррентную систему общего вида:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i/G_{\text{кр}} = f(H_{\text{ср}}); \\ \uparrow \\ \text{II. } G_{\text{кр}}^{\text{н}} = f(H_{\text{ср}}); \\ \uparrow \\ \text{III. } H_{\text{ср}} = f(D_{\text{кр}}^{\text{ср}}, B). \end{array} \right\} \quad (3.36)$$

При увеличении  $H_{\text{ср}}$  величина  $P_i/G_{\text{кр}}$  уменьшается вследствие поднятия кроны над уровнем почвы и снижения доли кормовой массы, доступной для поедания животными. С другой стороны,  $G_{\text{кр}}^{\text{н}}$  увеличивается с высотой  $H_{\text{ср}}$ . Происходит взаимная компенсация названных двух тенденций таким образом, что кормовая масса при полноте 1,0 у саксаула белого стабилизируется независимо от среднего диаметра кроны и класса бонитета на уровне 0,6 т/га, а у черного — происходит незначительное увеличение ее с диаметром кроны от 0,5 до 0,8 (в среднем 0,7 т/га).

Проверка таблицы (прил., табл. 2) по фактическим данным пробных площадей с поправкой на полноту, по В. М. Жирину, показала наличие следующих ошибок при определении общей, товарной и кормовой массы: систематической у саксаула белого соответственно  $-1,7$ ;  $+3,6$ ;  $-0,3\%$ , у черного  $3,0$ ;  $+1,2$ ;  $+0,3\%$  и случайной у саксаула белого  $19$ ;  $28$ ;  $31\%$ , у черного  $18$ ;  $28$ ,  $32\%$ . Величина случайной ошибки при определении фитомассы по суммарной проекции крон и  $H_{\text{ср}}$  свидетельствует о существенном варьировании видового числа в саксаульниках, которое не было включено в число определяющих факторов в уравнениях (3.30) — (3.35) из-за отсутствия метода его определения при дистанционном зондировании. Тем не менее другие методы, в частности аэрофотометрическая регистрация хлорофилла [Рачулик, Ситникова, 1981], не дают пока большей точности и не обеспечивают учет кормовой массы, доступной для поедания животными.

При известной зависимости фитомассы саксаула от диаметра кроны дерева фитомассу на 1 га можно оп-

ределить, используя ряды распределения деревьев. нами составлены обобщенные ряды распределения деревьев саксаула по диаметру кроны. Статистическая обработка данных перече́та деревьев на пробных площадях (75 — белого и 25 — черного саксаула) дала значения четырех моментов распределения, которые по породам существенно не различаются. Выведены уравнения зависимости второго ( $\bar{\sigma}$ ), третьего ( $r_3$ ) моментов от первого ( $D_{кр}^{ср}$ ) и четвертого ( $r_4$ ) от третьего:

$$\lg \bar{\sigma} = -0,4414 + 1,0566 \lg D_{кр}^{ср}, \quad (3.37)$$

$$\sigma = \pm 0,063, \quad R^2 = 0,772;$$

$$\lg (r_3 + 1) = 0,3553 - 0,5357 \lg D_{кр}^{ср}, \quad (3.38)$$

$$\sigma = \pm 0,082, \quad R^2 = 0,339;$$

$$r_4 = 2,2805 + 1,5808 r_3^2, \quad (3.39)$$

$$\sigma = \pm 0,513, \quad R^2 = 0,881.$$

Значения моментов табулированы по средним диаметрам кро́н (табл. 3.1) и по полученным четырем моментам с применением семейства кривых Пирсона [Макаренко и др., 1978], построены ряды распределения деревьев по ступеням диаметра кро́н для заданных значений среднего диаметра кро́н в древостое (прил., табл. 4).

Эти ряды могут быть использованы при более детальных расчетах фитомассы на 1 га по сравнению с расчетом по моделям (3.30) — (3.35). Для этого необ-

Таблица 3.1

Зависимость моментов распределения числа деревьев саксаула белого и черного по ступеням диаметра кро́н от первого момента

$D_{кр}^{ср}$ , м	Моменты распределения числа деревьев по ступеням диаметра кро́н			$D_{кр}^{ср}$ , м	Моменты распределения числа деревьев по ступеням диаметра кро́н		
	$\bar{\sigma}$	$r_3$	$r_4$		$\bar{\sigma}$	$r_3$	$r_4$
0,8	0,285	1,554	6,097	2,4	0,912	0,417	2,555
1,0	0,361	1,266	4,814	2,6	0,993	0,358	2,483
1,2	0,438	1,055	4,039	2,8	1,074	0,305	2,427
1,4	0,516	0,892	3,538	3,0	1,155	0,258	2,385
1,6	0,594	0,761	3,195	3,2	1,236	0,215	2,353
1,8	0,673	0,654	2,956	3,4	1,318	0,176	2,329
2,0	0,752	0,563	2,781	3,6	1,400	0,141	2,311
2,2	0,832	0,485	2,652				

ходимо знать зависимость фитомассы дерева от диаметра кроны по разрядам высот. Модели вида (3.9), предназначенные для подеревной оценки фитомассы (см. раздел 3.1), для этой цели непригодны, поскольку включают «лишний» фактор — диаметр шейки корня, к тому же недешифрируемый при таксации с использованием аэрокосмических съемок. Поэтому нами выведены упрощенные по сравнению с (3.9) регрессионные уравнения для оценки фитомассы дерева, включающие два фактора — диаметр кроны и высоту:

для саксаула белого

$$\lg P_0 = 0,0339 + 1,9465 \lg D_{кр} + 0,7036 \lg H, \quad (3.40)$$

$$\sigma = \pm 0,20, \quad R^2 = 0,854;$$

$$\lg P_T = -0,5993 + 2,3054 \lg D_{кр} + 1,1220 \lg H, \quad (3.41)$$

$$\sigma = \pm 0,31, \quad R^2 = 0,721;$$

$$\lg P_K = -0,4241 + 1,6222 \lg D_{кр} - 0,4958 \lg H, \quad (3.42)$$

$$\sigma = \pm 0,25, \quad R^2 = 0,605;$$

для саксаула черного

$$\lg P_0 = 0,1150 + 1,6831 \lg D_{кр} + 1,0515 \lg H, \quad (3.43)$$

$$\sigma = \pm 0,17, \quad R^2 = 0,841;$$

$$\lg P_T = -0,5450 + 1,9126 \lg D_{кр} + 1,3447 \lg H, \quad (3.44)$$

$$\sigma = \pm 0,28, \quad R^2 = 0,722;$$

$$\lg P_K = -0,3301 + 1,0837 \lg D_{кр} + 0,3226 \lg H, \quad (3.45)$$

$$\sigma = \pm 0,19, \quad R^2 = 0,587.$$

Модели (3.40) — (3.45) по своей структуре более «пластичны» по сравнению с (3.8), поскольку включенные в модели факторы не связаны постоянным соотношением степеней (1:2). В приложении (табл. 1) для подеревной оценки фитомассы таблицы составлены на базе шкалы разрядов высот по диаметру шейки корня. Чтобы перевести ее на диаметр кроны, т. е. привести в соответствие с моделями (3.40) — (3.45), по всей совокупности модельных деревьев выведена зависимость диаметра шейки корня от диаметра кроны

$$\lg D_0 = 0,4521 + 1,4254 \lg D_{кр}, \quad \sigma = \pm 0,17, \\ R^2 = 0,745 \quad (3.46)$$

и по заданным ступеням диаметра кроны рассчитаны по разрядам соответствующие значения высот деревьев.

Табулированием моделей (3.40) — (3.45) по значениям диаметров крон и высот по шкале получены таблицы для подеревной оценки фитомассы саксаула (прил., табл. 3). Таким образом, взаимозависимые модели (3.22), (3.40) — (3.46) составляют рекуррентную систему вида

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i = f(D_{\text{кр}}, H); \\ \uparrow \\ \text{II. } H = f(D_0, E); \\ \uparrow \\ \text{III. } D_0 = f(D_{\text{кр}}). \end{array} \right\} \quad (3.47)$$

Полученные таблицы в сочетании с рядами распределения деревьев по ступеням диаметров крон (прил., табл. 4) можно использовать при оценке фитомассы на 1 га с помощью аэрокосмических снимков.

Казахским лесоустроительным предприятием В/О «Леспроект» в 1984 г. при устройстве саксаульников Чинлийского лесхоза Кызыл-Ординской области наземным способом по обычной технологии на площади 100 тыс. га была одновременно проведена таксация методом аналитико-измерительного дешифрирования крупномасштабных аэрофотопроб на основе составленных таблиц с целью последующего сравнения результатов двух различных способов инвентаризации. Данные сопоставления (табл. 3.2) показали максимальные отклонения: при определении полноты — 3%, запаса — 7 и возраста — 3%.

Высокая естественная изменчивость морфоструктуры и фитонасыщенности деревьев (кустов) саксаула,

Т а б л и ц а 3.2  
Результаты дешифровочной таксации в сопоставлении с наземным способом на площади 100 тыс. га

Таксационные показатели	Метод таксации	Саксаул	
		белый	черный
Полнота	Натурный	0,31	0,34
	Дешифровочный	0,30	0,34
Запас, т/га	Натурный	1,34	2,69
	Дешифровочный	1,28	2,50
Возраст, лет	Натурный	23,5	25,6
	Дешифровочный	22,7	25,5
Класс бонитета	Натурный	2,53	2,28
	Дешифровочный	2,47	2,32

усугубляемая антропогенным воздействием, пока не позволяет обеспечить ту точность определения фитомассы дерева и древостоя, которая имеет место, например, в сосняках, березняках или осинниках. Тем не менее предложенные методы таксации саксаульников отличаются низкой трудоемкостью, простотой и приемлемой для практических целей точностью. Последняя повышается по мере укрупнения объекта таксации. Если ошибка определения фитомассы одного дерева составляет 11—38% и отдельного древостоя (в пределах одной пробной площади) 18—32, то на площади 100 тыс. га отклонение в запасе не превышает 4—7%.

### 3.3. ВЫВОДЫ

1. Реализация системного подхода требует вскрытия механизма воздействия факторов на результирующий признак, расчленения многомерных зависимостей на исходные составляющие. В одном из перспективных методов такого подхода составляющие взаимозависимые закономерности связаны между собой рекуррентными соотношениями, когда зависимая переменная предыдущей входит в качестве независимой переменной в последующую. Рекуррентный принцип построения взаимозависимых регрессионных моделей на основе некоторой исходной концепции о взаимосвязи явлений оказался плодотворным при составлении таблиц фитомассы деревьев и древостоев в статике с несколькими входами.

2. Диаметр кроны, высота дерева и диаметр у шейки корня, введенные в качестве определяющих факторов в множественные регрессионные модели фитомассы саксаула на уровне дерева, объясняют 69—93% общего ее варьирования. Связь фитомассы с каждым из факторов в отдельности положительная. Таблицы для подеревной таксации саксаульников с тремя входами дают приемлемую точность при наземной таксации.

3. Оценка фитомассы отдельных древостоев саксаула с помощью аэрокосмических снимков может быть выполнена на основе составленных таблиц для подеревной таксации фитомассы с двумя входами — диаметром кроны и высотой дерева — и составленных

рядов распределения деревьев по ступеням диаметров кроны.

4. При оценке фитомассы саксаульников на больших площадях с использованием материалов аэрокосмических съемок основными определяющими факторами являются средний диаметр кроны, высота древостоя и сумма площадей проекций кроны. Таблицы, составленные по названным входам, дают точность, приемлемую для лесоустроительного проектирования как при наземной инвентаризации, так и методом аналитико-измерительного дешифрирования аэрокосмических снимков.

5. Предложенные методы таксации саксаульников отличаются низкой трудоемкостью, простотой и приемлемой для практических целей точностью. Последняя повышается по мере укрупнения объекта таксации: если ошибка определения фитомассы отдельного дерева и древостоя составляет 11—38%, то на площади 100 тыс. га отклонение в запасе не превышает 4—7%.

6. Установленные закономерности накопления фитомассы позволяют определить кормовой запас для отдельных деревьев и древостоев и произвести необходимые расчеты кормоемкости саксауловых лесов Средней Азии.

## **4. БИОПРОДУКТИВНОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ В ДИНАМИКЕ**

### **4.1. МНОГОМЕРНАЯ ОЦЕНКА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВА**

Математические модели и таблицы, составленные для учета фракций фитомассы только по высоте и диаметру ствола, не отражая возрастных и других неучтенных причин изменений в структуре фитомассы кроны, могут быть применены только для расчетов фитомассы в статике. В силу необходимости выявления механизма действия случайных процессов в онтоценогенезе в моделях динамики фитомассы в любом случае должен участвовать онтогенетический фактор — возраст древостоя. В работе Усольцева [1985в] автором исследованы полифакториальные связи шести фракций фитомассы деревьев березы и осины — древесины

и коры ствола, древесины и коры ветвей, ливствы и отмерших ветвей — с основными определяющими факторами в возрастной динамике. Была применена рекуррентная система регрессионных уравнений общего вида

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i = f(A, Z, D, H); \\ \uparrow \\ \text{II. } H = f(A, D, H_{50}), \end{array} \right\} \quad (4.1)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции фитомассы дерева, кг;  $A$  — возраст древостоя, лет;  $Z$  — относительная густота древостоя как отношение фактической густоты к табличной по ТХР;  $H_{50}$  — класс бонитета, выраженный высотой древостоя в базовом возрасте 50 лет;  $H$  — высота дерева, м;  $D$  — диаметр на высоте груди, см. Уравнение (II) в (4.1) представляет модифицированную бонитетную шкалу М. М. Орлова как зависимость средней высоты ( $H_{cp}$ ) от возраста и класса бонитета нормальных древостоев  $H_{cp} = f(A, H_{50})$ , «развернутую» по ступеням толщины составляющих их деревьев.

Результаты табулирования (4.1) (прил., табл. 3.1) могут быть использованы при подеревном учете и прогнозе динамики фитомассы деревьев по шести фракциям для различных ступеней толщины, возраста, густоты и классов бонитета. Они включают основные четыре фактора, по которым составляют обычные ТХР, их детализация в практических целях могла бы быть на этом закончена. Однако нужно иметь в виду, что процедура систематизации исходных данных фитомассы с использованием матрицы соотношений высоты, диаметра дерева, возраста и класса бонитета (уравнение (II) в системе (4.1)) позволяет вычленить высоту дерева как опосредованный эдафический фактор, учитывающий как общую, так и локальную добротность местообитания. Введение такого интегрального фактора упрощает структуру моделей, но при этом в одной ячейке матрицы могут оказаться значения фитомассы деревьев из древостоев различных классов бонитета и густоты. Этого можно избежать, если эдафический опосредованный фактор расчленить на составляющие: общую, выражаемую классом бонитета, и локальную, представленную высотой дерева при фиксированных ступени толщины, возрасте, классе бонитета и густоте. Подобная пятифакторная модель была выведена для массы хвои сосны Н. И. Казимировым и А. Е. Митруковым [1978] с той лишь разницей, что вместо класса



Электронный архив УГЛТУ

бонитета они вводили среднюю высоту, а вместо относительной густоты — относительную полноту. Среднеквадратическое отклонение по их модели не превышало  $\pm 8\%$ . В нашем случае четырехфакторное уравнение (I) в системе (4.1) дало случайную ошибку (27%) определения массы листвы березы.

Снижение ошибки при определении массы листвы и кроны в целом с привлечением возраста и морфометрических факторов не представляется возможным, поскольку даже на локальных моделях в статике эта ошибка составляет 18% [Усольцев, 1985в]. При вводе дополнительных факторов, выраженных морфометрическими показателями деревьев, фактически наблюдается не повышение доли объясненной изменчивости фитомассы, а лишь перераспределение ее по факторам. Поэтому нет оснований ожидать от пятифакторной модели обеспечения точности, существенно большей по сравнению с уравнением (I) в (4.1), несмотря на явное ее достоинство — реализацию принципа единства частного и общего (дерева и древостоя). Ниже дается пример более простого подхода к полифакториальной оценке массы кроны деревьев.

#### 4.1.1. Использование радиального прироста в многомерной оценке массы кроны деревьев (на примере сосны)

Овладение методами расшифровки аккумулязированной в лесной фитомассе ретроспективной информации о реакции фитоценоза на экзо- и эндогенные воздействия является важным условием оптимизации его биопродукционного процесса [Лица, 1980; Антанайтис, 1983]. Как было отмечено выше, начиная с самых первых работ по биопродуктивности, исследователи [Яблоков, 1934; Kittredge, 1944; Георгиевский, 1948] находили тесную взаимообусловленность массы листвы с текущим объемным приростом. Последний определяется тремя составляющими — высотой, диаметром ствола и радиальным приростом [Лица, 1980]. В разделе 1.3 была отмечена большая информативность диаметра на трети высоты ствола ( $D_{0,3}$ ) по сравнению с диаметром на высоте груди ( $D$ ) не только при оценке объема ствола, но и всех фракций надземной фитомассы, особенно в молодняках, когда диаметр  $D$  измеряется в области кроны.

Таблица 4.1

Электронный архив УГЛТУ

Характеристика уравнений динамики фитомассы сосны на уровне  
дерева

Уравнения	$R^2$ для			Номер уравнения
	хвои	ветвей	ство-лов	
$\lg P_i = f(\lg A, \lg Z, \lg D, H)$	0,929	0,947	0,994	(4.2)
$\lg P_i = f(\lg A, \lg Z, \lg D_{0,3}, H)$	0,945	0,960	0,996	(4.3)
$\lg P_i = f(\lg A, \lg Z, \lg D, \lg H_{100})$	0,933	0,939	0,990	(4.4)
$\lg P_i = f(\lg A, \lg Z, \lg(D^2H), \lg H_{100})$	0,931	0,943	0,992	(4.5)
$\lg P_i = f(\lg D, \lg Z_{1,3}^{(5)})$	0,912	0,912	—	(4.6)
$\lg P_i = f(\lg D_{0,3}, \lg Z_{0,3}^{(5)})$	0,947	0,947	—	(4.7)
$\lg P_i = f(\lg D, \lg Z_{1,3}^{(10)})$	0,897	0,914	—	(4.8)
$\lg P_i = f(\lg D_{0,3}, \lg Z_{0,3}^{(10)})$	0,935	0,951	—	(4.9)
$\lg P_i = f(\lg D)$	0,758	0,870	—	(4.10)
$\lg P_i = f(\lg D_{0,3})$	0,835	0,935	—	(4.11)
$\lg P_i = f(\lg(D^2H))$	0,669	0,810	0,986	(4.12)
$\lg P_i = f(\lg(D_{0,3}^2 H))$	0,719	0,865	0,994	(4.13)

Примечание.  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции дерева в абсолютно сухом состоянии, кг;  $H_{100}$  — класс бонитета, выраженный высотой древостоя (м) в возрасте 100 лет (по М. М. Орлову);  $Z_{1,3}^{(5)}$  и  $Z_{1,3}^{(10)}$  — средняя ширина годичного кольца (мм) на высоте груди за последние 5 и 10 лет соответственно;  $Z_{0,3}^{(5)}$  и  $Z_{0,3}^{(10)}$  — то же, на трети высоты ствола,

С учетом изложенного выше проведено исследование по количественной оценке фитомассы деревьев с привлечением в качестве определяющих факторов возраста и экологических воздействий, опосредованных дендрометрическими показателями, в число которых включены  $D_{0,3}$  и  $D$  и соответствующие им радиальные приросты ствола. По совокупности 321 модельного дерева, в том числе 307 с высотой, превышающей 1,3 м, рассчитаны регрессионные зависимости (табл. 4.1). Уравнения (4.2) — (4.5) объясняют от 99,6 до 93,0% изменчивости массы фракций. Детерминированность их снижается по фракциям в порядке ствол, ветви,

хвоя. Наиболее детерминировано (4.3), включающее  $D_{0,3}$ . Пятифакторная модель (4.5), куда входят возраст, густота, класс бонитета, диаметр и высота ствола, практически не имеет преимуществ по степени адекватности перед четырехфакторными моделями (4.2) и (4.4), из которых в первой отсутствует класс бонитета, а во второй — высота дерева.

Уравнения (4.12) и (4.13) с двумя факторами (диаметром и высотой дерева) по информативности для массы ствола практически не уступают (4.2) — (4.5), но для массы кроны дают наихудшие оценки даже по сравнению с (4.10) и (4.11), куда входят только диаметры ствола. Последнее объясняется тем, что масса кроны при стабильном диаметре ствола в широком диапазоне экологических условий обратно пропорциональна  $H$  (в худших условиях продуктивность хвои ниже), а фактор  $D^2H$  предполагает прямую связь. При этом  $D$  и  $H$  связаны жестким соотношением показателей степени (2:1), что справедливо только для массы ствола вследствие относительной стабильности его формы.

Масса кроны по сравнению со стволом уравнениями (4.2) — (4.5) описывается много хуже, и есть резерв повышения их адекватности путем ввода показателя радиального прироста. Масса хвои наиболее точно оценивается по (4.7), включающему  $D_{0,3}$  и  $Z_{0,3}^{(5)}$ , причем  $Z_{0,3}^{(5)}$  по информативности эквивалентен совокупности факторов  $A, Z, H, H_{100}$ . Масса ветвей дерева аккумулируется за более длительный период по сравнению с хвоей и во многом определяется спецификой отпада ближайших деревьев-соседей, ретроспективный учет которого, по-видимому, невозможен. Большая длительность периода накопления массы ветвей по сравнению с хвоей обуславливает необходимость ввода в уравнение фактора  $Z_{0,3}$  или  $Z_{1,3}$  с соответствующим периодом ретроспекции: оценки для ветвей по (4.8) и (4.9) несколько лучше, чем по (4.6) и (4.7), для хвои же, как более динамичной фракции, наоборот [Усольцев, 1985г]. Для ветвей преимущество (4.9) перед (4.7) по критерию  $R^2$  незначительное ( $0,951 > 0,947$ ), но в первом  $Z_{0,3}^{(10)}$  объясняет 50% общей изменчивости массы ветвей, а во втором  $Z_{0,3}^{(5)}$  только 0,1%, хотя  $Z_{0,3}^{(5)}$  статистически значим на уровне  $t_{0,5}$ . Выше представленные в общем виде регрессионные

модели (4.6) — (4.9) имеют следующие конкретные выражения:

для массы хвои

$$\lg P = -1,3293 + 1,5919 \lg D + 0,4793 \lg Z_{1,3}^{(5)} + \\ + 0,2897 \lg D \lg Z_{1,3}^{(5)}; \quad (4.14)$$

$$\lg P = -1,5952 + 1,9293 \lg D_{0,3} + 0,4534 \lg Z_{0,3}^{(5)} + \\ + 0,1945 \lg D_{0,3} \lg Z_{0,3}^{(5)}; \quad (4.15)$$

$$\lg P = -1,4213 + 1,5464 \lg D + 0,4760 \lg Z_{1,3}^{(10)} + \\ + 0,3131 \lg D \lg Z_{1,3}^{(10)}; \quad (4.16)$$

$$\lg P = -3,1491 + 1,4470 \lg D_{0,3} + 0,4916 \lg Z_{0,3}^{(10)} + \\ + 0,1526 \lg D_{0,3} \lg Z_{0,3}^{(10)}; \quad (4.17)$$

для массы ветвей

$$\lg P = -1,8278 + 2,1497 \lg D + 0,5576 \lg D \lg Z_{1,3}^{(5)}; \quad (4.18)$$

$$\lg P = -2,1886 + 2,6440 \lg D_{0,3} + 0,3612 \lg D_{0,3} \lg Z_{0,3}^{(5)}; \quad (4.19)$$

$$\lg P = -1,8484 + 2,0749 \lg D + 0,5815 \lg D \lg Z_{1,3}^{(10)}; \quad (4.20)$$

$$\lg P = -2,1973 + 1,3770 \lg D_{0,3} + 0,4052 \lg D_{0,3} \lg Z_{0,3}^{(10)}. \quad (4.21)$$

Диаметр  $D_{0,3}$  более информативен по сравнению с  $D$ , но менее технологичен в практическом использовании, особенно при обмере крупных деревьев. Поэтому составлены отдельные таблицы массы кроны для молодняков (прил., табл. 5—6) путем табулирования моделей (4.15) и (4.21) и для сосняков старших возрастов (прил., табл. 7—8) путем табулирования (4.14) и (4.20). В первом случае входами служат диаметр и радиальный прирост на трети высоты ствола, во втором — те же дендрометрические показатели на высоте груди.

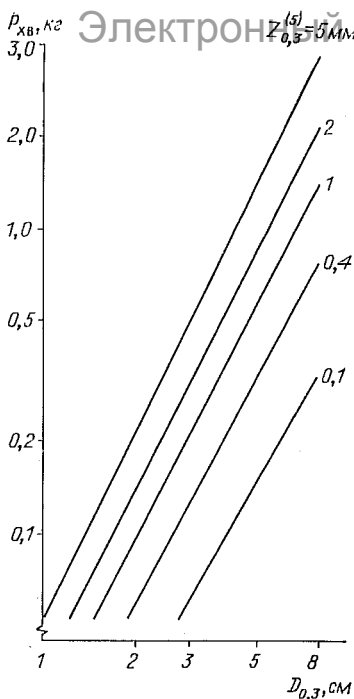


Рис. 1. Зависимость массы хвои сосны от средней ширины годичного кольца за 5 лет и диаметра на трети высоты ствола.

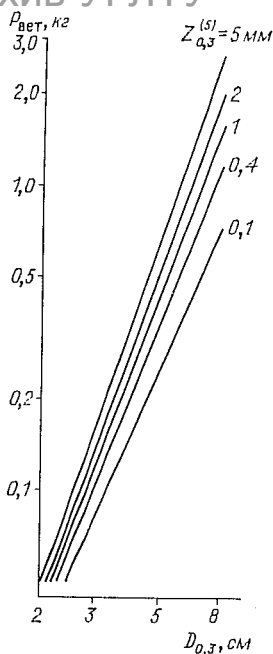


Рис. 2. Зависимость массы ветвей сосны от средней ширины годичного кольца за 5 лет и диаметра на трети высоты ствола.

Графические изображения зависимости массы хвои по (4.15) и ветвей по (4.19) от среднего годичного прироста за 5 лет и диаметра на трети высоты ствола (рис. 1, 2) могут быть использованы наряду с таблицами для оценки фитомассы крон как в естественных сосняках, так и в культурах. При этом важное значение имеет величина периода осреднения радиального прироста, особенно в молодняках, когда период интенсивного роста по диаметру сменяется периодом замедления. В результате одной и той же массе хвои дерева соответствуют различные радиальные приросты: бóльшие при 10-летнем и меньшие при 5-летнем периодах осреднения. И напротив, одной и той же величине радиального прироста соответствуют бóльшие значения массы кроны при 5-летнем и меньшие при 10-летнем периодах. Это различие по массе

ветвей достигает одного и по массе хвои — двух порядков. Однако соотношение средних приростов за 5 и 10 лет определяется не только возрастом. Регрессионный анализ показал, что статистически значимый вклад в варьирование названного соотношения вносят все факторы, включенные в качестве определяющих в регрессионные модели динамики фитомассы (4.2) — (4.5).

В регрессионных моделях (4.2) — (4.5), выполненных на уровне дерева, фигурируют основные факторы, обычно используемые в лесной таксации для составления различных таблиц объемов деревьев и запасов древостоев. При включении в модели показателя радиального прироста большинство факторов, статистически значимых в моделях (4.2) — (4.5), становится недостоверным, поскольку в радиальном приросте находит интегральное выражение весь комплекс эндо- и экзогенных воздействий. Это обстоятельство позволяет придать регрессионным моделям (4.14) — (4.21) прогностическую роль в описании возможных флуктуаций биопродуктивности, если увязать такие модели с дендроклиматическими шкалами [Антанайтис, 1983] или комплексом метеофакторов [Лиена, 1980; Розенберг, Феклистов, 1982].

Исследованиями И. М. Сидаравичуса [1985] установлено, что при одной и той же массе хвои дерева с повышением уровня локального загрязнения текущий прирост массы ствола существенно снижается по сравнению с контролем. Анализ взаимосвязей ассимилирующей массы дерева с радиальным или объемным приростами при стабильных возрастных и ценологических воздействиях на различных уровнях фонового и локального загрязнений окружающей среды внесет свой вклад в создание системы диагностических признаков и характеристик при экологическом мониторинге лесов. Стабильность фона возрастных и прочих воздействий при выявлении названных взаимосвязей в таком многообразном, непрерывно флуктуирующем биологическом объекте, как лесной фитоценоз, довольно эффективно обеспечивается применением системного подхода с множественными регрессионными моделями.

#### 4.1.2. Изменение соотношений надземной и подземной фитомассы в связи с возрастом и дендрометрическими показателями деревьев (на примере сосны)

В основе соотношений надземной и подземной фитомассы и их фракций лежат так называемые корне-листовые функциональные связи, характеризующие рост и жизнедеятельность растений [Казарян, 1969]. Подобные соотношения представляют существенное дополнение к моделям динамики фитомассы по основным факторам воздействия, значительно увеличивая ценность таких моделей и таблиц, и являются важными характеристиками биопродуктивности и устойчивости лесных фитоценозов. Хотя в условиях оптимума лесорастительных условий древесные породы обладают генетически закрепленной тенденцией к определенному соотношению надземной и подземной фитомассы [Лир и др., 1974], это соотношение изменяется в направлении увеличения доли надземной части с возрастом [П. М. и Л. Г. Ермоленко, 1984] и с улучшением условий произрастания [Оськина, 1982].

В литературе иногда приводятся данные о массе корневых систем, полученные ручной и механизированной раскопкой без учета тонких корней [Ker, Ralste, 1981], либо ручной раскопкой с учетом тонких корней, но без их отмывки [Аткин, 1978]. Естественно, такие данные занижают фактическую массу как общую, так и тонких корней. Наши данные [Усольцев, Крепкий, 1986] лишены подобного недостатка и являются уникальными для региона, поэтому приведены полностью (прил., табл. 9).

Экспериментальные значения массы корней сгруппированы по происхождению древостоев и по типу почв (рис. 3), для каждой группы рассчитаны аллометрические уравнения вида (4.10), характеризующие связь общей массы корней и тонкой их фракции с диаметром ствола на высоте груди. Парное сравнение полученных регрессий по критерию совпадения [Урбах, 1964] не показало достоверного различия названных группировок, т. е. влияние как происхождения древостоя, так и типа почв на массу корней оказалось статистически незначимым. Поэтому вся совокупность имеющихся данных по 22 деревьям была

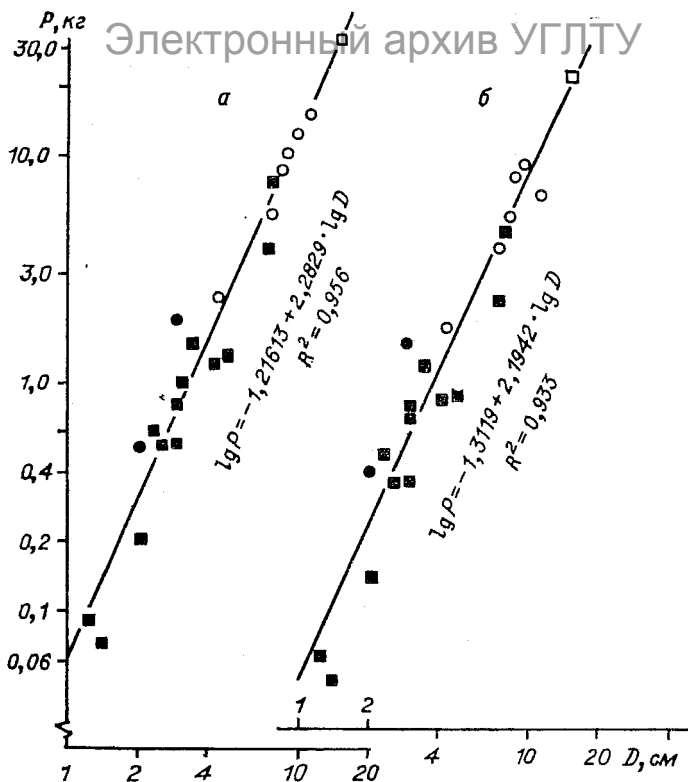


Рис. 3. Связь общей массы корней в абсолютно сухом состоянии (а) и тонкой их фракции (б) с диаметром модельных деревьев в сосняках различного происхождения на различных типах почв.

Темными кружками обозначены культуры на дерново-боровых почвах, светлыми — на темно-каштановых, темными квадратами — естественные сосняки на дерново-боровых почвах, светлыми — на темно-каштановых.

обработана по программе регрессионного анализа по уравнению множественной аллометрии

$$P_i = a_0 A^{a_1} D^{a_2} H^{a_3} \quad (4.22)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции корней в абсолютно сухом состоянии, кг. Характеристика уравнения (4.22) данна в табл. 4.2.

Константы уравнений для отношений фракций получены по разности констант соответствующих исходных уравнений, аппроксимированных по эксперимен-



Характеристика исходных и производных уравнений (4.22)

Фракции фитомассы и их соотношения	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$\pm\sigma$	$R^2$
Надземная масса, ( $P_{н.о}$ )	0,1475	-0,2796	1,8386	0,6465	0,083	0,992
Хвоя ( $P_{хв}$ )	0,7453	-1,3167	2,3255	-0,0944	0,111	0,943
Общая масса корней ( $P_{к.о}$ )	0,2280	-0,3622	2,7226	-0,4772	0,095	0,982
Тонкие корни ( $P_{к.т}$ )	0,2266	-0,4052	2,8565	-0,6942	0,098	0,980
$P_{хв}/P_{к.т}$	3,2885	-0,9115	-0,5310	0,5998	—	—
$P_{н.о}/P_{к.о}$	0,6549	0,0762	-0,8841	1,1284	—	—
$P_{к.т}/P_{к.о}$	0,9940	-0,0430	0,1339	-0,2170	—	—
$P_{хв}/P_{н.о}$	5,0536	-1,0371	0,4869	-0,7409	—	—

Электронный архив УГЛТУ

тальным данным общей надземной массы, общей массы корней, хвои и тонких корней модельных деревьев (прил., табл. 9). Случайная ошибка определения по (4.22) общей массы корней и тонкой их фракции  $\pm 20\%$ , хвои  $\pm 26$ , всей надземной массы  $\pm 13\%$ . Показатели общей массы корней, тонкой их фракции, хвои, а также отношения массы хвои к надземной и массы тонкой фракции к общей массе корней повышаются по мере увеличения диаметра ствола (прил., табл. 10), при одинаковых диаметре и возрасте — по мере снижения высоты дерева (или ухудшения эдафических условий), а при одинаковых диаметре и высоте — по мере снижения возраста. Показатели всей надземной массы, а также отношения массы хвои к тонкой фракции корней и всей надземной к общей массе корней по мере снижения высоты дерева при остальных фиксированных факторах уменьшаются. С возрастом надземная масса дерева и отношение массы хвои к тонкой фракции корней при стабильных высоте и диаметре снижаются, а отношение надземной массы к подземной при тех же условиях несколько увеличивается. Для отношений массы хвои к тонкой фракции корней и общей надземной ко всей подземной характерна обратная связь с диаметром ствола.

Для Казахского мелкосопочника А. С. Аткиным [1978] опубликованы данные общей массы корней 20 деревьев и их тонкой фракции ( $< 3$  мм) в возрасте 20—70 лет с толщиной ствола 1,4—9,1 см. Эти данные мы аппроксимировали уравнениями:

$$\lg P_{\text{н.о}} = -1,7751 + 1,9356 \lg D + 0,2189 \lg A, \quad (4.23)$$

$$\sigma = \pm 0,083, \quad R^2 = 0,980;$$

$$\lg P_{\text{н.т}} = -1,4947 + 1,8346 \lg D - 0,3231 \lg A, \quad (4.24)$$

$$\sigma = \pm 0,114, \quad R^2 = 0,939.$$

Поскольку в данных А. С. Аткина [1978] отсутствуют значения высот деревьев, сопоставить эти данные с нашими, описываемыми уравнениями (4.22), невозможно вследствие наличия в (4.22) «лишнего» фактора — высоты дерева. С целью сопоставления наши данные аппроксимированы уравнениями, аналогичны-

ми по форме (4.23) и (4.24) архив УГЛТУ

$$\lg P_{\text{н.о}} = -0,4784 + 2,4586 \lg D - 0,6379 \lg A, \quad (4.25)$$

$$\sigma = \pm 0,119, \quad R^2 = 0,974;$$

$$\lg P_{\text{н.т}} = -0,3986 + 2,4764 \lg D - 0,8106 \lg A, \quad (4.26)$$

$$\sigma = \pm 0,133, \quad R^2 = 0,966.$$

Расчет ошибок уравнений (4.25) и (4.26) по фактическим данным А. С. Аткина показал систематическое занижение последних по сравнению с нашими для всей массы корней на 85%. Поскольку тонкая фракция у А. С. Аткина (<3 мм) включает корни, более крупные по сравнению с нашими (<1 мм), то и масса их предполагалась большей. Фактически оказалось, что она меньше, и систематическое занижение составило 430%. Причины столь большого расхождения в массе корней кроются, по-видимому, в различиях как методик ее определения, так и литологии почвогрунтов Казахского мелкосопочника (гранитные интрузии) и Аман-Карагайского бора (пески, супеси и суглинки), точно так же, как в пределах последнего существенно различалась масса корневых систем на темно-каштановых почвах, подстилаемых в одном случае суглинками, в другом — терсекскими глинами [Усольцев, Крепкий, 1984].

Закономерности изменения массы корней сосны и соотношений их с надземными фракциями по основным таксационным показателям (прил., табл. 10) могут быть использованы при составлении таблиц биопродуктивности и при исследованиях структурной устойчивости деревьев в естественных и искусственных сосняках островных боров Казахстана на песках, супесях и суглинках.

## 4.2. БИОПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

### 4.2.1. Сравнение биопродуктивности древостоев естественного и искусственного происхождения (на примере сосны)

В засушливых условиях Аман-Карагайского бора при большом объеме лесокультурных работ происходит массовая гибель сосновых культур, переведенных в лесопокрывную площадь. В то же время в естествен-

ных сосняках на лесных почвах каких-либо признаков деградации нет. Назрела необходимость проведения здесь биогеоценотических исследований, включающих, в частности, сравнительную оценку биопродукционных процессов в естественных и искусственных сосняках. Результаты таких исследований позволят снизить уровень непроизводительных затрат в лесокультурном производстве.

Для сравнения биопродуктивности естественных и искусственных сосняков показатели надземной фитомассы 5 фракций (ствол, в том числе кора; ветви, в том числе кора; хвоя) в абсолютно сухом состоянии аппроксимированы в пределах каждой пробной площади по значениям диаметра ствола на высоте груди аллометрическим уравнением вида (4.10). Средние значения  $R^2$  составили для ствола  $0,974 \pm 0,002$ ; для коры ствола  $0,956 \pm 0,005$ ; для ветвей  $0,937 \pm 0,006$ ; для коры ветвей  $0,923 \pm 0,008$  и для хвои  $0,922 \pm 0,008$ . Полученные уравнения табулированы по ступеням толщины, и по данным перечета деревьев рассчитаны запасы каждой фракции на 1 га.

Вследствие трудностей подбора в древостое среднего дерева, в точности соответствующего расчетному, и потому, что не на всех пробных площадях, представленных в табл. 1.1, раскапывали корневые системы, значения массы корней среднего дерева с высотой, диаметром и возрастом, соответствующими расчетному среднему дереву, получены путем табулирования (4.22) по названным значениям. Умножением полученных показателей на число стволов на 1 га рассчитана общая масса корней и их тонкой фракции для каждой пробной площади.

Расчетные показатели массы всех учтенных фракций на 1 га древостоев использованы далее для установления закономерностей их изменения с возрастом. Для аппроксимации показателей применен логарифмический полином  $n$ -й степени, возможности которого при описании некоторых динамических процессов обсуждались в главе 2,

$$\lg P_i = a_0 + a_1 \lg A + a_2 \lg^2 A + \dots + a_n \lg^n A, \quad (4.27)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции фитомассы, т/га. Полученные уравнения (прил., табл. 11) не могут быть интерпретированы в качестве прогностических функций. Они описывают набор статических состояний

Изменение таксационных и фитометрических показателей искусственных и естественных сосняков II—III классов бонитета с возрастом

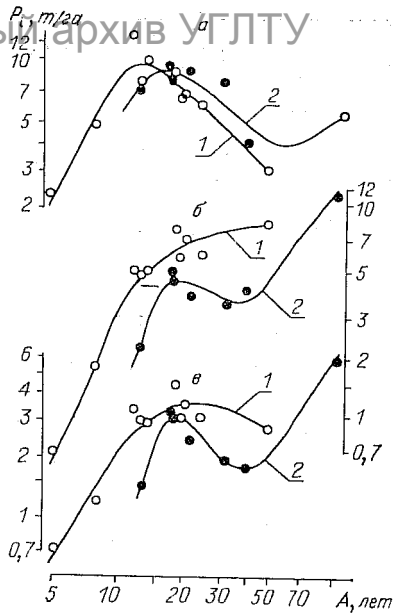
Возраст, лет	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Число стволов, тыс. экз./га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Отношение				
			ствола		ветвей		хвои	итого надземной	корней	всего	надземной фитомассы к подземной	массы ствола к общей	
			всего	коры	всего	коры							всего
<i>Культуры</i>													
10	8,7	11,4	6,6	1,7	3,4	2,1	8,0	18,0	15,2	12,5	33,2	4,2	0,20
20	20,2	6,4	31,0	5,9	6,9	3,4	7,3	45,2	34,6	26,4	79,8	1,3	0,39
30	28,8	3,9	57,8	8,5	8,1	3,4	5,0	70,9	44,4	31,8	115,3	1,6	0,50
40	34,8	2,5	79,1	9,2	8,4	3,0	3,7	94,2	47,8	32,6	139,0	1,9	0,57
50	38,9	1,8	93,9	8,9	8,7	2,6	3,0	105,6	47,7	31,2	153,3	2,2	0,61
<i>Естественные сосняки</i>													
10	12,3	121,8	12,6	2,9	0,4	0,2	4,5	17,5	14,0	11,5	31,5	1,3	0,40
20	29,8	34,4	46,1	9,3	4,8	2,9	8,4	59,3	31,3	22,6	90,6	1,9	0,51
30	41,8	16,4	82,5	14,2	3,9	1,9	6,2	92,6	43,1	29,3	135,7	2,1	0,61
40	49,2	9,7	115,2	17,2	3,8	1,7	4,8	123,8	50,4	33,1	174,2	2,5	0,66
50	53,3	6,5	142,7	18,6	4,6	1,9	4,2	151,5	54,6	35,2	206,1	2,8	0,69
70	55,9	3,5	182,8	19,0	7,9	3,2	3,9	194,6	57,9	36,5	252,5	3,4	0,72

Рис. 4. Изменение фитомассы хвои (а), древесины ветвей (б) и коры ветвей (в) с возрастом в культурах (1) и естественных сосняках (2).

древостоев разного возраста и могут дать лишь самое приближенное представление о возрастном изменении различных фракций фитомассы естественных и искусственных сосняков. Тем не менее подобный прием применяется довольно часто [Albrektson, 1980; Токмурзин, 1981].

Результаты табулирования уравнений (4.27), представленные в табл. 4.3, показывают, что по соотношениям некоторых фракций естественные и искусственные сосняки существенно различаются [Усольцев и др., 1985а]. В первую очередь это относится к массе ствола и ветвей: в естественных сосняках вследствие высокой их густоты масса стволов в 1,5—2 раза выше, а масса ветвей, напротив, в 2,4—3 раза ниже, чем в культурах. Масса корней на 1 га практически не зависит от происхождения древостоев и с возрастом, как и масса стволов, монотонно увеличивается, постепенно стабилизируясь.

Масса хвои в культурах кульминирует к 12—15 годам, превышая аналогичный показатель в естественных сосняках на 30—40% (рис. 4, а). К 18—20 годам охвоенность тех и других сосняков становится одинаковой. С возрастом в культурах она продолжает падать, тогда как в естественных к 20—25 годам наступает первая кульминация. Приведенные закономерности изменения массы хвои культур и естественных сосняков до 50 лет в общих чертах подтверждают выводы Н. А. Воронкова [1970]. Хотя моменты кульминации хвои по нашим и его данным



совпадают, последующий характер закономерностей различный: по нашим данным, происходит монотонное снижение массы хвои, а по Н. А. Воронкову [1970] — резкое снижение и последующая стабилизация. По данным З. П. Бирюковой и В. Н. Бирюкова [1984], в сухих местообитаниях Казахского мелкосопочника масса хвои нарастает до 20 лет, а не до 10, как показано Н. А. Воронковым. По-видимому, в степной зоне в зависимости от количества осадков в годы смыкания культур момент кульминации массы хвои может существенно смещаться.

В естественных сосняках к 20 годам кульминирует масса не только хвои, но и ветвей. В последнем случае наблюдается сдвиг в сторону меньшего возраста (рис. 4, б, в). Затем вследствие интенсивного самоизреживания древостоя масса ветвей и хвои резко снижается, а после 40—50 лет, когда древостой уже существенно изрежен, крона вновь развивается ускоренным темпом. Подобные результаты получены В. В. Галицким и А. А. Крыловым [1984] в экспериментах с имитационной моделью одновидового одновозрастного растительного сообщества. Динамика биомассы (метаболирующей части общей фитомассы, по терминологии авторов) на единице площади имеет четко выраженный седлообразный характер: после первой кульминации следует спад и затем повторное нарастание. Аналогичная закономерность для массы ветвей сосны с первой кульминацией в 25—30 лет, последующим резким снижением и повторным нарастанием после 70—80 лет показана А. Альбректсоном [Albrektson, 1980]. По-видимому, в более влагообеспеченных местообитаниях повторное нарастание массы хвои после 25 лет возможно и в культурах [Макаренко, Маленко, 1984]. Но в более жестких эдафических условиях произрастания культур этого не наблюдается. Вследствие чрезмерного развития ассимиляционного аппарата к концу первого десятилетия и вызванного этим длительного водного голодания сосны происходит необратимый процесс — преждевременное старение культур с последующей деградацией [Воронков, 1963; Зюзь, Лобачева, 1979]. Характер изменения массы хвои в культурах (рис. 4, а) подтверждает эту концепцию.

#### 4.2.2. Принципы составления таблиц биопродуктивности

Идея составления таблиц биопродуктивности древостоев с использованием обширного накопленного лесной таксацией арсенала ТХР не нова, однако методы ее реализации пока развиты слабо. В литературе изложен опыт составления таблиц биопродуктивности на основе множественных регрессий, в большей или меньшей степени удачный. Таблицы А. А. Онучина и А. Н. Борисова [1984], например, по форме далеки от ТХР, но принципиально дают методическую основу для привязки к ним. Другие же [Токмурзин, Нурпейсов, 1976], хотя и представлены как «таблицы хода роста фитомассы древостоев», составлены на основе некорректных и неадекватных трехфакторных регрессионных моделей, объясняющих лишь 1,4% общей изменчивости наиболее стабильной фракции, — массы стволовой древесины ( $R^2 = 0,014$ ). Возможно, что одной из причин является неудачный выбор структуры модели — уравнения Кобба — Дугласа, представляющего для этой цели слишком жесткую схему. Не оправданно и включение в модель фактора полноты, обычно используемого при моделировании запасов древостоя, но в случае с массой кроны, как ранее было установлено Т. Х. Токмурзиным и С. Б. Байзаковым [1970], дающего менее значимый результат в сравнении с густотой.

Автором на основе уравнения Кобба — Дугласа был выполнен [Усольцев и др., 1979] многомерный регрессионный анализ экспериментальных данных А. С. Аткина по фитомассе (т/га) сосны Казахского мелкосопочника в возрасте от 18 до 70 лет с относительной густотой 0,2—2,3, полученных на 27 пробных площадях. Оказалось, что изменчивость результативного признака объясняется возрастом и густотой на 95% по стволу, на 77% по ветвям и лишь на 32% по хвое. Во всех случаях влияние густоты, а в последнем и возраста, оказалось недостоверным. Повидимому, здесь проявилось влияние не учтенных опеределяющих факторов и неудачной структуры модели. Позднее были предложены таблицы биопродуктивности березы и осины [Усольцев, Кричун, 1982], совмещенные с ТХР для Северного Казахстана и составленные без учета густоты для совокупности сомкну-



Секторный архив ИГиЛ РТГУ

тых древостоев на основе регрессионных моделей, описывающих динамику фракций фитомассы на 1 га в зависимости от возраста и класса бонитета. Впоследствии модели были модифицированы [Усольцев, 1983а, 1985а] путем включения дополнительного фактора — относительной густоты, что давало возможность более корректно совместить таблицы биопродуктивности с ТХР для данного региона посредством табулирования моделей динамики фитомассы по заданным значениям возраста и класса бонитета при относительной густоте (и полноте) 1,0. Высокие показатели детерминации (обычно не ниже 0,9) объясняются удачным выбором структуры моделей и использованием рядов распределения деревьев по диаметру в пределах классов возраста и бонитета. Эти ряды, составленные В. М. Кричуном [Усольцев, Кричун, 1982] на массовом экспериментальном материале, соответствуют нормальным древостоям. Значения массы фракций на 1 га, полученные по типовым рядам распределения деревьев и выравненным данным подеревной фитомассы, ложатся на плавные кривые возрастной динамики биопродуктивности для каждого класса бонитета. Они сыграли роль «руководящих» кривых и внесли свой вклад в обеспечение высокой адекватности моделей.

Однако и этот вариант нельзя признать совершенным, поскольку модели динамики фитомассы в этом случае увязываются с ТХР только при условии идентичной связи полноты с густотой в статике на объектах, положенных в основу при составлении тех и других таблиц. Вследствие варьирования среднего диаметра древостоев эта связь нарушается. Для учета подобных отклонений в число определяющих факторов должен быть включен средний диаметр древостоя. Тем самым полнота становится одним из ведущих факторов, но вводится в модель в качественно ином виде и на более высоком информативном уровне — как совокупность густоты и среднего диаметра древостоя.

Но и такое сочетание факторов полностью не обеспечивает адекватной (по крайней мере, в морфометрическом плане, без учета энергетики лесного биогеоценоза, определяющей динамику плотности и влажности различных фракций фитомассы) привязки моделей биопродуктивности к ТХР, поскольку остается не учтенным варьирование видового числа. Последнее может быть реализовано включением в регрессионную

Электронный архив УГЛТУ

модель запаса стволовой древесины, который входит в число обычно рассчитываемых показателей пробных площадей, а видовое число учитывается опосредованно как функция запаса, густоты и среднего диаметра ствола. Таким образом, мы пришли к исходной позиции Л. К. Позднякова с соавторами [1969], Т. Х. Токмурзина, К. Н. Нурпеисова [1976], В. В. Протопопова, В. И. Зубиной [1977], А. А. Онучина, А. Н. Борисова [1984], которые при составлении таблиц фитомассы древостоев относили показатели массы фракций к запасу стволовой древесины. Однако методическая сторона построения и структура регрессионных моделей для подобных относительных показателей фитомассы с целью привязки к ТХР до сих пор оставалась практически не разработанной.

В плане развития обсуждаемого подхода на основе предварительного содержательного анализа экспериментальных данных автором предлагаются регрессионные модели динамики фитомассы:

для сосны

$$\begin{aligned} \lg(P_i/M) = & a_0 + a_1 \lg A + a_2 \lg^2 A + a_3 \lg^3 A + \\ & + a_4 \lg H_{100} + a_5 \lg^2 H_{100} + a_6 \lg N + a_7 \lg^2 N + a_8 \lg D_{cp} + \\ & + a_9 \lg A \lg N + a_{10} \lg A \lg D_{cp} + a_{11} \lg N \lg D_{cp} + \\ & + a_{12} \lg^2 A \lg H_{100} + a_{13} \lg^2 A \lg N + a_{14} \lg^2 A \lg D_{cp} + \\ & + a_{15} \lg^3 A \lg N; \end{aligned} \quad (4.28)$$

для березы

$$\begin{aligned} \lg(P_i/M) = & a_0 + a_1 \lg A + a_2 \lg^2 A + a_3 \lg^3 A + \\ & + a_4 \lg H_{50} + a_5 \lg^2 H_{50} + a_6 \lg N + a_7 \lg^2 N + a_8 \lg D_{cp} + \\ & + a_9 \lg A \lg N + a_{10} \lg A \lg D_{cp} + a_{11} \lg N \lg D_{cp}; \end{aligned} \quad (4.29)$$

для осины

$$\begin{aligned} \lg(P_i/M) = & a_0 + a_1 \lg A + a_2 \lg^2 A + a_3 \lg H_{50} + \\ & + a_4 \lg^2 H_{50} + a_5 \lg N + a_6 \lg^2 N + a_7 \lg D_{cp} + \\ & + a_8 \lg A \lg N + a_9 \lg A \lg D_{cp} + a_{10} \lg N \lg D_{cp} + \\ & + a_{11} \lg A \lg H_{50} + a_{12} \lg^2 A \lg H_{50}, \end{aligned} \quad (4.30)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции в абсолютно сухом состоянии, т/га;  $M$  — запас стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га.

Область применения регрессий (4.28) — (4.30) определяется полями распределения пробных площадей по основным таксационным показателям, или факто-

Распределение пробных площадей, заложенных в сосняках Северного Казахстана, по классам возраста, густоты и бонитета

Относительная густота	Класс бонитета	Класс возраста					Всего
		I	II	III	IV	V-VI	
0,5	Ia-I	2	5	1	—	—	8
	II-III	9	4	—	—	2	15
	IV-V	2	1	—	—	—	3
1,0	Ia-I	—	2	1	1	—	4
	II-III	1	1	3	2	2	9
	IV-V	1	—	—	—	1	2
1,5	Ia-I	—	—	1	1	—	2
	II-III	1	6	1	2	3	13
	IV-V	—	2	3	1	2	8
Итого		16	21	10	7	10	64

рам (табл. 4.4 и 4.5). Наличие некоторых пробелов в пределах облака распределения данных при многомерном регрессионном анализе не накладывает дополнительных ограничений, поскольку многомерные модели предполагают, во-первых, интерполяцию в пределах фактического материала, во-вторых, наличие согласованности кривых по тому или иному фактору при выделенном воздействии прочих факторов и, в-третьих, замену случаев экстраполяции по одному какому-то фактору интерполяцией по другим.

Модели (4.28) получены путем аппроксимации экспериментальных данных фитомассы пробных площадей, а для расчета (4.29) и (4.30) кроме них дополнительно привлечены уже упоминавшиеся расчетные значения, полученные на основе рядов распределения деревьев, составленных В. М. Кричуном для ТХР березы и осины.

Показатели общей массы корней и тонкой их фракции на 1 га рассчитаны путем табулирования (4.22) по фактическим значениям возраста, среднего диаметра и средней высоты древостоев пробных площадей с последующим умножением результатов на число стволов на 1 га, затем аппроксимированы по модели (4.28). Наряду с показателями биопродуктивности, выраженными в единицах массы в абсолютно

Распределение пробных площадей, заложенных в березняках и осинниках колючих лесов, по классам возраста, густоты и бонитета

Относительная густота	Класс бонитета	Класс возраста							Всего
		I—II	III	IV	V	VI	VII	VIII—IX	
<b>Береза</b>									
0,5	I—II	1	—	—	—	—	1	—	2
	III	—	1	—	2	2	2	3	10
	IV	—	—	—	1	1	1	—	3
1,0	I—II	1	1	1	—	—	—	2	5
	III—IV	1	1	1	—	3	1	2	9
1,5	I	2	2	2	—	—	—	—	6
	II	2	2	3	1	—	—	—	8
	III—IV	—	—	1	—	1	—	—	2
Итого		7	7	8	4	7	5	7	45
<b>Осина</b>									
0,5	Ia—I	—	—	1	1	—	—	—	2
	II	1	1	1	1	—	—	—	4
	III—IV	1	—	1	1	—	—	—	3
1,0	Ia—I	2	1	2	2	—	—	—	7
	II	—	1	—	1	—	—	—	2
	III—IV	1	2	1	1	—	—	—	5
1,5	Ia—I	1	1	2	2	—	—	—	6
	II	—	—	—	1	—	—	—	1
	III—IV	1	1	—	—	—	—	—	2
Итого		7	7	8	10	—	—	—	32

сухом состоянии, по моделям (4.28) — (4.30) рассчитаны также показатели массы древесной зелени (ДЗ) и всей кроны (прил., табл. 12, 13), характеризующие вместе с запасом стволовой древесины так называемую хозяйственную продуктивность (в свежесрубленном состоянии).

Сравнительно меньшие коэффициенты детерминации для массы ствола и большие — для хвои в моделях (4.28) — (4.30) по сравнению с ранее опубли-

кованными [Усольцев, Кричун, 1982; Усольцев, 1985а] объясняются тем, что в данном случае аппроксимировались не абсолютные показатели  $P_i$ , а отношения  $P_i/M$ . Из всех показателей фитомассы наиболее тесно коррелирует с объемом ствола его масса и в меньшей степени — показатели массы кроны, а изменчивость показателя, выраженного отношением тесно коррелирующих признаков, в меньшей мере может быть объяснена экзо- и эндогенными факторами, чем в случае слабо коррелирующих признаков [Усольцев, Крепкий, 1984]. Поэтому уравнения для отношения массы стволовой древесины к запасу ( $P_{ств}/M$ ), представляющего базисную (условную) плотность ствола в коре, по сравнению с уравнениями для других относительных показателей характеризуются наиболее низкими коэффициентами детерминации —  $R^2 = 0,349-0,666$  (прил., табл. 12—13). Названные коэффициенты, безусловно, были бы выше, если структуру моделей (4.28)—(4.30) изменить путем переноса фактора  $M$  в правую часть уравнения. Но тогда фактор  $M$  взял бы на себя большую долю изменчивости показателей фитомассы, и на его фоне многие из остальных факторов  $A, N, H_{100}, D_{cp}$  оказались бы незначимыми, хотя определенный вклад в объяснение изменчивости показателей фитомассы они, по-видимому, вносят.

В целом основу совмещенных с ТХР таблиц биопродуктивности древостоев составляет рекуррентная система

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i/M = f(A, H_{50(100)}, N, D_{cp}); \\ \uparrow \\ \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } M = f(A, H_{50(100)}), \\ \text{б) } N = f(A, H_{50(100)}), \\ \text{в) } D_{cp} = f(A, H_{50(100)}), \end{array} \right. \end{array} \right\} \quad (4.31)$$

в которой уравнение (I) представлено как общий вид моделей (4.28)—(4.30), а (II) заимствовано из ТХР (в табличном или аналитическом выражении). Уравнения (I) в системе (4.31) действительны для всего диапазона условий, определяемого данными табл. 4.4 и 4.5, а зависимости (II) имеют локальный характер и действительны лишь для конкретной ТХР. Следовательно, система (4.31) многовариантна, и уравнения (I) могут быть совмещены с любыми ТХР. Выражения (II) описывают взаимосвязи между независимыми переменными уравнения (I) и на первый

взгляд подтверждают наличие в (I) мультиколлинеарности (взаимной корреляции факторов), компрометирующей возможность надежного описания той или иной закономерности регрессионным методом. В действительности рекуррентный принцип не имеет ничего общего с тривиальной мультиколлинеарностью, а отражает важнейшее свойство предложенного подхода — **многовариантную взаимообусловленность факторов**, обеспечивающую гибкость и универсальность регрессионных систем, имитирующих динамику фитомассы древостоев.

Хотя традиционно составление ТХР всегда было ориентировано на предсказание будущих условий в древостое, его «урожая», динамика фитомассы, описанная системой (4.31), строго говоря, является чисто условной, поскольку подавляющее большинство ТХР составлено по данным временных пробных площадей, и подобные ТХР характеризуют лишь балансовый итог прироста и отпада на тот или иной статический момент [Кравченко, 1977]. По мнению Т. Дрю и Д. Флевелинга [Drew, Flewelling, 1977], применение концепции нормальной густоты, как средней для некоторого числа ненарушенных древостоев, было попыткой упрощения (или нормировки, по терминологии В. В. Кузьмичева [1980]) при составлении ТХР. Естественно, для прогнозирования роста древостоев с густотой, отличной от нормальной, подобные ТХР непригодны. Т. Дрю и Д. Флевелинг полагают возможным такое предсказание с использованием экспериментально обоснованной техники корректировки ТХР. Но с этим трудно согласиться, поскольку «...максимумы кривых продуктивности древостоев в одинаковых условиях произрастания при разной начальной густоте различаются по абсолютной величине и достигаются в разном возрасте, но расположены на одной огибающей» [Кузьмичев, 1980, с. 29]. Концепцию нормальности отменяет именно это последнее положение, а не «...создание сложных регрессионных уравнений, прогнозирующих рост и запас древостоев для различных комбинаций возраста, условий местобитания и густоты» [Drew, Flewelling, 1977, p. 517]. Уравнение (I) в системе (4.31) само по себе не может дать прогноза фитомассы древостоев, несмотря на имеющуюся в нем комбинацию из 5 переменных. Прогноз возможен только при наличии зависимостей

(II), создание совокупности которых, систематизированной по типовым кривым роста, исходным густотам, режимам прореживания сегодня реально возможно лишь на основе метода имитационного моделирования [Schneider, Kreysa, 1981]. Традиционный способ постоянных пробных площадей такой возможности предоставить не в состоянии, но необходим для идентификации имитационной модели. Тогда система (4.31) будет имитационной в полном смысле слова, т. е. многовариантной по отношению не к имеющимся ТХР, а к имеющимся древостоям.

