

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА  
имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

*Посвящается памяти научного руководителя,  
Заслуженного лесовода Республики Казахстан  
Макаренко Альберта Александровича*

В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева

## **РОСТ, СТРОЕНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСОВ УРАЛА**

*Монография*

Москва  
Издательство РГАУ-МСХА  
2023

УДК 630\*228 : 630\*263 (470.5)

ББК 43.425 : 43.62

X 62

**Хлюстов В.К., Елекешева М.М.** Рост, строение и продуктивность пойменных лесов Урала: Монография / В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева - М.: Изд. - во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023. - 237 с., библиограф. 255 назв.

В монографии изложены ландшафтно-экологические условия произрастания лесорастительных формаций поймы реки Урал: осокорники, белотопольники, ветловники, дубняки, вязовники с преобладанием пород лесообразователей - тополя черного, тополя белого, ивы белой, дуба черешчатого и вяза гладкого. Описаны новые методы статистического анализа данных для выявления многомерных закономерностей хода роста древостоев по лесотипологическим классам средних высот, динамики распределения числа деревьев, суммы площадей сечения и древесного запаса по толщине деревьев. В отличие от существующей теории хода роста древостоев по классам бонитета сомкнутых (нормальных) древостоев предложены методические решения получения моделей и построения таблиц хода роста для древостоев разной относительной полноты и относительного диаметра древостоев, функционально связанного с густотой. Предложенные многомерные модели хода роста древостоев и фрагменты лесотаксационных таблиц являются основой для построения нормативов с оптимальным режимом пользования древесиной при рубках ухода за лесом.

Книга предназначена для специалистов органов управления лесным хозяйством, лесоустройства, научных и педагогических работников, аспирантов, студентов лесных вузов.

***Рецензенты:***

**Любимов А. В.** - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем, ФГБОУ ВПО «Санкт – Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

**Мариничев Е. Д.** - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесоводства и лесозащиты ФГБОУ ВПО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»

ISBN 978-5-9675-1978-9

© В. К. Хлюстов, М.М. Елекешева, 2023

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К. А. Тимирязева, 2023

## Оглавление

<b>Предисловие .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Состояние проблемы .....</b>	<b>9</b>
1.1. Нормативно-справочные материалы района исследований .....	9
1.2. Учение о типах лесных насаждений по Г.Ф. Морозову .....	11
1.3. Классификация лесорастительных условий в лесоведении .....	14
1.4. Классификация таблиц хода роста древостоев .....	16
1.5. Теоретические положения строения древостоев по толщине деревьев	19
<b>2. Естественно - исторические условия района исследования.....</b>	<b>28</b>
2.1. Природные условия .....	28
2.2. Характеристика пойменных лесов реки Урал.....	35
2.3. Лесорастительные условия .....	40
2.4. Краткая характеристика групп типов леса .....	43
<b>3. Объекты и методика исследования.....</b>	<b>49</b>
3.1. Объекты исследования .....	49
3.2. Методика исследования .....	50
3.2.1. Сбор данных и статистическая оценка достоверности показателей роста древостоев .....	50
3.2.2. Моделирование хода роста элементов дендроценоза по группам типов леса .....	53
3.2.3. Выбор теоретических кривых распределения деревьев по толщине .....	54
3.2.4. Многомерная классификация вариационных рядов .....	60
3.3.5. Моделирование строения древостоев по накопленной частоте середины размаха варьирования толщины деревьев.....	61
3.3. Объём выполненных работ .....	66
<b>4. Многомерные эколого-таксационные закономерности хода роста древостоев .....</b>	<b>67</b>
4.1. Возрастное изменение средней высоты и диаметра древесных пород в группах типов леса .....	67
4.1.1. Лесорастительная формация – Осокорники .....	68
4.1.2. Лесорастительная формация – Белотопольники .....	74
4.1.3. Лесорастительная формация – Ветловники .....	81
4.1.4. Лесорастительная формация – Дубняки.....	87
4.1.5. Лесорастительная формация – Вязовники .....	93
4.2. Породно-лесотипологические модели хода роста по среднестатистической высоте и толщине деревьев.....	99

4.3. Модели предельных значений средней высоты и среднего диаметра древостоев .....	104
4.4. Трёхуровневые модели хода роста по средней высоте и среднему диаметру древостоев .....	109
4.5. Типизация кривых хода роста лесобразующих пород по уровням продуктивности и группам типов леса .....	118
<b>5. Хода роста древостоев по лесотипологическим классам высот.....</b>	<b>125</b>
5.1. Лесотипологическая модель классов средних высот и продуктивности древостоев .....	125
5.2. Относительный диаметр - критерий оценки густоты древостоев.....	131
5.3. Возрастные изменения таксационных показателей древостоев по классам средних высот при разном относительном диаметре .....	134
<b>6. Строение древостоев по толщине деревьев .....</b>	<b>148</b>
6.1. Выбор моделей аппроксимации эмпирических распределений числа деревьев по толщине .....	148
6.2. Взаимосвязь между статистическими параметрами кривых распределения.....	149
6.2.1. Регрессионные модели показателей масштаба рядов распределения.....	150
6.2.2. Регрессионные модели показателей формы рядов распределения.....	152
6.3. Классификация вариационных рядов распределения числа деревьев по толщине .....	159
6.4. Моделирование возрастных изменений строения древостоев по таксационным показателям деревьев.....	178
<b>Основные выводы.....</b>	<b>201</b>
<b>Рекомендации производству .....</b>	<b>203</b>
<b>Заключение .....</b>	<b>204</b>
<b>Библиография .....</b>	<b>205</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>231</b>

## **Предисловие**

Монография посвящена выявлению закономерностей естественного формирования пойменных насаждений Западно-Казахстанской части бассейна реки Урал. До настоящего времени для этих лесов разработаны нормативно-справочные материалы, относящиеся только к стандартным и сортиментным таблицам, чего крайне недостаточно для полной оценки эколого-ресурсного потенциала лесов. Для указанного региона крайне мало нормативно-справочных материалов, характеризующих статичное состояние и динамику древесных ресурсов. Для успешного решения региональных задач ведения лесного хозяйства требуется усовершенствовать действующие лесотаксационные нормативы, дополнить их лесотипологическими моделями и таблицами хода роста смешанных древостоев по составляющим элементам дендроценоза (элементам леса).

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

В соответствии с этим была поставлена цель исследования, заключающаяся в выявлении закономерностей и разработке взаимоувязанного комплекса статистических моделей хода роста, строения и продуктивности древостоев разного породного состава, полноты и густоты по группам типов леса на примере лесорастительных формаций поймы реки Урал.

Для реализации поставленной цели были поставлены задачи и сформулирована программа исследования:

1. Оценить возрастное изменение и статистическую достоверность показателей роста элементов дендроценоза по группам типов леса.

2. Разработать породно-лесотипологические модели хода роста среднестатистических показателей высоты и толщины деревьев.
3. Разработать трёхуровневые породно-лесотипологические модели хода роста по средней высоте и среднему диаметру элементов дендроценоза.
4. Разработать лесотипологические модели классов средних высот ( $H_{30}$ ) и продуктивности древостоев на примере тополя чёрного (*Populus nigra*) осокорников средних уровней центральной поймы.
5. Разработать лесотаксационные таблицы для классификации древостоев по ходу роста по классам средней высоты ( $H_{30}$ ), полноте и относительному диаметру ( $D_{отн}^{30} = \frac{D_{30}}{H_{30}}$ ).
6. Провести многомерную классификацию рядов распределения таксационных показателей деревьев по их толщине.
7. Разработать систему породно-лесотипологических таблиц хода роста, строения и продуктивности древостоев по классам средней высоты ( $H_{30}$ ), полноте и относительному диаметру ( $D_{отн}^{30} = \frac{D_{30}}{H_{30}}$ ).

Объект исследования представлен насаждениями пойменных лесов средней части бассейна реки Урал в границах Западно-Казахстанской области.

Предмет исследования представлен закономерностями хода роста, строения и продуктивности совокупности древостоев в разрезе лесорастительных формаций, групп типов леса, древесных пород, классов средней высоты ( $H_{30}$ ), полноты и относительного диаметра ( $D_{отн}^{30} = \frac{D_{30}}{H_{30}}$ ) древостоев.

Научная новизна работы характеризуется следующим:

1. Впервые для лесорастительных формаций пойменных лесов Урала разработаны породно-лесотипологические модели и лесотаксационные нормативы хода роста, строения и продуктивности древостоев.
2. Впервые на примере лесорастительной формации – Осокорники, групп типов леса и составляющих древесных пород тополь чёрный (*Populus nigra*),

- тополь белый (*Populus alba*), ива белая (*Salix alba*) разработаны трёхуровневые модели хода роста древостоев по средней высоте и диаметру.
3. Впервые на примере тополя чёрного для осокорников средних уровней центральной поймы (Осц) разработаны таблицы хода роста насаждений в разрезе полноты и относительного диаметра ( $D_{\text{отн}}^{30} = \frac{D_{30}}{H_{30}}$ ) древостоев по классам средней высоты ( $H_{30}$ ).
  4. Уточнены региональные особенности строения естественно формирующихся древостоев по толщине деревьев путём многомерной классификации вариационных рядов и моделей классово-ранговых распределений, взаимосвязанных с таблицами хода роста.

Практическая значимость работы заключается во внедрении нормативно-справочных материалов, представляющих систему лесотаксационных таблиц хода роста, строения и продуктивности древостоев по классам средней высоты, разной полноты и относительного диаметра в 30-летних древостоях ( $D_{\text{отн}}^{30} = \frac{D_{30}}{H_{30}}$ ) на примере тополя чёрного в группе типов леса осокорники средних уровней центральной поймы. Разработанные модели составляют аналитическую основу информационно-справочных системы лесотипологических нормативов для таксации пойменных насаждений реки Урал.

Полевой материал для анализа собирался на территории Уральского и Январцевского государственных учреждений по охране лесов и животного мира Республики Казахстан. Обоснованность и достоверность результатов исследований обеспечена использованием большого по объёму экспериментального материала, представленного данными сплошного перечёта деревьев и высот на 150 пробных площадях, а также данными измерительной таксации древостоев на 3310 однородных лесотаксационных выделах. Достоверность результатов исследований доказана методами многомерного статистического анализа с применением соответствующих критериев.

### Проблемная схема исследования

В настоящее время для пойменных лесов Урала Западно-Казахстанской области разработаны сортиментные таблицы по разрядам высот и стандартные таблицы запаса древостоев тополя черного и белого, ивы белой (ветлы) составленные Казахским НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации. Указанных лесотаксационных нормативов недостаточно для успешного решения задач лесопользования и ведения лесного хозяйства региона. В ходе выполнения исследований были разработаны новые лесотаксационные нормативы в виде лесотипологических шкал возрастного изменения средних высот и диаметров, таблиц хода роста разной полноты и густоты, строения древостоев по основным таксационным показателям. Конкретное решение задач исследования показано на примере групп типов леса растительной формации «Осокорники» в нижеприведённой таблице.

#### Состояние нормативно-справочных материалов для таксации пойменных лесов Западно-Казахстанской области

№	Региональные лесотаксационные нормативы		
	требуемые	Разработчик	
1.	Сортиментные таблицы по разрядам высот	КазНИИЛХА, 1987 г.	-
2.	Стандартная таблица суммы площадей сечения и запаса	КазНИИЛХА, 1987 г.	-
3.	Лесотипологические шкалы хода роста древостоев по средней высоте и диаметру	нет	авторская разработка
4.	Лесотипологические шкалы классов средних высот	нет	авторская разработка
5.	Таблицы хода роста сомкнутых древостоев по лесотипологическим классам средних высот	нет	авторская разработка
6.	Таблицы хода роста древостоев разной полноты и густоты по элементам леса	нет	авторская разработка
7.	Таблицы динамики строения древостоев, связанные с таблицами хода роста	нет	авторская разработка
8.	Таблица распределения числа деревьев тополя чёрного по ступеням толщины при известном среднем диаметре древостоев	нет	авторская разработка



# 1. Состояние проблемы

## 1.1. Нормативно-справочные материалы района исследований

Повышение точности и совершенствование методов учета лесосырьевых запасов невозможно без возможности современной цифровой обработки лесотаксационных данных. Большинство существующих общесоюзных (СССР) и республиканских справочно-таксационных материалов не отвечают этому требованию.

Для территории Казахстана был составлен лесотаксационный справочник Казахским научно-исследовательским институтом лесного хозяйства и агролесомелиорации (КазНИИЛХА), совместно с лесохозяйственным факультетом Казахского государственного сельскохозяйственного института и Казахским лесоустроительным предприятием. Этот справочник был рассмотрен и одобрен 1985 году Ученым Советом КазНИИЛХА (протокол № 5 от 26.09.85), в 1986 году Координационным Советом по созданию единой для страны (СССР) таксационной нормативной базы при Всесоюзном научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) (протокол № 5 от 02.04.86), рекомендован к утверждению и внедрению Министерством лесного хозяйства Казахской ССР (протокол от 9 октября 1985 г.). Приказом Гослесхоза СССР от 29.09.86 № 191 нормативы, включенные в справочник, были утверждены как официальные нормативно-справочные материалы, применение которых обязательно на территории Казахской ССР (Макаренко, 1987).

Справочник состоит из двух частей. В первой части приведены нормативы по таксации деревьев и древостоев, по проведению лесоинвентаризационных работ, а также математические модели сортиментных и товарных таблиц, во второй – сортиментные и товарные таблицы. Приведены таксационные таблицы, без которых невозможно проведение инвентаризационных работ в лесу.

Для пойменных насаждений Урала были разработаны только сортиментные, стандартные и товарные таблицы, фрагменты которых представлены ниже.

Таблица 1.1. Суммы площадей сечений и запасы древостоев тополя и ветлы при полноте 1,0

Средняя высота, м	Площадь сечений, м <sup>2</sup>	Запас м <sup>3</sup>
Тополь, ветла		
2	6,5	15
3	11,7	25
...		

Класс товарности древостоев определяется через выход деловой древесины от корневого запаса (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Выход деловой древесины от корневого запаса в зависимости от доли деловых стволов

Процент деловых стволов	Выход деловой, %		Процент деловых стволов	Выход деловой, %	
	тополь	ветла		тополь	ветла
5	7	5	50	42	39
10	12	9	55	47	44
15	16	12	60	52	49
20	19	15	65	57	54
25	23	18	70	61	59
30	26	21	75	65	63
35	29	26	80	70	68
40	33	29	85	74	72
45	37	34	90	76	74
			95	78	76

В тополёвниках и ветловниках между процентами выхода деловой древесины и долей деловых стволов от их общего числа существует высокая корреляционная связь. Например, выявлено, что ошибка в определении процента выхода деловой древесины для тополёвников составляет  $\pm 1,2\%$ , при

среднеквадратическом отклонении  $\pm 5,5$  %; для ветловников ошибка  $\pm 3,2$  %, при среднеквадратическом отклонении  $\pm 9,6$  %. Таким образом, точность определения процента выхода деловой древесины по доле деловых стволов для 10 выделов составляет  $\pm 3$ %, для 20 выделов  $\pm 1,5$  % (Основные положения..., 1992).

Разработанные нормативы отображает лишь общую картину состояния деревьев и насаждений в пойме реки Урал. Следует отметить, что в разных лесорастительных условиях рост и продуктивность древостоев лесообразующих пород существенно отличается от нормативных показателей из других регионов. При этом для пойменных лесов Урала лесотаксационных справочных материалов недостаточно. Выполненная работа посвящена решению этих проблем.

## **1.2. Учение о типах лесных насаждений по Г.Ф. Морозову**

С давних времен в народе утвердились названия лесных участков, по которым было легко понять в каких условиях произрастают насаждения. Например, дубравами называли дубовые насаждения, произрастающие на богатых почвах, борами – сосновые насаждения на хорошо дренированных песчаных, супесчаных и легко-суглинистых почвах, раменами – еловые насаждения на дренированных суглинках и др. (Лесная энциклопедия. М., Советская энциклопедия. Т.1. 1985, 1986).

Однако, предложение более полной идентификации и унификации тех или иных участков по условиям местопроизрастания впервые было сделано Г.Ф. Морозовым (1914). Им было предложено понятие о «типах насаждений» (тождественное, более позднее название – «типы леса»). Это понятие он объяснил как единство леса и его среды, прежде всего почвогрунтов, по принципу «каков грунт земли, таков и лес».

При этом, большое значение им придавалось возобновительной способности основной лесообразующей породы – «главному лесоводственному рычагу», который якобы поддерживает вопрос правильной классификации насаждений (Морозов, 1914). В более поздних работах, по мнению В.Н Сукачева,

Г.Ф. Морозов уже не акцентирует столь пристальное внимание на возобновлении главной породы (Сукачев, 1934). По-видимому, это связано с неизбежной сменой древесных пород в процессе естественных сукцессий.

Основное внимание Г.Ф. Морозов (1914) уделял влиянию рельефа на условия мест произрастания насаждений, считая, что высота над уровнем моря, крутизна склонов и форма поверхностей влияют на атмосферу, геологические процессы, мощность отложений, перераспределяют энергию солнца и света, осадки, испарение, силу ветра, снеготаяние, сток, дренаж, делювиальные и эрозионные процессы, опреснение, засоление, заболачивание.

По Г.Ф. Морозову – тип насаждения, это не только древесное сообщество растений, но и их природное территориальное единство, объединяющее насаждение с условиями мест произрастания. Пестрота регионального разнообразия лесов определяется пятью факторами-лесообразователями, а именно: атмосферой с её климатическим режимом, рельефом с почвами и горными породами, древесными породами с их экологическими свойствами, человеком и животным миром с последствиями их жизнедеятельности. При этом, он считал, что лесообразователи неравнозначны по «силе» при формировании леса. Условия местопроизрастания формируются при взаимодействии климата, рельефа и почвенно-геологических условий, а леса, и любые другие растительные сообщества, являются производными от них. Иными словами, он полагал, что тот или иной участок леса функционально зависит от физических условий мест их произрастания. Поэтому, им обоснованно было выделено два рода лесных участков: по условиям местопроизрастания – «тип насаждения» и состоянию насаждений – «таксационный выдел», отражённый в планах лесонасаждений при лесоустройстве. Первый имеет наибольшее значение, так как определяет главную породу при назначении лесохозяйственных мероприятий и проектировании лесных культур.

Он предостерегал от классификации леса по растениям-доминантам, указывая на то, что живой напочвенный покров, как и древостой динамичны – они меняются под влиянием пожаров, рубок, пастьбы, потрав, повреждений насекомых, фитоболезней, возрастных изменений, разреживания полога по

разным причинам и т.д. Он полагал, что необходимо анализировать одновременно насаждение, его местоположение в рельефе, геологическое строение и литологический состав горных пород и отложений, которые в пределах лесорастительных зон определяют условия местопроизрастания. При этом, считая, что типы насаждений формируются в пределах однородных типов рельефа. В свою очередь, типы насаждений являются структурными элементами лесорастительных областей и районов. И, наконец, последние слагают лесорастительные зоны. Г.Ф. Морозов указывает, что ландшафтные единицы различных рангов формируются под влиянием одних и тех же лесообразователей. Это не единицы произвольного районирования, а исторически сложившиеся, объективно существующие природные территориальные комплексы (Морозов 1904, 1914, 1920).

Особо стоит отметить, что Г.Ф. Морозов большое внимание уделял влиянию человека на состояние лесных угодий, оказываемое, например, рубками, пастьбой домашних животных, осушительными работами и другими хозяйственными мероприятиями. В этой связи, он критически рассматривал те инструкции по устройству лесов, в которых лесные насаждения объединяли по составу или господству древесных пород, по возрастным категориям и другим лесоводственным признакам. Он считал, что такие признаки изменчивы и непостоянны, и легко трансформируются под воздействием человека. Поэтому основной лесоводственной единицей при классификации лесов следует считать – «типы насаждений» (Морозов, 1914; Корчагин, 1967).

Необходимо указать, что его учение о типах лесонасаждений явилось основой дальнейшего развития типологических школ на постсоветском пространстве. В том числе, для украинской (Алексеев, 1925, 1928; Погребняк, 1955; Бельгард, 1971; Мигунова, 2007, 2011, 2012, 2013, 2014), и российской (Сукачев, 1945, 1972; Рысин, 1982; Дылис, 1978; Мелехов, 1976; Побединский, 1973, 1976).

### 1.3. Классификация лесорастительных условий в лесоведении

Типологическая классификация лесов по условиям местопроизрастания имеет длительную историю и распадается на два направления. По одному из них, лесные угодья характеризуют по типу лесорастительных условий, по другому – по типу леса.

*Тип лесорастительных условий* – основная классификационная единица в лесной типологии, применительно к землям, которые как покрыты лесом, так и непокрыты, но предназначены для лесоразведения. Участки объединяются по однородному режиму увлажнения и минеральному питанию. При этом учитывается, что разные сочетания увлажненности, плодородия и механического состава почвы и других абиотических факторов среды на разных участках могут давать одинаковый лесорастительный эффект, выражаемый потенциальной продуктивностью насаждений.

Впервые типологическую классификацию по типам лесорастительных условий для России разработал А.А. Крюденер (1916), который на одной из осей ординатной сетки обозначил по нарастанию условия увлажнения почвогрунтов (15 групп), на другой – богатство пищи (7 групп). Места пересечения сетки были обозначены в соответствии с увлажненностью и плодородием почвогрунтов, например, сухие боры, свежие субори, влажные рамени др. (Крюденер, 1916).

В дальнейшем, украинские лесоводы Е.В. Алексеев и П.С. Погребняк (1955) руководствуясь тем же принципом использования двухмерной координатной сетки предложили, так называемую, эдафическую сетку, в которой по вертикальной оси откладывается влажность (гигротопы), по горизонтальной – условия минерального питания (трофотопы). Сетка состоит из шести типов увлажнения почв (0-5), и четырех типов богатства почв (А-Д), которые формируют типы местообитаний, например, А<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> и др., которые характеризуются качественно по индикаторным растениям (так называемая фитоиндикация). Например, ксерофильные малоплодородные условия характеризуют такими индикаторными растениями как песчаный ковыль и

бессмертник, а ультра-гигрофильные – болотным папоротником и калужницей. Отметим, что в дальнейшем предполагалось дополнить ось почвенного плодородия двумя полосами: для пойменных лесов и лесов на солонцах. В настоящее время классификация лесов по типам лесорастительных условий успешно развивается и дополняется на Украине (Бельгард, 1971; Мигунова, 2007, 2011, 2012, 2013, 2014). Понятию «тип лесорастительных условий» отдается предпочтение при характеристике земель безлесных участков, которые были сильно изменены человеком.

По другому типологическому направлению, лесные угодья классифицируют по *типам леса*. Впервые данное предложение внес Г.Ф. Морозов для характеристики совокупности лесных участков, требующих одних и тех же лесоводственных мероприятий (см. выше).

В дальнейшем, данное направление развивалось В.Н. Сукачевым, по которому *тип леса* – это участки леса (отдельные биогеоценозы), однородные по составу древесных пород, ярусам растительности и фауне, микробному населению, климатическим, почвенным и гидрологическим условиям, взаимоотношениям между растениями и средой, внутри- и межбиогеоценотическому обмену веществом и энергией восстановительным процессам и направлению смен в них (Сукачев 1945, 1972). Именно его биогеоценотическая классификация оказалась наиболее жизнеспособной и была принята в лесоустройстве, лесоведении и лесоводстве.

Согласно учению, тип леса определяется по координатной сетке, где на оси ординат в одну сторону учитывается убывание, а в другую – увеличение влажности почвы, а на оси абсцисс – ухудшение или улучшение солевого режима почв (минеральной составляющей почв). Центр соединения начала координат линий (рядов) соответствует оптимальным условиям местопроизрастания.

Тип леса выделяется по лесообразующей породе, общности других ярусов растительности и условий среды. Разнообразие лесов сводится к группам типов леса. Например, в группе сосняков-зеленомошников идентифицируются сосняки-брусничники, сосняки-кисличники, сосняки-черничники и т. д. Такая

однородность позволяет использовать одинаковые лесохозяйственные мероприятия. Кроме этого, В. Н. Сукачев разделил типы лесов на коренные и производные.

Необходимо отметить, что эта классификационная схема разработана на основе исследований, проведенных в северных и таежных лесах (здесь она и получила широкое распространение при описании лесов в процессе лесоустройства). Для более засушливых природных зон данная классификация требует усовершенствования.

Все разработанные классификационные модели по *типам лесорастительных условий* и *типам лесов* имеют стремление к приведению всего многообразия лесов разных природных зон в единую систему, с одновременным учетом региональных особенностей функционирования лесных экосистем. По существу, классификация лесов основывается на ограниченных земных экологических ресурсах: тепла, влаги и пищи. При этом, климатическая сетка строится в координатах нарастания количества тепла и атмосферных осадков, которые определяют увлажнение надземной среды, а эдафическая – в координатах увеличения запасов пищи и доступной влаги в почвогрунтах (Мигунова, 2007, 2012, 2013; Остапенко, 1978; Павлов, 1965, 1974; Побединский, 1976; Колесников, 1973; Мелехов, 1976). Применение лесотипологических шкал позволяет наиболее кратко и объемно представить лесорастительные условия мест произрастания тех или иных древостоев, что облегчает принятие решений по их хозяйственному использованию.

#### **1.4. Классификация таблиц хода роста древостоев**

В проектировании лесохозяйственных мероприятий, практике лесоинвентаризационных работ широко применяются нормативно-справочные материалы в виде моделей и таблиц хода роста и динамики продуктивности. Таблицы хода роста (ниже ТХР) являются основной частью управления промежуточным и главным использованием лесом.



Методические подходы разработки ТХР постоянно совершенствовались, появилось их большое разнообразие, отдельно составленных для нормальных, модальных, оптимальных, разнугустотных, смешанных, разновозрастных и других древостоев. Все они составлены на основании разных классификаций и получены разными методами. В основном совершенствовались технические приемы и средства обработки исходных данных, при неизменности базовых методологий познания хода роста совокупности древостоев и возрастной динамики конкретных древостоев.

В целом, они представляют собой эмпирические обобщения закономерностей роста с использованием приемов феноменологического моделирования по первичным данным, которые были получены на временных пробных площадях. В приемах применялся регрессионный анализ (Козловский, 1967, 1977, 1996). А.В. Тюрин и В.В. Загреев в своих работах показали методические решения оценки географических обобщений закономерностей роста. Суть подхода всё же они не изменили (Тюрин, 1913; Загреев, 1978).

В лесном деле широко применяются ТХР для *нормальных* и *модальных* насаждений. По ТХР *нормальных* насаждений характеризуются «совершенные» древостои, которые можно считать «образцом» в системах лесоустroительного проектирования и рационального лесопользования. По ТХР *модальных* насаждений дается усредненная характеристика существующих древостоев. Суть этих ТХР в том, что они характеризуют динамику совокупности реальных древостоев (Лакида, 2000; Семечкин и др., 2005; Тюрин, 1931; Швиденко и др., 2008).

Под термином *нормальные* или *полные* древостои по А.В. Тюрину понимаются сомкнутые чистые одновозрастные насаждения. Он в своих работах продемонстрировал закономерности роста сосновых насаждений на обширном географическом пространстве Европы (1913, 1931). Ход роста этих древостоев отражает идеальное развитие конкретной породы, которое может служить лишь неким ориентиром в их развитии в зависимости от географических и природно-климатических условий мест произрастания. По всей видимости всеобщие ТХР

дают только усреднённые значения таксационных показателей древостоев, поэтому при лесоустройстве лучше использовать региональные ТХР.

Н.П. Анучин в 1957 году оформил методическую идею построения ТХР *модальных* древостоев. Он предложил моделировать рост и производительность древостоев с использованием материалов таблиц классов возраста и данных таксационных описаний. По такому принципу и были составлены ТХР *модальных* насаждений, которые стали основой практического лесоустройства.

В 1980-1990-е годы действовали региональные лесотаксационные справочники для большей части территории бывшего СССР. В эти годы координационный совет по лесотаксационным нормативам возглавлял В.В. Загреев. В справочники включались все существующие ТХР. Для некоторых районов справочники не были составлены.

При этом было понимание необходимости усовершенствования существующих ТХР, для обеспечения надежными прогнозными нормативами долгосрочной аренды лесов, составления таблиц с отражением меняющихся условий мест их произрастания, упорядочения существующих таблиц, соблюдения строгости в классификационных построениях, создании таблиц с содержанием данных по общей продуктивности, объединения нескольких таблиц для одного и того же района (Загреев и др., 1992).

В последние годы в научных кругах устойчиво сформировалось убеждение в том, что путь разработки новых лесотаксационных нормативов по классам бонитета древостоев является тупиковым (Демаков, 2000, Хлюстов и др., 2012; 2002; Хлюстов, 2015а, 2015б; Хлюстов и др. 2016), поскольку не отражает закономерностей роста реальных насаждений и не дает лесоведам программу действий по управлению ими.

В своем классическом варианте таблицы хода роста древостоев представляют соотношение между возрастом и соответствующим ему значением таксационных показателей. Для систематизации всего многообразия кривых хода роста древостоев в середине XX века было предложено упорядочить возрастные изменения таксационных показателей, назвав их типовыми линиями роста.

Первая попытка по созданию унифицированных шкал хода роста была предпринята Б.Б. Зейде (1968, 1978). Анализируя множество естественных рядов роста, им предложены типовые шкалы хода роста древостоев, в которых таксационные показатели выражались в долях от значения таксационных показателей в 50-летнем возрасте. В дальнейшем работа по типизации хода роста была продолжена В.В. Загреевым (1976, 1978; Загреев и др. 1992) и его последователями, которые получили индексные ряды возрастных изменений основных таксационных показателей древостоев основных лесообразующих пород.

Главным недостатком этих типовых кривых хода роста древостоев является их условность, так как они были получены по данным таблиц хода роста, построенным на бонитетной основе, и не были увязаны с лесной типологией. Устранить указанные недостатки можно лишь путем построения типовых рядов на основе моделирования кривых хода роста таксационных показателей древостоев с учетом экологических условий их произрастания (Разин, 1977, 2009, 2010; Рогозин, 2012; Хлюстов и др., 2015а, 2015б, 2016).

### **1.5. Теоретические положения строения древостоев по толщине деревьев**

Оценка качественного состояния лесов базируется на знании закономерностей роста и строения древостоев, которые определяют динамику их продуктивности. Под закономерностями строения древостоев понимается распределение числа деревьев, суммы площадей сечения, запаса, категорий крупности, дровяной древесины, фракционного состава фитомассы в размахе варьирования размера деревьев и, прежде всего, по толщине.

Изучение динамики формирования структуры этих показателей в древостоях разной начальной густоты по типам лесорастительных условий имеет исключительно важное значение для выбора наиболее продуктивных, с лучшими товарными характеристиками древостоев. А это в свою очередь позволяет скорректировать и оптимизировать режим промежуточного и главного

пользования лесом, построить модели прогнозирования производительности лесов. Наряду с этим знание закономерностей динамики строения древостоев является теоретической основой разработки методов таксации и учёта лесного и лесосечного фонда, формирования товарно-денежного потенциала лесов.

Существующие методы строения древостоев подробно изложены в работе А.А. Макаренко (1982), который выделил три направления исследований.

Развитие первого направления нашло отражение в работах W. Weise (1880), K. Wimmenauer (1892), Von Guttenberg A. (1915) и E. Gehrhardt (1909), предусматривающих аппроксимацию рядов распределения числа деревьев по их размерам (прежде всего, толщине) с нахождением места среднего дерева в насаждении и анализ редуционных чисел, т.е. отношений размеров стволов деревьев, занимающих определённое место в древостое, к среднему диаметру ряда распределения. Дальнейшую модификацию направление получило в трудах А.В. Тюрина (1923а, 1923б, 1931), который выразил величину ступеней таксационного признака в долях среднего значения. Десятые доли полученных ступеней им названы естественными ступенями толщины. Метод естественных ступеней широко использовался в лесотаксационных исследованиях.

Второе направление обосновано в 1903 г. A. Schiffel (1903). Он использовал метод индексов при построении редуционных чисел. Этот подход при изучении строения древостоев широко применялся до недавнего времени. На его основе Н.В. Третьяков (1927, 2005) сформулировал так называемый *закон единства строения насаждений*, по которому положением деревьев в древостое (их рангам) определяется вся внутренняя структура древостоя и свойства составляющих его деревьев. В обобщённом виде закономерности строения освещены Н.П. Анучиным (1971) и сформулированы следующим образом: в спелых, естественно-сформировавшихся нормальных насаждениях, состоящих из одного элемента леса, распределение деревьев по ступеням толщины характеризуется симметричной одновершинной кривой, близкой к кривой нормального распределения. Среднее по толщине дерево древостоя занимает строго

определенное место. Число деревьев тоньше среднего диаметра составляет 58% от общего их числа, а толще – 42%.

В молодняках или насаждениях, пройденных рубками ухода по низовому методу, вершина кривой смещается вправо, в сторону толстых ступеней, а в древостое, пройденном выборочными рубками, проявляется левосторонняя асимметрия. Если средний диаметр древостоя  $D_{cp}$  принять за 1,0, то редуцированное число  $Rd$  самых тонких деревьев равно половине среднего диаметра  $0,5 D_{cp}$  (по другим данным,  $0,4 D_{cp}$ ), а самых толстых –  $1,7 D_{cp}$  (в молодняках  $2...2,5 D_{cp}$ ), т.е. самое толстое дерево в древостое примерно в 4 раза толще самого тонкого. Таким образом, все число стволов, по данным А.В. Тюрина, укладывается в рамки 13 естественных ступеней толщины (1923<sup>a</sup>, 1923<sup>b</sup>).

Анализ многочисленных данных по изучению строения древостоев показал, что метод естественных ступеней не является наилучшим при исследовании рядов распределения, так как к ним нельзя применять критерий «Хи-квадрат» Пирсона.

По рекомендации А.А. Макаренко, следует использовать метод исследования с постоянным числом классов, равным 10. Такое число отвечает требованиям математической статистики, обеспечивает нахождение достоверных параметров или статистик рядов распределения при минимально возможном числе наблюдений (Макаренко, 1982).

К третьему направлению исследований относятся параметрические методы распределения, которые представлены четырёх параметрическими кривыми Шарлье (тип А) и более совершенными типами распределения Пирсона с параметрами: средней арифметической ( $X_{cp}$ ), стандартного отклонения ( $\sigma$ ), асимметрией ( $A_s$ ), эксцессом (Е).

Следует отметить то, что большинство исследований по строению древостоев было посвящено сглаживанию эмпирических распределений теоретическими кривыми. В лесотаксационных исследованиях как в России, так и за рубежом широко используются модели распределения плотности вероятности представленные в программной среде Excel, такие как лог-нормальное распределение (Mattaji, 2000; Герасимов, Хлюстов, 2001; Sheikholeslami, 2011),

распределение Вейбулла (Ганина, 1984; Bailey, 1973; Schreuder, 1974; Swank, 1974; Свалов, 1974, 1982; Неповинных, 2009; Ајауи, 2013; и др.),  $\beta$ -распределение (Толкач, 1997; Герасимов, Хлюстов, 2001; Гахрамани, 2006 и др.),  $\gamma$ -распределение (Nelson, 1964; Герасимов, Хлюстов, 2001; Charlier, 1914 и др.), SB распределение Джонсона (Кноеbel, 1986; Герасимов и др., 2001 и др.), также самостоятельно разработанные программы аппроксимации эмпирических распределений кривыми Грамм-Шарлье (тип А) (Черных, 2002; Касацкий, 2005; Хлюстов, 2010; Gram, 1883), Пирсона (Макаренко, 1978), классово-ранговой регрессией Хлюстова (2010 стр. 94) и другие.

Теоретические модели указанных распределений используются в основном в научных работах для сглаживания эмпирических частот. Ограниченность такого использования не решает задачи возрастных изменений в строении древостоев, которые должны быть увязаны с таблицами хода роста и возрастной динамикой древостоев с разной начальной густотой.

Эти методы изучения строения древостоев базируются на выявлении взаимосвязей статистик рядов распределения с таксационными показателями насаждений. При этом весь процесс исследования следует разделить на три этапа. На первом этапе осуществляется:

- представление эмпирических частот распределения деревьев по ступеням толщины;
- расчёт статистических показателей рядов распределения: среднего арифметического диаметра ( $D$ ), среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ); показателей асимметрии ( $A_c$ ) и эксцесса ( $E$ ); ошибок репрезентативности статистических показателей ( $\pm m_D, \pm m_\sigma, \pm m_{A_c}, \pm m_E$ );
- расчёт теоретических (выравненных) частот по различным типам кривых с выявлением кривой, наиболее точно описывающей эмпирический ряд.

На втором этапе осуществляется выравнивание статистических показателей рядов распределения от возраста и других таксационных показателей древостоев.

Так, В.В. Кузьмичёв (1977) при изучении строения древостоев использовал уравнения регрессии вида:

$$D = e^{3,88} A^{0,35} N^{-0,36}; R^2 = 0,962$$

$$\sigma = 2,78 A^{0,42} N^{-0,12}; R^2 = 0,515$$

$$As = 1,869 D^{0,69} \sigma^{0,25} H^{0,52}; R^2 = 0,334$$

$$E = 1,363 A c^2 - 0,19 A c - 0,517; R^2 = 0,601$$

где:

$A$  – возраст, лет;

$N$  – густота, шт./га;

$H$  – средняя высота, м;

$R^2$  – коэффициент детерминации (Андреев, 2010).

А.А. Макаренко, совершенствуя методы прогнозирования продуктивности древостоев, рекомендует при расчёте численных коэффициентов регрессий статистик рядов распределения использовать функционалы вида:

$$D = f(D_{\text{СКВ}}, \sigma); \sigma = f(A, N, H_{40}, \Pi, D_{\text{СКВ}});$$

$$Ac = f(A, D_{\text{СКВ}}, H_{40}, \Pi, N); E = f(Ac),$$

где:  $D_{\text{СКВ}}$  – среднеквадратический диаметр, см;  $\Pi$  – полнота древостоя, ед.;  $H_{40}$  – средняя высота древостоя в 40 лет (Макаренко, 1974, 1980, 1987а, 1987, 1996а, 1996).

Например, зависимость статистик рядов распределений в пихтовых древостоях от таксационных показателей выражается следующими уравнениями (Черных, 2002):

Минимальный и максимальный диаметр (см) рядов распределения

$$d_{\min} = 0,251 + 0,0046 D^2,$$

$$(R = 0,710, S_{\text{ост}}^2 = 9,1);$$

$$d_{\max} = 5,060 + 1,563 D,$$

$$(R = 0,915, S_{\text{ост}}^2 = 27,1);$$

где:  $D$  – средний диаметр древостоя, см.

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = 0,1352d_{max} - 0,2521d_{min} - 0,3163D,$$

$$(R = 0,934; S_{ост}^2 = 0,65);$$

Асимметрия

$$A = 0,1442d_{min} + 0,0564d_{max} - 0,1483d^{1,076} + 0,1849\sigma,$$

$$(R = 0,735; S_{ост}^2 = 0,09);$$

Эксцесс

$$E = 0,1468d_{max} - 0,1533d_{min} - 0,40007d^{0,9096} - 0,1053\sigma,$$

$$(R = 0,710; S_{ост}^2 = 0,28).$$

На третьем этапе осуществляется расчёт теоретических частот распределения по данным статистик, определённых по регрессиям, полученным на втором этапе методики. Примером реализации третьего этапа может служить публикация А.А. Макаренко, А.И. Колтунова, Е.А. Рапп, в которой описана возможность построения теоретических кривых на основе семейства кривых Пирсона (1978). Однако следует отметить, что моделируемые статистические показатели, рассчитанные с ошибками ( $\pm mD$ ,  $\pm m\sigma$ ,  $\pm mAc$ ,  $\pm mE$ ), на втором этапе выравниваются уравнениями множественной регрессии с невысокой теснотой связи ( $R^2 = 0,334-0,601$ ), что, соответственно, указывает на существенные отклонения теоретически полученных значений от фактических. Это несоответствие, в конечном счёте, сказывается на результатах расчёта теоретических рядов распределения как по форме, так и по масштабу распределений.

Однако сложная математическая интерпретация ранее предложенных параметрических моделей динамики строения древостоев хотя и демонстрируют положительные результаты аппроксимации эмпирических распределений, всё же не имеет статистически надёжного обоснования и физического смысла. В основном, существующие нормативы распределения частот оторваны от возрастной динамики древостоя, а, следовательно, не позволяют решать задачи,



связанные с возрастной динамикой структуры товарной продуктивности насаждений.

Использование непараметрического метода представления кривых распределения частот основано на квантилях вариационного ряда. Методика аппроксимации эмпирических частот теоретическими распределениями Джонсона и В.К. Хлюстова изложена в учебном пособии (Хлюстов, 2010).

Управление древесными ресурсами должно осуществляться на основе лесотаксационных нормативов, сочетающих ход роста и строение древостоев.

Примером сочетания нормативов могут служить таблицы (8.1 и 8.2), разработанные А.А. Макаренко по классам бонитета для сосняков Кустанайской области и Казахского мелкосопочника (1987). Однако в этих таблицах имеется некоторая неточность, вызванная несоответствием значений высот и диаметров деревьев (по графикам высот) средней высоте и среднему диаметру сомкнутых древостоев по десятилетиям. Указанные таблицы предназначены для описания возрастной динамики товарной продуктивности совокупности сомкнутых насаждений. В отличие от них, при прогнозировании роста и строения конкретных древостоев в моделях следует учитывать не только таксационные показатели древостоев в начальном возрасте, но и изменение толщины деревьев по рангам накопленного вариационного ряда в начальном возрасте, что было показано на материалах постоянных пробных площадей в монографии В.К. Хлюстова (1992). Аналогичное решение показано в работе Претцша и др. (2008).

Разработка новых прогностических моделей динамики роста по средним морфометрическим показателям, сочетающихся с моделями распределения таксационных показателей по классам диаметров (ступеням толщины), необходима прежде всего при решении задач, связанных с оценкой товарно-денежного и биоэнергетического потенциала насаждений (Ипатов, 1974; Мошкалёв, 1984; Стяжкин, 2005; Хлюстов и др., 2017; Ярославцев, 1992; Eslami, 2011).

Новое научно-методическое решение задачи динамики строения древостоев было найдено и предложено лесной отрасли более 10 лет тому назад.

Исследования выполнены под руководством В.К. Хлюстова в рамках исполнения Государственного контракта с Федеральным агентством лесного хозяйства № МГ-06-06/63к от 3 июля 2007 г. по теме «Разработка методических рекомендаций и нормативов актуализации таксационных показателей древостоев для основных лесообразующих пород по лесным районам» (Хлюстов, 2007).

Материалом для разработки новых методических положений и теоретических моделей служили перечёты на 240 постоянных и временных пробных площадях, заложенных в сосновых, еловых, лиственничных, дубовых, берёзовых и осиновых древостоях разных лесорастительных условий Евразии, а также теоретические ряды распределения из лесотаксационных справочников. Задача моделирования формы рядов распределения была решена методом «классово - ранговой регрессии», заключающимся в следующем. В качестве масштабной составляющей используется среднеквадратический ( $D_{\text{СКВ}}$ ), максимальный ( $d_{\text{max}}$ ) и минимальный ( $d_{\text{min}}$ ) диаметры деревьев в древостоях в ряду с десятью классовыми промежутками.

В качестве показателя формы использованы не асимметрия ( $A_s$  или  $r_3$ ) и эксцесс ( $E$  или  $r_4$ ), а процент накопленной частоты в 5-м классе вариационного ряда ( $R_v$ ). Для отображения формы ряда распределения В.К. Хлюстовым предложено использовать регрессионную модель изменения ранга деревьев в середине вариационного ряда от показателей масштаба ряда по функционалу

$$R_v = f(D_{\text{cp}}, d_{\text{min}}, d_{\text{max}})$$

Для расчёта значений накопленной частоты по каждому из 10 классовых промежутков ряда распределения использованы регрессии ранга деревьев в каждом классовом промежутке ( $R_{I-X}$ ) от ранга в пятом классе.

Именно этот методический прием позволяет состыковать модель возрастной динамики среднего диаметра и числа стволов с распределением деревьев по толщине во всем диапазоне продуктивности и полноты древостоев. По В.К. Хлюстову (2015а) «Любой размах варьирования ряда распределения делится на две равные части. Так, при 10 классовых промежутках середина ряда соответствует пятому классу, при 12 - шестому, при 14 – седьмому и т. д. Затем

накопленная частота распределения, названная в теории таксации рангом деревьев, выражается в долях частоты, соответствующей середине ряда».

Основные элементы нового метода моделирования возрастного распределения частот вариационного ряда подробно изложены в работах В.К. Хлюстова (1993, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015а, 2015б, 2017).

В работах автора отмечалось и то, что многообразие формы и масштаба вариационных рядов распределения деревьев по толщине следует систематизировать современными методами многомерной классификации рядов, с учетом того, что в процессе роста древостоев происходит дифференциация деревьев по всем морфометрическим показателям: толщине, высоте, параметрам крон, объёму стволов. Например, в результате внутривидовой и межвидовой борьбы в молодом возрасте древостоям присуща правосторонняя асимметрия вариационных рядов до джей-образной кривой. В таких рядах максимальная частота встречаемости деревьев набирается в первом классе ряда. С увеличением возраста кривые распределения числа деревьев по толщине постепенно к возрасту естественной спелости приобретает форму, близкую к кривой нормального распределения (Митропольский, 1960).

Наряду с возрастом на строение древостоев существенное влияние оказывает густота стояния деревьев и качество лесорастительных условий (бонитета). Поэтому, в качестве переменных для классификации рядов принимаются ранги деревьев по классовым промежуткам. Например, это было показано в исследованиях по классификации рядов распределения в березовых древостоях Нижегородской области (Хлюстов и др., 2002), а саксаула чёрного пустынь Казахстана (Хлюстов и др., 2002).

## **2. Естественно - исторические условия района исследования**

### **2.1. Природные условия**

#### **Климат**

Значительное разнообразие ландшафтов долины р. Урал тесно связано с природно-климатическими условиями региона. Климат Приуралья отличается континентальностью и засушливостью. По климатическим данным Главной геофизической обсерватории СССР (1950, 1951 гг.) среднюю и нижнюю части долины р. Урал можно разделить на три зоны: степную, полупустынную и пустынную (Никитин, 1957). Коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова (отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости) указывает на возможность произрастания тех или иных видов древесных растений на указанной территории. Отметим, что для лесонасаждений этот коэффициент должен быть равен единице, а безлесные степные территории характеризуются более низкими значениями (Иванов, 1962).

Из рисунка 2.1. следует, что по мере приближения к Каспийскому морю вдоль р. Урал существенно повышается среднегодовая температура воздуха, уменьшается количество осадков, повышается испаряемость. При этом, коэффициент увлажнения закономерно понижается: 0,36 (Бурли), 0,31 (Уральск), 0,26 (Чапаево), 0,2 (Калмыково). При такой напряженности климатических условий лесонасаждения могут существовать лишь при дополнительном увлажнении, например, за счет потребления влаги из грунтовых вод. Такие условия наблюдаются здесь в пойме, на террасах и прирусловых балках, приуроченных к р. Урал (Сапанов, 2003).

Таблица 2.1. Основные показатели климата долины р. Урал по: (Никитин С.А., 1957)

Пункты	Широта	Высота над уровнем моря, м	Среднегодовое количество осадков, мм	Число дней с относительной влажностью воздуха менее 30% за тёплый период, %	Испаряемость за год, мм	Средняя годовая температура воздуха, °С	Средний из абсолютных годовых минимумов, °С	Число дней безморозного периода	Число дней суховеями за тёплый период	Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова, см
Бурли	51°18'	50	310	70	850	4,2	- 35	152	62	30
Уральск	51°12'	38	260	78	850	4,6	- 34	152	70	30
Чапаево	50°10'	15	250	79	950	5,3	- 33	158	78	25
Калмыково	49°4'	0	200	80	1000	6,2	- 32	173	88	20

При этом, динамические явления в климате (чередование засушливых и более влажных периодов, высокая амплитуда ежемесячных значений основных факторов (температуры воздуха и атмосферных осадков) также сильно влияют на развитие и состояние растительных сообществ.

Например, для междуречья Волги и Урала выявлен наиболее влажный период (1978-1994 гг.), во время которого совершенно не отмечалась гибель древостоев, и острозасушливый (1995-2009 г.), когда их усыхание и гибель были повсеместны, особенно, на зональных типах почв (Сапанов, 2018).

Также сильное влияние на растительные сообщества оказывает неустойчивость температурного режима воздуха по годам. Например, в районе г. Уральск средняя годовая температура воздуха составляет 4,6 С<sup>0</sup>, однако, в отдельные годы она поднималась до 6,9 С<sup>0</sup> (1925 г.), а опускалась до 1,9 С<sup>0</sup> (1908 г.). Амплитуда среднемесячных температур воздуха в летний период достигала 10 С<sup>0</sup>, в зимний – 18 С<sup>0</sup> (Никитин, 1957; Свешников, 1898, 1899, 1901, 1906, 1907; Буренина, 1925, 1929).

Эти особенности климата р. Урал объясняют поднятие к северу границ пустынной, полупустынной и степной зон. Юго-восточные границы ареалов

древесных и кустарниковых пород как дуб, липа мелколистная, рябина, бересклет бородавчатый, ива козья, лещина и большое количество лесных и бореальных видов травянистых растений проходят по долине Урала (Никитин, 1951, 1954а, 1956).

### **Почвы**

Почвенный покров долины р. Урала очень разнообразный. Его распределение взаимосвязано с её геоморфологическим строением. Приуроченные к террасам долины группы близких почв различаются по возрасту своего формирования. Пойменно-слоистые (аллювиальные) почвы однородны на протяжении всей долины. Формировались они на свежих речных наносах. Более развитый профиль присущ пойменно-дерновым почвам центральной поймы, которые сменяются луговыми почвами нижней надпойменной террасы. Это происходит вследствие седиментации аллювия, понижения уровня грунтовых вод и прекращения затопления (Никитин, 1957).

На второй террасе реки луговые почвы переходят в лугово-каштановые и лугово-бурые почвы. Гидроморфные процессы почвообразования в условиях верхних террас претерпевают существенные изменения. Это связано с преобладанием влияния зональных факторов (дефицита влаги). На плакоре дифференциация зональных типов почв происходит под влиянием зональных условий почвообразования (отсутствия влияния грунтовых вод). В зонах сухих степей и полупустыни преобладают каштановые почвы, а на юге, в зоне пустыни – бурые (Никитин, 1957).

Особенности почвообразовательного процесса находятся в тесной связи с историей формирования долины и проявляются в различном составе и мощности аллювиальных, морских и почвообразующих отложений, в глубине залегания, питании и минерализации грунтовых вод, в структуре мезо-, микро-, и нанорельефа (Соколов, 1963).

Современное представление о непрерывном развитии ландшафтов и почвенного покрова в долинах рек очевидно необходимо увязывать с продолжающимся изменением климата и водного режима почвогрунтов, сукцессий растительных сообществ. В этой связи, очевидно, что почвообразовательный процесс в пойме р. Урал продолжается до сих пор (Москалев и др., 1985).

К Прикаспийской почвенной провинции относится территория в низовьях р. Урал. Она отражена девятью типами почв: каштановый, бурый, лугово-каштановый, лугово-бурый, луговой, лугово-болотный, пойменный, солонцовый и солончаковый (Иванова и др., 1958).

На свежееотложенных речных наносах формируются аллювиальные почвы. Здесь первоначальные этапы почвообразовательного процесса обусловлены продолжительностью затопления, скоростью и величиной расходов полых вод. Песчаные почвы преимущественно отлагаются в прирусловой пойме. Более тонкими пылевато-песчаными, илистыми прослоями они обогащаются в центральной пойме. А наиболее тонкие илистые отложения оседают в замкнутых понижениях с застаивающимися водами. Современные аллювиальные наносы р. Урал отличаются легким механическим составом, карбонатностью и наличием пылеватых частиц, что обуславливает их лёссовидность. Песчаные отложения реки отличаются содержанием более крупных фракций (1-0,25 мм). Иногда с гравием и галькой. Такая картина наблюдается в пределах Общего Сырта и Подуральского плато. В низовьях Урала распространены мелкозернистые пески (0,25-0,05 мм).

В прирусловой пойме наблюдается наибольшая интенсивность аллювиального процесса, которая сопровождается размывом и переотложением почвенных частиц. Ежегодно отлагаемые наносы достигают значительной мощности и обуславливают дальнейшее распространение аллювиальных почв.

Тяжелые по механическому составу иловатые и глинистые отложения находятся в межгрядных понижениях, по руслам протоков и других временных водоёмов, где застаиваются паводковые воды. Аллювиальные оглеенные и

заболоченные почвы встречаются в прирусловой пойме в межгивных понижениях и по берегам стариц. Отличаются они более тяжелым механическим составом. После спада воды верхние иловатые наносы при высыхании расслаиваясь в горизонтальном направлении растрескиваются на крупные полигональные отдельности, что затрудняет укоренение растительности. Признаки оглеения проявляются обычно в нижней части профиля в глинистых и суглинистых прослоях. На высоких песчаных гривах прирусловой поймы грунтовые воды залегают достаточно глубоко, поэтому здесь часто встречаются аллювиальные разбитые почвы (Никитин, 1957).

В центральной пойме 60-80 % площади занимают пойменно-дерновые почвы. В бессточных и слабосточных понижениях они замещаются пойменно-болотными почвами. В условиях средней и высокой поймы отмечено преобладание биологических факторов почвообразования над геологическими. Свежие аллювиальные наносы, откладываемые рекой, перерабатываются микроорганизмами, животными и корневыми системами луговой растительности, в результате чего гумифицируются и приобретают комковато-зернистую структуру, которая характерна для органоминеральных образований (Иванова и др., 1958; Никитин, 1957; Соколов, 1963).

### **Гидрологический режим реки**

Гидрографическая сеть бассейна р. Урал сформирована водами снежного покрова. В низовьях ширина русла реки достигает 100-250 м, в устьях – 350 м. Значительные весенние паводки и устойчивые низкие меженные уровни характеризуют режим стока, при котором 60-80 % стока приходится на весну. Превышение среднего многолетнего уровня, при максимальном паводковом стоке, может достигать более 6 м. Это увеличивает влагообеспеченность растений в пойме на 50 %. Глубина затопления поймы зависит от рельефа гидрографической сети (Жадин и др., 1961; Иванов и др., 1927; Соколовский, 1937; Мильков, 1950; Пальгов, 1959).



После вскрытия реки в апреле или мае пойма затопляется в среднем через 20-30 дней. На различных уровнях поймы вода задерживается на разные сроки: на низких – 40-80 дней, средних – 14-40 дней, высоких – 5-15 дней. В низовьях поймы полые воды сходят в июне и реже в начале июля (Никитин, 1957).

Грунтовые воды в пойме после паводка залегают на глубине 0,5-3,5 м., в соответствии с мезорельефом и уклоном местности в сторону русла. Варьирование глубины их залегания зависит не только от рельефа, но и водопроницаемости прослоек, в которых часто формируются верховодки. Грунтовые воды в прирусловой пойме залегают на глубине её меженного уровня, так как дренируются рекой. За счёт грунтовых вод в годы паводков питаются река и старицы. В засушливые годы грунтовые воды в низовьях мало питаются подтоками со стороны надпойменных террас и атмосферных осадков. В низовьях поймы распространены пресные грунтовые воды. Солоноватые грунтовые воды встречаются только на высокой пойме, где на тяжелых по механическому составу отложениях (Никитин, 1957).

Сильное затопление долины р. Урал весенними паводковыми водами с высоким поднятием его уровня отмечается через каждые пять-шесть лет, средним – через три-четыре года, низким – через один-два года (рис. 2.2.). Такая цикличность водного режима р. Урал оказывает сильное влияние на общую обводнённость территории, уровни грунтовых вод, формирование почв, развитие луговой и древесной растительности, животного мира (Мильков, 1953). При этом, на режим грунтовых вод и развитие растительности отражается отсутствие паводков в течение одного года. Старицы и озёра спасаются прошлогодними водами. Достаточно часто во второй половине вегетационного периода на средних и высоких уровнях поймы отмечается истощение верховодок. В результате чего, луговая растительность приходит в угнетённое состояние, подрост деревьев и кустарников усыхает, возобновление древесных пород семенным путём не происходит (Никитин, 1957).

Таблица 2.2. Затопление поймы р. Урал паводками  
(Никитин, 1957)

Пункт наблюдения	Число наблюдений	Число лет, когда пойма не затоплялась	%
Уральск	21	9	43
Кушумский	35	14	40
Калмыково	23	13	57

При отсутствии паводков в течение двух лет уровни грунтовых вод понижаются, а верховодки могут исчезать. Луговая растительность заменяется более ксерофитными видами и сорняками. Резко снижается прирост древесных пород. Семенной подрост усыхает. Озёра мелеют и высыхают. Старицы разделяются плёсами (Иванов и др., 1927).

Верховодки полностью расходуется растительностью в маловодные годы (при отсутствии половодий в течение 3-4 лет). В такие периоды среднегодовой уровень грунтовых вод сильно понижается до 5-7 м. В это время грунтовые воды на пойме залегают намного глубже по сравнению с надпойменной террасой. По днищам высохших стариц и озёр разрастаются сорняки. Лугово-болотная растительность замещается менее влаголюбивыми видами. В пойме среднего уровня на злаковых лугах в большом количестве развиваются сорняки, и увеличивается корневищное разнотравье. Луга становятся менее производительными. В древостоях подросты и молодняки усыхают в массовом количестве. Наблюдается существенное ухудшение развития и состояния взрослых деревьев с появлением сухих ветвей в кронах (Лохов, 1940).

Особенно сильное ухудшение обводнённости поймы р. Урал произошло за счёт отсутствия её затопления в 1933-40 гг., в результате которого был нанесён существенный вред сельскому и лесному хозяйствам. В этот период на 2 м

понижился уровень Каспийского моря, на 60 % снизилась норма среднего годового расхода в реке Урал. Наименьший расход был отмечен в 1937 г. – 95,9 м<sup>3</sup>/сек. Старицы и озёра в это время высохли. В пойме снижился уровень грунтовых вод до 6-9 м. В прирусловой пойме повсеместно происходило развевание песчаных отложений. Луговые сенокосы значительно сократились по площади и стали не менее производительными. Было отмечено массовое усыхание древесной растительности на площади 40 тыс. га. Затем наступил многоводный период в 1941-1942 гг., при котором была восстановлена нормальная обводнённость поймы р. Урал (Лохов, 1940; Никитин, 1957).

## **2.2. Характеристика пойменных лесов реки Урал**

Пойменные леса р. Урал в соответствии с природным районированием Казахстана приурочены к степной зоне, подзоне умеренно засушливых разнотравно-ковыльных степей на южных чернозёмах и тёмно-каштановых почвах и подзоне сухих ковыльно-типчаковых степей на тёмно-каштановых и каштановых почвах. Первая подзона имеет незначительное распространение и проявляется на крайнем севере области в пределах Общего Сырта. Вторая подзона занимает значительные пространства. К ней почти целиком относится территория Общего Сырта и Подуральского плато (Весёлова и др., 1971; Туркевич, 1973; Чупахин, 1970; Шраг, 1949).

В пределах названных природных подзон в интразональных условиях понижений рельефа с близким залеганием грунтовых пресных вод встречаются колючные берёзовые и осиновые леса.

Пойма р. Урала и его самого крупного притока р. Илека представлена интразональной растительностью: лесными и луговыми сообществами. Лесорастительные, геоморфологические, почвенные и биоклиматические характеристики в целом отражают значительное сходство ландшафтов на всём протяжении рассматриваемых природных подзон. Однако, отдельные территории имеют индивидуальные особенности что послужило основанием для более

детального районирования. Под лесорастительным районированием понимается деление земель лесного фонда на территориальные единицы, сходные по геоморфологическим, почвенно-грунтовым, климатическим условиям и особенностям развития лесных формаций (табл. 2.3).

Таблица 2.3. - Фрагмент схемы лесорастительного районирования

Лесорастительная провинция	Лесорастительный район	Лесохозяйственный район	Лесохозяйственные производственные предприятия
Уральская пойменных зон	Бурлинский тополёвых, дубово-вязовых и ветловых лесов	Пойменные леса степной зоны	Бурлинское, Уральское, Чингирлауское (пойменные леса)
	Чапаевский тополёвых, ветловых и вязовых лесов	Пойменные полупустынной зоны	Акжаикское (пойменные леса), Чапаевское, Тайпакское (северная часть)
	Тайпакский ветловых и тополёвых лесов	Пойменные леса пустынной зоны	Тайпакское (южная часть)
Сухостепных байрачных лесов и зарослей кустарников	Колочные леса Западного Казахстана	Южноукраинных колочных равнинных лесов степной зоны	Чингирлауское и Акжаикское (без пойменных лесов)
		Южноукраинных колочных равнинных лесов пустынной зоны	Урдинское

*Основные положения организации и развития лесного хозяйства Уральской области. Алма – Ата, 1992. – 25-26 стр.*

Как следует из таблицы, южной границей ареала твердолиственных пород (дубово-вязовых) является Уральское лесохозяйственное предприятие, ниже произрастают лишь мягколиственные тополевые и ветловые древостои. Именно здесь начинается Прикаспийская низменность, с существенным понижением абсолютных отметок земли над уровнем моря (см. табл. 2.1.), что приближает общий уровень грунтовых ближе к дневной поверхности, из-за неглубокого вреза реки. В результате этого, происходит внедрение и закрепление на местности более влаголюбивых видов деревьев, в том числе тополей (черного и белого).

## Рельеф

Отличительной чертой Западно-Казахстанской области является её равнинность, нарушаемая небольшими поднятиями по северной и восточной окраине, а южнее 49° северной широты имеются отрицательные отметки. Формируют поверхность области пять крупных геоморфологических комплексов (Москалев и др., 1985).

**Долина реки Урал** простирается узкой полосой по территории области сначала в направлении с востока на запад, а затем – с севера на юг. В пределах Общего Сырта и Подуральского плато глубина вреза долины достигает нескольких десятков метров. Максимальной ширины поймы достигает в местах впадения в Урал притоков Илек и Утва – 12-13 км, а в районе г. Уральска (хвалынская дельта) – 50 км. В пределах Прикаспийской низменности для долины характерны небольшая врезанность и расчлененность, а также уменьшение ширины до 7-10 км (близ Индерской возвышенности) (Основные положения..., 1992).

Пойма Урала делится на три части: прирусловую, центральную и высокую.

Прирусовая пойма обычно небольшой ширины – несколько сот метров. Она сложена слоистыми отложениями легкого механического состава, среди которых преобладают мелкозернистые карбонатные пески. Рельеф гривистый, с высотой над меженным уровнем реки 2,5 – 5 м. В южной части поймы гривы поднимаются до 7-8 м и сложены исключительно песками.

Центральная пойма отличается небольшим распространением, возвышаясь над меженным уровнем реки в среднем на 3-6 м. Гривы и островные повышения чередуются с понижениями, старицами и озёрами. В составе отложений – слоистая толща суглинков, песков и глины с признаками оглеения, погребенными гумусированными прослоями.

Высокая пойма возвышается над меженным уровнем реки на 6-9 м. В северной части реки она обычно представлена неширокими полосками, в южной части занимает значительную часть долины, вплоть до полного замещения центральной поймы. Высокая пойма затапливается только в годы высоких

паводков. Переход высокой поймы в первую надпойменную террасу выражен заметным уступом. Верхняя ступень этой террасы имеет превышение над руслом реки в 9-11 м, при ширине по каждому берегу 1-3, реже 5 км. Эта часть сложена легкими по механическому составу суглинками и супесями. Часто встречаются погребенные почвы. Нижняя ступень первой террасы в северной части долины имеет небольшую ширину, к югу увеличиваясь до 1,5-2,5 км по каждому берегу. Перепад высот между уровнем воды и ступенью составляет 7-11 м, затопление этой части поймы происходит только в самые высокие паводки. Она сложена тяжелыми по механическому составу и часто засоленными серовато-бурыми суглинками и глинами (Никитин, 1957; Основные положения..., 1992).

### **Растительность**

Растительный покров области разнообразен как во флористическом, так и в геоботаническом отношении и в основном складывается ксерофильными, континентальными типами с включением бореальных групп по поймам рек и местах выклинивания пресных грунтовых вод. В северной части преобладают ковыльные степи, характеризующиеся в целинном состоянии господством узколистных дерновинных злаков – ковылей и типчака. Наиболее часто здесь встречаются ковыльно-типчаковые и ковыльно-тырсовые ассоциации. Южнее расположены типчаковые степи, состоящие из тырсово-типчаковых группировок. Основными ассоциациями полупустынной зоны являются белопопынно-типчаковые, типчаковые, острецово-типчаковые и др. Кроме того, пятнами встречается пустынная растительность. Растительный покров пустынной зоны представлен чаще всего полынными и солянковыми группировками (Никитин, 1954а, 1956).

В местах, получающих дополнительное увлажнение за счет стока поверхностных или неглубокого залегания пресных грунтовых вод, произрастают лиственные леса, состоящие в основном из осины и берёзы со степными кустарниками. На участках, лишенных леса, но дополнительно увлажненных, обычно развивается пышная луговая растительность с числом видов до 300 ед. (Основные положения..., 1992).

В настоящее время древесная растительность распространена преимущественно в пойме р. Урал (Быков, 1955). Леса располагаются полосой вдоль сильно извилистого русла реки, её протоков и стариц, перемежаясь с лугами, прогалинами и болотами различной величины. Кое-где по буеракам с крутыми высокими берегами они заходят в верхнюю часть долины.

Основными лесообразующими породами являются: тополь белый, тополь чёрный (осокорь), дуб черешчатый, вяз гладкий, ива белая (ветла). Встречаются: осина, тополь серый, берёза. В подлеске – калина, жимолость татарская, терн, боярышник кроваво-красный, крушины- ломкая и слабительная, смородина чёрная, шиповники, ивы. Живой напочвенный покров обилен и разнообразен, преобладают: злаки, ежевика, подмаренник волжский, ландыш, осоки, молоканы (Колмаков, 1935).

В условиях интенсивно выраженного аллювиального процесса и дренированных местообитаний поселяются наиболее поемновыносимые породы с продолжительным периодом затопления (кустарниковые ивы, ветла, тополи). На мощных наносах прирусловой поймы, затапливаемых паводком на срок более 60 дней, поселяются ивы – трёхтычинковая, русская и шелюга. В густых молодняках поселяются редкие травянистые растения – череда, ситники, лебеда, мята, мелкие камыши и др. В процессе естественного изреживания древостоев под полог внедряются луговая растительность – костер безостый, пырей, мятлик узколистный, василистники, спаржа, солодки и др. (Никитин, 1957).

В условиях среднего по интенсивности аллювиального процесса в центральной пойме выделяются типы лесов – ветловники, осокорники, белотопольники, вязовники, дубняки (Невидомов, 1993).

При слабовыраженном аллювиальном процессе осокорники и ветловники выпадают, замещаясь более приспособленными к этим условиям тополем белым, вязом гладким и дубом. На высоких уровнях поймы, подвергающихся только периодическому непродолжительному затоплению, преобладают вязовники и дубняки.

В условиях недренированных заболоченных местообитаний распространены малопродуктивные насаждения ветловников, осокорников и вязовников. При дальнейшем заболачивании эти древесные породы сменяются ветловниками с лугово-болотной растительностью (Никитин, 1957).

Жизнь растений в долине Урала находится в тесной связи с особенностями гидрологического и светового режимов условий местопроизрастания. В годы большого разлива реки, в половодье, влагозарядку получают все участки леса в пойме. Её достаточно для нормального роста и развития древесных растений до конца лета. При отсутствии атмосферных осадков осенью насаждения ощущают недостаток влаги, особенно на участках, расположенных выше 4 метров над меженным уровнем реки (Ишбулатова и др., 1969; Никитин, 1957; Ремезов, 1949). В маловодные годы, особенно при их повторении, наблюдается усыхание как отдельных деревьев, так и насаждений.

В последние годы в связи с регулированием стока Урала проявляется сокращение площади пойменных лесов в южных районах области.

### **2.3. Лесорастительные условия**

На территории области в разных биоклиматических районах произрастают пойменные леса, берёзово-осиновые колки и кустарниковые заросли.

Пойменные условия Урала и его крупных притоков характеризуются большой динамичностью в пространстве и во времени, в следствии активной деятельности реки, особенно в период паводков. Всё это обуславливает резкое отличие пойменных лесов от плакорных, что в первую очередь, проявляется в специфическом породном составе (Березюк, 1976; Власюк, 1988; Воробей и др., 1990; Годнев, 1949; Денисов, 1963, 1968; Петренко, 1965; Побединский, 1975, 1996, 2013; Ремезов, 1949; Рубцов, 1987; Тюрин, 1949; Чибилёв, 1987; Шаталов, 1984).

Типичные пойменные породы – тополь чёрный и белый, ветла, вяз гладкий и ряд других видов вне пределов поймы не встречаются. Вдоль рек леса



проникают далеко на юг в несвойственные для древесной растительности полупустынную и пустынную зоны (Петренко, 1964, 1969, 1974; Пугачев, 1964, 1967; Шингарева-Попова, 1935).

Лесотипологическое изучение пойменных лесов Урала было проведено Ф.С. Яковлевым, М.В. Марковым и М.И. Фирсовым, С.А. Никитиным, М.В. Гудочкиным и П.С. Чабаном (Яковлев, 1946; Марков и др., 1955; Никитин, 1957; Гудочкин и др., 1958). Разработанные ими схемы имели разные принципиальные направления. Фитоценотическое направление вызвало необходимость выделения большого числа типов леса, притом чередующихся в пространстве зачастую ничтожными по площади участками, что создавало затруднения при практическом применении такого рода типологических схем. Экологический принцип классификации представлял собой попытку применить к лесам поймы экологическую сетку П.С. Погребняка (1955). Однако фактор поемности не только отражает влагообеспеченность местообитания, но играет гораздо большую роль для формирования лесной растительности, чем просто фактор грунтового увлажнения. Критерий трофности в пойме в большинстве случаев не оказывает влияния на производительность фитоценозов. Следовательно, специфика пойменных условий определяет иной подход к вопросу об основных критериях при выделении типов леса в пойме по сравнению с условиями плакора.

Казахским НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации разработана схема типов лесорастительных условий р. Урала и соответствующих им лесных формаций, на основе которой составлена классификация типов пойменных лесов (Токарев, 1975). Схема типов лесорастительных условий базируется на двух ведущих экологических факторах поймы – продолжительности затопления (поемности) и интенсивности аллювиального процесса. Кроме того, учитывается механический состав корнеобитаемого слоя почвы.

Выделение типов леса по названным признакам одновременно отражает и генезис пойменных лесов, т.е. их естественное развитие с момента заселения свежееотложенного речного аллювия и до распада насаждения и смены его луговой и степной растительностью. Поэтому, в разные периоды жизни, один и

тот же древостой в условиях поймы может быть отнесен к разным типам леса (Газизуллин и др., 2002; Основные положения..., 1992). Это обстоятельство явилось препятствием для разработки таблиц хода роста по существующим в теории таксации методикам (Анучин, 1983; Загребов и др., 1975).

В 80-х годах прошлого века актуальными научными разработками в лесоводственно-таксационной направленности были признаны исследования по ходу роста, строению и продуктивности насаждений разной породной возрастной и пространственной структуры, полноты и густоты в разрезе типов леса и типов лесорастительных условий. Однако до сих пор поставленная задача не решена в полной мере. В настоящее время при лесоустройстве используется классификация типов леса, разработанная и дополненная КазНИИЛХА (Бирюков и др., 1973; Бирюков, 1982).

Таблица 2.4. Характеристика лесорастительных условий в пойме реки Урал (Основные положения..., 1992. – с. 33-34.).

Поёмность	Мех. состав почво-грунта	Экологические зоны поймы		
		приусловая	центральная	притеррасная
Долго-поёмные влажные условия (низкие уровни)	Тяжелые	Ветловники, ивняки кустарниковые	Ветловники, ивняки кустарниковые	Ивняки кустарниковые
	Средние	Ветловники, осокорники	Осокорники, ветловники	-
	Легкие	Осокорники, заросли тамариксов	-	-
Средне-поёмные свежие условия (средние уровни)	Средние	Ветловники, осокорники, белотополевники, заросли тамариксов	Вязовники, дубняки, белотополевники, осокорники, ветловники, розарии, заросли тамариксов	Заросли тамариксов
	Легкие	Осокорники,	-	-

		заросли тамариксов		
Кратко- поемные сухие условия (высокие уровни)	Средние	-	Вязовники, дуб-няки, белотопо- левники, роза- рии, заросли тамариксов	Заросли тамариксов
	Легкие	Осокорники, заросли тамариксов	-	-

#### 2.4. Краткая характеристика групп типов леса

Осокорники поймы р. Урал были разделены на группы типов лесов в работах сотрудников КазНИИЛХА (Основные положения..., 1992; Токарев, 1975; Бирюков и др., 1973; Бирюков, 1982).

##### Осокорники средних уровней центральной поймы (Осц)

Местоположение в рельефе местности: пологогравистые и равнинные участки. Почвы суглинистые, дерновые. Режим увлажнения представлен среднепоемными свежими условиями. Сопутствующие древесные породы представлены ивой белой, тополем белым, вязом гладким. Подлесок редкий или средней густоты, представлен шиповником. Травяной покров хорошо развит, богатый по видовому составу. Представлен луговыми группировками на севере и лугово-степными на юге. Этот тип леса обычно представлен сильно перестойными изреженными древостоями многократной порослевой генерации. Представляет собой заключительную стадию развития осокорников – стадию распада и смены леса лугом. Отличается высоким процентом фаутных и суховершинных деревьев. Эксплуатационное значение незначительное из-за низкой товарности древостоев.

### **Осокорники низинные прирусловые (Онпр)**

Местоположение представлено низкими берегами излучин с супесчаными и песчаными аллювиальными почвами. Условия долгопоемные влажные. В составе обычно значительная примесь ветлы. Доля её участия может достигать половины состава. Подлесок обычно отсутствует или представлен редкими кустарниковыми ивами. Травяной покров либо отсутствует, либо слабо развит, угнетён. Представлен луговой растительностью. Насаждения обычно семенного происхождения, это один из наиболее распространенных вариантов начальной стадии заселения речного аллювия. Насаждения этого типа выполняют водоохранные и водорегулирующие функции.

### **Осокорники низинные центральной поймы (Онц)**

Местоположение представлено берегами озёр, протоков и стариц. Почвы суглинистые аллювиальные и дерновые. Условия долгопоемные влажные. Примесь древесных пород представлена в нижних частях береговых склонов ветлой, в верхних - тополем белым. Подлесок обычно редкий, представлен крушиной, шиповником. Травяной покров хорошо развит, представлен луговыми группировками. Наиболее распространены ежевичные, тростниковые, осоковые, разнотравные ассоциации. Насаждения этого типа широко распространены, но обычно небольшими площадями в виде узких лент по берегам водоёмов. Представляют собой один из вариантов развития пионерных осокорников прирусловья. Эксплуатационного значения насаждения не имеют, но выполняют полезные водоохранные, защитные и эстетические функции.

### **Осокорники средних уровней прирусловой поймы (Оспр)**

Местоположение представлено пологими гривами и ровными участками. Почвы супесчаные и суглинистые аллювиальные. Условия среднепоемные свежие. Сопутствующие породы представлены тополем белым, ивой белой. Подлесок редкий, представлен крушиной, шиповником. Травяной покров хорошо развит, представлен преимущественно лугово-лесными группировками. Наиболее

распространены ежевиковые, кирказоновые, осоковые, разнотравные ассоциации. Этот тип леса обычно представлен спелыми и перестойными насаждениями семенного происхождения. Это кульминационная стадия развития пионерных осокорников прирусловья. Насаждения этого типа отличаются наибольшей продуктивностью и эксплуатационной ценностью среди осокорников.