Путем подстановки в (4.28) — (4.30) зависимостей (II) в системе (4.31), заимствованных из ТХР сосны, березы и осины, составленных для Северного Казахстана А. А. Макаренко и В. М. Кричуном [Справочник..., 1980, табл. 45, 61, 65], получены таблицы биопродуктивности древостоев при полноте 1,0 (прил., табл. 14—16).

В лесоустроительной практике необходимы таблицы биопродуктивности для различной полноты, особенно при таксации березняков и осинников. Сосняки (как естественные, так и культуры) обычно характеризуются высокой полнотой: даже при  $Z = 0,3—0,5$  полнота близка к 1,0 (см. рис. 9). Поэтому для составления таблиц биопродуктивности низкополнотных сосняков необходим дополнительный экспериментальный материал, полученный в древостоях с относительной густотой, меньшей 0,3, т. е. за пределами диапазона густоты, представленной в табл. 4.4. Масса крон березняков и осинников при полноте, меньшей 1,0, не может быть получена простым редуцированием соответствующего показателя для полноты 1,0, как это предполагалось выше (см. разд. 3.2) при составлении таблиц фитомассы саксаульников, поскольку с уменьшением полноты, определяемой по сумме площадей сечений стволов, в статике масса стволов и крон снижается не синхронно вследствие относительно большего поступления ассимилятов в крону. Для табулирования моделей (4.29) — (4.30) с целью получения таблиц биопродуктивности для полноты, меньшей 1,0, необходимо знать для каждого класса возраста при заданной полноте соотношение среднего диаметра и числа стволов на 1 га. В этой связи принят следующий порядок составления упомянутых таблиц.

По экспериментальным данным пробных площадей получены зависимости суммы площадей сечений древостоя ( $G$ , м<sup>2</sup>/га) от возраста, класса бонитета и относительной густоты:

для березы

$$\lg G = -0,525 + 0,961 \lg^2 A - 0,336 \lg^3 A + \\ + 0,640 \lg H_{50} + 0,250 \lg Z - 0,236 \lg^2 Z, \\ \sigma = \pm 0,076, \quad R^2 = 0,848; \quad (4.32)$$

для осины

$$\lg G = -0,967 + 1,343 \lg A - 0,129 \lg^3 A + 0,630 \lg H_{50} - \\ - 1,276 \lg^2 Z, \quad \sigma = \pm 0,074, \quad R^2 = 0,968. \quad (4.33)$$

Для каждого класса бонитета уравнения (4.32) и (4.33) протабулированы по заданным грациям относительной густоты и возраста и построены графики (рис. 5—8), на которых значения суммы площадей сечений, соответствующие относительной полноте 0,1;

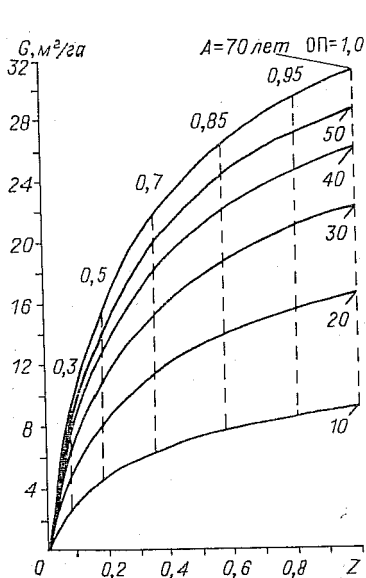


Рис. 5. Зависимость суммы площадей сечений березовых древостоев I класса бонитета от возраста и относительной густоты; ОП здесь и далее — относительная полнота.

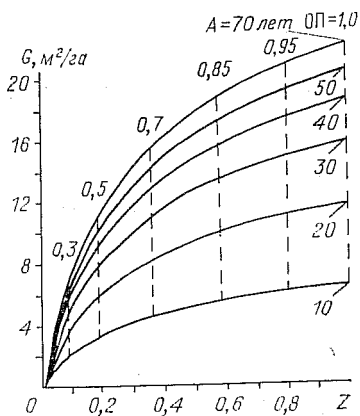


Рис. 6. Зависимость суммы площадей сечений березовых древостоев IV класса бонитета от возраста и относительной густоты.



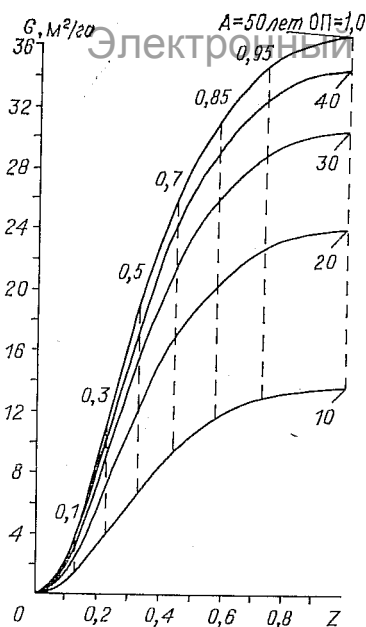


Рис. 7. Зависимость суммы площадей сечений осиновых деревьев Iа класса бонитета от возраста и относительной густоты.

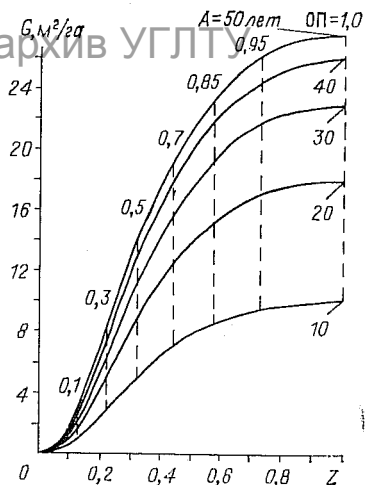
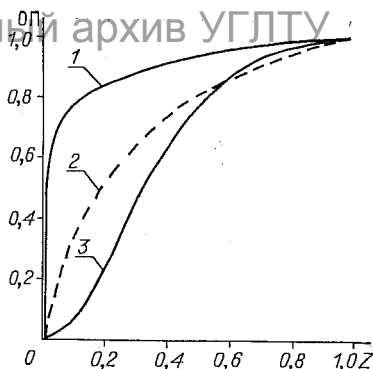


Рис. 8. Зависимость суммы площадей сечений осиновых деревьев III класса бонитета от возраста и относительной густоты.

0,3; 0,5; 0,7; 0,85; 0,95 и 1,0 по классам бонитета и возраста, соединены вертикальными линиями. Оказалось, что заданному значению относительной полноты в пределах одной породы независимо от класса бонитета и возраста соответствует только одно значение относительной густоты. Например, в березняках относительной полноте 0,7 соответствует  $Z = 0,35$  (рис. 5, 6), а в осинниках —  $Z = 0,45$  (рис. 7, 8). Это дало возможность вывести унифицированные зависимости относительной полноты от относительной густоты (рис. 9). По известным значениям сумм площадей сечений при полноте 0,7 и 0,5 с графиков сняты значения относительной густоты, переведены на число стволов на 1 га и по значениям сумм площадей сечений и полученным значениям числа стволов для каждого класса возраста и бонитета расчетным путем выведены значения среднего диаметра (прил., табл. 15, 16). Исходя из условия постоянства класса бонитета при полноте, отличной от 1,0, значения средних высот приняты независимыми от полноты. Полученные соотношения таксационных показателей не могут рас-

Рис. 9. Зависимость относительной полноты от относительной густоты в сосновых (1), березовых (2) и осиновых (3) древостоях.



цениваться в качестве основы ТХР для древостоев с полнотой, меньше 1,0, а служат лишь для оценки фитомассы древостоев в статике при названной полноте.

Теперь для составления таблиц биопродуктивности путем табулирования моделей (4.29) и (4.30) для древостоев с полнотой, меньшей 1,0, известны все исходные данные, кроме запаса  $M$ . Для получения последнего по экспериментальным данным пробных площадей рассчитаны регрессионные уравнения:

для березы

$$\lg M = -0,9891 + 0,9407 \lg^2 A - 0,4490 \lg^3 A + 0,4418 \lg^2 H_{50} + 0,5021 \lg N + 0,9875 \lg A \lg D_{cp} + 0,3093 \lg N \lg D_{cp}, \quad \sigma = \pm 0,074, \quad R^2 = 0,940; \quad (4.34)$$

для осины

$$\lg M = -2,1628 + 1,7888 \lg A - 0,3461 \lg^2 A + 0,3877 \lg^2 H_{50} + 1,6238 \lg N - 0,4506 \lg^2 N - 0,6628 \lg N \lg D_{cp}, \quad \sigma = \pm 0,069, \quad R^2 = 0,988. \quad (4.35)$$

Полученные в итоге зависимости густоты и среднего диаметра от возраста и класса бонитета для полноты 0,7 и 0,5 подставлены в уравнения (4.34) и (4.35). Затем по рекуррентному принципу с использованием полученных значений запаса, а также густоты и среднего диаметра по заданным значениям возраста и класса бонитета протабулированы модели (4.29) и (4.30) и в результате составлены эскизы таблиц биопродуктивности древостоев с полнотой, меньше 1,0 (прил., табл. 15—16). Основу таблиц био-

продуктивности для полноты, отличной от 1,0, составила, таким образом, рекуррентная регрессионная система

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_{ij}/M = f(A, H_{50}, N, D_{cp}); \\ \uparrow \\ \text{II. } M = f(A, H_{50}, N, D_{cp}); \\ \uparrow \\ \text{III. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } N = f(A, H_{50}), \\ \text{б) } D_{cp} = f(A, H_{50}). \end{array} \right. \end{array} \right\} \quad (4.36)$$

Структура регрессионных моделей динамики фитомассы древостоев (4.28) — (4.30), как и регрессионной системы (4.31) в целом, позволяет совместить их с любыми ТХР. Например, модель (4.28) можно состыковать не только с ТХР сомкнутых сосняков островных боров Кустанайской области (прил., табл. 14), но и с ТХР сомкнутых сосняков ленточных боров и сосняков Казахского мелкосопочника [Справочник..., 1980, табл. 45—49].

Наличие составленных во ВНИИЛМе всеобщих ТХР сосны, березы и осины на основе типовых рядов [Загреев и др., 1975; Чернявский, 1979] позволяет получить на основе (4.31) аналогичные таблицы для всей фитомассы древостоев, а не только для запаса стволовой древесины. Поскольку на сегодня отсутствуют модели фитомассы, аналогичные (4.28) — (4.30) и представленные экспериментальным материалом для всей лесной зоны СССР, то в качестве первого приближения к подобным всеобщим таблицам динамики всей фитомассы в табл. 17—19 (см. прил.) приведены эскизы таблиц биопродуктивности, совмещенных с всеобщими ТХР, которые были составлены для сосны В. В. Загреевым [1974], для березы Н. Я. Саликовым [Загреев и др., 1975] и для осины В. С. Чернявским [1982]. В таблицах биопродуктивности (прил., табл. 14—19) приведены не все показатели ТХР, а в основном лишь те, которые входят в качестве определяющих факторов в модели (4.28) — (4.30).

Процедура расчета массы корневых систем в таблицах биопродуктивности сосняков может быть отличной от последовательности, предложенной в системе (4.31) и реализованной в табл. 14 и 17 (см. прил.). Основным уравнением может служить не (4.28), а непосредственно (4.22), выведенное на уровне дерева и отражающее зависимость массы всех корней ( $P_{к.о.}$ ) и

тонкой их фракции ( $P_{кт}$ ) от возраста, таксационного диаметра и высоты дерева. Для этого уравнение (4.22) модифицируется следующим образом:

$$P_i = P'_i/N = f(A, D_{ср}, H_{ср}), \quad (4.37)$$

где  $P_i$  — масса  $i$ -й фракции корней, кг на 1 дерево;  $P'_i$  — то же, т/га. Константы в (4.37) для нахождения  $P_{к.о}$  и  $P_{к.т}$  берутся из табл. 4.2. Вспомогательные зависимости  $N = f(A, H_{100})$ ;  $D_{ср} = f(A, H_{100})$ ;  $H_{ср} = f(A, H_{100})$  заимствуются из соответствующих ТХР. В этом случае основу совмещенных с ТХР таблиц массы корней сосняков составит рекуррентная регрессионная система

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P'_i/N = f(A, D_{ср}, H_{ср}); \\ \uparrow \\ \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } N = f(A, H_{100}), \\ \text{б) } D_{ср} = f(A, H_{100}), \\ \text{в) } H_{ср} = f(A, H_{100}). \end{array} \right. \end{array} \right\} \quad (4.38)$$

Показатели общей массы корней и тонкой их фракции (прил., табл. 14 и 17) применимы лишь к соснякам на почвах, подстилаемых песками, супесями и суглинками. По аналогии с таблицей массы корней для островных боров система (4.38) применима для расчета массы корней в сосняках ленточных боров путем заимствования зависимостей (II) системы (4.38) из соответствующей ТХР [Справочник..., 1980, табл. 48].

Подобный расчет массы корневых систем сосняков на гранитных интрузиях Казахского мелкосопочника, увязанной с показателями соответствующих ТХР, может быть выполнен на основе уравнений (4.23) и (4.24), представленных в модифицированном общем виде

$$P_i = P'_i/N = f(A, D_{ср}). \quad (4.39)$$

Вспомогательные зависимости  $N = f(A, H_{100})$  и  $D_{ср} = f(A, H_{100})$  заимствуются из соответствующих ТХР [Справочник..., 1980, табл. 46, 47, 49]. Тогда рекуррентная система в целом имеет вид

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P'_i/N = f(A, D_{ср}); \\ \uparrow \\ \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } N = f(A, H_{100}), \\ \text{б) } D_{ср} = f(A, H_{100}). \end{array} \right. \end{array} \right\} \quad (4.40)$$

Таблицы биопродуктивности березы и сосны (прил., табл. 15—16) в самых общих чертах повторяют известные закономерности накопления с возрастом общей надземной фитомассы этих пород в лесах европейской части СССР [Молчанов, 1974; Науменко, 1978; Рождественский, 1979]. В сосняках (прил., табл. 14) Ia — I классов бонитета с возрастом монотонно нарастают все фракции фитомассы, а во II—IV классах масса хвои после кульминации в 10—30 лет снижается, а затем вновь нарастает. Тем самым обнаруженная выше на фактических данных периодичность в динамике массы кроны естественных сосняков II—III классов бонитета (см. разд. 4.2.1) подтверждается и таблицами биопродуктивности, совмещенными с региональными и всеобщими ТХР.

В лесном хозяйстве Северного Казахстана более половины площадей лесного фонда не занято лесом, и проблема их облесения решается путем посадки сосновых культур. Исследованиями А. И. Прохорова с соавторами [1985б] установлено, что вследствие специфичных почвенно-климатических условий насаждения распадаются в возрасте 17—25 лет на 60% площадей лесокультурного фонда. Поэтому авторы рекомендуют плантационные (короткоротационные) культуры с целевой ориентацией на получение мелко-товарных сортиментов, технологической щепы и витаминизированных кормов. По заказу Северо-Казахстанского филиала Союзгипролесхоза для оценки массы хвои ( $P_{хв}$ , т/га) при проектировании плантационных культур сосны автором составлены специальные таблицы (прил., табл. 20) на основе регрессионной модели

$$\lg P_{хв} = 1,3212 - 1,6418 \lg A - 0,1887 \lg^2 Z + 0,9937 \lg A \lg H_{100}, \quad \sigma = \pm 0,110, \quad R^2 = 0,616. \quad (4.41)$$

Случайная ошибка определения массы хвои в культурах по модели (4.41) и в табл. 20 (см. прил.)  $\pm 12\%$ .

#### 4.2.3. Биопродуктивный подход к исследованию оптимальных и предельных ценотических состояний древостоев

Исследование оптимальных и предельных ценотических состояний древостоев представляет дальнейшее развитие теории биопродуктивности и является тео-

Оптический архив УГПТУ

ретической основой оптимизации лесовыращивания. Обобщив экспериментальные и теоретические исследования продуктивности древостоев, В. В. Кузьмичев [1985] приходит к выводу о наличии трех типов колоколообразных кривых продуктивности: в связи с **густотой** — при стабильных возрасте и условиях произрастания, с **возрастом** — в одних и тех же условиях произрастания и с **изменением условий произрастания** — при стабильном возрасте. Однако убедительных доказательств, подтвержденных однозначными экспериментальными решениями на основе применения корректных количественных методов, пока не представлено. Если конкретизация закономерности второго типа затруднена вследствие действия временного фактора и в силу эволюции (экогенеза) биогеоценозов, а реализация закономерности третьего типа вообще сомнительна, то количественное описание закономерности первого типа, казалось бы, существенных ограничений не имеет. Тем не менее нет единодушия исследователей даже относительно самого факта существования колоколообразной кривой.

Г. Баскервиль [Baskerville, 1965b] отмечает наличие двух принципиально различных концепций о связи продуктивности древостоев с густотой в статике: колоколообразной [Assmann, 1961] и монотонно нарастающей вплоть до полной «оккупации» места произрастания [Möller, 1946, 1947; Möller et al., 1954]. Однако фактически наличие колоколообразной кривой связи прироста запаса с густотой не отрицается обоими авторами, только в первом случае оптимум предполагается существенно смещенным в сторону низкой густоты. Г. Баскервиль [Baskerville, 1965b] проверил названные две теории в 40—50-летних древостоях пихты бальзамической в интервале густоты 1—12 тыс. деревьев на 1 га с привлечением показателя массы хвои. Им подтверждена гипотеза К. Мёллера, что прирост запаса (продуктивность) тесно связан с массой хвои. К. Мёллер предполагал наличие постоянства массы хвои при различной густоте по крайней мере не превышающей значений, при которых взаимное затенение деревьев становится лимитирующим фактором роста. В отличие от него, Г. Баскервиль установил в исследуемом интервале густоты наличие некоторой тенденции к увеличению массы хвои с густотой. Аналогичная закономерность выявлена им и

для прироста запаса, что идет в разрез и с концепцией Е. Ассмана. Г. Баскервиль констатирует, что, по крайней мере, для теневыносливых пород ни одну из двух теорий нельзя принять безоговорочно и для получения достаточно надежного вывода необходимо установление биологического критерия густоты и изучение физиолого-экологических взаимосвязей, обуславливающих толерантность вида.

А. И. Бузыкин и Л. С. Пшеничникова [1980] констатировали, что «...оптимальной густотой, обеспечивающей максимальный запас стволовой древесины, служит та наибольшая густота, которой характеризуются древостой» (с. 59), отмечая в то же время, что при чрезмерном перегущении запас древостоев снижается. Позднее они конкретизировали количественное соотношение наибольшей густоты и чрезмерного перегущения на примере 34-летних сосняков Приангарья в широком диапазоне густоты — от 18 до 700 тыс. экз./га, установив максимум фитомассы 64 т/га при густоте 450 тыс. экз./га [Пшеничникова, Бузыкин, 1985].

П. А. Хуршудян и А. М. Пахлеванян [1985] установили в тополевых плантациях II класса возраста наличие максимальной фитомассы при густоте 5—6 тыс. экз./га. В. И. и В. В. Рубцовы [1975] продемонстрировали в 20-летних сосновых культурах нарастание общих запасов фитомассы и массы стволовой древесины по мере увеличения густоты посадки с 5 до 30 тыс. экз./га и резкое снижение — при начальной густоте 40 тыс. экз./га. М. Д. Мерзленко [1986] в 50-летних культурах ели установил optimum густоты 1,05 тыс. экз./га, а А. И. Писаренко и М. Д. Мерзленко [1979] с увеличением густоты 36-летних сосновых культур с 2,8 до 5,6 тыс. экз./га отмечали снижение запаса стволовой древесины с 261 до 190 м<sup>3</sup>/га, при этом средняя высота снижалась с 14,6 до 11,9 м.

А. И. Питикин [1966] демонстрирует колоколообразную кривую зависимости текущего прироста по запасу от полноты, Р. Куртис [Curtis, 1967] — практически линейную, монотонно нарастающую, а В. В. Загребов [1962] — ту и другую одновременно: в возрасте 30 лет максимальный прирост соответствует полноте 0,7, в 35 лет — 0,8 и в последующие — 1,0. И. Полланшютц [Pollanschütz, 1968] устанавли-

ваает колоколообразную зависимость текущего прироста, но не от полноты, а от частного, от деления верхней высоты на сумму площадей сечений. Неоднозначность выводов усугубляется тем, что исследуются ценозы различных видов, и если в экспериментах с одноплетными сельскохозяйственными культурами имеют дело практически с одной ассимилирующей массой [Синягин, 1975], то в случаях с древостоями анализируют либо показатели запаса стволов (общей фитомассы, суммы площадей сечений), характеризующиеся длительным кумулятивным процессом роста, либо показатели текущего прироста как дифференциала запаса.

При анализе продуктивности березняков порослевого и семенного происхождения на уровне биогрупп как микромоделей древостоев различных возраста, густоты и средних диаметров [Усольцев, 1985б, в] установлена зависимость показателей продуктивности биогрупп от комплекса названных факторов. В диапазоне варьирования диаметра среднего дерева при фиксированном возрасте и густоте выделены минимальный, средний и максимальный, каждый из которых определен как функция возраста и густоты биогрупп. В результате совмещения названных закономерностей получена рекуррентная система уравнений (4.42), с помощью которой установлены, во-первых, колоколообразный характер кривых для фитомассы стволов в статике и, во-вторых, диапазоны продуктивности биогрупп для оптимальной густоты, обусловленные только размахом варьирования диаметра среднего дерева (рис. 10):

$$\begin{array}{l}
 \text{I.} \\
 \uparrow \\
 \text{II.}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{а) } P_i = f(A, N, D_{\text{бг}}), \\
 \text{б) } C_{\text{кб}} = f(A, N, D_{\text{бг}}); \\
 \text{а) } D_{\text{бг}}^{\text{мин}} = f(A, N), \\
 \text{б) } D_{\text{бг}}^{\text{ср}} = f(A, N), \\
 \text{в) } D_{\text{бг}}^{\text{макс}} = f(A, N),
 \end{array} \right\} \quad (4.42)$$

где  $P_i$  и  $N$  — соответственно масса  $i$ -й фракции и число деревьев на 1 усл. га площади биогруппы;  $C_{\text{кб}}$  — сомкнутость крон в биогруппах;  $D_{\text{бг}}$  — диаметр среднего дерева в биогруппе;  $D_{\text{бг}}^{\text{мин}}$ ,  $D_{\text{бг}}^{\text{ср}}$ ,  $D_{\text{бг}}^{\text{макс}}$  — мини-



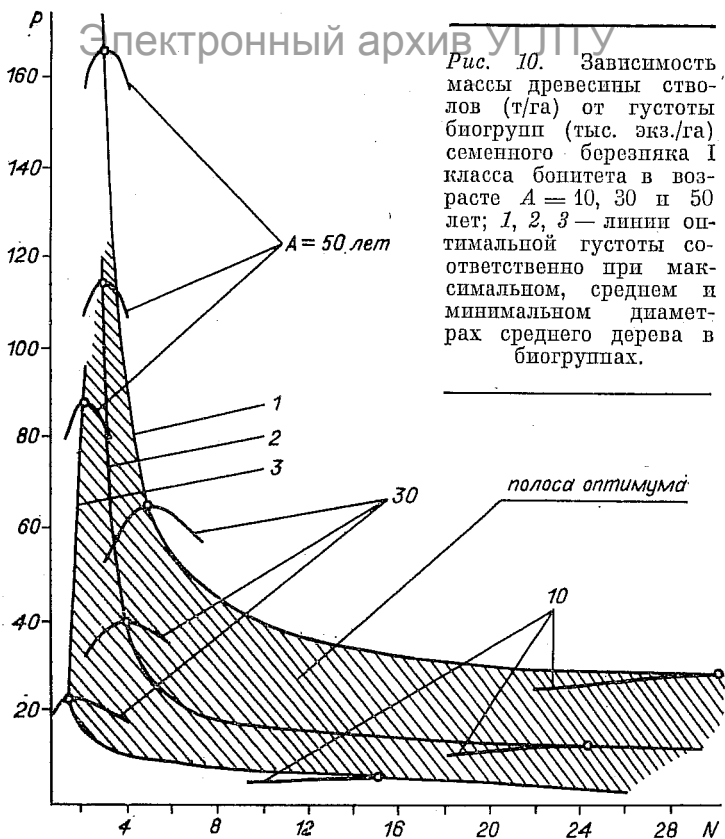


Рис. 10. Зависимость массы древесины стволов (т/га) от густоты биогрупп (тыс. экз./га) семенного березняка I класса бонитета в возрасте  $A = 10, 30$  и  $50$  лет; 1, 2, 3 — линии оптимальной густоты соответственно при максимальном, среднем и минимальном диаметрах среднего дерева в биогруппах.

мальный, средний и максимальный диаметры среднего дерева биогрупп.

На основе рекуррентной системы (4.42) установлены соотношения максимальной и оптимальной сомкнутости крон. Максимальная сомкнутость получена непосредственно из рекуррентной системы уравнений (4.42) последовательным их табулированием, а оптимальная — путем подстановки значений оптимальной густоты по показателю продуктивности ( $P_i$ ) в систему (4.42) для сомкнутости крон. Показатели продуктивности на уровнях биогруппы и древостоя согласованы между собой посредством корректировочного коэффициента [Усольцев, 1987], представляющего отношение сомкнутости полога древостоя к сомкнутости полога биогруппы и компенсирующего отрица-

Эффект визуального принципа выделения биогрупп в древостое.

Колоколообразность кривой изменения массы стволов биогрупп с густотой определяется, по-видимому, неоднородностью древостоя по комплексу факторов: эдафических, ценологических, генетических. Необходимы адекватные методы их расчленения. Одним из путей конкретизации проблемы может служить закладка серий опытов в максимально возможном диапазоне густоты на стабильных эдафических фонах различного уровня. Подобные исследования выполнены Л. Пиенаром и Б. Шивером [Pienaar, Shiver, 1984] в 36-летних непрореженных плантациях сосны Эллиота, заложенных в различных условиях местопроизрастания при густоте посадки от 150 до 1200 стволов на 1 га. Они установили, что на среднюю высоту господствующих деревьев густота в данном диапазоне не оказывает влияния, но зато влияет бонитет. Ввиду необходимости получения обширного и чрезвычайно трудоемкого экспериментального материала по фитомассе различных фракций древостоев особого внимания заслуживают экспресс-методы, исключающие деструктивный характер измерений фитомассы крон: метод наклонной иглы, первоначально применяемый для травостоя и сельскохозяйственных культур [Lewi, Madden, 1933; Warren Wilson, 1965], но в последние годы реализуемый и на древостоях, в частности на березе бумажной, с применением вертикальной иглы [Kinerson, 1979]; методы голографии, стереологии и лазерная техника, способная дать информацию о количественных и качественных показателях фракций фитомассы [Иваницкий, Куниский, 1977].

Известное положение о тесной взаимосвязи массы листвы с текущим приростом запаса [Яблоков, 1934; Георгиевский, 1948; Полякова-Минченко, 1961], а также вывод А. А. Опучина и А. Н. Борисова [1984] о наличии в сосняках одного возраста и класса бонитета некоторого интервала запасов, которому соответствует максимальная масса хвой, подтверждают предположение, что для адекватного количественного выражения оптимальных и предельных ценологических состояний древостоев необходимо учитывать структуру фитомассы по составляющим фракциям. Вследствие саморегуляции числа деревьев древостой не достигает предельной густоты, а лишь приближается к ней в

той или иной степени. Поэтому количественное выражение предельного состояния всегда сопряжено с экстраполяцией экспериментальных данных, для чего масса листвы как наиболее динамичная фракция по сравнению со структурными, характеризующими мулятивный процесс роста, более информативна.

Для количественного выражения предельных и оптимальных ценологических состояний древостоев и с целью анализа изменения соотношений различных фракций в связи с определяющими факторами использована структура моделей (4.28) — (4.30). В настоящем разделе ссылки на эти уравнения подразумевают в них показатели  $P_i$ , без запаса  $M$ . Последний ранее был введен с целью наиболее тесной привязки моделей к ТХР, а при анализе соотношения фракций фитомассы и их динамики необходимости в этом показателе нет. Аппроксимируемые показатели фитомассы (прил., табл. 21—22) в отличие от относительных  $P_i/M$  можно назвать абсолютными. В экологическом аспекте представляет особый интерес исследование соотношений надземных и подземных фракций на уровне не только дерева, но и древостоя в целом, однако метод среднего дерева, по которому рассчитана масса корней на 1 га (прил., табл. 14), для этой цели, по-видимому, недостаточно точен. Поэтому уравнения (4.28) — (4.30) для массы корней в данном случае не рассчитывались.

Количественное выражение оптимальных и предельных ценологических состояний древостоев предполагает исследование закономерностей изменения продуктивных показателей по моделям (4.28) — (4.30) (прил., табл. 21—22) при стабильных условиях произрастания (фиксированном классе бонитета), но при различных уровнях прочих определяющих факторов — возраста, густоты и среднего диаметра древостоя. Морфометрическая специфика онтоценогенеза конкретного древостоя определяется зависимостью его среднего диаметра от возраста и густоты. Если известна названная зависимость, то при подстановке ее в уравнения (4.28) — (4.30) получаем прогностическую функцию динамики фитомассы этого древостоя. Содержательный анализ морфометрических показателей древостоев пробных площадей в связи с возрастом, густотой и классом бонитета показал, что зависимость среднего диаметра от названных факторов может быть

выражена уравнением Кобба — Дугласа

$$D_{cp} = a_0 A^{a_1} N^{a_2} H_{50(100)}^{a_3}. \quad (4.43)$$

Уравнения (4.43), (табл. 4.6) и соответственно в зависимости от древесной породы (4.28), (4.29) или (4.30) образуют рекуррентную систему, в которой зависимая переменная предшествующего уравнения (4.43) выступает в качестве одной из независимых переменных в последующих — (4.28) — (4.30):

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i = f(A, N, H_{50(100)}, D_{cp}); \\ \uparrow \\ \text{II. } D_{cp} = f(A, N, H_{50(100)}). \end{array} \right\} \quad (4.44)$$

Поскольку уравнение (II) в (4.44) специфично для каждого древостоя или их однородной совокупности, то система (4.44), как и (4.31), многовариантна и позволяет имитировать динамику фитомассы древостоев при различных условиях роста и воздействиях на них.

На рис. 11 для пояснения принципа «работы» рекуррентной системы (4.44) дана геометрическая интерпретация уравнений для массы листвы березовых древостоев III класса бонитета в возрасте 50 лет. Уравнение (4.43) при  $A = 50$  лет и  $H_{50} = 16$  м приводится к парной зависимости  $D_{cp} = f(N)$ , описываемой аллометрической функцией (кривая 1). Проекция ее на поверхность, представленную набором линий равных густот (3) и диаметров (4) и описываемую уравнением (4.29) для массы листвы, дает линию (2). Проекция последней на вертикальные плоскости  $P-D_{cp}$  и  $P-N$  дает колоколообразные зависимости (5) и (6), соответственно  $P = f(D_{cp})$  и  $P = f(N)$ . Аналитически эта процедура выполнена в два этапа. На первом протабулированы уравнения (4.43) по заданным значениям возраста, густоты и класса бонитета. На

Т а б л и ц а 4.6

Характеристика уравнений (4.43)

Древесная порода	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$\pm\sigma$	$R^2$
Сосна	0,0259	0,6562	-0,2668	1,2540	0,046	0,968
Береза	0,2366	0,6184	-0,2593	0,6371	0,041	0,974
Осина	0,7240	0,4534	-0,5033	0,5541	0,043	0,984

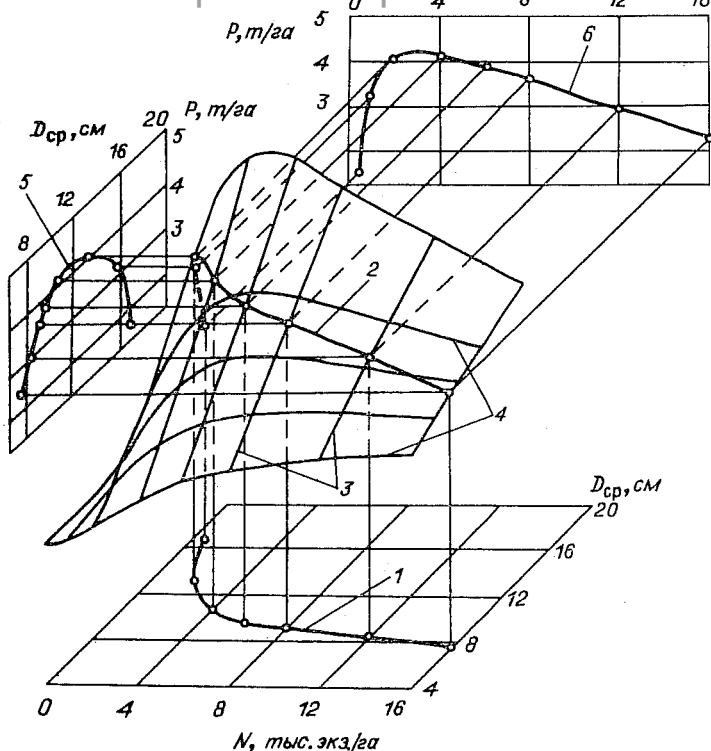


Рис. 11. Геометрическая интерпретация рекуррентной системы уравнений (4.43) и (4.29) для массы листвы березовых древостоев III класса бонитета в возрасте 50 лет.

1 — кривая зависимости  $D_{\text{ср}} = f(N)$ ; 2 — проекция линии 1 на поверхность, описываемую уравнением  $P = f(N, D_{\text{ср}})$ ; 3 — линии равной густоты; 4 — линии равного диаметра; 5 — кривая зависимости  $P = f(D_{\text{ср}})$ ; 6 — кривая зависимости  $P = f(N)$ .

втором по полученным значениям среднего диаметра и тем же значениям возраста, густоты и класса бонитета протабулированы уравнения (4.28) — (4.30) для абсолютных показателей фитомассы, представленные в табл. 21, 22 (см. прил.). Графическая интерпретация результатов табулирования зависимости массы хвои (листвы) с увеличением густоты древостоя в статике (рис. 12, а, 13, а, 14, а; прил., табл. 30) позволила установить линию предельной густоты, огибающую

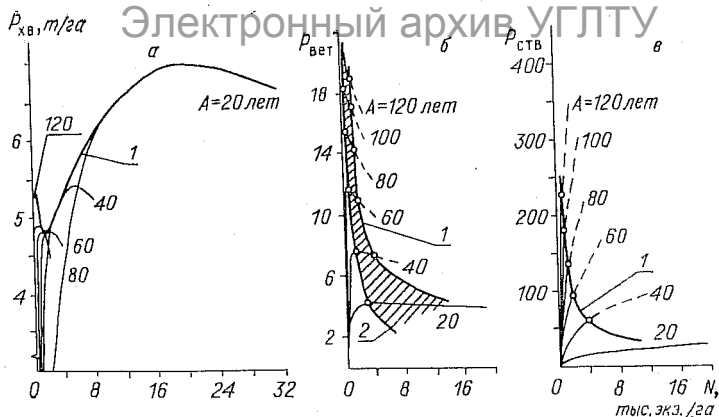


Рис. 12. Изменение массы хвои (а), ветвей (б) и стволов (в) в связи с возрастом и густотой сосновых древостоев III класса бонитета.

1 и 2 — линии предельной и оптимальной густоты.

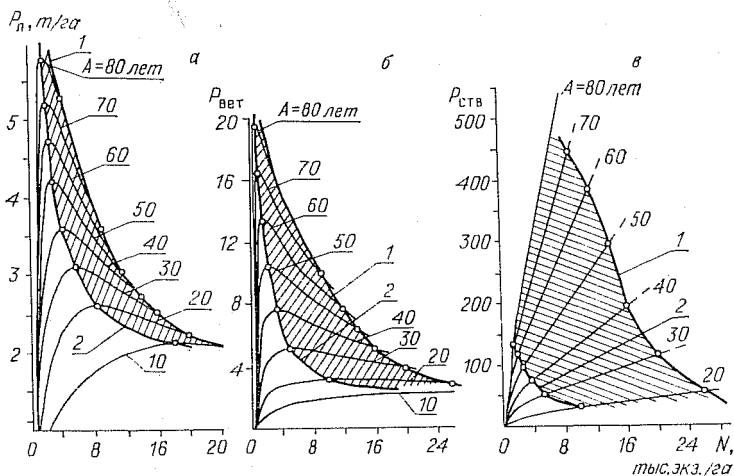


Рис. 13. Изменение массы листвы (а), древесины ветвей (б) и древесины стволов (в) в связи с возрастом и густотой березовых древостоев III класса бонитета.

1 и 2 — линии предельной и оптимальной густоты.

щую возрастную набор колоколообразных кривых. Наличие такой линии означает, что фотосинтезирующий аппарат может функционировать лишь до определенной густоты, за пределами которой древостой не может существовать. Изменение с возрастом остальных

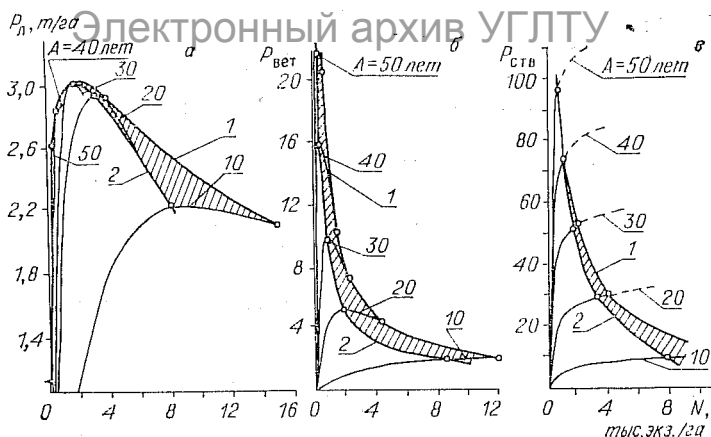


Рис. 14. Изменение массы листвы (а), древесины ветвей (б) и древесины стволов (в) в связи с возрастом и густотой основных древостоев II класса бонитета.

1 и 2 — линии предельной и оптимальной густоты.

фракций представляет кумулятивный процесс продуцирования фитомассы с частичным отпадом и в статике правые ветви кривых не пересекаются, как это было для хвой (листвы). Перенесение линии предельной густоты на графики для массы ветвей и стволов (рис. 12—14) позволяет установить предельные значения продуктивности и по этим фракциям. Для всех трех пород имеются четко выраженные оптимумы кривых изменения массы хвой и ветвей с густотой в статике древостоя. Линии оптимальных густот, соединяющие вершины колоколообразных кривых, для хвой (листвы) сдвинуты в сторону больших густот в сравнении с такими же линиями для ветвей. По-видимому, на разреживание ветви реагируют путем более интенсивного накопления фитомассы, чем хвоя (листва).

Вследствие тесной взаимосвязи массы хвой и текущего прироста запаса линиям оптимальной густоты по хвое должны соответствовать и максимальные значения текущего прироста. Поскольку по массе хвой (см. рис. 12, а) линии оптимальной и предельной густоты совпадают, максимальным показателям запаса, текущего прироста и массы хвой в статике соответствует одна и та же густота. В осинниках это име-

ет место в возрасте 20—30 лет и старше (см. рис. 14, а), а в березняках на всем возрастном интервале существует диапазон густоты между максимумами массы листвы (и текущего прироста запаса) и массы стволов, причем первые сдвинуты в сторону меньшей густоты (на рис. 13, в и 14, в он заштрихован). По-видимому, в березняках и осиновых молодняках путем разреживания загущенных древостоев можно увеличить их текущий прирост и общую производительность, а в сосняках любое разреживание означает ее снижение. Последний вывод подтверждает мнение Т. Э.-А. Фрея [1983]: поскольку прирост древесины определяется хвоей, и нет такой хвоинки, которая расходовала бы ассимиляты соседних, то не существует таких ветвей или деревьев, вырубая которые можно было бы повысить продуктивность дерева или древостоя. Вывод же в пользу разреживания березняков и осиновых молодняков соответствует традиционной лесоводственной концепции [Assmann, 1961; Кайрюкшис, Юодвалькис, 1976]. По-видимому, в неодинаковых условиях для различных пород может быть справедлива и та и другая концепция, однако необходима проверка обеих по дополнительному показателю — текущему приросту.

Если для массы ветвей и стволов линии оптимальной и предельной густоты имеют одинаковую конфигурацию по породам, то по массе хвои (листвы) она видоспецифична: седлообразная у сосны, что подтверждает отмеченную в разделе 4.2.1 периодичность в накоплении массы кроны в сосняках II—III классов бонитета; монотонно нарастающая с возрастом у березы и колоколообразная у осины, свидетельствующая о раннем наступлении количественной спелости. У березы имеется интервал густоты между линиями оптимальной и предельной густоты по массе листвы по всему возрастному диапазону, у осины — лишь до 20 лет (на рис. 13, а и 14, а они заштрихованы), затем линии сливаются, а у сосны эти линии совпадают практически на всем возрастном интервале.

Особый интерес представляет необычный, уже обсуждаемый выше седлообразный характер кривой максимальных запасов хвои при оптимальной и предельной густоте в сосняках III класса бонитета и ниже. Его можно объяснить специфической возрастной динамикой загущенных сосняков в жестких, влаголими-



тированных лесорастительных условиях степной зоны, где особенно активно проявляется действие закона агрегации особей Олли, и сосняки формируются при чрезвычайно высокой густоте, иногда превышающей нормативную по ТХР в 10 раз [Усольцев, 1985в]. При монотонно нарастающей плотности древостоя (суммы площадей сечений и запаса стволовой древесины) происходит интенсивное очищение стволов от ветвей и поднятие нижней границы полога при сравнительно замедленном отпаде. Это сопровождается быстрым развитием «ядра» кроны и сосредоточением хвои в тонком поверхностном слое «мантис» по обрабатываемой кроны, что обуславливает (после кульминации) снижение массы хвои на 1 га. Древостой не может долго находиться в таком состоянии, срабатывает механизм саморегуляции в направлении естественного изреживания, и по мере достаточного осветления полога опять происходит интенсивное развитие и охвоение крон. При этом масса стволов в пределах всего возрастного интервала нарастает монотонно, по-видимому, вследствие синхронного или несколько смещенного характера флуктуаций массы хвои и отпада стволов на 1 га. В сосняках высших классов бонитета процесс естественного изреживания начинается раньше, происходит более интенсивно и равномерно, так что возрастная кривая для массы хвои (и ветвей) имеет только одну кульминацию.

Резюмируя сказанное, следует признать установленным фактом, что колоколообразная закономерность изменения фитомассы на 1 га с густотой в статике свойственна лишь физиологически активной части фитомассы: пологу древостоя или общей надземной фитомассе однолетних сельскохозяйственных культур. На всем возрастном интервале кривые для массы хвои (листвы) ограничены справа (см. рис. 12—14) линией предельной густоты, положение которой определяется только показателем массы ассимиляционного аппарата. Для фракций, депонирующих ассимиляты за всю многолетнюю историю роста ценоза, кривые имеют монотонно нарастающий тренд при условии стабильности их средней высоты. Но если перегущение вызывает существенное снижение высоты, то при экстремально большой густоте может наступать стагнация и даже снижение фитомассы на единице площади.

Представляет интерес установление причин снижения высоты древостоев при большей густоте: или здесь сказывается генотипическая изменчивость, или влияние эдафического фактора (неоднородность условий произрастания), или ценотического (снижение эффективности фотосинтеза вследствие перегущения), или их сочетаний. По-видимому, это составит предмет специального исследования, в процессе которого предстоит реализовать в статике древостоев в однородных эдафических условиях схему, по крайней мере, трех рекуррентных регрессионных зависимостей

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i = f(N, D_{\text{ср}}); \\ \uparrow \\ \text{II. } D_{\text{ср}} = f(N, H_{\text{ср}}); \\ \uparrow \\ \text{III. } H_{\text{ср}} = f(N). \end{array} \right\} \quad (4.45)$$

При этом вполне справедливо требование М. Д. Мерзленко [1986] об экспериментальном подборе густоты древостоев в максимально широком диапазоне. По мере подбора возрастных рядов и набора соответствующих систем (4.45) для статических состояний древостоев представляется возможность разработки систем динамических моделей, или множественных регрессий, описывающих оптимальные и предельные состояния древостоев в возрастной динамике:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } P_i = f(A, N, D_{\text{ср}}); \\ \uparrow \\ \text{II. } D_{\text{ср}} = f(A, N, H_{\text{ср}}); \\ \uparrow \\ \text{III. } H_{\text{ср}} = f(A, N) \end{array} \right\} \quad (4.46)$$

по типам леса или группам типов, природным зонам, регионам. Такие модели, по-видимому, позволят конкретизировать закономерности возрастной и пространственной динамики оптимальных и предельных ценотических состояний древостоев в плане разработки как общих теоретических положений, так и их локальных модификаций.

Известно, что воздействие поллотантов вызывает существенные изменения в морфогенезе древостоев: снижается продуктивность работы ассимиляционного аппарата, определяемая соотношением массы хвои и прироста [Сидаравичус, 1985] и ускоряется процесс естественного изреживания [Барткявичус, 1985]. Пер-

вое обуславливает смещение в уравнении (I) системы (4.44), а второе вносит поправки в закономерность оптоценогенеза древостоя, описываемую уравнением (II). В результате неизбежно изменение как соотношения фракций, так и положения линий оптимальной и предельной густоты. Исследование закономерностей подобных смещений на основе рекуррентных регрессионных систем представляет перспективное направление в мониторинге лесных экосистем.

#### 4.3. ВЫВОДЫ

1. Введение показателя радиального прироста ствола в множественную регрессионную модель динамики массы хвои сосны на уровне дерева существенно увеличило ее коэффициент детерминации. Для хвои, которую характеризует меньшая длительность периода накопления массы по сравнению с ветвями, информативнее показатель радиального прироста, средний за 5 лет, а для массы ветвей — средний за 10 лет. Однако введение последнего в модель динамики массы ветвей не повысило ее детерминации по сравнению с уравнением, включающим возраст, высоту дерева, класс бонитета и густоту древостоя.

2. Диаметр на трети высоты ствола более информативен, нежели диаметр на высоте груди, но менее технологичен в практическом использовании, особенно при обмере крупных деревьев. Поэтому составлены отдельные таблицы массы хвои и ветвей для молодняков и сосняков старшего возраста. В первом случае входами служат диаметр и радиальный прирост на трети высоты ствола, во втором — те же показатели на высоте груди.

3. При учете массы хвои и ветвей с использованием показателя радиального прироста важное значение имеет величина периода его осреднения, особенно в молодняках, когда интенсивный рост по диаметру сменяется периодом замедления. В результате одной и той же массе хвои дерева соответствуют различные радиальные приросты: большие при 10-летнем и меньшие при 5-летнем периодах. И напротив, одной и той же величине радиального прироста соответствуют большие значения массы кроны при 5-летнем периоде и меньшие при 10-летнем. Это различие

по массе ветвей достигает одного и по массе хвои — двух порядков.

4. Многомерный анализ связи надземных и подземных фракций фитомассы с возрастом, диаметром и высотой модельных деревьев сосны показал, что масса корней общая, тонкой фракции, хвои, а также отношения массы хвои к надземной и массы тонкой фракции к общей массе корней увеличиваются по мере увеличения диаметра ствола, при одинаковых диаметре и возрасте — по мере снижения высоты дерева, а при одинаковых диаметре и высоте — по мере снижения возраста. Показатели всей надземной фитомассы, а также отношения масс хвои к тонкой фракции корней и всей надземной к общей массе корней по мере снижения высоты дерева при остальных фиксированных факторах уменьшаются. С возрастом надземная масса дерева и отношение массы хвои к массе тонкой фракции корней при стабильных диаметре и высоте ствола снижаются, а отношение надземной массы к подземной при тех же условиях слегка увеличивается. Для отношений массы хвои к массе тонкой фракции корней и общей надземной к подземной характерна обратная связь с диаметром ствола.

5. Вследствие четырехкратного занижения массы тонких корней у сосны, произрастающей на гранитных интрузиях Казахского мелкосопочника, по сравнению с сосной, произрастающей на песках, супесях и суглинках островных боров, установленные автором закономерности изменения массы корней и соотношений их с надземными фракциями по основным таксационным показателям могут быть использованы при составлении таблиц биопродуктивности только для сосняков, произрастающих на песках, супесях и суглинках.

6. Сравнительные исследования биопродуктивности естественных сосняков и культур в островных борах Кустанайской области показали, что в естественных сосняках вследствие высокой их густоты масса стволов на 1 га в 1,5—2 раза выше, а масса ветвей — в 2,4—3 раза ниже, чем в культурах.

7. Масса хвои на 1 га до 18—20 лет выше в культурах, а в дальнейшем — в естественных сосняках. В культурах масса хвои кульминирует в возрасте 12—15 лет и затем монотонно снижается, а в естественных сосняках после кульминации в 20—25 лет и

последующего снижения, начиная с 40—50 лет, вновь нарастает.

8. Закономерности изменения массы хвои и ветвей в естественных древостоях однотипные, но возраст первой кульминации массы ветвей ниже, чем хвои. В культурах масса ветвей интенсивно нарастает до возраста 15—20 лет, затем стабилизируется, а масса коры ветвей после 20 лет снижается.

9. Предложенные уравнения обеспечивают для сосны точность определения массы корней и тонкой их фракции по известным диаметру, высоте и возрасту дерева в пределах  $\pm 20\%$ . Происхождение сосняков в местообитаниях одного уровня производительности не оказывает влияния на общий запас корней и тонкой их фракции на 1 га.

10. При составлении таблиц биопродуктивности ввиду трудоемкости получения экспериментальных данных по фитомассе древостоев необходимо максимальным образом использовать обширный арсенал лесотаксационных нормативов. Корректное совмещение таблиц биопродуктивности с ТХР может быть выполнено на основе полифакториальной оценки фитомассы с использованием аппарата многомерного регрессионного моделирования. Основные факторы, включаемые в регрессионную модель динамики фитомассы,— возраст, класс бонитета, средний диаметр, число стволов на 1 га и запас стволовой древесины. Совокупность среднего диаметра и густоты адекватна абсолютной полноте, а запас дополнительно к последней учитывает варьирование видового числа.

11. Поскольку масса крон древостоя при полноте, отличной от 1,0, не может быть получена простым редуцированием, предложена процедура аналитического выражения взаимосвязи таксационных показателей таблиц для полноты, меньшей 1,0. Полученные соотношения среднего диаметра, густоты и запаса с возрастом не могут рассматриваться в качестве основы ТХР для древостоев с полнотой, меньше 1,0, а служат лишь для оценки фитомассы древостоев в статике.

12. Таблицы биопродуктивности березняков и осинников, совмещенные с казахстанскими ТХР, в общих чертах подтверждают известные закономерности накопления с возрастом общей надземной фитомассы березы и осины для европейской части СССР, но для

осины они отличаются более ранним наступлением кульминационного периода. В таблицах биопродуктивности сосняков, совмещенных как с казахстанскими, так и с всеобщими ТХР, отмечено по крайней мере две кульминации массы хвои: первая в возрасте 10—30 лет и вторая в возрасте спелости. В сосняках островных боров высших классов бонитета первая кульминация нивелируется и происходит монотонное нарастание массы хвои на всем возрастном интервале. Масса ветвей кульминирует в возрасте 100—120 лет.

13. Для исследования оптимальных и предельных ценотических состояний древостоев предложена процедура разложения закономерности динамики фитомассы древостоев по основным определяющим факторам на составляющие. Первая определяет морфометрическую специфику онтоценогенеза древостоя и выражается зависимостью его среднего диаметра от возраста, класса бонитета и густоты. Вторая определяется полифакториальной зависимостью фитомассы древостоя от возраста, класса бонитета, густоты и среднего диаметра. Названные два уравнения образуют рекуррентную систему, зависящая переменная первого из которых входит в качестве одной из независимых переменных во втором.

14. Последовательным табулированием названных уравнений получены зависимости массы фракций на 1 га от густоты по классам возраста и бонитета. Масса хвои (листвы) и ветвей с увеличением густоты древостоев сосны, березы и осины в статике изменяется по колоколообразной, а масса стволов — по монотонно нарастающей кривым. Правые ветви кривых для массы хвои, полученные для разного возраста, пересекаются, образуя линию предельной густоты. Путем перенесения последней на графики для остальных фракций, представляющих результат кумулятивного процесса продуцирования фитомассы, получены предельные значения продуктивности и для этих фракций.

15. Линии оптимальной густоты, соединяющие вершины колоколообразных кривых, для хвои сдвинуты в сторону большей густоты в сравнении с такими же линиями для ветвей, т. е. на эффект разреживания ветви реагируют путем более интенсивного накопления фитомассы, чем хвоя, и происходит пере-

распределение ассимилятов от ствола к ветвям. Поскольку по массе хвои линии оптимальных и предельных густот совпадают, а текущий прирост запаса находится в тесной взаимосвязи с массой хвои, то максимальным показателям запаса, текущего прироста и массы хвои сосняков в статике соответствует одна и та же густота. В осинниках это имеет место в возрасте 20—30 лет и старше, а в березняках на всем возрастном интервале существует диапазон густоты между максимумами массы листвы (и текущего прироста запаса) и массы стволов, причем первые сдвинуты в сторону меньшей густоты. По-видимому, только в березняках и осиновых молодняках путем разреживания загущенных древостоев можно увеличить их текущий прирост и общую производительность, а в сосняках любое разреживание означает снижение последней. Если для массы ветвей и стволов линии оптимальной и предельной густоты имеют одинаковую конфигурацию по породам, то по массе хвои (листвы) она видоспецифична: седлообразная у сосны, монотонно нарастающая у березы и колоколообразная у осины. Эти особенности должны учитываться при оптимизации продукционного процесса в лесных фитоценозах.

16. Для фракций древостоя, депонирующих ассимиляты за всю историю роста (древесина и кора стволов), кривые изменения их с густотой в статике имеют монотонно нарастающий тренд при условии стабильности высоты древостоя. Если же перегущение древостоя вызывает существенное снижение его высоты, то при экстремально большей густоте может наблюдаться стагнация или снижение фитомассы на единице площади. Необходимы установление биологического критерия густоты, изучение физиолого-экологических взаимосвязей, обуславливающих толерантность вида и адекватные методы расчленения эдафических, ценологических и генетических факторов, комплекс которых определяет структуру и динамику фитомассы древостоев. Последнему требованию удовлетворяет закладка серий опытов в максимальном диапазоне густоты на различных эдафических фонах с набором искусственных «популяций» различной генетической обусловленности (с учетом районирования семян).

17. В условиях загрязнения окружающей среды неизбежно должны смещаться как соотношения фрак-

ций фитомассы, так и положение линий оптимальной и предельной густоты древостоев. Исследование закономерностей подобных смещений на основе рекуррентных регрессионных систем представляет перспективное направление в мониторинге лесных экосистем.

## **5. ДИНАМИКА ПЛОТНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ АБСОЛЮТНО СУХОГО ВЕЩЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ (НА ПРИМЕРЕ СОСНЫ, БЕРЕЗЫ И ОСИНЫ)**

### **5.1. О ПРИНЦИПАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОМАССЫ**

В исследованиях биологической продуктивности лесов и разработке нормативов для учета всех фракций фитомассы необходимо знание закономерностей динамики не только количественных, но и их качественных характеристик, варьирующих с возрастом, экологическими и другими факторами. Это составляет предмет экологического древесиноведения, в котором можно выделить два направления: техническое, включающее исследования анатомических и физико-механических свойств древесины как технологического сырья в увязке с экологическими факторами [Перелыгин, Уголев, 1971; Полубояринов, 1974; Denne, Dodd, 1980], и более узкое — ресурсоведческое, располагающее сведениями в основном о плотности и влажности фракций фитомассы, необходимыми в расчетах биологической продуктивности лесных фитоценозов [Поздняков и др., 1969; Уткин, 1970; Поздняков, 1973; Полубояринов, 1973, 1976а; Технеряднов, Шоманов, 1976; Семечкина, 1978; Успенский, 1980]. Задача исследования квалитетических характеристик деревьев и древостоев в ресурсоведческом плане состоит в разработке принципов многомерного подхода к объяснению возрастной и экологической изменчивости плотности и содержания абсолютно сухого вещества древесины и коры с реализацией этого подхода на конкретных примерах.



В исследованиях в области лесной квалиметрии О. И. Полубояринов [1976а, б] большое внимание уделяет анализу базисной (условной) плотности древесины. Это неслучайно, поскольку произведение последней на древесный запас ( $m^3$ ) дает массу в абсолютно сухом состоянии. Тем самым при исследовании закономерностей изменения сухой массы может быть полностью использована информация о закономерностях формирования запаса и динамики базисной плотности. Мы не исследуем последнюю в качестве исходного признака, поскольку она теряет информативность при весовом методе учета фитомассы, более перспективном по отношению к стволовой древесине [Тамаркин, 1968] и единственно приемлемом на практике для учета массы кроны. Сказанное, а также требование системного подхода к анализу динамики квалиметрических характеристик, определяют необходимость расчленения базисной плотности как интегрального показателя на исходные составляющие — плотность в свежесрубленном состоянии  $\rho_w$  и содержание абсолютно сухого вещества  $S$ , произведение которых дает базисную плотность.

Закономерности текущего прироста фитомассы, опосредованного шириной годичного кольца, и накопления фитомассы, выражаемого интегралом функции ее прироста, — процессы взаимосвязанные. Это дает основание предположить, что в исследованиях биопродуктивности древостоев они определяются одним общим набором факторов. Тогда возрастная динамика ширины годичного кольца определяется функцией прироста, на которую накладывается влияние экологических условий, в частности пространства роста. Учитывая известную обусловленность физико-технических показателей древесины средней шириной годичных колец, можно общую тенденцию динамики  $\rho_w$  и  $S$  в чистом одновозрастном древостое в данных лесорастительных условиях при отсутствии хозяйственного вмешательства определить как функцию относительной густоты древостоя  $Z$ , представляющей вычлененную безразмерную характеристику его плотности (полноты), свободную от влияния изменения числа стволов в процессе естественного изреживания, и ранга дерева по толщине  $R_d$ , свободного, в отличие от диаметра ствола, от влияния возраста и густоты и характеризующего только ценотическое положение де-

Электронный архив УГЛТУ

рева в древостое по аналогии с классом роста [Усольцев, 1985в]. Вследствие возрастной динамики конуса нарастания ствола, определяющей изменение соотношений древесины с различной физиологически обусловленной влажностью и плотностью в направлении от вершины к основанию ствола,  $\rho_w$  и  $S$  изменяются вдоль по стволу [Полубояринов, 1976а; Исаева, 1978]. С целью вычленения этой закономерности, т. е. элиминирования изменчивости высоты дерева как комплексного фактора, отражающего влияние возраста, ценотического положения дерева, эдафических условий и т. д., в расчет моделей динамики локальных  $\rho_w$  и  $S$  древесины, наряду с названными тремя факторами, включается положение диска по высоте ствола  $h$ , выражаемой в долях от общей высоты дерева. Таким образом, в регрессионные модели входят возраст и три безразмерных показателя: относительная густота древостоя, ранг толщины дерева и относительная высота ствола.

$$\rho_w = f(A, Z, R_d, h); S = f(A, Z, R_d, h). \quad (5.1)$$

Сказанное о влиянии возраста и опосредованных экологических факторов на квалитетические характеристики ствола в определенной мере относится не только к древесине, но и к коре, и не только к стволу дерева, но и к его кроне. В онтоценогенезе древостоя после смыкания полога происходит непрерывное изменение его морфоструктуры вследствие конкуренции деревьев за свет, влагу, элементы питания. При этом архитектоника древостоев определяется двумя противоположными процессами [Кравченко, 1977]: новообразованием элементов структуры отдельных органов и их отмиранием. Происходит отпад угнетенных деревьев, сопровождающийся сокращением общего их числа; отпад ветвей первого порядка в нижней части кроны, сопровождающийся поднятием древесного полога; отпад ветвей второго порядка в приствольной части ветвей первого порядка, сопровождающийся формированием так называемого ядра (безлистной части) кроны и т. д. Перечисленные тенденции определяют необратимость процесса морфогенеза древостоя, поскольку с некоторого момента они обуславливают непрерывное снижение продуктивности его ассимиляционного аппарата, отнесенной к пространству роста.

Отмеченные тенденции находят количественное выражение в приросте различных компонентов кроны. А. Вихера и С. Келломаки [Vihera, Kellomäki, 1983] установили, что ведущими факторами прироста компонентов кроны (древесины, коры и хвои) являются местоположение дерева и условия его освещения. Наряду с динамикой прироста и морфологическими изменениями (и вследствие их) происходят изменения качественных характеристик ветвей: плотности, содержания сухого вещества, доли коры и древесины, — закономерности динамики которых в пространстве и времени представляют интерес для ресурсоведческого и биогеоэкологического направлений исследования фитомассы лесов. Соотношение древесины и коры ствола традиционно представляет предмет лесной таксации, а показатели плотности и содержания сухого вещества древесины ствола — экологического древесиноведения [Исаева, 1963; Полубояринов, 1976а]. Исследования названных показателей для ветвей в литературе фрагментарны и охватывают, как правило, крону в целом без стратификации по определяющим факторам [Усольцев, 1971, 1973в, 1975; Götze et al., 1972; Nakkila, 1972; Голиков, 1982].