При выделении в природе групп типов леса особенно осторожно следует использовать живой напочвенный покров. Ему не следует придавать решающего, так как он очень динамичен, изменчив по сезонам, вегетационным периодам и существенно изменяется под влиянием хозяйственной деятельности.

### **Тополевники белые средних уровней, прирусловые (Тбспр)**

Местоположение представлено пологогривистыми и равнинными участками. Почвы суглинистые аллювиальные. Условия среднепоемные. Сопутствующие породы представлены осокорем и ветлой. Подлесок средней густоты, образован крушиной, жимолостью, шиповником. Травяной покров хорошо развит, представлен лугово-лесными группировками. Наиболее распространены ежевиковые, кирказоновые, осоковые, будровые, разнотравные ассоциации. Насаждения этого типа леса отличается высокой продуктивностью и наибольшей эксплуатационной ценностью среди белотополевников поймы.

### **Тополевники белые средних уровней центральной поймы (Тбсц)**

Местоположение представлено склонами пологих грив, неглубокими понижениями, иногда берегами стариц. Почвы суглинистые дерновые. Условия среднепоемные, свежие. Сопутствующей породой является осокорь. Подлесок хорошо развит, иногда образует труднопроходимые заросли из шиповника, крушины, жимолости. Травяной покров представлен луговыми группировками, хорошо развит на прогалинах, под пологом леса, при наличии густого подлеска, сильно угнетён и изрежен. Наиболее распространены солодковые, вейниковые, разнотравные ассоциации. Насаждения этого типа встречаются небольшими колками. Представляют собой наиболее устойчивый тип лесной растительности в

центральной пойме благодаря обильному возобновлению корневыми отпрысками. Значение – главным образом, защитное.

#### **Топольники белые высоких уровней центральной поймы (Тбвц)**

Местоположение представлено склонами пологих грив и неглубокими понижениями. Почвы суглинистые дерновые. Краткопоемные нерегулярно затопляемые сухие условия. Сопутствующих пород нет. Подлесок средней густоты, образован крушиной. Травяной покров относительно развит, представлен лугово-степными группировками. Насаждения этого типа встречаются небольшими колками. Представляют собой стадию угасания лесной растительности в пойме и смены её на лугово-степную. Отличается очень низкой продуктивностью и высокой фаутичностью. Значение исключительно защитное.

#### **Ветловники низинные прирусловые (Иднпр)**

Местоположение в рельефе местности представлено низкими берегами излучин, затонов и островов. Почвы сильно иловатые, глинистые и суглинистые аллювиальные. Условия долгопоемные, влажные. Сопутствующей породой является осока. Подлесок слабо развит или совсем отсутствует, представлен кустарниковыми ивами. Травяной покров либо отсутствует, либо слабо развит, угнетён, представлен луговой растительностью. Насаждения этого типа обычно семенного происхождения. Это один из наиболее распространенных вариантов пионерной стадии заселения свежееотложенного речного аллювия. Они выполняют водоохраные и водорегулирующие функции.

#### **Ветловники низинные центральной поймы (Иднц)**

Местоположение представлено низкими берегами стариц, озёр, протоков, днищ пересохших озёр, других разного рода понижений. Почвы сильно иловатые глинистые. Условия долгопоемные, влажные. Сопутствующая порода осока, в виде незначительной примеси. Часто сопутствующие породы отсутствуют. Подлесок либо отсутствует, либо слабо развит, представлен кустарниковыми

ивами. Травяной покров хорошо развит, представлен луговыми и лугово-лесными группировками. Наиболее распространены ежевиковые, костровые, разнотравные, осоковые ассоциации. Насаждения этого типа широко распространены, но обычно небольшими площадями в виде узких лент по берегам водоёмов. Представляют собой один из вариантов развития пионерных ветловников прирусловья. Эксплуатационного значения не имеют, но выполняют водоохранные, защитные и эстетические функции.

### **Ветловники средних уровней прирусловой поймы (Идспр)**

Местоположение представлено малозаметными понижениями и ровными участками. Почвы иловатые, суглинистые, аллювиальные. Условия среднепоемные, свежие. Сопутствующей породой является осока. Подлесок редкий представлен шиповником, крушиной, на юге – тамариксами. Травяной покров хорошо развит, представлен лугово-лесными группировками. Наиболее распространены ежевиковые, кирказоновые, осоковые, пырейные, разнотравные ассоциации. Насаждения этого типа обычно представлены спелыми и перестойными древостоями семенного происхождения. Это кульминационная стадия развития пионерных ветловников прирусловья. Насаждения этого типа отличаются наибольшей продуктивностью и эксплуатационной ценностью среди ветловников.

### **Ветловники средних уровней центральной поймы (Идсц)**

Местоположение представлено пологогривистыми и равнинными участками. Почвы суглинистые, дерновые. Условия среднепоемные, свежие. Сопутствующая порода представлена осокорем. Подлесок редкий, иногда отсутствует совсем. Травяной покров хорошо развит, представлен лугово-степными группировками. Наиболее распространены солодковые, лебедовые, эфемерные, пырейные ассоциации. Этот тип леса обычно представлен старыми изреженными древостоями многократной порослевой генерации. Представляет

собой заключительную стадию распада и смены леса лугом. Эксплуатационное значение незначительное из-за низкой товарности древостоев.

#### **Дубняки средних и высоких уровней центральной поймы (Дсвц)**

Местоположение представлено равнинными участками. Почвы суглинистые мощные, тёмноцветные, дерновые. Условия средне- и краткомоемные, сухие и свежие. Сопутствующие породы представлены вязом, топодем белым, реже осиной и осокорем. Подлесок средней густоты, образован жимолостью, крушиной, тёрном, боярышником. Травяной покров хорошо развит, представлен луговыми группировками. Этот тип леса представлен семенными и порослевыми насаждениями, обычно встречается в северной части поймы р. Урал. Хозяйственная ценность из-за небольшой площади и низкой товарности невелика. Представляет научную ценность.

#### **Вязовники средних и высоких уровней центральной поймы (Всвц)**

Местоположение представлено пологогривистыми и равнинными участками. Почвы суглинистые, дерновые. Условия средне- и краткомоемные, сухие и свежие. Сопутствующими породами являются дуб, тополь белый, реже осокорь, ветла. Подлесок обычно хорошо развит, образован крушиной, терном. Травяной покров хорошо развит, представлен лугово-лесными и луговыми группировками. Этот тип леса обычно представлен семенными и порослевыми редкостойными малопродуктивными насаждениями. Повсеместно суховершинит. Эксплуатационное значение незначительное. Представляет научную ценность.



### **3. Объекты и методика исследования**

#### **3.1. Объекты исследования**

В качестве объекта исследований служили насаждения основных лесообразующих пород пойменных лесов р. Урал на территории Западно-Казахстанской области. Сбор полевого материала осуществлен в Уральском и Январцевском государственных учреждениях по охране лесов и животного мира области. В качестве классификационной основы лесных объектов принят 5 лесорастительных формаций: 1) осокорники, 2) топольники белые, 3) ветловники, 4) дубняки, 5) вязовники. Каждая формация представлена группами типов леса, приуроченными к разным частям профиля реки от прирусловой его части до верхних уровней поймы. В каждой группе типов леса определён перечень древесных пород, представляющих конкретные элементы леса, подлежащие натурной таксации. Для изучения возрастных изменений средних высот и средних диаметров элементов леса в группах типов леса формировался массив данных прицельно-измерительной таксации. Объём таксационных материалов соответствовал требованиям вариационной статистики. Так, точность определения среднестатистических значений средней высоты по пятилетиям укладывается в диапазон  $\pm 2,5\% \div \pm 6,5\%$  а среднего диаметра  $\pm 3,0\% \div \pm 7,0\%$ , что указывает на достоверность данных для построения регрессий возрастных изменений. Всего в статистический анализ на определение возрастных изменений таксационных показателей древостоев было включено 3310 лесотаксационных участков.

Для изучения строения древостоев объекты исследования представлены насаждениями с преобладанием тополя чёрного, произрастающие в осокорниковых группах типов леса. В них заложено 120 пробных площадей со сплошным перечётом деревьев в соответствии с требованиями отраслевого стандарта по закладке пробных площадей. Для построения графиков высот на пробных площадях было измерено 1349 деревьев.

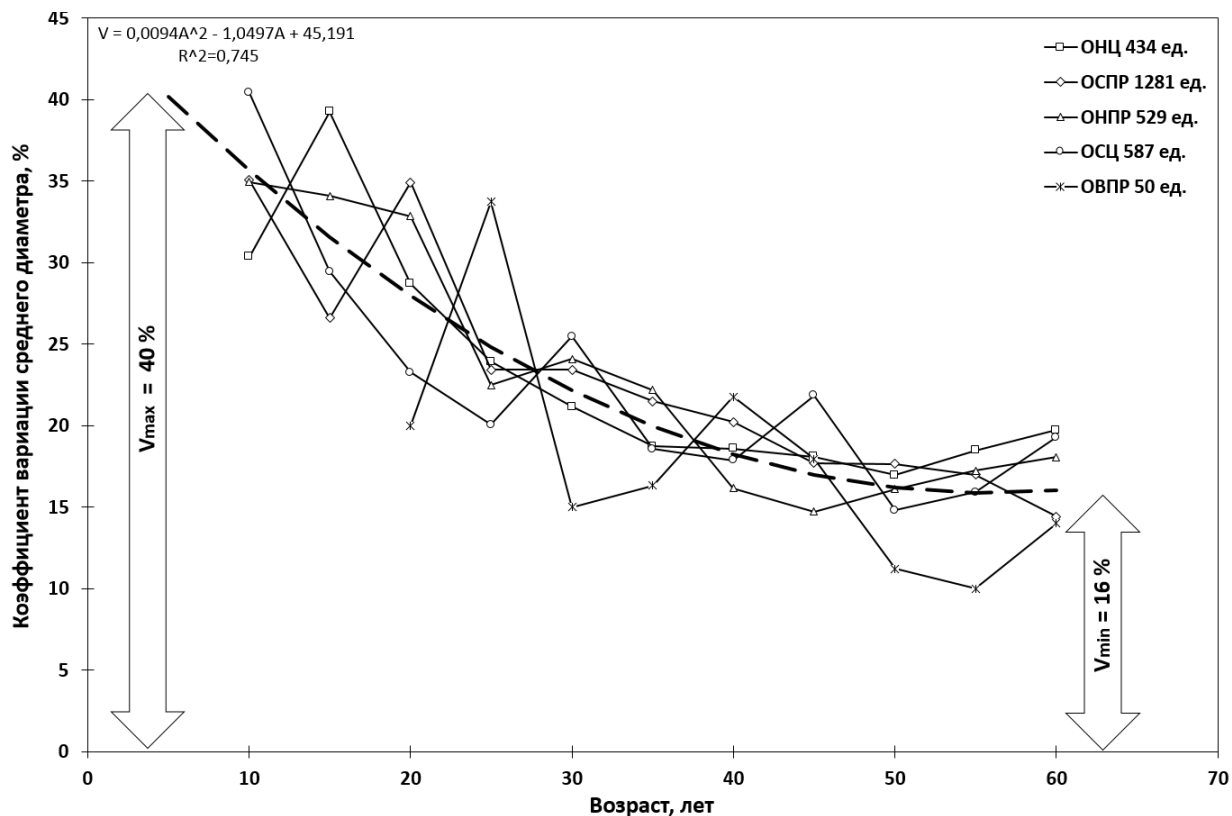
## **3.2. Методика исследования**

### **3.2.1. Сбор данных и статистическая оценка достоверности показателей роста древостоев**

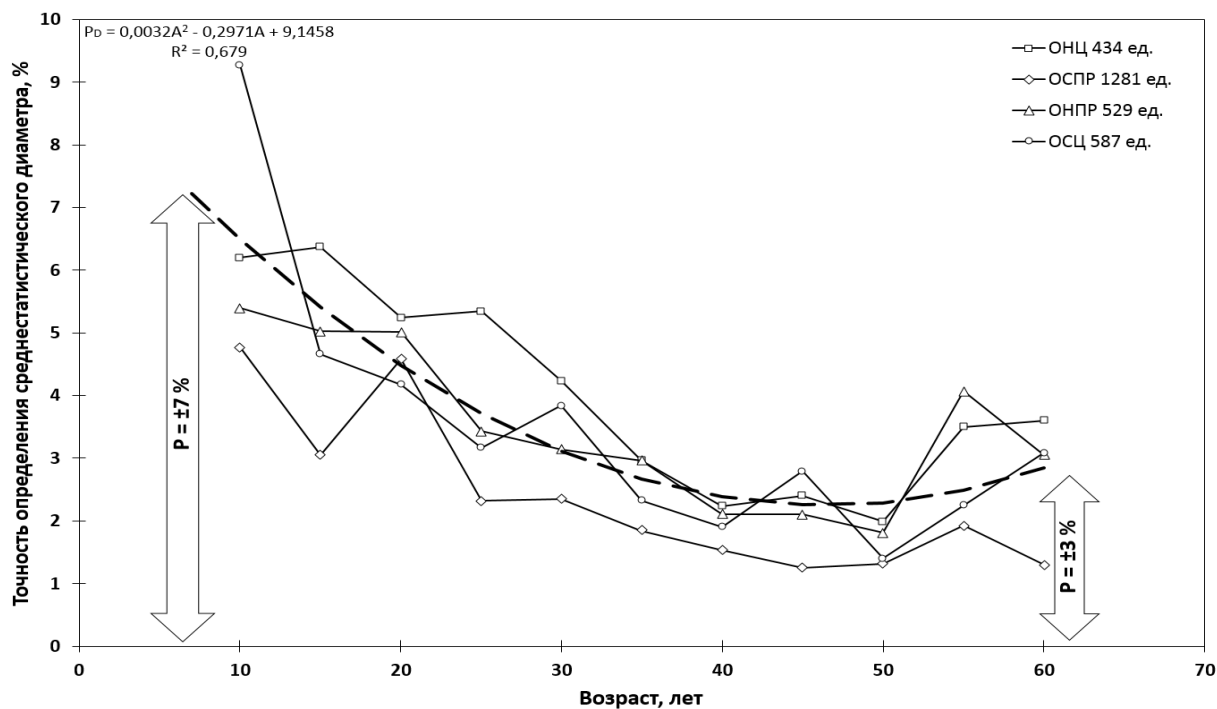
Полевым исследованием было предусмотрено непосредственное натурное изучение насаждений в реальных условиях поймы реки Урал. Полевое исследование заключалось в закладке пробных площадей в соответствии с требованиями отраслевого стандарта ОСТ 56-69-83 "Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки" (ОСТ 56-69-83 "Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки". Издание официальное. Технический редактор С.Ю. Соколова. Корректор С.И. Иванова. Приказом (распоряжением) Государственного комитета СССР по лесному хозяйству от 23 мая 1983 г. № 72 срок введения установлен с 01.01.84 г.), и сборе первичных лесотаксационных данных в ландшафтно-ориентированных относительно русла реки группах типов леса лесорастительной формации - Осокорники. Первичная информация собиралась путем сплошного перечёта составляющих деревьев с точностью измерения диаметров стволов до 0,1 см. Всего было заложено 135 пробных площадей, на которых насаждения представлены, как правило, смешанными древостоями с преобладанием в составе тополя чёрного и сопутствующими породами - тополя белого, ивы белой и вяза гладкого.

Для более полного охвата насаждениями экологических условий, возрастной, породной и пространственной структуры лесорастительных формаций - осокорники, тополевики белые, ветловники, дубняки и вязовники использовались данные, полученные при глазомерно-измерительном методе таксации в период проведения лесоустройства 1982, 1992 и 2016 гг. (Хлюстов и др., 2017). Для обеспечения нормативной точности глазомерной таксации насаждений в пунктах таксации производились замеры сумм площадей сечения и измерения средних высот и диаметров деревьев.

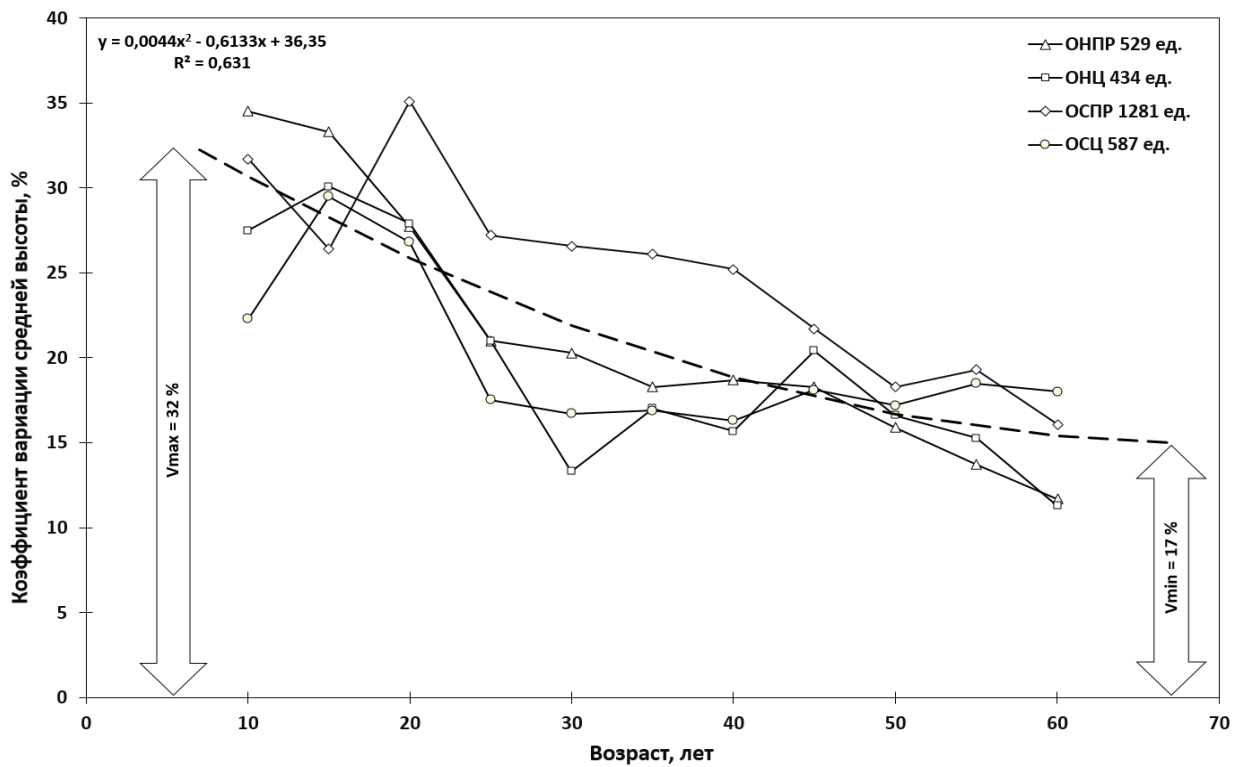
Об изменчивости и точности определения среднестатистических значений средних по массиву данных высот и диаметров древостоев в разные возрастные периоды роста насаждений можно судить по рисункам 3.1 – 3.4.



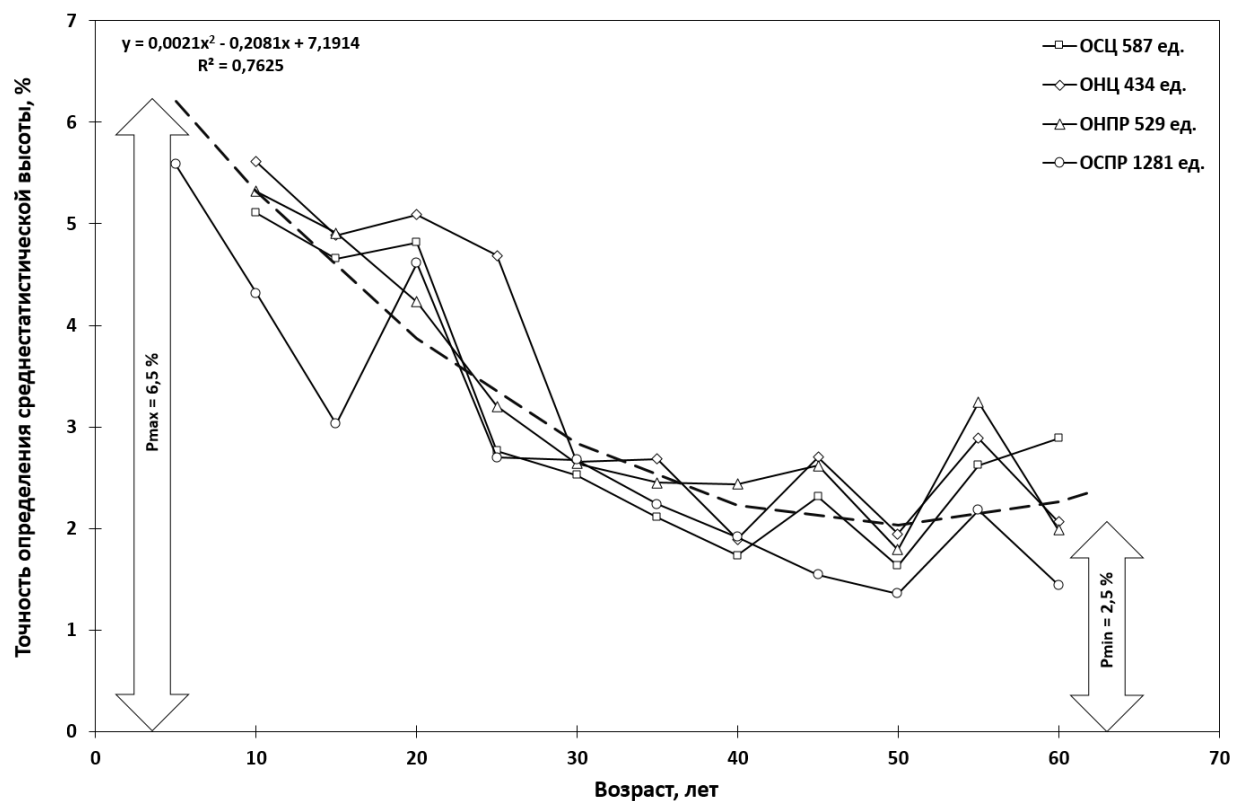
**Рисунок 3.1.** Изменение с возрастом коэффициента вариации среднего диаметра древостоев тополя чёрного по группам типов леса лесорастительной формации Осокорники



**Рисунок 3.2.** Изменение с возрастом точности определения среднего диаметра древостоев тополя чёрного по группам типов леса лесорастительной формации Осокорники



**Рисунок 3.3.** Изменение с возрастом коэффициента вариации средней высоты древостоев тополя чёрного по группам типов леса лесорастительной формации Осокорники



**Рисунок 3.4.** Изменение с возрастом точности определения средней высоты древостоев тополя чёрного по группам типов леса лесорастительной формации Осокорники

Показанные на рисунках ломанные (эмпирические) и теоретические (по уравнению) линии указывают на закономерное уменьшение коэффициента вариации и увеличение точности определения морфометрических показателей конкретного элемента леса с возрастом древостоев в разных группах типов леса.

Так, изменчивость средней высоты в диапазоне от молодняков до спелых древостоев уменьшилась вдвое - от 32% до 17%. При этом точность определения среднестатистических показателей средних высот увеличилась от  $\pm 6,5$  до  $\pm 2,5$  %. Аналогичная картина наблюдается и при анализе изменчивости среднего диаметра древостоев. Снижение варьирования в возрасте от 10 до 70 лет наблюдается от 40% до 16% при увеличении точности определения среднестатистической величины от  $\pm 7\%$  до  $\pm 3\%$ . Указанные статистические параметры таксационных показателей древостоев в целом по массиву следует считать вполне надежными и достоверными для характеристики конкретной лесорастительной формации по группам типов леса.

Таким образом, имеется возможность использовать данные массовой таксации для выявления возрастных изменений средних морфометрических показателей и получения статистических моделей хода роста по элементам леса в разрезе групп типов леса.

### **3.2.2. Моделирование хода роста элементов дендроценоза по группам типов леса**

В отличие от общепонимаемых шкал проф. М.М. Орлова, шкалы ВНИИЛМ, учитывающих энергию роста древесных пород в высоту (замедленного, умеренного, ускоренного, быстрого роста) или местных шкал (Загребев и др., 1992), представленных веером кривых, разработка лесотипологических шкал уровней продуктивности требует принципиально нового методического решения.

Для решения поставленных задач анализу подвергались массивы данных в прицельно измерительной таксации 3310 древостоев разной полноты в возрасте от 10 до 70 лет.

Для проведения статистического анализа дендрометрических данных предусматривалась оценка возрастных изменений (по 10-летиям) средних значений высот ( $H$ , м) и диаметров ( $D$ , см), ошибок и точности их определения ( $\pm mD$ , см;  $\pm mH$ , м;  $\pm P_D$ ,%;  $\pm P_H$ %, соответственно), величину стандартного отклонения ( $\sigma_H$ , м;  $\sigma_D$ , см), размах варьирования ( $H_{\min}$ ,  $H_{\max}$ ;  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ) и коэффициент вариации ( $V_H$ ,%;  $V_D$ ,%) (средних значений высот и диаметров стволов деревьев) у совместно произрастающих конкретных древесных пород.

Для построения статистических моделей хода роста смешанных древостоев использован асинхронно дендрологический подход к построению уравнений регрессии. Он сочетает ростовую функцию Корсуня-Бакмана и бинарные переменные, кодирующие названия древесных пород в группах типов леса формации осокорники. Асинхронность кривых хода роста оценивалась по индексным кривым средней высоты и среднего диаметра древостоев. Условно принятый базовый возраст 30 лет. Так как по данным массовой таксации критический возраст насаждений в регионе не превышает 70 лет. Подробно методические решения поставленных задач показаны в монографии В.К. Хлюстова (2015б).

### **3.2.3. Выбор теоретических кривых распределения деревьев по толщине**

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

#### **Параметрические модели**

Широкое применение в лесной таксации при сглаживании отдельных рядов распределений числа деревьев по толщине получили модели двух параметрических кривых Гаусса (кривая нормального распределения) и четырёхпараметрических кривых К. Пирсона (тип I) и Шарлье (тип A).

Статистическими параметрами для построения теоретических кривых являются: средняя арифметическая величина ( $\bar{X}$ ), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), асимметрия ( $As$ ) и эксцесс ( $E$ ).

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

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

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

Указанные статистики определяются для каждого ряда использованием описательной статистики в среде *MS Excel*. Расчётные значения статистик включаются в расчёт частот теоретических кривых распределения с последующим сравнением с эмпирическими частотами. Критериальная Оценка соответствия теоретических распределений эмпирическому ряду осуществлена по критерию  $\chi$  – квадрат Пирсона.

При условии, если расчетное значение критерия  $\chi$  – квадрат меньше теоретического значения критерия на 5-процентном уровне значимости при соответствующем числе степеней свободы, то нулевая гипотеза принималась с заключением о соответствии теоретического распределения частот эмпирическому.

### **Непараметрические модели**

Методы основаны на построении вариационных рядов накопленного распределения частот и анализа изменений квантилей ряда. Широкое применение в исследованиях строения древостоев нашла модель аппроксимации

эмпирических распределений Н.Л. Джонсона (1949). Наряду с этой моделью использована модель В.К. Хлюстова (2010), которая подробно изложена в учебном пособии автора. Для аппроксимации эмпирических распределений указанными моделями на кафедре лесоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева была разработана программа «Лескаф». Интерфейс с инструкцией работы программы, графическим и критериальным сравнением эмпирического и теоретического распределений представлены на рисунках 3.5, 3.6, 3.7, 3.8.

Обязательным требованием для расчёта теоретических частот является построение вариационного ряда по десяти классовым промежуткам. Классовый промежуток (C) определяется по размаху варьирования толщины деревьев между максимальным ( $d_{max}$ ) и минимальным ( $d_{min}$ ) диаметром по формуле:

$$C = \frac{d_{max} - d_{min}}{10}$$

**ВВОДИТЕ ДАННЫЕ В ПОЛЯ ЗЕЛЕННОГО ЦВЕТА:**

класс	эмпирические частоты
0	0
1	3
2	17
3	21
4	17
5	13
6	10
7	9
8	5
9	3
10	2

ТАУ	f(0)	f(III)	f(IV)
-1,60	0,11092	0,07809	-0,64405
-1,13	0,21069	0,41023	-0,63857
-0,67	0,31874	0,5448	0,16195
-0,20	0,39104	0,2315	1,0799
0,27	0,38466	0,30401	0,98778
0,73	0,30563	0,55043	0,02646
1,20	0,19419	0,36352	-0,69255
1,67	0,09893	0,03487	-0,58914
2,13	0,04128	-0,13513	-0,15017
2,60	0,01358	-0,13279	0,11053

№ Шага	Действие
1	Введите эмпирические данные
2	Для рассчитанной величины ТАУ (по модулю) введите с листа f(0) f(III) f(IV) значение функции f(0) и ее III и IV производные (для удобства используйте "Буфер обмена")
3	В диапазоне C21-C32 будут рассчитаны теоретические частоты
4	Сравнение рассчитанного Хи квадрата Пирсона с табличным значением укажет на успешность аппроксимации Вашего эмпирического ряда распределения
5	Перед просмотром графика ОБЯЗАТЕЛЬНО очистите "Буфер обмена" (если он использовался)

расчет теоретических частот	
класс	теоретические частоты
0	0
1	6
2	13
3	18
4	19
5	16
6	12
7	8
8	5
9	3
10	1

Значение Хи квадрата Пирсона расчетное составляет	5,48
Табличное значение Хи квадрата Пирсона составляет	14,1

теоретический ряд ОПИСЫВАЕТ эмпирическое распределение

Расчет
Ввод-Результат
График
f(0) f(III) f(IV)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	TAY	f0	fIII	fIV		TAY	f0	fIII	fIV		TAY	f0	fIII	fIV		TAY	f0	fIII	fIV		TAY	fI
2	0	0.39894	0	1.19683		0.5	0.35207	0.48409	0.5501		1	0.24197	0.48394	-0.48394		1.5	0.12952	0.14571	-0.70425		2	0.0
3	0.01	0.39892	0.01197	1.19653		0.51	0.35029	0.43948	0.52791		1.01	0.23955	0.47903	-0.49827		1.51	0.12758	0.13869	-0.69937		2.01	0.0
4	0.02	0.39896	0.02393	1.19643		0.52	0.34849	0.49465	0.50556		1.02	0.23713	0.47398	-0.51222		1.52	0.12566	0.13172	-0.69423		2.02	0.0
5	0.03	0.39876	0.03588	1.19414		0.53	0.34667	0.49959	0.48308		1.03	0.23471	0.46879	-0.52573		1.53	0.12376	0.12481	-0.68881		2.03	0.0
6	0.04	0.39862	0.04791	1.19204		0.54	0.34492	0.50431	0.46948		1.04	0.23223	0.46346	-0.53987		1.54	0.12188	0.11795	-0.68314		2.04	0.0
7	0.05	0.39844	0.05972	1.18936		0.55	0.34294	0.50988	0.43777		1.05	0.22989	0.45801	-0.55516		1.55	0.12001	0.11114	-0.67721		2.05	0.0
8	0.06	0.39822	0.07159	1.18608		0.56	0.34105	0.51306	0.41487		1.06	0.22747	0.45243	-0.56993		1.56	0.11816	0.1044	-0.67104		2.06	0.0
9	0.07	0.39797	0.08344	1.18221		0.57	0.33912	0.5171	0.39208		1.07	0.22506	0.44673	-0.57584		1.57	0.11632	0.09772	-0.66483		2.07	0.0
10	0.08	0.39767	0.09524	1.17775		0.58	0.33718	0.52091	0.36913		1.08	0.22265	0.44092	-0.58734		1.58	0.11445	0.09111	-0.65799		2.08	0.0
11	0.09	0.39733	0.10699	1.17271		0.59	0.33521	0.52448	0.34613		1.09	0.22025	0.43499	-0.59843		1.59	0.1127	0.08456	-0.65113		2.09	0.0
12	0.1	0.39695	0.11869	1.16708		0.6	0.33322	0.52783	0.32309		1.1	0.21785	0.42895	-0.60909		1.6	0.11092	0.07809	-0.64405		2.1	0.0
13	0.11	0.39654	0.13033	1.16088		0.61	0.33121	0.53094	0.30003		1.11	0.21546	0.42281	-0.61934		1.61	0.10915	0.07168	-0.63677		2.11	0.0
14	0.12	0.39608	0.1419	1.1541		0.62	0.32918	0.53383	0.27696		1.12	0.21307	0.41657	-0.62917		1.62	0.10741	0.06535	-0.62928		2.12	0.0
15	0.13	0.39559	0.15341	1.14676		0.63	0.32713	0.53648	0.25359		1.13	0.21069	0.41023	-0.63857		1.63	0.10567	0.0591	-0.62161		2.13	0.0
16	0.14	0.39505	0.16484	1.13885		0.64	0.32506	0.53891	0.23085		1.14	0.20831	0.4038	-0.64755		1.64	0.10396	0.05292	-0.61375		2.14	0.0
17	0.15	0.39449	0.17618	1.13038		0.65	0.32297	0.5411	0.20793		1.15	0.20594	0.39728	-0.65611		1.65	0.10226	0.04682	-0.60571		2.15	0.0
18	0.16	0.39397	0.18744	1.12137		0.66	0.32086	0.54306	0.18488		1.16	0.20357	0.39067	-0.66425		1.66	0.10059	0.04081	-0.59751		2.16	0.0
19	0.17	0.39322	0.19861	1.1118		0.67	0.31874	0.5448	0.16195		1.17	0.20121	0.38399	-0.67196		1.67	0.09893	0.03487	-0.58914		2.17	0.0
20	0.18	0.39253	0.20968	1.1017		0.68	0.31659	0.5463	0.13912		1.18	0.19886	0.37724	-0.67924		1.68	0.09728	0.02903	-0.58063		2.18	0.0
21	0.19	0.39181	0.22064	1.09106		0.69	0.31443	0.54758	0.11636		1.19	0.19652	0.37041	-0.68681		1.69	0.09566	0.02326	-0.57202		2.19	0.0
22	0.2	0.39104	0.2315	1.0799		0.7	0.31225	0.54863	0.09371		1.2	0.19419	0.36352	-0.69255		1.7	0.09405	0.01759	-0.56316		2.2	0.0
23	0.21	0.39024	0.24224	1.06823		0.71	0.31006	0.54945	0.07116		1.21	0.19186	0.35656	-0.69857		1.71	0.09246	0.012	-0.55422		2.21	0.0
24	0.22	0.3894	0.25286	1.05604		0.72	0.30785	0.55005	0.04874		1.22	0.18954	0.34955	-0.70417		1.72	0.09089	0.0065	-0.54516		2.22	0.0
25	0.23	0.38853	0.26336	1.04335		0.73	0.30563	0.55043	0.02646		1.23	0.18724	0.34248	-0.70935		1.73	0.08933	0.0011	-0.53599		2.23	0.0
26	0.24	0.38762	0.27373	1.03018		0.74	0.30339	0.55058	0.00433		1.24	0.18494	0.33536	-0.71411		1.74	0.08778	-0.00422	-0.52671		2.24	0.0
27	0.25	0.38667	0.28396	1.01651		0.75	0.30114	0.55052	-0.01764		1.25	0.18265	0.3282	-0.71847		1.75	0.08628	-0.00944	-0.51733		2.25	0.0
28	0.26	0.38567	0.29405	1.00238		0.76	0.29887	0.55023	-0.03944		1.26	0.18037	0.32099	-0.72241		1.76	0.08478	-0.01456	-0.50785		2.26	0.0
29	0.27	0.38466	0.30401	0.98778		0.77	0.29659	0.54973	-0.06106		1.27	0.1781	0.31375	-0.72594		1.77	0.08329	-0.01959	-0.49829		2.27	0.0
30	0.28	0.38361	0.31381	0.97273		0.78	0.2943	0.54901	-0.08248		1.28	0.17585	0.30648	-0.72907		1.78	0.08183	-0.02453	-0.48885		2.28	0.0
31	0.29	0.38251	0.32346	0.95723		0.79	0.292	0.54808	-0.10369		1.29	0.1736	0.29917	-0.7318		1.79	0.08038	-0.02937	-0.47983		2.29	0.0
32	0.3	0.38139	0.33295	0.9413		0.8	0.28969	0.54694	-0.12468		1.3	0.17137	0.29184	-0.73413		1.8	0.07895	-0.03411	-0.46915		2.3	0.0
33	0.31	0.38023	0.34228	0.92495		0.81	0.28737	0.54559	-0.14545		1.31	0.16915	0.28449	-0.73606		1.81	0.07754	-0.03875	-0.45932		2.31	0.0
34	0.32	0.37903	0.35145	0.90819		0.82	0.28504	0.54403	-0.16597		1.32	0.16694	0.27712	-0.7376		1.82	0.07614	-0.04329	-0.44943		2.32	0.0
35	0.33	0.37778	0.36045	0.89103		0.83	0.28269	0.54227	-0.18624		1.33	0.16474	0.26974	-0.73876		1.83	0.07477	-0.04774	-0.4395		2.33	0.0
36	0.34	0.37654	0.36927	0.87348		0.84	0.28034	0.54031	-0.20626		1.34	0.16256	0.26235	-0.73953		1.84	0.07341	-0.05208	-0.42953		2.34	0.0
37	0.35	0.37524	0.37791	0.85555		0.85	0.27798	0.53814	-0.226		1.35	0.16038	0.25495	-0.73993		1.85	0.07206	-0.05633	-0.41953		2.35	0.0
38	0.36	0.37391	0.38638	0.83726		0.86	0.27562	0.53579	-0.24546		1.36	0.15822	0.24755	-0.73995		1.86	0.07074	-0.06047	-0.4095		2.36	0.0
39	0.37	0.37255	0.39466	0.81862		0.87	0.27324	0.53324	-0.26464		1.37	0.15608	0.24016	-0.73961		1.87	0.06943	-0.06452	-0.39946		2.37	0.0
40	0.38	0.37115	0.40275	0.79963		0.88	0.27086	0.53049	-0.28351		1.38	0.15395	0.23276	-0.7389		1.88	0.06814	-0.06846	-0.3894		2.38	0.0
41	0.39	0.36973	0.41065	0.78032		0.89	0.26848	0.52757	-0.30208		1.39	0.15183	0.22537	-0.73784		1.89	0.06687	-0.07231	-0.37934		2.39	0.0
42	0.4	0.36827	0.41835	0.7607		0.9	0.26609	0.52445	-0.32034		1.4	0.14973	0.218	-0.73642		1.9	0.06562	-0.07605	-0.36928		2.4	0.0
43	0.41	0.36678	0.42586	0.74077		0.91	0.26369	0.52116	-0.33827		1.41	0.14764	0.21065	-0.73486		1.91	0.06438	-0.07969	-0.35923		2.41	0.0
44	0.42	0.36526	0.43317	0.72056		0.92	0.26129	0.51769	-0.35587		1.42	0.14556	0.20331	-0.73256		1.92	0.06316	-0.08323	-0.34918		2.42	0.0

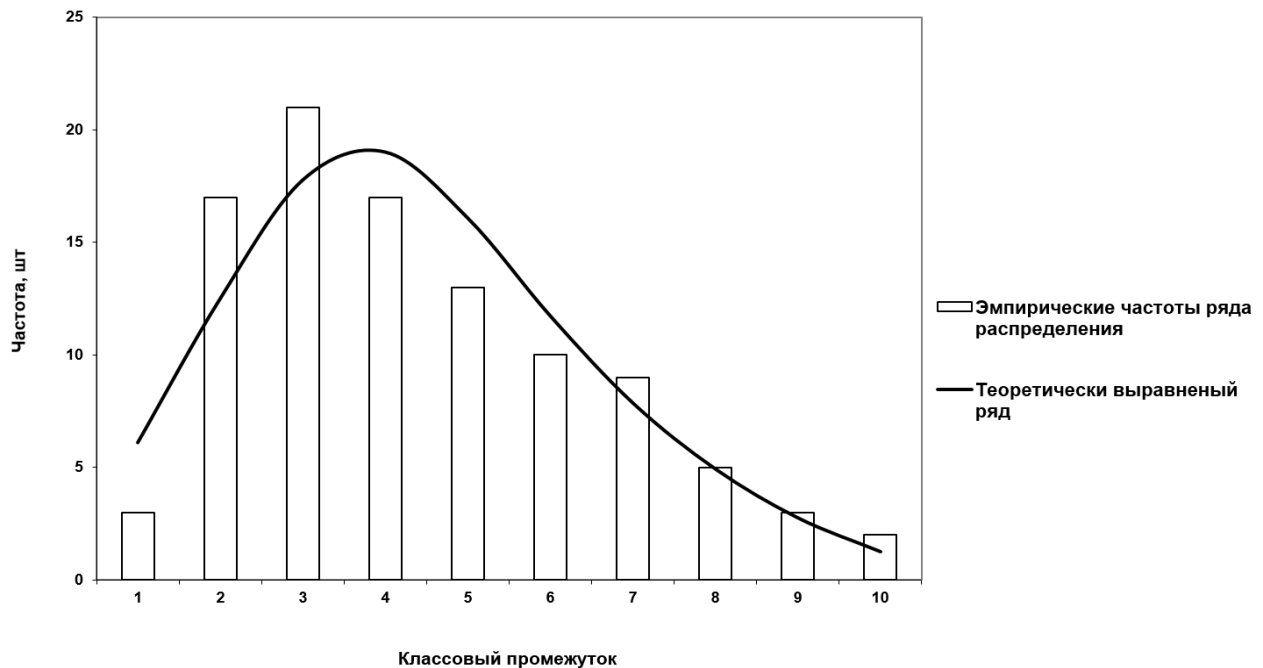
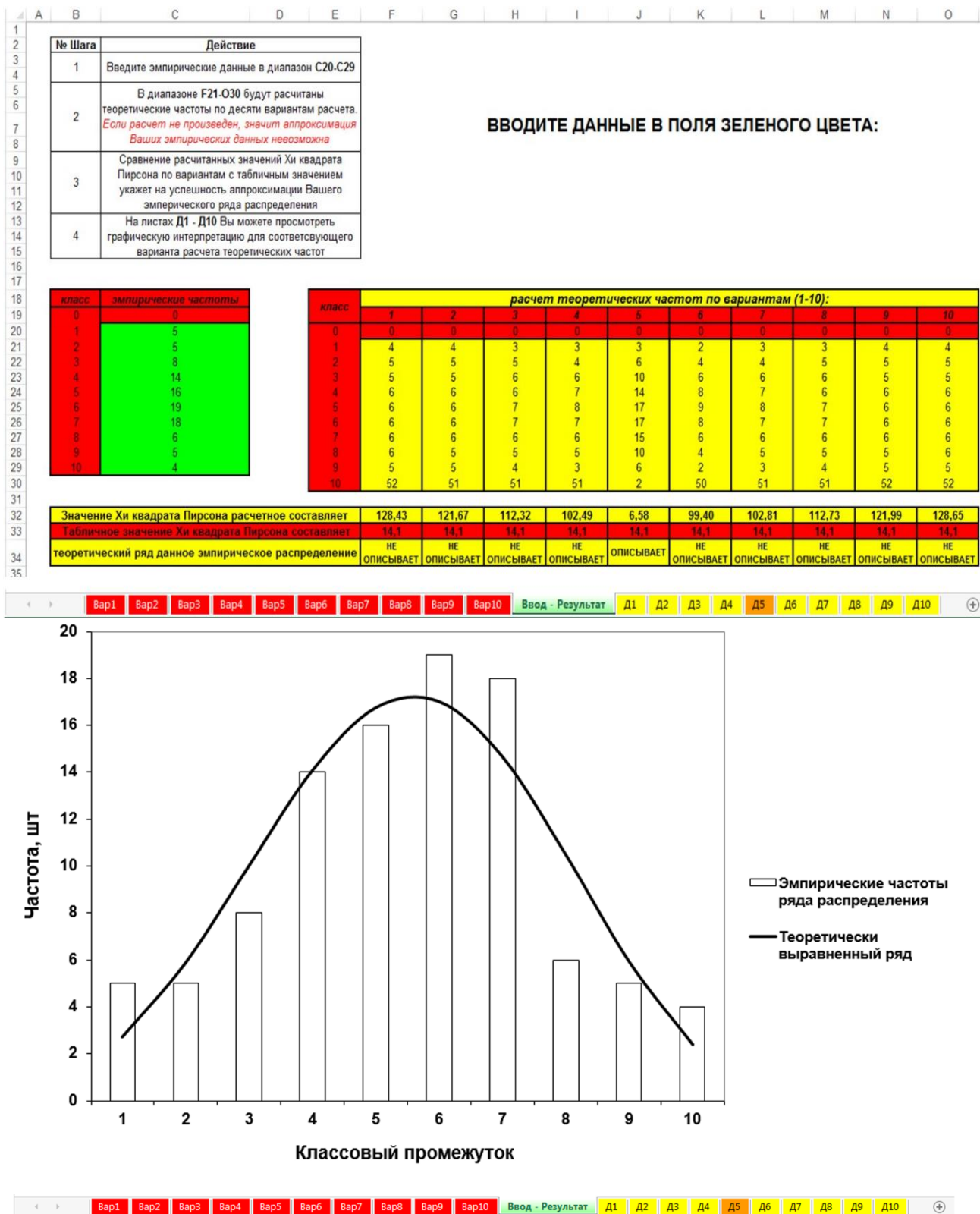


Рисунок 3.5. Интерфейс программы Лескаф и вывод результата по модели Грам-Шарлье тип А



**Рисунок 3.6.** Интерфейс программы Лескаф и вывод результата по модели К. Пирсона

**ВВОДИТЕ ДАННЫЕ В ПОЛЯ ЗЕЛЕННОГО ЦВЕТА:**

класс	эмпирические частоты
0	0
1	1
2	15
3	24
4	21
5	19
6	11
7	3
8	4
9	1
10	1

класс	теоретических частот
0	0
1	2
2	13
3	24
4	23
5	17
6	10
7	6
8	3
9	1
10	1

№ Шага	Действие
1	Введите эмпирические данные в диапазон C8-C17
2	В диапазон C22-C24 введите значения X для Y равного соответственно 5, 50, 95 процентов, предварительно сняв их с листа "Нак % = f(Ступ толщ)"
3	В диапазоне G8-G17 будут рассчитаны теоретические частоты. <i>Если расчет не произведен, значит аппроксимация Ваших эмпирических данных невозможна</i>
4	Сравнение рассчитанного Хи квадрата Пирсона с табличным значением укажет на успешность аппроксимации Вашего эмпирического ряда распределения
5	На листе "Ряд распределения" Вы можете просмотреть графическую интерпретацию расчета теоретических частот

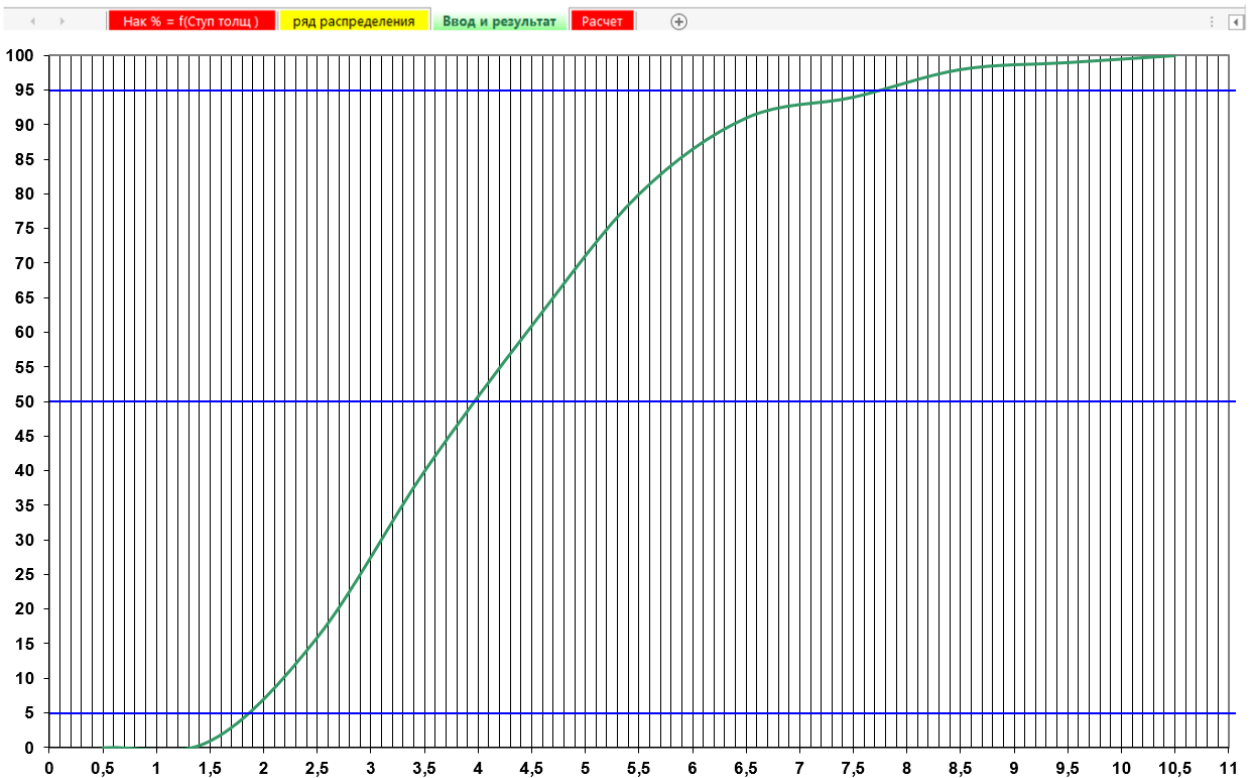
  

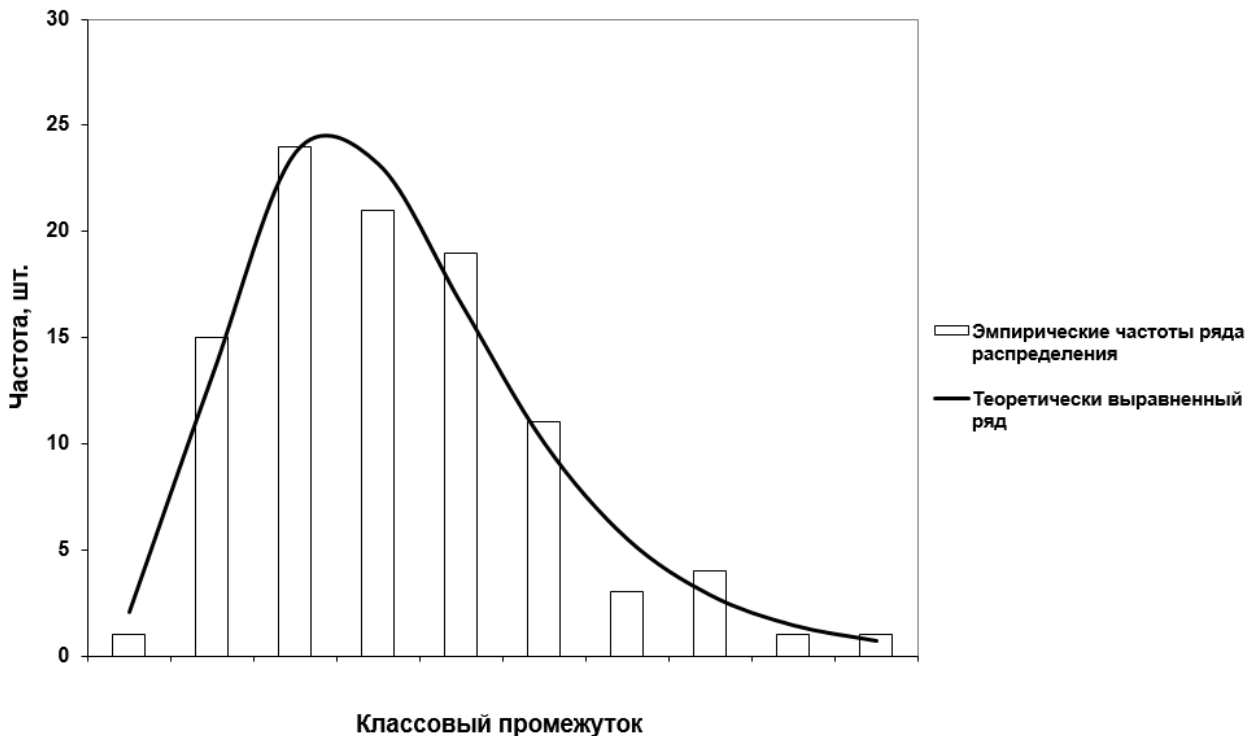
ВВЕСТИ КВАНТИЛИ	
для 5 %	1.95
для 50 %	3.95
для 95 %	7.7

Значение Хи квадрата Пирсона расчетное составляет	3,3
Табличное значение Хи квадрата Пирсона составляет	14,1

**теоретический ряд ОПИСЫВАЕТ эмпирическое распределение**





**Рисунок 3.7.** Интерфейс программы Лескаф и вывод результата по модели Н.Л. Джонсона

### 3.2.4. Многомерная классификация вариационных рядов

Методикой многомерной классификации вариационных рядов предусмотрено разбить всю совокупность рядов на схожие группы по комплексу переменных, которые характеризуют каждый конкретный ряд. Для этого каждый ряд был представлен накопленным распределением частот (огивой), построенным по 10 классовым промежуткам. Затем с графика снимаются квантили, соответствующие классам толщины деревьев. Таким образом, получено 9 значений рангов деревьев, относящихся к верхней границе первого, второго и т. д. до девятого классов. Дополнительно к девяти переменным добавлены три переменные, характеризующие масштаб ряда - средний диаметр ( $D_{cp}$ ) и значения диаметров, соответствующие размаху варьирования ( $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ).

Подготовленный массив данных представляется таблицей, в которой каждая из 120 строк соответствует конкретному вариационному ряду (пробной площади).

Двенадцать столбцов представляют значения вышеуказанных переменных ( $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ ).

Далее затабулированный массив данных подлежал статистической обработке поочерёдно: 1) факторным, 2) кластерным, 3) дискриминантным анализом.

Факторный анализ позволяет оценить автокорреляцию переменных, выявить главные компоненты (факторы), придать им семантический смысл, представить ряды в системе координат факторов для включения в кластерный анализ.

Кластерный анализ позволяет построить дендрограмму кластеризации вариационных рядов по объединяющей стратегии, а также распределить кластеры на плоскости двух факторов по разделяющей стратегии.

Дискриминантный анализ завершает решение классификационной задачи и позволяет дать критериальную оценку достоверности многомерной классификации рядов по суммарному межкластерному и межкластерному расстоянию Махаланобиса ( $D^2$ ).

Решение классификационных задач осуществлялось пакетом прикладных программ STADIA в среде Windows (Кулаичев, 1999).

### **3.3.5. Моделирование строения древостоев по накопленной частоте середины размаха варьирования толщины деревьев**

Новое научно-методическое решение задачи динамики строения древостоев было предложено В.К. Хлюстовым (2007) в рамках исполнения Государственного контракта с Федеральным агентством лесного хозяйства № МГ-06-06/63к от 3 июля 2007 г. по теме: «Разработка методических рекомендаций и нормативов актуализации таксационных показателей древостоев для основных лесообразующих пород по лесным районам».

Для описания закономерностей изменения формы рядов распределения автором методики предложен способ, названный «классово - ранговой

регрессией». Суть способа заключается в следующем. В качестве масштабной составляющей используются среднеквадратический ( $D_{скв}$ ), максимальный ( $d_{max}$ ) и минимальный ( $d_{min}$ ) диаметры деревьев в вариационном ряду с десятью классовыми промежутками:

$$d_{max}=3,8157D^{0,7766}; \quad R^2=0,986$$

$$d_{min}=0,0896D^{1,323}; \quad R^2=0,947$$

В качестве показателя формы использованы не асимметрия ( $As$  или  $r_3$ ) и эксцесс ( $E$  или  $r_4$ ), а процент накопленных частот в 5-м классом промежутке вариационного ряда ( $R_V$ ).

Для ясности приведем регрессионные модели, которые были ранее получены автором методики для сосновых древостоев Европейской части России:

$$R_V = \exp(5,24472 + 0,17793 \ln d_{min} - 0,29143 \ln^2 D_{скв} - 0,87059 \ln d_{max} + 0,33622 \ln^2 d_{max})$$

$$R^2 = 0,995; \quad t > t_{05} = 2,0; \quad F = 632,0.$$

Для расчёта значений накопленной частоты по каждому из 10 классовых промежутков ряда распределения использованы регрессии общего вида:

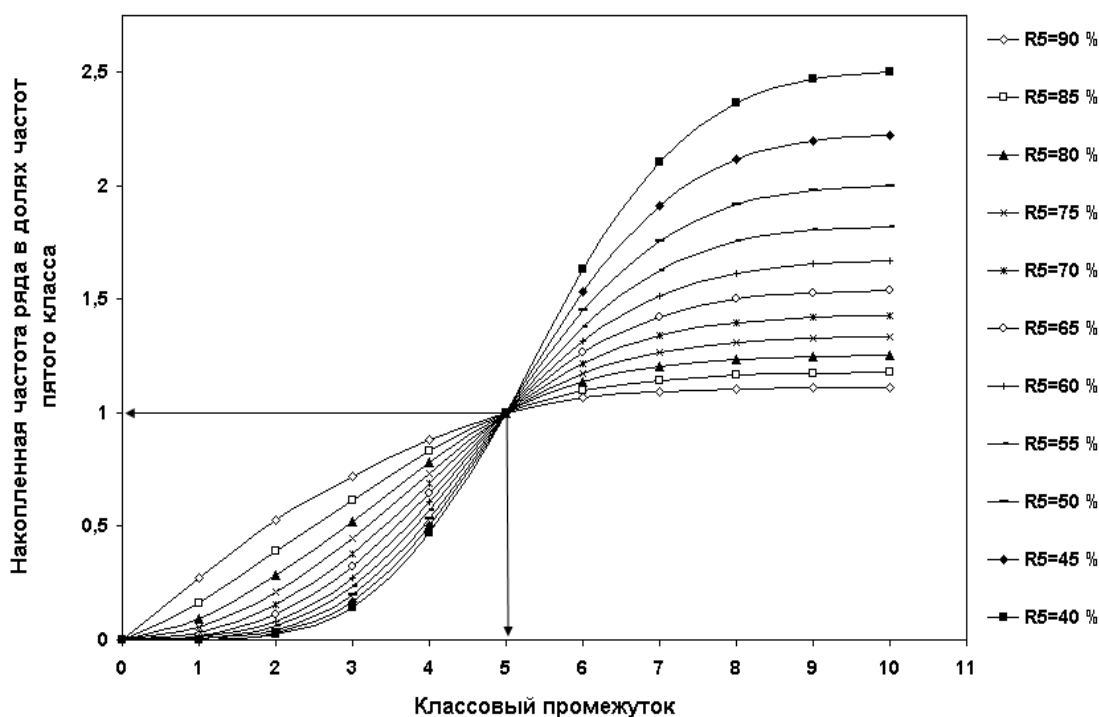
$R_{I-IV} = a \exp(bR_V)$  для I-IV классов и  $R_{VI-X} = a(R_V)^b$  для VI-X классов, численные коэффициенты которых сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Численные коэффициенты уравнений регрессии для сосновых древостоев

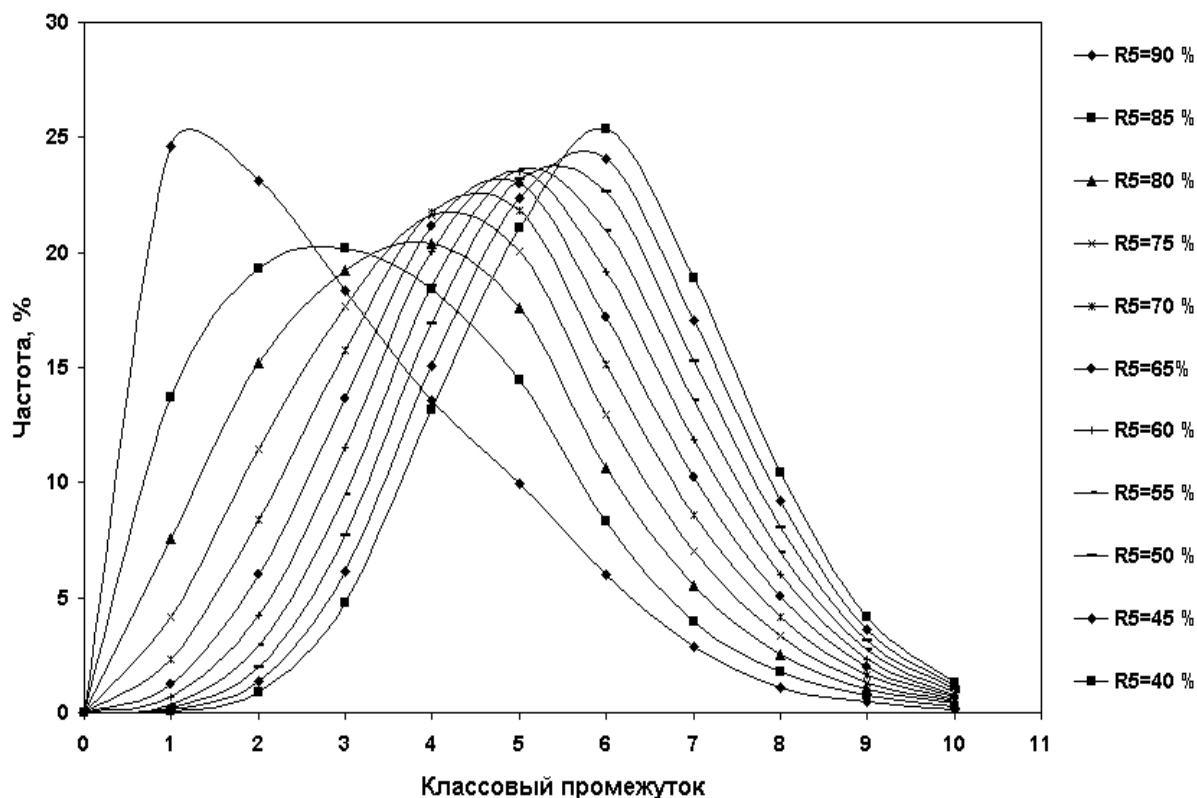
Класс	Коэффициент регрессии		Класс	Коэффициент регрессии	
	a	b		a	b
I	0,00002	0,1058	VI	11,435	-0,5275
II	0,0020	0,0621	VII	41,619	-0,8089
III	0,0400	0,0323	VIII	75,644	-0,9393
IV	0,2869	0,0125	IX	94,009	-0,9865
V	1,0	1,0	X	100,000	-1,0000

Построением моделей изменения относительной накопленной частоты по классам толщины деревьев от ранга деревьев в 5-м классе получаем кривые изменения формы распределения (рис. 3.8, 3.9).

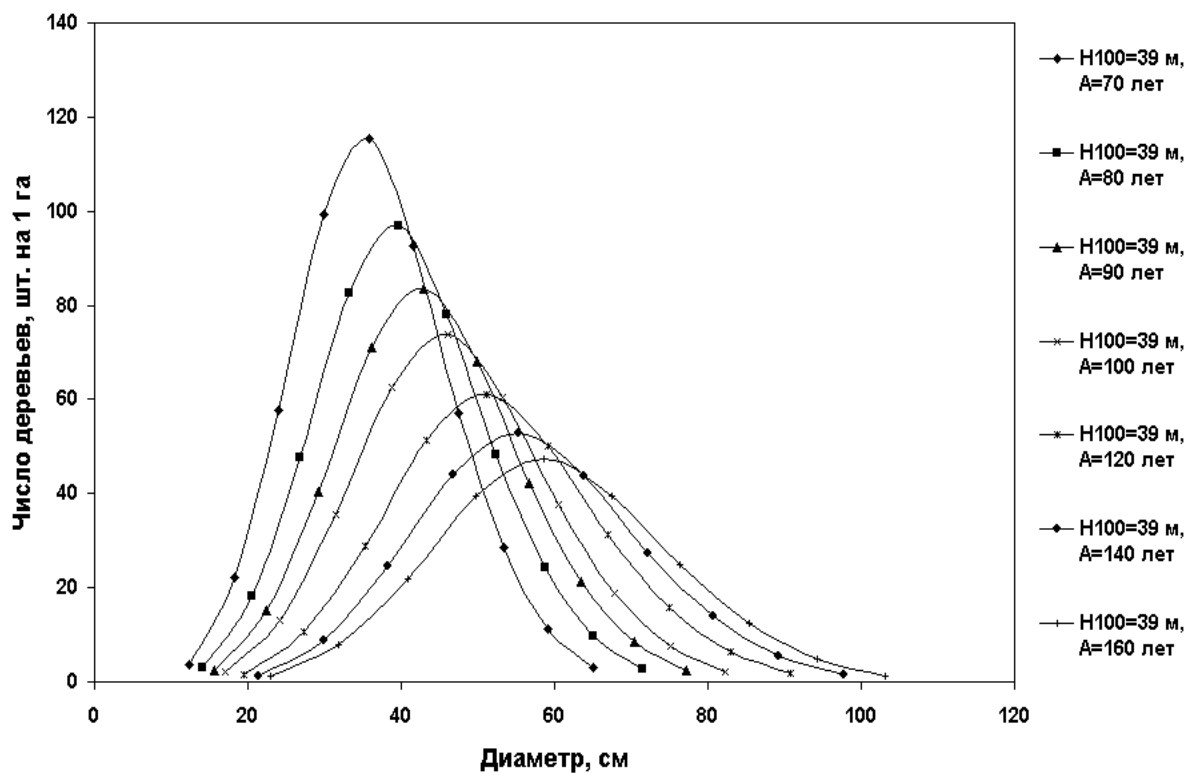
Наличие взаимосвязей  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  со среднеквадратическим диаметром, а затем  $R_V$  с указанными показателями масштаба рядов позволяет получить накопленное распределение частот в каждом из 10 классовых промежутков толщины деревьев. Именно этот методический прием позволяет состыковать модель возрастного изменения среднего диаметра и числа стволов с распределением деревьев по толщине во всем диапазоне уровней продуктивности и полноты древостоев. Наглядно итоговые решения задачи моделирования динамики строения древостоев показано на рисунках 3.10 и 3.11.



**Рисунок 3.8.** Изменение относительной накопленной частоты по классовым промежуткам сосновых древостоев при разном ранге деревьев в пятом классе (по В.К. Хлюстову, 2007)

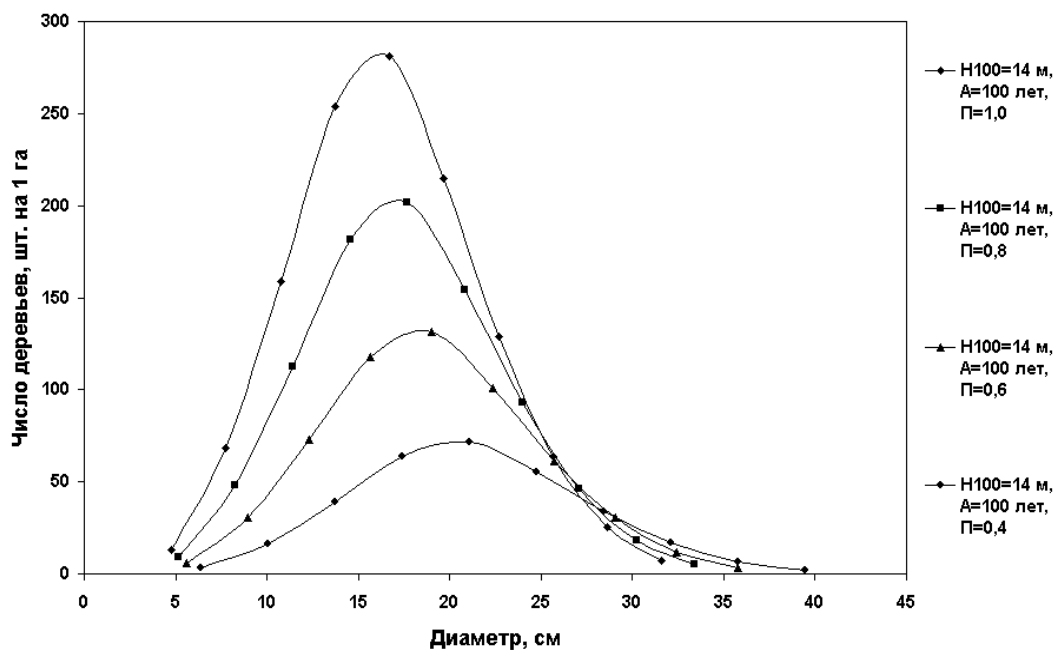


**Рисунок 3.9.** Распределение частот по классовым промежуткам сосновых древостоев при разном ранге деревьев в пятом классе





**Рисунок 3.10.** Распределение числа деревьев по классам толщины деревьев в сомкнутых сосновых древостоях различного возраста (70-160 лет) при  $H_{100} = 39$  м



**Рисунок 3.11.** Распределение числа деревьев по классам толщины деревьев в сосновых древостоях 100-летнего возраста с разной полнотой при  $H_{100} = 14$  м

Основные элементы метода моделирования возрастного изменения частот распределения вариационного ряда подробно изложены в работах В.К. Хлюстова (2015а, 2015б).

### 3.3. Объём выполненных работ

Собраный полевой экспериментальный материал позволил охватить экологическую нишу произрастания основных лесообразующих пород Западно-Казахстанской части поймы реки Урал (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Объекты для проведения статистического анализа

Лесорастительная формация	Группа типов леса	Выделов, ед.	Пробных площадей, ед.	Измерений деревьев, изм.	
				диаметров	высот
Осокорники	Овпр	86	-	-	-
	Онпр	572	17	4185	353
	Онц	463	8	1809	53
	Оспр	1428	47	11109	648
	Осц	655	48	10128	228
Белотопольники	Тбвц	62	-	-	-
	Тбспр	1167	-	-	-
	Тбсц	1670	-	-	-
Ветловники	Иднпр	899	-	-	-
	Иднц	680	-	-	-
	Идсц	192	-	-	-
Дубняки	Дсвц	305	-	-	-
Вязовники	Всвц	417	-	-	-

Статистической обработкой полевого материала охвачено 78 динамических рядов, представляющих для отдельных элементов леса среднестатистические средние высоты и средние диаметры древостоев по группам типов леса. Проведено построение 156 регрессий предельных значений средних высот и средних диаметров от среднестатистических значений. Построено 140 вариационных рядов для моделирования статистики и динамики кривых распределения деревьев по таксационным показателям в размахе варьирования толщины деревьев. Для интерпретации закономерностей возрастного изменения роста, строения и продуктивности древостоев по элементам леса построено 88 графиков и 13 поверхностей регрессии.

## **4. Многомерные эколого-таксационные закономерности хода роста древостоев**

### **4.1. Возрастное изменение средней высоты и диаметра древесных пород в группах типов леса**

В настоящее время лесное хозяйство Западно-Казахстанской области не располагает необходимыми нормативно-справочными материалами для достоверной оценки хода роста отдельных элементов леса (Антанайтис и др., 1986; Антанайтис, 1982, 1985). И как следствие отсутствует научно обоснованная система оптимизации породного состава лесов, режима промежуточного и главного пользования древесиной (Анучин, 1971, 2004; Багинский и др., 2012). Только усовершенствование и обновление лесотаксационных нормативов с учетом ландшафтно-экологических условий позволяет решить проблему, как текущей инвентаризации лесных насаждений, так и прогнозирования динамики роста древостоев, что является актуальной задачей для региона исследований с теоретической и с практической точек зрения (Антанайтис и др., 1967).

В отличие от принятых в России классификационных схем типов леса и типов лесорастительных условий в Западно-Казахстанской части бассейна реки Урал принята ландшафтно-типологическая классификация мест произрастания насаждений (Бирюков, 1982). Поэтому и результаты исследований, полученные по данным с правобережной части реки Урал на территории Оренбургской области, где используется классификация типов лесорастительных условий Погребняка-Алексеева (Погребняк, 1955), существенно отличаются от казахстанских материалов.

В этом разделе работы было предусмотрено выявление закономерностей хода роста и продуктивности отдельных элементов дендроценоза в естественно формирующихся смешанных насаждениях преобладающих групп типов леса лесорастительных формаций, представленных ниже.

#### 4.1.1. Лесорастительная формация – Осокорники

Формация представлена группой типов леса - осокорники средних уровней прирусловые (ОСПР).

Для решения поставленной задачи была проведена статистическая обработка дендрометрических данных (средних значений высоты и диаметра стволов, совместно произрастающих древесных пород: тополя чёрного (*Populus nigra*), тополя белого (*Populus alba*), ивы белой (*Salix alba*) и вяза гладкого (*Ulmus laevis Pall*) в разном возрасте древостоев. Результаты анализа приведены в приложении 1.

Для построения многомерных статистических моделей хода роста по средней высоте и диаметру древостоев для ландшафтно-типологической группы типов леса ОСПР были использованы данные 1428 выделов. Наряду с этим, были использованы материалы прицельно измерительной таксации средних высот и средних диаметров стволов деревьев по элементам леса на 1428 лесотаксационных выделах.

Статистический анализ дендрометрических данных (средних значений высот и диаметров стволов деревьев) у совместно произрастающих конкретных древесных пород предусматривал дать оценку возрастного (по 10-летиям) изменения средних значений высот ( $H$ , м) и диаметров ( $D$ , см), ошибок и точности их определения ( $\pm m_D$ , см;  $\pm m_H$ , м;  $\pm P_D$ , %;  $\pm P_H$  %), величины стандартного отклонения ( $\sigma_H$ , м;  $\sigma_D$ , см), размаха варьирования ( $H_{\min}$ ,  $H_{\max}$ ;  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ) и коэффициента вариации ( $V_H$ , %;  $V_D$ , %).

Ранжирование доли участия древесных пород представлено рядом:

тополь чёрный - 70%, тополь белый - 10%, ива белая - 15%, вяз гладкий - 5%.

Статистический анализ дендрометрических данных, проведённый по десятилетиям (Раздел 3.3.1) указывает на закономерное изменение с возрастом как самих статистических показателей, так и ошибок репрезентативности. По всем анализируемым десятилетиям отношение статистического показателя (СП) к его ошибке ( $t = \text{СП} / \pm m_{\text{СП}}$ ) значительно больше 3,0, что указывает на

достоверность данных для статистического моделирования хода роста по элементам леса.

На этапе построения статистической модели хода роста смешанных древостоев была использована матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород при формировании массива данных, представленных блоковыми фиктивными переменными (таблица 4.1). Синергетическое сочетание блоковых фиктивных переменных с ростовой функцией Корсуня-Бакмана позволило построить уравнение регрессии по средней высоте, уравнение (1).

Таблица 4.1. Матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород при построении уравнений регрессии

Древесная порода	Блоковые фиктивные переменные		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Вяз гладкий	0	0	0
Ива белая	1	0	0
Тополь белый	0	1	0
Тополь чёрный	0	0	1

$$H_{cp}^{cp} = \exp(-1,93922 + 1,80468 \ln A - 0,16558 \ln^2 A + \ln A(0,38679X_1 + 0,45229X_2 + 0,46133X_3) + \ln^2 A(-0,08422X_1 - 0,08770X_2 - 0,09846X_3)) \quad (1)$$

$$R^2 = 0,989; SE = \pm 6,3\%; F = 469,5 \text{ при } P < 0,05; t_{pac} > t_{05} = 1,96$$

Достаточно высокий коэффициент детерминации уравнения ( $R^2=0,989$ ), значимость численных коэффициентов ( $t_{pac} > t_{05} = 1,96$ ) указывает на статистическую надёжность полученного уравнения хода роста средней высоты из средних значений по массиву данных.