В исследованиях биопродуктивности древостоев важно выявить соотношения между локальными  $\rho_w$  и  $S$  и средними  $\rho_{cp}$  и  $S_{cp}$  значениями. С учетом изменения площади сечения по высоте ствола  $\rho_{cp}$  определяется как величина, средневзвешенная по площади сечения

$$\rho_{cp} = \frac{\sum_{h=0}^1 \rho_w d_i^2}{\sum_{h=0}^1 d_i^2}, \quad (5.2)$$

где  $\rho_w$  и  $d_i$  — плотность древесины в свежесрубленном состоянии и диаметр ствола без коры в  $i$ -м сечении. Переходя от дискретной формы записи (5.2) к интегральной, необходимо принять во внимание, что при выявлении взаимосвязи  $\rho_w$  с  $\rho_{cp}$  и  $S$  с  $S_{cp}$  из четырех факторов моделей (5.1) определяющая роль принадлежит лишь относительной высоте  $h$ . Поэтому можно записать:

для древесины

$$\rho_{cp} = \frac{\int_0^1 (\rho_w d^2) dh}{\int_0^1 (d^2) dh}; \quad (5.3)$$

$$S_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 (S d^2) dh}{\int_0^1 (d^2) dh}; \quad (5.4)$$

для коры

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 \{\rho_w [(2t + d)^2 - d^2]\} dh}{\int_0^1 [(2t + d)^2 - d^2] dh}; \quad (5.5)$$

$$S_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 \{S [(2t + d)^2 - d^2]\} dh}{\int_0^1 [(2t + d)^2 - d^2] dh}, \quad (5.6)$$

где  $t$  — толщина коры по образующей ствола, см.

Подынтегральные выражения в (5.3)–(5.6) ( $\rho_w d^2$ ),  $(S d^2)$ ,  $d^2$ ,  $\rho_w [(2t + d)^2 - d^2]$ ,  $S [(2t + d)^2 - d^2]$ ,  $[(2t + d)^2 - d^2]$  являются функциями только относительного местоположения по высоте ствола  $h$ , а  $d$  и  $t$  характеризуют соответственно диаметр ствола без коры и толщину коры на относительной высоте  $h$ . Поэтому при нахождении подынтегральных выражений в (5.3)–(5.6) появляется необходимость исследования сбег коры и ствола без коры.

## 5.2. ФОРМА СТВОЛА КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЕГО СРЕДНИЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ИЗВЕСТНЫМ ЛОКАЛЬНЫМ

По мнению Н. В. Третьякова с соавторами [1952], математическая модель древесного ствола лесной науке пока неизвестна, поскольку законы формирования ствола детально не изучены и нет не только теории, но даже удовлетворительной гипотезы, которая объясняла бы его форму. Последняя определяется механизмом распределения питательных веществ в дереве, однако физиологическая его сторона остается пока

не раскрытой [Белов, 1974]. Теоретические обобщения формы ствола в лесной таксации строятся обычно по результатам обмеров срубленных деревьев и сводятся главным образом к попыткам представить ствол в виде совокупности различных тел вращения или тела вращения как интеграла функции образующей ствола [Никитин, 1979]. По-видимому, в рамках подобного, статического подхода нельзя адекватно отразить процесс формирования дерева под влиянием эндо- и экзогенных факторов в течение всей его жизни. Р. Килки и М. Вармола [Kilkki, Varmola, 1981] полагают, что лишь переход к динамическим моделям даст возможность проверить справедливость традиционных теорий формирования ствола.

Форма ствола является наименее изменчивым признаком дерева. В. В. Кузьмичев [1980], исходя из положения И. И. Шмальгаузена [1968], что признак, по которому идет естественный отбор, обладает наименьшей изменчивостью, интерпретирует это явление как ориентацию естественного отбора на сохранение средней формы, обеспечивающей наилучшее существование вида. Однако одной из причин меньшей изменчивости формы ствола по сравнению с другими морфометрическими признаками дерева — диаметром ствола и кроны, высотой — может быть ее выражение индексным (безразмерным) показателем. Сравнительная стабильность формы ствола позволила В. К. Захарову [1955] выдвинуть гипотезу о ее единстве, или инвариантности, по морфометрическим показателям, условиям произрастания и т. д. С тех пор она многократно подтверждалась его последователями и отвергалась оппонентами. Н. В. Артемьева и Г. Б. Кофман [1984] показали наличие гораздо более узких, чем предполагалось в исходных работах, пределов применимости названной гипотезы.

Известны многочисленные данные о связи формы и полнодревесности ствола с высотой и диаметром, ценобитическим положением в пологе, полнотой и возрастом древостоя и т. п. Обычно исследуется парная связь признаков, характеризруемая большим или меньшим уровнем достоверности, а иногда и противоположными знаками [Усольцев, 1976], либо выполняется «кусочная» аппроксимация образующей ствола по одному или нескольким факторам [Тябера, 1982; Артемьева и др., 1983]. Различный характер парной

связи чисел сбегания и видового числа с полнотой, а также неоднозначная теснота связи чисел сбегания с высотой и диаметром ствола на высоте груди, зависящая от положения по высоте ствола [Усольцев, 1976], свидетельствуют о влиянии фона неучтенных факторов, которое может проявиться как в недостоверности парной связи, так и в смене ее знака. Учет такого фона при моделировании формы ствола выполнен автором на основе множественного регрессионного анализа. При этом, в отличие от «кусочной» аппроксимации, в регрессионную модель для числа сбегания наряду с прочими определяющими факторами воздействия включена высота замера числа сбегания по стволу.

Предлагаемые ниже регрессионные модели формы ствола не претендуют на теоретическое обобщение или оригинальный подход. При их выводе преследовались две цели: выяснить, в какой мере возраст и опосредованные экологические факторы, определяющие, как было показано выше, количественные показатели фитомассы, могут объяснить общую изменчивость сбегания ствола; использовать полученные закономерности при расчете средних квалитетических характеристик ствола по известным локальным. Исследования формы и полндревесности стволов выполнены по методике В. К. Захарова [1967] с расчетом чисел сбегания по относительным высотам ствола с градицией 0,1 Н. Анализ связи чисел сбегания  $\eta$  с относительной высотой  $h$  показал, что для названных трех пород она может быть достоверно описана полиномом вида

$$\eta = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3 + a_4 \sqrt{h}. \quad (5.7)$$

В качестве функции (5.7) исследованы числа сбегания ствола без коры

$$\eta_{\text{бк}} = d_i / d_{0,i} \quad (5.8)$$

и числа сбегания коры

$$\eta_{\text{к}} = \frac{D_i - d_i}{D_{0,i} - d_{0,i}} = \frac{t_i}{t_{0,i}}, \quad (5.9)$$

где  $D_i$  и  $d_i$  — диаметры в  $i$ -м сечении ствола соответственно в коре и без нее;  $D_{0,i}$  и  $d_{0,i}$  — диаметры на относительной высоте  $h = 0, 1$  Н соответственно в

коре и без нее;  $t_i$  и  $t_{0,1}$  — толщина коры соответственно в  $i$ -м сечении и на высоте  $h = 0,1 H$ .

Поскольку в (5.7) образующая ствола, выраженная в относительных единицах, имеет две характерные точки:  $\eta = 1,0$  при  $h = 0,1$  и  $\eta = 0$  при  $h = 1,0$ , в силу стохастического характера связи и наличия определенного доверительного интервала уравнение (5.7) применимо при условии  $0 \leq h < 0,1$  и  $0,1 < h < 1,0$ . При учете любого фактора и всей их совокупности линия регрессии должна проходить через названные характерные точки, а это означает, что факторы, корректирующие форму ствола, могут быть включены в регрессионное уравнение только в виде синергизмов. Такими синергизмами, статистически значимыми на уровне  $t_{0,5}$ , оказались:  $Ah^2$ ,  $R_d h^2$ ,  $Zh^2$ ,  $R_d \sqrt{h}$  и  $A \sqrt{h}$ . В целом машинная обработка материала выполнена по модели

$$\eta = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3 + a_4 \sqrt{h} + a_5 A h^2 + a_6 R_d h^2 + a_7 Z h^2 + a_8 R_d \sqrt{h} + a_9 A \sqrt{h}. \quad (5.10)$$

Коэффициенты детерминации (табл. 5.1) для уравнений, характеризующих сбеги ствола без коры, существенно выше коэффициентов для сбегов коры. Это вполне закономерно, поскольку толщина коры вследствие наличия корки и локального ее отслоения, варьирует значительно больше в сравнении с диаметром без коры на той же высоте. По-видимому, по этой же причине число факторов, достоверно объясняющих варьирование сбегов коры, значительно меньше по сравнению с таковыми для сбегов ствола без коры. В первоначальном варианте, наряду с числами сбегов без коры, по модели (5.10) аппроксимировались числа сбегов в коре  $\eta_{вк} = D_i / D_{0,1}$ . Коэффициенты детерминации при этом составили для сосны 0,994, для осины 0,996 и для березы 0,982. Однако применение аналитических выражений для  $\eta_{вк}$  и  $\eta_{бк}$  к расчету толщины коры привело к недопустимым искажениям последней. В вершинной части толщина коры в некоторых случаях принимала даже отрицательные значения. Это объясняется тем, что в вершинной части форма ствола имеет наибольшую изменчивость. Интервалы этой изменчивости для  $D_i$  и  $d_i$  в вершинной части ствола взаимно перекрываются, т. е. значение  $t_i = (D_i - d_i) / 2$  как полуразность двух выборочных

Таблица 5.1

## Характеристика уравнения (5.10)

Порода	Число	$a_0$	$a_1$ ( $\hbar$ )	$a_2$ ( $\hbar^2$ )	$a_3$ ( $\hbar^3$ )	$a_4$ ( $V/\hbar$ )	$a_5$ ( $A/\hbar^2$ )	$a_6$ ( $R_d^2$ )	$a_7$ ( $Z/\hbar^2$ )	$a_8$ ( $R_d/\hbar$ )	$a_9$ ( $AV/\hbar$ )	$\pm\sigma$	$R^2$
Береза	$\eta_{6к}$	1,262	—	—	$\frac{-0,471}{16,4}$	$\frac{-0,828}{40,0}$	$\frac{0,0010}{2,1}$	$\frac{-0,0009}{3,2}$	$\frac{0,0220}{3,0}$	—	—	0,039	0,988
	$\eta_{7к}$	2,575	$\frac{7,818}{9,2}$	$\frac{-3,065}{6,0}$	—	$\frac{-7,312}{16,3}$	—	—	—	—	—	0,221	0,922
Осина	$\eta_{6к}$	1,181	—	—	$\frac{-0,561}{17,9}$	$\frac{-0,612}{31,1}$	$\frac{-0,0018}{5,1}$	$\frac{-0,0023}{4,7}$	$\frac{0,0651}{4,5}$	$\frac{0,0010}{2,9}$	—	0,025	0,994
	$\eta_{7к}$	2,033	$\frac{3,739}{10,1}$	—	$\frac{-0,959}{4,8}$	$\frac{-4,433}{17,4}$	$\frac{-0,0071}{3,7}$	—	—	—	—	0,140	0,931
Сосна	$\eta_{6к}$	1,145	—	—	$\frac{-0,621}{22,3}$	$\frac{-0,523}{22,9}$	—	$\frac{-0,0018}{3,9}$	$\frac{0,0267}{4,4}$	$\frac{0,0008}{2,8}$	$\frac{0,0008}{4,8}$	0,023	0,994
	$\eta_{7к}$	2,389	—	$\frac{6,612}{10,3}$	$\frac{-4,326}{7,5}$	$\frac{-4,460}{24,1}$	—	—	—	—	—	$\frac{-0,0018}{2,2}$	0,142

Примечание. В числителе — константы, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.



Этот статистический архив УБЛТУ

средних по  $D$  и  $d$  статистически не достоверно, что и вызвало недопустимые искажения значения  $t_i$  при коэффициентах детерминации для аналитических выражений  $\eta_{вк}$  и  $\eta_{бк}$ , практически равных 1,0. Это еще раз подтверждает, что применение в множественном регрессионном анализе чисто формальных процедур с учетом только статистических показателей без вникания в суть анализируемого процесса может скомпрометировать подход в целом. Из этого следует также, что применение рекомендованного М. Джекобсом и Т. Куниа [Jacobs, Cupia, 1980] метода «гармонизации» таблиц фитомассы дерева в подобном случае не может быть оправданным. Метод предполагает использование так называемых фиктивных переменных, представляющих последовательный кумулятивный ряд значений признака (в нашем примере — диаметры без коры и в коре), из которых каждое предыдущее значение входит составной частью в последующее. При перекрывающихся интервалах варьирования двух последовательных значений этот метод может привести к абсурдным результатам, как это имело место при аппроксимации чисел сбега по диаметрам в коре и без нее.

Х. Грей [Gray, 1956] показал, что секционная площадь сечения, или квадрат диаметра сечения, является линейной функцией положения сечения по высоте ствола, и обнаружил связь сбега ствола как с возрастом дерева, так и с его положением в пологе. Включение в (5.10) в качестве функции  $\eta^2$  вместо  $\eta$  приблизило зависимость  $\eta^2 = f(h)$  к линейной, однако по показателю детерминации это не дало никаких преимуществ по сравнению с  $\eta$ , в некоторых случаях результат был даже хуже.

Уравнения (5.10) и их высокая адекватность ( $R^2 = 0,99-0,92$ ) показывают, что возраст, относительная густота и ранг дерева по толщине оказывают свое влияние на динамику наиболее стабильного признака древостоя — формы ствола. На рис. 15, а, б, в показано влияние на форму ствола (без коры) сосны каждого из трех факторов воздействия при фиксированных значениях двух других. Полнодревесность ствола сосны вполне определенно увеличивается с возрастом (рис. 15, а), а в древостоях одного возраста стволы деревьев одинакового центрического положения в пологе увеличивают полнодревесность с повы-

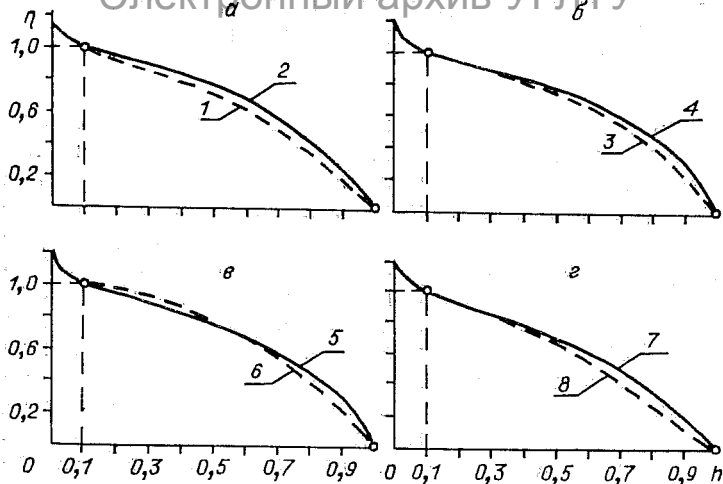


Рис. 15. Изменение сбега ( $\eta$ ) стволов без коры у сосны (а, б, в) и осины (г) по относительным высотам ( $h$ ).

1 -  $A=10$  лет,  $R_d=50$ ,  $Z=1$ ; 2 -  $A=100$  лет,  $R_d=50$ ,  $Z=1$ ;  
 3 -  $A=100$  лет,  $R_d=50$ ,  $Z=0,5$ ; 4 -  $A=100$  лет,  $R_d=50$ ,  $Z=3,0$ ;  
 5 -  $A=100$  лет,  $R_d=10$ ,  $Z=1,0$ ; 6 -  $A=100$  лет,  $R_d=90$ ,  $Z=1,0$ ;  
 7 -  $A=5$  лет,  $R_d=50$ ,  $Z=1,0$ ; 8 -  $A=70$  лет,  $R_d=50$ ,  $Z=1,0$ .

пением густоты (рис. 15, б). У березы названные закономерности повторяются, а у осины связь полндревесности с возрастом имеет противоположный характер (рис. 15, г), что можно объяснить иными возрастными особенностями отложения ассимилятов в кроне и стволе.

При снижении ранга дерева по толщине характер изменения формы ствола у сосны и осины одинаковый — увеличение полндревесности верхинной части и снижение ее на высоте 0,2—0,4  $H$  (рис. 15, в). У березы же при снижении ранга полндревесность увеличивается по всему стволу.

Итак, гипотеза В. К. Захарова о единстве формы ствола, по-видимому, не соответствует действительности, а лишь отражает в какой-то мере сравнительно высокую стабильность формы. Количественные показатели фитомассы достоверно определяются возрастом и экологическими факторами, а морфометрические (форма и полндревесность ствола) в однородных экологических условиях — возрастом и ценогическими факторами.

### 5.3. МОДЕЛИ И ТАБЛИЦЫ ДИНАМИКИ ПЛОТНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ АБСОЛЮТНО СУХОГО ВЕЩЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ

Обработка материала выполнена на основе предварительного графического анализа парных связей и последующей линеаризации выражений (5.1) путем трансформирования факторов, т. е. введения различных дробных и целочисленных степеней и произведений факторов, учитывающих их совместный эффект. В приложении (табл. 23) приведены значения констант по каждому из определяющих факторов моделей (5.1) и их сочетаниям, ошибки и коэффициенты детерминации. Последние свидетельствуют, что включенные в модели (5.1) четыре фактора объясняют от 53 до 95% общего варьирования показателей  $\rho_w$  и  $S$ .

Последующий расчет показателей  $\rho_{ср}$  и  $S_{ср}$  выполнен путем решения уравнений (5.1) с константами, помещенными в табл. 23 (см. прил.), и (5.10) с константами, помещенными в табл. 5.1, по заданным значениям возраста  $A$ , густоты древостоя  $Z$  и ранга дерева  $R_d$ , преобразования полученных выражений и подстановки их в формулы (5.3) — (5.6). Чтобы получить при заданных значениях  $A$ ,  $Z$  и  $R_d$ , подставляемых в (5.1) и (5.10), соответствующие подынтегральные выражения в (5.3) — (5.6), необходимо предварительно рассчитать значения  $d_i$  и  $t_i$  по данным сбега ствола без коры  $\eta_{бк}$  и сбега коры  $\eta_{к}$  (см. уравнения (5.7) — (5.9)) для деревьев задаваемого диаметра (ранга) в пределах древостоя данного возраста и густоты. Для получения значений  $d_i$  и  $t_i$  на различных относительных высотах  $h$  и для расчета соотношений морфометрических признаков деревьев использована вспомогательная трехэтапная процедура, фрагментарные результаты которой для отдельных возрастов и ступеней толщины последовательно записаны в табл. 5.2.

1. По рядам распределения деревьев по диаметру, полученным при составлении ТХР, для древостоев III класса бонитета по классам возраста при  $Z = 1$  и по данным перечета на пробных площадях при  $Z$ , отличных от 1,0, построены огивы, по которым для 5—7 ступеней толщины, взятых в пределах размаха их варьирования с постоянной градацией, сняты значения рангов  $R_d$ .

Соотношения морфологических признаков деревьев в сомкнутых сосновых, березовых и осиновых древостоях III класса бонитета

Порода	A, лет	D, см	R <sub>d</sub>	H, м	d <sub>0,1</sub> , см	D <sub>0,1</sub> , см	t <sub>0,1</sub> , см	h <sub>1,3</sub>	
Сосна	20	4	13	6,45	3,71	4,4	0,34	0,20	
		6	40	8,11	5,41	6,34	0,46	0,16	
		8	85	9,45	7,11	8,27	0,58	0,14	
	50	6	5	8,74	5,37	6,27	0,45	0,15	
		12	54	12,8	10,4	12,0	0,80	0,10	
		16	85	14,9	13,8	15,8	1,00	0,087	
	70	12	18	12,1	10,4	12,0	0,80	0,107	
		16	47	15,5	13,8	15,8	1,00	0,084	
		24	90	19,0	20,5	23,3	1,40	0,068	
	100	16	11	16,3	13,7	15,7	1,00	0,080	
		24	51	20,0	20,5	23,3	1,40	0,065	
		32	87	23,0	27,2	30,8	1,80	0,056	
	Береза	20	2	8	4,51	2,32	2,62	0,15	0,29
			6	62	7,74	5,95	6,55	0,30	0,17
			10	93	9,94	9,49	10,4	0,45	0,13
40		6	8	9,39	5,74	6,28	0,27	0,14	
		10	37	11,8	9,27	10,1	0,41	0,11	
		16	86	14,6	14,5	15,7	0,60	0,089	
60		8	5	11,7	7,42	8,07	0,32	0,11	
		16	54	15,8	14,4	15,5	0,55	0,082	
		24	92	18,8	21,3	22,9	0,80	0,069	
80		16	31	16,7	14,3	15,5	0,60	0,078	
		24	78	19,6	21,2	22,8	0,80	0,066	
		32	96	22,1	28,0	30,2	1,10	0,059	
Осина		10	1	10	2,89	1,15	1,36	0,10	0,45
			2	50	3,78	2,09	2,41	0,16	0,34
			4	96	4,94	3,97	4,47	0,25	0,26
	20	4	16	6,92	3,84	4,22	0,19	0,19	
		6	50	8,09	5,72	6,22	0,25	0,16	
		10	98	9,86	9,47	10,2	0,36	0,13	
	30	6	7	9,06	5,70	6,16	0,23	0,14	
		10	50	11,0	9,45	10,1	0,32	0,12	
		16	97	12,4	15,1	16,0	0,45	0,105	
	40	10	9	11,5	9,44	10,1	0,33	0,113	
		16	51	13,8	15,1	16,0	0,45	0,094	
		22	91	15,6	20,7	21,8	0,55	0,083	
	50	16	14	14,0	15,1	16,0	0,45	0,093	
		22	50	15,8	20,7	21,8	0,55	0,082	
		30	97	17,9	28,2	29,6	0,70	0,073	

2. Подстановкой известных значений возраста и диаметра в уравнения возрастной динамики соотношения высот и диаметров в древостоях III класса бонитета [Усольцев, 1985в]:

для сосны

$$\lg H = 0,4222 + 0,5693 \lg D + 0,4049 \lg A \lg D - 0,4030 \lg^2 D; \quad (5.11)$$

для березы

$$\lg H = 0,0215 + 0,5643 \lg D + 0,3727 \lg A - 0,0433 \lg^2 A \lg D; \quad (5.12)$$

для осины

$$\lg H = -0,5839 + 1,4759 \lg A - 0,431 \lg^2 A + 0,3874 \lg D, \quad (5.13)$$

рассчитаны соответствующие значения высот деревьев. Величина  $H$  без существенного снижения точности расчета  $\rho_{\text{ср}}$  и  $S_{\text{ср}}$  может быть взята из ТХР как среднее значение для данного возраста.

3. С использованием экспериментального материала, по которому получены уравнения (5.10), выведены зависимости  $\eta_{1,3} = f(H)$ :

для сосны

$$\eta_{1,3(\text{БК})} = \frac{D}{d_{0,1}} = 1,2090 - \frac{0,6626}{H} - \frac{1,4819}{H^2}; \quad (5.14)$$

$$\eta_{1,3(\text{ВК})} = \frac{D}{D_{0,1}} = 1,0844 - \frac{1,0633}{H} - \frac{0,4461}{H^2}; \quad (5.15)$$

для березы

$$\eta_{1,3(\text{БК})} = \frac{D}{d_{0,1}} = 1,2120 - \frac{1,5741}{H}; \quad (5.16)$$

$$\eta_{1,3(\text{ВК})} = \frac{D}{D_{0,1}} = 1,1405 - \frac{1,7855}{H} + \frac{0,3934}{H^2}; \quad (5.17)$$

для осины

$$\eta_{1,3(\text{БК})} = \frac{D}{d_{0,1}} = 1,0636 + \frac{0,1216}{H} - \frac{1,9575}{H^2}; \quad (5.18)$$

$$\eta_{1,3(\text{ВК})} = \frac{D}{D_{0,1}} = 1,0461 + \frac{0,5272}{H} - \frac{1,0836}{H^2}. \quad (5.19)$$

Подстановкой в (5.14)–(5.19) значений  $D$  и  $H$  (колонки 3 и 5 в табл. 5.2) найдены соответствующие

щие значения  $d_{0,1}$  и  $D_{0,1}$  (колонки 6 и 7 в табл. 5.2) и толщина коры  $t_{0,1}$  (колонка 8) как полуразность последних. Табулированием уравнений (5.1) из табл. 23 (см. прил.) для древесины и коры с вводом в (5.1) значений  $A, R_d, Z$  получены локальные значения  $\rho_w$  и  $S$  для соответствующих  $h$  в интервале от 0 до 0,9. Далее, табулированием уравнений (5.10) (см. табл. 5.1) с вводом тех же значений  $A, R_d, Z$ , а затем уравнений (5.8) и (5.9) с вводом ранее полученных значений  $d_{0,1}$  и  $t_{0,1}$  выведены локальные значения диаметра ствола без коры  $d_i$  и толщины коры  $t_i$  для относительных высот  $h$ .

По относительным высотам  $h$  для каждого дерева с заданным возрастом и толщиной ствола рассчитаны значения  $(\rho_w d^2), (S d^2), d^2, \rho_w [(2t + d)^2 - d^2], S[(2t + d)^2 - d^2], [(2t + d)^2 - d^2]$ . Последние аппроксимированы по значениям  $h$  от 0 до 0,9 полиномом 6 порядка при  $R^2 = 0,9999$  и полученные уравнения введены в (5.3) — (5.6) в качестве подынтегральных функций.

Таким образом, уравнения для расчета средних квалитетических показателей древесины и коры стволов сосны, березы и осины могут быть представлены следующими рекуррентными системами:

для средней плотности в свежесрубленном состоянии древесины ствола

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{I.} \quad \rho_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 (\rho_w d^2) dh}{\int_0^1 (d^2) dh}; \\
 \text{II.} \quad \text{а) } (\rho_{wi} d_i^2) = f(h), \quad \text{б) } d_i^2 = f(h); \\
 \text{III.} \quad \left\{ \begin{array}{l}
 \text{а) } \rho_{wi} = f(A, h, R_d, Z), \\
 \quad \left\{ \begin{array}{l}
 d_i = f(\eta_{\text{БК}}, d_{0,1}), \\
 \uparrow \\
 \eta_{\text{БК}} = f(A, h, R_d, Z), \\
 \uparrow \\
 R_d = f(D);
 \end{array} \right. \\
 \text{б) } \left\{ \begin{array}{l}
 d_{0,1} = f(D, H), \\
 \uparrow \\
 H = f(A, D);
 \end{array} \right.
 \end{array} \right\} \quad (5.20)
 \end{array} \right\}$$

для среднего содержания абсолютно сухого вещества древесины ствола

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{I.} \quad S_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 (S d^2) dh}{\int_0^1 (d^2) dh}; \\
 \text{II.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } (S_i d_i^2) = f(h), \quad \text{б) } d_i^2 = f(h); \end{array} \right. \\
 \text{III.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } S_i = f(A, h, R_d, Z), \\ \text{б) } \left\{ \begin{array}{l} d_i = f(\eta_{\text{БК}}, d_{0,1}), \\ \uparrow \\ \eta_{\text{БК}} = f(A, h, R_d, Z), \\ \uparrow \\ R_d = f(D); \end{array} \right. \end{array} \right. \\
 \text{IV.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } d_{0,1} = f(D, H), \\ \uparrow \\ \text{б) } H = f(A, D), \end{array} \right.
 \end{array} \right\} \quad (5.21)$$

для средней плотности в свежесрубленном состоянии коры ствола

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{I.} \quad \rho_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 \{\rho_w [(2t + d)^2 - d^2]\} dh}{\int_0^1 [(2t + d)^2 - d^2] dh}; \\
 \text{II.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } \{\rho_{wi} [(2t_i + d_i)^2 - d_i^2]\} = f(h), \\ \text{б) } [(2t_i + d_i)^2 - d_i^2] = f(h); \end{array} \right. \\
 \text{III.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } \rho_{wi} = f(A, h, R_d, Z), \\ \text{б) } \left\{ \begin{array}{l} t_i = f(\eta_{\text{К}}, t_{0,1}), \quad d_i = f(\eta_{\text{БК}}, d_{0,1}), \\ \uparrow \qquad \qquad \qquad \uparrow \\ \text{в) } \eta_{\text{К}} = f(A, h), \quad \eta_{\text{БК}} = f(A, h, R_d, Z); \end{array} \right. \end{array} \right. \\
 \text{IV.} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } t_{0,1} = f(d_{0,1}, D, H), \\ \uparrow \\ \text{б) } d_{0,1} = f(D, H), \\ \uparrow \\ \text{в) } H = f(A, D), \end{array} \right.
 \end{array} \right\} \quad (5.22)$$

# Электронный архив УГЛТУ

для среднего содержания абсолютно сухого вещества коры ствола

$$\begin{array}{l}
 \text{I. } S_{\text{ср}} = \frac{\int_0^1 \{S [(2t + d)^2 - d^2]\} dh}{\int_0^1 [(2t + d)^2 - d^2] dh} \\
 \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } \{S_i [(2t_i + d_i)^2 - d_i^2]\} = f(h), \\ \text{б) } [(2t_i + d_i)^2 - d_i^2] = f(h); \end{array} \right. \\
 \text{III. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } S_i = f(A, h, R_d, Z), \\ \text{б) } t_i = f(\eta_{\text{к}}, t_{0,1}), \quad d_i = f(\eta_{\text{бк}}, d_{0,1}), \\ \quad \uparrow \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \uparrow \\ \text{в) } \eta_{\text{к}} = f(A, h), \quad \eta_{\text{бк}} = f(A, h, R_d, Z), \end{array} \right. \\
 \text{IV. } \left\{ \begin{array}{l} \text{а) } t_{0,1} = f(d_{0,1}, D, H), \\ \quad \uparrow \\ \text{б) } d_{0,1} = f(D, H), \\ \quad \uparrow \\ \text{в) } H = f(A, D). \end{array} \right.
 \end{array} \quad (5.23)$$

Полученный расчетом набор средних значений  $\rho_{\text{ср}}$  и  $S_{\text{ср}}$  для древесины и коры аппроксимирован уравнениями

$$\rho_{\text{ср}} = f(A, Z, R_d); S_{\text{ср}} = f(A, Z, R_d), \quad (5.24)$$

характеристика которых дана в табл. 23 (см. прил.).

П. Хаккила [Hakkila, 1966], О. И. Полубояринов [1976а] и Л. Н. Исаева [1978] рассчитывают среднюю для ствола плотность древесины посредством коррелирования ее с плотностью локальной на высоте 1,3 м. Однако названная высота в зависимости от возраста и ранга дерева занимает стереометрически не равнозначные положения на образующей ствола. Поэтому при данной зависимости локальной  $\rho_w$  от  $h$  (рис. 16) динамика  $\rho_w$  на высоте 1,3 м (обозначаемой далее  $\rho_{1,3}$ ) имеет различный характер: линейный с  $Z$  и  $R_d$  и криволинейный с  $A$ . Полученный расчетом по значениям  $A, R_d, H$  и  $h_{1,3}$  (см. табл. 5.2) набор локальных  $\rho_{1,3}$  и  $S_{1,3}$  аппроксимирован по  $A, Z$  и  $R_d$  регрессионными уравнениями вида (5.24) (прил., табл. 23).



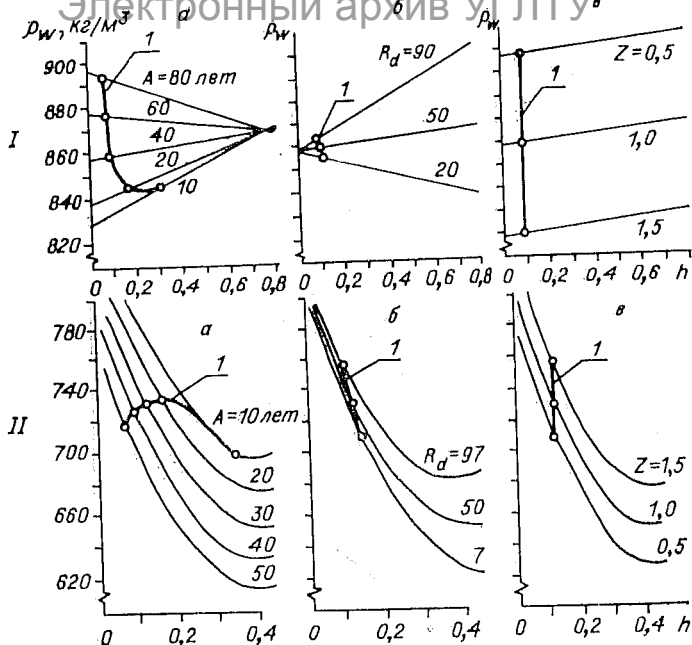


Рис. 16. Изменение локальной плотности древесины березы (I) и осины (II) на относительной высоте ( $h$ ) дерева в связи: с возрастом ( $a$ ); с рангом дерева по диаметру ( $б$ ), с относительной густотой ( $в$ ).

1 — плотность древесины на высоте ствола 1,3 м.

Уравнения вида (5.24) для  $\rho_{1,3}$ ,  $\rho_{ср}$ ,  $S_{1,3}$ ,  $S_{ср}$  табулированы при  $Z=1$  по значениям  $A$  и  $R_d$ , приведенным в табл. 24 (см. прил.). Значения базисной плотности  $\rho_{\sigma(1,3)}$  и  $\rho_{\sigma(ср)}$  получены перемножением соответствующих значений  $\rho$  и  $S$ . Показатели  $\rho_{\sigma(ср)}$  аппроксимированы уравнениями вида (5.24), характеристика которых дана в табл. 23 (см. прил.).

Анализ цифровых данных (прил., табл. 24) показывает, что значения  $\rho_{1,3}$  и  $\rho_{ср}$  имеют различные тенденции изменения как с возрастом, так и с рангом дерева, а  $S_{1,3}$  и  $S_{ср}$  имеют более близкие величины, чем  $\rho_{1,3}$  и  $\rho_{ср}$ , особенно у лиственных.

Вследствие различного характера изменения  $\rho_{1,3}$  и  $\rho_{ср}$  по определяющим факторам представляет интерес поиск такой точки замера локального признака, в ко-

тором его значение совпадало бы со средним для ствола [Полубояринов, 1976а]. Приравняв  $\rho_w$  и  $S$  моделей (5.1) соответствующим показателям  $\rho_{ср}$  и  $S_{ср}$  моделей (5.24) при  $A = 40$  лет,  $Z = 1$ ,  $R_d = 50$ , получили для заданных значений  $A$ ,  $Z$  и  $R_d$  точки пересечения линии локальных  $\rho_w$  и  $S$  с соответствующими прямыми, параллельными оси абсцисс,  $\rho_{ср}$  и  $S_{ср}$ : для древесины сосны —  $\rho_{0,176}$  и  $S_{0,005}$ ; то же, для коры —  $\rho_{0,166}$  и  $S_{0,361}$ ; для древесины березы —  $\rho_{0,238}$  и  $S_{0,225}$ ; то же, для коры —  $\rho_{0,308}$  и  $S_{0,256}$ ; для древесины осины —  $\rho_{0,167}$  и  $S_{0,266}$ ; то же, для коры —  $\rho_{0,253}$  и  $S_{0,178}$ , где цифровой индекс при показателях  $\rho$  и  $S$  означает относительную высоту ствола в долях от общей высоты дерева, для которой определено локальное значение  $\rho$  и  $S$ . Из приведенных соотношений следует, что относительная высота, равная, например, 0,25—0,36 от общей высоты дерева, доступна для взятия образца с растущих деревьев только в молодняках. Поэтому необходимо установление связи  $\rho_{ср}$  и  $S_{ср}$  с локальными показателями, измеренными на стабильной и доступной относительной высоте, например  $h = 0,05$ , что может быть реализовано совместным решением уравнений вида (5.1) и (5.24) при задаваемых значениях  $A$ ,  $Z$ ,  $R_d$  и  $h = 0,05$ . Для плотности древесины таким способом при вышеназванных значениях  $A$ ,  $Z$  и  $R_d$  получены соотношения: у сосны  $\rho_{ср} = 0,94\rho_{0,05}$ , у березы  $\rho_{ср} = \rho_{0,05}$  и у осины  $\rho_{ср} = 0,91\rho_{0,05}$ .

Сравнительно высокая доля остаточного варьирования признаков моделей (5.1), в некоторых случаях достигающая 47%, может быть снижена введением ранжированных индексов, объясняющих варьирование признака формовым разнообразием вида [Данченко, 1975], включением значения биопотенциала дерева как характеристики его физиологического состояния [Коловский, 1980], повышением точности экспериментального определения величин  $\rho_w$  и  $S$  [Cown, 1978] растущих деревьев и т. д.

Значения  $\rho_{б(ср)}$  для древесины и коры стволов (прил., табл. 24) могут быть использованы при разработке нормативов весового учета фитомассы, деревьев на основе существующих объемных (сортиментных) таблиц, а соответствующие значения в табл. 25 (см. прил.) — при разработке соответствующих нормативов на основе ТХР.

В связи с интенсификацией лесо- и древеснопользования в ближайшее время станет актуальной сортиментация и квалиметрия не только стволовой части дерева, а всех или основных его фракций. Чтобы проанализировать основные тенденции изменения квалиметрических показателей в пределах кроны дерева, необходимо связать их с наиболее информативными дендрометрическими показателями скелета кроны. В качестве таких показателей на уровне дерева приняты: а) положение образца вдоль оси ветви первого порядка и б) положение последней вдоль оси ствола. Положение образца вдоль оси ветви первого порядка (в дальнейшем сокращенно именуемой ветвью) можно представить показателем относительной длины ветви в долях от общей ее длины  $h_b$  либо диаметром  $d_i$  в  $i$ -м сечении ветви. Положение ветви вдоль оси ствола можно опосредовать расстоянием  $L$  от основания ветви до основания ствола либо толщиной ветви у ее основания  $d_{об}$ , снижающейся вдоль по стволу, либо возрастом ветви  $A_b$ .

Наиболее коррелированы между собой  $L$  и  $A_b$  ( $r = 0,98-0,99$ ) и наименее тесно связаны, по крайней мере в естественном сосняке, факторы  $L$  и  $d_{об}$  ( $r = 0,29$ ),  $A_b$  и  $d_{об}$  ( $r = 0,30$ ) [Усольцев и др., 1985б].

С учетом изложенного опытные значения локальных квалиметрических показателей ветвей аппроксимированы моделями двоякого вида. В (5.25) положение ветви на стволе выражено через  $L$ , а образца на ветви — через  $h_b$ , в (5.26) соответственно через  $A_b$  и  $d_i$ ; в обеих в качестве дополнительного фактора включен  $d_{об}$ , слабо коррелирующий и с  $L$ , и с  $A_b$ . Ценолитическое положение дерева в пологе опосредовано диаметром на высоте груди  $D$ , (см.):

$$\begin{aligned} \lg Y = & a_0 + a_1 \lg D + a_2 h_b + a_3 \lg L + a_4 \lg d_{об} + \\ & + a_5 \lg^2 D + a_6 h_b \lg L + a_7 h_b \lg d_{об} + a_8 h_b \lg D + \\ & + a_9 \lg L \lg d_{об} + a_{10} \lg L \lg D + a_{11} \lg d_{об} \lg D; \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$\begin{aligned} \lg Y = & a_0 + a_1 \lg D + a_2 \lg d_i + a_3 \lg A_b + a_4 \lg d_{об} + \\ & + a_5 \lg^2 D + a_6 \lg d_i \lg d_{об} + a_7 \lg d_i \lg A_b + \\ & + a_8 \lg d_i \lg D + a_9 \lg d_{об} \lg A_b + a_{10} \lg d_{об} \lg D + \\ & + a_{11} \lg A_b \lg D, \end{aligned} \quad (5.26)$$

где  $Y$  — последующие показатели: плотность в свежесрубленном состоянии древесины ( $\rho_{др}$ , кг/м<sup>3</sup>) и коры ( $\rho_k$ ), содержание сухого вещества древесины ( $S_{др}$ , %) и коры ( $S_k$ ), базисная плотность древесины ( $\rho_{б.др}$ ) и коры ( $\rho_{б.к}$ ) и процент коры по массе ( $\Pi_{св}^B$ ) в  $i$ -м сечении ветви;  $h_n$  — относительная длина ветви, в долях от общей длины;  $d_i$  — диаметр ветви в коре (см) в  $i$ -м сечении;  $L$  — расстояние от основания ветви до основания ствола, м;  $A_n$  — возраст ветви, лет;  $d_{ов}$  — диаметр основания ветви, см.

Результаты машинной обработки экспериментального материала по моделям (5.25) и (5.26) не показали явного преимущества ни одной из моделей по показателю  $R^2$ . Включенные в (5.25) и (5.26) факторы наименее информативны для описания изменчивости локальной плотности древесины и коры и наиболее — для объяснения изменчивости процента коры диска. Константы уравнений (5.25) и (5.26), как правило, достоверны на уровне  $t_{05}$  (прил., табл. 26).

Табулирование уравнений (5.26) (прил., табл. 27) выполнено с применением рекуррентной системы в два этапа. На первом рассчитаны регрессии:

для культур

$$\begin{aligned} \lg d_{ов} &= -0,8996 + 0,8458 \lg D + 0,3418 \lg D \lg A_n, \\ \sigma &= \pm 0,086, \quad R^2 = 0,818; \end{aligned} \quad (5.27)$$

для естественного сосняка

$$\begin{aligned} \lg d_{ов} &= -0,4580 + 0,2895 \lg D + 0,2013 \lg D \lg A_n, \\ \sigma &= \pm 0,104, \quad R^2 = 0,739 \end{aligned} \quad (5.28)$$

и табулированы по заданным значениям  $D$  и  $A_n$ . На втором — выполнено табулирование (5.26) по тем же  $D$  и  $A_n$ , заданным значениям  $d_i$  и полученным значениям  $d_{ов}$ . В целом процедура составления таблиц локальных квалиметрических характеристик ветвей сосны на основе уравнений (5.26) — (5.28) описывается рекуррентной регрессионной системой

$$\left. \begin{aligned} \text{I. } Y &= f(D, A_n, d_i, d_{ов}); \\ \uparrow \\ \text{II. } d_{ов} &= f(D, A_n). \end{aligned} \right\} \quad (5.29)$$

Результаты показывают (прил., табл. 27), что локальные  $\rho_{др}$ ,  $\rho_k$  и  $\Pi_{св}^B$  увеличиваются в направлениях от

Олег Сергеевич Угрюмов

оси кроны в периферии и вверх по оси кроны, а  $s_{др}$  и  $s_k$  в тех же направлениях снижаются. Ценоотическое положение дерева в пологе, как правило, достоверно влияет на все исследуемые показатели.

По алгоритму, изложенному в разделе 5.3, составлена программа, по которой с использованием экспериментальных значений локальных показателей  $\rho$ ,  $s$ ,  $\Pi_{св}^B$  и формы (сбега) ветвей первого порядка рассчитаны средние для каждой ветви показатели  $\rho_{ср}$ ,  $s_{ср}$  и  $\Pi_{св.ср}^B$ . Полученные расчетные значения проанализированы в связи с двумя факторами, из которых первый характеризует ценоотическое положение дерева в пологе, опосредованное диаметром, а второй, учитывающий положение ветви по оси кроны, представлен, как и в случае описания локальных показателей, в двух вариантах.

Средние для ветви квалиметрические характеристики аппроксимированы уравнениями (прил., табл. 28):

$$\lg y = a_0 + a_1 \lg D + a_2 \lg^2 D + a_3 \lg L + a_4 \lg d_{ов} + a_5 \lg D \lg L + a_6 \lg D \lg d_{ов} + a_7 \lg L \lg d_{ов}; \quad (5.30)$$

$$\lg y = a_0 + a_1 \lg D + a_2 \lg^2 D + a_3 \lg A_n + a_4 \lg d_{ов} + a_5 \lg D \lg d_{ов} + a_6 \lg D \lg A_n + a_7 \lg d_{ов} \lg A_n, \quad (5.31)$$

где  $y$  — исследуемые средние для ветви показатели: плотность в свежесрубленном состоянии древесины ( $\rho_{др}^{ср}$ ) и коры ( $\rho_k^{ср}$ ), содержание сухого вещества древесины ( $S_{др}^{ср}$ ) и коры ( $S_k^{ср}$ ), базисная плотность древесины ( $\rho_{б.др}^{ср}$ ) и коры ( $\rho_{б.к}^{ср}$ ) и процент коры по массе ( $\Pi_{св}^{B,ср}$ ). Размерности всех показателей те же, что в (5.25) и (5.26).

Табулирование (5.31) (прил., табл. 29), как и (5.26), выполнено в два этапа с использованием уравнений (5.27) и (5.28). Таким образом, порядок составления таблиц средних квалиметрических характеристик ветвей сосны на основе уравнений (5.31) и (5.27), (5.28) может быть представлен следующей рекуррентной регрессионной системой:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } y = f(D, A_n, d_{ов}); \\ \uparrow \\ \text{II. } d_{ов} = f(D, A_n). \end{array} \right\} \quad (5.32)$$

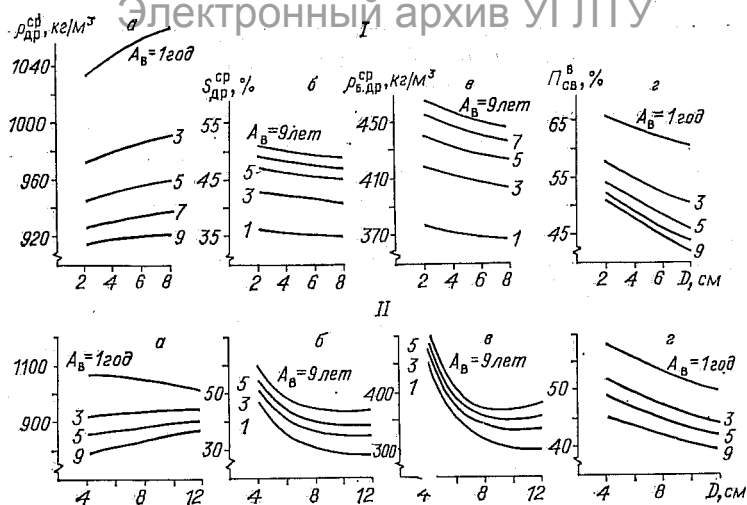


Рис. 17. Изменение средних квалиметрических показателей ветвей в естественном сосняке (I) и 20-летних культурах (II) с возрастом и диаметром ствола.

Результаты (рис. 17) показывают, что  $\rho_{др}^{ср}$  и  $\Pi_{св}^{в,ср}$  вниз по оси кроны снижаются, а  $S_{др}^{ср}$  и  $\rho_{б.др}^{ср}$  — увеличиваются. С увеличением диаметра ствола первый показатель возрастает, а остальные снижаются. Названные тенденции сохраняются и для коры. Закономерности изменения  $\rho$  и  $S$  имеют противоположный характер, однако взаимно не компенсируются, что находит выражение в изменении базисной плотности по тем же дендрометрическим показателям. Перепад значений квалиметрических показателей между верхней и нижней частями кроны больше в культурах, чем в естественном сосняке.

## 5.5. ВЫВОДЫ

1. Форма ствола определяет его средние квалиметрические показатели по известным локальным и на статистически значимом уровне зависит от тех же самых факторов, которые определяют локальные квалиметрические показатели.

2. Полнодревесность стволов сосны и березы увеличивается с возрастом, а в древостоях одного возраста

стволы деревьев одинакового ценотического положения в пологе увеличивают полндревесность с увеличением густоты. У осины связь полндревесности с возрастом противоположная. При снижении ранга дерева по толщине характер изменения формы ствола у сосны и осины одинаковый — увеличение полндревесности вершинной части и снижение ее на высоте  $0,2-0,4H$ , у березы же при снижении ранга полндревесность увеличивается по всему стволу.

3. Введение в модели динамики плотности и содержания сухого вещества древесины и коры, наряду с возрастом, экологических факторов, опосредованных безразмерными дендрометрическими показателями, позволило довести число значимых факторов, объясняющих общую изменчивость результирующих признаков, до четырех. Безразмерные показатели представлены относительной густотой древостоя, рангом дерева по толщине и относительным положением образца по высоте ствола.

4. Закономерности изменения локальных квалиметрических показателей ствола с относительной высотой  $h$  специфичны не только по породам, но и в зависимости от возраста, густоты и ценотического положения дерева в пологе древостоя.

5. Разработанный метод расчета средних квалиметрических показателей ствола по известным локальным позволил составить таблицы для определения плотности и содержания сухого вещества древесины и коры по возрасту и ступеням толщины деревьев. Они могут служить в качестве норматива весового учета фитомассы деревьев и древостоев на основе объемных таблиц и ТХР.

6. Локальные показатели древесины и коры  $\rho$ ,  $S$  и  $\Pi_{св}^B$  достоверно определяются ценотическими факторами, учитывающими положение образца ветви по радиусу и оси кроны и положение дерева в пологе. При этом  $\rho_{др}$ ,  $\rho_k$  и  $\Pi_{св}^B$  увеличиваются в направлениях от середины к периферии кроны и снизу вверх, а  $S_{др}$  и  $S_k$  в тех же направлениях имеют тенденцию к снижению.

7. Средние для ветви показатели  $\rho_{ср}$ ,  $S_{ср}$  и  $\Pi_{св}^{B,ср}$  достоверно определяются ценотическими факторами, учитывающими положение ветви по оси ствола и положение дерева в пологе древостоя. Показатели плотности древесины и коры и процент коры вниз по оси кроны

Электронный архив УГЛТУ

снижаются, а содержание сухого вещества и базисная плотность увеличиваются. С увеличением диаметра ствола первый показатель возрастает, а остальные снижаются. Названные тенденции вполне объяснимы и закономерно вписываются в общую концепцию физиологии дерева.

8. Квалиметрические показатели ветвей в естественном сосняке и культурах того же возраста существенно различаются, что является следствием различия их морфоструктуры и эдафических условий.

9. Полученные регрессионные уравнения могут быть полезны при расчете показателей  $\rho$ ,  $S$  и  $P_{св}^B$ , средних для кроны дерева.

10. Действие возраста и экологических факторов на структуру и динамику фитомассы древостоев и продукционный процесс в целом имеет глобальный характер, который проявляется не только в количественных и качественных показателях фракций фитомассы, но и в ее морфометрических характеристиках. Комплексное исследование количественных, качественных и морфометрических характеристик фитомассы в увязке с определяющими факторами воздействия на основе системного подхода позволяет глубже познать механизм продукционного процесса лесного фитоценоза с целью разработки методов его регулирования.

## **6. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСЕЙ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ**

### **6.1. ОЦЕНКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ — СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Изучение всего комплекса сложных связей между организмами и окружающей средой является предметом экологии. По мнению Е. К. Федорова [1983], это уже не просто научная дисциплина, а вновь развивающаяся область знания, широкая и разнообразная по изучаемым явлениям и применяемым методам исследова-



ния. В современном понимании [Реймерс, 1983] экология считается научной основой рационального природопользования. Известен марксистский тезис о том, что развитие производительных сил может ухудшить некоторые стороны бытия вследствие истощения природных ресурсов и снижения качества окружающей среды. И тем не менее нынешняя экологическая ситуация не была заблаговременно запрогнозирована ни в специальной, ни в философской мировой литературе [Гирусов, 1983] главным образом по причине эмпирически не очевидного характера глобальных экологических процессов.

Фактически вся эволюция общественного бытия представляет историю отношений людей не только в социальном плане, но и отношения их к природе, к основным категориям ее ресурсов — энергии, продовольствию, материалам и др. [Виноградов, 1984]. Основными положениями Энергетической программы СССР на длительную перспективу предусмотрено создать материально-техническую базу для широкого использования нетрадиционных источников энергии, в том числе энергии биомассы [Доброхотов и др., 1984]. Энергетический аспект оценки и использования лесной фитомассы наряду с экологическим приобретает в настоящее время все большую актуальность. Использование человеком древесины в энергетических целях в виде топлива имеет многовековую историю. Однако в последние годы обсуждение возможностей энергетического использования фитомассы лесов переживает в мировой литературе период своеобразного возрождения. Фитомасса лесов и ее отходы стали рассматриваться в качестве дополнительного или альтернативного энергетического источника. Зарубежные исследователи отсчитывают названную тенденцию с момента существенного повышения цен на нефть странами ОПЕК в 1973 г. [Schmidt, 1981; Waldrop, 1981]. Особенно драматический оттенок придают этому событию в США, приравнивая его по исторической значимости к таким событиям, как зарождение христианства и минувшие две мировые войны [Young, 1981]. В Рекомендациях XVII Всемирного конгресса ИЮФРО, состоявшегося в Японии в 1981 г., записано, что в предстоящих исследованиях по увеличению ассортимента продукции, получаемой из лесной фитомассы, приоритет должен быть отдан развитию методов эффективного

энергетического использования древесины. В разных странах эта проблема имеет специфичный характер и определяется соотношением затрат на «энергетическую» древесину и довольно неустойчивого уровня рыночных цен на ископаемое энергетическое сырье, обеспеченностью как названным сырьем, так и лесными ресурсами, уровнем развития производительных сил и производственных отношений и т. д. При этом можно выделить по крайней мере четыре характерные ситуации [Усольцев, 1983в]:

развитая экономика, значительные лесные ресурсы, экспорт древесины, нефти и газа (СССР);

развитая экономика, значительные лесные ресурсы, экспорт древесины и изделий из нее, импорт нефти и газа (Швеция, Финляндия);

развитая экономика, импорт древесины, нефти и газа (Великобритания, Япония);

слаборазвитая экономика, значительные лесные ресурсы, экспорт древесного сырья, импорт нефти и газа (развивающиеся страны).

В СССР вследствие освоения новых месторождений нефти, газа и угля и сравнительно низких цен на них спрос на топливные дрова в последние десятилетия имел тенденцию к снижению. Тем не менее сокращение расхода дров на топливо рассматривается в комплексе мероприятий по экономии древесины [Вараксин, Ступнев, 1974] в ориентации на использование дров в качестве технологического сырья. Это находит отражение и в современных нормативах по сортиментации древостоев [Мошкалева, 1974]. Объем заготовки топливных дров составил в 1980 г. 1,2%, а общие свободные ресурсы топливной древесины — 2—3% в топливном балансе страны [Усольцев, 1983в]. Для сравнения: в Африке доля древесины в энергетическом балансе достигает 58%, в Юго-Восточной Азии — 42 и в Южной Америке — 20% [Аллен, 1983]. Таким образом, при гигантской мощности топливно-энергетического комплекса СССР существенные сдвиги в структуре топливного баланса за счет использования лесной фитомассы невозможны, однако в развитии биоэнергетики последняя представляет перспективный вид сырья.

В экспериментах с математической моделью биосферы в ВЦ АН СССР получены выводы о характере возможных кризисных явлений в будущем. Расчеты показали, что первоочередная опасность для населения

Электронный архив УГПТУ

планеты состоит не в экологическом и энергетическом кризисах. Наиболее тревожная ситуация складывается в сфере обеспечения человека белком, прежде всего пищей животного происхождения. При сохранении темпов роста народонаселения и нынешних пропорций в распределении капиталовложений уже к середине XXI столетия средняя обеспеченность животным белком составит 10—15% современного уровня [Моисеев, 1979]. При всей условности подобных расчетов они дают основание полагать, что актуальность реализации Продовольственной программы СССР, по-видимому, не ограничится текущим столетием. При этом роль фитомассы лесов как надежного источника продовольственных и кормовых продуктов будет неуклонно возрастать [Эрнст, Науменко, 1977; Науменко, 1978]. Исследования Лаборатории кормовых ресурсов леса ВАСХНИЛ и институтов зоотехнического профиля выявили огромные перспективы превращения лесной фитомассы в корма. Перед народным хозяйством страны стоит задача — сделать растениеводство и в том числе лесоводство безотходным, а для этого необходимо замкнуть его в едином цикле с животноводством, исключить безвозмездные потери огромных масс ценнейшего органического вещества и прежде всего — огромных масс органики, образующихся при заготовке и переработке древесины [Эрнст, 1983].

Однако древесина — это не только древнейший источник энергии и потенциальный стабильный источник кормов. Сегодня это сырье, обладающее многими идеальными свойствами: универсальностью применения, легкостью, хорошей обрабатываемостью, высокой надежностью, достаточной прочностью и эластичностью. Древесина является воспроизводимым источником углерода и многих редких трудносинтезируемых веществ. В древесине уже подготовлены сложные макромолекулы с высокой потребительной стоимостью (целлюлоза, лигнин), которые не нуждаются в синтезе, а лишь в частичной модификации и расчленении в соответствии с назначением. Это процессы, значительно менее энергоемкие, чем синтез органики или производство металла. Экономическое преимущество древесины особенно хорошо характеризуют следующие данные: по сравнению с древесиной затраты на искусственно производимую энергию в производстве пластмасс больше в 5, чугуна — в 15, алюминия — в 40 раз.

Удельные капиталовложения по сравнению с древесиной в производстве пластмасс больше в 10, чугуна — в 30 и алюминия — в 50 раз [Kurth, 1981].

В политике ресурсов социалистического общества производство древесины является основополагающим процессом, при котором в результате фотосинтеза энергонасыщенные органические соединения откладываются в виде фитомассы и постоянно восстанавливаются. В то же время имеются прогнозы полного исчерпания ресурса лесного промысла уже к 2000 году [Федоренко, Реймерс, 1983]. В этой связи использование древесного сырья требует соответствующего народнохозяйственного упорядочения. Линия руководства КПСС и советского государства на укрепление нашей материально-сырьевой базы и бережливое расходование материалов в полной мере распространяется на лесное хозяйство и лесную экономику. В утилизации древесной фитомассы сегодня имеются большие неиспользуемые резервы.

## **6.2. НЕИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РЕСУРСЫ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ УТИЛИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА)**

Сегодня во взаимоотношениях экологии и экономики наступает новый этап, возникает совершенно новая практика учета экологической и экономической сторон развития системы «общество — природа» [Федоренко, Реймерс, 1983]. Отмеченные выше аспекты оценки и использования всей фитомассы древостоев в нашей стране синтезируются в новом для лесной науки направлении — лесоэкономической экологии [Тупыця, 1974, 1977], которое предполагает органическое соединение требований целостности и воспроизводства лесов с принципами традиционной экономики, когда лесной биогеоценоз как природная система и современное производство как экономическая система функционируют в единстве и взаимосвязи. Названное направление образуется на стыке биолого-лесоводственных, технических и экономических наук и призвано изучать связи между ними.

На сегодня конкретные приложения этих наук к лесохозяйственной сфере деятельности человека нель-

Электронный архив УГЛТУ

зя считать согласованными. Усилиями лесоводов повышается продуктивность лесов на 5—10%, а более 70% выращенной фитомассы безвозвратно теряется в виде отходов на различных этапах ее заготовки и переработки [Усольцев, 1983в]. Слишком долго бытовало мнение о неисчерпаемости наших лесных богатств, особенно сибирских лесов, которое в настоящее время далеко не адекватно реальности. Хотя центр тяжести лесозаготовок все более перемещается в необжитые районы Восточной Сибири, подобный экстенсивный путь развития лесохозяйственно-промышленного комплекса не удовлетворяет все возрастающей потребности народного хозяйства в лесопродукции. Он характеризуется низким уровнем использования фитомассы лесов и повышением эксплуатационных и транспортных затрат по мере удаления районов заготовок от основных потребителей. Парадоксальная ситуация: самая богатая лесом страна страдает от хронической нехватки древесины [Соловьев, 1985]. В этой связи все более актуальным становится переход на интенсивный путь развития лесопользования, предусматривающий полное использование всей фитомассы древостоев на основе совершенствования структуры лесохозяйственно-промышленного комплекса. Совершенствование техники и технологии лесозаготовительного и лесоперерабатывающего производств и научно-технический прогресс в целом сближают уровни эффективно используемой и биологической продукции леса. В нынешней ситуации не технология должна определять характер сырья, а сырье технологию [Гусев, Львов, 1985].

В настоящее время ведется разработка комплексных программ рационального использования всей фитомассы дерева в нашей стране, за рубежом и по линии СЭВ [Даугавиетис, 1982; Соловьев, 1985]. Экономическая сторона проблемы использования низкосортной древесины, а также техническая сторона проблемы комплексного использования древесной зелени детально разработаны Ленинградской лесотехнической академией [Определение экономической доступности..., 1968; Петров, 1971, 1978] и НПО «Силава» [Иевинь и др., 1971, 1976]. Значительные работы проведены Проблемной лабораторией Уральского лесотехнического института под руководством проф. В. Н. Петри по совершенствованию технологии производства плитных материалов способом автоагломерации — лигноуглевод-

ных древесных пластиков, позволяющей утилизировать практически все отходы древесины и другие одревесневшие растительные остатки без добавления связующих [Плитные материалы..., 1976].