Вместе с тем размах варьирования средних высот с возрастом увеличивается и очень тесно связан с усреднённой линией регрессии, рассчитанной по уравнению (1). Для определения минимальных и максимальных значений средних высот достаточно воспользоваться регрессиями вида:

$$H_{min}^{cp} = 0,4197H_{cp}^{1,1367} \quad R^2=0,948 \quad (2)$$

$$H_{max}^{cp} = 2,7667H_{cp}^{0,7987} \quad R^2=0,967 \quad (3)$$

Если в 10-летнем возрасте для вяза гладкого пределы средних высот находятся в диапазоне от 1,9 до 8,1 м, то к 70 годам они уже значительно шире от 9,4 до 24,7 м. Аналогичная закономерность проявляется у всех лесобразующих пород. Нормативная основа для оценки трёх уровней продуктивности (минимального, среднего и максимального) по каждому элементу дендроценоза в условиях ОСПР представлена в таблице 4.2.

Для визуализации хода роста по высоте, оценки асинхронности динамических изменений в соответствии с уровнями продуктивности и исходными данными представлен рисунок 4.1. На нём отчётливо просматриваются различия в темпах роста как по породам, так и по уровням продуктивности.

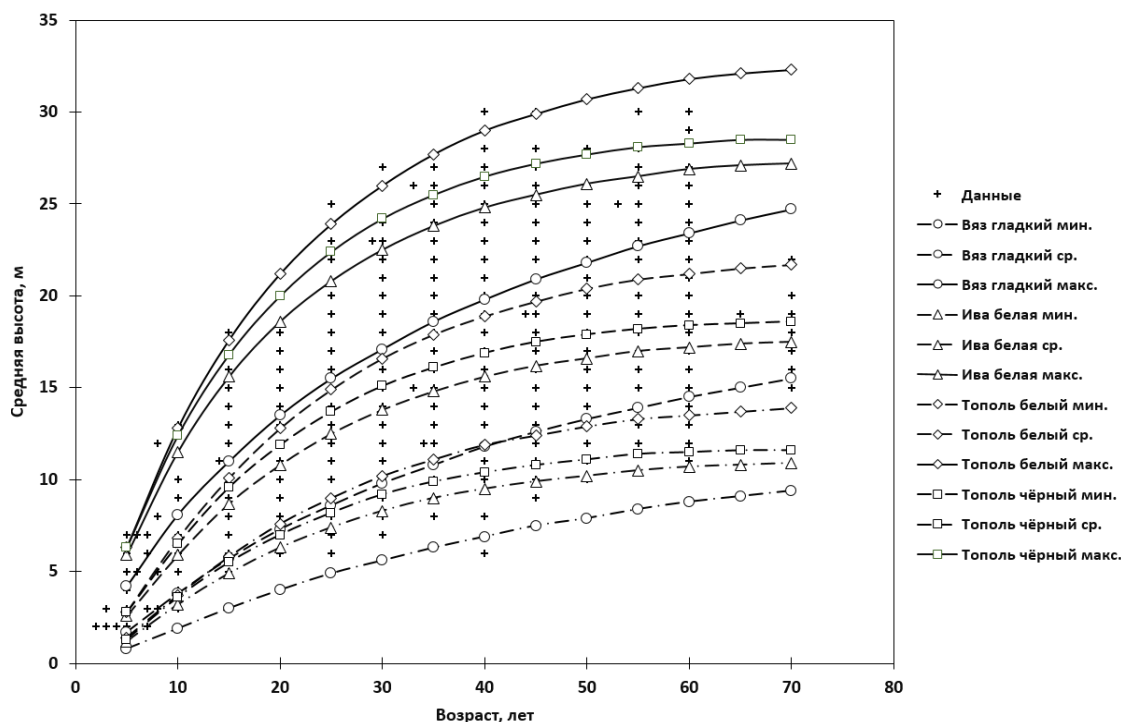
Таблица 4.2. Ход роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Вяз гладкий			Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	0,8	1,7	4,2	1,2	2,6	5,9	1,4	2,8	6,3	1,3	2,8	6,3
10	1,9	3,8	8,1	3,2	5,9	11,5	3,7	6,8	12,8	3,6	6,5	12,4
15	3,0	5,7	11,0	4,9	8,7	15,6	5,8	10,1	17,6	5,5	9,6	16,8
20	4,0	7,3	13,5	6,3	10,8	18,6	7,6	12,8	21,2	7,0	11,9	20,0
25	4,9	8,6	15,5	7,4	12,5	20,8	9,0	14,9	23,9	8,2	13,7	22,4
30	5,6	9,8	17,1	8,3	13,8	22,5	10,2	16,6	26,0	9,2	15,1	24,2
35	6,3	10,8	18,6	9,0	14,8	23,8	11,1	17,9	27,7	9,9	16,1	25,5
40	6,9	11,8	19,8	9,5	15,6	24,8	11,9	18,9	29,0	10,4	16,9	26,5
45	7,5	12,6	20,9	9,9	16,2	25,5	12,4	19,7	29,9	10,8	17,5	27,2
50	7,9	13,3	21,8	10,2	16,6	26,1	12,9	20,4	30,7	11,1	17,9	27,7
55	8,4	13,9	22,7	10,5	17,0	26,5	13,3	20,9	31,3	11,4	18,2	28,1
60	8,8	14,5	23,4	10,7	17,2	26,9	13,5	21,2	31,8	11,5	18,4	28,3
65	9,1	15,0	24,1	10,8	17,4	27,1	13,7	21,5	32,1	11,6	18,5	28,5
70	9,4	15,5	24,7	10,9	17,5	27,2	13,9	21,7	32,3	11,6	18,6	28,5

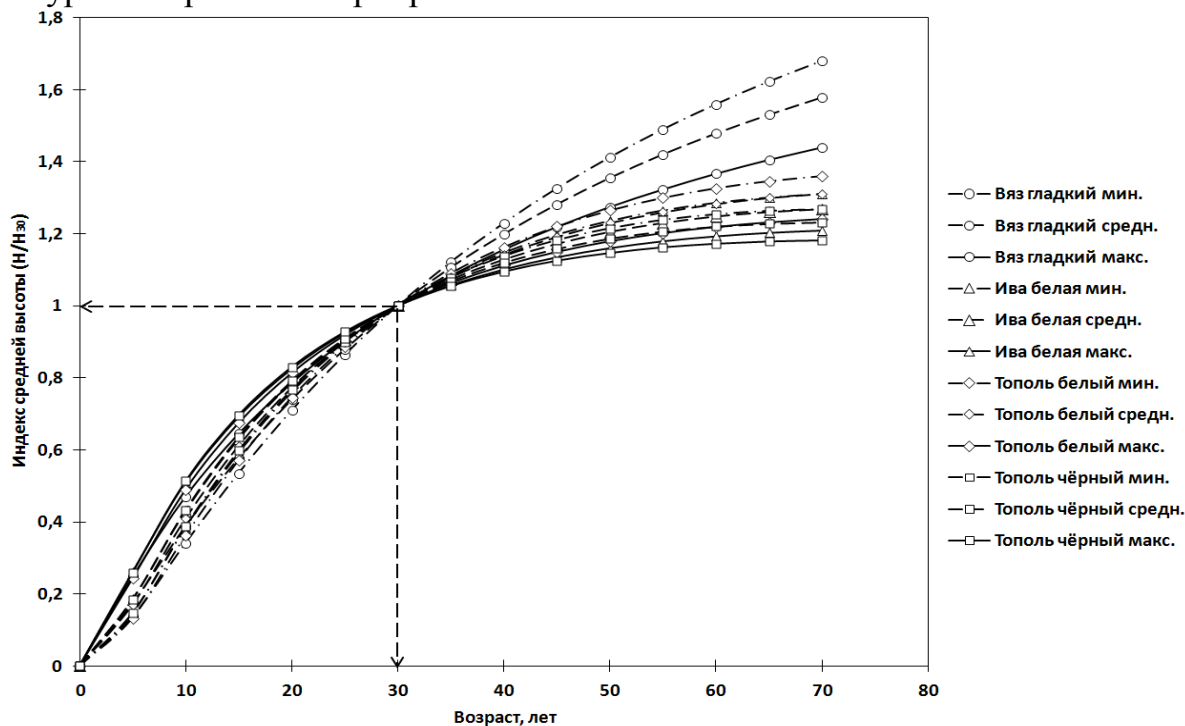
Асинхронность кривых хода роста подтверждается индексными кривыми средних высот, выраженных в долях высоты в 30 - летнем возрасте (рис. 4.2).

Представленные индексные кривые хода роста по средней высоте элементов дендроценоза в ОСПР указывают на существенные расхождения в темпах их роста, а также на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам. При этом в пределах каждой породы следует дифференцировать уровни продуктивности по классам высот с градацией по 1 -

или 2 - метровым ступеням в 30-летнем возрасте древостоев. Такой методический приём позволяет получить для каждой ландшафтно-типологической группы леса свою шкалу уровней продуктивности древостоев, а это, в свою очередь, даёт основание отказаться от условно принятой бонитетной шкалы и перейти на экологически обоснованную лесотипологическую шкалу классов высот.



**Рисунок 4.1.** Линии регрессии хода роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.2.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ОСПР

Наряду с моделированием закономерностей хода роста по средней высоте был проведён аналогичный анализ данных по среднему диаметру деревьев каждого элемента леса. Была получена регрессионная модель хода роста (4).

$$D_{\text{cp}}^{\text{cp}} = \exp(-2,44686 + 1,93053 \ln A - 0,13784 \ln^2 A + \ln A(0,29893X_1 + 0,28596X_2 + 0,30645X_3) + \ln^2 A(-0,05508X_1 - 0,04341X_2 - 0,05209X_3)) \quad (4)$$
$$R^2 = 0,992; SE = \pm 7,9\%; F = 737,2 \text{ при } P < 0,05; t_{\text{pac}} > t_{05} = 1,96$$

Размах варьирования среднего диаметра определён по аллометрическим уравнениям связи (5) и (6).

$$D_{\text{min}}^{\text{cp}} = 0,8858 D_{\text{cp}}^{0,9139}; R^2=0,908 \quad (5)$$

$$D_{\text{max}}^{\text{cp}} = 1,1306 D_{\text{cp}}^{1,0734}; R^2=0,941 \quad (6)$$

Довольно высокие статистические характеристики точности уравнений связи указывают на надёжность полученных результатов и линий регрессии хода роста во всём диапазоне опытных данных.

Для составления нормативно-справочных материалов следует воспользоваться затабулированными значениями средних диаметров (табл. 4.3).

Графическая интерпретация линий регрессии роста всей совокупности элементов дендроценоза указывает на наличие различий как между древесными породами, так и по уровням -  $D_{\text{cp}}^{\text{cp}}$ ,  $D_{\text{min}}^{\text{cp}}$ ,  $D_{\text{max}}^{\text{cp}}$  отображающим размах варьирования средних диаметров (рис. 4.3). О расхождениях в темпах изменения роста средних диаметров можно судить по индексным кривым, представленным на рисунке 4.4.

Представленные индексные кривые хода роста по среднему диаметру элементов дендроценоза в ОСПР указывают на менее существенные расхождения в темпах их роста. И всё же их наличие указывает на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам с учётом возможного размаха варьирования  $D_{\text{cp}}$ .



Таблица 4.3. Ход роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Вяз гладкий			Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	1,2	1,4	1,6	1,6	1,9	2,3	1,6	1,9	2,3	1,6	1,9	2,3
10	2,8	3,6	4,4	4,1	5,3	6,7	4,2	5,5	7,0	4,2	5,5	7,0
15	4,5	5,9	7,6	6,5	8,8	11,7	6,8	9,3	12,3	6,7	9,2	12,2
20	6,0	8,2	10,8	8,7	12,2	16,6	9,2	13,0	17,8	9,1	12,8	17,5
25	7,5	10,4	13,9	10,7	15,3	21,2	11,5	16,6	23,1	11,3	16,2	22,5
30	8,9	12,5	17,0	12,6	18,3	25,5	13,7	20,0	28,2	13,3	19,4	27,2
35	10,2	14,5	20,0	14,3	20,9	29,6	15,7	23,2	33,0	15,1	22,3	31,7
40	11,4	16,4	22,8	15,8	23,4	33,3	17,5	26,1	37,5	16,8	25,0	35,9
45	12,6	18,3	25,5	17,2	25,6	36,8	19,2	28,9	41,8	18,3	27,6	39,7
50	13,7	20,0	28,2	18,5	27,7	40,0	20,7	31,5	45,9	19,8	29,9	43,4
55	14,7	21,7	30,7	19,6	29,6	43,0	22,2	33,9	49,7	21,1	32,1	46,7
60	15,7	23,3	33,1	20,7	31,4	45,7	23,6	36,2	53,3	22,3	34,1	49,9
65	16,6	24,8	35,5	21,7	33,1	48,3	24,8	38,4	56,7	23,4	35,9	52,8
70	17,5	26,2	37,7	22,6	34,6	50,7	26,0	40,4	59,9	24,4	37,7	55,6

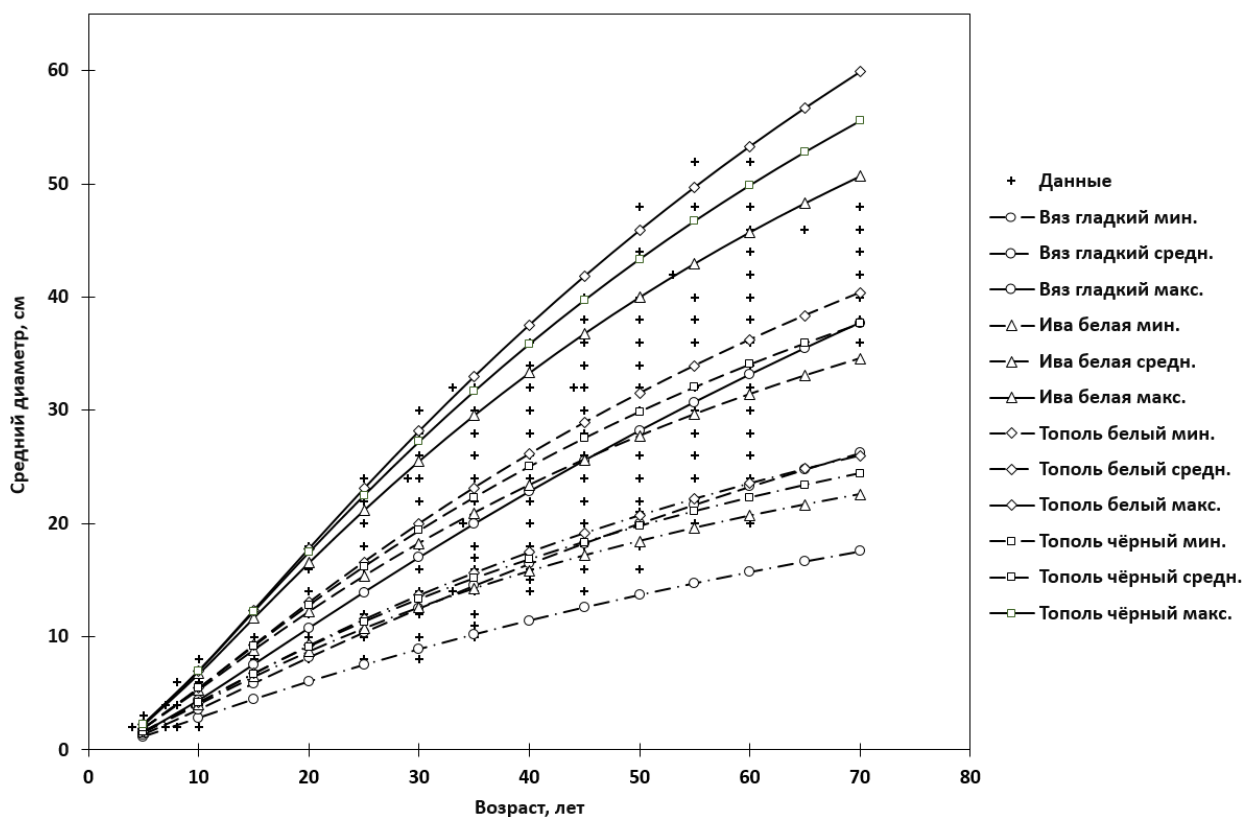
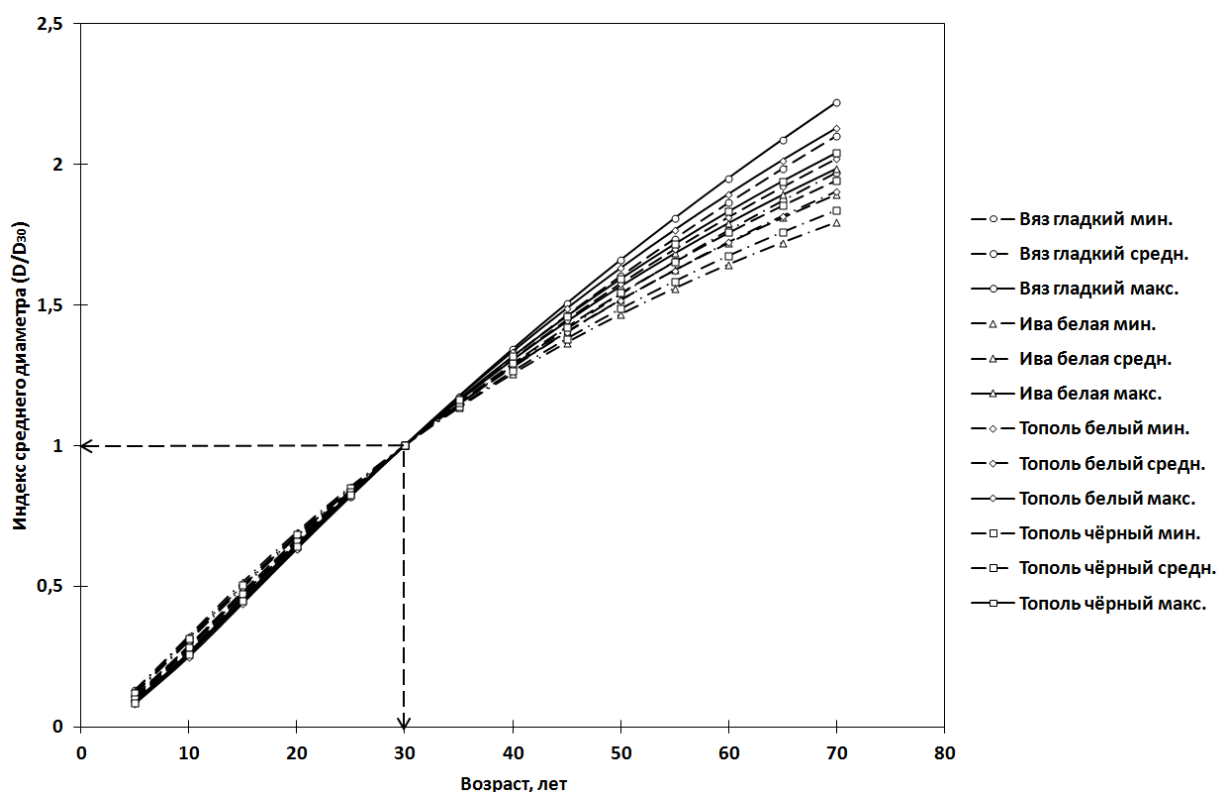


Рисунок 4.3. Линии регрессии хода роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.4.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ОСПР

При этом для каждой породы следует также задаваться возможными уровнями средней толщины деревьев, как это указано при дифференцировании уровней продуктивности по классам высот. Полагаем, что эти уровни, прежде всего, связаны с густотой древостоев, которую в обязательном порядке следует учитывать при составлении лесотаксационных нормативов (Хлюстов и др., 2017).

#### 4.1.2. Лесорастительная формация – Белотопольники

Лесорастительная формация представлена преобладающей группой типов леса – топольники белые средних уровней, прирусловые (ТБСПР), занимающая 39 % площади лесорастительной формации.

Ранжирование доли участия древесных пород в составе древостоев представлено рядом: тополь белый (*Populus alba*) - 62%, тополь чёрный (*Populus nigra*) - 28%, ива белая (*Salix alba*) - 10%.

Значения статистических показателей по десятилетиям приведены в приложении 1.

Для построения статистической модели хода роста древостоев по элементам леса была использована матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород, представленных блоковыми фиктивными переменными (таблица 4.4). Сочетание блоковых фиктивных переменных с возрастом позволило построить уравнение регрессии по средней высоте (7).

Таблица 4.4. Матрица бинарных переменных, кодирующих древесные породы

Древесная порода	Блоковые фиктивные переменные	
	X1	X2
Ива белая	0	0
Тополь белый	1	0
Тополь черный	0	1

$$H_{cp}^{cp} = \exp(-1,04863 + 1,80119 \ln A - 0,20689 \ln^2 A + \ln A(-0,23853X_1 - 0,06562X_2) + \ln^2 A(0,06385X_1 + 0,02665X_2)) \quad (7)$$

$$R^2 = 0,996; SE = \pm 2,8\%; F = 956,2 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$$

Достаточно высокий коэффициент детерминации уравнения ( $R^2=0,996$ ), значимость численных коэффициентов ( $t_{pac} > t_{05} = 1,96$ ) указывает на статистическую надёжность полученного уравнения хода роста среднестатистической высоты по элементам леса.

Для определения минимальных и максимальных значений средних высот достаточно воспользоваться регрессиями вида:

$$H_{min}^{cp} = 0,3478H_{cp}^{1,1124}; R^2 = 0,834 \quad (8)$$

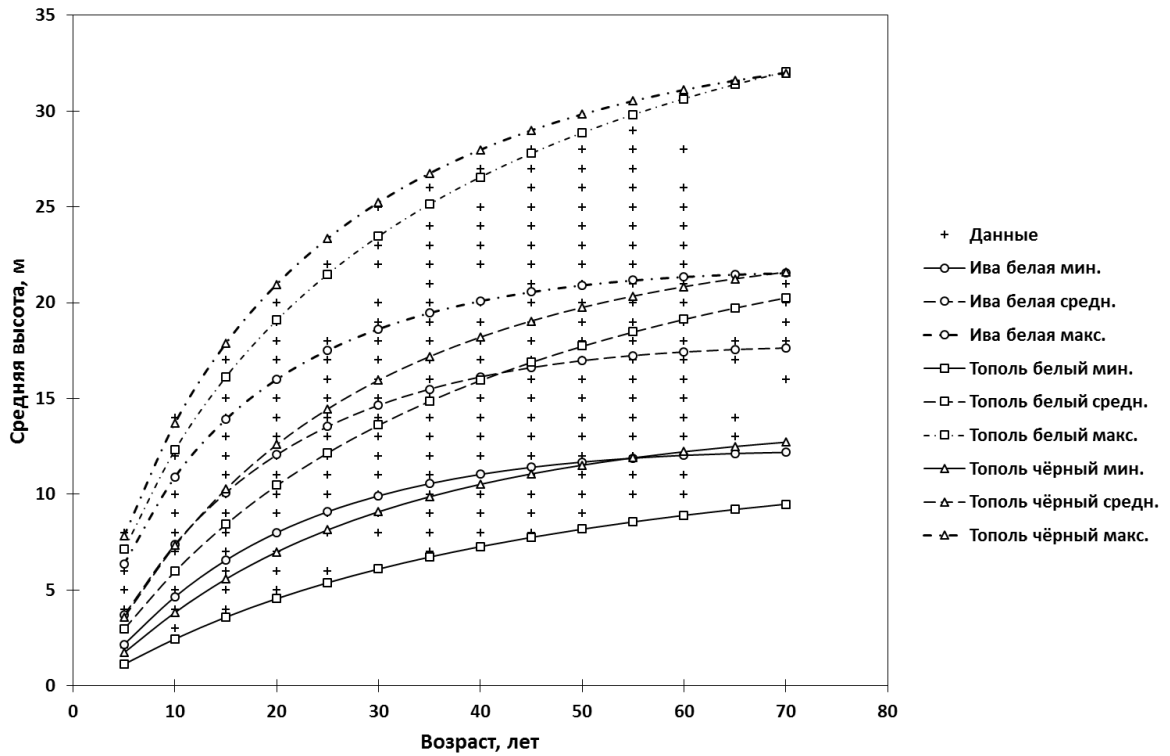
$$H_{max}^{cp} = 2,7976H_{cp}^{0,7848}; R^2 = 0,884 \quad (9)$$

Если в 10-летнем возрасте для ивы белой пределы средних высот находятся в диапазоне от 4,6 до 10,9 м, то к 70 годам они уже составляют от 12,2 до 21,5 м. Аналогичная закономерность проявляется у всех лесообразующих пород. Об оценке трёх уровней продуктивности (минимального, среднего и максимального) по каждому элементу леса в условиях ТБСПР можно судить по данным таблицы 4.5.

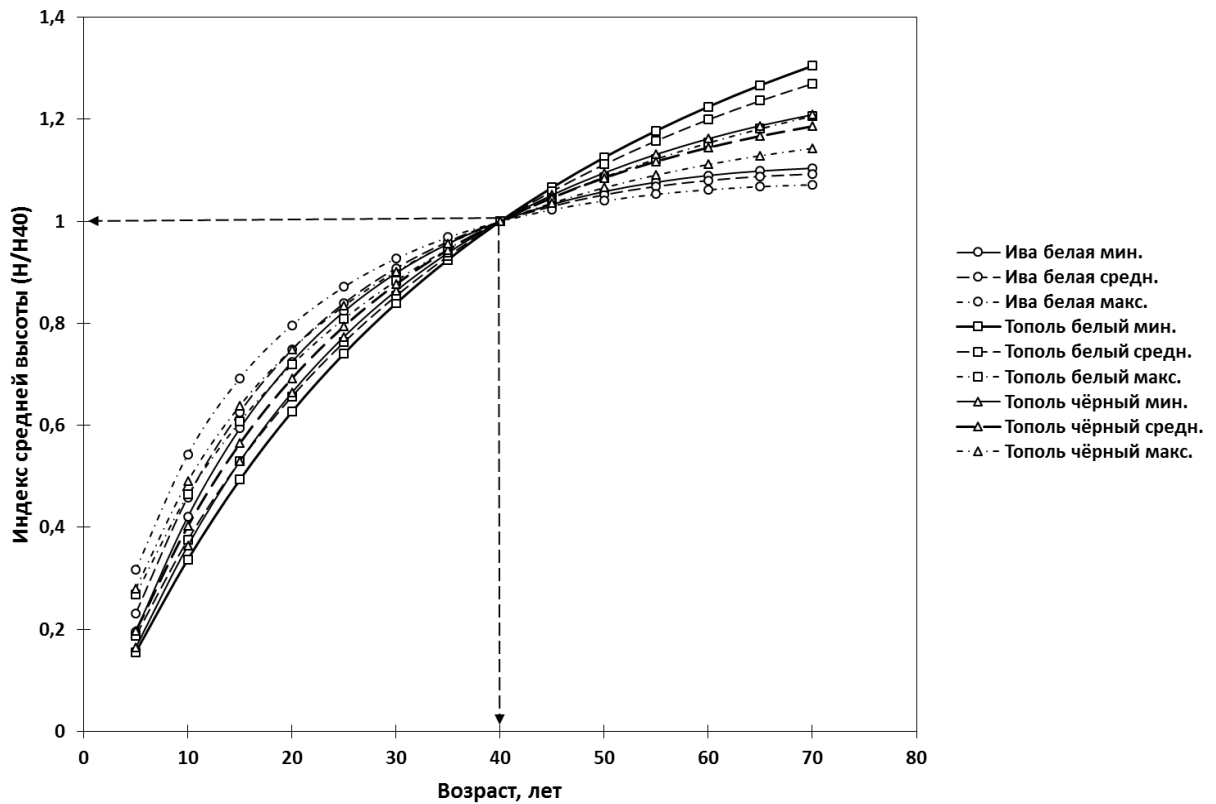
Для визуализации хода роста по высоте, оценки асинхронности динамических изменений в соответствии с уровнями продуктивности и исходными данными представлен рисунок 4.5. На нём отчётливо просматриваются различия в темпах роста как по породам, так и по уровням продуктивности.

Таблица 4.5. Ход роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	2,2	3,7	6,4	1,1	3,0	7,1	1,7	3,6	7,8
10	4,6	7,4	10,9	2,4	6,0	12,3	3,8	7,3	13,7
15	6,6	10,1	13,9	3,6	8,5	16,1	5,6	10,3	17,9
20	8,0	12,1	16,0	4,6	10,5	19,1	7,0	12,6	21,0
25	9,1	13,5	17,5	5,4	12,2	21,5	8,1	14,4	23,3
30	9,9	14,6	18,6	6,1	13,6	23,5	9,1	15,9	25,2
35	10,6	15,5	19,5	6,7	14,9	25,1	9,9	17,2	26,7
40	11,0	16,1	20,1	7,3	15,9	26,6	10,5	18,2	28,0
45	11,4	16,6	20,6	7,8	16,9	27,8	11,1	19,0	29,0
50	11,7	17,0	20,9	8,2	17,7	28,9	11,5	19,7	29,8
55	11,9	17,2	21,2	8,6	18,5	29,8	11,9	20,3	30,5
60	12,0	17,4	21,3	8,9	19,1	30,6	12,2	20,8	31,1
65	12,1	17,6	21,5	9,2	19,7	31,4	12,5	21,2	31,6
70	12,2	17,6	21,5	9,5	20,3	32,0	12,7	21,6	32,0



**Рисунок 4.5.** Линии регрессии хода роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.6.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ТБСПР

Асинхронность кривых роста подтверждается индексными кривыми средних высот, выраженных в долях высоты в 40 - летнем возрасте (рис.4.6).

Представленные индексные кривые хода роста по средней высоте элементов дендроценоза в ТБСПР указывают на существенные расхождения в темпах роста, а также на необходимость составления таблиц хода роста для каждой древесной породы отдельно. При этом в пределах каждой породы следует дифференцировать уровни продуктивности по классам высот с градацией по 1 - или 2 - метровым ступеням в 40-летнем возрасте древостоев. Такой методический приём позволяет получить для каждой группы типов леса свою лесотипологическую шкалу классов средних высот.

Наряду с моделированием закономерностей хода роста по средней высоте проведён аналогичный анализ данных по среднему диаметру деревьев каждого элемента леса. Получена регрессионная модель вида:

$$D_{cp}^{cp} = \exp(-1,38211 + 1,72916 \ln A - 0,13303 \ln^2 A + \ln A(-0,14671X_1 + 0,03750X_2) + \ln^2 A(0,036138X_1 + +0,01599X_2)) \quad (10)$$

$$R^2 = 0,996; SE = \pm 4,1\%; F = 901,8 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$$

Размах варьирования среднего диаметра определён по аллометрическим уравнениям вида:

$$D_{min}^{cp} = 0,2907D_{cp}^{1,992}; R^2 = 0,962 \quad (11)$$

$$D_{max}^{cp} = 3,0888D_{cp}^{0,8026}; R^2 = 978 \quad (12)$$

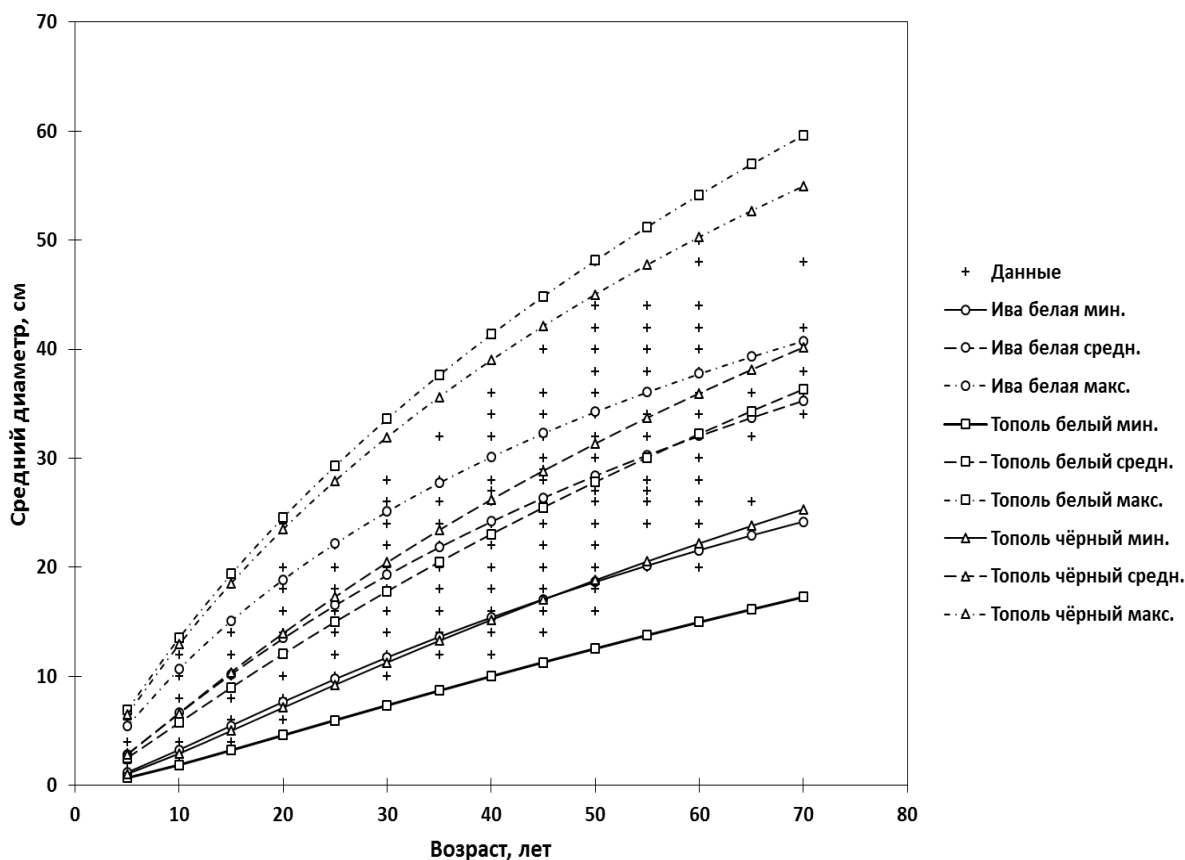
Таблица 4.6. Ход роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	1,2	2,9	5,5	0,7	2,5	6,9	1,0	2,8	6,5
10	3,3	6,6	10,7	1,9	5,7	13,6	2,9	6,6	13,0
15	5,5	10,2	15,1	3,2	9,0	19,4	5,0	10,4	18,6
20	7,7	13,5	18,9	4,6	12,0	24,6	7,1	13,9	23,5
25	9,8	16,5	22,2	6,0	15,0	29,3	9,2	17,3	27,9
30	11,7	19,3	25,1	7,3	17,8	33,6	11,3	20,4	32,0
35	13,6	21,8	27,8	8,7	20,5	37,6	13,3	23,4	35,6
40	15,4	24,2	30,1	10,0	23,0	41,4	15,2	26,2	39,0
45	17,1	26,4	32,3	11,3	25,5	44,9	17,0	28,8	42,1
50	18,7	28,4	34,3	12,5	27,8	48,1	18,8	31,3	45,0
55	20,2	30,3	36,1	13,8	30,1	51,2	20,5	33,7	47,7

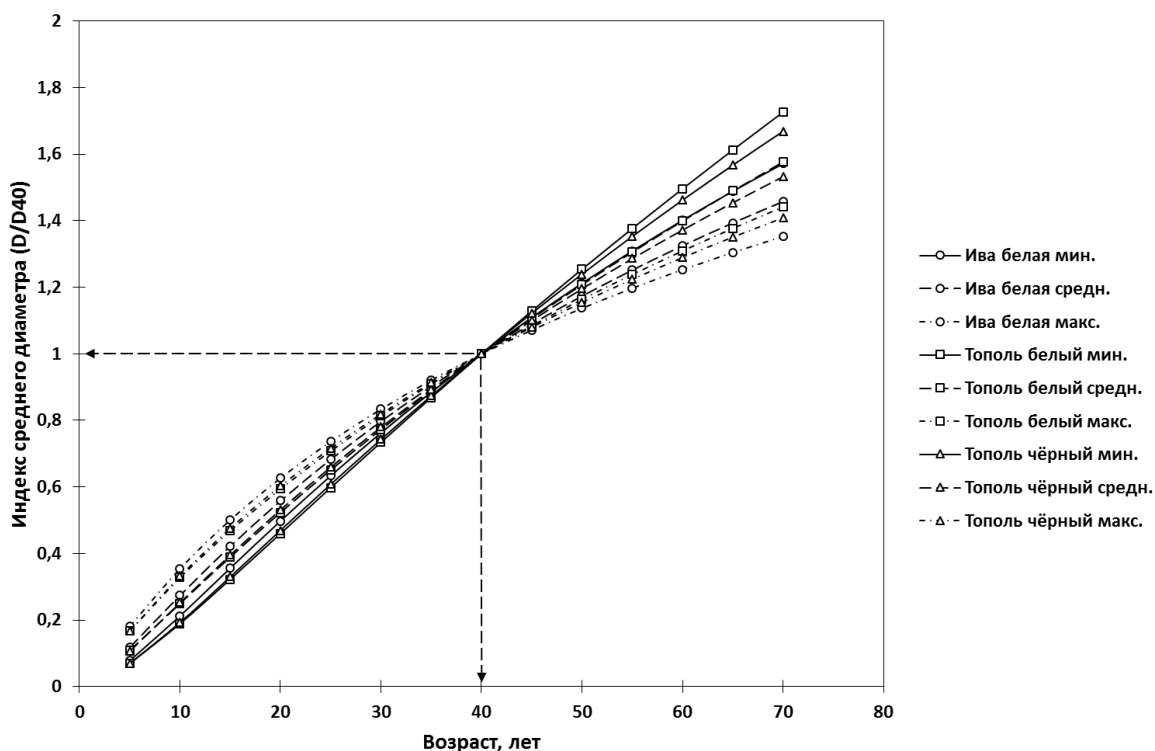
Возраст, лет	Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
60	21,6	32,1	37,8	15,0	32,2	54,2	22,2	36,0	50,3
65	22,9	33,7	39,3	16,1	34,3	56,9	23,8	38,1	52,7
70	24,2	35,3	40,8	17,3	36,3	59,6	25,3	40,1	54,9

Довольно высокие статистические характеристики точности уравнений связи указывают на надёжность полученных результатов и линий регрессии хода роста во всём диапазоне размаха варьирования.

Для составления нормативно-справочных материалов следует воспользоваться затабулированными значениями средних диаметров (табл. 4.6).



**Рисунок 4.7.** Линии регрессии хода роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.8.** Индексные кривые хода роста средних диаметров в смешанных древостоях ТБСПР

Графическая интерпретация линий регрессии роста всей совокупности элементов дендроценоза указывает на наличие различий как между древесными породами, так и по уровням -  $D_{cp}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{max}$ , отображающим размах варьирования средних диаметров (рисунок 4.7) (Хлюстов и др., 2017). О расхождении в темпах изменения роста средних диаметров можно судить по индексным кривым, представленным на рисунке 4.8.

Представленные индексные кривые хода роста по среднему диаметру элементов дендроценоза в ТБСПР указывают на менее существенные расхождения в темпах их роста. И всё же их наличие указывает на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам с учётом возможного размаха варьирования среднего диаметра древостоев (Хлюстов и др., 2017).



### 4.1.3. Лесорастительная формация – Ветловники

Формация представлена преобладающей группой типов леса - ветловники низинные прирусловые (ИДНПР). Элементы дендроценозов представлены ивой белой (*Salix alba*) (2733 га), топодем белым (*Populus alba*) (138 га) и топодем чёрным (*Populus nigra*) (1285 га).

Ранжирование доли участия древесных пород в составе древостоев представлено рядом: ива белая - 66%, тополь чёрный - 31%, тополь белый – 3 %.

Результаты статистического анализа дендрометрических данных, проведённых по десятилетиям, представлены в приложении 1.

Для построения статистической модели хода роста составляющих элементов леса использована матрица бинарных переменных, кодирующих древесные породы, представленных блоковыми фиктивными переменными (таблица 4.7). Сочетание блоковых фиктивных переменных с ростовой функцией Корсуня-Бакмана позволило построить уравнение регрессии по средней высоте (13).

Таблица 4.7. Матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород при построении уравнений регрессии

Древесная порода	Блоковые фиктивные переменные	
	$X_1$	$X_2$
Ива белая	1	0
Тополь белый	0	1
Тополь чёрный	0	0

$$H_{cp}^{cp} = \exp(-0,87384 + 1,410341 \ln A - 0,12173 \ln^2 A - 1,66658X_1 - 0,37576X_2 + \ln A(1,094439X_1 + 0,317902X_2) + \ln^2 A(-0,16398X_1 - 0,04918X_2)) \quad (13)$$

$$R^2 = 0,998; SE = \pm 2,5\%; F = 1427,2 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$$

Достаточно высокий коэффициент детерминации уравнения ( $R^2=0,998$ ), значимость численных коэффициентов ( $t_{pac} > t_{05} = 1,96$ ) указывает на статистическую надёжность полученного уравнения хода роста среднестатистической высоты из средних значений по массиву данных.

Определение минимальных и максимальных значений средних высот осуществлено по регрессиям вида:

$$H_{\min}^{\text{cp}} = 0,5517H_{\text{cp}}^{1,0293} R^2 = 0,959 \quad (14)$$

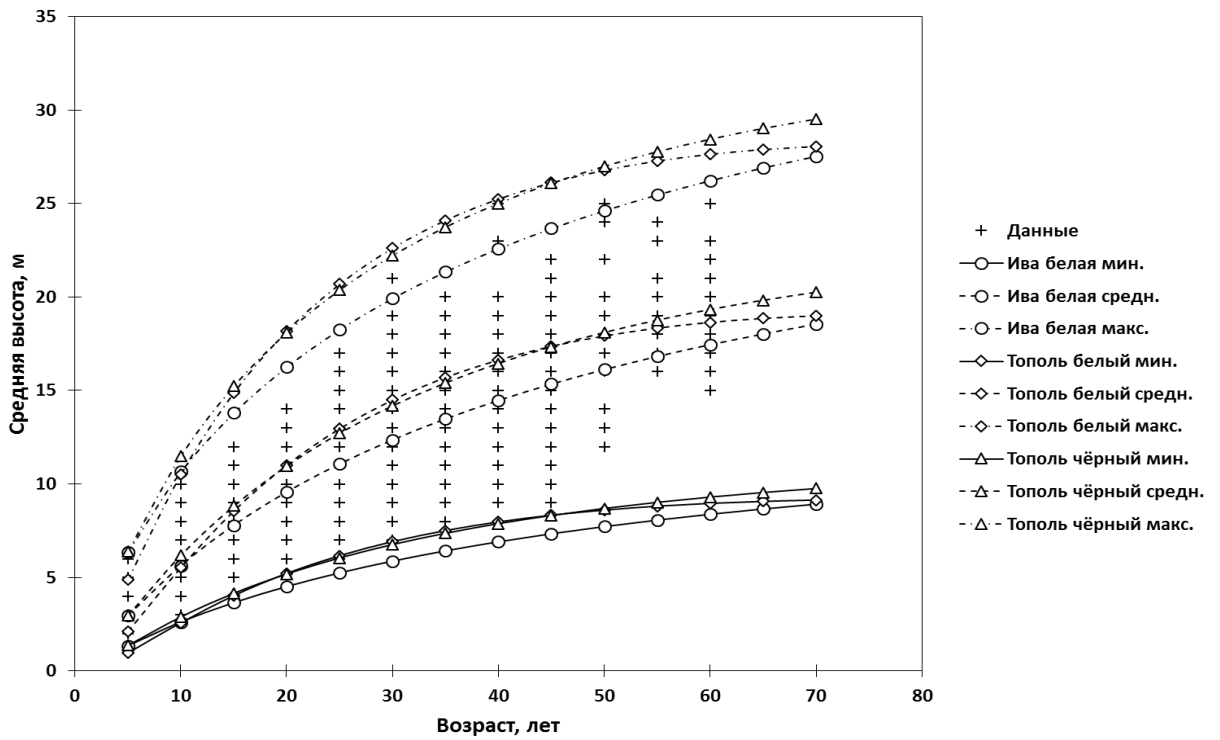
$$H_{\max}^{\text{cp}} = 2,4932H_{\text{cp}}^{0,796} R^2 = 0,982 \quad (15)$$

Для 10-летнего возраста тополя чёрного пределы средних высот колеблются от 3,2 до 12,6 м, а к 70 годам - от 9,7 до 29,4 м. Аналогичная закономерность проявляется у всех лесобразующих пород. Значения высот для трёх уровней продуктивности (минимального, среднего и максимального) по каждой составляющей породы в условиях ИДНПР представлена в таблице 4.8.

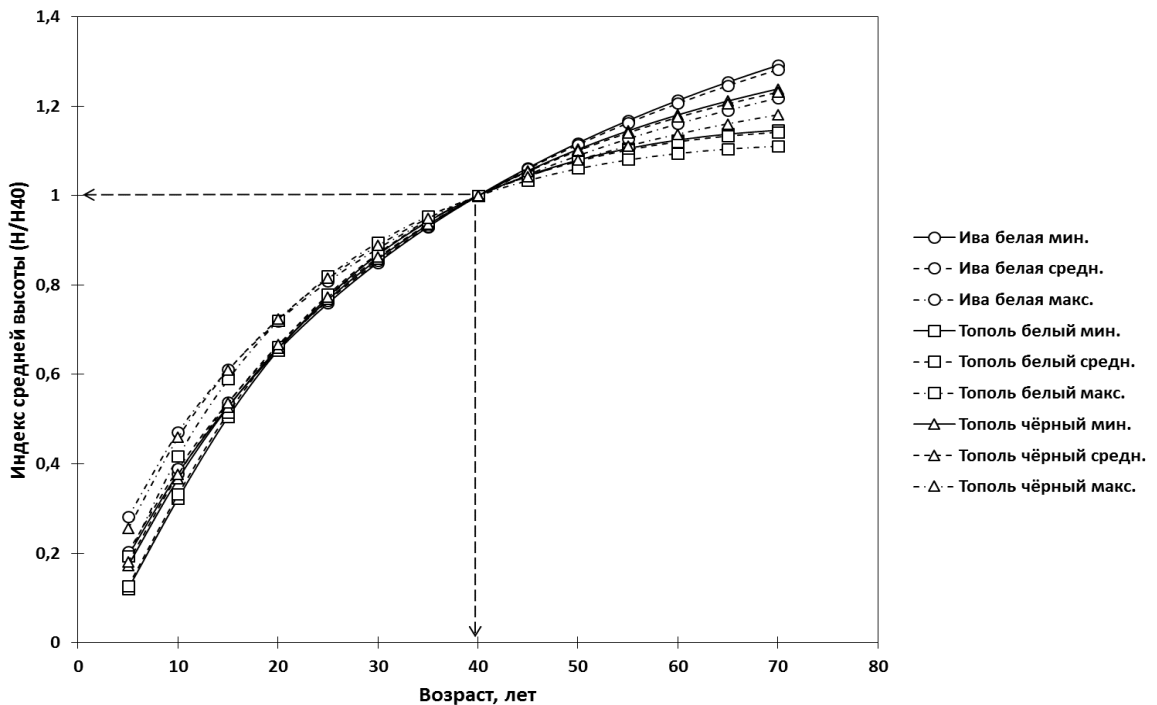
Для визуализации хода роста по высоте, оценки асинхронности возрастных изменений в соответствии с уровнями продуктивности и исходными данными представлен рисунок 4.9. На нём отчётливо просматриваются различия в темпах роста как по породам, так и по уровням продуктивности.

Таблица 4.8. Ход роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	1,3	2,9	6,4	1,0	2,1	4,9	1,4	3,0	6,4
10	2,6	5,6	10,7	2,6	5,5	10,5	2,9	6,2	11,5
15	3,7	7,8	13,8	4,0	8,6	14,9	4,2	8,8	15,2
20	4,5	9,6	16,3	5,2	11,0	18,2	5,2	11,0	18,1
25	5,2	11,1	18,3	6,2	13,0	20,7	6,0	12,7	20,4
30	5,9	12,4	19,9	6,9	14,5	22,6	6,8	14,2	22,2
35	6,4	13,5	21,4	7,5	15,7	24,1	7,4	15,4	23,7
40	6,9	14,5	22,6	8,0	16,6	25,2	7,9	16,4	25,0
45	7,3	15,3	23,7	8,3	17,4	26,1	8,3	17,3	26,1
50	7,7	16,1	24,6	8,6	17,9	26,8	8,7	18,1	27,0
55	8,1	16,8	25,5	8,8	18,3	27,3	9,0	18,8	27,8
60	8,4	17,5	26,2	9,0	18,6	27,6	9,3	19,3	28,4
65	8,7	18,0	26,9	9,1	18,9	27,9	9,5	19,8	29,0
70	8,9	18,6	27,5	9,1	19,0	28,1	9,8	20,2	29,5



**Рисунок 4.9.** Линии регрессии хода роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.10.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ИДНПР

Асинхронность кривых хода роста подтверждается индексными кривыми средних высот, выраженных в долях высоты в 40 - летнем возрасте (рис.4.10).

Индексные кривые хода роста по средней высоте элементов леса в ИДНПР указывают на существенные расхождения в темпах роста, а также на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам. Для каждой древесной породы следует дифференцировать уровни продуктивности по классам высот с градацией по 1 - или 2 - метровым ступеням в 40-летнем возрасте древостоев. Такой методический приём позволяет получить для каждой ландшафтно-типологической группы леса свою шкалу уровней продуктивности древостоев и тем самым перейти на экологически обоснованную лесотипологическую шкалу классов высот.

Наряду с моделированием хода роста по средней высоте, был проведён аналогичный анализ данных по среднему диаметру деревьев каждого элемента леса. Была получена регрессионная модель вида (16).

$$D_{cp}^{cp} = \exp(-0,63837 + 1,12392 \ln A - 0,02894 \ln^2 A + 0,06463X_1 - 1,19524X_2 + \ln A(-0,07729X_1 + 0,61038X_2) + \ln^2 A(0,02042X_1 - 0,06793X_2)) \quad (16)$$

$$R^2 = 0,990; SE = \pm 7,1; F = 404,0 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$$

Размах варьирования среднего диаметра определён по уравнениям регрессии (17) и (18).

$$D_{min}^{cp} = 2,3334D_{cp}^{0,8562}; R^2 = 0,987 \quad (17)$$

$$D_{max}^{cp} = 0,2499D_{cp}^{1,316}; R^2 = 0,979 \quad (18)$$

Высокие статистические характеристики точности уравнений связи указывают на надёжность полученных линий регрессии хода роста во всём диапазоне варьирования данных.

Для составления нормативно-справочных материалов следует воспользоваться затабулированными значениями средних диаметров (табл. 4.9).

Таблица 4.9. Ход роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Ива белая			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	0,8	3,0	6,4	0,8	3,0	6,4	0,5	2,0	4,6
10	2,1	6,0	11,7	2,1	6,0	11,7	1,7	5,2	10,3
15	3,6	9,0	16,5	3,6	9,0	16,5	3,4	8,6	15,9
20	5,2	11,8	20,9	5,3	12,0	21,2	5,3	12,1	21,3
25	6,8	14,6	25,0	7,0	15,0	25,6	7,4	15,6	26,4
30	8,5	17,3	28,9	8,9	17,9	29,9	9,6	19,0	31,4
35	10,2	19,9	32,6	10,9	20,9	34,0	11,9	22,4	36,1
40	12,0	22,5	36,2	13,0	23,8	38,1	14,3	25,7	40,6
45	13,9	25,0	39,7	15,1	26,8	42,0	16,7	28,9	44,9
50	15,7	27,5	43,1	17,3	29,7	45,9	19,2	32,1	49,1
55	17,6	30,0	46,3	19,6	32,6	49,7	21,7	35,2	53,1
60	19,4	32,4	49,5	21,9	35,5	53,5	24,2	38,2	57,0
65	21,3	34,8	52,6	24,3	38,4	57,2	26,7	41,2	60,8
70	23,3	37,1	55,6	26,7	41,2	60,9	29,2	44,1	64,5

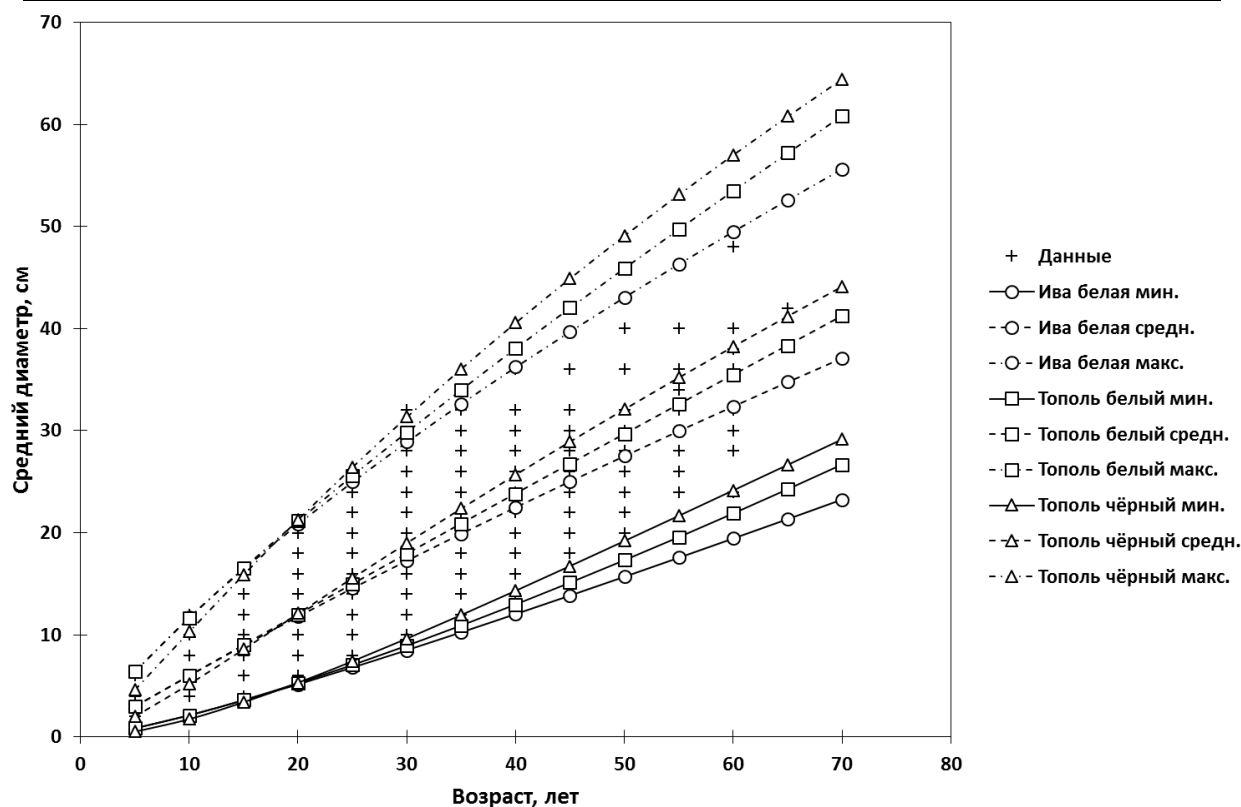
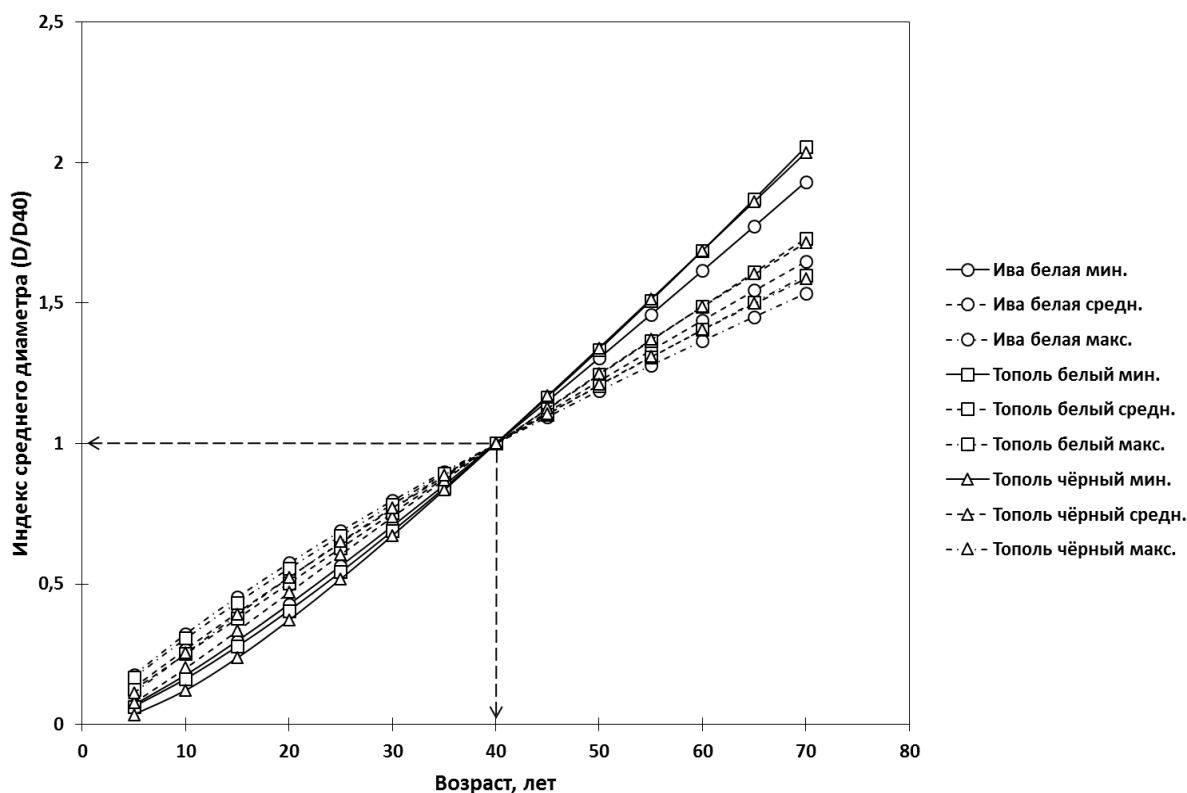


Рисунок 4.11. Линии регрессии хода роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.12.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ИДНПР

Графическая интерпретация линий регрессии роста всей совокупности элементов дендроценоза указывает на наличие различий как между древесными породами, так и по уровням -  $D_{cp}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{max}$ , отображающим размах варьирования средних диаметров (рисунок 4.11). О расхождении в темпах изменения роста средних диаметров можно судить по индексным кривым, представленным на рисунке 4.12.

Представленные индексные кривые хода роста по среднему диаметру элементов дендроценоза в ИДНПР указывают на менее существенные расхождения в темпах их роста. Их наличие указывает на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам с учётом возможного размаха варьирования среднего диаметра древостоев (Хлюстов и др., 2017).

#### 4.1.4. Лесорастительная формация – Дубняки

Лесорастительные условия объектов исследования классифицируются ландшафтно-типологической группой мест произрастания насаждений – дубняки средних и высоких уровней центральной поймы (ДСВЦ). Элементы леса представлены дубом черешчатым (*Quercus robur*), топодем белым (*Populus alba*) и топодем чёрным (*Populus nigra*) в разном возрасте древостоев.

Для решения поставленных задач была проведена прицельно измерительная таксация средних высот и средних диаметров стволов деревьев по элементам дендроценоза на 306 лесотаксационных выделах.

Перед проведением статистического анализа данных была оценена структура площадей с преобладанием дуба черешчатого. Ранжирование доли участия древесных пород представлено рядом: дуб черешчатый – 62 %, тополь белый – 33 %, тополь чёрный - 5%.

Для построения статистической модели хода роста элементов леса использована матрица бинарных переменных, кодирующих древесные породы, представленные блоковыми фиктивными переменными (таблица 4.10). Сочетание блоковых фиктивных переменных с функцией роста позволило построить уравнение регрессии по средней высоте (H, м) (19).

Таблица 4.10 Матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород при построении уравнений регрессии

Древесная порода	Блоковые фиктивные переменные	
	$X_1$	$X_2$
Дуб черешчатый	0	0
Тополь белый	1	0
Тополь чёрный	0	1

$$H_{\text{ср}}^{\text{ср}} = \exp(-2,13561 + 2,17257 \ln A - 0,23356 \ln^2 A + \ln A(0,08484X_1 + 0,21872X_2) + \ln^2 A(-0,00534X_1 - 0,03294X_2)) \quad (19)$$

$$R^2 = 0,966; SE = \pm 3,7\%; F = 115,6 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$$

Высокий коэффициент детерминации уравнения ( $R^2=0,966$ ), значимость численных коэффициентов ( $t_{\text{рас}} > t_{05} = 1,96$ ) указывает на статистическую надёжность уравнения хода роста среднестатистической высоты.

Размах варьирования средних высот с возрастом можно определить по уравнениям регрессии вида:

$$H_{\min}^{\text{cp}} = 0,7495H_{\text{cp}}^{1,045}; R^2 = 0,893 \quad (20)$$

$$H_{\max}^{\text{cp}} = 2,3959H_{\text{cp}}^{0,7417}; R^2 = 0,781 \quad (21)$$

Если в 10-летнем возрасте для дуба черешчатого пределы средних высот находятся в диапазоне от 3,8 до 8,7 м, то к 70 годам они уже значительно шире от 14,0 до 21,9 м. Аналогичная закономерность проявляется у всех лесообразующих пород. Для оценки размаха варьирования и трёх уровней продуктивности (минимального, среднего и максимального) по каждому элементу леса в условиях ДСВЦ представлена в таблица 4.11.

Для визуализации хода роста по высоте, оценки асинхронности динамических изменений в соответствии с уровнями продуктивности и исходными данными представлен рисунок 4.13. На нём отчётливо просматриваются различия в темпах роста как по породам, так и по уровням продуктивности.

Асинхронность кривых хода роста подтверждается индексными кривыми средних высот, выраженных в долях высоты в 40 - летнем возрасте (рис.4.14).

Представленные индексные кривые хода роста по средней высоте элементов дендроценоза в ДСВЦ указывают на существенные расхождения в темпах их роста, а также на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам. Такой методический приём позволяет получить для каждой ландшафтно-типологической группы леса свою шкалу уровней продуктивности древостоев, а это, в свою очередь, даёт полное основание отказаться от бонитетной шкалы и перейти на экологически обоснованную лесотипологическую шкалу классов средних высот.



Таблица 4.11. Ход роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Дуб черешчатый			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	1,5	2,1	4,5	1,7	2,4	5,0	1,9	2,8	5,5
10	3,8	5,1	8,7	4,3	6,0	9,8	5,1	7,1	11,1
15	5,8	7,7	11,7	6,8	9,3	13,5	8,0	10,9	15,2
20	7,4	9,7	14,0	8,8	12,0	16,3	10,4	14,0	18,3
25	8,8	11,4	15,8	10,6	14,2	18,5	12,3	16,5	20,7
30	9,9	12,8	17,2	12,0	16,1	20,3	13,9	18,4	22,5
35	10,8	14,0	18,3	13,2	17,6	21,8	15,1	20,0	23,9
40	11,6	14,9	19,2	14,3	18,9	22,9	16,1	21,3	25,0
45	12,2	15,6	19,9	15,1	20,0	23,9	16,9	22,3	25,9
50	12,7	16,3	20,5	15,8	20,9	24,7	17,6	23,1	26,6
55	13,1	16,8	21,0	16,4	21,6	25,3	18,1	23,7	27,1
60	13,5	17,2	21,3	16,9	22,2	25,8	18,4	24,2	27,5
65	13,7	17,5	21,6	17,3	22,8	26,3	18,7	24,6	27,8
70	14,0	17,8	21,9	17,6	23,2	26,6	19,0	24,9	28,1

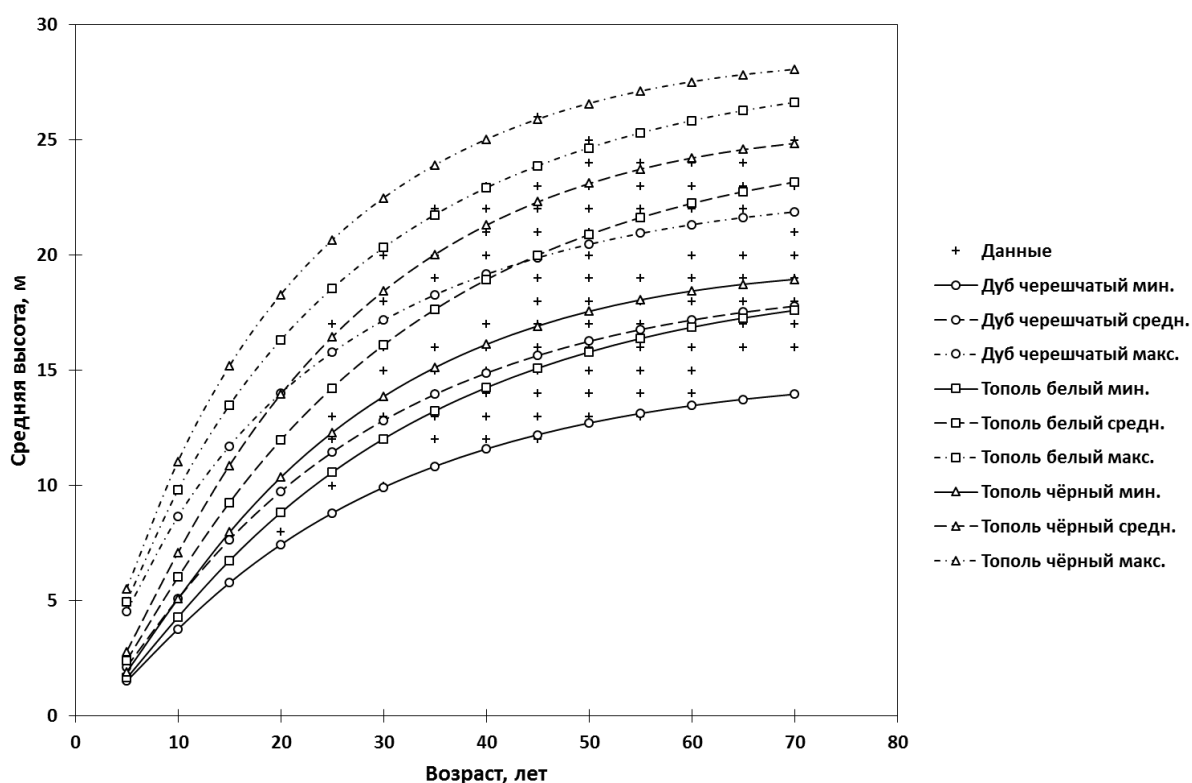
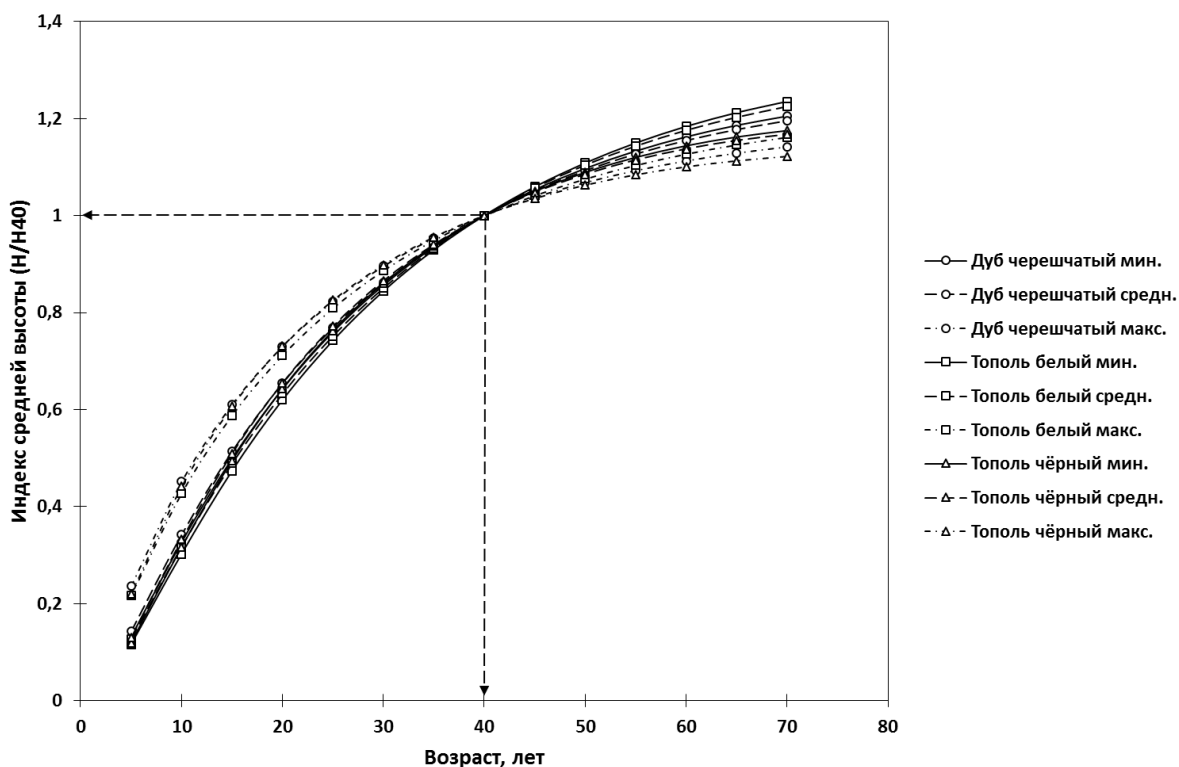


Рисунок 4.13. Линии регрессии хода роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.14.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ДСВЦ

Наряду с моделированием закономерностей хода роста по средней высоте, был проведён аналогичный анализ данных по среднему диаметру ( $D$ , см) деревьев каждого элемента леса. Была получена регрессионная модель вида (22).

$$D_{cp}^{cp} = \exp(-4,18292 + 3,12028 \ln A - 0,31711 \ln^2 A + \ln A(-0,22121X_1 + +0,01677X_2) + \ln^2 A(0,08770X_1 + 0,02823X_2)) \quad (22)$$

$$R^2 = 0,995; SE = \pm 2,6\%; F = 822,1 \text{ при } P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$$

Размах варьирования среднего диаметра определён по аллометрическим уравнениям связи (23) и (24).

$$D_{min}^{cp} = 0,508D_{cp}^{1,14}; R^2 = 0,923 \quad (23)$$

$$D_{max}^{cp} = 1,2825D_{cp}^{0,9994}; R^2 = 0,903 \quad (24)$$

Таблица 4.12. Ход роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Дуб черешчатый			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	0,4	1,0	1,4	0,4	0,9	1,2	0,5	1,1	1,4
10	1,9	3,7	5,2	1,7	3,6	4,7	2,6	4,5	5,6
15	3,9	7,0	9,6	3,9	7,3	9,6	5,7	9,0	11,2
20	6,0	10,2	14,1	6,6	11,5	15,1	9,3	13,8	17,1
25	8,0	13,1	18,2	9,6	16,0	21,0	13,1	18,6	23,1
30	9,9	15,8	21,9	12,8	20,6	27,0	16,9	23,2	28,9
35	11,7	18,2	25,2	16,0	25,1	33,0	20,5	27,6	34,4
40	13,2	20,3	28,1	19,4	29,7	38,9	24,1	31,8	39,5
45	14,6	22,2	30,7	22,7	34,1	44,7	27,4	35,6	44,3
50	15,8	23,8	32,9	26,0	38,4	50,4	30,6	39,2	48,7
55	16,9	25,2	34,9	29,2	42,5	55,9	33,6	42,5	52,8
60	17,9	26,5	36,6	32,4	46,6	61,1	36,3	45,5	56,6
65	18,7	27,6	38,1	35,5	50,5	66,2	38,9	48,3	60,1
70	19,4	28,5	39,4	38,5	54,2	71,2	41,3	50,9	63,3

Высокие показатели точности уравнений связи указывают на надёжность полученных линий регрессии хода роста во всём диапазоне анализируемых данных.

Для составления нормативно-справочных материалов по ходу роста следует воспользоваться затабулированными значениями средних диаметров (табл. 4.12).

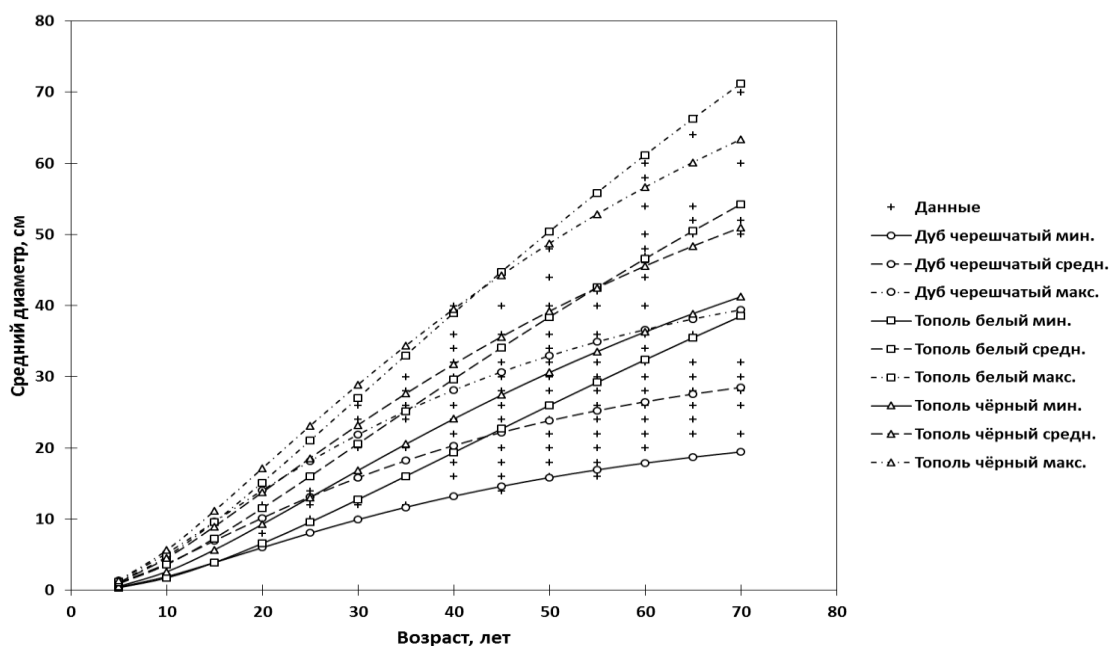
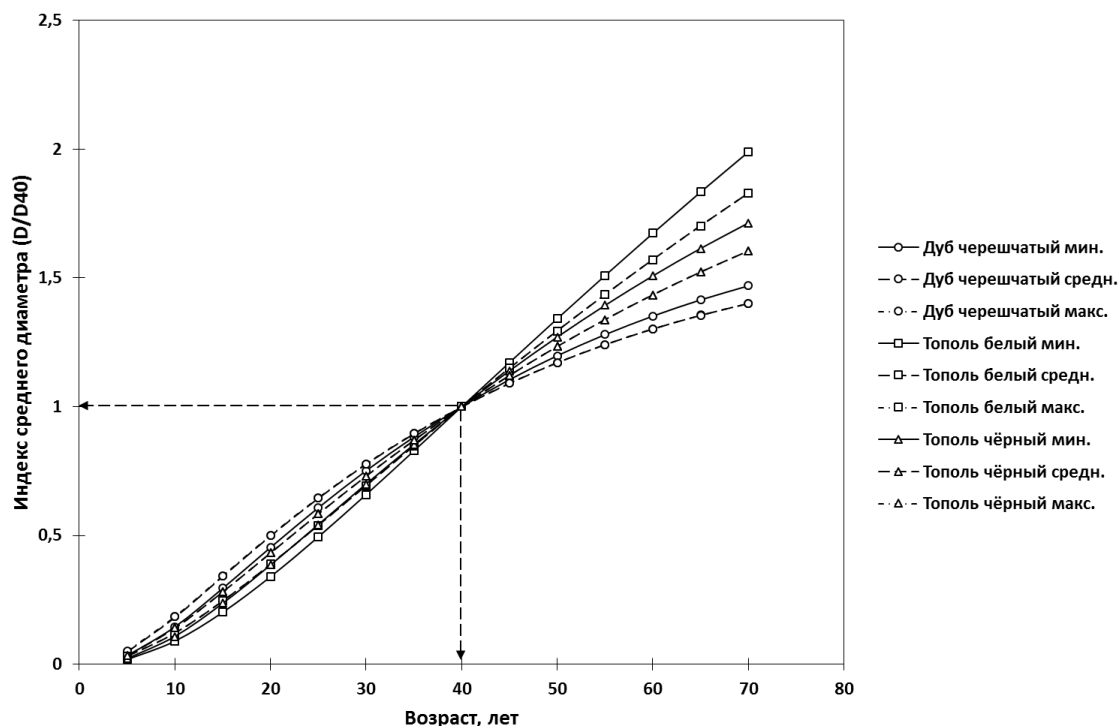


Рисунок 4.15. Линии регрессии хода роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.16.** Индексные кривые хода роста средних диаметров в смешанных древостоях ДСВЦ

Графическая интерпретация линий регрессии роста всей совокупности элементов дендроценоза указывает на наличие различий как между древесными породами, так и по уровням -  $D_{\text{ср}}^{\text{ср}}$ ,  $D_{\text{мин}}^{\text{ср}}$ ,  $D_{\text{макс}}^{\text{ср}}$ , отображающим размах варьирования средних диаметров (рисунок 4.15). О расхождении в темпах изменения роста средних диаметров можно судить по индексным кривым, представленным на рисунке 4.16.