Теперь, когда возрастает роль прижизненных свойств леса, одной из самых насущных задач лесной науки становится изыскание путей преодоления противоречий между ресурсным и средообразующим его значением [Виноградов, 1984]. Эта задача, входящая составной частью в реализацию принципов и методов эколого-экономической оценки использования, охраны и воспроизводства лесных ресурсов, особенно актуальна для малолесных районов степной и лесостепной зон страны, где проживает около 85% населения, а лесистость территории составляет 13%, в соответствии с чем потребность в древесине не удовлетворяется даже наполовину. В Казахстане, например, при лесистости территории менее 3% потребность в деловой древесине лишь на 13% может быть удовлетворена наличием сырьевых ресурсов по расчетной лесосеке [Гудочкин и др., 1968]. Однако факты свидетельствуют о том, что в этой ситуации проблеме полного использования местных ресурсов древесины не всегда уделяется должное внимание. Так, Усть-Каменогорский завод древесноволокнистых плит проектной мощностью 10 млн м<sup>2</sup> плит и 120 тыс. м<sup>3</sup> по сырью, построенный для переработки низкосортной древесины леспромхозов и лесхозов Восточно-Казахстанской области, фактически удовлетворяет потребность в сырье за счет местных ресурсов на 5—10%. Остальная древесина завозится из леспромхозов Сибири, в то время как на вырубках леспромхозов и лесхозов области оставляется неиспользованной 150—200 тыс. м<sup>3</sup> малоценной древесины, из которых примерно третья часть является ликвидной. Павлодарскому картонно-рубероидному заводу Минпромстройматериалов поставляется из РСФСР около 50 тыс. м<sup>3</sup> круглого леса, предназначенного, согласно технологии завода, для измельчения в технологическую щепу. При этом расположенный по соседству с заводом Павлодарский ДОК Минтяжстроя КазССР ежегодно вывозит на свалку около 25 тыс. м<sup>3</sup> дробленых отходов лесопиления и 30 тыс. м<sup>3</sup> опилок и стружки, а на лесосеках и нижних складах лесхозов Павлодарского обллесоуправления остается без применения около 100 тыс. м<sup>3</sup> тонкомерной древесины, отходов лесо-

заготовок и деревообработки [Усольцев, 1982].

Леса лесостепной и степной зон являются специфичными как в экологическом, так и в экономическом аспектах. Жесткие лесорастительные и климатические условия не всегда обеспечивают успех естественного и искусственного лесовозобновления и лесоразведения. С учетом возрастающего антропогенного воздействия на лесные фитоценозы поддержание их в устойчивом состоянии на соответствующем уровне биопродуктивности представляет нелегкую задачу, и реализация ее на сегодняшнем уровне науки и техники не всегда возможна. Эта задача усугубляется тем, что искусственные лесные фитоценозы, развивая в сравнении с естественными большую транспирирующую массу, могут оказать неблагоприятное воздействие на гидрологический режим всей территории [Бирюкова, Бирюков, 1984]. Повышенный прирост леса вследствие его замены молодым поколением после вырубki также увеличивает расход влаги [Федоренко, Реймерс, 1983]. Рубки леса нарушают температурный баланс приземного слоя атмосферы, хотя в какой-то мере понижение температуры вследствие снижения планетарного альбедо компенсируется ее повышением в результате парникового эффекта [Ефимова, 1983]. В этой связи подход к установлению защитной спелости лесов на основе анализа динамики приростов фитомассы [Токмурзин, 1984] выглядит односторонним. Велика водо- и почвозащитная роль этих лесов. Они снижают иссушающее действие ветров, повышают урожайность сельскохозяйственных культур, несут значительную рекреационную нагрузку, иными словами, обеспечивают повышенную долю так называемых «невесомых» полезностей.

Наконец, мозаичный характер лесов, имеющий следствием низкие запасы древесины на единице площади региона, создает специфичную конъюнктуру лесопереработки и лесопотребления. Основная масса заготавливаемой лесхозами древесины, из которой более половины — береза, поставляется местным совхозам, строительным и промышленным организациям, населению в виде круглых лесоматериалов, а также в виде продукции цехов ширпотреба. Эти цехи не могут решить проблемы полной комплексной переработки всей древесины, поскольку используют незначительную, главным образом толстомерную ее часть, обладающую лучшими техническими качествами. Затруднена механизация

ция процессов деревообработки в силу широкого ассортимента выпускаемых товаров, включающего в отдельных лесхозах до 100 наименований, из которых лишь четвертая часть выпускается в течение 3—4 лет [Токмурзин, 1972]. Это влечет за собой дальнейшее обострение напряженности баланса трудовых ресурсов в лесхозах, особенно в летний период.

В этих специфичных экологических и экономических условиях проблема полного использования фитомассы древостоев не может быть решена без ориентации на дробление тонкомерной древесины и отходов лесозаготовок и деревообработки с превращением их в технологическую щепу — транспортабельный полуфабрикат многовариантного использования [Усольцев, 1982].

На основе разработанных автором нормативов по учету всей фитомассы древостоев выявлены (табл. 6.1) значительные неиспользуемые ресурсы древесины — 921 тыс. м<sup>3</sup>, и частично используемые ресурсы древесной зелени — 61 тыс. т [Усольцев, 1978, 1982]. Выполнена качественная оценка тонкомерной древесины и отходов как сырья для древесных плит [Усольцев, 1971, 1973в, 1975] и древесной зелени как сырья для витаминной муки [Усольцев, 1972а, б, 1973а, б, 1983б]. Древесные неиспользуемые ресурсы включают стволую древесину от прочисток и прореживаний и половину ее от проходных рубок (в основном лиственные породы), а также отходы деревообработки и массу крон деревьев от всех видов рубок за вычетом потерь при заготовке и транспортировке (табл. 6.1). Ресурсы древесного сырья от плантационных культур, необходимость перехода на которые в связи с отказом от традиционных показана А. И. Прохоровым с соавторами [1985б], в табл. 6.1 не включены.

Расчеты показали, что при использовании современных технических средств заготовки и транспортировки технологической щепы ее себестоимость при концентрации и реализации на лесосеке составляет 9 руб./пл. м<sup>3</sup>, на нижнем складе лесхоза — 11 и в областном центре — 14 руб./пл. м<sup>3</sup>. Себестоимость технологической щепы из отходов деревообработки при реализации на нижнем складе лесхоза — 4 руб./пл. м<sup>3</sup>, в областном центре — 7 руб./пл. м<sup>3</sup>, однако доля такой щепы в общем объеме незначительная (см. табл. 6.1). Оптовая отпускная цена на щепу из лиственных пород для V пояса — 16 р. 10 к. за 1 пл./м<sup>3</sup> [Прейску-



Таблица 6.1

## Ресурсы тонкомерной древесины и отходов в Северном Казахстане

Область	Число лесхозов в области	Древесное сырье для выработки технологической щепы, тыс. м <sup>3</sup>						Древесная щесть хвойных и лиственных пород, тыс. т	
		всего		в том числе				лесхоз	лесхоз
		область	лесхоз	от рубок ухода и лесовосстановительных		от переработки древесины в цехах шпиротрера			
				область	лесхоз	область	лесхоз	область	лесхоз
Кокчетавская	12	157	13	139	11,5	18	1,5	3,6	0,3
Кустанайская	10	115	11	93	9	22	2	7,1	0,7
Павлодарская	7	112	16	91	14	21	2	15,8	4,0
Семпалатинская	11	211	19	189	17	22	2	12,3	4,1
Северо-Казахстанская	12	167	14	140	12	27	2	16,9	4,4
Целиноградская	9	159	18	137	15	22	3	5,0	0,6
Итого . . .	61	921	16	789	14	132	2	60,7	4,0

рант..., 1980]. При поставке щепы с конечного склада предприятия-поставщика с соответствующих оптовых цен применяется скидка в размере 2 руб./пл. м<sup>3</sup> [Прейскурант..., 1980, с. 11]. От продажи щепы действующим в Казахстане цехам и заводам древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит по цене 14 р. 10 к. прибыль лесхозов составит не менее 3 руб./пл. м<sup>3</sup>, или на весь объем неиспользуемых древесных ресурсов — около 2,8 млн руб./год. Перерабатывающие предприятия (заводы древесных плит) за счет использования названных ресурсов древесины могут иметь дополнительную продукцию примерно на 50—60 млн руб. с экономическим эффектом 8—13 млн руб./год. Эти предприятия заинтересованы в поставках им щепы предприятиями лесного хозяйства в силу более низкой ее стоимости: по данным Усть-Каменогорского завода древесно-волоконистых плит и Павлодарского картонно-рубероидного завода, себестоимость щепы из древесины, завезенной из многолесных районов страны, составляет 20—22 руб./пл. м<sup>3</sup>. При транспортировке щепы большегрузными автощеповозами затраты на перевозку 1 пл. м<sup>3</sup> с погрузкой-выгрузкой составляют 1,5—2,0 руб. на 100 км, т. е. при транспортировке на расстояние до 500 км общие затраты на щепу у потребителя не превысят 22 руб./пл. м<sup>3</sup>. Таким образом, организация производства технологической щепы в лесхозах Северного Казахстана даст экономический эффект как ее поставщику, так и потребителю [Усольцев, 1978, 1982].

В качестве второго варианта полного использования древесных ресурсов Северного Казахстана предлагается строительство цехов древесно-стружечных плит. Расчеты показали, что организация цехов малой мощности (5—10 тыс. м<sup>3</sup>) вследствие их нерентабельности нецелесообразна. Это подтверждается и опытом работы таких цехов в Кустанайской области. Укрупненные предприятия (75—150 тыс. м<sup>3</sup>) более перспективны, поскольку эффект от снижения производственных издержек в результате укрупнения предприятия перекрывает рост транспортных затрат на сырье. Исходя из наличия сырья, рассчитаны возможный объем производства древесно-стружечных плит и получаемый экономический эффект по каждому облуправлению (табл. 6.2). Отпускная цена 1 м<sup>3</sup> древесно-стружечных плит 95 руб./м<sup>3</sup>.

Возможные объемы выпуска древесно-стружечных плит и витаминной муки из древесной зелени по областям Северного Казахстана и ожидаемый экономический эффект

Область	Древесно-стружечные плиты		Витаминная мука из древесной зелени	
	объем производства, тыс. м <sup>3</sup>	экономический эффект, тыс. руб.	объем производства, тыс. т	экономический эффект, тыс. руб.
Кокчетавская	100	2 500	1,4	119
Кустанайская	75	1 650	2,8	238
Павлодарская	75	1 650	6,3	535
Семипалатинская	140	3 500	4,9	416
Северо-Казахстанская	110	2 750	6,8	578
Целиноградская	100	2 500	2,0	170
Итого . . .	600	14 550	24,2	2056

Из имеющихся в наличии 61 тыс. т древесной зелени хвойных и лиственных пород около 1/3 перерабатывается на хвойно-витаминную муку в объеме 7 тыс. т. Внедрение современного комплекса машин по заготовке и переработке древесной зелени дает возможность освоить остальные 40 тыс. т древесной зелени, главным образом лиственных пород. Технология производства витаминной муки, разработанная НПО «Силава», позволяет вырабатывать витаминную муку из древесной зелени любых пород в произвольных соотношениях. При отпускной цене витаминной муки из древесной зелени в Казахстане 175 руб./т экономический эффект — 85 руб./т муки, или на весь дополнительный объем выработки витаминной муки (14 тыс. т) — около 1,2 млн руб.

### 6.3. ВЫВОДЫ

1. Возрастающие трудности в обеспечении человека основными видами ресурсов: энергией, продовольствием, материалами и др. — определяют необходимость совершенствования структуры лесохозяйственно-промышленного комплекса страны. Современные тенденции развития биоэнергетики, кормопроизводства на базе древесных отходов и технологии лесоперерабаты-

вающих производств требуют актуализации действующих нормативов по учету древесных запасов с ориентацией их на оценку всей фитомассы древостоев.

2. Несмотря на лесодефицитность лесостепной зоны, местные ресурсы древесины используются далеко не полностью.

3. При проведении рубок ухода и лесовосстановительных с учетом отходов деревообработки в Северном Казахстане остается без применения около 920 тыс. м<sup>3</sup> низкокачественной древесины (примерно 1/4 объема заготовки) и около 40 тыс. т древесной зелени.

4. Организация производства технологической щепы на базе современной техники и технологии даст лесному хозяйству Северного Казахстана годовой экономический эффект 2,8 млн руб.

5. Использование всей древесной зелени, получаемой при рубках хвойных и лиственных пород, даст дополнительный годовой экономический эффект 1,2 млн руб.

6. Организация производства древесно-стружечных плит в Северном Казахстане на централизованных предприятиях с объемом производства 75—140 тыс. м<sup>3</sup> даст дополнительно 600 тыс. м<sup>3</sup> древесных плит при годовом экономическом эффекте около 14 млн руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современных тенденций в оценке народнохозяйственной и биосферной роли леса показывает, что требования к уровню наших знаний о количественной и качественной характеристиках фитомассы лесов, ее структуре по составляющим компонентам и пространственному распределению существенно повысились. Возникает потребность в новых методах исследования роста и структуры фитомассы лесов, позволяющих оценивать полифакториальное влияние на нее онтогенетических, экологических и других воздействий. Адекватное применение метода многомерного регрессионного анализа с использованием массовых экспериментальных данных, представленных в широком диапазоне определяющих факторов воздействия, позволило установить, что основные показатели фитомассы — количественные, качественные и морфометрические, а также отношения надземных и подземных фракций определяются в основном совокупностью одних и тех же факторов — онтогенетического и экологических, опосредованных дендрометрическими характеристиками деревьев и древостоев. Глобальный характер их воздействия на структуру фитомассы обуславливает возможность и необходимость исследования таких влияний на биопродукционный процесс фитоценоза с целью его оптимизации. Лесная фитомасса аккумулирует ретроспективную информацию о реакции фитоценоза на воздействия эндо- и экзогенных факторов в пространстве и во времени, и овладение методами расшифровки этой информации является необходимым условием для оптимизации названного процесса.

Основные факторы, определяющие фитомассу фракций на уровне дерева, — возраст, класс бонитета, густота древостоя и диаметр ствола. При оценке массы

хвои дерева лучшие результаты дает двухфакторная регрессионная модель, включающая диаметр ствола и радиальный прирост на трети высоты ствола. Факторы, определяющие массу фракций на уровне древостоя, — возраст, класс бонитета, запаса и средний диаметр древостоя. Зная возрастную динамику среднего диаметра по классам бонитета и в связи с текущей густотой, можно прогнозировать изменение фитомассы по параметрам местных или всеобщих ТХР.

Анализ оптимальных и предельных ценогических состояний древостоев по показателям продуктивности различных фракций фитомассы показал, что количественное выражение оптимального и предельного состояния древостоя определяется только массой листвы (хвои). Установлена и продемонстрирована на конкретных примерах определяющая роль показателя массы листвы (хвои), как наиболее динамичной и важной в биопродукционном процессе структурной составляющей полога, в количественном выражении и диагностике эколого-ценогических состояний древостоев. В статике древостоя масса стволовой древесины с увеличением густоты монотонно нарастает вследствие смыкания биогрупп и заполнения всех «окоп» полога. Правые ветви кривых ограничены линией предельной густоты, параметры которой дает система колоколообразных кривых изменения массы листвы (хвои) с густотой. В статике биогрупп масса стволовой древесины изменяется с густотой не по монотонной, а по колоколообразной кривой вследствие неоднородности ценогического, эдафического и генетического фонов в пределах древостоя. Необходимы адекватные методы их расчленения.

Колоколообразная кривая изменения фитомассы на 1 га с густотой в статике свойственна лишь физиологически активной части фитомассы: пологу древостоев или общей надземной фитомассе в однолетних сельскохозяйственных культурах. Для фракций, депонирующих ассимиляты за всю многолетнюю историю роста ценоза, кривые имеют монотонно нарастающий тренд при условии стабильности их средней высоты. Если же перегущение вызывает существенное снижение высоты, то при экстремально большей густоте может наступать стагнация и даже снижение фитомассы на единице площади. Представляет интерес установление причин снижения высоты древостоев при большей гу-

стоте: или сказывается генотипическая изменчивость, или влияние эдафического фактора (неоднородность условий произрастания), или ценотического (снижение эффективности фотосинтеза вследствие перегущения), или каких-то их сочетаний. Это составит предмет специального исследования динамики предельных и оптимальных ценотических состояний древостоев, в процессе которого будут реализованы рекуррентные системы (4.45) и (4.46).

Итак, предложенный в книге метод описания биопродуктивности деревьев и древостоев с помощью рекуррентных систем регрессионных уравнений является основным инструментом, обеспечившим получение существенных практических результатов, и служит основой построения феноменологической теории продуктивности древостоев. На основе этого метода разработаны общие принципы полифакториальной оценки биопродуктивности древостоев, процедуру которой можно представить схемой: экспериментальные данные фитомассы  $\rightarrow$  многомерная регрессия  $\rightarrow$  динамическая (имитационная) модель.

В простейшем случае рекуррентная система включает одно основополагающее многомерное регрессионное уравнение и одно вспомогательное, имеющее локальный характер, специфичный для той или иной совокупности деревьев и древостоев либо для соответствующих им таксационных нормативов. Сказанное определяет многовариантность системы в целом. Таким образом, рекуррентный принцип позволяет разрабатывать гибкие и универсальные модели, имитирующие динамику количественных и качественных показателей фитомассы деревьев и древостоев при различных условиях роста и воздействия на них. Основные достоинства рекуррентного принципа: **в теоретическом плане** — это возможность разложения многофакторной зависимости или интегрального искомого показателя на исходные составляющие как важное условие реализации системного подхода. Например, любая колоколообразная кривая в биологии в принципе может быть расчленена на две монотонные составляющие; **в практическом плане** — это многовариантность рекуррентной системы, обеспечивающая совмещение той или иной регрессионной модели фитомассы с соответствующими региональными или всеобщими таксационными нормативами и построение имитационной модели динамики

Электронный архив УГБТУ

количественных или качественных показателей фитомассы.

Автором предложено 20 рекуррентных систем, различных по структуре и назначению. На их основе разработана процедура диагностирования и выявления динамики эколого-ценологических состояний древостоев, составлены таблицы количественных показателей фитомассы в статике на уровне отдельной ветви, дерева и древостоя и в динамике — на уровне дерева, биогруппы и древостоя, а также качественных показателей фитомассы стволов и ветвей. Сказанное свидетельствует о всеобщем и универсальном характере предложенной рекуррентной концепции, которая должна найти применение при прогнозировании биологической продуктивности древостоев и составляющих их деревьев.

Загрязнение природной среды как неизбежное последствие технического прогресса и особая экологическая, экономическая и социальная роль древесного яруса в природных экосистемах определяют необходимость организации научного мониторинга лесных экосистем. Этой цели служат модели динамики структуры и продуктивности древостоев, разрабатываемые на основе закономерностей роста и отпада деревьев. Их синтез и проведение на разрабатываемых моделях имитационных экспериментов дают возможность оценки и прогноза ответных реакций древесного яруса. В нашей стране имеется опыт построения подобной модели, основанной на гипотезе об ускорении процессов старения в загрязненной природной среде [Юкнис, 1986; Юкнис, Лекене, 1986]. При воздействии поллютантов снижается продуктивность фотосинтеза, ускоряется процесс естественного изреживания древостоя, происходят другие необратимые процессы, в результате которых смещаются как соотношения фракций фитомассы, так и положение линий оптимальной и предельной густоты. Исследование закономерностей подобных смещений на основе предложенных рекуррентных систем и имитационного моделирования представляет перспективное направление в научном мониторинге лесных экосистем, заключительный этап которого — разработка объясняющих моделей их функционирования, ныне пока отсутствующих [Антанайтис, 1986].

Модель описывает явление в более сжатом виде, чем при непосредственном наблюдении. О совокупно-



сти моделей, описывающих и объясняющих широкий круг явлений, можно говорить как о теории [Брусилковский, 1985]. Предложенная в книге серия рекуррентных регрессионных систем представляет фрагменты чрезвычайно сложного и многообразного процесса продуцирования лесного фитоценоза. Представленные здесь модели морфометрического плана описывают изменение количественных и качественных показателей лесной фитомассы и ее структуры и не несут функции, объясняющей механизм биопродукционного процесса. Тем не менее предложенный подход может внести существенный вклад в развитие и становление феноменологической теории биологической продуктивности лесов.

Итак, в книге реализована программа комплексной оценки фитомассы деревьев и древостоев в крупном регионе, в результате чего актуализирована нормативная база лесоинвентаризации в направлении учета и использования всей фитомассы древостоев. Совокупность предложенных методов и принципиальных подходов создает основу для нового перспективного научного направления: эколого-таксационный анализ лесосырьевых ресурсов и их учет в условиях комплексного использования всей фитомассы древостоев.

## ЛИТЕРАТУРА

- Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей.— М.: Финансы и статистика, 1985.— 487 с.
- Алексеева Т. В узком коридоре специализации // Лят. газ.— 1986.— 18 июня.— С. 11.
- Аллен Р. Как спасти Землю: Всемирная стратегия охраны природы.— М.: Мысль, 1983.— 172 с.
- Антанайтис В. В. Моделирование производительности древостоев в целях мониторинга лесов // Моделирование и контроль производительности древостоев.— Каунас: ЛитСХА, 1983.— С. 6—8.
- Антанайтис В. В. Изучение роста древостоев на экологической основе // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985.— С. 11—14.
- Антанайтис В. В. Предисловие // Мониторинг лесных экосистем: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1986.— С. 3—4.
- Артемьева Н. В., Бузыкин А. И., Кофман Г. Б. Зависимость формы стволов от их размеров // Моделирование и контроль производительности древостоев.— Каунас: ЛитСХА, 1983.— С. 108—109.
- Артемьева Н. В., Кофман Г. Б. Пределы применимости гипотезы единства средней формы стволов // Лесоведение.— 1984.— № 4.— С. 73—81.
- Аткин А. С. Масса корней сосны на гранитных интрузиях Казахского мелкосопочника // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1978.— № 6.— С. 82—86.
- Атрощенко О. А., Костенко А. Г. Направления применения моделей роста леса (на примере БССР).— Минск: БелНИИЛТИ, 1980.— 48 с.
- Ахромейко А. П. Бузулукский бор.— М.; Л.: Гослесбуиздат, 1950.— Т. 3: Физиологическое обоснование развития сосны в степях.— 264 с.
- Баркявичус Э. Л. Математическое моделирование производительности древостоев, произрастающих в условиях локального загрязнения природной среды // Математическое моделирование в биогеоценологии: Тез. докл.— Петрозаводск: Ин-т биологии КФ АН СССР, 1985.— С. 19—20.
- Белов С. В. Ветер — главный фактор, определяющий форму стволов и их устойчивость // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение.— Л.: ЛТА, 1974.— Вып. 3.— С. 3—24.
- Биологическая продуктивность лесов Поволжья/Под ред. С. Э. Вомперского.— М.: Наука, 1982.— 282 с.

- Бирюков В. Н. Группы типов леса Казахстана. — Алма-Ата: Кайнар, 1982. — 44 с.
- Бирюкова З. П., Бирюков В. Н. Эколого-физиологические аспекты устойчивости искусственных насаждений в Северном Казахстане // Экология лесных сообществ Сев. Казахстана. — Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1984. — С. 8—16.
- Блауберг И. В., Юдин Э. Г. Становление и сущность системного подхода. — М.: Наука, 1973. — 270 с.
- Брусиловский П. М. Становление математической биологии. — М.: Знание, 1985. — 64 с. — (Биология; 3/1985).
- Брусиловский П. М., Розенберг Г. С. Имитация, самоорганизация и экология. — Уфа, 1981. — 40 с. — (Препринт/Ин-т биол. ВФ АН СССР).
- Бузыккин А. И., Пшеничникова Л. С. Формирование сосново-лиственных молодняков. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. — 176 с.
- Вальтер Г. Растительность земного шара. — М.: Прогресс, 1974. — Т. 2: Эколого-физиологическая характеристика. — 423 с.
- Вараксин Ф. Д., Ступнев Г. К. Основные направления технического прогресса лесной и деревообрабатывающей промышленности. — М.: Лесн. пром-сть, 1974. — 400 с.
- Ватковский О. С. Анализ формирования первичной продуктивности лесов. — М.: Наука, 1976. — 115 с.
- Вейсов С., Каплин В. Г. К методике определения надземной фитомассы белого саксаула в Восточных Каракумах // Пробл. освоения пустынь. — 1976. — № 1. — С. 60—64.
- Велихов Е. П. Информатика — актуальное направление развития советской науки // Кибернетика. Становление информатики. — М.: Наука, 1986. — С. 10—21.
- Вибе Г. Г. Изучение состояния защитных лесонасаждений в сухой степи и полупустыне // Вестн. с.-х. науки. — 1976. — № 10. — С. 81—88.
- Виноградов В. Н. Проблемы охраны природы и рационального использования природных ресурсов // Лесн. хоз-во. — 1984. — № 7. — С. 2—8.
- Воронков Н. А. Водный режим и формирование молодняков сосны на песках Среднего Дона // Науч. докл. высш. шк.: Биол. науки. — 1963. — № 3. — С. 131—138.
- Воронков Н. А. Запасы хвой в культурах сосны в связи с их возрастом и водным режимом // Лесоведение. — 1970. — № 5. — С. 37—45.
- Габеев В. Н. Биологическая продуктивность лесов Приобья. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. — 171 с.
- Гаель А. В., Воронков Н. А. О взаимоотношениях древесной и травянистой растительности в островных борах Казахстана // Науч. докл. высш. шк.: Биол. науки. — 1963. — № 2. — С. 131—139.
- Галицкий В. В., Крылов А. А. Моделирование динамики растительных сообществ: Двумерная модель одновидового разновозрастного сообщества. — Пушкино: Ин-т почвоведения и фотосинтеза, 1984. — 47 с. — (Экомодель; вып. 9).
- Гельтман В. С., Ловчий Н. Ф. Экологические составляющие закономерностей роста и производительности древостоев // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл. — Каунас: ЛитСХА, 1985. — С. 19—21.

- Георгиевский Н. П. О развитии насаждений при рубках ухода // Развитие русского лесоводства.— М.; Л.: Гос. лесотехн. изд-во, 1948.— С. 112—179.
- Гирусов Э. В. Экологическое сознание как условие оптимизации взаимодействия общества и природы // Философские проблемы глобальной экологии.— М.: Наука, 1983.— С. 105—120.
- Глинский Б. А., Грязнов Б. С., Дынин Б. С., Никитин Е. П. Моделирование как метод научного исследования: глосеологический анализ.— М.: Изд-во МГУ, 1965.— 248 с.
- Голиков В. В. Плотность коры ветвей светлохвойных пород Сибири // Лиственница и ее использование в народном хозяйстве.— Красноярск: СТИ, 1982.— С. 23—25.
- Горбатенко В. М., Протопопов В. В. О точности учета фитомассы крои и хвои сосновых древостоев // Лесн. хоз-во.— 1971.— № 4.— С. 39—41.
- Гордина Н. П. Пространственная структура и продуктивность сосняков Нижнего Енисея.— Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1985.— 128 с.
- Грибанов Л. Н., Лагов И. А., Чабан П. С. Леса Казахстана // Леса СССР.— М.: Наука, 1970.— Т. 5.— С. 5—77.
- Гудочкин М. В. Таксационные элементы белосаксаульников пустыни Кызыл-Кум // Науч. тр./КазНИИЛХА.— 1961.— Т. 3.— С. 61—109.
- Гудочкин М. В., Михайленко О. Е., Степанов Л. И. Леса Казахстана.— Алма-Ата: Кайнар, 1968.— 201 с.
- Гульбе Я. И. Фитомасса и годичная продукция неморально-кисличных сероольшаников Ярославской области // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985.— С. 216—218.
- Гусев И. И., Львов П. Н. Лесной фонд европейского Севера и перспектива использования его сырьевой базы // Рациональное использование лесного фонда Северо-Запада РСФСР и охрана окружающей среды.— Л.: ЛТА, 1985.— С. 21—24.
- Данилов В. Н. Особенности таксации саксауловых лесов Средней Азии // Лесн. хоз-во.— 1952.— № 5.— С. 59—60.
- Данилов М. Д. Динамика листовой массы и поверхности в березовых древостоях с возрастом // Науч. тр./Поволжский ЛТИ.— 1956.— Т. 51.— С. 87—108.
- Данилов Ю. И. К методике изучения биологической продуктивности древостоев // Стабильность и продуктивность лесных экосистем: Тез. докл.— Тарту: Тартуский ун-т, 1985.— С. 42—43.
- Данченко А. М. Качество древесины *Betula pubescens* и *B. verrucosa* Ehrh. из Северного Казахстана // Раст. ресурсы.— 1975.— Т. 11, № 4.— С. 560—565.
- Даугавиетис М. О. Методические вопросы исследований технико-экономических аспектов использования всей биомассы дерева // Фундаментальные исследования в области комплексного использования древесины. Тез. докл. 4-го Междунар. симпоз. ученых стран — членов СЭВ.— Рига: Зинатне, 1982.— С. 37—39.
- Детлаф Т. А., Детлаф А. А. Безразмерные критерии как метод количественной характеристики развития животных // Математическая биология развития.— М.: Наука, 1982.— С. 25—39.

- Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии.— М.: Мир, 1981.— 256 с.
- Джонстон Дж. Эконометрические методы.— М.: Статистика, 1980.— 446 с.
- Доброхотов В., Лалаянц А., Стырикович М. Биоэнергетика в начале пути // Правда.— 1984.— 28 июня.
- Дородницын А. А. Информатика: предмет и задачи // Кибернетика. Становление информатики.— М.: Наука, 1986.— С. 22—28.
- Доскач А. Г. Основные черты строения рельефа Северного Казахстана // Природное районирование Северного Казахстана.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960.— С. 23—41.
- Егоров В. А., Каллистов Ю. Н., Митрофанов В. Б., Пионтковский А. А. Математические модели глобального развития.— Л.: Гидрометеоиздат, 1980.— 192 с.
- Ермоленко П. М., Ермоленко Л. Г. Высотно-поясные особенности роста кедра и пихты в Западном Саяне // Формирование и продуктивность древостоев.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981.— С. 19—53.
- Ефимова Н. А. Влияние вырубки лесов на изменения планетарного альбедо и температуры воздуха // Метеорология и гидрология.— 1983.— № 5.— С. 20—25.
- Жирин В. М. Некоторые вопросы таксации пустынных лесов // Материалы науч.-техн. конфер. 1966 г.— Л.: ЛТА, 1966.— Вып. 2.— С. 42—48.
- Загреев В. В. Влияние полноты на текущий прирост сосновых насаждений // Лесн. хоз-во.— 1962.— № 9.— С. 42—47.
- Загреев В. В. Всеобщие таблицы хода роста нормальных сосновых насаждений // Современное лесоустройство и таксация леса.— М.: ВНИИЛМ, 1974.— С. 67—101.
- Загреев В. В., Гусев Н. Н., Саликов Н. Я. Методические рекомендации по составлению таблиц хода роста древостоев.— Пушкино: ВНИИЛМ, 1975.— 36 с.
- Захаров В. К. Новое в методике исследования формы древесных стволов и составление таблиц объема и сбega // Науч. тр./Ин-т леса АН БССР.— Минск, 1955.— Вып. 6.— С. 16—20.
- Захаров В. К. Лесная таксация.— М.: Лесн. пром-сть, 1967.— 406 с.
- Зюзь Н. С., Лобачева М. Е. Масса хвоя в сосновых молодняках сухой степи // Бюл. ВНИАЛМИ.— 1979.— № 2/30.— С. 16—20.
- Зябченко С. С. Сосновые леса европейского Севера.— Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1984.— 244 с.
- Иваницкий Г. Р., Куниский А. С. В поисках третьего измерения // Число и мысль.— М.: Знание, 1977.— С. 35—62.
- Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем.— Киев: Наук. думка, 1982.— 296 с.
- Иевинь И. К., Галванс У. И., Даугавиетис М. О., Балод В. В., Саусиня Э. Я. Комплексное использование древесины при рубках ухода.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 88 с.
- Иевинь И. К., Даугавиетис М. О., Кевиньш Ю. Ю. Механизация заготовки древесной зелени в Латвийской ССР.— Рига: ЛАТИНТИ, 1971.— 50 с.
- Исаева Л. Н. Особенности распределения влаги в различных частях древесины стволов кедра сибирского // Тр. Ин-та/Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР.— М.: Изд-во АН СССР, 1963.— С. 77—82.

- Исаева Л. П. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение.— 1978.— № 4.— С. 90—94.
- Казарян В. О. Старение высших растений.— М.: Наука, 1969.— 314 с.
- Казимиров Н. П., Митруков А. Е. Изменчивость и математическая модель фитомассы основных деревьев и древостоев // Формирование и продуктивность сосновых насаждений Карельской АССР и Мурманской области.— Петрозаводск: Ин-т леса КФ АН СССР, 1978.— С. 142—148.
- Кайрокуштис Л. А., Юодвалькис А. И. Критерии оптимальной густоты при моделировании максимально продуктивных лесных биогеоценозов // Биофизические и системные исследования в лесной биогеоценологии: Тез. докл.— Петрозаводск: Ин-т леса КФ АН СССР, 1976.— С. 89—90.
- Ковалев Ю. Л. Биометрическое обоснование площади питания деревьев и оптимальной ажурности лесных полос: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.— Волгоград: ВНИАЛМИ, 1981.— 25 с.
- Кожевников А. М., Ефименко В. М., Решетников В. Ф. Модели роста надземной фитомассы полных и оптимально изреживаемых еловых культур // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985.— С. 221—223.
- Коловский Р. А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— 176 с.
- Коссович Н. Л. Влияние рубок ухода на ассимиляцию, освещение и прирост ели в елово-лиственном древостое // Рубки ухода за лесом.— Л.: ЦНИИЛХ, 1940.— С. 90—135.
- Коссович Н. Л. Фотосинтез и продуктивность 45-летних елей в елово-лиственном древостое в результате рубок ухода 6-летней давности // Световой режим, фотосинтез и продуктивность леса.— М.: Наука, 1967.— С. 129—150.
- Кофман Г. Б. Приложениия теории подобия к анализу роста и изреживания древостоев: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Красноярск: Ин-т физики СО АН СССР, 1981.— 23 с.
- Кофман Г. Б. Уравнения роста и онтогенетическая аллометрия // Математическая биология развития.— М.: Наука, 1982.— С. 49—55.
- Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— 211 с.
- Кофман Г. Б., Кузьмичев В. В. Видоспецифичность естественного изреживания древостоев // Формирование эталонных насаждений: Тез. докл.— Каунас; Гирионис: ЛитНИИЛХ, 1979.— Ч. 1.— С. 99—101.
- Кравченко Г. Л. Архитектоника древостоев сосны обыкновенной: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу лесн. таксации.— Брянск: Брянский технол. ин-т, 1977.— 17 с.
- Кричун В. М. Таблицы веса деревьев саксаула // Науч. тр./КазНИИЛХА.— 1965.— Т. 5, вып. 2.— С. 16—19.
- Кричун В. М., Усольцев В. А. Форма и объем сучьев березы Северного Казахстана // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1978.— № 7.— С. 93—98.
- Кричун В. М., Усольцев В. А. Регрессионные модели надземной фитомассы белого саксаула // Там же.— 1979.— № 10.— С. 53—56.

- Кузьмичев В. В.** Анализ способов определения объема стоящих деревьев и запаса древостоев (на примере Минусинских боров) // Таксационные исследования лесов Сибири.— Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1977.— С. 91—125.
- Кузьмичев В. В.** Эколого-ценотические закономерности роста однообразных сосновых древостоев: Автореф. дис. ... — докт. биол. наук.— Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1980.— 34 с.
- Кузьмичев В. В.** Влияние густоты, возраста и производительности на изменение суммы площадей сечений и запаса древостоев // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985.— С. 44—46.
- Куль К., Оя Т.** Структура физиологических моделей роста деревьев // Изв. АН ЭстССР. Биология.— 1984.— Т. 33, № 1.— С. 33—41.
- Кучко А. А.** Продуктивность надземной фитомассы в березняках Хибинских гор // Лесоведение.— 1975.— № 1.— С. 37—41.
- Лагунов П. М., Харитонов Б. Е., Усольцев В. А.** Оценка фитомассы саксауловых лесов Казахстана // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1986.— № 8.— С. 72—77.
- Лебков В. Ф.** Задачи и пути совершенствования теории и практики лесоустройства // Лесоведение.— 1986.— № 6.— С. 3—10.
- Леонтьев В. Л.** Об определении запаса саксаульников // Ботан. журн.— 1950.— Т. 35, № 6.— С. 637—645.
- Леонтьев В. Л.** Саксауловые леса пустыни Кара-Кум.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954.— 92 с.
- Лесоа таксационный справочник по Северо-Западу СССР.**— Л.: ЛТА, 1984.— 320 с.
- Липа И. Я.** Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология.— Рига: Зинатне, 1980.— 170 с.
- Липа И. Я., Усольцев В. А.** Определение текущего прироста по запасу в березняках Северного Казахстана // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1985.— № 8.— С. 80—83.
- Липа И. Я., Усольцев В. А.** Определение текущего прироста по запасу в сосняках островных боров // Там же.— 1986.— № 4.— С. 68—70.
- Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И.** Физиология древесных растений.— М.: Лесн. пром-сть, 1974.— 424 с.
- Макаренко А. А.** О свойствах рядов распределения деревьев в древостоях // Лесоведение.— 1975.— № 6.— С. 42—50.
- Макаренко А. А.** Закономерности формирования сосновых насаждений Казахстана // Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов Казахстана/КазНИИЛХА.— Щучинск, 1984.— С. 33—43.— Деп. в КазНИИТИ 02.07.84, № 703 Ка-84.
- Макаренко А. А., Колгунова А. И., Рапп Я. А.** О возможностях применения семейства кривых Пирсона в лесоводственных исследованиях // Науч. тр./КазНИИЛХА.— 1978.— Т. 10.— С. 3—12.
- Макаренко А. А., Маленко А. А.** Структура фитомассы молодых сосны ленточных боров Казахстана // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1984.— № 6.— С. 79—82.
- Мак-Лоун Р. Р.** Математическое моделирование — искусство

- применения математики // Математическое моделирование.— М.: Мир, 1979.— С. 9—20.
- Малаыин А. Н.** Почвенный покров песчаного массива Аман-Карагайского бора // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1975.— № 3.— С. 83—88.
- Маленко Э.** Статистические методы в эконометрии.— М.: Статистика, 1975.— Вып. 1.— 422 с.; 1976.— Вып. 2.— 325 с.
- Мамаев С. А.** Формы внутривидовой изменчивости древесных растений.— М.: Наука, 1972.— 284 с.
- Мауринь А. М.** Принцип необратимости в моделировании биоэкологических систем // Моделирование и прогнозирование в экологии.— Рига: Латв. ун-т, 1978.— С. 15—21.
- Мауринь А. М.** Проблема биологического времени и функция Бакмана // Моделирование и прогнозирование в экологии.— Рига: Латв. ун-т, 1980.— С. 3—22.
- Мерзленко М. Д.** Теоретические аспекты зависимости оптимальной густоты стояния лесных культур от площади питания // Лесн. журн.— 1986.— № 1.— С. 28—31.
- Методические рекомендации по разработке таблиц для комплексного учета лесных растительных ресурсов Сибири/Ред. Л. К. Поздняков.**— Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1985.— 50 с.
- Мина Н. В., Клевезаль Г. А.** Рост животных.— М.: Наука, 1976.— 291 с.
- Моисеев Н. Н.** Математика ставит эксперимент.— М.: Наука, 1979.— 224 с.
- Молчанов А. А.** Продуктивность органической массы в лесах различных зон.— М.: Наука, 1971.— 275 с.
- Молчанов А. А.** Продуктивность органической массы в березовых древостоях Московской области // Продуктивность органической и биологической массы леса.— М.: Наука, 1974.— С. 141—161.
- Молчанов А. А., Смирнов В. В.** Методика изучения прироста древесных растений.— М.: Наука, 1967.— 100 с.
- Мошкалев А. Г.** Научные основы таксации товарной структуры древостоев: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук.— Л.: ЛТА, 1974.— 39 с.
- Мушегия А. М., Грибанов Л. Н., Инфантиев В. П.** К методике таксации саксаульников Казахстана // Лесн. хоз-во.— 1957.— № 8.— С. 33—36.
- Науменко З. М.** Продуктивность и биологический состав фитомассы березы в чистых березняках Нечерноземной зоны РСФСР // Раст. ресурсы.— 1978.— Т. 14, № 1.— С. 126—131.
- Никитин К. Е.** Лес и математика // Лесн. хоз-во.— 1965.— № 5.— С. 25—29.
- Никитин К. Е.** Теория определения объемов древесных стволов.— Киев: УкрСХА, 1979.— 51 с.
- Никитин К. Е., Швиденко А. З.** К вопросу о математическом моделировании в лесном хозяйстве // Тез. докл. Всесоюз. науч.-произв. конф. по вопросам совершенствования лесн. хоз-ва.— Киев: Укр. СХА, 1973.— С. 219—220.
- Никитин К. Е., Швиденко А. З.** Методы и техника обработки лесоводственной информации.— М.: Лесн. пром-сть, 1978.— 272 с.
- Онучин А. А., Борисов А. Н.** Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев // Лесоведение.— 1984.— № 6.— С. 66—71.
- Определение экономической доступности ресурсов низкосорт-**



- ной древесины и древесных отходов лесозаготовок // Науч. тр. ЛТА. — 1968. — Т. 16. — 99 с.
- Оськина Н. В.** Почвенные условия и продуктивность фитомассы сосновых насаждений приокских террас в Московской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.— М.: МЛТИ, 1982.— 16 с.
- Оя Т. А.** О пространственной и временной изменчивости сложения древостоев (на примере ельника): Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— Тарту: Тартуский ун-т, 1984.— 16 с.
- Перельгин А. М., Уголев Б. Н.** Древесиноведение.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 318 с.
- Петров А. П.** Экономика промышленного использования низкосортной древесины и отходов.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 72 с.
- Петров А. П.** Организация комплексного использования лесных ресурсов.— М.: Лесн. пром-сть, 1978.— 184 с.
- Писаренко А. И., Мерзленко М. Д.** Основные подходы к решению вопросов густоты посадки лесных культур // Лесоведение.— 1979.— № 2.— С. 49—55.
- Питкиан А. И.** Применение методики Мичерлиха для установления оптимальной полноты и выравнивания опытных данных // Лесн. журн.— 1966.— № 1.— С. 17—19.
- Плитные материалы и изделия из древесины и других одревесневших растительных остатков без добавлений связующих/Под ред. В. Н. Петри.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 360 с.**
- Плохинский Н. А.** Математическое оснащение биологов // Методы современной биометрии.— М.: Изд-во МГУ, 1978.— С. 194—206.
- Поздняков Л. К.** Изучение продуктивности лесных растительных сообществ // Вопросы лесоведения.— Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1970.— Т. 1.— С. 92—100.
- Поздняков Л. К.** Лесное ресурсоведение.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973.— 120 с.
- Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М.** Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии.— Красноярск: Кн. изд-во, 1969.— 156 с.
- Полубояринов О. И.** Плотность древесины.— Л.: ЛТА, 1973.— 76 с.
- Полубояринов О. И.** Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины.— Там же.— 1974.— 96 с.
- Полубояринов О. И.** Плотность древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1976а.— 160 с.
- Полубояринов О. И.** Квалиметрия древесного сырья в процессе лесовыращивания: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук.— Л.: ЛТА, 1976б.— 46 с.
- Поляков А. В.** Шаговый линейный регрессионный анализ: Методические указания по обработке опытных данных на ЭВМ Минск-32 для дипломного проектирования и научно-исследовательской работы.— Киев: УкрСХА, 1982.— 40 с.
- Полякова Н. Ф.** Соотношения между массой листвы, приростом древесины и транспирацией // Докл. АН СССР.— 1954.— Т. 96, № 6.— С. 1261—1263.
- Полякова-Мищенко Н. Ф.** Облиственные широколиственных насаждений стеной зоны // Сообщ. Лаборатор. лесоведения АН СССР.— 1961.— Вып. 4.— С. 40—53.

- Прейскурант № 07—03. Оптовые цены на лесопroduкцию (включая дрова).— М.: Прейскурантгиз, 1980.— 144 с.
- Протопопов В. В. Некоторые особенности биофизического и биохимического влияния лесов Западного Саяна на среду // Материалы науч. конф. по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока.— Красноярск: СТИ, 1965.— С. 140—153.
- Протопопов В. В. Методологическое значение биогеоценотического подхода в изучении средообразующей роли леса // Проблемы лесной биогеоценологии.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 3—14.
- Протопопов В. В., Зюбина В. И. Взаимосвязь климатических факторов среды с фитомассой насаждений и методика ее расчета // Экологическое влияние леса на среду.— Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1977.— С. 3—15.
- Прохоров А. И., Крепкий И. С., Усольцев В. А. Лесорастительные условия лесокультурного фонда Аман-Карагайского бора // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1985а.— № 4.— С. 71—75.
- Прохоров А. И., Крепкий И. С., Усольцев В. А., Прохоров Ю. А. Перспективы создания лесных культур сосны обыкновенной в условиях Северного Казахстана // Лесн. хоз-во.— 1985б.— № 10.— С. 42—44.
- Пугачев В. Ф. Оптимизация планирования: (Теоретические проблемы).— М.: Экономика, 1968.— 167 с.
- Пшеничникова Л. С., Бузыкин А. И. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Стабильность и продуктивность лесных экосистем: Тез. докл.— Тарту: Тартуский ун-т, 1985.— С. 112—113.
- Рахтеев И. Р., Якушев Б. И. Комплексный метод исследования корневых систем растений // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы.— М.: Наука, 1968.— С. 45—49.
- Рачкулик В. И., Ситникова М. В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова.— Л.: Гидрометеиздат, 1981.— 288 с.
- Реймерс Н. Ф. Системные основы природопользования // Философские проблемы глобальной экологии.— М.: Наука, 1983.— С. 121—161.
- Рождественский С. Г. Фитомасса и годичная продукция надземной части осиновых древостоев Ярославской области // Лесоведение.— 1979.— № 4.— С. 30—37.
- Рождественский С. Г. Биологическая продуктивность в возрастном ряду осинников Ярославской области // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985.— С. 225—227.
- Розенберг Г. С. Состояние и проблемы имитационного моделирования фитоценологических систем // Успехи соврем. биологии.— 1981.— Т. 91, № 2.— С. 293—307.
- Розенберг Г. С. Модели в фитоценологии.— М.: Наука, 1984.— 265 с.
- Розенберг Г. С., Феклистов П. А. Прогнозирование годичного прироста древесных растений методами самоорганизации // Экология.— 1982.— № 4.— С. 43—51.
- Рубцов В. И., Новосельцева А. И., Попов В. К., Рубцов В. В. Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне.— М.: Наука, 1976.— 223 с.
- Рубцов В. И., Рубцов В. В. Биологическая продуктивность 20-

- Самарский А. А.** Модели для открытий // Правда.— 1986.— 31 янв.
- Свирижев Ю. М.** Моделирование окружающей среды и проблема недостатка информации // Математические модели в экологии и генетике.— М.: Наука, 1981.— С. 17—22.
- Семечкина М. Г.** Структура фитомассы сосняков.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978.— 166 с.
- Сидаравичус И. М.** Изменение биологической продуктивности деревьев при различном уровне атмосферного загрязнения // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985.— С. 228—230.
- Сидоров В. А., Гирлов В. А., Волицук И. М.** О причинах ослабления и гибели лесных насаждений в Северном Казахстане // Науч. тр./КазНИИЛХА.— 1978.— Т. 10.— С. 125—138.
- Синицын С. Г., Сухих В. И.** Использование материалов многозональных и космических съемок в интересах лесного хозяйства // Аэрокосмические исследования Земли.— М.: Наука, 1979.— С. 86—101.
- Снягин И. И.** Площади питания растений.— М.: Россельхозиздат, 1975.— 384 с.
- Смагин В. И.** Основные закономерности развития и смены лесных биогеоценозов // Динамика лесных биогеоценозов Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 6—28.
- Смирнов В. В.** Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР.— М.: Наука, 1971.— 362 с.
- Смирнов И. М.** Материалистическая диалектика и современная теория эволюции.— М.: Наука, 1978.— 288 с.
- Соловьев В. А.** Научно-технические задачи в связи с полным использованием биомассы дерева и охраной природы // Рациональное использование лесного фонда Северо-Запада РСФСР и охрана окружающей среды: Тез. докл.— Л.: ЛТА, 1985.— С. 12—14.
- Справочник по таксации лесов Казахстана.**— Алма-Ата: Кайнар, 1980.— 314 с.
- Стадницкий Г. В.** Экологизация лесоводства // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение.— Л.: ЛТА, 1984.— С. 48—54.
- Тамаркин М. Л.** О весовом методе учета древесного сырья // Лесн. пром-сть.— 1968.— № 7.— С. 15.
- Терсков И. А., Терскова М. И.** Рост одновозрастных древостоев.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— 206 с.
- Технеряднов А. В., Шоманов Ж. Ш.** Определение весового запаса стволов с помощью условной плотности древесины в культурах сосны Чалдайского лесхоза // Науч. тр./КазСХИ.— 1976.— Т. 19, № 3.— С. 93—100.
- Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В.** Краткий очерк теории эволюции.— М.: Наука, 1977.— 297 с.
- Токмузин Т. Х.** Основное направление использования древесины местных заготовок в Казахстане // Материалы науч.-произв. конф. лесхоз. факультета КазСХИ.— Алма-Ата: КазСХИ, 1972.— С. 121—126.
- Токмузин Т. Х.** Принципы классификации приростов по элементам фитомассы древостоев и методы их определения // Актуальные проблемы лесного хозяйства Казахстана: Тез. докл.— Алма-Ата: КазСХИ, 1981.— С. 86—91.

- Токмурзин Т. Х.** Организация хозяйства в заповедных лесах, специализация и концентрация лесохозяйственного производства (на примере Казахской ССР): Автореф. дис. ... — докт. с.-х. наук.— Л.: ЛТА, 1984.— 41 с.
- Токмурзин Т. Х., Байзаков С. Б.** Рекомендации по таксации надземной массы и освоение древесной зелени сосновых и еловых лесов Казахстана.— Алма-Ата: КазСХИ, 1970.— 63 с.
- Токмурзин Т. Х., Нурпеисов К. Н.** Таблицы хода роста фитомассы древостоев сосны Прииртышья // Науч. тр/ КазСХИ.— 1976.— Т. 19, № 3.— С. 127—136.
- Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г.** Справочник таксатора.— М.; Л.: Гослесбуиздат, 1952.— 853 с.
- Тупыця Ю. Ю.** Принципы эколого-экономической оценки использования лесных ресурсов // Лесн. хоз-во.— 1974.— № 6.— С. 30—33.
- Тупыця Ю. Ю.** К вопросу о новом научном направлении // Лесн. хоз-во.— 1977.— № 7.— С. 17—20.
- Тябера А. П.** Объем коры, сучьев и масса хвои в сосняках Литвы // Лесн. журн.— 1981.— № 6.— С. 14—18.
- Тябера А. П.** Влияние площади роста деревьев на таксационные показатели и качество древесины сосняков Литовской ССР // Лесоведение.— 1982.— № 2.— С. 78—84.
- Урбах В. Ю.** Биометрические методы.— М.: Наука, 1964.— 415 с.
- Усольцев В. А.** Березовые сучья — сырье для производства древесно-стружечных плит // Информатор ЛатНИИЛХП: Обзоры текущих исследований.— Рига: ЛатНИИЛХП, 1971.— С. 78—83.
- Усольцев В. А.** Листва березы и осины как сырье для витаминной муки // Животноводство.— 1972а.— № 7.— С. 80.
- Усольцев В. А.** Лиственную древесную зелень — на нужды животноводства // Сел. хоз-во Казахстана.— 1972б.— № 8.— С. 42.
- Усольцев В. А.** Содержание и сохранность каротина в древесной зелени березы и осины // Лесн. хоз-во.— 1973а.— № 10.— С. 30—33.
- Усольцев В. А.** О сохранности каротина в листьях древесных пород // Исследования молодых ученых.— Алма-Ата: КазНИИЛХА, 1973б.— С. 98—99.
- Усольцев В. А.** Элементы биологической продуктивности березово-осиновых лесов Северного Казахстана: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.— Свердловск: УЛТИ, 1973в.— 26 с.
- Усольцев В. А.** Тонкомерные сортименты березы и осины для производства древесно-стружечных плит // Плиты и фанера: Реф. информация.— 1975.— № 10.— С. 6—7.
- Усольцев В. А.** Формирование ствола у березы семенного и порослевого происхождения в аспекте аллометрического роста // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1976.— № 7.— С. 83—88.
- Усольцев В. А.** Ресурсы и возможности переработки низкокачественного древесного сырья в Кустанайской области // Охрана и воспроизводство животного и растительного мира Сев. Казахстана: Тез. докл.— Алма-Ата: Кайнар, 1978.— С. 85—87.
- Усольцев В. А.** Обоснование комплексного использования тонкомерной древесины и отходов // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1982.— № 9.— С. 93—98.

- Усольцев В. А.** Прогнозирование биологической продуктивности березы и осины в колочных лесах // Там же.— 1983а.— № 6.— С. 69—77.
- Усольцев В. А.** Фитомасса древесных кроен в лесах Северного Казахстана и ее кормовое использование // Проблемы продовольственного и кормового использования недревесных и второстепенных лесных ресурсов: Тез. докл. Всесоюз. совещ. 24—26 мая 1983 г.— Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1983б.— С. 160.
- Усольцев В. А.** Использование всей фитомассы древостоев: Обзор/КазНИИЛХА.— Щучинск, 1983в.— 94 с.— Деп. в КазНИИТИ 25.01.84, № 560 Ка-Д84.
- Усольцев В. А.** О точности регрессионной оценки фитомассы древостоев // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1984.— № 9.— С. 77—83.
- Усольцев В. А.** Многомерная регрессионная оценка надземной фитомассы березы и осины в колочных лесах Казахстана и Сибири // Лесоведение.— 1985а.— № 1.— С. 3—12.
- Усольцев В. А.** Оценка показателей продуктивности в биогруппах разной густоты // Лесоведение.— 1985б.— № 2.— С. 68—78.
- Усольцев В. А.** Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев.— Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985в.— 191 с.
- Усольцев В. А.** Использование текущего прироста радиуса ствола в многомерной оценке фитомассы деревьев // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл.— Каунас: ЛитСХА, 1985 г.— С. 95—97.
- Усольцев В. А.** Продуктивность и структура фитомассы древостоев (на примере лесов Казахстана и юга Западной Сибири): Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук.— Киев: УкрСХА, 1985д.— 46 с.
- Усольцев В. А.** О соотношении продуктивности древостоя и составляющих его биогрупп // Лесные экосистемы в условиях континентального климата.— Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та 1987.— С. 168—173.
- Усольцев В. А., Кофман Г. Б., Кричун В. М.** Применение логарифмического полинома при составлении таблиц хода роста насаждений // Экология лесных сообществ Северного Казахстана.— Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1984.— С. 155—158.
- Усольцев В. А., Кренкий И. С.** Закономерности соотношений надземной и подземной фитомассы в сосняках Кустанайской области // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1984.— № 3.— С. 73—79.
- Усольцев В. А., Кренкий И. С.** Соотношения надземных и подземных фракций фитомассы у сосны Аман-Карагайского бора // Лесовосстановление в Казахстане.— Алма-Ата: Кайнар, 1986.— С. 191—199.
- Усольцев В. А., Кренкий И. С., Прохоров Ю. А.** Биологическая продуктивность естественных и искусственных сосняков Аман-Карагайского бора // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1985а.— № 8.— С. 74—79.
- Усольцев В. А., Кричун В. М.** Закономерности формирования надземной фитомассы березы и осины в колочных лесах Северного Казахстана // Лесоведение.— 1982.— № 3.— С. 41—52.

- Усольцев В. А., Макаренко А. А., Аткин А. С. Закономерности формирования надземной фитомассы сосны в Северном Казахстане в связи с густотой // Лесоведение.— 1979.— № 5.— С. 3—12.
- Усольцев В. А., Передерий О. Н., Прохоров Ю. А. Квалиметрия ветвей в сосняках Аман-Карагайского бора // Вестн. с.-х. науки Казахстана.— 1985б.— № 7.— С. 74—78.
- Успенский В. А. Теорема Геделя о неполноте. (Популярные лекции по математике).— М.: Наука, 1982.— 112 с.
- Успенский В. В. Изменчивость плотности древесины сосны и ее использование в весовой таксации // Лесн. журн.— 1980.— № 6.— С. 9—12.
- Уткин А. И. Основные направления в исследованиях по биологической продуктивности лесных фитоценозов за рубежом // Лесоведение.— 1969.— № 1.— С. 63—83.
- Уткин А. И. Исследования по первичной биологической продуктивности лесов в СССР // Там же.— 1970.— № 3.— С. 58—89.
- Уткин А. И. Биологическая продуктивность лесов. (Методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство: Итоги науки и техники.— М.: ВИНТИ, 1975.— Т. 1.— С. 9—189.
- Уткин А. И. Структура и первичная биологическая продуктивность лесных биогеоценозов (БГЦ): Дис. ... докт. биол. наук в форме научного доклада.— Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1981.— 55 с.
- Уткин А. И., Рождественский С. Г. Продукционная инвариантность — необходимое условие стабильности растительного покрова // Стабильность и продуктивность лесных экосистем: Тез. докл.— Тарту: Тартуский ун-т, 1985а.— С. 140—142.
- Уткин А. И., Рождественский С. Г. Формы и типы продукционной инвариантности фитоценозов и возможности их использования в биогеоценологической классификации лесов // Там же.— 1985б.— С. 142—144.
- Фалалеев Э. Н., Гордина Н. П. Обоснование возраста защитной спелости леса по комплексным показателям // Лесн. хозяйство.— 1980.— № 7.— С. 47—48.
- Федоренко Н. П., Реймерс Н. Ф. Экология и экономика — эволюция взаимоотношений. От «экономики природы» до «большой» экологии // Философские проблемы глобальной экологии.— М.: Наука, 1983.— С. 230—277.
- Федоров Е. К. От описания к проектированию природы // Там же.— С. 288—310.
- Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа.— М.: Финансы и статистика, 1983.— 302 с.
- Флейшман Б. С. Об имитационном и оптимизационном моделировании экосистем // Биофизические и математические методы исследования геосистем.— М.: Ин-т географии АН СССР, 1978.— С. 51—65.
- Флейшман Б. С. Системология, системотехника и инженерная экология // Кибернетика и ноосфера.— М.: Наука, 1986.— С. 97—110.
- Фрей Т. Э.-А. Фитоценоз как кибернетическая система // Количественные методы анализа растительности: Материалы 3-го Всесоюз. совещ. «Применение количеств. методов при изучении структуры растительности».— Рига: Латв. ун-т, 1971.— С. 293—297.

- Фрей Т. Э. А. Вопросы и ответы по своим докладом // Моделирование и контроль производительности древостоев: Тез. докл.—Каунас: ЛитСХА, 1983.—С. 130—131.
- Хуршудян П. А., Пахлеванян А. М. Влияние густоты насаждений на продуктивность тополя канадского // Биол. журн. Армении.—1985.—Т. 38, № 3.—С. 191—195.
- Челядинова А. И. Количество и характер развития хвои в сосновых насаждениях // Научн. тр./ВНИИЛХ.—1941.—Вып. 21.—С. 30—50.
- Чернявский В. С. Построение уточненных всеобщих таблиц хода роста в высоту осинового древостоев // Лесн. хоз-во.—1979.—№ 7.—С. 48—50.
- Чернявский В. С. Всеобщие таблицы хода роста нормальных осинового насаждений // Рабочие правила по проведению полевых лесоустроит. работ.—М.: Центр. лесоустроит. предприятие, 1982.—С. 224—228.
- Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования.—М.: Статистика, 1977.—200 с.
- Четыркин Е. М., Калихман И. Л. Вероятность и статистика.—М.: Финансы и статистика, 1982.—319 с.
- Чиллингуорт Д. Структурная устойчивость математических моделей: Значение методов теории катастроф // Математическое моделирование.—М.: Мир, 1979.—С. 249—276.
- Шмальгаузен И. И. Определение основных понятий и методика исследования роста // Рост животных.—М.; Л.: Гос. изд-во биол. и медиц. лит., 1935.—С. 8—60.
- Шмальгаузен И. И. Кибернетические вопросы биологии // Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1968.—451 с.
- Эрнст Л. К. Животноводство — Продовольственной программе // Всенародное дело.—М.: Молодая гвардия, 1983.—С. 113—137.
- Эрнст Л. К., Науменко З. М. Биомасса леса и ее кормовое использование.—М.: ВНИИТЭИСХ, 1977.—94 с.
- Юдин Д. Б., Юдин А. Д. Число и мысль.—М.: Знание, 1985.—Вып. 8: Математики измеряют сложность.—192 с.
- Юкнис Р. А. Методические аспекты мониторинга антропогенных изменений продуктивности лесов // Мониторинг лесных экосистем: Тез. докл.—Каунас: ЛитСХА, 1986.—С. 48—50.
- Юкнис Р. А., Лекене М. Моделирование динамики продуктивности древостоев в условиях загрязненной природной среды // Там же.—С. 354—355.
- Яблоков А. С. Культура лиственных и уход за насаждениями.—М.: Гослесбумиздат, 1934.—128 с.
- Якушев Б. И. Электрометрический способ оценки массы подземных органов растений // Докл. АН БССР.—1972.—Т. 16, № 9.—С. 848—850.
- Яновский Л. Н. Моисеев В. С. К методике изучения полога древостоев и их биомассы для формирования ландшафтов лесопарковых и зеленых зон // Роль лесоустройства в повышении уровня ведения лесн. хоз-ва.—Л.: ЛТА, 1972.—С. 59—65.

- Albrektson A. Relations between tree biomass fractions and conventional silvicultural measurements // *Ecol. Bull.*—1980.— N 32.— P. 315—327.
- Ando T. Growth analysis on the natural stands of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.): 2. Analysis of stand density and growth // *Bull. Government Forest Exper. Station.*—1962.— N 147.— P. 45—47.
- Assmann E. *Waldtragskunde: Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen.*—München; Bonn; Wien: BLV Verlagsgesellschaft, 1961.—490 S.
- Attiwill P. M. Estimating branch dry weight and leaf area from measurements of branch girth in *Eucalyptus* // *Forest Sci.*—1962.— Vol. 8, N 2.— P. 132—141.
- Attiwill P. M. A method for estimating crown weight in *Eucalyptus* and some other implications of relationships between crown weight and stem diameter // *Ecology.*—1966.— Vol. 47.— P. 795—804.
- Backman G. Drei Wachstumsfunktionen (Verhulst's, Gompertz', Backman's).—*Wilhelm Roux'Arch. Entwicklungsmechanik der Organismen.*—1938.— N 138.— S. 37—58.
- Baker T. G., Attiwill P. M., Stewart H. T. L. Biomass equations for *Pinus radiata* in Gippsland, Victoria // *N. Z. J. Forest Sci.*—1984.— Vol. 14, N 1.— P. 89—96.
- Baskerville G. L. Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands // *Ecology.*—1965a.— Vol. 46, N 6.— P. 867—869.
- Baskerville G. L. Dry matter production in immature balsam fir stands // *Forest Sci. Monogr.*—1965b.— N 9.— 42 p.
- Burger H. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 1. Mitteilung: die Weymouthsföhre // *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen.*—1929.— Bd 15.— S. 243—292.
- Burger H. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 13. Mitteilung: Fichten in gleichaltrigen Hochwald // *Ibid.*—1953.— Bd 29.— S. 38—130.
- Cown D. J. Comparison of the pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees // *N. Z. J. Forest Sci.*—1978.— Vol. 8, N 3.— P. 384—391.
- Curtis R. O. A method of estimation of gross yield of Douglas-Fir // *Forest Sci. Monogr.*—1967.— N 13.— 24 p.
- Denne M. P., Dodd R. S. Control of variation in wood quality within hardwood and softwood trees // *Mitt. Bundesforschungsanstalt Forst und Holzwirtschaft.*—1980.— N 131.— S. 7—30.
- Drew T. I., Flewelling J. W. Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterey pine plantations // *Forest Sci.*—1977.— Vol. 23, N 4.— P. 517—534.



- Flewelling J. W., Pienaar L. V. Multiplicative regression with log-normal errors // Forest Sci.—1981.—Vol. 27, N 2.—P. 281—289.
- Forslund R. R. A geometrical tree volume model based on the location of the centre of gravity of the bole // Canad. J. Forest Res.—1982.—Vol. 12, N 2.—P. 215—221.
- Götze H., Günther B., Luthard H., Schulze-Dewitz G. Eigenschaften und Verwertung des Astholzen von Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*): 2. Mitt. // Holztechnologie.—1972.—Bd 13, H. 1.—S. 20—27.
- Gould S. Allometry and size in ontogeny and phylogeny // Biol. Rev.—1966.—Vol. 41.—P. 587—640.
- Gray H. R. The form and taper of forest-tree stems // University of Oxford, IFI, Inst. paper.—1956.—N 32.—82 p.
- Grigal D. F., Kernik L. K. Generality of black spruce biomass estimation equations // Canad. J. Forest Res.—1984.—Vol. 14, N 3.—P. 468—470.
- Hakkila P. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood // Commun. Inst. Forest. Fenn.—1966.—Vol. 61, N 5.—P. 1—98.
- Hakkila P. Coniferous branches as raw material source: A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues // Ibid.—(1971) 1972.—Vol. 75.—P. 1—60.
- Harding R. B., Grigal D. F. Individual tree biomass estimation equations for plantation-grown white spruce in northern Minnesota // Canad. J. Forest Res.—1985.—Vol. 15, N 4.—P. 738—739.
- Hozumi K. Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands // Bot. Mag. Tokyo.—1977.—Vol. 90, N 1019.—1: Mean plant weight-density trajectory during the course of self-thinning.—P. 165—179; 1980.—Vol. 93, N 1030.—2: Growth analysis of self-thinning.—P. 149—166.
- Huxley J. Problems of relative growth.—L.: Methuen & Co., 1932.—296 p.
- Jacobs M. W., Cunia T. Use of dummy variables to harmonize tree biomass tables // Canad. J. Forest Res.—1980.—Vol. 10, N 4.—P. 483—490.
- Ker M. F., Raalte G. D. Tree biomass equations for *Abies balsamea* and *Picea glauca* in northwestern New Brunswick // Ibid.—1981.—Vol. 11, N 1.—P. 13—17.
- Kilikki P., Varmola M. Taper curve models for scots pine and their applications // Acta forestalia. fennica.—1981. Vol. 174.—P. 60.
- Kincerson R. S. Studies of photosynthesis and diffusion resistance

in paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) with synthesis through computer simulation // *Oecologia* (Berl.).— 1979.— Vol. 39.— P. 37—49.

Kira T., Shidei T. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific // *Jap. J. Ecol.*— 1967.— Vol. 17.— P. 70—87.

Kittredge J. I. Estimation of amount of foliage of trees and stands // *J. Forestry.*— 1944.— Vol. 42, N 11.— P. 905—912.

Korsun F. Zivot normalniho porostu ve vzorcich // *Lesn. práce.*— 1935.— Vol. 14.— S. 289—300.

Kovats M. Estimating juvenile tree volumes for provenance and progeny testing // *Canad. J. Forest Res.*— 1977.— Vol. 7, N 2.— P. 335—342.

Kurth H. Der Roh- und Werkstoff Holz; Wissenschaftliche Grundlagen der nachhaltigen Produktion, verlustarmen Gewinnung und vollständigen Erwartung // *Techn. Univ. Dresden, Universitätsreden: 30. Plenartagung des Wissenschaftl. Rates der TU Dresden am 19. Januar 1981.— Dresden, 1981.— H. 54.— S. 5—22.*

Lewi E. B., Madden E. A. The point method of pasture analysis // *N. Z. J. Agric.*— 1933.— Vol. 46.— P. 267—279.

Lönnroth E. Über Stammkubierungsformeln // *Acta forestalia fennica.*— 1927.— Bd 31.— 58 S.

Madgwick H. A. I. Biomass and productivity models of forest canopies // *Ecological studies: Analysis and Synthesis.*— N. Y.; Heidelberg; Berlin: Springer Verl., 1970.— Vol. 1: Analysis of temperate forest ecosystems.— P. 47—54.

Madgwick H. A. I. Estimating the above-ground weight of forest plots using the basal area ratio method // *N. Z. J. Forest Sci.*— 1982.— Vol. 11, N 3.— P. 278—286.

Madgwick H. A. I. Above-ground weight of forest plots — comparison of seven methods of estimation // *Ibid.*— 1983.— Vol. 13, N. 1.— P. 100—107.

Madgwick H. A. I., Satoo T. On estimating the above-ground weight of tree stands // *Ecology.*— 1975.— Vol. 56, N 6.— P. 1446—1450.

Martens M. J. M. Foliage as a low-pass filter: experiments with model forests in an anechoic chamber // *J. Acoust. Soc. Amer.*— 1980.— Vol. 67, N 1.— P. 66—72.

Melzer E. W. Die stochastischen Beziehungen zwischen Sproß- und Wurzelsystem des Baumes // *Arch. Forstwesen.*— 1962.— Bd. 11, H. 7.— S. 822—838.

Möller C. M. Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes // *Det. forst. Forsog. i Danmark.*— 1946.— Bd 47.— S. 1—287.

- Möller C. M. The effect of thinning age and site on foliage, increment and loss of dry matter // J. Forestry.— 1947.— Vol. 45, N 6.— P. 393—404.
- Möller C. M., Müller D., Nielsen J. Graphic presentation of dry matter production in European beech // Det. forst. Forsog. i Danmark.— 1954.— Vol. 21.— P. 327—335.
- Newbould P. J. Methods for estimating the primary production of forests // IBP Handbook.— Oxford: Blackwell, 1967.— N 2.— 60 p.
- Ovington J. D. The form, weight and productivity of tree species grown in closed stands // New Phytologist.— 1956.— Vol. 55, N 3.— P. 289—304.
- Ovington J. D. Dry matter production by *Pinus silvestris* L. // Ann. Bot. N. S. London.— 1957.— Vol. 21, N 82.— P. 287—314.
- Ovington J. D., Madgwick H. A. I. Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine // Forest Sci.— 1959.— N 5.— P. 344—355.
- Parde J. Forest biomass // Forest. Abstr.— 1980.— Vol. 41, N 8.— P. 343—362.
- Perkal J. Determination of the volume of trees // Prace Wrocl. towarz. nauk.— 1953.— Vol. 3, N 7.— 14 p.
- Petráș R., Kôsut M., Oszlanyi J. Listova biomasa stromov smreka, borovice a buca // Lens. cas.— 1985.— Vol. 31, N 2.— S. 121—136.
- Petrini S. En närmeformel för kubering av träd. // Medd. statens Skogsförsöksanstalt.— 1928.— Bd 24, N 5—7.— S. 187—220.
- Pielou E. C. The usefulness of ecological models: a stock-taking // Quart. Rev. Biol.— 1981.— Vol. 56, N 1.— P. 17—31.
- Pienaar L. V., Shiver B. D. The effect of planting density on dominant height in unthinned slash pine plantations // Forest Sci.— 1984.— Vol. 30, N 4.— P. 1059—1066.
- Pollanschütz J. Wuchsleistungsanalysen auf der Basis temporärer Probeflächen // Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden.— 1968.— Bd 17, N 6.— S. 1707—1713.
- Prodan M. Holzmeßlehre.— Frankfurt a. M.: J. D. Sauerländer's Verl., 1965.— 644 S.
- Reeve E., Huxley J. Some problems in the study of allometric growth // Essays on growth and form.— Oxford: Univ. Press, 1945.— P. 121—156.
- Satoo T. Notes on Kittredge's method of estimation of amount of leaves of forest stand // J. Japan. Forest. Soc.— 1962.— Vol. 44.— P. 267—272.
- Satoo T. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems // Misc. Inform. Tokyo Univ. Forests.— 1966.— N 16.— P. 1—15.

- Satoo T.** A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan // *Ecological Studies: Analysis and synthesis*—N. Y.; Heidelberg; Berlin: Springer Verl., 1970.— Vol. 1: Analysis of temperate forest ecosystems.— P. 55—72.
- Schmidt A.** Energy from wood in Austria // *Proc. «Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop»* in Garpenberg, Sweden, October 2, 1980.— Information from project Forestry Energy.— 1981.— N 20.— P. 8—10.
- Schmitt M. D. C., Grigal D. F.** Generalized biomass estimation equations for *Betula papyrifera* Marsh. // *Canad. J. Forest Res.*— 1981.— Vol. 11, N 4.— P. 837—840.
- Schneider T. W., Kreysa J.** Dynamische Wachstums- und Ertragsmodelle für die Douglasie und die Kiefer // *Mitt. Bundesforschungsanstalt. Forst und Holzwirtschaft.*— 1981.— N 135.— S. 1—137.
- Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K., Kira T.** A quantitative analysis of plant form — the pipe model theory // *Jap. J. Ecol.*— 1964.— V. 14, N 3.— 1: Basic analysis.— P. 97—105; N 4.— 2: Further evidence of the theory and its application in forest ecology.— P. 133—139.
- Tadaki Y.** Some discussions on the leaf biomass of forest stands and trees // *Bull. Govt. Forest Exper. Station.*— 1966.— Vol. 184.— P. 135—161.
- Thom R., Zeeman E. C.** Catastrophe theory: its present state and future perspectives // *Dynamical systems: Lecture notes in mathematics.*— 1975.— Vol. 468, N 4.— P. 366—389.
- Thomasius H. O.** Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die quantitative Standortsbeurteilung // *Arch. Forstwesen.*— 1963.— Bd 12, H. 12.— S. 1267—1323.
- Thomasius H. O.** Allgemeine Betrachtungen über Wachstumskurven und Wachstumsfunktionen // *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden.*— 1964.— Bd 13, H. 2.— S. 715—722.
- Thompson D. A. W.** On growth and form.— Cambridge: Univ. Press, 1917.— 793 p.
- Vihera A., Kellomäki S.** Havaintoja nuorten mäntyjen latvusten hienorakenteesta ja kasvusta // *Silva fennica.*— 1983.— Bd 17, N 3.— S. 225—243.
- Waldrop M. M.** Wood: fuel of the future? // *Science.*— 1981.— Vol. 211, N 4485.— P. 914.
- Warren Wilson J.** Point quadrat analysis of foliage distribution for plants growing singly or in rows // *Austral. J. Bot.*— 1965.— Vol. 13, N 3.— P. 405—409.
- Weaver T.** Area-mass relationships for common montana shrubs // *Proc. Mont. Acad. Sci.*— 1977 (1978).— Vol. 37.— P. 54—58.
- Weck I.** Über die Brauchbarkeit von Wachstumsgesetzen als

- diagnostisches Hilfsmittel der Waldwachstumskunde // Forstwiss. Zbl.— 1950.— Bd 69, N 10.— S. 584—605.
- Yamaoka Y.** The total transpiration from a forest // Trans. Amer. Geophys. Union.— 1958.— Vol. 39.— P. 266—272.
- Young H. E.** A summary and analysis of weight table studies // Oslo biomass studies. IUFRO.S4.01. Mensuration, growth and yield: Working party on the mensuration of the forest biomass.— Orono: Univ. Maine, 1976.— P. 251—282.
- Young H. E.** A balanced view of the forest as a source of energy material // Proc. "Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop" in Garpenberg, Sweden, October 2, 1980.— Information from project Forestry Energy.— 1981.— N 20.— P. 59—63.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

Т а б л и ц а 1

Надземная фитомасса саксаула по ступеням диаметров шейки корня, диаметров кроны и разрядам высоты, кг на дерево

D <sub>0</sub> , см	H, м	Саксаул белый					Саксаул черный				
		D <sub>кр</sub> , м									
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

*Общая надземная масса*

**I разряд высоты**

4	2,1	2,8	6,4	10,4	—	—	3,5	4,7	6,0	—	—
8	2,6	5,0	11,5	18,8	—	—	8,0	10,4	13,1	—	—
12	3,0	—	16,4	26,7	37,7	—	—	17,2	21,6	26,6	—
16	3,3	—	21,0	34,2	48,2	—	—	24,4	30,9	38,0	—
20	3,6	—	—	41,7	59,0	77,0	—	—	41,8	51,5	62,2
24	3,8	—	—	48,6	68,6	89,7	—	—	53,5	65,5	78,8
28	3,8	—	—	53,5	75,5	98,7	—	—	63,8	76,6	90,7

**II разряд высоты**

4	1,7	2,4	5,5	9,0	—	—	3,0	4,0	5,1	—	—
8	2,1	4,3	9,9	16,1	—	—	6,9	8,8	11,0	—	—
12	2,4	—	14,0	22,8	32,2	—	—	14,2	17,6	21,2	—
16	2,6	—	17,7	28,8	40,7	—	—	19,8	24,2	29,0	—
20	2,8	—	—	34,9	49,3	64,4	—	—	31,5	37,4	43,9
24	3,0	—	—	41,1	58,0	75,8	—	—	40,2	47,3	55,0
28	3,1	—	—	46,3	65,3	85,4	—	—	49,4	57,0	65,1

**III разряд высоты**

4	1,3	2,0	4,6	—	—	—	2,5	3,4	—	—	—
8	1,7	3,7	8,5	13,8	—	—	6,1	7,6	9,4	—	—
12	1,9	5,2	11,9	19,3	—	—	9,8	12,0	14,5	—	—
16	2,1	—	15,2	24,8	35,0	—	—	16,7	19,9	23,3	—
20	2,3	—	18,7	30,3	42,9	—	—	22,0	25,8	29,8	—
24	2,4	—	21,5	35,0	49,5	64,7	—	27,5	31,4	35,5	39,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

*Товарная масса*

I разряд высоты

4	2,1	0,8	1,6	2,3	—	—	0,6	1,4	2,4	—	—
8	2,6	2,1	4,0	5,9	—	—	2,0	3,5	5,3	—	—
12	3,0	—	7,2	10,7	14,0	—	—	6,5	9,4	12,9	—
16	3,3	—	10,9	16,0	21,1	—	—	10,2	14,4	19,4	—
20	3,6	—	—	22,6	29,7	36,8	—	—	20,4	27,2	35,1
24	3,8	—	—	28,8	37,9	46,9	—	—	26,4	35,3	45,4
28	3,8	—	—	31,8	41,9	51,8	—	—	30,4	40,8	52,8

II разряд высоты

4	1,7	0,5	1,0	1,4	—	—	0,6	1,2	2,2	—	—
8	2,1	1,2	2,4	3,6	—	—	1,7	3,0	4,6	—	—
12	2,4	—	4,3	6,4	8,4	—	—	5,3	7,8	10,7	—
16	2,6	—	6,2	9,2	12,1	—	—	7,9	11,3	15,3	—
20	2,8	—	—	12,6	16,6	20,6	—	—	15,2	20,5	26,5
24	3,0	—	—	16,7	21,9	27,2	—	—	19,4	26,1	33,8
28	3,1	—	—	19,8	26,1	32,4	—	—	22,7	30,7	39,9

III разряд высоты

4	1,3	0,3	0,5	—	—	—	0,5	1,1	—	—	—
8	1,7	0,8	1,5	2,2	—	—	1,5	2,6	4,1	—	—
12	1,9	1,3	2,5	3,7	—	—	2,7	4,4	6,6	—	—
16	2,1	—	3,8	5,6	7,4	—	—	6,5	9,4	12,7	—
20	2,3	—	5,4	8,0	10,5	—	—	8,7	12,4	16,8	—
24	2,4	—	6,8	9,9	13,1	16,2	—	10,4	14,9	20,1	26,2

*Кормовая масса*

I разряд высоты

4	2,1	0,4	0,9	1,4	—	—	0,6	0,8	1,1	—	—
8	2,6	0,3	0,9	1,6	—	—	0,7	1,1	1,6	—	—
12	3,0	—	0,8	1,7	2,9	—	—	1,1	1,8	2,7	—
16	3,3	—	0,8	1,8	3,2	—	—	1,0	1,9	3,0	—
20	3,6	—	—	1,8	3,4	5,5	—	—	1,8	3,2	5,0
24	3,8	—	—	1,8	3,5	5,9	—	—	1,7	3,3	5,4
28	3,8	—	—	1,8	3,6	6,2	—	—	1,6	3,4	5,8

II разряд высоты

4	1,7	0,4	0,9	1,4	—	—	0,6	0,8	1,1	—	—
8	2,1	0,4	1,0	1,6	—	—	0,7	1,1	1,6	—	—
12	2,4	—	0,9	1,8	2,8	—	—	1,2	1,9	2,7	—
16	2,6	—	0,9	1,9	3,1	—	—	1,2	2,1	3,1	—
20	2,8	—	—	1,9	3,3	5,1	—	—	2,1	3,4	4,9
24	3,0	—	—	2,0	3,5	5,5	—	—	2,1	3,6	5,4
28	3,1	—	—	2,0	3,6	5,9	—	—	2,1	3,7	5,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
III разряд высоты											
4	1,3	0,5	0,9	—	—	—	0,6	0,8	—	—	—
8	1,7	0,4	1,0	1,7	—	—	0,8	1,1	1,6	—	—
12	1,9	0,4	1,1	1,8	—	—	0,9	1,4	2,0	—	—
16	2,1	—	1,0	2,0	3,1	—	—	1,4	2,2	3,2	—
20	2,3	—	1,0	2,0	3,3	—	—	1,4	2,3	3,5	—
24	2,4	—	1,0	2,1	3,5	5,2	—	1,4	2,4	3,8	5,4

Таблица 2

Сумма площадей проекций кроны и надземная фитомасса саксаула при полноте 1,0 (по В. М. Жирину) в зависимости от среднего диаметра кроны по классам бонитета

D <sub>ср</sub> Кр, м	Класс бонитета											
	I				II				III			
	H <sub>ср</sub> , м	S <sub>кр</sub> <sup>H</sup> , тыс. м <sup>2</sup> /га	P, т/га		H <sub>ср</sub> , м	S <sub>кр</sub> <sup>H</sup> , тыс. м <sup>2</sup> /га	P, т/га		H <sub>ср</sub> , м	S <sub>кр</sub> <sup>H</sup> , тыс. м <sup>2</sup> /га	P, т/га	
			общая	товарная			общая	товарная			общая	товарная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Саксаул белый

0,8	1,2	1,8	3,1	0,9	1,0	1,6	2,4	0,7	0,9	1,5	2,1	0,6
1,0	1,4	2,0	4,1	1,4	1,2	1,8	3,2	1,0	1,1	1,7	2,8	0,8
1,2	1,6	2,3	5,2	1,9	1,4	2,0	4,1	1,4	1,3	1,9	3,6	1,1
1,4	1,8	2,6	6,4	2,6	1,5	2,2	5,0	1,8	1,4	2,1	4,4	1,5
1,6	2,0	2,8	7,6	3,2	1,7	2,5	6,0	2,3	1,6	2,3	5,2	1,9
1,8	2,1	3,0	8,9	4,0	1,9	2,7	7,0	2,9	1,7	2,5	6,1	2,4
2,0	2,3	3,2	10,3	4,9	2,0	2,9	8,1	3,5	1,8	2,7	7,0	2,9
2,2	2,5	3,5	11,7	5,8	2,2	3,1	9,2	4,2	2,0	2,8	8,0	3,4
2,4	2,6	3,7	13,2	6,8	2,3	3,2	10,3	4,9	2,1	3,0	8,9	4,0
2,6	2,8	3,9	14,7	7,9	2,4	3,4	11,5	5,7	2,3	3,2	9,9	4,6
2,8	3,0	4,1	16,2	9,1	2,6	3,6	12,7	6,5	2,4	3,4	11,0	5,3
3,0	3,1	4,3	17,9	10,3	2,7	3,8	13,9	7,4	2,5	3,5	12,1	6,1
3,2	3,3	4,5	19,5	11,6	2,8	4,0	15,2	8,3	2,6	3,7	13,2	6,8
3,4	3,4	4,7	21,2	13,0	3,0	4,1	16,5	9,2	2,8	3,8	14,2	7,6
3,6	3,6	4,9	22,9	14,4	3,1	4,3	17,8	10,3	2,9	4,0	15,4	8,5

Саксаул черный

0,8	1,2	1,9	3,8	1,1	1,0	1,6	2,9	0,8	0,9	1,5	2,4	0,7
1,0	1,4	2,1	4,9	1,6	1,2	1,8	3,6	1,1	1,1	1,7	3,1	0,9
1,2	1,6	2,3	5,9	2,0	1,3	2,0	4,4	1,4	1,2	1,8	3,7	1,1
1,4	1,7	2,5	7,0	2,5	1,5	2,2	5,2	1,7	1,3	2,0	4,4	1,4
1,6	1,9	2,7	8,1	2,9	1,6	2,3	6,0	2,0	1,4	2,1	5,1	1,6
1,8	2,0	2,9	9,3	3,4	1,7	2,5	6,9	2,4	1,6	2,3	5,8	1,9
2,0	2,2	3,1	10,4	4,0	1,8	2,6	7,7	2,8	1,7	2,4	6,5	2,2



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,2	2,3	3,2	11,6	4,5	1,9	2,8	8,6	3,1	1,8	2,6	7,2	2,6
2,4	2,4	3,4	12,7	5,1	2,0	2,9	9,5	3,5	1,9	2,7	7,9	2,9
2,6	2,5	3,6	14,0	5,7	2,2	3,1	10,3	3,9	2,0	2,8	8,6	3,2
2,8	2,7	3,7	15,2	6,3	2,2	3,2	11,2	4,4	2,0	2,9	9,4	3,5
3,0	2,8	3,8	16,4	6,9	2,4	3,3	12,1	4,8	2,1	3,0	10,2	3,9
3,2	2,9	4,0	17,6	7,6	2,4	3,4	13,0	5,2	2,2	3,1	10,9	4,2
3,4	3,0	4,1	18,9	8,2	2,5	3,6	14,0	5,7	2,3	3,2	11,7	4,6
3,6	3,1	4,3	20,2	8,9	2,6	3,7	14,9	6,1	2,4	3,3	12,4	5,0

Таблица 3

Надземная фитомасса общая, товарная и кормовая саксаула белого и черного по ступеням диаметров кроны и разрядам высоты, кг на дерево

D <sub>кр.</sub> м	I разряд высоты				II разряд высоты				III разряд высоты			
	H, м	P <sub>о</sub>	P <sub>т</sub>	P <sub>к</sub>	H, м	P <sub>о</sub>	P <sub>т</sub>	P <sub>к</sub>	H, м	P <sub>о</sub>	P <sub>т</sub>	P <sub>к</sub>
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Саксаул белый

0,5	1,6	0,4	0,1	0,1	1,2	0,3	0,1	0,1	0,8	0,2	0,1	0,1
0,7	1,8	0,8	0,2	0,2	1,3	0,7	0,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,2
0,9	1,9	1,4	0,4	0,2	1,5	1,2	0,3	0,3	1,1	0,9	0,2	0,3
1,1	2,0	2,1	0,7	0,3	1,6	1,8	0,5	0,3	1,2	1,5	0,4	0,4
1,3	2,1	3,1	1,1	0,4	1,7	2,6	0,8	0,4	1,3	2,2	0,6	0,5
1,5	2,2	4,2	1,6	0,5	1,8	3,9	1,2	0,5	1,4	2,9	0,9	0,6
1,7	2,4	5,6	2,3	0,6	1,9	4,8	1,8	0,7	1,4	3,9	1,3	0,7
1,9	2,5	7,2	3,1	0,7	2,0	6,1	2,4	0,8	1,5	5,1	1,8	0,9
2,1	2,6	9,0	4,1	0,8	2,1	7,7	3,2	0,9	1,6	6,5	2,4	1,0
2,3	2,7	11,1	5,3	0,9	2,2	9,5	4,2	1,0	1,7	8,1	3,2	1,1
2,5	2,8	13,3	6,6	1,0	2,3	11,6	5,3	1,1	1,8	9,9	4,1	1,2
2,7	3,0	16,2	8,5	1,1	2,4	13,6	6,5	1,2	1,9	11,7	5,1	1,4
2,9	3,1	19,2	10,6	1,2	2,4	16,1	8,0	1,4	2,0	13,7	6,2	1,5
3,1	3,2	22,2	12,6	1,3	2,5	18,9	9,8	1,5	2,1	16,2	7,6	1,6
3,3	3,3	25,6	15,1	1,4	2,6	21,6	11,5	1,6	2,1	18,6	9,1	1,8
3,5	3,4	29,3	17,8	1,6	2,7	24,9	13,8	1,8	2,2	21,2	10,7	2,0
3,7	3,5	33,3	20,9	1,7	2,8	28,1	16,0	1,9	2,2	24,0	12,4	2,1
3,9	3,6	37,6	24,4	1,8	2,8	31,6	18,4	2,1	2,2	27,1	14,4	2,3
4,1	3,7	42,3	28,2	1,9	2,8	35,2	21,1	2,2	2,3	30,3	16,6	2,4
4,3	3,7	46,9	32,0	2,1	2,9	39,1	24,0	2,4	2,3	33,7	18,9	2,6
4,5	3,8	51,7	36,1	2,2	3,0	43,8	27,7	2,5	2,4	37,4	21,5	2,8
4,7	3,8	56,2	39,9	2,4	3,0	47,6	30,6	2,7	2,4	41,3	24,4	3,0
4,9	3,8	61,6	44,5	2,5	3,0	52,2	34,3	2,8	2,4	44,8	26,8	3,2
5,1	3,9	67,2	49,6	2,7	3,1	57,1	38,3	3,0	2,4	48,4	29,4	3,4
5,3	3,9	72,4	54,1	2,9	3,1	61,6	41,8	3,2	2,5	52,9	32,9	3,6
5,5	3,9	78,5	59,8	3,0	3,1	66,2	45,6	3,4	2,5	56,9	35,8	3,8
5,7	3,9	84,1	65,0	3,2	3,2	71,7	50,4	3,6	2,6	61,8	39,8	4,0
5,9	3,9	90,0	70,3	3,4	3,2	77,6	55,5	3,8	2,6	66,1	43,0	4,2
6,1	4,0	97	77	3,6	3,2	83	60	4,0	2,6	71	46	4,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6,3	4,0	103	83	3,8	3,2	88	65	4,2	2,6	75	50	4,7
6,5	4,0	110	89	3,9	3,2	94	69	4,4	2,6	80	54	4,9
6,7	4,0	116	96	4,1	3,2	99	74	4,6	2,6	85	58	5,2

**Саксаул черный**

0,5	1,6	0,7	0,1	0,3	1,2	0,5	0,1	0,2	0,8	0,3	0,1	0,2
0,7	1,8	1,3	0,3	0,4	1,3	1,0	0,2	0,4	0,9	0,7	0,1	0,3
0,9	1,9	2,1	0,5	0,5	1,5	1,7	0,4	0,5	1,1	1,2	0,3	0,4
1,1	2,0	3,2	0,9	0,6	1,6	2,5	0,6	0,6	1,2	1,8	0,4	0,5
1,3	2,1	4,5	1,3	0,8	1,7	3,5	1,0	0,7	1,3	2,7	0,7	0,7
1,5	2,2	6,0	1,8	0,9	1,8	4,8	1,4	0,9	1,4	3,5	0,9	0,8
1,7	2,4	8,0	2,6	1,1	1,9	6,2	1,9	1,0	1,4	4,7	1,3	0,9
1,9	2,5	10,1	3,3	1,2	2,0	8,0	2,5	1,2	1,5	6,1	1,8	1,1
2,1	2,6	12,4	4,2	1,4	2,1	9,9	3,2	1,3	1,6	7,7	2,3	1,2
2,3	2,7	15,3	5,5	1,6	2,2	12,1	4,0	1,5	1,7	9,5	3,0	1,4
2,5	2,8	18,0	6,6	1,8	2,3	14,6	5,0	1,6	1,8	11,6	3,8	1,5
2,7	3,0	22,0	8,3	2,0	2,4	17,0	6,0	1,8	1,9	13,6	4,5	1,7
2,9	3,1	26,1	10,2	2,1	2,4	20,1	7,3	2,0	2,0	15,8	5,4	1,8
3,1	3,2	29,7	11,8	2,3	2,5	23,4	8,7	2,2	2,1	18,6	6,5	2,0
3,3	3,3	34,1	13,9	2,5	2,6	26,6	10,1	2,3	2,1	21,2	7,6	2,2
3,5	3,4	38,9	16,2	2,7	2,7	30,5	11,9	2,5	2,2	24,0	8,8	2,3
3,7	3,5	44,0	18,8	2,9	2,8	34,1	13,6	2,7	2,2	27,0	10,1	2,5
3,9	3,6	49,5	21,6	3,1	2,8	38,0	15,4	2,8	2,2	30,2	11,4	2,6
4,1	3,7	55,4	24,6	3,3	2,8	42,1	17,3	3,0	2,3	33,6	13,0	2,8
4,3	3,7	60,9	27,4	3,5	2,9	46,5	19,4	3,2	2,3	37,3	14,6	3,0
4,5	3,8	66,7	30,5	3,7	3,0	52,0	22,2	3,4	2,4	41,1	16,4	3,2
4,7	3,8	71,8	33,1	3,8	3,0	56,0	24,1	3,6	2,4	45,2	18,4	3,3
4,9	3,8	78,0	36,5	4,0	3,0	61,1	26,7	3,8	2,4	48,5	19,9	3,5
5,1	3,9	84,6	40,1	4,2	3,1	66,5	29,4	3,9	2,4	51,9	21,4	3,6
5,3	3,9	90,3	43,2	4,4	3,1	70,9	31,7	4,1	2,5	56,6	23,7	3,8
5,5	3,9	97,4	47,1	4,6	3,1	75,5	34,0	4,3	2,5	60,2	25,5	4,0
5,7	3,9	103	50,4	4,8	3,2	81,5	37,2	4,5	2,6	65,3	28,0	4,2
5,9	3,9	110	53,9	5,0	3,2	87,8	40,6	4,6	2,6	69,2	29,9	4,3
6,1	4,0	117	58,4	5,2	3,2	92,9	43,3	4,8	2,6	73,2	31,9	4,5
6,3	4,0	124	62,1	5,4	3,2	98,1	46,0	5,0	2,6	77,2	33,9	4,6
6,5	4,0	131	66,0	5,6	3,2	103	48,9	5,2	2,6	81,4	36,0	4,8
6,7	4,0	138	69,9	5,7	3,2	109	51,8	5,3	2,6	85,7	38,2	5,0

Распределение деревьев саксаула белого и черного по ступеням диаметра крон для заданных средних диаметров крон древо-стоя, %

D <sub>ср.</sub> , м	Ступени диаметра крон, м															
	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5
0,8	28	34	19	10	5	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	7	29	24	16	10	6	4	2	1	1	—	—	—	—	—	—
1,2	—	18	21	19	14	10	7	5	3	2	1	—	—	—	—	—
1,4	—	9	16	17	15	13	10	7	5	4	2	1	1	—	—	—
1,6	—	4	11	14	14	13	11	9	7	6	4	3	2	1	1	—
1,8	—	2	8	11	12	12	11	10	8	7	6	4	3	2	2	1
2,0	—	1	5	8	10	10	10	10	9	8	7	6	5	4	3	2
2,2	—	1	4	6	8	9	9	9	9	8	7	6	6	5	4	3
2,4	—	1	3	5	6	7	8	8	8	8	7	7	6	6	5	4
2,6	—	1	2	4	5	6	7	7	7	7	7	7	7	6	5	5
2,8	—	1	2	3	4	5	6	6	6	7	7	7	6	6	6	5
3,0	—	1	2	2	3	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5
3,2	—	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6	6	5
3,4	—	1	1	2	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5
3,6	—	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5

Окончание табл. 4

D <sub>ср.</sub> , м	Ступени диаметра крон, м															
	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7
0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,8	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2	2	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,4	3	3	2	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,6	4	3	3	2	2	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
2,8	5	4	4	3	2	2	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—
3,0	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	—	—	—	—	—
3,2	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	1	—	—	—
3,4	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	—	—
3,6	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1

Таблица 5

Масса хвои (г) в сосновых молодняках в абсолютно сухом состоянии в зависимости от средней ширины годичного кольца на трети высоты ствола (мм) за последние 5 лет и диаметра (см)

D <sub>0,3</sub>	Средняя ширина годичного кольца															
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,5	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	9	—	—	—	—	—
1,0	6	8	12	14	16	20	22	25	30	34	38	41	44	47	50	52
1,5	12	18	25	30	35	43	49	55	67	77	86	94	102	109	115	121
2,0	20	29	42	52	60	74	86	96	119	137	154	169	183	196	208	220
2,5	30	43	63	78	91	113	132	148	184	214	241	266	289	310	330	349
3,0	41	60	87	109	128	160	187	211	263	308	348	385	419	450	480	509
3,5	53	78	115	145	170	213	251	284	357	419	475	526	573	618	660	700
4,0	66	99	147	185	218	275	324	368	464	547	621	689	752	812	868	922
4,5	81	124	181	229	271	343	406	462	585	691	787	874	956	1033	1107	1176
5,0	96	145	219	278	330	419	496	566	719	852	972	1082	1185	1282	1374	1463
6,0	131	200	304	388	462	591	703	805	1029	1224	1401	1565	1718	1862	2000	2132
7,0	170	264	401	515	615	791	944	1084	1393	1664	1910	2137	2351	2553	2746	2931
8,0	213	329	509	657	788	1017	1219	1403	1810	2170	2497	2800	3085	3356	3614	3802

Масса ветвей (г) в сосновых молодняках в абсолютно сухом состоянии в зависимости от средней ширины годичного кольца на трети высоты ствола (мм) за последние 10 лет и диаметра (см)

D <sub>0,3</sub>	Средняя ширина годичного кольца															
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	—	—	—	—	—
1,0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1,5	8	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	12	12
2,0	11	12	13	14	14	15	16	16	17	17	18	18	19	19	19	20
2,5	13	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28	29
3,0	16	18	21	22	24	26	27	28	31	32	34	35	36	37	38	39
3,5	18	21	24	27	29	31	33	35	38	41	43	45	46	48	49	50
4,0	20	24	28	31	34	37	40	42	47	50	53	55	58	60	61	63
4,5	22	27	32	36	39	44	47	50	56	60	64	67	70	72	75	77
5,0	24	30	36	41	46	50	54	58	65	70	75	79	83	86	89	91
6,0	29	36	45	51	56	63	69	74	85	93	99	105	111	115	120	124
7,0	33	42	53	61	67	77	85	92	106	117	126	134	142	148	154	160
8,0	37	47	61	71	79	92	102	111	129	143	155	166	175	184	192	200

Масса хвоя (кг) в основных древостоях в абсолютно сухом состоянии в зависимости от средней ширины годичного кольца на высоте груди (мм) за последние 5 лет и диаметра (см)

D	Средняя ширина годичного кольца за последние 5 лет (мм) на высоте груди																		
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
6	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
8	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9
10	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,3
12	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,6	2,1	2,4	2,8	3,2	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8
14	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,5	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	6,8	7,2	7,6
16	0,6	0,6	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5	3,2	3,9	4,5	5,1	5,7	6,3	6,9	7,4	8,0	8,5	9,1	9,6
18	0,7	0,7	0,9	1,2	1,7	2,2	3,0	3,9	4,7	5,4	6,2	6,9	7,6	8,4	9,1	9,8	10,4	11,1	11,8
20	0,8	0,8	1,1	1,4	2,0	2,5	3,6	4,6	5,5	6,4	7,4	8,2	9,1	10,0	10,8	11,7	12,5	13,3	14,1
22	0,9	0,9	1,2	1,6	2,2	2,9	4,1	5,3	6,4	7,5	8,6	9,6	10,7	11,7	12,7	13,7	14,7	15,7	16,7
24	1,0	1,0	1,4	1,8	2,6	3,3	4,7	6,1	7,4	8,6	9,9	11,2	12,4	13,6	14,8	15,9	17,1	18,2	19,4
28	1,2	1,2	1,7	2,2	3,2	4,1	6,0	7,7	9,4	11,1	12,8	14,3	16,0	17,6	19,1	20,7	22,2	23,8	25,3
32	1,4	1,4	2,1	2,7	3,9	5,0	7,3	9,5	11,7	13,8	15,9	17,9	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0
36	1,6	1,6	2,4	3,1	4,6	6,0	8,7	11,4	14,1	16,7	19,2	21,8	24,3	26,8	29,3	31,8	34,2	36,6	39,1
40	1,9	1,9	2,8	3,6	5,3	7,0	10,3	13,5	16,6	19,8	22,8	25,9	29,0	32,0	35,0	38,0	41,0	43,9	46,9

Масса ветвей (кг) в основных древостоях в абсолютно сухом состоянии в зависимости от средней ширины годичного кольца на высоте груди (мм) за последние 10 лет и диаметра (см)

D	Средняя ширина годичного кольца																		
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
6	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0
8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9
10	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
12	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5	4,7	4,9
14	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,8	2,4	2,9	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,7	6,1	6,4	6,7	7,0
16	0,5	0,9	1,2	1,4	1,9	2,4	3,1	3,8	4,5	5,1	5,6	6,2	6,7	7,3	7,8	8,2	8,7	9,2	9,6
18	0,6	1,1	1,4	1,8	2,4	2,9	3,9	4,8	5,7	6,5	7,3	8,0	8,8	9,5	10,1	10,8	11,5	12,1	12,7
20	0,7	1,2	1,7	2,1	2,8	3,5	4,8	6,0	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,0	12,9	13,8	14,6	15,5	16,3
22	0,8	1,4	2,0	2,5	3,4	4,2	5,8	7,3	8,6	10,0	11,2	12,5	13,7	14,9	16,0	17,1	18,2	19,3	20,4
24	0,9	1,6	2,3	2,8	3,9	5,0	6,9	8,7	10,4	12,0	13,6	15,1	16,6	18,1	19,5	20,9	22,3	23,7	25,0
28	1,1	2,0	2,9	3,7	5,2	6,6	9,3	11,8	14,3	16,6	18,9	21,2	23,4	25,6	27,7	29,8	31,9	33,9	36,0
32	1,4	2,5	3,6	4,6	6,6	8,4	12,0	15,5	18,8	22,1	25,3	28,4	31,5	34,5	37,5	40,5	43,4	46,3	49,2
36	1,6	3,0	4,3	5,6	8,1	10,5	15,1	19,6	24,0	28,3	32,6	36,8	40,9	45,0	49,1	53,1	57,1	61,0	64,9
40	1,8	3,5	5,1	6,7	9,7	12,7	18,6	24,3	29,9	35,4	40,9	46,3	51,7	57,0	62,3	67,6	72,8	78,0	83,2

Фактические данные надземной и подземной фитомассы модельных деревьев в абсолютно сухом состоянии за 1981—1983 гг. в сосняках Аман-Карагайского бора [Усольцев, Крепкий, 1986]

Пробная площадь	Происхождение *	Почвы **	Класс бонитета	Возраст, лет	Диаметр ствола, см	Высота ствола, м	Фитомасса, кг			
							надземной		корней	
							всего	хвои	всего	тонких
8	К	т-к	II	22	7,66	8,2	10,40	1,41	5,64	4,07
13	К	т-к	I	23	11,40	10,0	17,20	2,16	15,56	6,89
9	К	т-к	Ia	22	9,85	9,1	15,50	2,37	12,64	9,31
7	Е	д-б	IV	20	3,55	3,6	1,48	0,221	1,45	1,18
7	Е	д-б	IV	20	3,05	3,0	1,14	0,370	0,82	0,67
7	Е	д-б	IV	20	2,35	3,0	0,558	0,054	0,59	0,48
7	Е	д-б	IV	20	3,15	2,7	0,942	0,157	0,95	0,77
25	К	т-к	Ia	24	8,95	10,4	16,80	1,82	10,39	8,18
30	К	т-к	I	26	8,36	9,8	11,30	0,676	8,21	5,31
33	Е	д-б	IV	42	8,00	12,0	13,60	0,569	7,80	4,65
33	Е	д-б	IV	42	7,56	10,9	10,90	0,470	3,90	2,33
65	К	д-б	II	8	3,03	2,53	1,445	0,546	1,90	1,50
65	К	д-б	II	8	2,11	2,52	0,620	0,260	0,513	0,406
37	К	т-к	III	15	4,54	4,74	2,78	0,580	2,38	1,79
44	Е	д-б	III	22	1,25	3,53	0,224	0,010	0,089	0,062
44	Е	д-б	III	22	2,07	4,31	0,560	0,063	0,198	0,138
44	Е	д-б	III	22	4,39	6,72	3,212	0,415	1,189	0,828
44	Е	д-б	III	22	3,03	6,20	1,597	0,167	0,536	0,374
44	Е	д-б	III	22	4,96	5,81	2,956	0,425	1,279	0,891
44	Е	д-б	III	22	1,19	3,10	0,167	0,029	0,070	0,049
44	Е	д-б	III	22	2,59	5,72	1,074	0,103	0,525	0,366
55	Е	т-к	I	40	15,50	15,0	58,20	2,67	33,70	22,33

\* К — культуры; Е — естественный сосняк.  
\*\* т-к — темно-каштановые; д-б — дерново-бордовые почвы.

Таблица 10

Изменение надземной и подземной фитомассы сосны (кг) в связи с возрастом, высотой и диаметром ствола

A	H	D	P <sub>н.о</sub>	P <sub>хв</sub>	P <sub>к.о</sub>	P <sub>к.т</sub>	$\frac{P_{н.о} + P_{к.о}}{P_{к.т}}$	$\frac{P_{хв}}{P_{к.т}}$	$\frac{P_{н.о}}{P_{к.о}}$	$\frac{P_{к.т}}{P_{к.о}}$	$\frac{P_{хв}}{P_{н.о}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	2	1	0,12	0,033	0,071	0,055	0,19	0,61	1,71	0,77	0,28
		2	0,43	0,17	0,47	0,40	0,90	0,42	0,92	0,85	0,39
		3	0,91	0,43	1,42	1,27	2,33	0,34	0,65	0,90	0,47
	3	1	0,16	0,032	0,058	0,041	0,22	0,78	2,70	0,71	0,21
		2	0,56	0,16	0,39	0,30	0,95	0,54	1,46	0,78	0,29
		3	1,19	0,42	1,17	0,96	2,36	0,43	1,02	0,82	0,35



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
20	4	1	0,19	0,031	0,051	0,034	0,24	0,93	3,73	0,67	0,17	
		3	1,43	0,41	1,02	0,78	2,45	0,52	1,41	0,77	0,28	
		5	3,66	1,33	4,09	3,38	7,75	0,39	0,90	0,83	0,36	
	3	2	0,46	0,06	0,30	0,23	0,76	0,27	1,54	0,76	0,14	
		3	0,98	0,17	0,91	0,72	1,89	0,23	1,08	0,80	0,17	
		4	1,66	0,33	1,99	1,65	3,65	0,20	0,83	0,83	0,20	
	4	3	1,18	0,16	0,79	0,59	1,97	0,27	1,49	0,75	0,14	
		4	2,00	0,32	1,73	1,35	3,73	0,24	1,15	0,78	0,16	
		5	3,02	0,53	3,18	2,55	6,20	0,21	0,95	0,80	0,18	
	5	3	1,36	0,16	0,71	0,51	2,07	0,31	1,92	0,71	0,12	
		5	3,48	0,52	2,86	2,18	6,34	0,24	1,22	0,76	0,15	
		7	6,46	1,14	7,14	5,71	13,6	0,20	0,91	0,80	0,18	
6	5	3,92	0,51	2,62	1,92	6,54	0,27	1,50	0,73	0,13		
	7	7,27	1,12	6,55	5,03	13,8	0,22	1,11	0,77	0,15		
	9	11,5	2,02	13,0	10,3	24,5	0,20	0,89	0,80	0,17		
30	5	4	2,06	0,18	1,34	0,98	3,40	0,19	1,53	0,73	0,098	
		6	4,35	0,47	4,05	3,12	8,40	0,15	1,07	0,77	0,11	
		8	7,38	0,92	8,87	7,10	16,2	0,13	0,83	0,80	0,12	
	7	5	3,86	0,30	2,10	1,47	5,96	0,20	1,84	0,70	0,076	
		7	7,18	0,65	5,25	3,84	12,4	0,17	1,36	0,73	0,090	
		9	11,4	1,16	10,4	7,87	21,8	0,15	1,09	0,76	0,10	
	9	6	6,36	0,44	3,06	2,08	9,42	0,21	2,08	0,68	0,069	
		8	10,8	0,86	6,70	4,72	17,5	0,18	1,61	0,70	0,080	
		10	16,3	1,45	12,3	8,93	28,6	0,16	1,32	0,72	0,089	
	11	6	7,24	0,44	2,78	1,81	10,0	0,24	2,61	0,65	0,060	
		8	12,3	0,85	6,09	4,11	18,4	0,21	2,02	0,67	0,069	
		10	18,5	1,43	11,2	7,77	29,7	0,18	1,66	0,69	0,077	
40	8	7	7,22	0,44	4,44	3,11	11,7	0,14	1,62	0,70	0,060	
		9	11,4	0,79	8,80	6,38	20,2	0,12	1,30	0,72	0,068	
		11	16,6	1,26	15,2	11,3	31,8	0,11	1,09	0,74	0,075	
	10	8	10,6	0,59	5,74	3,90	16,3	0,15	1,85	0,68	0,055	
		10	16,1	0,99	10,5	7,39	26,6	0,13	1,52	0,70	0,061	
		12	22,5	1,51	17,3	12,4	39,8	0,12	1,30	0,72	0,067	
	12	10	18,1	0,97	9,66	6,51	27,8	0,15	1,87	0,67	0,053	
		12	25,3	1,48	15,9	11,0	41,2	0,14	1,59	0,69	0,058	
		14	33,6	2,12	24,2	17,0	57,8	0,12	1,39	0,70	0,063	
	50	10	8	10,0	0,44	5,30	3,57	15,3	0,12	1,89	0,67	0,043
			12	21,1	1,12	16,0	11,4	37,1	0,098	1,32	0,71	0,053
			16	35,8	2,19	35,0	25,8	70,8	0,084	1,02	0,74	0,061
15		16	46,5	2,11	28,8	19,5	75,3	0,11	1,62	0,68	0,045	
		20	70,2	3,55	52,9	36,9	123	0,096	1,32	0,70	0,050	
		24	98,1	5,42	86,9	62,1	185	0,087	1,13	0,71	0,055	
20		22	101	4,31	59,8	39,6	161	0,11	1,69	0,66	0,042	
		26	137	6,35	94,2	63,9	231	0,099	1,45	0,68	0,046	
		30	178	8,86	139	96,2	317	0,092	1,28	0,69	0,049	

Характеристика уравнения (4.27)

Таблица 11

Константы и показатели адекватности	Зависимые переменные									
	G, м <sup>2</sup> /га		N, тыс. экв./га		фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га					
	всего	кору	всего	кору	всего	ветвей	кору	хвои	всего	корней < 1 мм
$a_0$	-1,2013	0,8081	-3,3223	-4,0775	-4,4547	-2,8572	-5,3449	-1,5601	-4,6294	
$a_1$	2,8583	4,0773	5,6069	6,2440	9,5327	5,4801	13,9797	3,9383	4,0000	
$a_2$	-0,7154	-0,8293	-1,4658	-1,9330	-5,6862	-2,5775	-9,9007	-1,1960	-1,2724	
$a_3$	—	—	—	—	1,1440	0,2845	2,1709	—	—	
Стандартная ошибка уравнения	0,124	0,167	0,152	0,118	0,081	0,085	0,101	0,105	0,099	
Относительная погрешность, %	24,7	34,9	32,2	24,1	16,2	16,7	17,5	20,8	19,2	
$R^2$	0,874	0,717	0,941	0,945	0,956	0,901	0,865	0,924	0,918	
<b>Естественные сосиски</b>										
$a_0$	-4,3684	3,9415	-1,9626	-2,9156	-95,487	-113,133	-18,724	-1,0644	-0,8151	
$a_1$	3,3705	-1,8257	3,9772	4,6862	249,571	293,617	46,129	3,0109	2,5724	
$a_2$	-0,9416	—	-0,9446	-1,3080	-239,383	-279,788	-38,427	-0,8015	-0,6959	
$a_3$	—	—	—	—	100,418	116,343	13,252	—	—	
$a_4$	—	—	—	—	-15,523	-17,809	-1,572	—	—	
Стандартная ошибка уравнения	0,083	0,179	0,133	0,109	0,095	0,083	0,113	0,054	0,049	
Относительная погрешность, %	15,7	45,2	26,8	22,1	14,6	13,1	19,8	9,4	8,4	
$R^2$	0,857	0,922	0,906	0,837	0,904	0,918	0,766	0,927	0,908	

Характеристика уравнения (4.28) зависимости относительных показателей ( $P_i/M$ ) фракций фитомассы сосны от определяющих факторов

Константы, факторы и показатели адекватности	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га										Фитомасса кроны в свежем состоянии, т/га
	ствола		ветвей		хвои	корней		всего	ДЗ		
	всего	коры	всего	коры		всего	< 1 мм				
$a_0$	0,9498	1,8075	3,4410	2,9644	2,3368	2,3963	2,7158	2,0289	2,5587		
$a_1$ ( $\lg A$ )	$\frac{4,1280}{2,7}$	—	$\frac{1,6087}{8,1}$	$\frac{1,3841}{21,0}$	$\frac{3,9790}{2,8}$	$\frac{4,6165}{8,0}$	$\frac{1,9625}{39,3}$	$\frac{1,9663}{6,0}$	$\frac{3,5781}{1,8}$		
$a_2$ ( $\lg^2 A$ )	$\frac{3,5447}{2,7}$	$\frac{0,6989}{4,2}$	—	—	—	—	—	—	—		
$a_3$ ( $\lg^3 A$ )	$\frac{0,9008}{2,6}$	—	—	—	$\frac{0,7043}{2,2}$	$\frac{0,1470}{2,6}$	—	—	$\frac{0,6036}{1,4}$		
$a_4$ ( $\lg H_{100}$ )	—	$\frac{1,9846}{6,1}$	$\frac{1,9060}{5,0}$	$\frac{1,6157}{5,7}$	—	—	—	—	—		
$a_5$ ( $\lg^2 H_{100}$ )	—	—	—	—	$\frac{0,3837}{2,0}$	$\frac{0,7704}{13,8}$	$\frac{0,7876}{19,7}$	$\frac{0,7964}{4,7}$	$\frac{0,3832}{1,4}$		
$a_7$ ( $\lg^2 N$ )	—	—	$\frac{0,1176}{2,7}$	$\frac{0,1457}{5,0}$	$\frac{0,7271}{2,2}$	$\frac{0,0798}{2,3}$	—	$\frac{0,6515}{2,4}$	$\frac{0,6530}{1,4}$		
$a_8$ ( $\lg D_{cp}$ )	$\frac{2,0214}{3,2}$	—	$\frac{0,6760}{2,6}$	—	—	$\frac{1,3344}{5,1}$	$\frac{0,9067}{19,3}$	$\frac{1,7689}{3,1}$	—		

$a_9 (\lg A \lg N)$	$-\frac{0,4172}{2,8}$	—	—	$\frac{3,3730}{2,0}$	$\frac{0,2763}{2,8}$	—	$\frac{4,6156}{2,7}$	$\frac{3,2147}{1,4}$
$a_{10} (\lg A \lg D_{cp})$	$-\frac{2,6203}{2,9}$	—	—	$\frac{3,0572}{2,0}$	$-\frac{0,7171}{2,0}$	—	—	$\frac{2,6560}{1,3}$
$a_{11} (\lg N \lg D_{cp})$	—	$-\frac{0,4198}{8,6}$	$-\frac{0,4442}{9,2}$	$-\frac{1,7083}{2,5}$	$-\frac{0,2157}{2,1}$	—	$-\frac{1,7103}{2,9}$	$-\frac{1,4640}{1,5}$
$a_{12} (\lg^2 A \lg H_{100})$	—	—	—	—	—	—	—	—
$a_{13} (\lg^2 A \lg N)$	$\frac{0,3732}{3,1}$	—	—	$-\frac{1,3229}{2,2}$	—	—	$-\frac{3,3760}{2,9}$	$-\frac{1,3186}{1,6}$
$a_{14} (\lg^2 A \lg D_{cp})$	$\frac{0,6538}{3,6}$	—	—	$-\frac{1,7596}{2,3}$	$\frac{0,4816}{2,8}$	$\frac{0,0486}{5,5}$	—	$-\frac{1,5112}{1,4}$
$a_{15} (\lg^3 A \lg N)$	—	$-\frac{0,2368}{3,8}$	—	—	—	—	$\frac{0,8174}{2,9}$	—
Стандартная ошибка уравнения	0,038	0,056	0,128	0,117	0,125	0,037	0,146	0,174
Систематическая ошибка, %	-0,3	-0,8	-4,0	-3,5	-3,7	-0,3	-5,1	-7,1
Относительная погрешность, %	8,5	12,6	29,4	28,7	28,5	8,0	33,5	40,3
$R^2$	0,349	0,932	0,838	0,924	0,939	0,979	0,881	0,890

Примечание. В числителе — константы, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.

Характеристика уравнений (4.29) и (4.30) зависимости относительных показателей фракций фитомассы ( $P_i/M$ ) березы и осины от определяющих факторов

Константы, факторы и показатели адекватности	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га								
	ствола		ветвей		листьев		Крона в свежем состоянии, т/га		
	всего	коры	всего	коры	всего	листьев	всего	ДЗ	
1	2	3	4	5	6	7	8		
<b>Береза, (уравнение (4.29))</b>									
$a_0$	-0,5161	-1,6013	-1,6013	1,1207	2,4428	-2,3860	4,3288	-1,4816	
$a_1 (\lg A)$	—	5,4690	5,4690	-3,0465	-4,5843	—	—	—	
$a_2 (\lg^2 A)$	-0,6093	3,5	3,5	3,4	12,5	—	-2,4105	—	
$a_3 (\lg^3 A)$	4,2	-5,0526	-5,0526	0,6697	1,1230	—	7,3	—	
$a_4 (\lg H_{50})$	0,2931	3,7	3,7	2,5	10,3	—	0,8255	—	
	3,2	1,1343	1,1343	—	—	—	6,6	—	
$a_5 (\lg^2 H_{50})$	—	3,6	3,6	—	—	—	—	—	
	—	0,2975	0,2975	—	—	—	—	—	
	—	2,8	2,8	—	—	—	—	—	
$a_6 (\lg N)$	—	-2,0723	-2,0723	-0,2691	-0,2778	-0,2883	-0,2612	-0,2551	
	—	3,1	3,1	2,7	3,2	2,4	2,9	2,1	
$a_7 (\lg^2 N)$	-0,1527	0,2019	0,2019	1,6243	—	3,9640	—	3,4529	
	3,4	2,0	2,0	2,4	—	5,3	—	4,4	
	—	—	—	-0,6095	—	-1,4444	-0,4316	-1,2618	
	—	—	—	2,4	—	5,6	3,7	4,7	

$a_8 (\lg D_{cp})$	$\frac{1,6698}{3,5}$	$\frac{-2,5925}{3,7}$	$\frac{1,2758}{4,0}$	$\frac{0,8951}{5,5}$	$\frac{2,7562}{4,2}$	$\frac{1,4147}{3,8}$	$\frac{2,5455}{3,7}$
$a_9 (\lg A \lg N)$	$\frac{0,6666}{4,2}$	$\frac{4,2308}{3,2}$	—	—	—	$\frac{4,4035}{3,3}$	—
$a_{10} (\lg A \lg D_{cp})$	$\frac{-0,7141}{2,5}$	$\frac{4,4976}{3,6}$	—	—	$\frac{-1,0498}{5,0}$	—	$\frac{-1,0934}{5,0}$
$a_{11} (\lg N \lg D_{cp})$	$\frac{-0,9315}{4,1}$	—	$\frac{-1,3251}{2,5}$	—	$\frac{-3,1735}{6,1}$	$\frac{-1,5974}{3,6}$	$\frac{-2,9033}{5,4}$
Стандартная ошибка уравнения	0,023	0,033	0,078	0,077	0,105	0,073	0,108
Систематическая ошибка, %	-0,1	-0,3	-1,4	-1,5	-2,7	-1,2	-2,8
Относительная погрешность, %	5,0	7,3	17,8	17,7	23,8	16,1	24,9
$R^2$	0,617	0,733	0,758	0,803	0,752	0,793	0,763
<b>Ослна, уравнение (4.30)</b>							
$a_0$	$\frac{7,1366}{-2,9838}$	$\frac{0,8664}{-1,2293}$	$\frac{0,4299}{0,3990}$	$\frac{0,2573}{0,4745}$	$\frac{-0,1565}{-}$	$\frac{-0,3942}{4,2513}$	$\frac{0,4487}{-}$
$a_1 (\lg A)$	$\frac{-4,0}{-}$	$\frac{4,0}{-}$	$\frac{2,1}{-}$	$\frac{2,3}{-}$	—	$\frac{7,2}{-}$	—
$a_2 (\lg^2 A)$	—	—	$\frac{-0,5090}{4,4}$	$\frac{-0,6455}{5,2}$	—	—	—
$a_3 (\lg H_{50})$	$\frac{-4,3851}{2,3}$	$\frac{-0,1978}{2,3}$	—	—	—	—	—
$a_4 (\lg^2 H_{50})$	$\frac{1,7353}{2,3}$	—	$\frac{-0,4827}{8,7}$	$\frac{-0,4930}{8,4}$	$\frac{-0,1374}{2,5}$	—	$\frac{-0,1321}{2,3}$

1	2	3	4	5	6	7	8
$a_5 (\lg N)$	$\frac{-4,2436}{4,3}$	$\frac{-0,7368}{2,8}$	—	—	—	—	—
$a_6 (\lg^2 N)$	$\frac{0,7912}{4,4}$	—	—	—	$\frac{-0,2335}{5,6}$	—	$\frac{-0,2333}{5,5}$
$a_7 (\lg D_{cp})$	$\frac{-3,7500}{4,4}$	$\frac{-1,0893}{3,2}$	—	—	—	—	—
$a_8 (\lg A \lg N)$	$\frac{1,9402}{4,3}$	$\frac{0,5582}{3,0}$	$\frac{-0,4064}{7,9}$	$\frac{-0,3956}{7,3}$	—	$\frac{-0,5180}{5,9}$	$\frac{-0,7432}{11,0}$
$a_9 (\lg A \lg D_{cp})$	$\frac{2,3494}{4,2}$	$\frac{0,7498}{3,2}$	—	—	$\frac{-0,7343}{11,3}$	$\frac{-0,4771}{2,5}$	$\frac{-0,4514}{6,0}$
$a_{10} (\lg N \lg D_{cp})$	$\frac{0,9590}{4,2}$	—	—	—	$\frac{-0,4463}{6,1}$	—	—
$a_{12} (\lg^2 A \lg H_{50})$	—	—	—	—	—	$\frac{-0,4039}{4,4}$	—
Стандартная ошибка уравнения	0,029	0,035	0,079	0,083	0,079	0,086	0,082
Систематическая ошибка, %	-0,2	-0,3	-1,5	-1,7	-1,5	-1,8	-1,6
Относительная погрешность, %	6,1	7,7	18,2	19,6	17,7	19,8	18,4
$R^2$	0,666	0,967	0,862	0,898	0,924	0,717	0,923

Примечание. В числителе — константы, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.