Индексные кривые хода роста по среднему диаметру элементов дендроценоза в ДСВЦ указывают на менее существенные расхождения в темпах их роста. И всё же их наличие указывает на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам с учётом возможного размаха варьирования среднего диаметра (Хлюстов и др., 2017).

#### 4.1.5. Лесорастительная формация – Вязовники

Лесорастительные условия объектов исследования классифицируются ландшафтно-типологической группой мест произрастания насаждений – вязовники средних и высоких уровней центральной поймы (ВСВЦ). Элементы дендроценозов представлены вязом гладким (*Ulmus laevis*), топодем белым (*Populus alba*) и топодем чёрным (*Populus nigra*) в разном возрасте древостоев.

Для решения поставленных задач была проведена прицельно измерительная таксация средних высот и средних диаметров стволов деревьев по элементам дендроценоза на 455 лесотаксационных выделах.

Ранжирование доли участия древесных пород в составе древостоев представлено рядом: вяз гладкий – 57 %, тополь белый – 23 %, тополь чёрный - 20%.

Матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород при формировании массива данных, представленных блоковыми фиктивными переменными (таблица 4.13). Уравнение регрессии по средней высоте (25) сочетает в себе ростовую функцию Косуня-Бакмана и закодированные древесные породы.

Коэффициент детерминации уравнения ( $R^2=0,974$ ), значимость численных коэффициентов ( $t_{\text{рас}} > t_{05} = 1,96$ ) указывает на статистическую надёжность уравнения хода роста среднестатистической высоты всего массива данных.

Таблица 4.13. Матрица бинарных переменных, кодирующих названия древесных пород при построении уравнений регрессии

Древесная порода	Блоковые фиктивные переменные	
	$X_1$	$X_2$
Вяз гладкий	0	0
Тополь белый	1	0
Тополь чёрный	0	1

$$H_{\text{ср}}^{\text{ср}} = \exp(-1,10170 + 1,39271 \ln A - 0,13716 \ln^2 A + \ln A(0,019245X_1 + 0,14722X_2) + \ln^2 A(0,03827X_1 - 0,00186X_2)) \quad (25)$$

$R^2 = 0,974; SE = \pm 8,8\%; F = 202,6$  при  $P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$

Наряду с определением среднестатистической по массиву данных линии регрессии найден размах варьирования средних высот, который с возрастом увеличивается. Предельные по массиву значения средних высот тесно связаны с усреднёнными значениями, рассчитанной по уравнению (25). Для определения минимальных ( $H_{\min}$ , м) и максимальных ( $H_{\max}$ , м) значений средних высот следует использовать регрессии вида:

$$H_{\min}^{\text{cp}} = 0,4957H_{\text{cp}}^{1,1307}; R^2 = 0,845 \quad (26)$$

$$H_{\max}^{\text{cp}} = 1,8116H_{\text{cp}}^{0,8692}; R^2 = 0,844 \quad (27)$$

Если в 10-летнем возрасте для вяза гладкого пределы средних высот находятся в диапазоне от 1,9 до 6,5 м, то к 70 годам они уже значительно шире - от 5,6 до 14,9 м. Аналогичная закономерность проявляется у всех лесобразующих пород. Для оценки трёх уровней продуктивности (минимального, среднего и максимального) по каждому элементу леса в условиях ВСВЦ средняя высота представлена в таблице 4.14.

Визуальную оценку хода роста по высоте и асинхронность возрастных изменений в соответствии с уровнями продуктивности и исходными данными можно проследить на рисунке 4.17, где чётко просматриваются различия в темпах роста как по древесным породам, так и по уровням продуктивности.

Асинхронность кривых хода роста подтверждается индексными кривыми средних высот, выраженных в долях высоты в 40 - летнем возрасте (рис.4.18). Представленные индексные кривые хода роста по средней высоте элементов дендроценоза в ВСВЦ указывают на существенные расхождения в темпах их роста, а также на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам.

Таблица 4.14. Ход роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях

Возраст, лет	Вяз гладкий			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	1,0	2,2	3,9	1,5	2,5	3,9	1,6	2,8	4,3
10	1,9	4,0	6,5	3,2	5,1	7,2	3,6	5,5	7,8
15	2,6	5,3	8,3	4,9	7,4	10,0	5,2	7,8	10,5
20	3,2	6,3	9,7	6,5	9,4	12,3	6,7	9,6	12,6
25	3,6	7,1	10,8	7,9	11,2	14,4	7,9	11,2	14,4
30	4,0	7,8	11,6	9,3	12,9	16,2	9,0	12,5	15,8
35	4,3	8,3	12,3	10,5	14,4	17,9	9,9	13,7	17,1
40	4,6	8,8	12,9	11,7	15,8	19,4	10,8	14,7	18,2
45	4,8	9,1	13,4	12,8	17,1	20,8	11,5	15,6	19,2
50	5,0	9,5	13,8	13,8	18,3	22,1	12,2	16,4	20,0
55	5,2	9,7	14,2	14,8	19,5	23,2	12,7	17,1	20,7
60	5,4	10,0	14,5	15,7	20,5	24,3	13,3	17,7	21,4
65	5,5	10,2	14,7	16,6	21,5	25,4	13,8	18,2	22,0
70	5,6	10,4	14,9	17,4	22,5	26,3	14,2	18,8	22,5

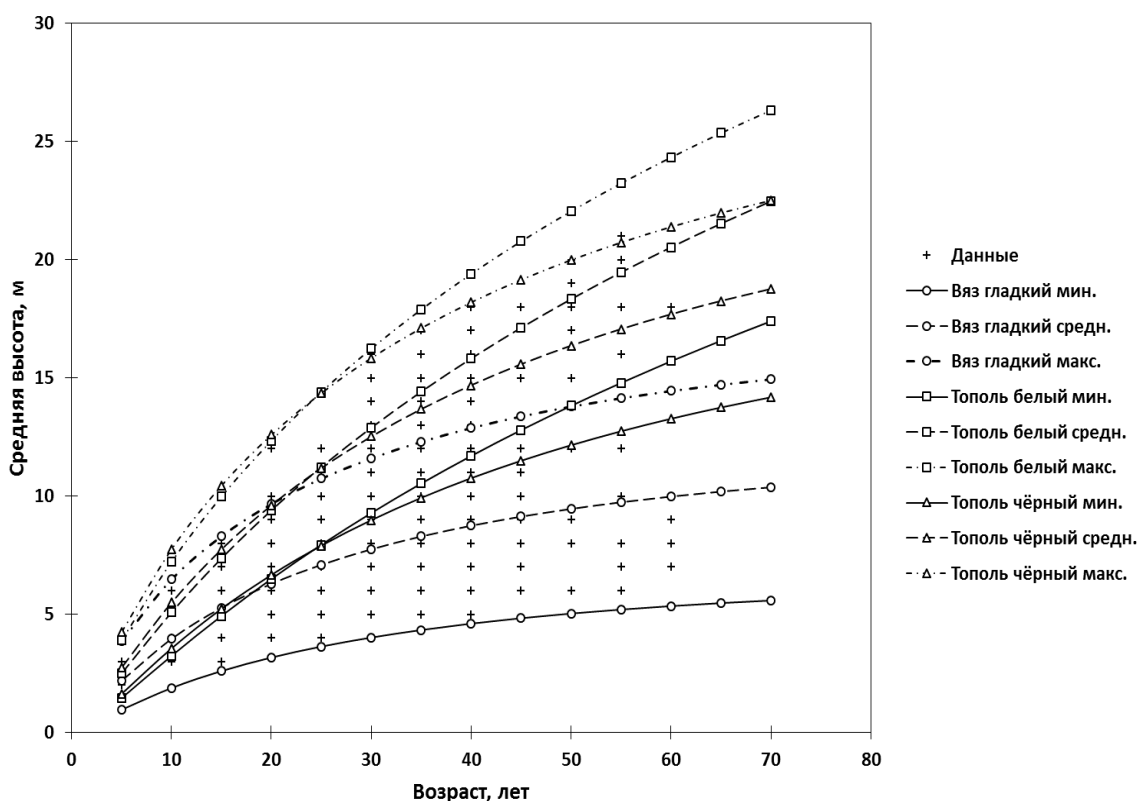
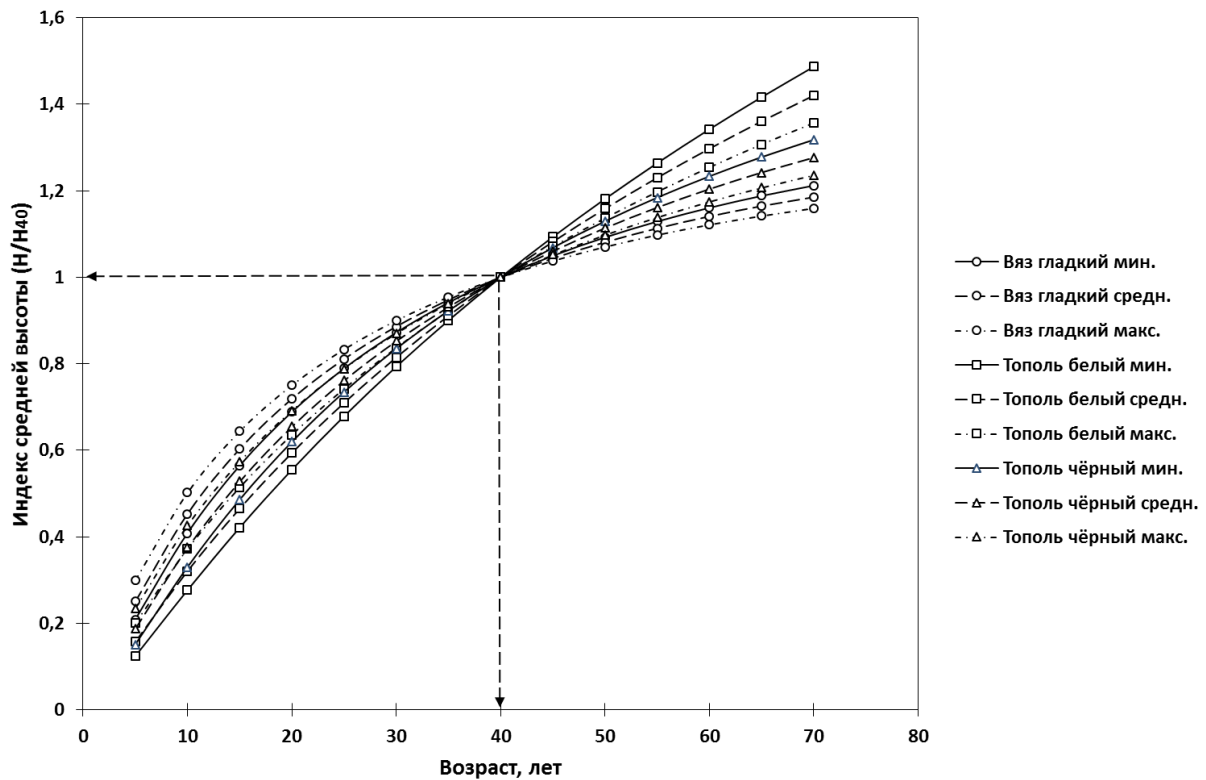


Рисунок 4.17. Линии регрессии хода роста средних высот элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.18.** Индексные кривые хода роста средних высот в смешанных древостоях ВСВЦ

Наряду с моделированием закономерностей хода роста по средней высоте, был проведён аналогичный анализ данных по среднему диаметру ( $D$ , см) деревьев каждого элемента дендроценоза. Была получена регрессионная модель вида (28).

$$D_{cp}^{cp} = \exp(-1,49202 + 1,64314 \ln A - 0,14688 \ln^2 A + \ln A(-0,19376X_1 - 0,15499X_2) + \ln^2 A(0,09006X_1 + 0,07976X_2)) \quad (28)$$

$R^2 = 0,983; SE = \pm 8,9\%; F = 305,4$  при  $P < 0,05; t > t_{05} = 1,96$

Размах варьирования среднего диаметра определён по аллометрическим уравнениям связи (29) и (30).

$$D_{min}^{cp} = 0,3127D_{cp}^{1,2782}; R^2 = 0,883 \quad (29)$$

$$D_{max}^{cp} = 1,496D_{cp}^{0,9992}; R^2 = 0,975 \quad (30)$$



Таблица 4.15. Ход роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования

Возраст, лет	Вяз гладкий			Тополь белый			Тополь чёрный		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
5	0,7	2,2	3,3	0,6	2,0	2,9	0,7	2,1	2,7
10	1,9	4,5	7,0	1,8	4,7	6,8	2,1	4,8	6,3
15	3,0	6,6	10,0	3,3	7,5	10,9	3,8	7,7	10,0
20	4,1	8,3	12,7	5,0	10,4	15,1	5,6	10,6	13,7
25	5,0	9,7	14,9	6,8	13,3	19,2	7,7	13,5	17,4
30	5,9	11,0	16,8	8,7	16,1	23,4	9,8	16,3	21,1
35	6,7	12,1	18,5	10,8	19,0	27,5	12,0	19,1	24,6
40	7,4	13,1	20,0	12,8	21,8	31,6	14,2	21,9	28,2
45	8,0	13,9	21,3	15,0	24,6	35,7	16,5	24,5	31,6
50	8,5	14,7	22,5	17,2	27,3	39,7	18,7	27,2	35,0
55	9,1	15,4	23,6	19,4	30,1	43,6	21,1	29,8	38,4
60	9,5	16,0	24,5	21,7	32,8	47,5	23,4	32,3	41,7
65	10,0	16,6	25,4	23,9	35,5	51,4	25,7	34,8	44,9
70	10,4	17,1	26,2	26,2	38,1	55,2	28,1	37,3	48,1

Довольно высокие статистические характеристики точности уравнений связи указывают на надёжность полученных результатов и линий регрессии во всём диапазоне данных.

Для составления нормативно-справочных материалов следует воспользоваться затабулированными значениями средних диаметров (табл. 4.15).

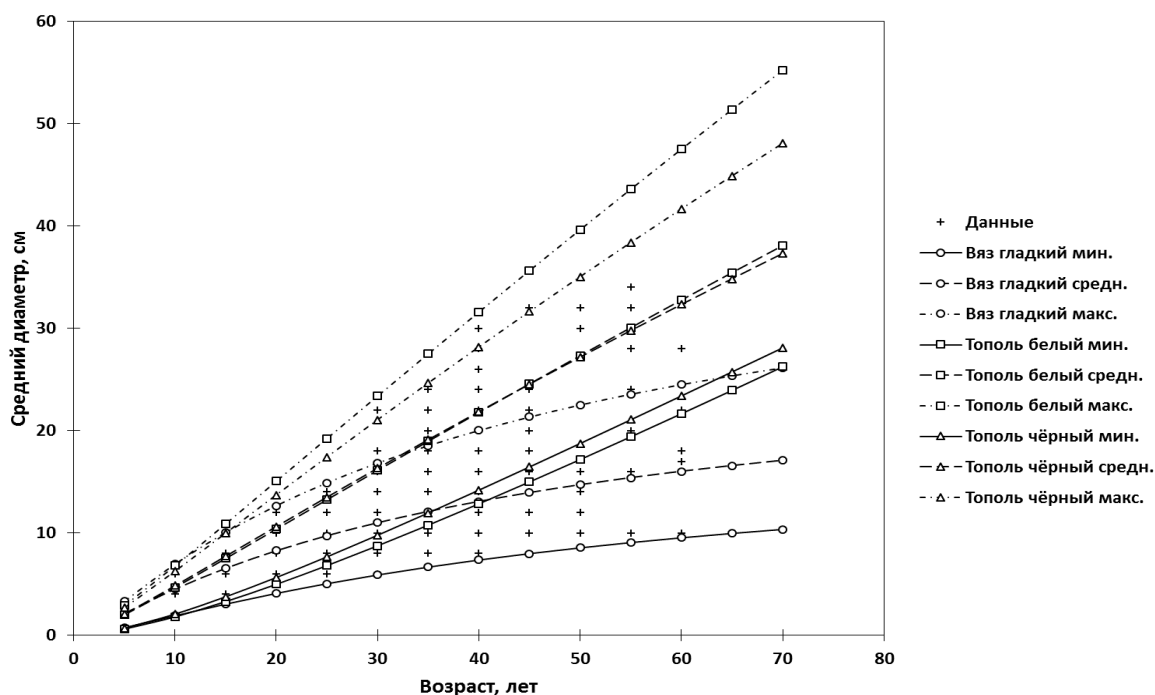
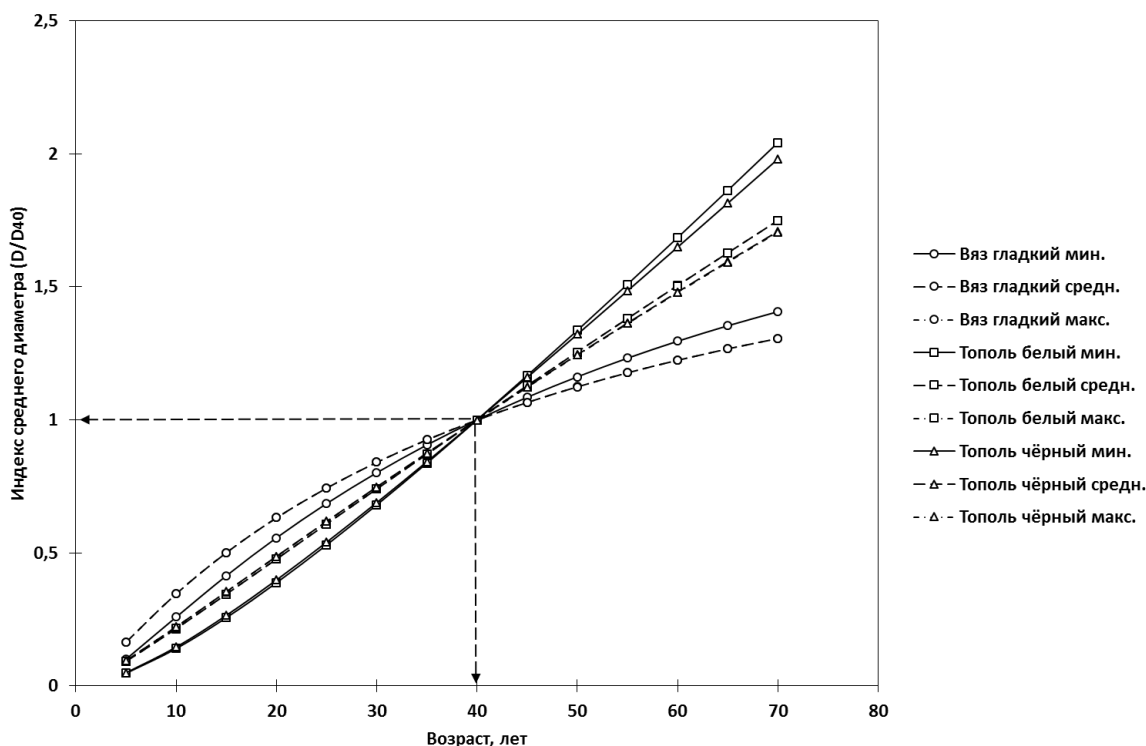


Рисунок 4.19. Линии регрессии хода роста средних диаметров элементов дендроценоза в трёх уровнях размаха варьирования



**Рисунок 4.20.** Индексные кривые хода роста средних диаметров в смешанных древостоях ВСВЦ

Графическая интерпретация линий регрессии роста всей совокупности элементов дендроценоза указывает на наличие различий как между древесными породами, так и по уровням -  $D_{cp}^{cp}$ ,  $D_{min}^{cp}$ ,  $H_{max}^{cp}$ , отображающим размах варьирования средних диаметров (рисунок 4.19). О расхождениях в темпах изменения роста средних диаметров следует судить по индексным кривым, представленным на рисунке 4.20.

Индексные кривые хода роста по среднему диаметру древесных пород в ландшафтно-типологической группе ВСВЦ указывают на менее существенные расхождения в темпах роста. И всё же их наличие указывает на необходимость составления таблиц хода роста по отдельным древесным породам с учётом возможного размаха варьирования диаметра. При этом для каждой породы следует также задаваться возможными уровнями средней толщины деревьев, как это показано при дифференцировании уровней продуктивности по классам высот. Очевидно, что эти уровни, прежде всего, связаны с густотой древостоев, что в

обязательном порядке следует учитывать при составлении лесотаксационных нормативов.

Таким образом, описанные научно-методические решения задач будут полезны составителям современных таблиц хода роста совокупности древостоев, ориентированных на лесотипологическую, а не бонитетную классификацию (Хлюстов и др., 2017).

#### **4.2. Породно-лесотипологические модели хода роста по среднестатистической высоте и толщине деревьев**

Пойменные леса реки Урал формируются под воздействием циклично изменяющегося экологических условий. Главным фактором при этом является переувлажнение почв, вызванное периодическим затоплением поймы. В свою очередь изменение гидрологических условий связано с атмосферными осадками в зимний период и геоморфологией водосборной площади.

Существующие методики составления таблиц хода роста основываются, как правило, на заранее принятой в качестве шаблона шкале классов бонитета профессора М.М. Орлова, учитывающей изменение средней высоты древостоев отдельно семенного и порослевого происхождения с возрастом. В последнем варианте бонитеровочных шкал были учтены древесные породы с указанием темпов их роста в высоту: замедленного (ель, пихта), умеренного (сосна, лиственница, дуб семенной, кедр, бук), ускоренного (береза, осина, ольха, дуб порослевой, липа) и быстрого роста (тополь, акация, ива белая).

В отличие от общепринятой схемы классификации древостоев по уровням продуктивности (бонитетам) в лесорастительных условиях поймы реки Урал на естественное формирование и рост насаждений накладывает отпечаток периодическое переувлажнение с аллювиально-промывным режимом почвообразования.

Наиболее полно процесс почвообразования и формирования лесной растительности характеризует классификация лесорастительных условий,

отражающая преобладающую формацию в вертикальном разрезе геоморфологического профиля водосбора реки. В соответствии с этим для разработки дендролого-лесотипологических моделей хода роста морфометрических показателей древостоев была составлена матрица бинарных переменных, кодирующих ландшафтно-типологическую группу лесорастительных условий и всё многообразие древесных пород, произрастающих в конкретной формации. Так для формации «Осокорники» матрица бинарных переменных представлена в виде таблицы 4.16.

Таблица 4.16. Матрица кодирования уровней продуктивности, групп типов леса и древесных пород лесорастительной формации - Осокорники

Группа типов леса	Древесная порода	Фиктивные блоковые переменные					
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
Осокорники высоких уровней прирусловые (ОВПР)	Вяз гладкий	0	0	0	0	0	0
	Ива белая ( $Z_1$ )	0	0	0	1	0	0
	Тополь белый ( $Z_2$ )	0	0	0	0	1	0
	Тополь чёрный ( $Z_3$ )	0	0	0	0	0	1
Осокорники низинные центральной поймы (пристаричевые) (ОНЦ) ( $X_1$ )	Вяз гладкий	1	0	0	0	0	0
	Ива белая ( $Z_1$ )	1	0	0	1	0	0
	Тополь белый ( $Z_2$ )	1	0	0	0	1	0
	Тополь чёрный ( $Z_3$ )	1	0	0	0	0	1
Осокорники средних уровней прирусловой поймы (ОСПР) ( $X_2$ )	Вяз гладкий	0	1	0	0	0	0
	Ива белая ( $Z_1$ )	0	1	0	1	0	0
	Тополь белый ( $Z_2$ )	0	1	0	0	1	0
	Тополь чёрный ( $Z_3$ )	0	1	0	0	0	1
Осокорники средних уровней центральной поймы (ОСЦ) ( $X_3$ )	Вяз гладкий	0	0	1	0	0	0
	Ива белая ( $Z_1$ )	0	0	1	1	0	0
	Тополь белый ( $Z_2$ )	0	0	1	0	1	0
	Тополь чёрный ( $Z_3$ )	0	0	1	0	0	1

Моделирование возрастного изменения средних высот и диаметров произведено по ростовой функции Корсуня-Бакмана (31)

$$H_{\text{ср}}^{\text{ср}}, D_{\text{ср}}^{\text{ср}} = \exp(a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A) \quad (31)$$

Сочетание ростовой функции с фиктивными переменными, кодирующими группы типов леса (X) и древесные породы (Z) придало регрессионной модели общий вид:

$$H_{\text{ср}}^{\text{ср}}, D_{\text{ср}}^{\text{ср}} = \exp\left(\sum_{k=0}^2 \ln^k A \left(a_k + \sum_{i=1}^n b_{k,i} X_i + \sum_{j=1}^m c_{k,j} Z_j\right)\right) \quad (32)$$

где:

$H_{\text{ср}}^{\text{ср}}, D_{\text{ср}}^{\text{ср}}$  – средняя высота (м), средний диаметр (см) древесной породы;

$A$  – возраст древостоя, лет;

$X, Z$  – фиктивные переменные;

$a, b, c$  – параметры модели;

$k, i, j$  – индексы.

Регрессионные модели хода роста по средней высоте и среднему диаметру древесных пород, составляющие осокорниковые группы типов леса, представлены уравнениями асинхронного типа (33), (34), так как они по сравнению с синхронным типом более точно описывают особенности хода роста древесных пород как в дендрологическом, так и в лесотипологическом отношении (Андреев, 2010; Демаков, 1991, 2002; Дрейпер и др., 1973; Дыренков, 1973, 1977, 1984; Загреев, 1971, 1979, 1983; Кивисте, 1988; Кузьмичёв, 1975, 1980, 2013, 2015; Хлюстов, 2015а., 2015б; Хлюстов и др., 2014, 2017, 2017, 2017; Черных и др., 1996, 1999, 2009; Rogozin и др., 2015 и др.).

$$\begin{aligned} H_{\text{ср}}^{\text{ср}} = & \exp(-1,93563 + 1,62630 \ln A - 0,11616 \ln^2 A + \\ & + \ln A(0,01928X_1 + 0,1393X_2 + 0,00805X_3) + \ln^2 A(-0,00684X_1 - \\ & - 0,04022X_2 - 0,00374X_3) + \ln A(0,41436Z_1 + 0,53407Z_2 + \\ & + 0,47131Z_3) + \ln^2 A(-0,08784Z_1 - 0,11224Z_2 - 0,09995Z_3)) \end{aligned} \quad (33)$$

$$R^2 = 0,983; ES \pm 6,3\%; t_{\text{расч}} > t_{05} = 1,96.$$

$$\begin{aligned}
D_{cp}^{cp} = & \exp(-2,02555 + 1,73997 \ln A - 0,11685 \ln^2 A + \\
& + \ln A(0,12332X_1 - 0,00696X_2 + 0,10079X_3) + \ln^2 A(-0,03324X_1 + \\
& + 0,00073X_2 - 0,02495X_3) + \ln A(0,19099Z_1 + 0,23436Z_2 + \\
& + 0,25165Z_3) + \ln^2 A(-0,02363Z_1 - 0,03075Z_2 - 0,03795Z_3))
\end{aligned}
\tag{34}$$

$$R^2 = 0,990; ES = \pm 6,8\%; t_{расч} > t_{05} = 1,96.$$

где:

$H$  - средняя высота  $Z_i$  древесной породы в  $X_i$  группе типов леса, м;

$D$  - средний диаметр  $Z_i$  древесной породы в  $X_i$  группе типов леса, см;

$A$  - возраст, лет;

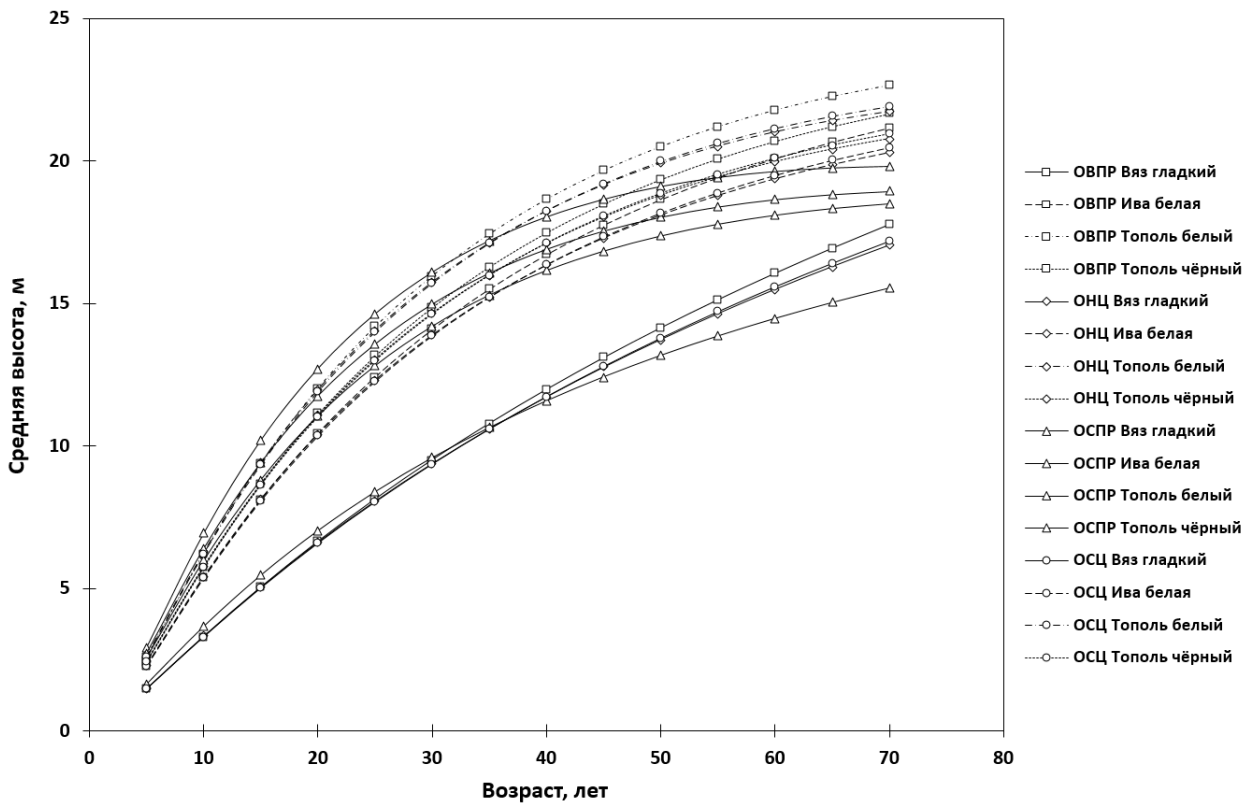
$R^2$  - показатель детерминации;

$ES$  - стандартная ошибка уравнения;

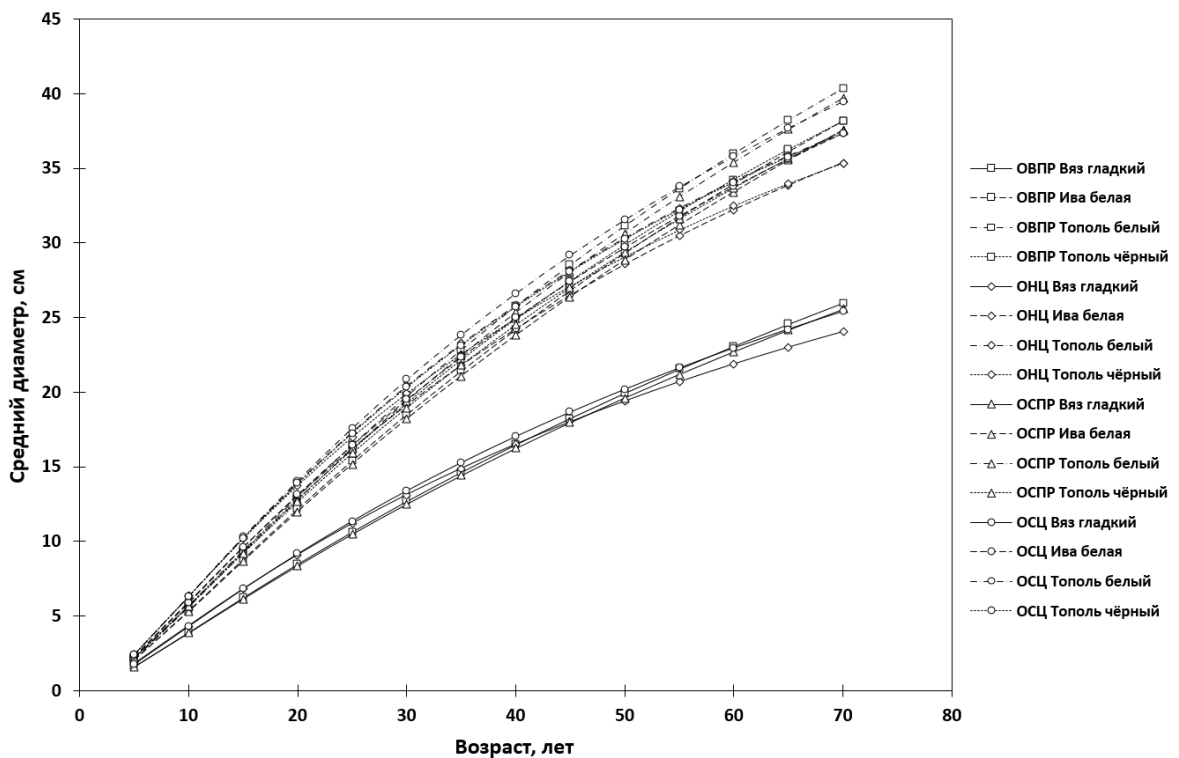
$t_{расч}$  - критерий значимости численных коэффициентов уравнения;

$F$  - критерий значимости уравнения регрессии.

Полученные значения коэффициентов детерминации ( $R^2=0,983-0,990$ ) и другие статистические параметры уравнений указывают на высокую достоверность моделей. Усредненные по породам и по группам типов леса линии регрессии хода роста средних высот и средних диаметров древостоев показаны на рисунках 4.21 и 4.22.



**Рисунок 4.21.** Изменение с возрастом средней высоты лесобразующих пород древостоев по группам типов леса среднего уровня продуктивности



**Рисунок 4.22.** Изменение с возрастом среднего диаметра лесобразующих пород древостоев по группам типов леса среднего уровня продуктивности

Графический анализ рисунков позволяет указать на следующее. Линии регрессии, относящиеся к вязу гладкому по обоим показателям существенно ниже чем у других лесообразующих пород независимо от группы типов леса. Более того, низкая экологическая устойчивость этой древесной породы к патогенным заболеваниям (голандская болезнь и пр.) и энтомовам вредителям, низкое товарное качество стволовой древесины дает полное основание рекомендовать в осокорниках первоочередную вырубку этой породы при рубках ухода (осветлениях и прочистках).

### 4.3. Модели предельных значений средней высоты и среднего диаметра древостоев

Что же касается насаждений с наличием ивы белой, тополя белого и тополя чёрного, то для них была разработана модель эколого-таксационной классификации древостоев во всём диапазоне варьирования средних высот и средних диаметров по имеющимся группам типов леса.

Для её построения была использована матрица бинарных переменных (табл. 4.17).

Таблица 4.17. Матрица бинарных переменных, кодирующих древесные породы в моделях предельных значений средних высот и диаметров древостоев

Древесная порода	Блочные фиктивные переменные		
Вяз гладкий	0	0	0
Ива белая	1	0	0
Тополь белый	0	1	0
Тополь чёрный	0	0	1

Регрессионная модель размаха варьирования средних высот древостоев для закодированных лесообразующих пород представлена выражением общего вида:

$$H_{\min}^{\text{cp}}, H_{\max}^{\text{cp}} = \exp \left( a_0 + a_1 \ln H_{\text{cp}}^{\text{cp}} + \ln H_{\text{cp}}^{\text{cp}} \left( \sum_{i=1}^n b_i X_i \right) \right) \quad (35)$$



где:

$H_{\min}^{\text{cp}}, H_{\max}^{\text{cp}}$  минимальные и максимальные значения средних высот составляющих древесных пород, м;

$H_{\text{cp}}^{\text{cp}}$  – среднестатистическое значение средних высот древостоев, м.