Эксп. таблицы биологической продуктивности сомкнутых сосняков островных боров Казахстана, совмещенной с ТХР [Справочник..., 1980, табл. 45]

А, лет	H ср, м	D ср, см	N, экз./га	G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Фитомасса кроны в среднем состоя- нии, т/га			
						ствола		ветвей		корней		хвои	итого	всего	ДЗ
						всего	коры	всего	коры	всего	<1 мм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

## Полнота 1,0

## Ia класс бонитета

20	5,7	4,9	9 809	18,5	66	24,0	4,5	4,2	2,2	22,4	16,8	5,8	56,4	20,7	18,2
30	10,6	10,0	3 514	27,6	155	56,1	7,2	9,2	3,6	41,3	29,5	6,8	113,4	38,6	20,4
40	15,3	14,9	1 927	33,6	253	91,1	8,9	13,7	4,6	53,1	35,8	7,2	165,1	47,7	20,9
50	19,5	19,6	1 260	38,0	352	127	10,2	17,6	5,4	60,7	38,6	7,4	212,8	61,7	21,2
60	23,1	24,2	882	41,6	446	162	11,4	22,5	6,3	69,6	41,1	7,7	261,8	80,0	22,4
70	26,1	28,6	691	44,4	531	194	12,3	25,1	6,6	73,5	42,0	7,8	300,5	91,4	22,7
80	28,7	32,9	550	46,8	609	224	13,4	28,6	7,2	79,3	43,0	8,0	339,9	105	24,0
90	30,8	36,9	456	48,8	677	251	14,3	31,4	7,5	84,3	43,5	8,2	374,9	116	25,3
400	32,6	40,9	384	50,5	738	276	15,3	33,9	7,8	86,2	42,7	8,5	404,6	121	27,0
110	34,1	44,7	331	52,0	792	298	16,2	35,7	8,0	88,8	42,0	8,8	431,3	124	28,7
120	35,4	48,4	290	53,3	840	317	17,4	39,2	8,5	96,7	43,8	9,5	462,4	133	31,6

## I класс бонитета

20	5,1	4,2	12 202	16,9	56	20,5	4,6	3,8	2,2	21,0	15,6	5,6	50,9	20,8	16,7
30	9,3	8,7	4 239	25,2	128	47,1	6,5	7,4	3,1	34,4	24,8	5,9	94,8	27,6	17,7



Продолжение табл. 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	13,5	12,9	2 341	30,6	208	76,5	8,1	11,2	4,0	45,4	31,4	6,2	139,3	38,6	18,1
50	17,2	17,0	1 529	34,7	288	106	9,2	14,6	4,7	52,9	34,8	6,3	179,8	49,7	18,3
60	20,4	21,0	1 094	37,9	364	135	10,0	17,4	5,2	57,6	36,1	6,3	216,3	59,8	18,6
70	23,1	24,8	838	40,5	434	162	10,8	20,3	5,7	63,2	37,8	6,5	252,0	70,9	19,2
80	25,3	28,5	668	42,6	495	185	11,5	23,1	6,1	68,0	39,0	6,7	282,8	81,0	20,2
90	27,2	32,0	553	44,5	553	208	12,3	26,1	6,6	73,4	40,5	7,0	314,5	91,0	21,7
100	28,8	35,5	465	46,0	601	226	12,9	27,8	6,8	75,0	39,7	7,3	336,1	94,8	22,9
110	30,1	38,8	402	47,5	646	244	13,6	29,9	7,1	79,1	40,3	7,6	360,6	99,9	24,5
120	31,3	42,0	351	48,6	680	257	14,3	32,3	7,4	83,7	41,1	8,1	381,1	104	26,6

## II класс бонитета

20	4,4	3,5	15 904	15,3	47	17,4	4,0	2,8	1,8	15,7	11,5	5,1	41,0	17,1	15,8
30	8,1	7,2	5 600	22,8	104	39,2	6,4	6,5	2,9	31,8	23,2	5,5	83,0	25,4	16,5
40	11,7	10,7	3 092	27,8	169	63,9	7,4	8,6	3,4	37,2	26,1	5,3	115,0	29,7	15,5
50	14,9	14,1	2 018	31,5	232	88,0	8,1	10,8	3,8	41,9	28,4	5,2	145,9	35,9	15,2
60	17,6	17,4	1 446	34,4	291	111	8,7	13,0	4,2	46,3	30,3	5,2	175,5	43,1	15,3
70	19,9	20,6	1 104	36,8	346	132	9,3	15,4	4,7	51,3	32,4	5,4	204,1	51,4	15,9
80	21,9	23,7	880	38,8	397	151	9,9	17,7	5,1	55,9	34,1	5,6	230,2	59,1	16,6
90	23,5	26,6	727	40,4	440	168	10,3	19,6	5,4	59,5	35,1	5,7	252,8	65,2	17,5
100	24,9	29,5	612	41,8	479	182	10,7	21,5	5,7	62,6	35,8	6,0	272,1	70,4	18,7
110	26,0	32,2	529	43,1	513	195	11,1	23,1	5,9	65,7	36,4	6,3	290,1	74,0	19,9
120	27,0	34,9	462	44,2	544	206	11,5	24,6	6,1	67,9	36,5	6,7	305,2	75,9	21,5

III класс бонитета

20	3,7	2,9	20 909	13,8	38	14,2	3,8	2,4	1,6	13,3	9,6	4,9	34,8	16,5	15,1
30	6,8	5,9	7 535	20,6	83	32,4	5,9	5,1	2,5	25,9	18,9	4,9	68,0	21,4	14,6
40	9,9	8,8	4 127	25,1	133	51,8	6,7	6,8	2,9	30,6	21,9	4,6	93,8	23,7	13,5
50	12,6	11,7	2 642	28,4	182	71,0	7,2	8,5	3,2	34,5	24,2	4,5	118,5	28,0	13,0
60	14,9	14,4	1 909	31,1	229	89,4	7,7	10,4	3,7	39,3	26,8	4,5	143,6	33,9	13,1
70	16,9	17,0	1 462	33,2	272	106	8,1	12,1	4,0	42,3	28,2	4,6	165,0	38,8	13,4
80	18,6	19,5	1 172	35,0	311	121	8,3	13,6	4,2	45,2	29,4	4,7	184,5	43,6	13,8
90	19,9	22,0	992	36,5	344	133	8,5	15,1	4,4	49,2	30,9	4,8	202,1	48,8	14,2
100	21,4	24,3	839	37,7	373	144	8,7	16,2	4,6	50,9	31,2	4,9	216,0	51,7	14,9
110	22,1	26,6	718	38,9	401	153	8,9	17,5	4,8	53,3	31,9	5,2	229,0	54,8	15,9
120	22,9	28,8	612	39,9	424	161	9,1	19,0	5,1	54,6	32,2	5,6	240,2	56,2	17,4

IV класс бонитета

20	3,0	2,3	29 663	12,3	34	11,7	3,5	1,9	1,4	10,6	7,4	4,8	29,0	15,9	14,8
30	5,6	4,7	10 594	18,4	65	25,8	5,4	3,9	2,1	20,3	14,7	4,4	54,4	17,7	13,2
40	8,1	7,0	5 816	22,4	102	41,1	6,0	6,0	2,7	28,0	20,4	4,1	79,2	24,9	12,6
50	10,3	9,3	3 735	25,4	139	56,1	6,4	6,6	2,8	28,4	20,3	3,9	86,9	22,0	11,2
60	12,2	11,4	2 713	27,7	173	69,8	6,7	8,0	3,1	31,6	22,6	3,9	113,3	25,8	11,2
70	13,8	13,5	2 068	29,6	204	81,9	6,8	9,4	3,4	34,5	24,3	3,9	129,7	29,6	11,2
80	15,1	15,5	1 652	31,2	232	92,4	7,0	10,9	3,7	37,8	26,2	4,1	145,2	33,9	11,7
90	16,3	17,4	1 368	32,5	258	102	7,0	11,9	3,8	39,4	26,9	4,2	157,5	36,6	12,0
100	17,2	19,3	1 150	33,7	280	109	7,0	13,2	4,1	42,0	28,3	4,4	168,6	40,1	12,7
110	18,0	21,4	992	34,7	299	115	7,0	14,3	4,2	43,7	29,0	4,6	177,6	42,4	13,5
120	18,7	22,9	863	35,6	317	120	7,0	15,4	4,4	45,5	29,7	4,8	185,7	44,4	14,4

Эскиз таблицы биологической продуктивности березовых древостоев колочных лесов Казахстана и Сибири, совмещенной с ТХР [Справочник..., 1980, табл. 61] при полноте 1,0

А, лет	Н ср, м	D ср, см	N, экз./га	С, м <sup>2</sup> /га	М, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га				Фитомасса кроны в свежем состоянии, т/га			
						ствола		ветвей		листьев		итого	
						всего	кору	всего	кору				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

### Полнота 1,0

#### I класс бонитета

40	4,3	4,3	7 438	10,8	33	17,5	3,6	7,8	4,5	2,5	27,8	21	11
15	7,7	7,1	3 940	15,6	63	36,7	7,2	9,7	5,1	3,0	49,4	29	13
20	10,9	9,7	2 639	19,5	101	60,8	11,3	13,3	6,3	3,9	78,0	39	17
25	13,7	12,1	1 965	22,6	141	86,1	15,5	16,6	7,0	4,7	107,4	46	20
30	16,1	14,4	1 535	25,0	177	109	18,8	20,8	8,1	5,5	135,3	55	23
35	18,1	16,5	1 263	27,0	212	130	22,1	24,9	8,9	6,2	161,1	63	25
40	19,7	18,5	1 064	28,6	242	149	24,8	29,2	9,8	6,8	185,0	70	27
45	21,2	20,3	927	30,0	268	164	27,2	33,2	10,6	7,1	204,3	77	28
50	22,3	22,0	816	31,1	291	177	29,4	37,5	11,4	7,5	222,0	84	29
55	23,4	23,5	736	31,9	313	189	31,7	41,8	12,2	7,8	238,6	91	30
60	24,2	25,0	664	32,6	330	199	33,4	46,4	13,1	8,0	253,4	99	31
65	25,0	26,4	605	33,1	343	206	35,2	49,8	13,7	8,0	263,8	105	31
70	25,6	27,7	558	33,6	356	213	37,1	53,9	14,5	8,0	274,9	112	31
75	26,2	28,9	517	33,9	366	219	38,9	57,0	15,1	7,9	283,9	117	30
80	26,7	30,1	481	34,2	376	224	40,8	60,5	15,7	7,7	292,2	123	30

## II класс бонитета

10	9	823	10,0	25	12,4	2,8	5,9	3,2	2,1	20,4	16	9
15	11	157	14,1	49	26,1	5,6	7,4	3,8	2,6	36,1	22	11
20	13	3461	17,4	77	42,0	8,7	9,3	4,4	3,0	54,3	27	13
25	15	2496	20,0	110	60,8	12,0	12,1	5,3	3,7	76,6	33	15
30	17	1963	22,2	138	76,5	14,5	14,6	5,9	4,1	95,2	38	17
35	18	1628	24,0	163	90,0	16,6	17,1	6,6	4,5	111,6	43	18
40	20	1363	25,4	187	103	18,6	20,0	7,3	4,9	127,9	48	20
45	21	1186	26,6	207	114	20,3	22,6	7,8	5,1	141,7	52	21
50	22	1053	27,7	226	124	22,0	25,2	8,4	5,3	154,5	56	22
55	24	945	28,5	241	131	23,4	27,9	9,1	5,4	164,3	61	24
60	21	851	29,2	254	138	24,7	30,6	9,6	5,5	174,1	65	21
65	22	784	29,8	267	145	26,1	33,1	10,2	5,5	183,6	70	22
70	24	723	30,3	278	151	27,5	35,7	10,8	5,5	192,2	74	24
75	21	675	30,8	288	156	29,0	38,2	11,4	5,5	199,7	79	21
80	22	629	31,1	296	160	30,3	40,7	12,0	5,4	206,1	84	22

## III класс бонитета

10	7	939	9,2	17	8,1	2,0	3,9	1,9	1,7	13,7	10	7
15	9	7378	12,8	38	18,9	4,6	5,3	2,6	2,2	26,4	16	9
20	11	4849	15,6	62	31,3	7,1	7,0	3,3	2,6	40,9	20	11
25	12	3581	17,9	84	42,5	9,2	8,2	3,7	2,9	53,6	23	12
30	13	2794	19,7	105	53,0	11,0	9,7	4,1	3,1	65,8	26	13
35	13	2272	21,2	125	62,9	12,6	11,4	4,6	3,4	77,7	29	13
40	14	1925	22,5	142	71,2	14,0	12,9	5,0	3,5	87,6	31	14
45	14	1700	23,6	159	79,2	15,4	14,4	5,5	3,6	97,2	34	14
50	14	1484	24,5	171	85,1	16,3	15,9	5,8	3,7	104,7	36	14
55	14	1341	25,3	183	90,9	17,4	17,4	6,3	3,7	112,0	39	14
60	14	1211	25,9	195	96,8	18,5	19,1	6,7	3,8	119,7	42	14
65	14	1114	26,7	205	102	19,6	20,4	7,1	3,7	126,1	45	14

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
70	18,3	18,2	1 034	26,9	212	105	20,4	21,6	7,4	3,7	130,3	47	14
75	18,7	19,0	966	27,4	219	109	21,4	23,1	7,9	3,7	135,8	50	14
80	19,0	19,8	900	27,7	225	112	22,3	24,5	8,3	3,6	140,1	53	14
<i>IV класс бошкета</i>													
10	2,5	2,2	23 684	9,0	13	6,3	1,7	2,8	1,2	1,6	40,7	8	7
15	4,5	3,5	12 162	11,7	28	13,7	3,6	3,6	1,6	1,9	19,2	11	8
20	6,4	4,8	7 624	13,8	46	22,5	5,7	4,5	2,0	2,2	29,2	14	9
25	8,0	6,0	5 483	15,5	62	30,1	7,2	5,3	2,3	2,3	37,7	15	9
30	9,3	7,2	4 151	16,9	77	37,1	8,4	6,2	2,6	2,4	45,7	17	10
35	10,5	8,2	3 427	18,1	91	43,6	9,4	7,1	3,0	2,6	53,3	19	10
40	11,4	9,2	2 888	19,2	102	48,6	10,2	7,8	3,2	2,6	59,0	20	10
45	12,2	10,1	2 509	20,1	113	53,7	11,0	8,6	3,4	2,6	64,9	22	10
50	12,9	10,9	2 251	21,0	123	58,3	11,8	9,4	3,7	2,6	70,3	23	10
55	13,5	11,8	1 984	21,7	133	63,0	12,5	10,5	4,1	2,7	76,2	25	10
60	14,0	12,5	1 826	22,4	142	67,4	13,4	11,3	4,4	2,6	81,3	27	10
65	14,4	13,2	1 681	23,0	149	70,9	14,0	12,1	4,7	2,6	85,6	29	10
70	14,8	13,9	1 556	23,6	156	74,6	14,8	13,1	5,0	2,6	90,3	31	10
75	15,1	14,5	1 454	24,0	161	77,3	15,4	13,7	5,2	2,6	93,6	33	10
80	15,4	15,0	1 387	24,5	168	81,3	16,5	14,4	5,5	2,5	98,2	35	9
<i>I класс бошкета</i>													
20	10,9	13,6	937	13,6	62	54,6	8,4	11,8	5,2	3,1	69,5	49,3	14,1
30	16,1	20,2	545	17,5	120	107	14,8	21,2	7,4	4,9	133,1	76,2	22,5
40	19,7	25,9	378	20,0	168	149	19,5	31,1	9,2	6,2	186,3	97,7	28,1

Полнога 0,7

*I класс бошкета*

50	22,3	30,9	290	21,8	204	176	22,7	40,8	10,8	6,9	223,7	115	31,2
60	24,2	35,1	236	22,8	227	180	24,9	48,9	12,0	7,0	235,9	127	31,3
70	25,6	38,9	198	23,5	231	188	25,2	54,8	12,8	6,6	249,4	134	29,5
80	26,7	42,2	171	23,9	239	191	26,8	60,0	13,6	6,1	257,1	141	27,3

II класс бонитета

20	9,2	11,2	1	229	12,2	52	6,7	8,8	4,0	2,4	49,0	33,4	11,1
30	13,6	16,8	697	15,5	97	72,7	11,4	15,1	5,6	3,6	91,4	49,8	16,4
40	16,7	21,6	484	17,8	133	98,0	14,3	21,4	7,0	4,4	123,8	62,1	19,6
50	19,0	25,7	374	19,4	163	117	16,7	27,6	8,2	4,8	149,4	72,1	21,2
60	20,5	29,3	302	20,4	175	123	17,5	32,3	9,0	4,7	160,0	78,0	20,7
70	21,7	32,4	257	21,2	186	127	18,5	36,5	9,8	4,5	168,0	83,5	19,7
80	22,6	35,3	223	21,8	194	130	19,8	40,5	10,5	4,2	174,7	89,2	18,5

III класс бонитета

20	7,6	9,0	1	721	10,9	43	5,3	6,7	3,1	2,1	35,4	23,0	9,2
30	11,3	13,3	992	13,8	78	48,3	8,6	10,4	4,2	2,8	61,5	31,5	12,2
40	14,0	17,1	688	15,8	106	64,1	10,5	14,2	5,1	3,1	81,4	37,8	13,7
50	15,9	20,3	527	17,2	127	75,0	11,9	17,5	5,9	3,2	95,7	42,6	14,2
60	17,3	23,1	430	18,1	139	80,2	12,7	20,3	6,5	3,2	103,7	45,9	13,7
70	18,3	25,5	367	18,8	147	83,2	13,4	22,6	7,0	3,0	108,8	48,6	12,8
80	19,0	27,8	320	19,4	154	86,0	14,2	24,8	7,5	2,8	113,6	52,0	11,9

IV класс бонитета

20	6,4	6,8	2	706	9,7	36	4,5	4,9	2,2	1,9	26,1	15,7	8,4
30	9,3	10,1	1	474	11,8	58	6,1	6,7	2,8	2,1	39,5	19,2	9,1
40	11,4	12,9	1	025	13,4	78	7,3	8,6	3,3	2,2	50,9	22,1	9,5
50	12,9	15,3	799	14,7	94	46,9	8,2	10,4	3,8	2,2	59,5	24,4	9,5

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
60	14,0	17,5	648	15,7	102	50,1	8,6	11,8	4,2	2,1	64,0	26,1	8,9
70	14,8	19,5	552	16,5	109	52,9	9,0	13,3	4,6	2,0	68,2	28,1	8,4
80	15,4	24,0	492	17,2	113	54,3	9,5	14,1	4,9	1,8	70,2	29,3	7,6
<b>Полноца 0,5</b>													
<i>I класс бонитета</i>													
20	10,9	15,7	501	9,8	43	48,0	7,5	8,5	4,1	1,8	58,3	49,9	9,1
30	16,1	23,3	292	12,5	82	91,9	12,4	15,1	5,7	2,8	109,8	73,9	14,4
40	19,7	30,0	202	14,3	114	126	15,8	22,2	7,1	3,4	151,6	92,4	17,9
50	22,3	35,7	155	15,6	137	145	17,8	28,7	8,3	3,7	177,4	104	19,3
60	24,2	40,6	126	16,3	152	149	18,6	34,2	9,2	3,7	186,4	112	19,4
70	25,6	44,9	106	16,8	154	150	18,9	37,8	9,8	3,4	191,2	114	17,5
80	26,7	48,9	91	17,1	160	151	19,8	41,3	10,4	3,0	195,3	118	16,0
<i>II класс бонитета</i>													
20	9,2	13,0	658	8,7	37	33,0	5,9	6,6	3,3	1,4	41,0	33,5	7,3
30	13,6	19,5	373	11,1	68	61,9	9,5	11,1	4,5	2,1	75,1	47,9	10,7
40	16,7	25,0	259	12,7	92	81,3	11,5	15,5	5,5	2,4	99,2	57,1	12,5

50	19,0	29,6	200	13,8	111	93,8	12,9	19,5	6,4	2,6	115,9	63,0	13,0
60	20,5	33,9	162	14,6	120	98,3	13,3	23,1	7,1	2,5	123,9	67,6	12,7
70	21,7	37,4	137	15,2	126	99,0	13,7	25,5	7,6	2,3	126,8	69,3	11,7
80	22,6	40,5	120	15,6	132	100	14,3	27,8	8,1	2,1	129,9	71,3	10,7

III класс бонитета

20	7,6	10,4	921	7,8	31	22,4	4,6	5,1	2,5	1,3	28,8	22,2	6,1
30	11,3	15,3	531	9,8	56	39,4	7,0	7,7	3,4	1,6	48,7	28,7	7,9
40	14,0	19,7	366	11,2	75	51,4	8,3	10,4	4,1	1,8	63,6	33,3	8,8
50	15,9	23,5	282	12,2	90	59,6	9,2	13,0	4,7	1,8	74,4	36,8	9,0
60	17,3	26,7	230	13,0	98	62,4	9,5	14,8	5,2	1,7	78,9	38,4	8,5
70	18,3	29,5	196	13,4	103	63,8	9,8	16,4	5,6	1,6	81,8	39,6	7,8
80	19,0	32,0	171	13,8	107	64,2	10,2	17,6	5,9	1,4	83,2	40,6	7,1

IV класс бонитета

20	6,4	7,8	1 449	6,9	27	15,7	3,8	3,8	1,8	1,2	20,7	14,5	5,5
30	9,3	11,6	789	8,4	43	24,2	5,0	5,1	2,3	1,2	30,5	16,8	5,9
40	11,4	14,9	549	9,6	57	31,4	5,7	6,6	2,8	1,3	39,3	18,9	6,2
50	12,9	17,7	428	10,1	68	36,2	6,2	8,0	3,2	1,3	45,5	20,4	6,2
60	14,0	20,3	347	11,2	74	38,3	6,4	9,1	3,5	1,2	48,6	21,4	5,8
70	14,8	22,5	296	11,8	78	34,5	6,5	10,0	3,8	1,1	50,5	22,1	5,3
80	15,4	24,3	263	12,2	82	40,0	6,8	10,6	4,1	1,0	51,6	22,7	4,8



Экспиз таблицы биологической продуктивности основных древостоев колючих лесов Казахстана и Сибири, совмещенной с ТХР [Справочник..., 1980, табл. 65] при полноте 1,0

Таблица 16

А, лет	H <sub>ср</sub> , м	D <sub>ср</sub> , см	N, экз./га	G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Фитомасса кроны в снежном состоянии, т/га		
						ствола		ветвей		листья	ев	итого	всего	ДЗ
						всего	коры	всего	коры					
						7	8	9	10	11	12	13	14	

## Полнота 1,0

## Ia класс бонитета

10	7,2	5,7	6 308	16,4	63	25,0	5,8	7,1	4,0	2,5	34,6	21	10
15	10,8	8,0	4 500	22,5	120	49,9	9,6	10,4	5,4	3,2	63,5	30	13
20	13,9	10,6	3 034	26,7	178	76,6	13,1	13,8	6,6	3,7	94,1	37	15
25	16,2	13,2	2 175	29,8	227	99,2	15,7	16,4	7,3	3,8	119,4	41	15
30	18,0	16,0	1 597	32,1	268	117	17,4	18,7	7,8	3,8	139,5	44	15
35	19,4	18,7	1 233	33,9	303	131	18,7	21,2	8,4	3,7	155,9	47	14
40	20,8	21,5	972	35,3	336	143	19,8	23,6	8,9	3,5	170,1	49	14
45	21,7	24,3	784	36,4	362	150	20,4	26,4	9,5	3,4	179,8	52	13
50	22,7	27,1	646	37,3	384	155	20,8	29,1	10,1	3,2	187,3	55	12

## I класс бонитета

10	6,3	4,1	11 231	14,6	51	20,7	4,8	5,2	3,0	2,0	27,9	15	8
15	9,5	7,0	5 289	20,1	96	39,8	8,0	8,9	4,6	2,8	51,5	25	11
20	12,4	9,8	3 243	24,1	145	61,0	11,0	12,5	6,0	3,3	76,8	33	13
25	14,5	12,7	2 134	27,1	187	78,8	13,2	15,7	7,0	3,5	98,0	39	14

30	16,4	15,4	1 591	29,6	228	96,0	15,1	18,3	7,7	3,5	117,8	43	14
35	18,0	18,2	1 215	31,6	264	110	16,5	20,9	8,3	3,4	134,3	46	14
40	19,3	20,9	971	33,3	297	123	17,7	23,0	8,7	3,3	149,3	48	13
45	20,4	23,6	794	34,7	326	132	18,6	25,7	9,3	3,2	160,9	51	12
50	21,4	26,2	668	36,0	353	140	19,4	28,3	9,8	3,0	171,3	54	12

II класс бонитета

10	5,0	3,1	16 375	13,1	38	16,4	3,8	4,1	2,4	1,7	22,2	11	7
15	7,5	5,2	8 428	17,7	70	31,2	6,2	6,4	3,4	2,2	39,8	17	9
20	10,1	7,4	4 907	21,4	107	47,5	8,6	9,2	4,5	2,7	59,4	24	11
25	12,1	9,8	3 160	23,7	140	61,3	10,5	11,6	5,3	2,9	75,8	29	12
30	13,8	12,4	2 140	25,9	171	73,1	12,0	14,3	6,1	3,0	90,4	34	12
35	15,3	15,2	1 527	27,8	201	83,9	13,2	17,0	6,8	3,0	104,9	39	12
40	16,6	18,3	1 118	29,4	228	92,8	14,1	19,9	7,6	2,9	115,6	43	11
45	17,8	21,6	842	30,8	255	101	14,9	23,2	8,5	2,8	127,0	48	11
50	18,8	25,3	636	32,0	278	108	15,4	27,1	9,4	2,7	137,8	53	10

III класс бонитета

15	5,6	3,1	18 750	15,0	47	28,0	4,5	4,0	2,2	1,8	33,8	11	7
20	7,9	5,7	6 769	17,6	73	36,0	6,3	7,0	3,4	2,3	45,3	18	9
25	9,6	8,6	3 414	19,8	96	43,1	7,5	9,4	4,3	2,4	54,9	24	9
30	11,3	11,6	2 047	21,7	120	51,5	8,7	12,6	5,4	2,5	66,4	30	10
35	12,7	14,6	1 401	23,4	144	60,1	9,7	15,8	6,4	2,5	73,4	36	10
40	13,9	17,5	1 033	24,8	165	67,3	10,4	18,7	7,2	2,5	88,5	42	10
45	15,0	20,2	816	26,1	186	74,4	11,1	21,2	7,7	2,4	98,0	46	9
50	16,0	22,8	671	27,4	206	80,7	11,7	23,6	8,2	2,3	106,6	49	9

Полнота 0,7

Ia класс бонитета

40	7,2	7,2	2 839	11,5	48,3	24,4	4,7	3,8	4,2	2,6	30,8	21,5	10,3
20	13,9	13,2	1 365	18,7	124	57,6	9,0	6,8	7,0	3,4	67,8	38,6	13,5

Продолжение табл. 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30	18,0	19,9	719	22,5	188	86,2	11,4	9,7	8,8	3,3	99,2	48,9	13,4
40	20,8	26,8	437	24,7	235	106	12,4	12,0	9,9	2,9	120,9	54,7	11,5
50	22,7	33,8	291	26,1	267	118	12,5	13,8	10,5	2,5	134,3	57,6	9,7
10	6,3	5,1	5 054	10,2	40,6	18,2	4,1	2,6	3,4	2,2	23,0	16,6	9,0
20	12,4	12,2	1 446	16,9	102	45,9	7,6	6,2	6,6	3,0	55,4	34,8	12,1
30	16,4	19,2	716	20,7	154	68,7	9,6	9,2	8,6	3,0	80,9	46,3	11,7
40	19,3	26,0	437	23,3	194	84,7	10,5	11,4	9,8	2,6	98,7	53,0	10,3
50	21,4	32,6	301	25,2	226	95,6	10,8	12,8	10,4	2,2	110,6	56,7	8,8
<i>II класс бонитета</i>													
10	5,0	4,0	7 369	9,2	33,3	14,5	3,5	2,2	2,9	2,0	18,7	13,4	7,9
20	10,1	9,2	2 208	14,8	82,3	35,6	6,5	4,6	5,2	2,7	42,9	27,8	10,9
30	13,8	15,5	963	18,1	124	53,1	8,2	7,2	7,0	2,7	63,0	39,4	10,7
40	16,6	22,8	503	20,6	154	65,3	8,7	9,6	8,6	2,3	77,2	48,2	9,3
50	18,8	31,6	286	22,4	174	73,6	8,4	12,4	10,0	1,9	87,9	55,5	7,6
<i>III класс бонитета</i>													
20	7,9	7,2	3 046	12,3	64,0	28,4	5,4	3,8	4,2	2,5	34,7	22,8	9,8
30	11,3	14,5	921	15,2	91,8	41,1	6,2	7,0	6,6	2,3	50,4	36,7	9,2
40	13,9	21,8	465	17,4	112	50,0	6,4	9,5	8,1	2,0	61,5	46,2	7,7
50	16,0	28,4	302	19,2	129	55,8	6,4	11,1	8,8	1,6	68,5	52,2	6,5
<b>Полнога 0,5</b>													
<i>Ia класс бонитета</i>													
10	7,2	7,1	2 082	8,2	38,1	25,6	3,9	4,5	3,8	2,4	33,5	20,1	9,8

20	13,9	13,0	1 001	13,4	94,3	52,2	6,9	7,3	6,2	3,1	62,6	36,4	12,2
30	18,0	19,6	527	16,1	136	72,8	8,1	9,9	7,6	2,8	85,5	45,5	11,2
40	20,8	26,4	324	17,6	165	85,8	8,3	11,9	8,4	2,4	100,1	50,2	9,4
50	22,7	33,3	213	18,6	181	92,4	7,9	13,3	8,8	1,9	107,6	52,0	7,6

*I класс бонитета*

10	6,3	5,0	3 706	7,3	33,2	18,3	3,6	3,0	3,4	2,2	23,5	16,1	9,1
20	12,4	12,0	1 060	12,1	77,0	41,4	5,8	6,6	5,8	2,8	50,8	32,8	11,0
30	16,4	18,9	525	14,8	111	58,1	6,8	9,4	7,4	2,5	70,0	42,9	10,0
40	19,3	25,7	320	16,6	136	68,8	7,0	11,3	8,3	2,1	82,2	48,6	8,4
50	21,4	32,3	220	18,0	155	75,1	6,9	12,5	8,8	1,8	89,4	51,6	7,0

*II класс бонитета*

10	5,0	3,9	5 404	6,6	27,8	14,2	3,1	2,4	2,7	2,0	18,6	13,3	8,2
20	10,1	9,1	1 619	10,6	64,5	31,4	5,2	4,8	4,8	2,6	38,8	27,1	10,3
30	13,8	15,2	706	13,0	90,9	43,9	5,8	7,1	6,2	2,3	53,3	37,0	9,3
40	16,6	22,5	369	14,7	109	52,6	5,8	9,5	7,3	1,9	64,0	44,4	7,6
50	18,8	31,1	210	16,0	117	57,8	5,3	12,0	8,3	1,5	71,3	49,7	5,8

*III класс бонитета*

20	7,9	7,1	2 234	8,8	51,0	24,5	4,3	3,9	3,9	2,4	30,8	22,6	9,5
30	11,3	14,3	675	10,8	66,9	34,4	4,4	7,0	5,8	2,0	43,4	34,3	7,9
40	13,9	21,5	341	12,4	77,9	40,6	4,2	9,4	6,8	1,6	51,6	42,0	6,2
50	16,0	28,1	221	13,7	87,2	44,1	4,1	10,8	7,4	1,3	56,2	46,9	5,0

Эскиз таблицы биологической продуктивности сосновых древостоев, совмещенной со всеобщей ТХР [Загрезев, 1974]

А, лет	H <sub>ср.</sub> м	D <sub>ср.</sub> см	N, акз./га	G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Крона в среднем состоянии, т/га			
						стволов		ветвей		корней		хвои		итого	
1	2	3	4	5	6	всего	коры	всего	коры	всего	<1 мм	всего	ДЗ	15	6
<i>II (I6) класс бонитета</i>															
10	5,6	5,6	6 920	47,3	64	26,0	2,9	7,5	3,6	33,5	28,7	12,3	79,3	35	35
20	11,4	10,8	3 293	30,3	177	61,9	6,7	12,4	4,6	52,9	39,0	12,5	139,7	48	37
30	16,9	16,2	1 903	39,2	307	104	9,0	16,2	5,3	60,3	40,4	11,2	191,7	58	32
40	21,6	21,4	1 279	46,0	441	151	11,0	20,2	5,9	67,8	42,0	10,4	249,4	73	30
50	25,5	26,4	927	50,7	562	194	12,9	25,6	6,9	80,6	46,6	10,2	310,4	98	29
60	28,7	31,0	710	53,6	658	231	14,3	30,1	7,6	89,5	48,9	10,0	360,6	120	29
70	31,4	35,0	578	55,6	738	263	15,4	33,4	8,1	95,7	49,7	9,7	401,8	136	29
80	33,4	38,5	489	57,0	800	290	16,2	34,8	8,2	96,0	47,7	9,4	430,2	144	28
90	35,0	41,8	422	57,9	845	311	16,7	35,5	8,2	95,0	45,3	9,1	450,6	141	28
100	36,5	44,7	373	58,5	886	329	17,4	35,8	8,1	93,4	43,0	8,9	467,1	137	28
110	37,7	47,3	335	58,8	946	343	17,9	35,5	7,9	90,8	40,5	8,8	478,1	130	29
120	38,7	49,6	305	59,0	941	354	18,5	35,0	7,7	87,8	38,0	8,8	485,6	120	29
130	39,6	51,7	282	59,1	962	364	19,1	34,2	7,4	84,8	35,8	8,8	491,8	110	30
140	40,3	53,6	262	59,0	975	369	19,6	33,2	7,2	81,3	33,6	8,9	492,4	99	31
150	40,9	55,2	246	58,9	985	372	20,2	32,0	6,9	77,5	31,4	9,0	490,5	88	32
160	41,4	56,6	233	58,7	992	373	20,8	30,7	6,6	73,7	29,4	9,1	486,5	77	33
<i>III (Ia) класс бонитета</i>															
10	4,8	4,8	8 167	14,7	48	18,9	2,6	5,9	3,0	27,1	23,3	9,8	61,7	30	30

# Электронный архив УГЛТУ

20	10,4	9,3	3 824	26,0	139	49,0	5,7	9,4	3,8	41,0	30,6	9,9	109,3	36	29
30	15,0	13,8	2 260	33,9	247	85,8	8,2	13,2	4,6	51,3	35,3	9,3	159,6	46	27
40	19,2	18,5	1 483	39,9	355	124	10,1	17,5	5,4	61,9	39,8	9,0	212,4	62	26
50	22,7	22,9	1 073	44,2	455	161	11,6	21,6	6,2	71,1	43,1	8,7	262,4	79	25
60	25,5	27,0	822	47,1	536	192	12,8	25,6	6,9	80,0	46,1	8,6	306,2	97	25
70	27,9	30,7	662	49,0	603	219	13,5	28,0	7,2	83,0	45,7	8,3	338,3	107	25
80	29,8	34,0	555	50,4	656	241	14,1	29,4	7,3	83,8	44,3	8,1	362,3	112	25
90	31,3	37,0	477	51,3	697	259	14,5	30,2	7,2	83,1	42,7	8,0	380,3	113	25
100	32,6	39,7	420	52,0	732	274	14,9	30,6	7,2	81,8	40,4	7,9	394,3	110	25
110	33,7	42,1	376	52,4	759	286	15,3	30,7	7,1	80,1	38,5	7,9	404,7	106	26
120	34,6	44,2	344	52,7	782	295	15,7	30,4	7,0	78,1	36,6	7,9	411,4	99	26
130	35,3	46,2	316	52,9	799	302	16,1	29,8	6,8	75,4	34,4	8,0	415,2	91	27
140	36,0	48,1	292	53,0	814	307	16,5	29,2	6,6	72,8	32,6	8,1	417,1	83	28
150	36,6	49,5	275	53,0	826	310	16,9	28,2	6,3	69,4	30,6	8,3	415,9	74	29
160	37,1	51,0	259	52,9	836	312	17,3	27,4	6,1	66,7	28,9	8,5	414,6	66	30

## IV (I) класс бонитета

20	4,1	4,0	9 615	12,5	37	14,1	2,4	4,9	2,7	22,6	19,4	8,5	50,1	28	27
30	8,6	8,0	4 440	22,2	106	37,6	5,0	7,5	3,2	33,6	25,3	8,1	86,8	30	24
40	12,7	11,7	2 694	29,1	187	66,3	7,2	10,4	3,9	42,4	29,9	7,6	126,7	37	22
50	16,4	15,7	1 773	34,4	272	97,2	8,9	14,1	4,7	52,5	35,1	7,4	171,2	49	22
60	19,6	19,7	1 259	38,4	354	128	10,2	17,7	5,4	61,0	38,7	7,3	214,0	62	21
70	22,2	23,2	969	41,0	420	153	11,0	20,2	5,8	65,4	39,8	7,1	245,7	72	21
80	24,4	26,6	772	42,9	477	176	11,5	22,5	6,1	68,6	40,1	7,0	274,1	81	21
90	26,2	29,5	648	44,3	535	196	12,0	24,1	6,3	70,8	39,9	6,9	297,8	86	21
100	27,6	32,2	557	45,3	560	210	12,4	25,5	6,5	72,5	39,7	6,9	314,9	90	21
110	28,8	34,7	486	46,0	591	223	12,6	26,0	6,4	71,6	38,1	6,9	327,5	89	22
120	29,8	36,9	435	46,5	615	232	12,9	26,9	6,5	72,7	37,7	7,1	338,7	88	23
130	30,7	38,9	394	46,8	636	240	13,2	26,8	6,4	70,6	35,9	7,2	344,6	83	23
140	31,4	40,7	362	47,1	654	246	13,4	26,4	6,2	68,3	34,0	7,3	348,0	77	24

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
140	32,0	42,3	337	47,3	668	251	13,6	25,8	6,0	65,8	32,2	7,5	350,4	71	25
150	32,6	43,6	317	47,4	680	253	13,8	25,0	5,8	62,8	30,3	7,6	348,4	64	26
160	33,1	44,9	299	47,4	690	254	14,1	24,3	5,6	60,2	28,7	7,9	346,4	57	28
<b>V (II) класс бонитета</b>															
10	3,4	3,2	13 425	40,5	28	40,2	2,0	3,5	2,2	16,5	13,9	6,8	37,0	23	22
20	7,1	6,6	5 559	18,9	79	28,3	4,4	5,7	2,7	26,4	20,0	6,6	67,0	24	20
30	10,4	9,7	3 365	24,9	137	49,7	6,3	8,1	3,2	34,4	24,8	6,2	98,4	29	18
40	13,6	13,2	2 161	29,6	202	74,1	7,7	11,2	4,0	43,5	30,1	6,1	134,9	38	18
50	16,4	16,6	1 537	33,2	266	98,5	8,8	14,1	4,6	51,0	33,8	6,0	169,6	48	18
60	18,8	19,7	1 167	35,6	320	120	9,4	16,4	5,0	55,3	35,4	5,9	197,6	56	17
70	20,8	22,6	933	37,4	367	138	9,8	18,3	5,3	58,0	36,1	5,9	220,2	62	17
80	22,4	25,3	771	38,8	405	153	10,0	19,6	5,4	59,3	35,8	5,9	237,8	66	18
90	23,8	27,8	656	39,8	439	167	10,3	21,3	5,7	61,3	36,4	6,0	256,3	71	18
100	25,0	30,0	573	40,5	466	177	10,5	21,8	5,7	61,3	36,4	6,1	266,2	70	19
110	25,9	32,0	510	41,0	486	185	10,6	22,4	5,7	61,3	34,5	6,2	274,9	69	20
120	26,7	33,8	462	41,4	504	191	10,7	22,4	5,6	59,6	32,9	6,3	279,3	66	20
130	27,4	35,4	425	41,8	520	196	10,8	22,1	5,5	57,7	31,4	6,5	283,3	62	21
140	28,0	36,9	393	42,0	534	199	10,9	21,8	5,4	55,8	29,9	6,7	283,3	57	22
150	28,6	38,1	370	42,2	547	202	11,0	21,2	5,2	53,6	28,4	6,9	283,7	52	23
160	29,1	39,3	349	42,3	558	203	11,2	20,7	5,1	51,6	27,0	7,2	282,5	47	24

VI (III) класс бонитета

10	2,7	2,6	17 600	8,8	20	7,0	1,8	2,7	1,8	12,9	10,8	5,6	28,2	21	18
20	5,6	5,2	7 571	15,9	56	20,3	4,0	4,4	2,3	21,2	16,1	5,5	51,4	21	17

30	8,3	7,9	4 327	21,2	98	36,5	5,6	6,6	2,8	29,2	21,5	5,2	77,5	25	15
40	11,0	10,8	2 750	25,3	146	55,2	6,7	8,8	3,4	35,4	25,3	5,0	104,4	30	15
50	13,4	13,7	1 939	28,5	194	73,9	7,3	10,6	3,7	39,3	27,3	4,9	128,7	35	14
60	15,5	16,4	1 460	30,8	236	90,5	7,7	12,3	4,1	42,6	28,8	4,8	150,2	40	14
70	17,3	18,9	1 157	32,5	274	106	8,1	14,2	4,4	46,4	30,6	4,9	171,5	46	14
80	18,8	21,2	958	33,8	306	118	8,2	15,5	4,6	48,0	31,0	4,9	186,4	49	15
90	20,1	23,4	809	34,8	334	129	8,5	17,9	4,9	52,1	33,0	5,2	203,8	55	16
100	21,4	25,3	708	35,5	355	136	8,5	17,9	5,0	51,4	33,0	5,2	210,5	55	16
110	22,0	27,0	628	36,0	374	143	8,5	18,4	5,0	50,7	31,4	5,4	217,5	54	17
120	22,7	28,6	567	36,4	388	147	8,5	18,8	5,0	50,6	30,7	5,6	222,0	53	17
130	23,3	30,0	521	36,8	401	151	8,4	18,4	4,8	48,4	29,0	5,7	223,5	49	18
140	23,9	31,3	482	37,1	413	153	8,4	18,0	4,7	46,3	27,4	5,9	223,2	45	19
150	24,4	32,4	452	37,3	424	155	8,4	16,7	4,4	42,0	24,6	6,0	219,7	39	19
160	24,9	33,5	426	37,5	434	156	8,4	16,4	4,3	40,5	23,6	6,2	219,1	36	20

VII (IV) класс бонитета.

20	4,2	4,0	10 230	13,3	38	14,0	3,2	3,0	1,8	14,6	11,0	4,5	36,4	16	14
30	6,3	6,3	5 806	18,0	68	26,4	4,9	5,1	2,4	23,0	17,4	4,4	58,6	20	13
40	8,5	8,6	3 724	21,6	102	39,8	5,8	7,0	2,9	28,9	21,2	4,2	79,9	24	12
50	10,5	11,0	2 579	24,5	137	53,9	6,2	8,2	3,2	31,5	22,8	4,1	97,7	27	12
60	12,3	13,2	1 942	26,6	169	66,8	6,5	10,1	3,6	35,7	25,5	4,1	116,7	32	12
70	13,9	15,3	1 527	28,1	198	78,2	6,7	11,4	3,8	37,8	26,6	4,2	131,6	35	12
80	15,2	17,3	1 251	29,4	225	88,6	6,8	12,8	4,1	40,3	28,0	4,3	146,0	39	12
90	16,3	19,1	1 056	30,3	245	96,0	6,8	14,2	4,3	42,7	29,3	4,4	157,3	42	13
100	17,2	20,8	912	31,0	262	102	6,7	14,8	4,4	42,3	28,7	4,6	163,7	43	13
110	18,0	22,3	806	31,5	277	106	6,6	15,4	4,4	42,4	28,5	4,7	168,5	43	14
120	18,6	23,6	730	31,9	289	110	6,5	15,7	4,4	41,9	28,0	4,9	172,5	42	15
130	19,2	24,8	669	32,3	300	112	6,4	15,6	4,4	40,5	26,9	5,1	173,2	40	15
140	19,7	25,9	616	32,6	310	114	6,3	15,5	4,3	39,7	25,8	5,3	173,8	37	16
150	20,1	26,9	579	32,9	319	115	6,2	14,8	4,1	36,0	24,1	5,5	172,0	34	17
160	20,5	27,8	542	33,1	326	115	6,1	14,5	4,0	35,1	23,0	5,8	170,4	31	18



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>VIII (V) класс бонитета</i>															
20	2,9	3,0	16 000	11,2	25	9,3	2,9	2,3	1,5	11,2	8,2	3,9	26,7	15	12
30	4,5	4,8	8 444	15,2	44	17,4	4,2	3,8	2,0	17,1	12,7	3,7	42,0	16	11
40	6,2	6,7	5 229	18,3	68	27,6	4,9	5,2	2,4	21,6	16,2	3,5	57,9	18	10
50	7,8	8,6	3 603	20,9	92	37,6	5,0	6,1	2,6	23,4	17,6	3,4	70,5	20	10
60	9,3	10,4	2 682	22,8	116	47,4	5,3	7,6	2,9	26,7	20,0	3,4	85,1	23	10
70	10,6	12,1	2 113	24,3	137	55,7	5,3	8,6	3,1	28,3	21,1	3,4	96,0	25	10
80	11,7	13,7	1 728	25,4	156	63,0	5,4	10,6	3,6	32,8	24,4	3,7	110,1	30	10
90	12,6	15,2	1 445	26,3	172	68,6	5,3	11,5	3,8	33,4	24,8	3,8	117,3	32	11
100	13,4	16,6	1 250	27,0	186	73,2	5,2	12,1	3,8	33,8	25,0	4,0	123,1	33	11
110	14,1	17,8	1 104	27,5	197	76,4	5,0	12,3	3,8	32,8	24,3	4,1	125,6	32	12
120	14,6	19,0	982	27,9	206	78,4	4,8	12,4	3,8	31,9	23,5	4,2	126,9	31	12
130	15,1	19,9	910	28,3	215	80,3	4,6	12,1	3,6	30,2	22,3	4,4	127,0	30	12
140	15,5	20,8	841	28,6	223	81,4	4,5	11,6	3,5	28,3	20,8	4,5	125,8	27	13
150	15,9	21,6	790	28,9	230	82,0	4,3	11,4	3,4	27,1	20,0	4,7	125,2	26	14
160	16,2	22,3	744	29,1	236	82,0	4,2	11,2	3,3	25,8	19,1	5,0	124,0	24	14

*IX (Va) класс бонитета*

30	3,0	3,5	12 900	12,9	28	11,5	3,3	2,5	1,5	10,7	7,9	3,1	27,8	12	9
40	4,2	4,9	8 214	15,6	43	18,3	3,7	3,2	1,7	12,9	9,7	2,8	37,2	12	8
50	5,4	6,3	5 774	17,9	59	25,2	3,8	3,8	1,8	14,6	11,2	2,7	46,3	13	7

60	6,5	7,7	4 170	19,6	75	32,0	4,2	5,6	2,4	19,1	14,9	2,9	59,6	17	8
70	7,5	9,0	3 281	21,0	90	38,0	4,2	6,4	2,6	20,3	16,0	3,0	67,7	18	8
80	8,3	10,3	2 651	22,0	102	42,4	4,2	8,4	3,2	24,6	19,6	3,2	78,6	23	8
90	9,0	11,4	2 245	22,9	114	46,6	4,0	9,2	3,3	25,1	20,2	3,3	84,2	24	9
100	9,6	12,5	1 911	23,5	123	49,2	3,9	10,3	3,6	26,3	21,3	3,5	89,3	26	9
110	10,1	13,4	1 702	24,0	131	51,3	3,6	10,6	3,6	25,9	21,1	3,6	91,4	26	10
120	10,5	14,3	1 516	24,4	138	52,7	3,4	10,7	3,5	25,1	20,5	3,8	92,3	25	10
130	10,9	15,1	1 385	24,8	145	53,9	3,2	10,0	3,3	22,7	18,7	3,8	90,4	23	10
140	11,3	15,8	1 281	25,1	151	54,6	3,0	9,2	3,0	20,5	17,0	3,9	88,2	21	10
150	11,6	16,4	1 199	25,3	156	54,7	2,8	8,8	2,9	19,2	16,0	4,1	86,8	20	11
160	11,8	17,0	1 128	25,6	159	54,0	2,7	8,6	2,8	18,1	15,2	4,3	85,0	19	11

X (V6) класс быжтета

50	3,1	4,3	10 200	15,3	33	14,9	3,4	3,7	1,9	11,6	9,1	2,7	32,9	12	7
60	3,7	5,2	8 048	16,9	42	18,9	3,4	4,8	2,2	13,9	11,1	2,6	40,1	14	7
70	4,3	6,1	6 241	18,1	50	22,1	3,3	6,1	2,7	15,7	13,0	2,7	46,6	16	7
80	4,9	7,0	4 897	19,1	58	25,1	3,1	7,0	2,9	16,5	14,0	2,8	51,4	17	7
90	5,3	7,8	4 146	19,0	65	27,4	2,8	7,6	3,0	16,8	14,6	2,8	54,6	18	7
100	5,7	8,6	3 534	20,5	71	29,0	2,7	9,7	3,6	18,8	16,6	3,1	60,6	21	7
110	6,0	9,3	3 088	21,0	76	30,1	2,4	10,6	3,8	19,0	17,1	3,2	62,9	22	8
120	6,3	9,9	2 779	21,4	81	31,1	2,2	10,6	3,7	18,3	16,8	3,3	63,3	22	8
130	6,5	10,4	2 553	21,7	84	31,0	2,0	10,4	3,6	17,1	16,0	3,4	61,9	21	8
140	6,7	10,9	2 366	22,0	87	30,8	1,8	10,2	3,5	16,1	15,3	3,6	60,7	20	8
150	6,9	11,4	2 186	22,3	90	30,6	1,6	10,1	3,4	15,3	14,8	3,7	59,7	19	9
160	7,1	11,8	2 073	22,6	93	24,0	1,5	9,8	3,3	14,5	14,2	3,9	52,2	19	9

Экспиз таблицы биологической продуктивности березовых древостоев, совмещенной с всеобщей ГХР [Загребев и др., 1975]

А, лет	H <sub>ср</sub> , м	D <sub>ср</sub> , см	N, экз./га	G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Фитомасса кроны в свежем состоянии, т/га			
						стволов		ветвей		листвен	итого	всего	ДЗ	всего	ДЗ
						всего	коры	всего	коры						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
<i>Ia класс бонитета</i>															
10	7,9	5,0	6 977	13,7	66	36	7	12	8	3,2	51,2	33	14		
20	15,6	11,2	2 314	22,8	476	415	20	21	10	5,9	141,9	63	25		
30	20,9	16,9	1 279	28,7	278	190	31	34	12	8,6	232,6	92	36		
40	24,6	21,9	863	32,5	360	250	39	47	14	10,5	307,5	116	43		
50	27,1	25,8	673	35,2	423	289	45	60	16	11,7	360,7	137	46		
60	29,0	28,9	567	37,2	473	315	52	70	18	11,8	396,8	151	46		
70	30,4	31,4	498	38,6	511	333	58	79	19	11,6	423,6	165	45		
80	31,5	33,4	453	39,7	542	346	64	88	21	11,2	445,2	181	43		
90	32,4	35,1	421	40,7	568	357	71	95	22	10,6	462,6	195	40		
100	33,0	36,5	395	41,3	587	365	79	101	23	9,8	475,8	209	37		
<i>I класс бонитета</i>															
10	6,0	3,9	9 962	11,9	45	22	5	8	5	2,5	32,5	21	11		
20	12,1	8,8	3 239	19,7	121	68	14	13	6	4,0	85,0	38	17		
30	16,7	13,5	1 740	24,9	196	115	21	20	8	5,5	140,5	54	23		
40	20,1	17,7	1 158	28,5	262	156	27	29	10	6,8	191,8	70	27		

50	22,7	21,3	876	31,2	317	189	32	38	12	7,7	234,7	86	30
60	24,7	24,2	722	33,2	363	214	37	47	14	8,2	269,2	101	32
70	26,2	26,7	620	34,7	400	234	42	55	15	8,2	297,2	114	32
80	27,4	28,8	551	35,9	430	250	48	61	16	7,9	318,9	125	30
90	28,3	30,5	506	37,0	455	263	54	69	18	7,8	339,8	141	29
100	29,0	32,0	468	37,6	473	273	60	73	19	7,2	353,2	152	27

II класс бонитета

10	4,4	3,0	14 854	10,5	30	14	3	6	3	2,2	22,2	14	10
20	9,1	6,9	4 546	17,0	80	41	9	8	4	3,0	52,0	24	13
30	13,0	10,7	2 391	21,5	134	70	14	13	5	3,8	86,8	33	16
40	16,1	14,2	1 579	25,0	186	98	18	18	7	4,6	120,6	44	18
50	18,7	17,3	1 170	27,5	233	124	23	24	8	5,2	153,2	54	20
60	20,6	20,0	939	29,5	272	145	27	31	10	5,6	181,6	66	22
70	22,1	22,3	791	30,9	303	162	30	37	11	5,7	204,7	77	22
80	23,3	24,2	696	32,0	330	176	34	42	13	5,7	223,7	87	22
90	24,3	25,9	628	33,1	353	189	39	47	14	5,5	241,5	98	21
100	25,0	27,3	577	33,8	370	199	44	51	15	5,2	255,2	108	20

III класс бонитета

10	3,0	2,3	20 940	8,7	18	9	2	4	2	2,1	15,1	10	9
20	6,6	5,2	6 781	14,4	51	25	6	5	2	2,3	32,3	16	10
30	9,8	8,2	3 522	18,6	90	44	9	8	3	2,8	54,8	21	11
40	12,7	11,1	2 232	21,6	130	64	13	11	4	3,3	78,3	28	13
50	15,0	13,7	1 621	23,9	166	81	16	15	6	3,6	99,6	35	14
60	16,8	16,0	1 278	25,7	197	97	19	19	7	3,8	119,8	42	15
70	18,2	18,1	1 057	27,2	223	110	22	23	8	3,9	136,9	49	15
80	19,4	19,9	910	28,3	247	123	25	27	9	3,9	153,9	58	15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
90	20,3	21,3	817	29,1	265	133	28	30	10	3,8	166,8	66	14
100	21,0	22,6	745	29,9	280	143	31	33	11	3,7	179,7	74	14
<i>IV класс боюитета</i>													
40	1,9	1,6	34 815	7,0	10	5	1	2	1	1,8	8,8	8	8
20	4,5	3,8	10 845	12,3	31	16	4	3	1	1,9	20,9	10	8
30	7,1	6,1	5 372	15,7	57	28	6	4	2	2,1	34,1	13	8
40	9,6	8,4	3 320	18,4	86	41	9	6	3	2,2	49,2	17	9
50	11,7	10,5	2 391	20,7	115	54	11	9	4	2,5	65,5	22	10
60	13,2	12,4	1 847	22,3	138	65	13	11	4	2,6	78,6	27	10
70	14,5	14,2	1 484	23,5	158	75	15	13	5	2,7	90,7	32	10
80	15,5	15,7	1 260	24,4	174	84	17	16	6	2,7	102,7	37	10
90	16,3	17,0	1 106	25,1	188	92	19	18	7	2,6	112,6	43	10
100	17,0	18,0	1 014	25,8	201	100	21	20	7	2,5	122,5	49	9
<i>V класс боюитета</i>													
20	2,8	2,6	17 893	9,5	16	9	2	3	1	1,7	12,7	7	7
30	4,7	4,3	9 021	13,1	33	18	4	3	1	1,7	22,7	9	7
40	6,7	5,9	5 560	15,2	52	26	5	4	1	1,8	31,8	12	7
50	8,4	7,5	3 848	17,0	71	35	7	5	2	1,9	41,9	14	7
60	9,7	9,0	2 908	18,5	88	43	8	6	3	1,9	50,9	17	7
70	10,8	10,4	2 296	19,5	102	49	9	7	3	1,9	58,9	20	7
80	11,7	11,6	1 930	20,4	115	57	11	9	4	1,9	67,9	24	7
90	12,4	12,6	1 684	21,0	125	63	12	10	4	1,8	74,8	28	7
100	13,0	13,3	1 548	21,5	134	69	14	11	4	1,7	81,7	31	6

Эскиз таблицы биологической продуктивности основных древостоев, совмещенной с всеобщей ТХР [Чернявский, 1982]

А, лет	H <sub>ср</sub> , м	D <sub>ср</sub> , см	N, экз./га	G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га					Фитомасса кроны в свежем состоянии, т/га		
						ствола		ветвей		листья	иного	всего	ДЗ
						всего	коры	всего	коры				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## Ia класс бонитета

10	7,7	5,5	6 906	16,4	75	30	7	8	5	2,9	40,9	24	12
20	14,2	11,0	2 611	24,8	179	77	13	15	7	4,0	96,0	40	16
30	19,0	16,2	1 476	30,4	281	123	18	20	8	4,1	147,1	48	16
40	22,7	20,9	997	34,2	367	161	21	23	9	3,8	187,8	50	15
50	25,5	25,2	742	37,0	440	189	24	26	9	3,5	218,5	52	14
60	27,5	29,0	591	39,0	495	208	25	27	9	3,4	238,1	50	12
70	29,0	32,4	491	40,4	538	219	25	28	8	2,8	249,8	49	11
80	30,2	35,4	421	41,4	572	226	25	28	8	2,5	256,5	46	10
90	31,0	38,1	370	42,1	595	229	25	28	7	2,2	259,2	43	9
100	31,6	40,4	332	42,6	613	229	25	27	7	2,0	258,0	40	8

## I класс бонитета

10	6,5	4,7	8 305	14,4	58	23	6	7	4	2,4	32,4	19	10
20	12,1	9,5	3 105	22,0	138	58	11	12	6	3,4	73,4	32	13
30	16,5	14,1	1 737	27,1	218	93	15	17	7	3,5	113,5	40	14
40	19,8	18,2	1 180	30,7	290	123	17	19	7	3,4	145,4	44	13

Продолжение табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
50	22,5	22,0	877	33,3	351	146	19	22	8	3,1	171,1	46	12
60	24,5	25,4	695	35,2	400	161	21	24	8	2,8	187,8	47	11
70	26,1	28,4	576	36,5	438	171	21	24	7	2,6	197,6	46	10
80	27,3	31,0	499	37,6	470	180	22	24	7	2,3	206,3	43	9
90	28,2	33,4	437	38,3	494	183	22	23	6	2,1	208,1	41	8
100	28,9	35,5	392	38,8	511	184	22	22	6	1,9	207,9	38	7
<i>II класс бонитета</i>													
10	5,4	3,9	10 553	12,6	44	18	4	5	3	2,0	25,0	14	8
20	10,1	8,1	3 747	19,3	105	45	8	10	5	2,9	57,9	27	12
30	13,9	11,9	2 159	24,0	166	71	12	14	6	3,0	88,0	34	12
40	17,0	15,5	1 448	27,3	223	94	14	16	6	2,9	112,9	38	12
50	19,5	18,8	1 071	29,7	273	112	16	18	6	2,8	132,8	40	11
60	21,4	21,7	850	31,4	312	125	17	19	6	2,6	146,6	42	10
70	23,0	24,3	708	32,8	348	135	18	20	6	2,3	157,3	42	9
80	24,3	26,7	601	33,7	373	140	18	20	6	2,1	162,1	41	8
90	25,2	28,8	528	34,4	395	144	18	19	5	1,9	164,9	38	7
100	26,0	30,6	474	34,9	412	146	18	19	5	1,7	166,7	36	7
<i>III класс бонитета</i>													
10	4,3	3,4	14 448	10,9	31	13	3	4	2	1,6	18,6	10	6
20	8,3	6,6	4 972	17,0	77	35	6	8	4	2,4	45,4	21	10
30	11,5	9,8	2 812	21,2	124	56	9	11	5	2,6	69,6	28	10
40	14,3	12,8	1 882	24,2	169	75	11	13	5	2,6	90,6	32	10
50	16,5	15,5	1 400	26,4	208	89	13	14	5	2,5	105,5	34	10

60	18,3	18,0	1 101	28,0	242	101	14	15	4	2,3	418,3	37	9
70	19,8	20,1	924	29,3	271	110	14	15	5	2,1	127,1	36	8
80	21,0	22,1	790	30,2	294	116	15	15	4	2,0	133,0	36	8
90	21,9	23,9	690	30,9	312	118	15	15	4	1,8	134,8	35	7
100	22,7	25,4	620	31,4	328	120	15	14	4	1,6	135,6	34	6

IV класс бонитета

10	3,4	2,5	19 363	9,5	22	44	2	3	2	1,2	15,2	7	5
20	6,6	5,2	6 973	14,8	54	28	5	6	3	1,9	35,9	15	8
30	9,3	7,7	3 997	18,6	90	44	7	7	3	2,1	53,1	19	8
40	11,6	10,1	2 647	21,2	122	62	9	9	4	2,2	73,2	26	9
50	13,5	12,3	1 962	23,3	153	74	10	10	4	2,1	86,1	29	8
60	15,0	14,3	1 545	24,8	179	84	11	11	4	2,0	97,0	31	8
70	16,3	16,0	1 289	25,9	201	92	12	11	3	1,9	104,9	31	7
80	17,3	17,6	1 102	26,8	219	97	12	11	3	1,8	109,8	32	7
90	18,2	19,1	957	27,4	234	99	12	11	3	1,6	111,6	31	6
100	18,9	20,3	862	27,9	247	99	12	10	3	1,5	110,5	28	6

V класс бонитета

10	2,4	1,7	35 263	8,0	14	9	1	2	1	0,9	11,9	5	4
20	4,9	3,9	10 636	12,7	35	23	3	4	2	1,4	28,4	10	6
30	7,1	5,8	6 059	16,0	60	40	5	5	2	1,7	46,7	15	7
40	8,9	7,3	4 398	18,4	83	58	7	6	2	1,8	65,8	20	7
50	10,5	8,9	3 249	20,2	106	69	8	6	2	1,8	76,8	22	7
60	11,8	10,4	2 532	21,5	125	81	8	7	2	1,8	89,8	25	7
70	12,8	11,7	2 094	22,5	140	83	9	7	2	1,7	91,7	25	6
80	13,7	12,8	1 820	23,4	155	91	9	7	2	1,6	99,6	25	6
90	14,4	13,9	1 582	24,0	166	95	10	7	2	1,5	103,5	26	6
100	15,0	14,8	1 419	24,4	175	95	10	6	2	1,4	102,4	26	5



Таблица 20

**Запасы хвой сосновых культур островных боров Казахстана в абсолютно сухом состоянии (т/га) в зависимости от возраста, густоты и класса бонитета по шкале М. М. Орлова**

А, лет	H ср, м	Число деревьев на 1 га (тыс. экз)									
		2	4	6	8	10	15	20	30	40	
<i>IIa класс бонитета</i>											
2	1,4	—	—	—	0,44	0,18	0,30	0,42	0,65	0,88	
4	2,3	—	—	—	2,06	2,47	3,38	4,14	5,40	6,44	
6	3,3	—	—	—	5,37	6,13	7,62	8,74	10,4	11,5	
8	4,4	—	—	7,38	8,46	9,33	10,9	12,0	13,4	—	
10	5,5	—	—	9,71	10,8	11,6	13,0	13,8	14,7	—	
12	6,6	—	—	11,4	12,3	13,0	14,0	14,6	15,0	—	
14	7,7	—	—	12,5	13,3	13,8	14,5	14,7	—	—	
16	8,8	—	—	13,2	13,8	14,2	14,5	14,5	—	—	
18	9,9	10,8	12,2	13,7	14,0	14,2	14,2	14,0	—	—	
20	11,0	11,5	13,2	13,8	14,0	14,1	13,8	13,5	—	—	
<i>I класс бонитета</i>											
2	0,9	—	—	—	0,40	0,13	0,21	0,30	0,47	0,64	
4	1,8	—	—	—	1,51	1,83	2,54	3,15	4,17	5,03	
6	2,7	—	—	—	4,07	4,68	5,91	6,88	8,31	9,35	

8	3,6	—	—	5,64	6,56	7,30	8,68	9,64	11,0	—
10	4,5	—	—	7,53	8,47	9,20	10,4	11,3	12,2	—
12	5,3	—	—	8,95	9,83	10,4	11,5	12,0	12,6	—
14	6,2	—	—	9,93	10,7	11,2	11,9	12,3	12,5	—
16	6,9	—	9,57	10,6	11,2	11,5	12,0	12,1	—	—
18	7,7	8,29	10,1	11,0	11,4	11,7	11,9	11,8	—	—
20	8,5	8,86	10,5	11,1	11,5	11,6	11,6	11,4	—	—

II Класс бонитета

2	0,7	—	—	—	0,07	0,09	0,15	0,22	0,35	0,48
4	1,4	—	—	—	1,13	1,38	1,95	2,45	3,30	4,02
6	2,1	—	—	—	3,15	3,65	4,69	5,52	6,77	7,70
8	2,8	—	—	4,40	5,16	5,79	7,00	7,87	9,09	—
10	3,5	—	—	5,96	6,78	7,41	8,55	9,33	10,3	—
12	4,1	—	—	7,15	7,93	8,51	9,47	10,1	10,7	—
14	4,7	—	—	7,99	8,69	9,18	9,93	10,3	10,7	—
16	5,3	—	7,63	8,57	9,15	9,54	10,1	10,3	—	—
18	6,0	6,49	8,12	8,93	9,39	9,68	10,0	10,1	—	—
20	6,5	6,95	8,44	9,12	9,48	9,67	9,83	9,78	—	—

Характеристика уравнений (4.28), выражающих зависимость абсолютных показателей надземной фитомассы сосняков в абсолютной сухом состоянии от определяющих факторов

Константы, факторы и показатели адекватности	Стевол		Ветви		Хвоя
	всего	кора	всего	кора	
$a_0$	-3,0476	-7,8588	+0,0965	-1,8809	-1,6516
$a_1(\lg A)$	—	16,5522 4,6	-3,8116 3,2	—	—
$a_2(\lg^2 A)$	—	-11,3924 4,6	1,6269 3,0	-1,9224 3,4	-2,7408 3,3
$a_3(\lg^3 A)$	0,2822	2,2998 4,3	—	1,4369 4,0	1,6586 3,7
$a_4(\lg H_{100})$	1,3460 6,3	—	—	—	—
$a_6(\lg N)$	0,7408	3,6786 3,2	1,9043 3,2	2,5932 3,0	2,0350 2,9
$a_7(\lg^2 N)$	0,1011 3,4	0,6142 5,0	-0,3730 2,1	-0,5375 2,2	-0,9320 2,6
$a_8(\lg D_{cp})$	1,6512 6,3	—	3,8268 6,3	—	—
$a_9(\lg A \lg N)$	—	-10,2067 4,5	—	—	3,1489 2,5
$a_{10}(\lg A \lg D_{cp})$	0,8639 2,8	—	—	5,7700 5,1	6,5908 4,6

$a_{11} (\lg N \lg D_{cp})$	—	1,0400	—1,1272	—1,0783	—4,9697
		5,3	2,9	2,8	2,9
$a_{12} (\lg^2 A \lg H_{100})$	—	0,5394	—	—	—
		6,5	—	—	—
$a_{13} (\lg^2 A \lg N)$	—	6,6426	—	—	—4,4430
		4,1	—	—	3,4
$a_{14} (\lg^2 A \lg D_{cp})$	—0,6275	—	—0,5525	—3,1255	—3,2925
	5,6	—	2,9	4,4	4,3
$a_{15} (\lg^2 A \lg N)$	—	—1,3376	—	—0,1964	—
		3,5	—	2,8	—
Стандартная ошибка уравнения	0,053	0,069	0,449	0,411	0,128
Систематическая ошибка, %	—0,7	—1,1	—3,5	—2,8	—3,9
Относительная погрешность, %	12,4	15,2	27,3	24,9	29,4
$R^2$	0,988	0,967	0,850	0,703	0,484

Примечание. В числителе — значения констант, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.

Т а б л и ц а 22  
 Характеристика уравнений (4.29) и (4.30), выражающих зависимость абсолютных показателей параметров нацемной фитомассы березняков и осинников в абсолютно сухом состоянии от определяющих факторов

Константы, факторы и показатели адекватности	Ствол		Ветви		Листья
	древесина	кора	древесина	кора	
1	2	3	4	5	6
<b>Береза, уравнение (4.29)</b>					
$a_0$	—2,7383	—3,7137	—0,2715	—0,6466	—2,8600
$a_1 (\lg A)$	—	4,4389	—7,2039	—5,6379	—
		3,4	3,0	2,4	—

1	2	3	4	5	6
$a_2$ ( $\lg^2 A$ )	$\frac{0,1161}{2,3}$	$\frac{-0,4047}{2,8}$	$\frac{5,2339}{3,1}$	$\frac{4,2693}{2,6}$	—
$a_3$ ( $\lg^3 A$ )	—	—	$\frac{-1,2196}{3,0}$	$\frac{-1,0279}{2,6}$	—
$a_4$ ( $\lg H_{50}$ )	$\frac{1,4774}{8,1}$	$\frac{1,8439}{7,9}$	$\frac{0,8628}{3,4}$	$\frac{0,9981}{4,1}$	—
$a_5$ ( $\lg^2 H_{50}$ )	—	—	—	—	$\frac{0,2255}{2,5}$
$a_6$ ( $\lg N$ )	—	—	$\frac{2,8683}{4,1}$	$\frac{2,4739}{3,6}$	$\frac{3,2447}{5,6}$
$a_7$ ( $\lg^2 N$ )	—	—	$\frac{-0,7351}{2,7}$	$\frac{-0,6332}{2,4}$	$\frac{-0,9278}{4,6}$
$a_8$ ( $\lg D_{cp}$ )	$\frac{2,0070}{11,9}$	—	$\frac{2,7955}{8,6}$	$\frac{2,0835}{6,6}$	$\frac{3,1149}{6,1}$
$a_9$ ( $\lg A \lg N$ )	$\frac{0,9613}{8,4}$	$\frac{0,5442}{7,2}$	—	—	—
$a_{10}$ ( $\lg A \lg D_{cp}$ )	—	$\frac{0,6701}{3,7}$	—	—	$\frac{-0,3385}{2,1}$
$a_{11}$ ( $\lg N \lg D_{cp}$ )	$\frac{-0,5612}{3,5}$	—	$\frac{-1,6252}{3,0}$	$\frac{-1,3997}{2,6}$	$\frac{-1,7620}{4,4}$
Стандартная ошибка уравнения	0,069	0,078	0,081	0,079	0,074
Систематическая ошибка, %	-1,2	-1,5	-1,5	-1,4	-2,3

Относительная погрешность, %	16,4	18,1	18,2	17,3	17,4
$R^2$	0,958	0,916	0,938	0,871	0,799
<b>Осна, уравнение (4.30)</b>					
$a_0$	6,3487	2,4588	-12,6447	-14,4237	-7,7101
$a_1$ (lg A)	3,4218	1,4433	9,3627	10,6239	—
	20,9	10,7	4,4	4,7	—
$a_2$ (lg <sup>2</sup> A)	-0,9048	-0,2617	-0,8155	-1,0492	1,6035
	5,5	3,3	2,4	3,0	2,3
$a_3$ (lg H <sub>50</sub> )	-14,4286	-8,1945	—	—	—
	3,2	2,0	—	—	—
$a_4$ (lg <sup>2</sup> H <sub>50</sub> )	6,1060	3,5550	—	—	-1,8006
	3,4	2,2	—	—	3,6
$a_5$ (lg N)	0,6645	1,8798	10,0579	11,4764	9,5751
	5,1	5,3	3,7	4,1	4,1
$a_6$ (lg <sup>2</sup> N)	-0,0906	-0,5884	-1,7909	-2,0134	-2,0321
	3,2	3,8	3,6	3,9	4,6
$a_7$ (lg D <sub>cp</sub> )	—	1,3036	8,6298	9,8326	8,8101
	—	5,0	3,6	3,9	3,8
$a_8$ (lg A lg N)	—	—	-4,6478	-5,3426	-3,7794
	—	—	3,7	4,1	3,6
$a_9$ (lg A lg D <sub>cp</sub> )	0,6282	—	-4,9773	-5,8013	-5,3506
	3,6	—	3,2	3,6	3,6
$a_{10}$ (lg N lg D <sub>cp</sub> )	—	-0,8288	-2,1593	-2,4052	-2,6367
	—	4,0	3,3	3,6	4,4

1	2	3	4	5	6
$a_{11} (\lg A \lg H_{50})$	—	—	—	—	5,4076 —4,7 —1,3353 —2,8
$a_{12} (\lg^2 A \lg H_{50})$	—	—	—	—	0,071 —1,2 16,3 0,969
Стандартная ошибка уравнения	0,074	0,063	0,080	0,084	
Систематическая ошибка, %	—1,4	—1,0	—1,5	—1,6	
Относительная погрешность, %	18,4	15,1	18,7	19,5	
$R_2$	0,989	0,980	0,978	0,959	

Примечание. В числителе — константы, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.

Таблица 23

Характеристика множественных регрессий (5.1) и (5.24) для показателей плотности ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и содержания сухого вещества (%) древесины и коры сосны, березы и осины по определяющим факторам ( $A, R_d, Z, h$ )

1	(5.1)	(5.24)	(5.24)	(5.24)	(5.1)	(5.24)	(5.24)
	$R_w$	$\rho_{1,3}$	$\rho_{cp}$	$\rho_0(\text{cp})$	$S$	$S_{1,3}$	$S_{cp}$
2	3	4	5	6	7	8	8
Обновление факторов и показатели адекватности							
1							

## Сосна, древесина

Свободный член уравнения	790,3	694,5	733,1	428,8	57,5	59,3	58,0
A	—	1,088	—	—0,421	—0,055	—0,069	—0,055

$A^2$	—	-0,00493	—	—	—	—	0,000044	—
$R_d$	1,366	1,458	0,851	-1,089	-0,178	-0,188	-0,187	-0,187
$Z$	23,10	17,00	23,10	24,25	1,592	1,719	1,591	1,591
$AR_d$	—	—	—	0,0417	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
$AZ$	—	—	—	—	—	-0,0010	—	—
$h$	-520,5	—	—	—	12,18	—	—	—
$h^2$	709,3	—	—	—	-21,50	—	—	—
$hR_d$	-1,618	—	—	—	-0,048	—	—	—
Стандартная ошибка уравнения	45,4	2,0	1,0	1,2	2,3	0,06	0,06	0,10
$R^2$	0,682	0,998	0,998	0,998	0,826	0,998	0,998	0,998

Сосна, кора

Свободный член урав- нения	371,1	670,3	590,1	508,0	80,3	80,8	86,6	86,6
$A$	-0,596	-4,021	-0,863	-0,776	—	-0,0272	-0,018	-0,018
$A^2$	—	0,0144	—	—	—	0,00013	—	—
$R_d$	-1,394	-2,476	-1,396	-1,608	-0,092	-0,102	-0,097	-0,097
$Z$	33,32	49,85	34,22	22,99	-1,084	-1,070	-0,886	-0,886
$AR_d$	—	0,0059	—	0,0057	0,0013	0,0014	0,0013	0,0013
$h$	1403	—	—	—	-16,54	—	—	—
$h^2$	-884,0	—	—	—	88,22	—	—	—
Стандартная ошибка уравнения	52,8	7,0	1,6	2,1	3,4	0,40	0,19	0,19
$R^2$	0,947	0,994	0,998	0,998	0,931	0,998	0,994	0,994



1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Береза, древесина</b>							
Свободный член уравнения	818,9	833,9	[ 816,7	418,2	53,8	47,4	51,5
$A$	2,950	2,403	2,644	2,097	0,061	0,195	0,080
$A^2$	—	0,0030	—	—	—	-0,00074	—
$R_d$	—	0,341	0,344	0,735	0,089	0,069	0,062
$Z$	—	-19,89	—	26,68	3,38	6,153	3,254
$Z^2$	—	3,915	—	—	—	-0,574	—
$AR_d$	—	-0,003	—	—	—	0,00015	—
$AZ$	-1,971	-1,720	-1,979	-1,177	—	-0,0414	—
$ZR_d$	—	-0,051	—	-0,325	-0,040	-0,030	-0,039
$h$	—	—	—	—	-14,09	—	—
$h^2$	—	—	—	—	11,68	—	—
$hR_d$	1,274	—	—	—	-0,105	—	—
$Ab$	-1,269	—	—	—	—	—	—
Стандартная ошибка уравнения	33,6	1,61	0,71	1,35	2,60	0,26	0,09
$R^2$	0,555	0,998	0,998	0,998	0,719	0,994	0,998
<b>Береза, кора</b>							
Свободный член уравнения	1291	1407	1331	738,3	55,0	52,3	55,7

$A$	-6,97	-8,50	-7,02	-4,31	—	0,048	-0,061
$A^2$	—	—	—	—	—	-0,00036	—
$R_d$	-5,95	-6,64	-6,04	-3,617	—	-0,025	-0,035
$Z$	-62,45	-134,8	-63,88	-31,28	-1,52	—	-4,49
$Z^2$	—	13,39	—	—	—	-0,325	—
$AR_d$	0,060	0,071	0,061	0,054	0,0028	0,0031	0,0030
$AZ$	—	0,674	—	1,458	0,218	0,193	0,215
$ZR_d$	1,040	1,036	1,040	0,548	—	0,0070	—
$h^2$	357,9	—	—	—	—	—	—
$hR_d$	—	—	—	—	-0,129	—	—
$A/h$	—	—	—	—	-0,228	—	—
Стандартная ошибка	91,2	11,7	1,52	4,75	4,00	0,20	0,17
уравнения	0,740	0,994	0,998	0,996	0,731	0,998	0,998
$R^2$	—	—	—	—	—	—	—

Осина, древесина

Свободный член уравне- ния	825,2	517,2	697,3	607,3	85,9	83,9	85,9
$A$	-2,152	10,70	-2,16	-9,68	-1,155	-4,025	-1,146
$A^2$	—	-0,270	—	—	—	-0,0016	—
$A^3$	—	0,0021	—	—	—	—	—
$R_d$	—	1,085	0,455	—	—	-0,0261	-0,0372
$Z$	49,15	67,97	51,39	-156,1	-25,33	-24,90	-25,33
$Z^2$	—	-11,61	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
$AR_d$	—	-0,0268	—	—	—	0,00040	—
$A^2R_d$	—	0,00022	—	—	—	—	—
$AZ$	—	—	—	8,278	1,127	1,100	1,123
$h$	-842,0	—	—	—	—	—	—
$h^2$	907,9	—	—	—	—	—	—
$\frac{1}{2}R_d$	1,624	—	—	—	-0,125	—	—
Стандартная ошибка уравнения	68,1	2,9	2,5	2,0	3,3	0,24	0,15
$R^2$	0,558	0,990	0,996	0,994	0,527	0,990	0,996
Осина, кора							
Свободный член уравне- ния	917,6	1113	999,3	832,9	90,4	78,4	85,5
$A$	-3,718	-16,16	-3,987	-17,22	-1,60	-4,11	-1,64
$A^2$	—	0,330	—	—	—	-0,0055	0,00058
$A^3$	—	-0,0030	—	—	—	—	—
$R_d$	0,828	0,538	0,846	0,456	—	—	—
$Z$	—	—	-2,810	-309,3	-31,93	-34,19	-32,34
$AR_d$	—	0,0067	—	—	—	—	—
$AZ$	—	—	—	14,60	1,530	1,491	1,542
$h$	272,5	—	—	—	-29,46	—	—
$h^2$	—	—	—	—	18,16	—	—
Стандартная ошибка уравнения	50,7	3,3	1,3	2,0	2,7	0,56	0,10
$R^2$	0,598	0,998	0,998	0,998	0,567	0,982	0,998

Примечание. Уравнениями (5.1) аппроксимированы эмпирические данные, а уравнениями (5.24) — данные, полученные расчетным путем.

Таблица 24

Показатели плотности ( $\text{кг/м}^3$ ) и содержания сухого вещества (%) древесины и коры стволов по ступеням толщину и классам возраста сомкнутых сосновых, березовых и осиновых древостоев III класса бонитета.

A, лет	D, см	Древесина					Кора							
		$R_d$	$\rho_{1,3}$	$\rho_{\text{ср}}$	$S_{1,3}$	$S_{\text{ср}}$	$\rho_{\text{б(1,3)}}$	$\rho_{\text{б(ср)}}$	$\rho_{1,3}$	$\rho_{\text{ср}}$	$S_{1,3}$	$S_{\text{ср}}$	$\rho_{\text{б(1,3)}}$	$\rho_{\text{б(ср)}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Сосна</b>														
20	4	13	754	767	57,6	56,4	434	432	615	589	78,3	84,4	482	497
	6	40	794	790	53,3	52,2	423	412	551	551	76,3	82,5	420	454
	8	85	859	828	46,2	45,1	397	373	445	488	72,9	79,3	324	387
	10	98	878	840	44,2	43,1	388	362	414	470	72,0	78,4	298	368
50	8	16	777	770	55,8	55,0	434	424	520	585	78,2	84,3	407	493
	12	54	832	802	51,5	50,8	428	407	437	532	77,0	83,1	386	442
	16	85	877	828	48,0	47,3	421	392	370	488	76,0	82,4	281	401
70	12	18	775	772	54,8	54,3	425	419	472	582	78,4	84,3	370	491
	20	74	857	849	50,2	49,7	430	407	356	504	78,2	84,0	278	423
	28	98	892	840	48,2	47,7	430	401	307	470	78,1	83,9	240	394
100	16	41	784	766	54,0	53,7	423	411	441	592	78,8	84,3	348	499
	28	72	873	817	51,7	51,4	451	420	326	506	81,1	86,3	264	437
	40	98	911	840	50,7	50,5	462	424	277	470	82,4	87,1	227	409
<b>Береза</b>														
20	4	30	840	840	57,0	56,6	479	475	1004	1013	58,0	58,0	582	588
	6	62	847	851	58,3	57,4	494	488	870	892	59,4	58,8	517	524
	8	82	852	858	59,2	57,8	504	496	786	817	60,2	59,3	473	484
	10	93	854	862	59,6	58,1	509	501	740	775	60,7	59,6	449	462

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
40	8	21	854	851	58,8	57,6	502	490	944	932	60,9	62,2	557	580
	12	56	860	862	60,4	58,4	519	503	818	843	64,6	65,1	526	549
	24	86	865	873	61,8	59,1	534	516	735	766	67,8	67,7	498	518
60	8	5	870	858	59,7	58,5	519	502	809	839	66,0	64,2	534	539
	16	54	876	875	62,1	59,6	544	522	743	774	74,2	71,3	551	552
	24	92	880	888	63,9	60,5	562	537	692	723	80,6	76,8	558	555
80	16	31	893	881	62,1	60,3	554	531	662	702	76,1	72,9	504	512
	24	78	896	897	64,5	61,3	578	550	665	696	86,9	82,5	578	574
	32	96	896	903	65,4	61,8	586	558	667	694	91,0	86,2	607	598
Осень														
40	1	10	664	732	59,4	60,0	395	439	987	965	50,5	53,2	498	513
	2	50	698	750	58,5	58,5	408	439	1011	999	50,5	53,2	511	531
	3	80	723	764	57,9	57,4	418	439	1030	1024	50,5	53,2	520	545
20	4	16	707	713	59,6	59,5	421	424	908	930	52,6	51,4	478	478
	6	50	728	728	59,0	58,2	430	424	931	959	52,6	51,4	490	493
	8	85	750	744	58,4	56,9	438	423	954	989	52,6	51,4	502	508
	10	98	759	750	58,2	56,4	441	423	963	999	52,6	51,4	506	513
30	8	25	720	695	59,5	58,9	429	409	861	898	53,6	50,7	461	455
	10	50	732	706	59,2	58,0	433	409	880	919	53,6	50,7	472	466
	12	73	743	717	58,9	57,1	437	409	897	939	53,6	50,7	481	476
40	14	89	750	724	58,6	56,5	440	409	909	952	53,6	50,7	487	483
	10	9	706	666	59,5	59,3	420	395	807	845	53,6	50,2	432	424
	16	50	721	685	59,1	57,8	426	396	840	879	53,6	50,2	450	444
50	22	90	736	703	58,7	56,3	432	396	872	913	53,6	50,2	467	458
	18	24	701	652	58,8	58,5	412	381	770	817	52,4	49,7	403	406
	22	50	709	663	58,6	57,5	415	381	792	839	52,4	49,7	415	417
	26	82	718	678	58,4	56,3	420	381	820	866	52,4	49,7	430	430

Средние показатели плотности (кг/м<sup>3</sup>) и содержания сухого вещества (%) древесины и коры стволов по классам возраста в сомкнутых сосновых, березовых и осиновых древостоях III класса бонитета

Класс возраста	Древесина			Кора		
	$\rho_{\text{ср}}$	$S_{\text{ср}}$	$\rho_{\text{б(ср)}}$	$\rho_{\text{ср}}$	$S_{\text{ср}}$	$\rho_{\text{б(ср)}}$
<b>Сосна</b>						
I	799	50,6	402	537	81,8	441
II	799	50,8	404	529	82,3	436
III	799	51,0	405	520	82,7	431
IV	799	51,2	407	511	83,2	426
V	799	51,4	408	503	83,7	421
VI	799	51,6	410	494	84,1	416
VII	799	51,8	412	485	84,6	411
VIII	799	52,0	413	477	85,1	406
IX	799	52,2	415	468	85,6	401
X	799	52,4	417	460	86,0	397
XI	799	52,6	418	451	86,5	392
<b>Береза</b>						
I	840	56,5	475	977	55,5	552
II	847	57,1	484	937	58,5	550
III	854	57,7	493	898	61,6	549
IV	860	58,3	502	858	64,6	547
V	867	58,9	511	819	67,7	546
VI	874	59,5	520	779	70,7	544
VII	880	60,1	530	739	73,7	543
VIII	887	60,7	539	700	76,8	541
<b>Осина</b>						
I	750	58,5	437	999	52,2	520
II	728	58,2	423	959	51,4	494
III	707	58,0	409	919	50,7	468
IV	685	57,8	395	879	50,2	442
V	663	57,5	381	839	49,7	415
VI	642	57,3	367	800	49,4	389

Характеристика уравнения (5.26) зависимости локальных квалитметрических показателей ветвей ( $y$ ) в культурах и естественном сосняке 20-летнего возраста от дендрометрических показателей деревьев

$y$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$\pm\sigma$	$R^2$
$f_{др}$	$\frac{2,225}{6,0}$	$\frac{1,623}{6,0}$	$\frac{-0,199}{11,7}$	$\frac{-0,101}{9,4}$	$\frac{0,292}{6,0}$	$\frac{-0,843}{5,7}$	$\frac{0,421}{7,4}$	—	—	$\frac{-0,164}{3,7}$	—	—	0,040	0,436
$\rho_{к}$	2,966	—	$\frac{-0,336}{4,9}$	$\frac{-0,105}{7,0}$	$\frac{0,429}{5,8}$	—	$\frac{0,185}{2,5}$	$\frac{0,200}{2,3}$	—	$\frac{-0,312}{3,6}$	—	—	0,056	0,334
$S_{др}$	$\frac{2,340}{6,3}$	$\frac{-1,667}{6,3}$	$\frac{0,524}{9,8}$	—	$\frac{-0,640}{10,5}$	$\frac{0,816}{5,7}$	—	$\frac{-0,398}{6,3}$	—	$\frac{0,375}{5,2}$	—	$\frac{0,215}{14,1}$	0,045	0,706
$S_{к}$	1,604	$\frac{-0,072}{2,3}$	$\frac{0,042}{2,8}$	—	$\frac{-0,287}{6,9}$	—	—	—	—	$\frac{0,139}{3,3}$	—	$\frac{0,182}{13,9}$	0,046	0,494
$\rho_{б, др}$	$\frac{2,703}{3,5}$	$\frac{-0,206}{3,5}$	$\frac{0,381}{6,1}$	$\frac{-0,322}{3,4}$	$\frac{-0,360}{5,2}$	—	$\frac{0,382}{5,8}$	$\frac{-0,458}{5,8}$	—	$\frac{0,165}{2,0}$	—	$\frac{0,448}{4,5}$	0,050	0,425
$\rho_{б, к}$	$\frac{2,614}{1,6}$	$\frac{-0,101}{1,6}$	$\frac{-0,139}{6,4}$	$\frac{-0,181}{2,1}$	—	—	$\frac{0,209}{3,0}$	—	—	—	—	$\frac{0,238}{2,7}$	0,066	0,148

## Культуры

Естественный сосняк													
$P_{св}$	$\frac{2,462}{6,0}$	—	$\frac{0,430}{4,3}$	$\frac{0,417}{6,1}$	$\frac{1,311}{6,8}$	—	$\frac{0,595}{7,6}$	$\frac{-1,214}{18,0}$	$\frac{-0,247}{2,7}$	—	$\frac{-0,581}{5,4}$	$\frac{0,055}{0,055}$	$\frac{0,898}{0,898}$
$P_{др}$	$\frac{3,195}{4,0}$	$\frac{0,372}{3,6}$	$\frac{-0,168}{3,5}$	$\frac{0,336}{2,8}$	$\frac{0,220}{4,6}$	$\frac{0,650}{3,9}$	$\frac{-0,195}{2,3}$	$\frac{-0,318}{2,8}$	—	$\frac{-0,395}{3,0}$	$\frac{0,136}{3,1}$	$\frac{0,046}{0,046}$	$\frac{0,147}{0,147}$
$P_{к}$	2,786	$\frac{-0,176}{4,4}$	$\frac{-0,157}{4,5}$	—	$\frac{0,181}{6,3}$	—	—	—	$\frac{-0,327}{4,2}$	—	$\frac{0,118}{3,6}$	$\frac{0,084}{0,084}$	$\frac{0,140}{0,140}$
$S_{др}$	1,553	$\frac{0,206}{6,6}$	$\frac{0,159}{12,8}$	$\frac{-0,238}{7,2}$	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{0,055}{0,055}$	$\frac{0,315}{0,315}$
$S_{к}$	1,596	$\frac{-0,149}{3,8}$	$\frac{0,166}{9,5}$	$\frac{-0,087}{3,2}$	$\frac{-0,029}{2,1}$	—	$\frac{0,214}{5,0}$	—	—	—	—	$\frac{0,037}{0,037}$	$\frac{0,434}{0,434}$
$P_{б. др}$	2,550	—	$\frac{0,134}{3,6}$	$\frac{-0,180}{4,8}$	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{0,066}{0,066}$	$\frac{0,162}{0,162}$
$P_{б. к}$	2,519	$\frac{-0,131}{3,1}$	$\frac{-0,162}{3,6}$	—	$\frac{0,170}{5,1}$	—	—	—	$\frac{-0,500}{5,4}$	—	$\frac{0,341}{4,7}$	$\frac{0,087}{0,087}$	$\frac{0,230}{0,230}$
$P_{в}$	1,792	$\frac{-0,145}{4,5}$	$\frac{-0,230}{12,6}$	—	$\frac{0,070}{3,0}$	—	$\frac{-0,300}{7,7}$	$\frac{-0,342}{6,8}$	—	—	—	$\frac{0,050}{0,050}$	$\frac{0,688}{0,688}$

Примечание. В числителе — константы, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.



Локальные квалитметрические характеристики ветвей по заданным дендрометрическим показателям деревьев

D, см	A <sub>B</sub> , лет	d <sub>ов</sub> , см	d <sub>i</sub> , см	ρ <sub>ДР</sub>	ρ <sub>K</sub>	S <sub>ДР</sub>	S <sub>K</sub>	ρ <sub>б.ДР</sub>	ρ <sub>б.К</sub>	Π <sub>св</sub> <sup>B</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Культуры сосны</b>										
4	1	0,41	0,4	846	914	47	45	424	437	56
			0,3	939	1020	40	45	396	466	69
	3	0,51	0,4	820	894	50	46	413	412	55
			0,3	900	973	45	45	407	436	63
	5	0,57	0,5	747	819	55	47	410	384	51
			0,4	799	864	52	46	413	400	54
			0,3	872	927	49	46	417	423	59
			0,2	986	1020	44	45	423	457	68
	7	0,61	0,6	696	772	59	48	400	365	48
			0,4	782	839	55	47	415	393	53
			0,2	957	969	48	46	441	447	62
	9	0,64	0,6	686	759	60	49	396	361	49
0,4			768	817	57	48	417	388	52	
0,2			934	927	51	46	457	439	59	
6	1	0,57	0,6	994	948	34	40	349	391	54
			0,6	911	875	39	43	365	375	44
	3	0,77	0,8	829	796	45	45	372	357	37
			0,6	884	845	42	44	368	373	43
	7	0,88	0,4	967	918	38	44	362	397	53
			0,8	812	778	46	46	372	357	37
			0,6	861	817	44	46	373	372	42
			0,4	937	875	41	45	375	394	50
6	9	1,03	1,0	763	737	49	48	368	346	33
			0,8	797	761	48	47	372	357	36
			0,6	843	793	46	47	378	371	41
			0,4	912	840	43	46	386	392	47
8	3	1,03	0,8	947	875	36	41	344	357	38
			0,6	1000	937	33	40	328	371	49
	5	1,20	1,0	885	812	40	44	359	352	32
			0,8	918	845	38	43	352	362	37
			0,6	963	891	36	43	343	375	45
			1,2	842	770	44	46	365	349	28
	7	1,33	1,0	865	790	42	45	362	356	31
			0,8	894	816	40	45	359	365	35
			0,6	932	851	38	44	355	377	42
			0,4	989	902	35	44	349	395	53
			1,2	828	754	45	47	366	352	28
			1,0	848	770	44	47	366	359	30
	9	1,44	0,8	873	790	42	47	366	368	34
			0,6	907	817	41	46	365	379	40
			0,4	957	856	38	45	365	396	49

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	3	1,29	1,0	955	884	35	39	336	347	35
			1,4	890	809	40	43	362	345	25
	5	1,53	1,0	927	854	37	42	347	357	33
			0,6	986	928	33	41	324	376	49
			1,4	873	791	42	45	366	353	25
	7	1,72	1,0	903	824	39	44	356	364	31
			0,6	950	878	36	43	341	381	45
			1,8	839	754	45	47	375	352	20
	9	1,87	1,4	857	772	43	47	371	359	24
			1,0	882	797	41	46	365	369	30
			0,6	921	837	38	45	356	385	42

Естественный сосняк

2	1	0,42	0,4	993	745	36	40	366	363	62	
			0,2	970	842	31	45	334	406	67	
	3	0,45	0,4	938	738	42	49	411	387	55	
			0,2	964	833	37	54	374	433	66	
	5	0,47	0,4	913	729	46	53	433	395	52	
			0,2	961	823	40	59	395	442	65	
	7	0,48	0,4	898	721	48	57	449	398	50	
			0,2	960	815	42	63	409	446	64	
	9	0,49	0,4	886	715	50	59	461	400	49	
			0,2	958	808	43	65	420	448	64	
4	1	0,52	0,4	1003	835	35	41	353	368	65	
			0,4	973	824	40	50	391	409	57	
	3	0,59	0,6	927	752	46	51	434	393	46	
			0,4	960	807	43	54	411	420	54	
	7	0,66	0,6	912	738	48	54	447	398	43	
			0,4	951	793	45	58	424	425	52	
	9	0,68	0,6	901	726	50	57	458	399	42	
			0,4	944	780	46	60	434	426	51	
	6	3	0,70	0,6	979	848	42	47	402	409	50
				0,4	1007	910	38	50	381	436	60
5		0,75	0,6	961	827	44	51	420	422	46	
			0,4	997	888	41	55	398	450	56	
7		0,79	0,6	949	808	46	55	433	426	44	
			0,4	990	868	43	58	410	455	54	
9		0,82	0,8	909	752	51	55	460	408	36	
			0,6	940	792	48	57	443	428	42	
			0,4	985	850	44	61	419	457	53	
8		3	0,78	0,6	1005	924	41	47	394	434	51
	0,8			962	854	46	49	427	429	41	
	5	0,85	0,6	990	898	43	52	411	449	47	
			0,8	950	832	48	53	439	434	38	
	7	0,90	0,6	979	875	45	55	423	455	45	
			0,8	939	812	49	55	449	435	36	
	9	0,95	0,8	971	855	46	58	432	456	43	
			0,6	971	855	46	58	432	456	43	

Характеристика уравнений (5.30) и (5.31) зависимости средних квадратических показателей ветвей ( $y$ ) в культурах и естественном сосняке 20-летнего возраста от дендрометрических показателей деревьев

$y$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$\pm\sigma$	$R^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\rho_{\text{ДР}}^{\text{СР}}$	2,709	$\frac{0,134}{1,9}$	—	$\frac{0,146}{2,2}$	$\frac{-0,555}{3,1}$	—	$\frac{0,436}{2,3}$	—	0,035	0,423
$\rho_{\text{К}}^{\text{СР}}$	3,549	$\frac{-2,101}{3,5}$	$\frac{1,097}{3,4}$	$\frac{0,403}{7,1}$	—	—	—	—	0,037	0,566
$S_{\text{ДР}}^{\text{СР}}$	1,295	—	$\frac{0,883}{2,9}$	$\frac{1,285}{2,4}$	$\frac{-1,082}{2,7}$	$\frac{-1,949}{3,3}$	—	$\frac{1,280}{3,0}$	0,038	0,697
$S_{\text{К}}^{\text{СР}}$	0,770	$\frac{2,674}{3,7}$	$\frac{-1,546}{3,9}$	$\frac{-0,309}{5,0}$	$\frac{-0,613}{2,6}$	—	$\frac{0,722}{2,8}$	—	0,032	0,667
$\rho_{\text{ДР}}^{\text{СР}}$	2,854	$\frac{-0,133}{1,6}$	—	$\frac{-0,210}{2,8}$	$\frac{-0,791}{3,8}$	—	$\frac{0,843}{3,8}$	—	0,039	0,489
$\rho_{\text{К}}^{\text{СР}}$	2,675	$\frac{-0,135}{1,8}$	—	—	$\frac{-0,546}{2,3}$	—	$\frac{0,562}{2,4}$	—	0,046	0,169
$\Pi^{\text{В. СР}}$	2,848	$\frac{-1,670}{2,8}$	—	$\frac{-1,336}{2,5}$	$\frac{0,915}{2,1}$	$\frac{1,838}{2,9}$	—	$\frac{-1,541}{3,3}$	0,030	0,922

Культуры, уравнение (5.30)

Естественный сосняк, уравнение (5.30)

$\rho_{DP}^{CP}$	2,881	—	$\frac{0,055}{2,1}$	$\frac{0,079}{4,2}$	$\frac{-0,144}{3,5}$	—	—	—	—	0,035	0,162
$\rho_K^{CP}$	2,703	—	$\frac{0,172}{4,1}$	$\frac{0,082}{2,7}$	$\frac{-0,330}{5,0}$	—	—	—	—	0,056	0,218
$S_{DP}^{CP}$	1,755	$\frac{0,188}{5,8}$	—	$\frac{-0,278}{8,7}$	—	$\frac{-0,111}{2,7}$	—	—	—	0,047	0,497
$S_K^{CP}$	1,795	$\frac{0,122}{5,3}$	—	$\frac{-0,132}{5,8}$	—	$\frac{-0,190}{6,5}$	—	—	—	0,033	0,518
$\rho_B^{CP}$	2,634	$\frac{0,170}{4,9}$	—	$\frac{-0,211}{6,9}$	$\frac{-0,142}{2,8}$	—	—	—	—	0,044	0,389
$\rho_B^B, K$	2,424	$\frac{0,137}{3,2}$	0,239	—	$\frac{-0,451}{5,5}$	$\frac{-0,231}{2,9}$	—	—	—	0,063	0,333
$II_{CB}^{CP}$	1,562	$\frac{-0,144}{2,9}$	—	$\frac{0,292}{5,7}$	$\frac{-0,340}{4,8}$	—	$\frac{-0,249}{2,4}$	—	$\frac{0,336}{3,2}$	0,042	0,664

Кульгуры, уравнение (5.31)

$\rho_{DP}^{CP}$	2,297	$\frac{1,487}{2,0}$	$\frac{-0,771}{1,9}$	$\frac{-0,075}{3,0}$	$\frac{-0,711}{3,0}$	$\frac{0,689}{2,7}$	—	—	—	0,035	0,477
$\rho_K^{CP}$	3,608	$\frac{-1,366}{2,2}$	$\frac{0,746}{2,2}$	$\frac{-0,119}{6,4}$	—	—	—	—	—	0,039	0,518
$S_{DP}^{CP}$	2,511	$\frac{-2,114}{5,0}$	$\frac{1,054}{4,6}$	—	$\frac{-0,130}{2,6}$	—	$\frac{0,233}{10,8}$	—	—	0,026	0,856

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$S_{\text{к}}^{\text{ср}}$	1,534	—	—	$\frac{0,164}{10,0}$	$\frac{-0,292}{5,7}$	—	—	$\frac{0,268}{3,9}$	0,028	0,734
$\rho_{\text{б}}^{\text{ср}}$ др	2,473	—	—	$\frac{0,133}{7,0}$	$\frac{-1,064}{6,1}$	$\frac{0,951}{5,4}$	—	—	0,033	0,640
$\rho_{\text{б}}^{\text{ср}}$ к	2,675	$\frac{-0,135}{1,8}$	—	—	$\frac{-0,546}{2,3}$	$\frac{0,562}{2,4}$	—	—	0,046	0,169
$\Pi_{\text{св}}^{\text{ср}}$	4,711	—	—	$\frac{-0,112}{6,7}$	—	$\frac{-0,411}{15,0}$	—	—	0,029	0,927
<b>Естественный союз, уравнение (5.31)</b>										
$\rho_{\text{др}}^{\text{ср}}$	2,963	$\frac{0,052}{2,6}$	—	$\frac{-0,050}{3,9}$	$\frac{-0,096}{2,5}$	—	—	—	0,034	0,207
$\rho_{\text{к}}^{\text{ср}}$	2,720	$\frac{0,082}{2,4}$	$\frac{0,131}{3,2}$	—	$\frac{-0,346}{4,7}$	—	—	—	0,057	0,204
$S_{\text{др}}^{\text{ср}}$	1,572	$\frac{-0,033}{2,4}$	—	$\frac{0,153}{8,4}$	—	—	—	—	0,048	0,482
$S_{\text{к}}^{\text{ср}}$	1,573	—	—	$\frac{0,175}{8,1}$	$\frac{-0,283}{5,8}$	—	—	$\frac{0,244}{3,8}$	0,029	0,630
$\rho_{\text{б}}^{\text{ср}}$ др	2,551	—	—	$\frac{0,101}{5,6}$	$\frac{-0,067}{2,6}$	—	—	—	0,047	0,300
$\rho_{\text{б}}^{\text{ср}}$ к	2,379	—	$\frac{0,127}{3,1}$	—	$\frac{-0,524}{7,7}$	—	$\frac{0,181}{5,4}$	—	0,057	0,442
$\Pi_{\text{св}}^{\text{ср}}$	4,716	—	—	$\frac{-0,104}{6,9}$	$\frac{-0,246}{11,1}$	$\frac{-0,124}{3,6}$	—	—	0,039	0,702

Примечание. В числителе — константы, в знаменателе — их значимость по Стьюденту.

Средние квалитметрические характеристики ветвей по заданным дендрометрическим показателям деревьев

D, см	Ав, лет	d <sub>ов</sub> , см	ρ <sub>др</sub> <sup>ср</sup>	ρ <sub>к</sub> <sup>ср</sup>	S <sub>др</sub> <sup>ср</sup>	S <sub>к</sub> <sup>ср</sup>	ρ <sub>б. др</sub> <sup>ср</sup>	ρ <sub>б. к</sub> <sup>ср</sup>	П <sub>св</sub> <sup>ср</sup>
<b>Культуры сосны</b>									
4	1	0,41	1068	1138	47	44	462	473	58
	3	0,51	920	998	53	46	479	451	52
	5	0,57	858	939	56	47	487	442	49
	7	0,61	820	902	58	49	492	435	47
	9	0,64	792	876	60	50	496	431	45
6	1	0,57	1070	993	34	40	356	395	56
	3	0,77	936	871	40	43	374	382	49
	5	0,88	880	820	43	45	384	377	46
	7	0,96	845	787	46	47	390	373	45
	9	1,03	820	764	47	49	394	370	43
8	1	0,73	1055	961	30	37	317	361	53
	3	1,03	942	843	36	41	342	357	47
	5	1,20	894	794	40	43	354	355	45
	7	1,33	864	762	42	46	363	353	43
	9	1,44	842	740	44	48	369	352	42
10	1	0,88	1033	973	29	35	301	346	51
	3	1,29	944	853	35	39	334	348	45
	5	1,53	905	803	39	42	351	349	43
	7	1,72	880	772	41	45	362	350	41
	9	1,87	862	749	43	48	371	350	40
<b>Естественный сосняк</b>									
2	1	0,42	1033	768	36	48	377	385	66
	3	0,45	972	750	43	52	419	394	58
	5	0,47	945	742	47	54	440	399	54
	7	0,48	927	736	49	56	455	402	52
	9	0,49	914	733	51	57	466	404	51
4	1	0,52	1050	822	36	45	371	375	64
	3	0,59	982	785	42	49	411	394	55
	5	0,63	952	769	46	52	431	403	51
	7	0,66	932	758	48	54	445	410	49
	9	0,68	918	750	50	56	456	414	47
6	1	0,58	1061	878	35	43	369	378	62
	3	0,70	988	828	42	48	407	403	52
	5	0,75	956	805	45	51	426	416	48
	7	0,79	935	791	47	54	440	424	46
	9	0,82	920	780	49	55	450	431	44
8	1	0,63	1068	931	35	42	367	385	61
	3	0,78	992	869	41	47	404	415	51
	5	0,85	959	841	45	50	423	430	46
	7	0,90	937	824	47	53	436	440	44
	9	0,95	921	811	49	55	446	447	42

Результаты табулирования рекуррентной системы уравнений по классам возраста, бонитета и густоты

А, лет	N, тыс. экз./га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га					
		ствола		ветвей		листьев, хвои	Итого
		всего	коры	всего	коры		
1	2	3	4	5	6	7	8

Сосновые древостой, уравнения (4.43) и (4.28)

I класс бонитета

20	1	25,2	6,1	11,1	2,8	4,3	40,6
	2	31,3	5,8	10,2	3,5	6,6	48,1
	4	40,6	6,4	9,2	3,9	8,6	58,4
	6	48,2	7,2	8,4	4,0	9,2	65,8
	8	54,9	8,1	7,9	4,0	9,4	72,2
	10	61,1	9,0	7,5	3,9	9,3	77,9
	20	87,4	13,7	6,3	3,4	8,1	101,8
	40	130	24,1	5,1	2,7	6,0	141,1
60	168	35,6	4,4	2,3	4,6	177,0	
40	0,5	64,2	7,2	20,9	4,2	5,4	90,5
	1	80,7	7,8	18,6	4,6	7,1	106,4
	2	106	9,7	16,1	4,6	7,9	130,0
	4	145	13,9	13,4	4,2	7,4	165,8
	6	177	18,3	12,0	3,7	6,6	195,6
	8	206	22,9	10,9	3,4	5,8	222,7
60	0,2	87,6	6,3	32,5	4,1	4,8	124,9
	0,5	117	7,1	28,0	4,6	6,6	151,6
	1	153	9,2	24,2	4,5	7,0	184,2
	2	209	13,7	20,2	3,9	6,2	235,4
	3	257	18,4	18,0	3,4	5,4	280,4
	4	299	23,5	16,5	3,0	4,7	310,8
80	0,2	125	6,2	39,2	4,2	6,0	170,2
	0,5	175	8,2	33,1	4,1	6,7	214,8
	1	237	11,9	28,1	3,6	5,9	271,0
	2	335	19,8	23,1	2,8	4,4	362,5
	3	418	28,6	20,4	2,3	3,5	441,9
100	0,1	128	6,4	48,8	3,8	5,8	182,6
	0,2	162	7,2	43,9	3,8	6,6	212,5
	0,5	235	10,4	36,5	3,4	6,1	277,6
	1	327	16,3	30,6	2,7	4,7	362,3
	2	475	29,4	25,0	2,0	3,1	503,1
120	0,1	151	7,8	52,6	3,5	6,6	210,2
	0,2	196	9,2	47,0	3,3	6,7	249,7
	0,5	294	14,3	38,7	2,6	5,3	338,0
	1	420	23,5	32,2	2,0	3,6	455,8

II класс бонитета

20	1	15,9	5,4	6,9	1,9	2,6	25,4
	2	19,8	4,9	6,7	2,6	4,5	31,0

1	2	3	4	5	6	7	8
	4	25,7	5,1	6,3	3,0	6,4	38,4
	6	30,5	5,6	6,1	3,2	7,3	43,9
	8	34,7	6,2	5,8	3,2	7,7	48,2
	10	38,6	6,7	5,6	3,2	7,9	52,1
	20	55,3	9,7	5,0	3,0	7,6	67,9
	40	82,4	16,2	4,2	2,5	6,2	92,8
	60	106	23,3	3,8	2,2	5,0	114,8
40	0,5	42,6	6,3	13,3	3,3	3,4	59,3
	1	53,5	6,5	12,5	3,8	5,0	71,0
	2	70,2	7,6	11,4	4,0	6,1	87,7
	4	96,0	10,4	10,1	3,8	6,4	112,5
	6	118	13,3	9,3	3,5	6,0	133,3
	8	137	16,4	8,7	3,2	5,5	151,2
60	0,2	60,3	5,7	20,3	3,4	3,1	83,7
	0,5	80,7	6,0	18,8	4,1	4,8	104,3
	1	106	7,4	17,2	4,2	5,6	128,8
	2	144	10,4	15,2	3,8	5,6	164,8
	3	177	13,6	14,0	3,5	5,1	196,1
	4	205	16,9	13,1	3,2	4,6	222,7
80	0,2	88,7	5,4	25,5	3,9	4,3	118,5
	0,5	124	6,7	23,2	4,1	5,4	152,6
	1	168	9,2	20,8	3,8	5,4	194,2
	2	237	14,6	18,1	3,2	4,4	259,5
	3	296	20,4	16,5	2,7	3,7	316,2
100	0,1	92,9	5,7	31,1	3,7	4,2	128,2
	0,2	117	6,1	29,6	4,0	5,2	151,8
	0,5	171	8,3	26,5	3,8	5,5	203,0
	1	238	12,3	23,5	3,2	4,7	266,2
	2	345	21,1	20,2	2,4	3,4	368,6
120	0,1	112	6,8	34,5	3,7	5,2	151,7
	0,2	146	7,6	32,6	3,8	5,9	184,5
	0,5	218	11,1	28,9	3,2	5,2	252,1
	1	312	17,3	25,4	2,5	4,0	341,4

III класс бонитета

20	1	9,4	4,7	4,0	1,3	1,5	14,9
	2	11,7	4,0	4,2	1,8	2,8	18,7
	4	15,2	4,0	4,2	2,2	4,5	23,9
	6	18,0	4,2	4,1	2,4	5,5	27,6
	8	20,5	4,5	4,1	2,6	6,1	30,7
	10	22,8	4,8	4,0	2,6	6,4	33,2
	20	32,6	6,6	3,8	2,6	7,0	43,4
	40	48,7	10,3	3,4	2,3	6,3	58,4
	60	62,7	14,3	3,2	2,0	5,5	71,4
40	0,5	26,5	5,4	7,9	2,4	2,1	36,5
	1	33,4	5,2	7,9	3,0	3,4	44,7
	2	43,8	5,8	7,7	3,4	4,6	56,1
	4	59,8	7,5	7,3	3,4	5,3	72,4



1	2	3	4	5	6	7	8
60	6	73,3	9,3	7,0	3,2	5,4	85,7
	8	85,4	11,1	6,7	3,1	5,2	97,3
	0,2	39,2	5,0	11,8	2,8	1,8	52,8
	0,5	52,5	4,9	11,9	3,6	3,4	67,8
	1	68,7	5,7	11,6	3,9	4,4	84,7
	2	93,9	7,6	11,0	3,8	4,8	109,7
	3	115	9,6	10,4	3,6	4,7	130,1
	4	134	11,6	10,0	3,4	4,5	148,5
80	0,2	59,7	4,6	15,6	3,6	3,0	78,3
	0,5	83,5	5,3	15,4	4,2	4,3	103,2
	1	113	6,8	14,7	4,1	4,8	132,5
	2	160	10,2	13,7	3,6	4,4	178,1
	3	199	13,8	12,9	3,2	3,9	215,8
100	0,1	64,3	5,0	18,5	3,6	2,9	85,7
	0,2	81,3	5,1	18,8	4,1	4,0	104,1
	0,5	118	6,4	18,3	4,2	4,9	141,2
	1	164	8,9	17,3	3,8	4,7	186,0
	2	239	14,3	15,9	3,1	3,8	258,7
	3	314	21,6	14,7	2,6	3,1	350,8
120	0,1	79,8	5,8	21,2	4,1	4,0	105,0
	0,2	103	6,2	21,4	4,3	5,0	129,4
	0,5	155	8,3	20,6	4,0	5,2	180,8
	1	222	12,2	20,7	3,4	4,4	247,1
	2	330	20,6	17,7	2,6	3,1	350,8

IV класс бонитета

20	1	4,6	3,9	4,9	0,72	0,69	7,2
	2	5,7	3,1	2,2	1,1	1,5	9,4
	4	7,4	2,8	2,4	1,5	2,8	12,6
	6	8,8	2,8	2,5	1,7	3,8	15,1
	8	10,0	2,9	2,5	1,8	4,4	16,9
	10	11,1	3,1	2,6	1,9	5,0	18,7
	20	15,9	3,8	2,6	2,1	6,2	24,7
	40	23,7	5,6	2,6	2,0	6,6	32,9
	60	30,6	7,4	2,6	1,9	6,3	39,5
	100	42,9	11,2	2,5	1,6	5,5	50,9
40	0,5	13,9	4,4	3,9	1,6	1,0	18,8
	1	17,5	3,9	4,3	2,2	2,0	23,8
	2	23,0	4,1	4,5	2,7	3,1	30,6
	4	31,4	4,8	4,7	2,9	4,2	40,3
	6	38,5	5,7	4,7	2,9	4,6	47,8
60	8	44,8	6,6	4,7	2,9	4,8	54,3
	10	50,7	7,5	4,6	2,8	4,8	60,1
	0,2	21,8	4,3	5,6	2,1	0,92	28,3
60	0,5	29,2	3,8	6,4	3,0	2,1	37,7
	1	38,2	4,0	6,8	3,5	3,1	48,1
	2	52,2	4,9	7,0	3,8	4,0	63,2
	3	63,8	5,9	7,0	3,7	4,3	75,1
	4	75,1	7,0	7,0	3,7	4,3	75,1

1	2	3	4	5	6	7	8
80	4	74,3	7,0	7,0	3,6	4,4	85,7
	6	93,3	9,1	6,9	3,3	4,2	104,4
	0,2	34,7	3,7	7,9	3,3	1,8	44,4
	0,5	48,6	3,8	8,8	4,2	3,2	60,6
	1	65,8	4,6	9,2	4,4	4,1	79,1
	3	116	8,1	9,3	4,0	4,2	129,5
100	4	137	10,0	9,2	3,7	4,0	150,2
	0,1	39,0	4,2	9,1	3,5	1,7	49,8
	0,2	49,2	3,9	10,1	4,4	2,8	62,1
	0,5	71,6	4,4	11,0	5,0	4,2	86,8
	1	99,7	5,7	11,4	4,9	4,7	115,8
	2	145	8,5	11,4	4,3	4,4	160,8
120	3	184	11,4	11,3	3,8	3,9	199,2
	0,1	50,1	4,7	11,0	4,6	2,7	63,8
	0,2	64,8	4,6	12,0	5,3	4,0	80,8
	0,5	97,4	5,6	13,0	5,5	5,1	115,5
	1	139	7,5	13,4	5,0	5,0	157,4
	2	207	11,7	13,3	4,1	4,2	224,5

V класс бонитета

20	1	2,1	3,2	0,84	0,39	0,3	3,2
	2	2,6	2,3	1,1	0,6	0,8	4,5
	4	3,4	1,9	1,3	1,0	1,7	6,4
	6	4,0	1,8	1,4	1,2	2,5	7,9
	8	4,6	1,8	1,5	1,3	3,2	9,3
	10	5,1	1,9	1,6	1,4	3,7	10,4
	20	7,3	2,1	1,8	1,7	5,5	14,6
	40	10,9	2,8	1,9	1,8	6,9	19,7
	60	14,0	3,6	2,0	1,7	7,2	23,2
	100	19,7	5,1	2,1	1,6	7,1	28,9
40	0,5	6,9	3,5	1,8	1,1	0,48	9,2
	1	8,7	2,9	2,2	1,6	1,1	12,0
	2	11,4	2,7	2,5	2,1	2,0	15,9
	4	15,6	3,0	2,9	2,5	3,2	21,7
	6	19,1	3,3	3,1	2,6	3,9	26,1
	8	22,3	3,7	3,2	2,7	4,4	29,9
60	10	25,2	4,1	3,2	2,7	4,6	33,0
	0,2	11,5	3,6	2,5	1,5	0,43	14,4
	0,5	15,4	2,8	3,2	2,5	1,2	18,8
	1	20,2	2,7	3,8	3,2	2,2	26,2
	2	27,6	3,1	4,2	3,7	3,3	35,1
	3	33,8	3,5	4,6	3,8	3,9	42,3
	4	39,3	4,0	4,7	3,9	4,2	48,2
	6	49,3	5,0	4,9	3,8	4,5	58,7
80	0,2	19,3	3,0	3,8	2,9	1,0	24,1
80	0,5	27,0	2,7	4,8	4,2	2,3	34,1
	1	36,6	3,0	5,5	4,9	3,4	45,5
	2	51,7	3,7	6,1	5,1	4,3	62,1

1	2	3	4	5	6	7	8
100	3	64,6	4,6	6,4	5,0	4,6	75,6
	4	76,2	5,4	6,6	4,8	4,7	87,5
	0,1	22,6	3,5	4,2	3,4	0,98	27,8
	0,2	28,6	3,0	5,2	4,6	1,9	35,7
	0,5	41,6	3,0	6,4	6,0	3,5	51,5
	1	57,9	3,5	7,2	6,4	4,6	69,7
	2	84,1	4,8	8,0	6,2	5,1	97,2
120	3	107	6,1	8,3	5,8	5,0	120,3
	0,1	30,2	3,7	5,3	5,1	1,8	37,3
	0,2	39,1	3,4	6,5	6,5	3,2	48,8
	0,5	58,7	3,6	7,9	7,7	5,0	71,6
	1	83,8	4,5	8,9	7,6	5,8	98,5
	2	125	6,4	9,8	6,9	5,7	140,5
	3	161	8,4	10,2	6,2	5,2	176,4

Березовые древостой, уравнения (4.43) и (4.29)

I класс бонитета

10	4	12,4	3,9	2,6	2,6	2,2	23,7
	8	14,1	5,0	3,2	3,3	2,8	28,4
	12	15,6	5,8	3,4	3,6	2,9	31,3
	16	17,0	6,4	3,4	3,7	2,9	33,4
	20	18,3	7,0	3,4	3,8	2,8	35,3
	28	20,7	7,9	3,3	3,8	2,5	38,2
	40	24,0	9,1	3,1	3,7	2,2	42,1
	60	28,9	10,5	2,7	3,4	1,8	47,3
20	2	37,6	9,9	4,9	4,0	3,1	59,5
	4	45,7	13,8	5,5	4,7	3,8	73,5
	8	59,0	19,3	5,5	4,9	3,8	92,5
	12	70,5	23,5	5,2	4,8	3,6	107,6
	16	81,0	27,0	4,8	4,7	3,2	120,7
	20	90,8	30,0	4,5	4,5	2,9	132,7
	28	109	35,3	3,9	4,1	2,4	154,7
	32	118	37,6	3,7	3,9	2,2	165,4
30	2	76,4	20,0	9,7	6,7	4,6	117,4
	4	100	29,2	9,7	7,1	5,0	151,0
	6	121	36,4	9,2	7,0	4,8	178,4
	8	139	42,6	8,6	6,8	4,5	201,5
	10	157	48,2	8,0	6,5	4,1	223,8
	12	174	53,2	7,5	6,2	3,8	244,7
	16	206	62,3	6,6	5,7	3,3	283,9
	20	237	70,4	5,9	5,3	2,9	321,5
	24	266	77,8	5,3	5,0	2,5	356,6
	28	295	84,6	4,9	4,6	2,2	391,3
	32	324	91,0	4,5	4,4	2,0	425,9
	40	1	98,1	21,8	15,0	8,6	4,8
2		128	32,9	15,6	9,5	5,9	191,9
3		153	41,8	15,1	9,6	6,1	225,6
4		176	49,6	14,4	9,4	5,9	255,3

1	2	3	4	5	6	7	8
	8	259	74,8	11,6	8,3	4,9	358,6
	10	297	85,4	10,5	7,8	4,4	405,1
	12	333	95,2	9,6	7,3	4,0	449,1
	14	369	104	8,8	6,9	3,6	492,3
	16	404	113	8,2	6,5	3,3	535,0
50	1	141	31,3	22,5	11,6	6,3	212,7
	2	191	48,4	22,0	12,1	7,1	222,4
	3	235	62,5	20,5	11,8	7,0	336,8
	4	275	74,9	18,9	11,2	6,7	386,7
	8	421	116	14,2	9,4	5,2	565,8
	10	489	133	12,6	8,6	4,5	647,7
	12	555	150	11,4	8,0	4,0	728,4
	14	620	165	10,3	7,4	3,6	806,3
	16	684	179	9,4	7,0	3,2	882,6
60	1	190	42,1	30,5	14,3	7,7	284,6
	2	267	66,5	28,2	14,3	8,3	384,3
	3	334	86,8	25,4	13,5	7,9	467,6
	4	397	105	22,9	12,7	7,4	545,0
	8	629	166	16,3	10,1	5,4	826,8
	10	738	192	14,2	9,1	4,6	957,9
	12	846	216	12,6	8,3	4,1	1087,0
	14	952	240	11,3	7,7	3,6	1214,6
	16	1057	262	10,2	7,1	3,2	1339,5
70	1	246	54,1	38,3	16,7	9,1	364,2
	2	355	86,9	33,3	16,0	9,4	500,6
	3	452	115	29,6	14,8	8,7	620,1
	4	543	140	26,2	13,6	7,9	730,7
	8	885	224	17,8	10,4	5,5	1142,7
	10	1048	261	15,3	9,3	4,7	1338,3
80	0,2	157	21,6	40,2	14,6	5,0	238,4
	0,5	221	41,3	47,0	18,1	8,7	336,1
	1	308	67,3	45,5	18,7	10,5	450,0
	2	455	110	38,6	17,2	10,4	631,2
	3	588	146	33,0	15,6	9,4	792,0
	4	714	179	28,8	14,2	8,4	944,4
	6	956	238	22,8	12,0	6,8	1241,6

### II класс бонитета

10	4	8,6	2,8	1,9	2,0	1,7	17,0
	8	9,9	3,6	2,5	2,6	2,3	20,9
	12	11,1	4,2	2,7	2,9	2,5	23,4
	16	12,1	4,6	2,8	3,1	2,5	25,1
	20	13,1	5,0	2,8	3,2	2,4	26,5
	28	14,9	5,7	2,8	3,2	2,3	28,9
	40	17,4	6,5	2,7	3,2	2,0	31,8
	60	21,2	7,6	2,4	3,1	1,7	36,0
20	2	25,5	7,0	3,5	2,9	2,3	41,2
	4	31,5	9,7	4,1	3,6	3,0	51,9
	8	41,3	13,6	4,3	4,0	3,2	66,4

1	2	3	4	5	6	7	8
30	12	49,8	16,5	4,1	4,0	3,0	77,4
	16	57,6	19,0	3,9	3,9	2,8	87,2
	20	64,9	21,1	3,7	3,8	2,6	96,1
	28	78,7	24,8	3,3	3,5	2,2	112,5
	32	85,3	26,5	3,1	3,4	2,0	120,3
	2	51,8	13,9	6,9	4,9	3,4	80,9
	4	68,9	20,3	7,2	5,5	3,9	105,8
	6	83,8	25,3	7,0	5,5	3,9	125,5
	8	97,5	29,6	6,6	5,4	3,7	142,8
	10	110	33,5	6,3	5,3	3,5	158,6
	12	123	37,0	6,0	5,1	3,3	174,4
	16	146	43,3	5,4	4,8	2,9	202,4
20	169	49,0	4,9	4,5	2,5	229,9	
24	191	54,1	4,5	4,2	2,3	256,1	
40	1	65,5	15,0	10,2	6,1	3,5	100,3
	2	86,5	22,7	11,1	7,0	4,5	131,8
	3	105	28,9	11,0	7,2	4,7	156,8
	4	121	34,2	10,7	7,2	4,7	177,8
	8	181	51,7	9,0	6,6	4,1	252,4
	10	209	59,0	8,3	6,3	3,7	286,3
50	12	235	65,7	7,7	6,0	3,4	317,8
	1	94,1	21,5	15,3	8,2	4,5	143,6
	2	130	33,2	15,6	8,9	5,4	193,1
	3	161	42,9	14,9	8,9	5,5	233,2
	4	190	51,4	14,1	8,7	5,3	269,5
	8	295	79,5	11,1	7,5	4,3	367,7
60	10	344	91,5	10,0	7,0	3,9	456,4
	12	392	103	9,1	6,5	3,5	514,1
	0,5	94,8	18,2	18,7	8,8	4,0	136,5
	1	127	28,7	20,7	10,2	5,6	192,2
	2	181	45,4	20,1	10,6	6,3	263,4
	3	229	59,3	18,5	10,2	6,2	323,2
70	4	274	71,6	17,1	9,8	5,9	378,4
	8	440	113	12,7	8,1	4,5	578,3
	10	519	131	11,2	7,4	4,0	672,6
	0,5	119	22,9	24,6	10,7	5,0	182,2
	1	164	36,8	26,0	11,9	6,6	245,3
	2	240	59,1	24,0	11,8	7,2	342,1
80	3	309	78,0	21,6	11,2	6,8	270,6
	4	374	94,9	19,5	10,5	6,4	505,3
	8	619	152	13,9	8,3	4,6	797,8
	0,2	101	14,6	24,5	9,4	3,3	152,8
	0,5	145	28,0	30,5	12,4	6,0	221,9
	1	205	45,6	30,9	13,3	7,6	302,4
80	2	308	74,3	27,4	12,7	7,9	430,3
	3	402	98,9	24,1	11,8	7,4	529,4
	4	492	121	21,4	10,9	6,8	652,1
	6	665	161	17,4	9,5	5,6	858,5

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>III класс бонитета</i>							
10	4	5,5	1,9	1,4	1,5	1,3	11,6
	8	6,5	2,4	1,8	2,0	1,8	14,5
	12	7,4	2,8	2,1	2,3	2,0	16,6
	16	8,1	3,1	2,2	2,5	2,1	18,0
	20	8,8	3,4	2,2	2,6	2,1	19,1
	28	10,2	3,9	2,3	2,7	2,0	21,1
	40	12,0	4,4	2,3	2,8	1,8	23,3
	60	14,7	5,1	2,1	2,7	1,5	26,1
20	2	16,2	4,6	2,3	2,1	1,7	26,9
	4	20,3	6,4	2,9	2,6	2,3	34,5
	8	27,2	9,0	3,2	3,0	2,6	45,0
	12	33,1	10,9	3,2	3,1	2,5	52,8
	16	38,6	12,6	3,1	3,1	2,4	59,8
	20	43,8	14,0	3,0	3,1	2,2	66,1
	28	53,6	16,4	2,7	3,0	2,0	77,7
30	2	32,9	9,1	4,6	3,5	2,5	52,6
	4	44,6	13,3	5,1	4,0	3,0	70,0
	6	54,8	16,6	5,1	4,2	3,1	83,8
	8	64,2	19,4	5,0	4,2	3,0	95,8
	10	73,1	21,9	4,8	4,1	2,9	106,8
	12	81,7	24,2	4,6	4,0	2,8	117,3
	16	98,2	28,3	4,2	3,8	2,5	137,0
	20	114	32,0	3,9	3,7	2,2	155,8
40	1	40,8	9,7	6,4	4,1	2,4	63,4
	2	54,9	14,7	7,4	4,9	3,2	85,1
	3	67,2	18,7	7,6	5,2	3,5	102,2
	4	78,5	22,2	7,6	5,3	3,6	117,2
	8	119	33,4	6,7	5,1	3,3	167,5
	10	138	38,2	6,3	4,9	3,1	190,5
	12	157	42,6	5,9	4,7	2,9	213,1
	14	175	46,6	5,6	4,5	2,7	234,4
	16	192	50,5	5,2	4,4	2,5	254,6
50	0,2	33,8	5,0	4,9	2,6	0,84	47,1
	0,5	44,4	8,9	7,8	4,3	2,0	67,4
	1	58,6	13,8	9,7	5,5	3,1	90,7
	2	82,2	21,4	10,5	6,3	4,0	124,4
	3	103	27,6	10,3	6,4	4,2	151,5
	4	123	33,1	9,9	6,4	4,1	176,5
	8	194	51,1	8,3	5,8	3,5	262,7
	10	228	58,8	7,6	5,5	3,2	303,1
	12	261	66,0	7,0	5,2	3,0	342,2
	14	294	72,7	6,5	4,9	2,7	380,8
	16	326	79,1	6,0	4,7	2,5	418,3
60	0,5	58,0	11,6	11,3	5,6	2,6	89,1
	1	79,1	18,4	13,1	6,8	3,8	108,4
	2	115	29,0	13,4	7,4	4,6	169,4
	3	147	37,9	12,8	7,4	4,7	209,8

1	2	3	4	5	6	7	8
	4	177	45,8	12,0	7,2	4,5	246,5
	8	290	72,3	9,5	6,2	3,7	381,7
	10	344	83,8	8,5	5,8	3,3	445,4
	12	398	94,5	7,8	5,4	3,0	508,7
	14	451	105	7,1	5,1	2,7	570,9
	16	504	114	6,5	4,8	2,5	631,8
70	0,5	72,8	14,6	14,8	6,8	3,3	112,3
	1	102	23,4	16,5	8,0	4,6	154,5
	2	153	37,6	16,1	8,3	5,2	220,2
	3	198	49,6	14,9	8,1	5,2	275,8
	4	242	60,4	13,8	7,7	4,9	328,8
	8	408	97,0	10,4	6,4	3,8	525,6
	10	488	113	9,2	5,9	3,4	619,5
	12	569	128	8,2	5,4	3,0	713,6
	14	649	142	7,5	5,1	2,7	806,3
80	0,2	60,2	9,3	13,7	5,6	2,0	90,8
	0,5	88,8	17,7	18,3	7,9	3,9	136,6
	1	128	28,9	19,6	8,9	5,3	190,7
	2	196	47,1	18,4	8,9	5,8	276,2
	3	258	62,6	16,6	8,5	5,6	351,3
	4	318	76,7	15,1	8,0	5,3	423,1
	6	434	102	12,7	7,2	4,5	560,4
	8	549	125	10,9	6,4	3,9	695,2
	10	663	146	9,5	5,9	3,4	827,8
	12	778	166	8,5	5,4	3,0	960,9
	14	892	186	7,6	5,0	2,7	1093,3

IV класс бонитета

10	4	3,3	1,2	0,90	1,0	0,94	7,3
	8	3,9	1,5	1,3	1,5	1,4	9,6
	12	4,5	1,8	1,5	1,8	1,6	11,2
	16	5,0	2,0	1,6	1,9	1,7	12,2
	20	5,5	2,1	1,7	2,0	1,8	13,1
	28	6,4	2,4	1,8	2,2	1,8	14,6
	40	7,6	2,7	1,8	2,3	1,7	16,1
	60	9,5	3,2	1,8	2,3	1,5	18,3
20	2	9,3	2,8	1,4	1,3	1,1	15,9
	4	12,0	3,9	1,9	1,8	1,6	21,2
	8	16,4	5,5	2,2	2,2	2,0	28,3
	12	20,2	6,6	2,3	2,4	2,0	33,5
	16	23,8	7,6	2,3	2,4	2,0	38,1
	20	27,2	8,5	2,2	2,4	1,9	42,2
	28	33,7	10,0	2,1	2,4	1,7	49,9
30	2	19,0	5,4	2,8	2,3	1,7	31,2
	4	26,3	7,9	3,4	2,8	2,2	42,6
	6	32,7	9,9	3,5	3,0	2,4	51,5
	8	38,7	11,6	3,5	3,0	2,4	59,2
	10	44,4	13,1	3,4	3,1	2,3	66,3
	12	50,0	14,5	3,3	3,0	2,2	73,0

1	2	3	4	5	6	7	8
40	16	60,6	16,9	3,2	3,0	2,1	85,8
	20	70,9	19,1	3,0	2,9	1,9	97,8
	1	23,0	5,8	3,7	2,5	1,5	36,5
	2	31,7	8,7	4,6	3,2	2,2	50,4
	3	39,3	11,1	4,9	3,5	2,5	61,3
	4	46,3	13,1	5,0	3,6	2,7	70,7
	8	72,0	19,8	4,7	3,7	2,6	102,8
	10	84,0	22,6	4,5	3,6	2,5	117,2
	12	95,8	25,2	4,3	3,6	2,4	131,3
	14	107	27,6	4,1	3,5	2,2	144,4
50	16	119	29,9	3,9	3,4	2,1	158,3
	1	33,1	8,1	5,6	3,4	2,0	52,2
	2	47,4	12,5	6,4	4,1	2,7	73,1
	3	60,2	16,2	6,6	4,3	3,0	90,3
	4	72,3	19,4	6,5	4,4	3,0	105,6
	8	117	30,0	5,8	4,2	2,9	159,9
	10	138	34,5	5,4	4,1	2,6	184,6
	12	160	38,7	5,1	3,9	2,4	210,1
	14	181	42,6	4,8	3,7	2,3	234,4
	16	201	46,4	4,5	3,6	2,1	257,6
60	0,5	32,0	6,8	6,1	3,3	1,6	49,8
	1	44,6	10,7	7,6	4,2	2,5	69,6
	2	66,2	16,9	8,3	4,8	3,2	99,4
	3	85,8	22,1	8,2	5,0	3,4	107,7
	4	104	26,7	7,9	4,9	3,4	146,9
	8	175	42,1	6,6	4,5	2,9	231,1
	10	209	48,8	6,1	4,3	2,7	270,9
	12	243	55,0	5,6	4,1	2,5	310,2
	14	277	60,9	5,2	3,9	2,3	349,3
	16	311	66,5	4,9	3,7	2,1	388,2
70	0,5	40,2	8,4	8,0	4,0	2,0	62,6
	1	57,7	13,6	9,5	4,9	3,0	88,7
	2	88,0	21,8	9,9	5,4	3,6	128,7
	3	116	28,7	9,6	5,4	3,7	163,4
	4	143	35,0	9,1	5,3	3,7	196,1
	8	246	56,2	7,3	4,7	3,0	317,2
	10	297	65,4	6,6	4,4	2,8	376,2
	12	348	74,1	6,0	4,1	2,5	434,7
	14	399	82,3	5,5	3,9	2,3	493,0
	80	0,2	32,3	5,3	6,8	3,1	1,1
0,5		49,0	10,2	9,9	4,6	2,4	62,1
1		72,2	16,6	11,3	5,5	3,4	109,0
2		113	27,1	11,3	5,8	4,0	161,2
3		151	36,1	10,6	5,7	4,1	207,5
4		188	44,2	9,9	5,5	3,9	251,5
6		260	58,8	8,6	5,1	3,5	336,0
8		331	72,0	7,6	4,7	3,1	418,4
10		403	84,3	6,8	4,4	2,8	501,3
12		475	95,9	6,2	4,1	2,5	583,7



Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии в колочных лесах (в кг на 1 дерево)

Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Ствол		Листья	Ветви живые		Ветви отмершие	Итого
			древесина	кора		древесина	кора		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Береза

I класс бонитета

5	1	2,24	0,08	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03	0,22
	2	3,27	0,35	0,10	0,16	0,06	0,09	0,13	0,89
	3	4,08	0,84	0,22	0,32	0,16	0,20	0,29	2,03
	4	4,77	1,58	0,39	0,53	0,32	0,35	0,48	3,66
15	2	4,8	0,54	0,14	0,09	0,05	0,06	0,03	0,90
	4	6,8	2,29	0,56	0,31	0,24	0,25	0,12	3,75
	6	8,35	5,50	1,26	0,66	0,67	0,61	0,25	8,94
	8	9,65	10,42	2,26	1,15	1,45	1,19	0,40	16,88
	10	10,8	17,37	3,60	1,79	2,69	2,02	0,58	28,05
	12	11,8	26,49	5,28	2,58	4,52	3,15	0,76	42,79
	14	12,8	38,56	7,36	3,56	7,13	4,64	0,94	62,19
16	13,7	53,53	9,83	4,70	10,64	6,54	1,13	86,36	
25	6	9,66	6,65	1,51	0,53	0,59	0,53	0,16	9,96
	8	11,1	12,5	2,75	0,93	1,29	1,04	0,28	18,79
	10	12,3	20,5	4,38	1,45	2,42	1,78	0,43	30,95
	12	13,5	31,5	6,49	2,12	4,14	2,81	0,59	47,66
	14	14,5	45,2	9,05	2,92	6,54	4,16	0,77	68,64
	16	15,5	62,8	12,2	3,89	9,87	5,91	0,96	95,63
	18	16,4	83,9	15,8	5,02	14,2	8,07	1,16	128,15
	20	17,2	109	19,9	6,29	19,8	10,7	1,38	167,07
	22	18,0	139	24,7	7,77	26,8	13,9	1,60	213,77
	24	18,8	174	30,2	9,46	35,7	17,7	1,82	268,88
35	8	12,1	14,2	3,12	0,81	1,20	0,95	0,24	20,53
	12	14,6	35,3	7,43	1,86	3,89	2,61	0,55	51,65
	16	16,6	69,0	13,9	3,41	9,30	5,48	0,98	102,07
	20	18,4	120	23,0	5,58	18,9	10,0	1,49	178,97
	24	20,1	192	34,9	8,42	34,4	16,7	2,07	288,49
	28	21,5	285	49,7	11,9	57,2	25,7	2,74	432,24
	32	22,9	410	68,1	16,4	90,8	38,2	3,45	626,95
	36	24,2	570	90,4	21,7	137,4	54,3	4,20	878,00
45	8	12,9	15,7	3,45	0,74	1,14	0,89	0,23	22,15
	12	15,4	38,3	8,21	1,69	3,71	2,46	0,56	54,93
	16	17,5	74,8	15,4	3,12	8,96	5,21	1,04	108,53
	20	19,4	130	25,6	5,11	18,3	9,60	1,67	190,28
	24	21,0	204	38,7	7,68	33,2	15,9	2,45	301,93
	28	22,5	305	55,5	11,0	55,8	24,8	3,37	455,47
	32	23,9	437	76,1	15,0	88,5	36,6	4,42	657,62
	36	25,2	603	101	19,9	134	52,0	5,59	915,69

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
55	8	13,5	16,9	3,73	0,68	1,09	0,85	0,22	23,47
	12	16,1	41,2	8,92	1,57	3,59	2,35	0,58	58,21
	16	18,2	79,6	16,8	2,89	8,67	5,00	1,14	114,10
	20	20,1	137	27,8	4,74	17,8	9,21	1,92	198,47
	24	21,7	214	42,1	7,13	32,2	15,3	2,92	313,65
	28	23,2	318	60,2	10,2	54,1	23,8	4,15	470,45
	32	24,6	453	82,6	14,0	85,8	35,2	5,63	676,23
	36	25,9	624	110	18,5	130	50,1	7,34	939,94
	40	27,1	834	141	23,9	189	68,9	9,31	1266,11
	65	12	16,7	43,9	9,56	1,47	3,49	2,28	0,62
16		18,8	84,1	18,0	2,72	8,46	4,84	1,26	119,37
20		20,7	144	29,8	4,46	17,3	8,91	2,20	206,67
24		22,3	223	45,1	6,71	31,4	14,8	3,46	324,47
28		23,8	330	64,6	9,57	52,8	23,0	5,07	485,04
32		25,2	468	88,6	13,1	83,7	34,1	7,06	694,56
36		26,5	643	118	17,4	127	48,5	9,44	963,34
40		27,7	856	152	22,5	185	66,7	12,3	1294,5
44		28,8	1112	191	28,4	260	89,2	15,5	1696,1
75		8	14,5	19,2	4,22	0,60	1,02	0,79	0,23
	12	17,1	45,7	10,1	1,39	3,38	2,19	0,66	63,42
	16	19,3	87,9	19,1	2,58	8,26	4,69	1,40	123,93
	20	21,2	149	31,6	4,23	16,9	8,65	2,52	212,90
	24	22,8	231	47,9	6,36	30,7	14,3	4,07	334,33
	28	24,3	340	68,5	9,08	51,6	22,3	6,12	497,60
	32	25,7	481	94,0	12,4	81,9	33,1	8,72	711,12
	36	27,0	658	125	16,5	124	47,1	11,9	982,50
	40	28,2	875	161	21,3	181	64,8	15,8	1318,9
	44	29,3	1133	203	26,9	254	86,7	20,4	1724,0
48	30,3	1433	250	33,2	348	113	25,7	2202,9	
52	31,3	1797	305	40,6	468	145	31,9	2787,5	

II класс бонитета

5	1	2,09	0,07	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,22
	2	3,04	0,33	0,10	0,15	0,07	0,09	0,14	0,88
	3	3,79	0,80	0,22	0,31	0,16	0,20	0,31	2,00
	4	4,43	1,50	0,38	0,52	0,32	0,35	0,53	3,60
15	2	4,46	0,50	0,14	0,09	0,05	0,06	0,03	0,87
	4	6,32	2,12	0,54	0,30	0,23	0,25	0,13	3,57
	6	7,76	5,05	1,22	0,63	0,65	0,59	0,27	8,41
	8	8,97	9,49	2,18	1,10	1,38	1,14	0,45	15,74
	10	10,0	15,60	3,45	1,69	2,53	1,91	0,66	25,85
	12	11,0	23,85	5,06	2,44	4,23	2,97	0,88	39,43
	14	11,9	34,31	7,02	3,33	6,59	4,34	1,10	56,70
16	12,7	47,09	9,32	4,37	9,72	6,05	1,34	77,90	
25	6	8,98	6,03	1,46	0,50	0,56	0,51	0,17	9,24
	8	10,3	11,2	2,63	0,88	1,22	0,99	0,31	17,22
	10	11,5	18,4	4,20	1,37	2,27	1,68	0,47	28,39
	12	12,5	27,7	6,16	1,98	3,80	2,62	0,66	42,92
	14	13,5	39,7	8,58	2,72	5,98	3,86	0,86	61,71

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
35	16	14,4	54,6	11,5	3,59	8,92	5,42	1,09	85,12
	18	15,2	72,1	14,8	4,60	12,7	7,34	1,33	112,87
	20	16,0	93,5	18,7	5,77	17,6	9,70	1,58	146,85
	22	16,7	118	23,0	7,07	23,7	12,46	1,86	186,09
	4	8,17	2,99	0,72	0,20	0,18	0,19	0,06	4,33
	8	11,2	12,5	2,98	0,76	1,12	0,90	0,26	18,51
	12	13,5	30,6	7,01	1,72	3,54	2,40	0,60	45,87
	16	15,5	60,0	13,1	3,15	8,40	5,03	1,06	90,74
	20	17,1	101	21,4	5,06	16,6	9,00	1,64	155,70
	24	18,6	159	32,2	7,56	29,7	14,8	2,32	245,58
45	28	20,0	237	45,8	10,7	49,3	22,7	3,07	368,57
	32	21,9	363	64,6	15,2	82,0	35,0	3,72	563,52
	8	12,0	13,9	3,29	0,69	1,06	0,84	0,24	20,02
	12	14,3	33,2	7,74	1,56	3,37	2,26	0,59	48,72
	16	16,3	64,3	14,5	2,86	8,01	4,74	1,10	95,51
	20	18,0	109	23,7	4,62	16,0	8,56	1,78	163,66
	24	19,5	170	35,8	6,90	28,6	14,0	2,63	257,93
	28	20,9	250	50,9	9,77	47,5	21,6	3,63	383,40
	32	22,2	354	69,5	13,3	74,5	31,7	4,77	547,77
	36	23,3	478	91,2	17,4	110	44,3	6,10	747,00
55	8	12,6	14,9	3,55	0,63	1,01	0,80	0,23	21,12
	12	14,9	35,5	8,39	1,44	3,24	2,16	0,60	51,33
	16	16,9	67,6	15,6	2,63	7,68	4,51	1,18	99,20
	20	18,6	114	25,7	4,27	15,4	8,18	1,98	169,53
	24	20,2	178	38,8	6,40	27,7	13,5	3,02	267,42
	28	21,6	261	55,3	9,07	46,1	20,8	4,30	396,57
	32	22,9	368	75,5	12,3	72,2	30,4	5,84	564,24
	36	24,1	501	99,6	16,2	108	42,9	7,64	775,34
	40	25,2	661	128	20,8	156	58,4	9,70	1033,9
	65	8	13,0	15,8	3,77	0,59	0,97	0,76	0,23
12		15,5	37,6	8,97	1,35	3,14	2,08	0,62	53,76
16		17,5	71,4	16,8	2,48	7,48	4,36	1,27	103,79
20		19,2	119	27,5	4,00	15,0	7,88	2,21	175,59
24		20,7	183	41,4	5,98	26,8	12,9	3,47	273,55
28		22,1	268	59,0	8,47	44,5	19,9	5,09	404,86
32		23,4	376	80,5	11,5	69,8	29,2	7,08	574,08
36		24,6	510	106	15,2	104	41,1	9,49	785,79
40		25,7	671	136	19,5	150	56,1	12,3	1044,9
75		8	13,5	16,8	4,00	0,56	0,94	0,73	0,23
	12	15,9	39,1	9,46	1,27	3,04	2,00	0,65	55,52
	16	17,9	73,7	17,7	2,33	7,24	4,20	1,38	106,55
	20	19,6	122	29,0	3,77	14,5	7,58	2,47	179,32
	24	21,2	190	44,0	5,67	26,2	12,6	3,98	282,45
	28	22,6	276	62,6	8,03	43,5	19,3	5,97	415,40
	32	23,8	381	84,9	10,8	67,5	28,1	8,49	580,79
	36	25,1	522	113	14,4	102	39,9	11,6	802,9
	40	26,2	686	144	18,4	147	54,5	15,4	1065,3
	44	27,2	877	181	23,1	206	72,2	19,8	1379,1
48	28,2	1111	224	28,6	280	94,0	24,9	1762,5	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>III класс бонитета</i>									
5	1	1,91	0,07	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,22
	2	2,79	0,31	0,10	0,15	0,07	0,09	0,15	0,88
	3	3,48	0,75	0,22	0,30	0,17	0,20	0,34	1,98
	4	4,06	1,40	0,37	0,50	0,32	0,35	0,59	3,55
15	2	4,09	0,46	0,14	0,08	0,05	0,06	0,03	0,83
	4	5,80	1,94	0,53	0,29	0,23	0,24	0,14	3,37
	6	7,12	4,58	1,18	0,61	0,63	0,58	0,30	7,88
	8	8,23	8,54	2,10	1,04	1,32	1,09	0,52	14,61
	10	9,21	14,00	3,31	1,60	2,39	1,82	0,76	23,88
	12	10,10	21,14	4,82	2,29	3,94	2,80	1,03	36,02
14	10,90	30,08	6,65	3,10	6,07	4,04	1,31	51,26	
25	2	4,86	0,58	0,16	0,06	0,04	0,05	0,02	0,92
	4	6,78	2,35	0,62	0,22	0,20	0,20	0,08	3,67
	6	8,23	5,41	1,40	0,48	0,54	0,49	0,19	8,51
	8	9,45	9,94	2,51	0,83	1,15	0,94	0,34	15,71
	10	10,5	16,1	3,98	1,28	2,10	1,57	0,52	25,56
	12	11,5	24,2	5,84	1,84	3,51	2,44	0,74	38,56
	14	12,4	34,4	8,09	2,51	5,45	3,56	0,98	54,99
	16	13,2	46,7	10,8	3,30	8,03	4,95	1,25	75,03
	18	13,9	61,5	13,8	4,20	11,4	6,66	1,54	99,10
	20	14,7	79,3	17,4	5,25	15,6	8,75	1,84	128,14
22	15,4	100	21,5	6,44	20,9	11,2	2,15	162,19	
35	4	7,49	2,69	0,70	0,19	0,17	0,18	0,06	3,99
	8	10,3	11,1	2,84	0,71	1,05	0,85	0,28	16,83
	12	12,4	26,5	6,61	1,59	3,23	2,22	0,65	40,81
	16	14,2	50,8	12,2	2,87	7,48	4,55	1,17	79,07
	20	15,7	85,0	19,8	4,58	14,6	8,05	1,83	133,86
	24	17,1	132	29,7	6,78	25,7	13,1	2,59	209,87
	28	18,4	194	42,1	9,54	42,1	19,9	3,46	311,10
	45	8	8,06	2,99	0,76	0,17	0,16	0,17	0,05
8	11,0	12,1	3,12	0,64	0,99	0,79	0,25	17,88	
12	13,1	28,4	7,26	1,43	3,05	2,08	0,62	42,84	
16	14,9	54,1	13,5	2,59	7,09	4,27	1,17	82,72	
20	16,5	90,1	21,9	4,15	13,9	7,60	1,91	139,56	
24	17,9	139	32,8	6,14	24,5	12,3	2,83	217,57	
28	19,2	202	46,5	8,64	40,2	18,8	3,92	320,06	
55	8	11,5	12,9	3,35	0,59	0,93	0,74	0,23	18,75
	12	13,7	30,2	7,84	1,32	2,92	1,97	0,61	44,86
	16	15,5	56,5	14,5	2,38	6,77	4,05	1,21	85,41
	20	17,1	94,0	23,7	3,82	13,3	7,23	2,05	144,10
	24	18,5	144	35,5	5,66	23,5	11,7	3,13	223,49
	28	19,8	209	50,2	7,96	38,6	17,9	4,48	328,14
	32	21,0	291	68,2	10,8	59,7	25,9	6,09	461,69
	36	22,1	392	89,5	14,1	88,3	36,2	7,98	628,08
65	8	12,0	13,8	3,57	0,55	0,90	0,71	0,23	19,76
	12	14,2	31,8	8,37	1,23	2,81	1,89	0,62	46,72
	16	16,0	58,9	15,5	2,22	6,53	3,88	1,27	88,30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
75	20	17,6	97,3	25,2	3,57	12,9	6,93	2,22	148,12
	24	19,0	148	37,8	5,29	22,7	11,2	3,49	228,48
	28	20,3	214	53,6	7,44	37,3	17,1	5,11	334,55
	32	21,5	297	72,7	10,1	57,7	24,8	7,12	469,42
	36	22,6	398	95,4	13,1	85,3	34,7	9,53	636,03
	8	12,4	14,5	3,77	0,52	0,87	0,68	0,22	20,56
	12	14,6	33,1	8,83	1,16	2,72	1,82	0,64	48,26
	16	16,5	61,6	16,4	2,11	6,37	3,76	1,35	91,59
	20	18,1	101	26,8	3,38	12,6	6,72	2,41	152,91
	24	19,5	153	40,1	5,01	22,2	10,9	3,88	235,09
	28	20,7	218	56,5	7,00	36,1	16,5	5,81	339,91
	32	21,9	302	76,7	9,46	55,9	23,9	8,26	476,22
	36	23,0	403	101	12,4	82,6	33,4	11,3	643,70
	40	24,0	524	128	15,7	118	45,1	14,9	845,70
44	24,9	662	160	19,6	162	59,2	19,1	1081,9	

IV класс бонитета

5	1	1,73	0,06	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,22
	2	2,51	0,29	0,10	0,15	0,07	0,10	0,17	0,87
	3	3,13	0,70	0,21	0,30	0,17	0,20	0,38	1,96
	4	3,66	1,30	0,37	0,49	0,33	0,35	0,67	3,51
15	2	3,68	0,42	0,13	0,08	0,05	0,06	0,04	0,79
	4	5,23	1,76	0,51	0,28	0,23	0,24	0,15	3,18
	6	6,41	4,10	1,13	0,58	0,61	0,57	0,35	7,34
	8	7,42	7,59	2,01	0,98	1,27	1,05	0,59	13,49
25	10	8,30	12,31	3,15	1,50	2,26	1,73	0,89	21,84
	12	9,10	18,43	4,57	2,13	3,67	2,63	1,22	32,66
	2	4,38	0,53	0,16	0,06	0,04	0,05	0,02	0,86
	4	6,11	2,10	0,60	0,21	0,19	0,20	0,09	3,40
35	6	7,42	4,78	1,34	0,45	0,52	0,48	0,21	7,78
	8	8,52	8,70	2,39	0,77	1,09	0,89	0,38	14,23
	10	9,48	14,0	3,77	1,19	1,96	1,48	0,59	22,99
	12	10,3	20,6	5,47	1,69	3,21	2,26	0,85	34,07
45	14	11,1	29,1	7,56	2,29	4,93	3,26	1,13	48,27
	16	11,9	39,4	10,0	3,00	7,20	4,51	1,45	65,56
	18	12,6	51,6	12,9	3,81	10,1	6,03	1,79	86,23
	4	6,75	2,38	0,67	0,18	0,17	0,18	0,06	3,65
35	8	9,29	9,59	2,69	0,66	0,99	0,80	0,30	15,03
	12	11,2	22,5	6,20	1,46	2,95	2,05	0,71	35,89
	16	12,8	42,3	11,4	2,60	6,65	4,11	1,30	68,36
	20	14,2	70,1	18,3	4,11	12,8	7,18	2,04	114,53
45	24	15,4	106	27,1	6,00	22,0	11,4	2,95	175,45
	28	16,6	155	38,2	8,38	35,5	17,2	3,96	258,24
	4	7,26	2,63	0,73	0,16	0,16	0,16	0,05	3,89
	8	9,89	10,4	2,94	0,59	0,92	0,74	0,26	15,85
45	12	11,8	24,0	6,79	1,31	2,77	1,91	0,66	37,43
	16	13,5	44,8	12,5	2,33	6,27	3,84	1,25	70,99
	20	14,9	73,4	20,1	3,69	12,1	6,72	2,05	118,06
	24	16,1	111	29,8	5,40	20,8	10,7	3,07	180,77
28	17,3	160	42,0	7,53	33,5	16,1	4,27	263,40	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
55	8	10,4	11,1	3,16	0,54	0,87	0,70	0,24	16,61
	12	12,4	25,4	7,32	1,20	2,63	1,80	0,63	38,98
	16	14,0	46,5	13,4	2,14	5,95	3,62	1,25	72,86
	20	15,4	75,6	21,6	3,38	11,4	6,34	2,12	120,44
	24	16,7	114	32,2	4,97	19,9	10,2	3,26	185,53
	28	17,9	164	45,4	6,94	32,2	15,3	4,67	268,51
	32	18,9	224	61,0	9,24	48,7	21,8	6,37	371,11
65	8	10,8	11,7	3,35	0,50	0,83	0,66	0,23	17,27
	12	12,8	26,4	7,76	1,11	2,51	1,71	0,62	40,13
	16	14,5	48,5	14,3	1,99	5,73	3,47	1,28	75,27
	20	15,9	78,4	23,1	3,16	11,0	6,07	2,22	123,95
	24	17,2	118	34,4	4,64	19,2	9,74	3,50	189,48
	28	18,3	167	48,2	6,44	30,8	14,6	5,13	272,17
	32	19,3	226	64,7	8,57	46,6	20,7	7,15	373,72
75	8	11,1	12,1	3,52	0,47	0,79	0,63	0,22	17,74
	12	13,1	27,1	8,15	1,04	2,41	1,64	0,63	40,96
	16	14,8	49,5	15,0	1,86	5,50	3,31	1,32	76,49
	20	16,3	80,5	24,3	2,97	10,7	5,84	2,35	126,66
	24	17,5	119	36,1	4,34	18,4	9,31	3,77	190,92
	28	18,7	170	50,8	6,06	29,8	14,0	5,65	276,31
	32	19,7	229	68,2	8,07	45,1	20,0	8,00	378,37
36	20,7	303	89,0	10,5	65,8	27,6	10,9	506,80	

V класс бонитета

5	1	1,51	0,06	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,22
	2	2,20	0,26	0,10	0,14	0,08	0,10	0,18	0,87
	3	2,75	0,64	0,21	0,29	0,18	0,21	0,43	1,95
	4	3,21	1,19	0,36	0,47	0,34	0,36	0,77	3,48
15	2	3,23	0,37	0,13	0,08	0,05	0,07	0,04	0,75
	4	4,58	1,55	0,49	0,26	0,24	0,25	0,17	2,97
	6	5,63	3,60	1,09	0,54	0,61	0,56	0,40	6,80
	8	6,50	6,58	1,91	0,92	1,23	1,02	0,70	12,36
25	10	7,28	10,60	2,98	1,39	2,15	1,65	1,06	19,84
	12	7,98	15,72	4,31	1,96	3,43	2,47	1,49	29,38
	2	3,84	0,46	0,15	0,06	0,04	0,05	0,02	0,79
	4	5,36	1,83	0,58	0,20	0,20	0,20	0,10	3,11
35	6	6,51	4,13	1,28	0,42	0,51	0,46	0,23	7,04
	8	7,47	7,43	2,26	0,72	1,04	0,86	0,42	12,73
	10	8,32	11,8	3,54	1,09	1,84	1,40	0,67	20,35
	12	9,08	17,4	5,13	1,54	2,97	2,10	0,97	30,11
	14	9,77	24,1	7,03	2,08	4,48	2,99	1,32	42,00
	16	10,4	32,2	9,25	2,69	6,43	4,09	1,72	56,38
35	18	11,0	41,9	11,8	3,40	8,92	5,41	2,15	73,58
	4	5,92	2,06	0,64	0,17	0,17	0,18	0,07	3,29
	8	8,15	8,10	2,53	0,61	0,94	0,76	0,32	13,27
	12	9,83	18,6	5,76	1,32	2,69	1,89	0,79	31,05
	16	11,2	31,1	10,4	2,31	5,87	3,69	1,46	57,84
	20	12,4	55,3	16,6	3,61	11,0	6,31	2,34	95,16
35	24	13,5	83,2	24,5	5,23	18,6	9,90	3,40	144,83
	28	14,5	118	34,2	7,20	29,3	14,6	4,63	207,93

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45	4	6,37	2,26	0,70	0,15	0,16	0,16	0,05	3,48
	8	8,67	8,66	2,75	0,54	0,86	0,70	0,28	13,80
	12	10,4	19,6	6,3	1,18	2,50	1,75	0,70	32,03
	16	11,8	35,7	11,4	2,06	5,48	3,42	1,35	59,41
	20	13,1	57,6	18,2	3,23	10,3	5,87	2,23	97,43
	24	14,2	86,0	26,9	4,69	17,5	9,22	3,35	147,66
	28	15,2	121	37,4	6,45	27,5	13,6	4,71	210,66
55	8	9,1	9,16	2,95	0,49	0,81	0,65	0,25	14,31
	12	10,9	20,6	6,75	1,08	2,37	1,64	0,65	33,09
	16	12,3	37,1	12,2	1,89	5,20	3,22	1,30	60,91
	20	13,5	59,0	19,5	2,95	9,74	5,52	2,21	98,92
	24	14,6	87,4	28,8	4,27	16,5	8,66	3,41	149,04
	28	15,7	124	40,4	5,92	26,3	12,9	4,90	214,42
	32	16,6	167	53,9	7,83	39,2	18,2	6,70	292,83
65	8	9,5	9,66	3,13	0,46	0,77	0,62	0,23	14,86
	12	11,2	21,2	7,13	0,99	2,24	1,55	0,63	33,74
	16	12,7	38,2	13,0	1,75	4,96	3,06	1,28	62,25
	20	13,9	60,4	20,7	2,73	9,31	5,25	2,24	100,63
	24	15,0	89,0	30,6	3,96	15,8	8,24	3,52	151,12
	28	16,0	124	42,6	5,45	24,9	12,2	5,16	214,31
	32	17,0	169	57,2	7,26	37,5	17,3	7,19	295,45
75	8	9,8	10,0	3,28	0,43	0,74	0,59	0,22	15,25
	12	11,5	21,8	7,48	0,93	2,14	1,48	0,61	34,44
	16	13,0	39,0	13,6	1,64	4,75	2,92	1,28	63,19
	20	14,3	62,1	21,9	2,57	8,99	5,04	2,28	102,88
	24	15,4	91,0	32,2	3,73	15,3	7,93	3,66	153,82
	28	16,4	127	44,9	5,13	24,1	11,7	5,46	218,29
	32	17,3	169	60,0	6,79	36,0	16,5	7,73	296,02

Осина

IIa класс бонитета

5	1	2,3	0,05	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02	0,15
	2	3,0	0,18	0,05	0,13	0,04	0,09	0,08	0,58
	3	3,5	0,38	0,09	0,29	0,12	0,27	0,19	1,35
	4	3,9	0,65	0,14	0,52	0,28	0,57	0,36	2,52
	5	4,3	0,99	0,20	0,81	0,54	1,02	0,58	4,15
15	2	6,3	0,65	0,23	0,03	0,02	0,03	0,05	1,01
	4	8,2	2,40	0,64	0,15	0,12	0,18	0,22	3,71
	6	9,6	5,42	1,23	0,38	0,41	0,56	0,54	8,54
	8	10,7	9,92	2,06	0,74	1,00	1,24	1,00	15,96
	10	11,7	16,31	3,19	1,27	2,01	2,32	1,61	26,71
	12	12,5	24,56	4,63	2,00	3,57	3,88	2,39	41,01
	14	13,3	35,58	6,53	2,93	5,80	5,98	3,32	60,15
	16	14,0	49,29	8,92	4,10	8,86	8,74	4,43	84,34
25	18	14,7	66,83	11,99	5,54	12,86	12,20	5,71	115,13
	20	15,3	87,62	15,68	7,27	18,02	16,48	7,17	152,24
	6	11,6	7,4	1,6	0,2	0,3	0,4	0,4	10,3
	8	12,9	13,4	2,7	0,5	0,8	0,8	0,8	18,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	10	14,1	22,0	4,1	0,8	1,5	1,5	1,3	31,2
	12	15,1	33,2	6,0	1,3	2,7	2,5	1,9	47,6
	14	16,1	48,4	8,4	1,9	4,4	3,8	2,7	69,5
	16	16,9	66,7	11,4	2,7	6,7	5,6	3,6	96,7
	18	17,7	90,1	15,3	3,7	9,7	7,8	4,6	131,2
	20	18,4	118,1	20,0	4,8	13,7	10,6	5,7	172,9
	22	19,0	150,5	25,6	6,2	18,6	14,0	7,1	222,0
	24	19,6	189,7	32,5	7,8	24,6	17,9	8,5	281,1
	26	20,4	243,2	41,9	9,7	31,7	22,5	10,1	359,1
35	8	13,9	14,4	2,8	0,3	0,6	0,6	0,7	19,4
	12	16,2	34,6	5,9	1,0	2,3	1,9	1,7	47,3
	16	18,1	67,9	11,0	2,0	5,7	4,3	3,1	94,0
	20	19,8	119,4	19,0	3,6	11,6	8,0	5,0	166,6
	24	21,2	192,1	30,6	5,9	20,9	13,6	7,4	270,4
	28	22,5	293,8	47,6	9,0	34,3	21,1	10,3	416,1
	32	23,7	431,7	71,8	13,0	52,7	31,0	13,7	613,9
45	8	14,2	14,2	2,8	0,3	0,6	0,5	0,6	19,0
	12	16,6	33,4	5,6	0,8	2,1	1,6	1,5	44,9
	16	18,6	64,2	10,1	1,6	5,1	3,5	2,8	87,4
	20	20,3	110,1	16,8	2,9	10,4	6,6	4,5	151,4
	24	21,7	173,6	26,5	4,7	18,7	11,1	6,6	241,2
	28	23,1	262,8	40,3	7,2	30,7	17,3	9,2	367,5
	32	24,3	379,3	59,4	10,4	47,2	25,4	12,3	534,0
	36	25,4	530,1	85,3	14,4	69,1	35,6	15,8	750,5
55	12	16,7	31,6	5,3	0,6	1,9	1,3	1,4	42,3
	16	18,6	59,0	9,2	1,3	4,8	3,0	2,5	79,9
	20	20,3	99,0	14,9	2,4	9,7	5,7	4,1	135,8
	24	21,8	154,5	22,9	3,9	17,3	9,6	6,1	214,3
	28	23,2	229,9	34,0	5,9	28,3	14,8	8,4	321,5
	32	24,4	326,7	49,1	8,6	43,6	21,8	11,3	460,9
	36	25,5	450,2	69,1	11,9	63,7	30,5	14,5	639,9
	40	26,6	609,4	96,0	16,0	89,5	41,3	18,2	870,4
	44	27,6	806,0	130,9	21,1	121,8	54,4	22,4	1156,6

*I класс бонитета*

5	1	2,1	0,05	0,02	0,05	0,01	0,02	0,02	0,15
	2	2,8	0,17	0,05	0,14	0,05	0,10	0,08	0,59
	3	3,2	0,34	0,08	0,32	0,14	0,30	0,19	1,38
	4	3,6	0,58	0,13	0,57	0,32	0,62	0,36	2,57
	5	3,9	0,86	0,17	0,90	0,61	1,12	0,58	4,25
15	2	5,8	0,58	0,22	0,04	0,02	0,03	0,05	0,93
	4	7,5	2,12	0,58	0,16	0,13	0,20	0,22	3,41
	6	8,8	4,74	1,12	0,39	0,45	0,59	0,54	7,83
	8	9,9	8,69	1,86	0,76	1,07	1,30	1,00	14,68
	10	10,8	14,07	2,83	1,29	2,14	2,42	1,61	24,37
	12	11,5	20,83	4,03	2,01	3,80	4,05	2,39	37,10
	14	12,3	30,15	5,66	2,93	6,13	6,22	3,32	54,41
	16	12,9	41,03	7,57	4,07	9,36	9,08	4,43	75,55



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	4	9,1	3,0	0,8	0,1	0,1	0,1	0,2	4,3
	6	10,6	6,5	1,5	0,2	0,3	0,4	0,4	9,4
	8	11,9	11,8	2,5	0,5	0,8	0,8	0,8	17,3
	10	13,0	19,2	3,8	0,8	1,6	1,6	1,3	28,3
	12	13,9	28,6	5,4	1,3	2,9	2,6	1,9	42,7
	14	14,8	41,1	7,5	1,9	4,6	4,0	2,7	61,8
	16	15,6	56,6	10,1	2,6	7,1	5,8	3,6	85,8
	18	16,3	75,3	13,3	3,6	10,3	8,1	4,6	115,2
	20	17,0	98,4	17,3	4,7	14,3	11,0	5,7	151,5
	22	17,6	125,2	22,0	6,0	19,5	14,4	7,1	194,1
	24	18,2	157,4	27,8	7,5	25,7	18,5	8,5	245,4
	35	8	12,8	12,9	2,7	0,3	0,7	0,6	0,7
12		15,0	30,7	5,6	0,9	2,4	2,0	1,7	43,3
16		16,7	58,8	10,2	2,0	6,0	4,4	3,1	84,5
20		18,2	100,7	17,0	3,5	12,2	8,3	5,0	146,7
24		19,5	159,4	26,8	5,7	21,9	14,0	7,4	235,2
28		20,7	239,9	40,8	8,5	35,9	21,8	10,3	357,1
32		21,8	346,7	60,0	12,3	55,1	31,9	13,7	519,7
45	8	13,1	13,0	2,7	0,3	0,6	0,5	0,6	17,8
	12	15,3	29,9	5,5	0,8	2,2	1,6	1,5	41,5
	16	17,1	56,4	9,6	1,6	5,5	3,7	2,8	79,5
	20	18,7	95,4	15,7	2,8	11,0	6,9	4,5	136,2
	24	20,0	148,2	24,1	4,5	19,7	11,5	6,6	214,7
	28	21,2	219,1	35,8	6,8	32,2	17,9	9,2	321,0
	32	22,4	314,6	52,0	9,8	49,4	26,2	12,3	464,2
	36	23,4	433,2	73,1	13,5	72,2	36,7	15,8	644,6
55	12	15,4	28,9	5,3	0,6	2,1	1,4	1,4	39,7
	16	17,2	53,2	9,0	1,3	5,1	3,2	2,5	74,3
	20	18,7	87,5	14,3	2,3	10,3	5,9	4,1	124,4
	24	20,1	134,8	21,6	3,7	18,3	9,9	6,1	194,4
	28	21,3	196,4	31,3	5,6	29,8	15,4	8,4	287,0
	32	22,5	277,8	44,5	8,1	45,6	22,5	11,3	409,7
	36	23,5	377,7	61,5	11,1	66,6	31,5	14,5	563,0
	40	24,5	504,5	83,8	14,9	93,4	42,6	18,2	757,4
	44	25,4	658,2	112,2	19,5	127,0	56,0	22,4	995,2

II класс бонитета

5	1	1,9	0,04	0,01	0,06	0,01	0,02	0,02	0,16
	2	2,5	0,14	0,04	0,18	0,06	0,12	0,08	0,61
	3	2,9	0,29	0,07	0,37	0,17	0,33	0,19	1,43
	4	3,3	0,51	0,11	0,63	0,36	0,68	0,36	2,65
	5	3,6	0,77	0,15	0,98	0,68	1,21	0,58	4,38
15	2	5,2	0,50	0,19	0,04	0,02	0,04	0,05	0,84
	4	6,9	1,89	0,53	0,17	0,15	0,21	0,22	3,17
	6	8,0	4,11	1,00	0,41	0,50	0,64	0,54	7,19
	8	9,0	7,43	1,64	0,79	1,18	1,39	1,00	13,42
	10	9,8	11,85	2,46	1,32	2,33	2,57	1,61	22,14
	12	10,5	17,54	3,48	2,04	4,09	4,27	2,39	33,81
	14	11,2	24,98	4,79	2,95	6,58	6,54	3,32	49,18
	16	11,8	33,97	6,38	4,08	9,99	9,51	4,43	68,36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	4	7,4	2,3	0,7	0,1	0,1	0,2	0,2	3,6
	6	8,7	5,0	1,3	0,3	0,4	0,4	0,4	7,9
	8	9,7	8,8	2,1	0,5	1,0	1,0	0,8	14,2
	10	10,6	13,9	3,1	0,9	1,9	1,8	1,3	22,9
	12	11,4	20,5	4,3	1,3	3,4	2,9	1,9	34,4
	14	12,1	28,7	5,8	1,9	5,4	4,5	2,7	48,9
	16	12,7	38,3	7,6	2,6	8,3	6,5	3,6	66,8
	18	13,3	50,2	9,7	3,5	11,9	9,0	4,6	88,9
	20	13,8	63,6	12,1	4,5	16,6	12,2	5,7	114,8
35	4	8,9	3,0	0,9	0,1	0,1	0,1	0,2	4,3
	8	11,6	11,4	2,6	0,4	0,8	0,7	0,7	16,5
	12	13,6	26,5	5,3	0,9	2,6	2,1	1,7	39,1
	16	15,2	50,0	9,3	1,9	6,5	4,7	3,1	75,4
	20	16,6	84,4	15,1	3,4	13,0	8,7	5,0	129,7
	24	17,8	131,6	23,3	5,5	23,2	14,6	7,4	205,6
	28	18,9	194,9	34,6	8,2	37,9	22,6	10,3	308,5
45	8	11,9	11,7	2,7	0,3	0,7	0,6	0,6	16,6
	12	13,9	26,4	5,3	0,8	2,4	1,7	1,5	38,1
	16	15,6	49,2	9,1	1,5	5,9	3,9	2,8	72,3
	20	17,0	81,4	14,4	2,7	11,8	7,2	4,5	122,0
	24	18,2	124,6	21,7	4,3	21,0	12,1	6,6	190,4
	28	19,4	183,5	31,8	6,5	34,1	18,6	9,2	283,7
	32	20,4	257,4	44,9	9,3	52,2	27,2	12,3	403,0
	36	21,3	348,8	61,8	12,7	76,1	38,1	15,8	553,3
	55	8	12,3	12,0	2,8	0,2	0,6	0,5	0,6
12		14,0	25,9	5,2	0,6	2,3	1,5	1,4	36,9
16		15,6	46,9	8,7	1,3	5,5	3,3	2,5	68,3
20		17,0	76,3	13,6	2,2	11,0	6,2	4,1	113,5
24		18,3	116,1	20,1	3,6	19,5	10,4	6,1	175,7
28		19,4	166,9	28,6	5,4	31,7	16,1	8,4	257,1
32		20,4	230,9	39,6	7,7	48,5	23,5	11,3	361,5
36		21,4	312,6	54,0	10,5	70,4	32,8	14,5	494,8
40		22,3	411,9	72,2	14,0	98,6	44,2	18,2	659,1

III класс бонитета

5	1	1,7	0,03	0,01	0,08	0,01	0,03	0,02	0,18
	2	2,3	0,12	0,03	0,21	0,07	0,14	0,08	0,65
	3	2,6	0,25	0,06	0,45	0,21	0,39	0,19	1,55
	4	2,9	0,42	0,09	0,76	0,46	0,80	0,36	2,88
15	2	4,7	0,44	0,17	0,05	0,03	0,04	0,05	0,77
	4	6,1	1,59	0,46	0,19	0,18	0,24	0,22	2,88
	6	7,2	3,51	0,88	0,44	0,56	0,70	0,54	6,63
	8	8,1	6,29	1,42	0,83	1,32	1,50	1,00	12,36
	10	8,8	9,88	2,10	1,38	2,59	2,77	1,61	20,32
	12	9,4	14,38	2,91	2,11	4,53	4,58	2,39	30,91
	14	10,0	20,14	3,94	3,03	7,25	7,01	3,32	44,70
25	4	8,3	2,6	0,8	0,1	0,1	0,1	0,2	3,9
	6	9,7	5,8	1,4	0,2	0,4	0,4	0,4	8,7
	8	10,8	10,3	2,3	0,5	0,9	0,9	0,8	15,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	10	11,8	16,4	3,4	0,8	1,8	1,6	1,3	25,4
	12	12,7	24,5	4,9	1,3	3,1	2,7	1,9	38,4
	14	13,5	34,7	6,7	1,9	5,0	4,2	2,7	55,1
	16	14,2	47,1	8,9	2,6	7,6	6,1	3,6	75,8
	18	14,8	61,7	11,4	3,5	11,0	8,5	4,6	100,7
	20	15,5	80,5	14,8	4,6	15,2	11,4	5,7	132,3
35	4	8,0	2,7	0,9	0,1	0,1	0,1	0,2	4,0
	8	10,4	9,9	2,4	0,4	0,9	0,7	0,7	15,0
	12	12,2	22,6	4,8	1,0	2,9	2,2	1,7	35,2
	16	13,6	41,7	8,3	1,9	7,1	5,0	3,1	67,1
	20	14,8	68,6	13,1	3,4	14,2	9,3	5,0	113,6
	24	15,9	105,4	19,7	5,3	25,1	15,5	7,4	178,4
45	4	8,1	2,8	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	4,2
	8	10,7	10,4	2,6	0,3	0,8	0,6	0,6	15,3
	12	12,5	23,1	5,0	0,8	2,7	1,9	1,5	34,9
	16	14,0	42,2	8,4	1,5	6,4	4,1	2,8	65,5
	20	15,2	68,2	13,0	2,7	12,9	7,7	4,5	108,9
	24	16,3	103,0	19,2	4,2	22,8	12,8	6,6	168,6
	28	17,3	148,0	27,3	6,3	36,9	19,7	9,2	247,4
	32	18,2	204,4	37,7	8,9	56,3	28,7	12,3	348,2
55	8	10,9	10,7	2,7	0,3	0,7	0,5	0,6	15,5
	12	12,5	22,9	5,1	0,6	2,5	1,6	1,4	34,1
	16	14,0	41,0	8,3	1,3	6,1	3,6	2,5	62,8
	20	15,2	65,3	12,6	2,2	12,1	6,7	4,1	103,1
	24	16,4	98,3	18,4	3,5	21,2	11,0	6,1	158,5
	28	17,4	139,5	25,7	5,2	34,3	17,0	8,4	230,1
	32	18,3	190,5	34,9	7,3	52,3	24,7	11,3	321,1
	36	19,1	252,1	46,3	10,0	75,9	34,5	14,5	433,4
	40	20,0	330,9	61,2	13,2	105,6	46,4	18,2	575,5

IV класс бонитета

5	1	1,5	0,02	0,01	0,11	0,02	0,04	0,02	0,23
	2	2,0	0,10	0,02	0,28	0,10	0,18	0,08	0,76
	3	2,3	0,20	0,04	0,57	0,28	0,47	0,19	1,75
15	2	4,1	0,36	0,14	0,06	0,03	0,05	0,05	0,69
	4	5,4	1,34	0,39	0,22	0,21	0,28	0,22	2,66
	6	6,3	2,89	0,73	0,50	0,67	0,79	0,54	6,12
	8	7,0	5,02	1,16	0,92	1,57	1,70	1,00	11,37
	10	7,7	7,95	1,72	1,50	3,00	3,07	1,61	18,84
	12	8,2	11,39	2,34	2,26	5,21	5,06	2,39	28,65
	14	8,7	15,70	3,11	3,21	8,30	7,70	3,32	41,34
25	4	6,5	1,9	0,6	0,1	0,2	0,2	0,2	3,2
	6	7,6	4,2	1,2	0,3	0,5	0,5	0,4	7,1
	8	8,5	7,3	1,8	0,6	1,2	1,1	0,8	12,7
	10	9,3	11,5	2,7	0,9	2,2	2,0	1,3	20,5
	12	9,9	16,5	3,6	1,4	3,9	3,2	1,9	30,5
	14	10,5	22,7	4,8	2,0	6,2	4,9	2,7	43,3
	16	11,1	30,3	6,2	2,7	9,3	7,1	3,6	59,2
	18	11,6	39,1	7,9	3,6	13,4	9,8	4,6	78,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
35	4	7,0	2,3	0,8	0,1	0,1	0,1	0,2	3,6
	8	9,1	8,4	2,2	0,4	1,0	0,8	0,7	13,5
	12	10,6	18,6	4,2	1,0	3,4	2,5	1,7	31,4
	16	11,9	33,9	7,2	2,0	8,0	5,4	3,1	59,6
	20	13,0	55,1	11,1	3,4	15,9	10,0	5,0	100,5
	24	13,9	82,3	16,2	5,3	28,0	16,7	7,4	155,8
	28	14,8	118,3	23,0	7,7	45,1	25,6	10,3	229,9
45	4	6,9	2,4	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	3,7
	8	9,3	8,9	2,4	0,3	0,9	0,7	0,6	13,9
	12	10,9	19,5	4,6	0,8	3,1	2,1	1,5	31,5
	16	12,2	34,9	7,5	1,6	7,4	4,5	2,8	58,7
	20	13,3	55,8	11,5	2,7	14,5	8,3	4,5	97,3
	24	14,3	83,2	16,6	4,2	25,4	13,8	6,6	149,7
	28	15,2	118,0	23,1	6,2	40,8	21,1	9,2	218,4
55	8	9,5	9,3	2,6	0,3	0,9	0,6	0,6	14,2
	12	10,9	19,6	4,8	0,7	3,0	1,8	1,4	31,2
	16	12,2	34,6	7,7	1,3	7,0	4,0	2,5	57,1
	20	13,3	54,7	11,5	2,3	13,7	7,3	4,1	93,5
	24	14,3	80,6	16,3	3,5	23,9	12,0	6,1	142,4
	28	15,2	113,0	22,4	5,1	38,4	18,4	8,4	205,7
	32	16,0	152,5	29,8	7,2	58,1	26,6	11,3	285,4
	36	16,7	199,1	38,8	9,6	84,0	37,1	14,5	383,0

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Предисловие . . . . .	3
1. Объекты и методы исследований . . . . .	8
1.1. Характеристика древостоев пробных площадей . . . . .	—
1.2. К методике оценки фитомассы деревьев и древостоев . . . . .	15
2. Множественный регрессионный анализ как метод исследования биопродуктивности древостоев . . . . .	19
2.1. О становлении метода полифакториального математического описания биопродуктивности . . . . .	—
2.2. О некоторых методах реализации системного подхода в оценке биопродуктивности . . . . .	27
3. Биопродуктивность деревьев и древостоев в статике . . . . .	38
3.1. Оценка надземной фитомассы трехфакторной регрессией по высоте, диаметру кроны и ствола дерева (на примере саксаула) . . . . .	41
3.2. Таблицы для оценки надземной фитомассы при аэрокосмической инвентаризации пустынных лесов (на примере саксаула) . . . . .	45
3.3. Выводы . . . . .	53
4. Биопродуктивность деревьев и древостоев в динамике . . . . .	54
4.1. Многомерная оценка фитомассы дерева . . . . .	—
4.1.1. Использование радиального прироста в многомерной оценке массы кроны деревьев (на примере сосны) . . . . .	56
4.1.2. Изменение соотношений надземной и подземной фитомассы в связи с возрастом и дендрометрическими показателями деревьев (на примере сосны) . . . . .	62
4.2. Биопродуктивность древостоев. Основные закономерности . . . . .	66
4.2.1. Сравнение биопродуктивности древостоев естественного и искусственного происхождения (на примере сосны) . . . . .	—
4.2.2. Принципы составления таблиц биопродуктивности . . . . .	71
4.2.3. Биопродуктивный подход к исследованию оптимальных и предельных ценотических состояний древостоев . . . . .	84
4.3. Выводы . . . . .	98

5. Динамика плотности и содержания абсолютно сухого вещества древесины и коры (на примере сосны, березы и осины) . . . . .	103
5.1. О принципах моделирования динамики физико-технических характеристик фитомассы . . . . .	—
5.2. Форма ствола как фактор, определяющий его средние квалитетрические характеристики по известным локальным . . . . .	107
5.3. Модели и таблицы динамики плотности и содержания абсолютно сухого вещества древесины и коры . . . . .	114
5.4. Квалитетрия ветвей . . . . .	122
5.5. Выводы . . . . .	125
6. Современные аспекты оценки и использования всей фитомассы древостоев . . . . .	127
6.1. Оценка и использование фитомассы древостоев — составная часть проблемы рационального природопользования . . . . .	—
6.2. Непользуемые ресурсы фитомассы древостоев и перспективы их утилизации (на примере Северного Казахстана) . . . . .	131
6.3. Выводы . . . . .	138
Заключение . . . . .	140
Литература . . . . .	145
Приложение . . . . .	165

*Владимир Андреевич Усольцев*

**РОСТ И СТРУКТУРА  
ФИТОМАССЫ  
ДРЕВОСТОЕВ**

Утверждено к печати Институтом леса  
и древесины им. В. Н. Сукачева  
СО АН СССР

Редактор издательства *Т. В. Щербина*  
Художественный редактор *В. В. Седунов*  
Художник *С. М. Кудрявцев*  
Технический редактор *Г. Я. Герасимчук*  
Корректоры *О. М. Казакова, Е. Н. Зимина*

---

ИБ № 34248

Сдано в набор 06.04.87. Подписано в печать 01.02.88. МН-01204. Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага офсетная. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 13,4. Усл. кр.-отт. 13,6. Уч.-изд. л. 14. Тираж 1200 экз. Заказ № 765. Цена 2 р. 80 к.

---

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.  
4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

# Электронный архив

2 р. 80 к.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