Для определения размаха варьирования средних высот были получены уравнения (36), (37), а для определения диапазона средних диаметров уравнения (39), (40).

$$H_{\min}^{\text{cp}} = \exp(-0,8883 + 1,21605 \ln H_{\text{cp}}^{\text{cp}} + \ln H_{\text{cp}}^{\text{cp}} (-0,07897X_1 - 0,25315X_2 - 0,14635X_3)) \quad (36)$$

$$R^2=0,870; ES=\pm 22,0\%; t>t_{05}=1,96; F=63,5 \text{ при } P<0,05$$

$$H_{\max}^{\text{cp}} = \exp(1,06077 + 0,68393 \ln H_{\text{cp}}^{\text{cp}} + \ln H_{\text{cp}}^{\text{cp}} (0,09182X_1 + 0,11500X_2 + 0,11904X_3)) \quad (37)$$

$$R^2=0,954; ES=\pm 10,0; t>t_{05}=1,96; F=199,3 \text{ при } P<0,05$$

Регрессионная модель размаха варьирования средних диаметров древостоев для закодированных лесообразующих пород представлена выражением общего вида:

$$D_{\min}^{\text{cp}}, D_{\max}^{\text{cp}} = \exp \left( a_0 + a_1 \ln D_{\text{cp}}^{\text{cp}} + \ln D_{\text{cp}}^{\text{cp}} \left( \sum_{i=1}^n b_i X_i \right) \right) \quad (38)$$

где:

$D_{\min}^{\text{cp}}, D_{\max}^{\text{cp}}$  - минимальные и максимальные значения средних диаметров древостоев составляющих древесных пород, см;

$D_{\text{cp}}^{\text{cp}}$  - среднестатистическое значение среднего диаметра древостоев, см.

$$D_{\min}^{\text{cp}} = \exp(-1,38969 + 1,3666 \ln D_{\text{cp}}^{\text{cp}} + \ln D_{\text{cp}}^{\text{cp}} (-0,09540X_1 - 0,16327X_2 - 0,15484X_3)) \quad (39)$$

$$R^2=0,946; ES=\pm 21,0\%; t>t_{05}=1,96; F=172,3 \text{ при } P<0,05$$

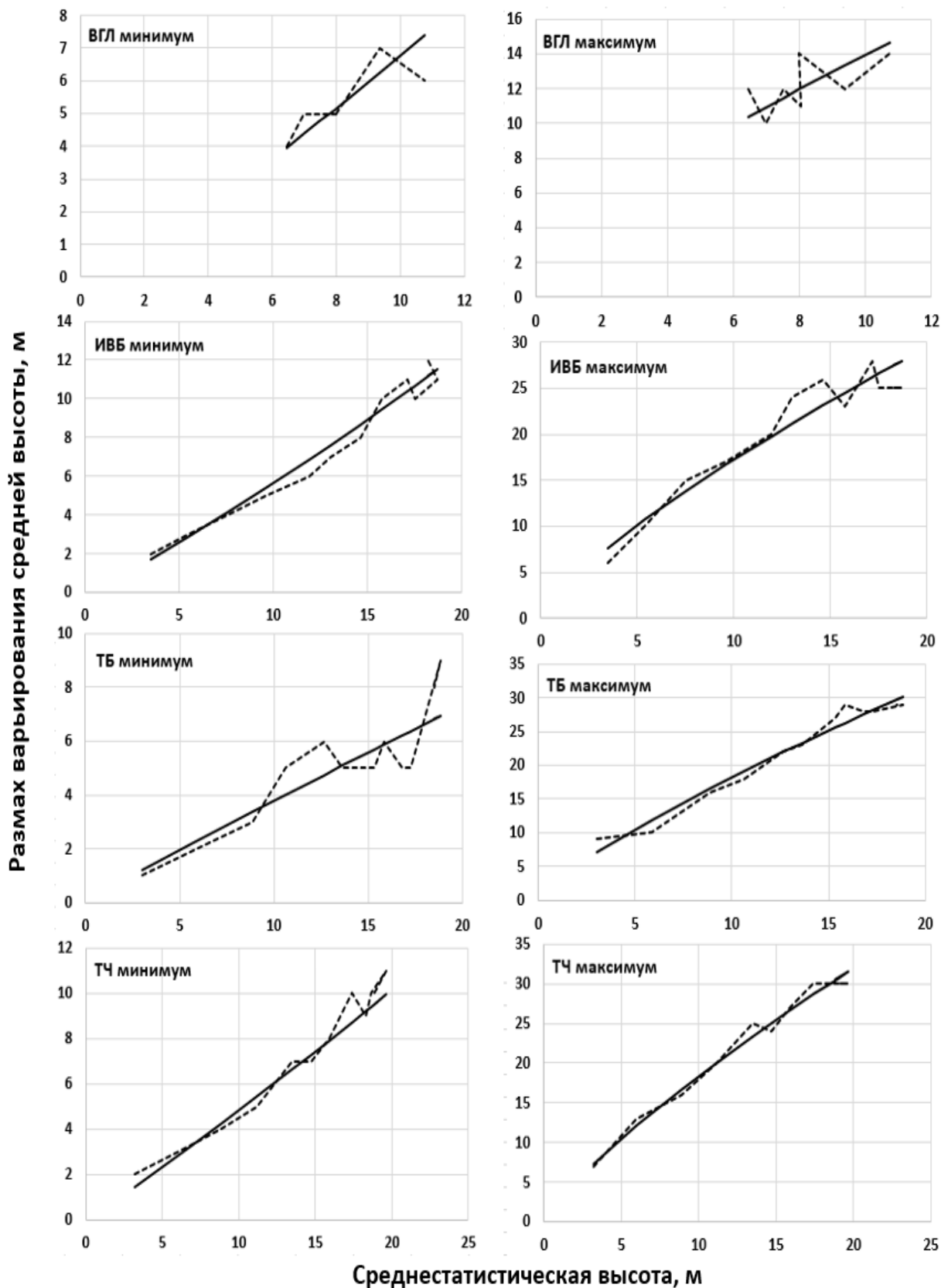
$$D_{\max}^{\text{cp}} = \exp(1,01252 + 0,74166 \ln D_{\text{cp}}^{\text{cp}} + \ln D_{\text{cp}}^{\text{cp}} (0,10983X_1 + \dots)) \quad (40)$$

$$+0,11872X_2 + 0,10846X_3)$$

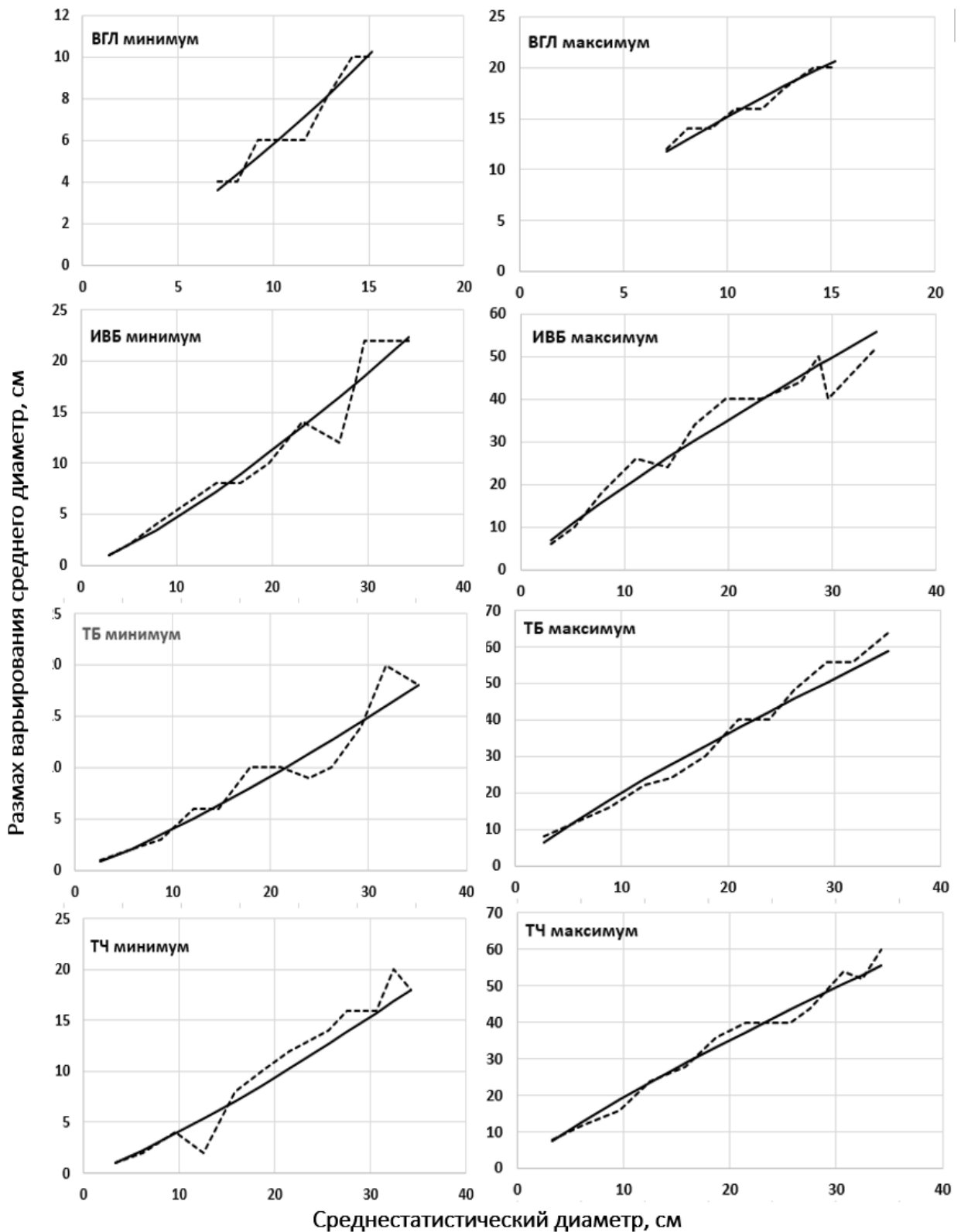
$$R^2=0,977; ES=\pm 9,0 \%; t>t_{05}=1,96; F=411,5 \text{ при } P<0,05$$

Статистические параметры уравнений указывают на высокую степень достоверности получаемых по ним предельных значений средних высот и диаметров.

Наглядно размах варьирования средних высот и диаметров древостоев лесобразующих пород показан на рисунках 4.23 и 4.24. Полное совпадение эмпирических линий (пунктирных) с теоретически полученными линиями регрессии (сплошными) указывает на высокую степень достоверности результатов сравнения.



**Рисунок 4.23.** Взаимосвязь размаха варьирования средних высот со среднестатистической высотой древостоев лесообразующих пород осокорниковой лесорастительной формации



**Рисунок 4.24.** Взаимосвязь размаха варьирования среднего диаметра со среднестатистическим диаметром древостоев лесообразующих пород осокорниковой лесорастительной формации

#### 4.4. Трёхуровневые модели хода роста по средней высоте и среднему диаметру древостоев

На следующем этапе размах варьирования  $H_{cp}$  и  $D_{cp}$  был включён в трёхуровневые модели хода роста указанных морфометрических показателей. Модели хода роста включают в себя весь комплекс ландшафтно- типологических лесорастительных формаций поймы (групп типов леса) и произрастающих в них древесных пород (Хлюстов и др., 2018). Матрица кодирования переменных, включенных в модель представлена в виде таблицы 4.18.

Таблица 4.18. Матрица кодирования уровней продуктивности, групп типов леса и древесных пород лесорастительной формации – Осокорники

Уровень продуктивности (код - $X_i$ )	Группа типов леса (код $Z_i$ )	Древесная порода (код $F_i$ )	Блочные фиктивные переменные						
			$X_1$	$X_2$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$F_1$	$F_2$
Уровень I - высший	ОВПР	ИВБ	0	0	0	0	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	0	0	0	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	0	0	0	0	0	1
	ОНЦ ( $Z_1$ )	ИВБ	0	0	1	0	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	0	1	0	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	0	1	0	0	0	1
	ОСПР ( $Z_2$ )	ИВБ	0	0	0	1	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	0	0	1	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	0	0	1	0	0	1
	ОСЦ ( $Z_3$ )	ИВБ	0	0	0	0	1	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	0	0	0	1	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	0	0	0	1	0	1
Уровень II - средний ( $X_1$ )	ОВПР	ИВБ	1	0	0	0	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	1	0	0	0	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	1	0	0	0	0	0	1
	ОНЦ ( $Z_1$ )	ИВБ	1	0	1	0	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	1	0	1	0	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	1	0	1	0	0	0	1
	ОСПР ( $Z_2$ )	ИВБ	1	0	0	1	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	1	0	0	1	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	1	0	0	1	0	0	1
	ОСЦ ( $Z_3$ )	ИВБ	1	0	0	0	1	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	1	0	0	0	1	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	1	0	0	0	1	0	1

Уровень III - низший ( $X_2$ )	ОВПР	ИВБ	0	1	0	0	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	1	0	0	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	1	0	0	0	0	1
	ОНЦ ( $Z_1$ )	ИВБ	0	1	1	0	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	1	1	0	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	1	1	0	0	0	1
	ОСПР ( $Z_2$ )	ИВБ	0	1	0	1	0	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	1	0	1	0	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	1	0	1	0	0	1
	ОСЦ ( $Z_3$ )	ИВБ	0	1	0	0	1	0	0
		ТБ ( $F_1$ )	0	1	0	0	1	1	0
		ТЧ ( $F_2$ )	0	1	0	0	1	0	1

Комбинация уравнений (31), (32) с уравнениями (33) - (36) позволило получить данные для построения трёхуровневых породно-лесотипологических моделей возрастного изменения средних высот и средних диаметров древостоев во всём диапазоне их варьирования.

Построение моделей осуществлено на основе матрицы бинарных переменных, кодирующих три уровня средних высот ( $H_I - H_{III}$ ) и средних диаметров ( $D_I - D_{III}$ ) - ( $X_i$ ), четыре группы типов леса - ( $Z_i$ ) и три древесные породы - ( $F_i$ ).

Сочетание полиномологарифмической функции роста с тремя фиктивными переменными представлено математическим выражением общего вида:

$$H_{cp}^{cp}, D_{cp}^{cp} = \exp \left( \sum_{k=0}^3 \ln^k A \left( a_k + \sum_{i=1}^n b_{k,i} X_i + \sum_{j=1}^m c_{k,j} Z_j + \sum_{q=1}^p d_{k,q} F_q \right) \right) \quad (41)$$

Так, трёхуровневые дендролого-лесотипологические модели хода роста по средней высоте (42) и среднему диаметру (43) древостоев представлены регрессиями асинхронного вида:

$$\begin{aligned} H_{cp}^{cp} = & \exp(-0,49901 + 1,37916 \ln A - 0,02418 \ln^3 A + \\ & + \ln A(-1,08091 X_1 - 2,06770 X_2) + \ln^2 A(0,45443 X_1 + 0,82467 X_2) + \\ & + \ln^3 A(-0,05289 X_1 - 0,09499 X_2) + \ln A(0,14381 Z_1 + 0,25777 Z_2 + \\ & + 0,13315 Z_3) + \ln^2 A(-0,08487 Z_1 - 0,11657 Z_2 - 0,08193 Z_3) + \\ & + \ln^3 A(0,01177 Z_1 + 0,01177 Z_2 + 0,01177 Z_3) + \ln A(+0,20737 F_1 + \\ & + 0,14947 F_2) + \ln^2 A(-0,10770 F_1 - 0,07742 F_2) + \ln^3 A(0,01294 F_1 + \\ & + 0,009918 F_2)) \end{aligned} \quad (42)$$

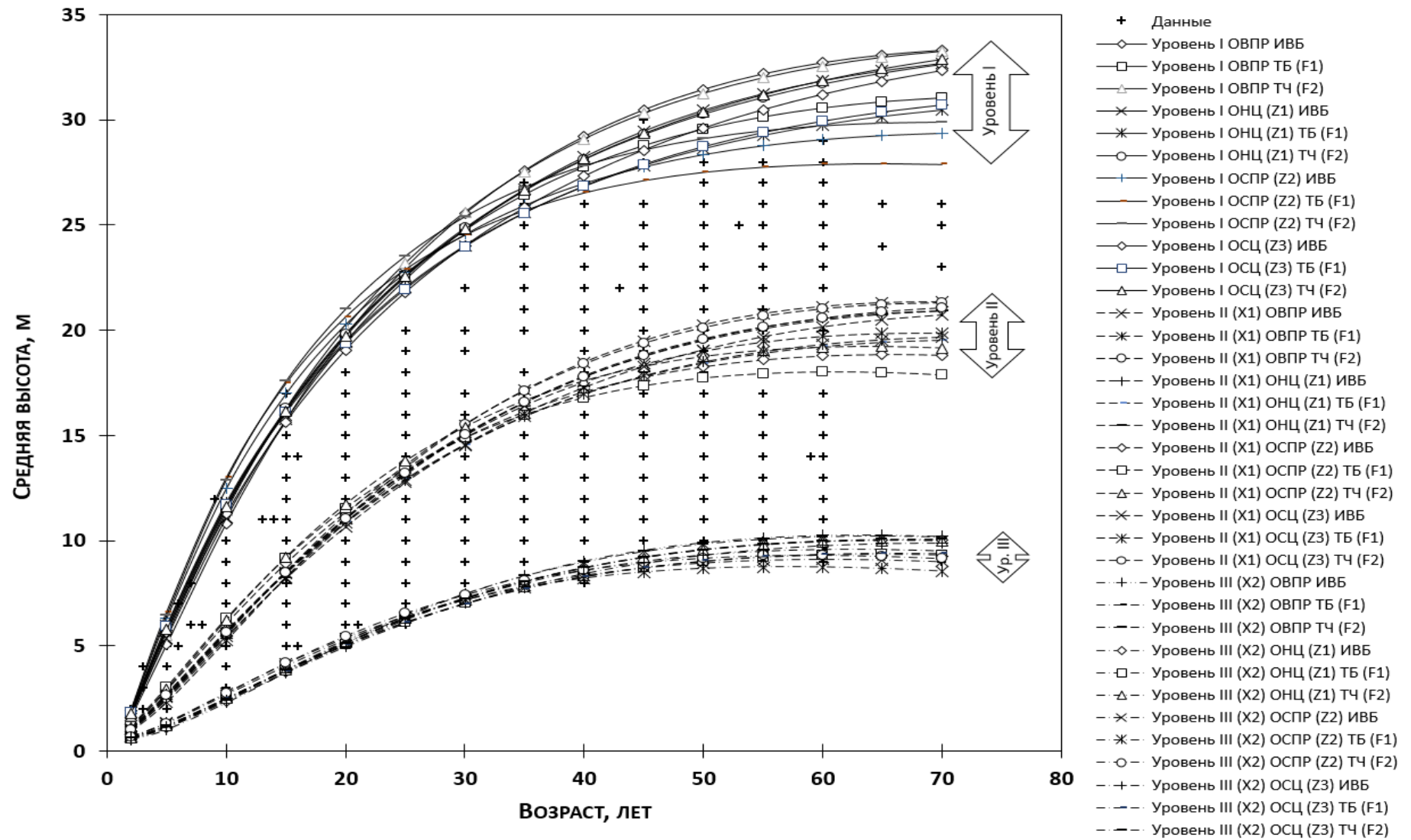
$$R^2=0,984; ES=\pm 9,0\%; t>t_{05}=1,96; F=1268,6 \text{ нпу } P<0,05$$

$$\begin{aligned}
D_{cp}^{cp} = & \exp(-0,86401 + 1,52981 \ln A - 0,01960 \ln^3 A + \\
& + \ln A(-1,05469X_1 - 2,64443X_2) + \ln^2 A(+0,41629X_1 + 1,08970X_2) + \\
& + \ln^3 A(-0,04596X_1 - 0,12416X_2) + \ln A(0,25823Z_1 + 0,12435Z_2 + \\
& + 0,23508Z_3) + \ln^2 A(-0,11628Z_1 - 0,08138Z_2 - 0,10777Z_3) + \\
& + \ln^3 A(0,01233Z_1 + 0,01233Z_2 + 0,01233Z_3) + \ln A(+0,14797F_1 + \\
& + 0,16575F_2) + \ln^2 A(-0,08109F_1 - 0,08880F_2) + \ln^3 A(0,01093F_1 + \\
& + 0,01098F_2))
\end{aligned}
\tag{43}$$

$$R^2=0,997; ES=\pm 5,5\%; t>t_{05}=1,96; F=6679,9 \text{ при } P<0,05$$

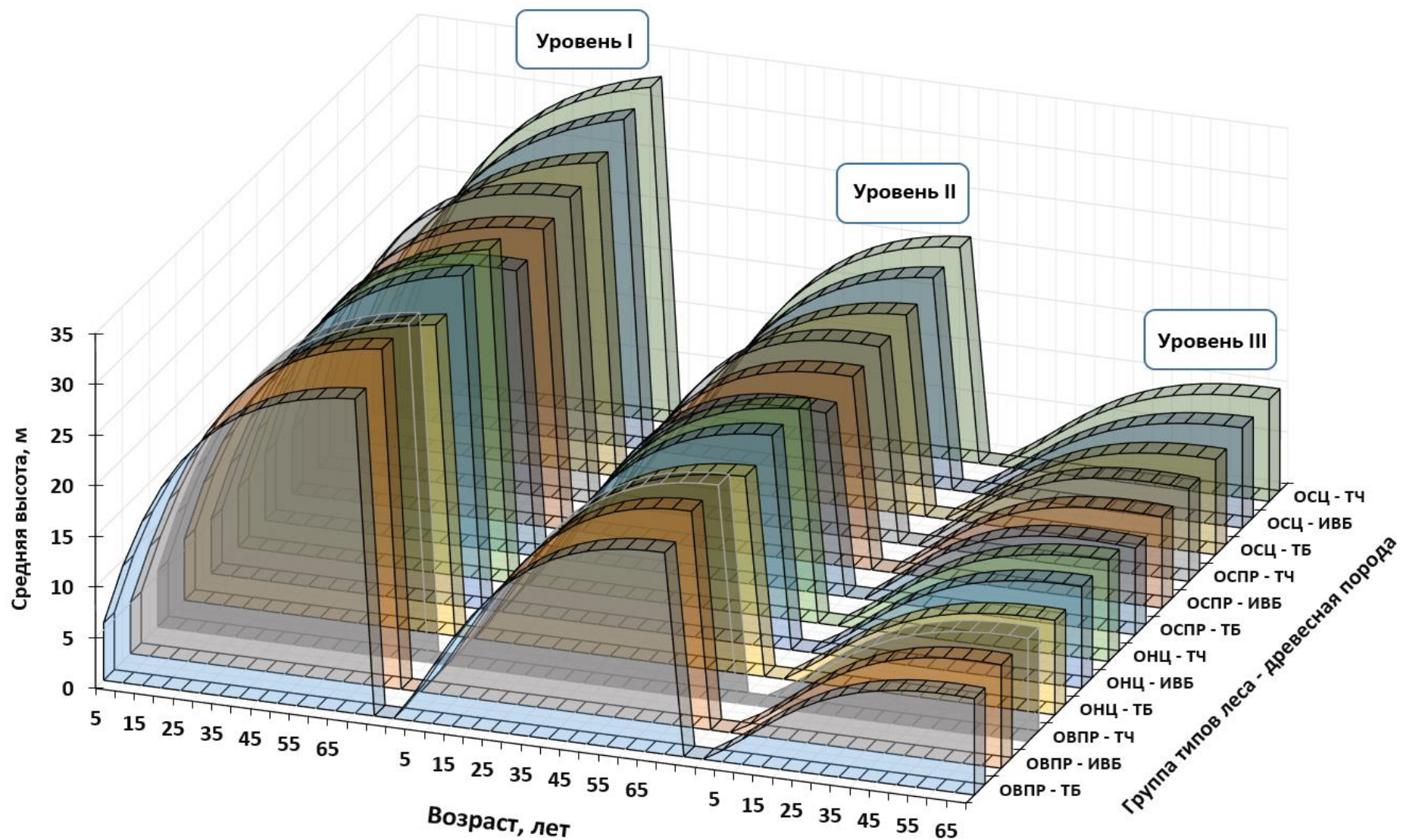
Графическая интерпретация трёхуровневых моделей возрастного изменения средних высот (рис. 4.25, 4.26) и средних диаметров (рис. 4.28, 4.29) наглядно показывает расхождение в темпах роста древесных пород как между собой, так и в группах типов леса по каждому уровню средних высот и диаметров древостоев.

Графическое сопоставление фактических и теоретических значений средних высот (Рис. 4.25), представление многомерных закономерностей изменения средней высоты древостоев (Рис. 4.26) позволяет провести сравнение полученных кривых хода роста с общебонитеровочной шкалой, относящейся к древесным породам быстрого роста (тополь, ива белая, акация белая) ВНИИЛМ (Выводцев и др., 1982; Загреев и др., 1992).



**Рисунок 4.25.** Сопоставление теоретических значений средних высот, полученных по модели (7) с фактическими данными в размахе варьирования средних высот древостоев





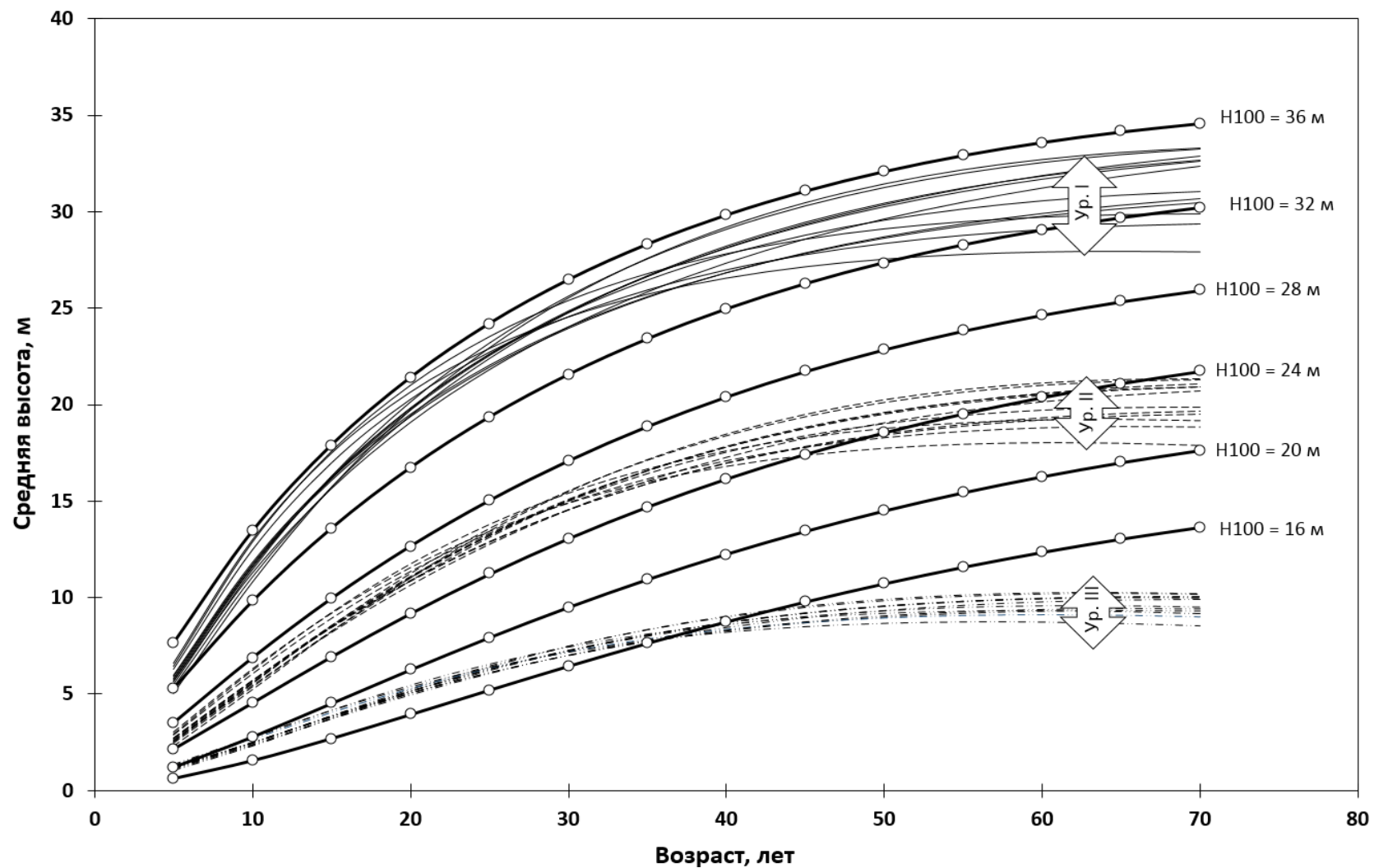
**Рисунок 4.26.** Изменение с возрастом средней высоты в трёх уровнях средних высот, у трёх древесных пород в четырёх группах типов леса

Для этого изменение с возрастом ( $A$ , лет) средней высоты ( $H_{\text{ср}}$ , м) бонитеровочной шкалы по классам средних высот ( $H_{100}$ , м) ранее было представлено В.К. Хлюстовым (2015б) в виде уравнения регрессии:

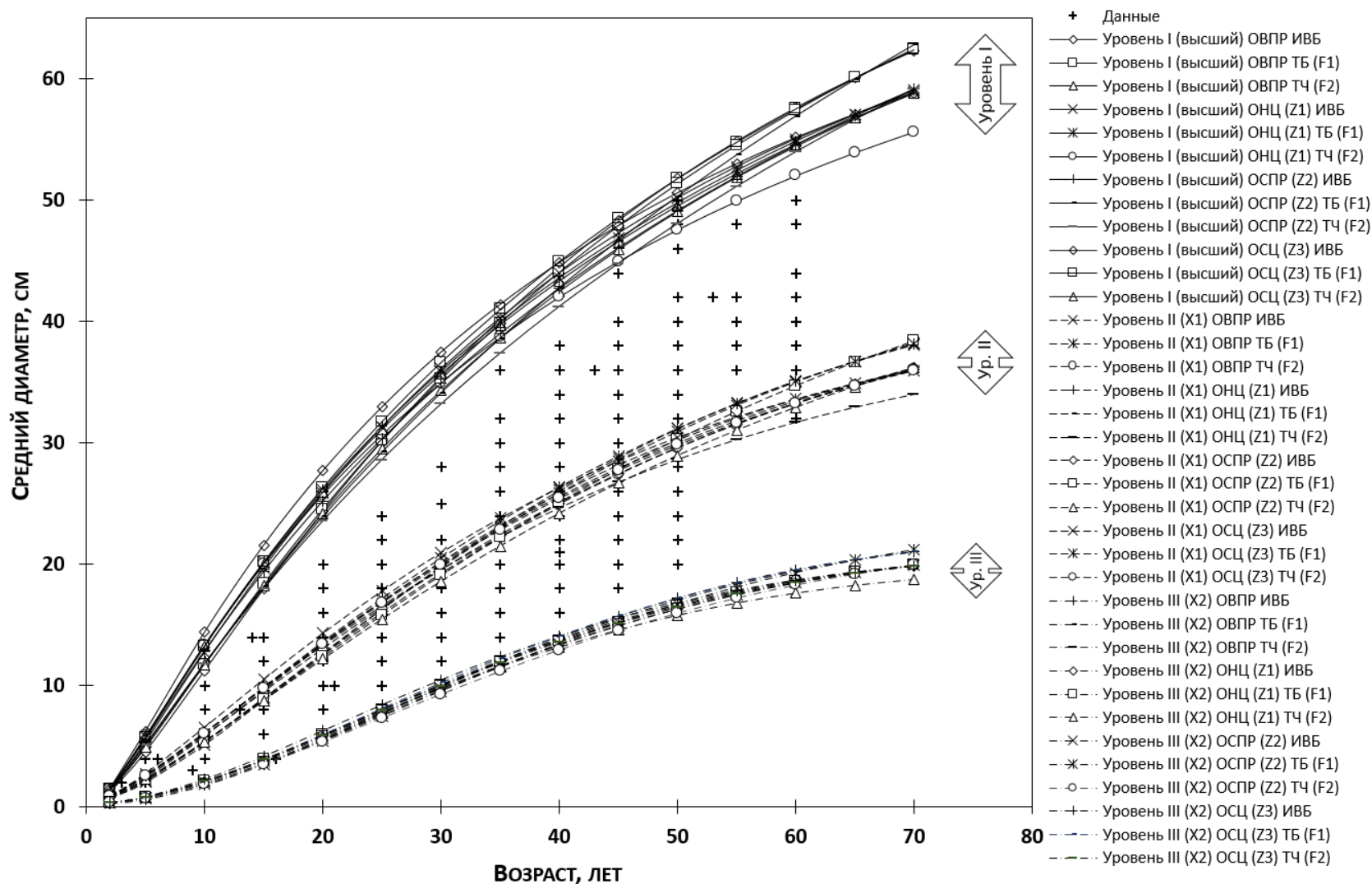
$$\begin{aligned} H_{\text{ср}} = & \exp(-9,717049 - 2,581092 \ln A + 2,253874 \ln^2 A - 0,268139 \ln^3 A + \\ & + 2,856792 \ln H_{100} + 0,989683 \ln A \ln H_{100} - 0,625806 \ln^2 A \ln H_{100} + \\ & + 0,070158 \ln^3 A \ln H_{100}) \end{aligned} \quad (44)$$

Нанесение линий регрессии уравнения (44) на график трёх уровней средних высот осокорники лесорастительной формации (Рис. 6) позволяет констатировать факт того, что применение общебонитеровочной шкалы в пойменных лесах реки Урал неприемлемо (Хлюстов и др., 2019). Так, в низших и средних уровнях средних высот бонитетные кривые не имеют синхронного изменения с дендролесотипологическими кривыми и пересекаются (Рис. 4.27).

Это подтверждает необходимость разработки региональной классификации средних высот насаждений с заданной градацией уровней в условно заданном возрасте древостоев ( $H_A$ ) с учётом лесорастительных условий произрастания насаждений и экологических особенностей лесообразующих пород деревьев (Антанайтис, 1985; Демаков, 1991, 2002).



**Рисунок 4.27.** Сравнение породно – лесотипологических кривых возрастного изменения средних высот с кривыми общепонитерочной шкалы ВНИИЛМ для пород быстрого роста (тополь, ива белая)



**Рисунок 4.28.** Сопоставление теоретических значений средних диаметров, полученных по модели (8) с фактическими данными в размахе варьирования средних диаметров древостоев

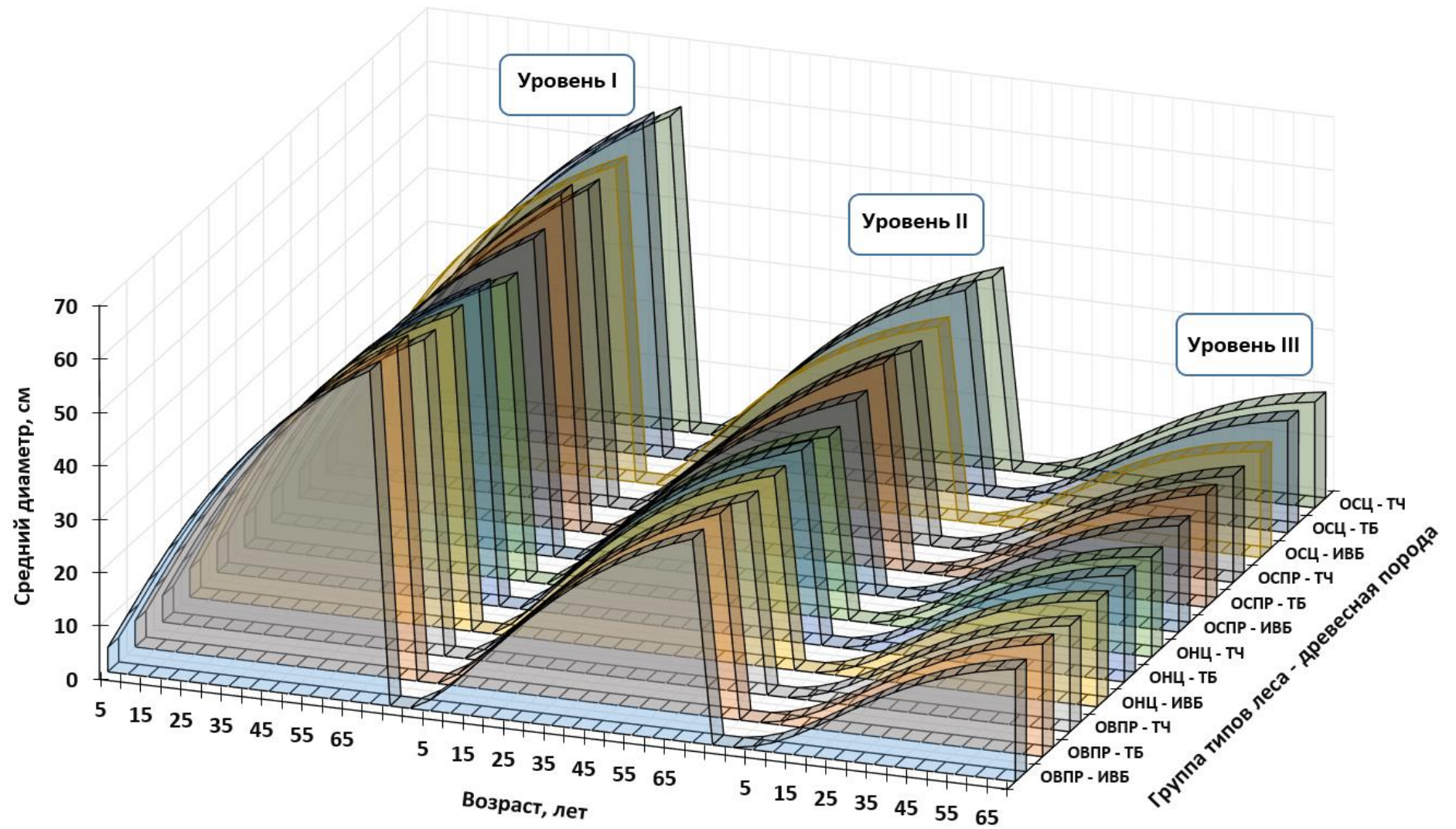


Рисунок 4.29. Изменение с возрастом среднего диаметра в трёх уровнях средних

#### 4.5. Типизация кривых хода роста лесообразующих пород по уровням продуктивности и группам типов леса

Наряду с доказательством расхождения линий регрессии по рисунку 4.27 абсолютных значений средней высоты следует рассмотреть изменение темпов роста каждой лесообразующей древесной породы как по группам типов леса, так и уровням средних высот (Ур. I – Ур. III).

Убедиться в том, что эти изменения имеют экологическую основу, позволяет построение типовых кривых изменения средних высот, выраженных в долях высоты в 30 - летнем возрасте древостоев.

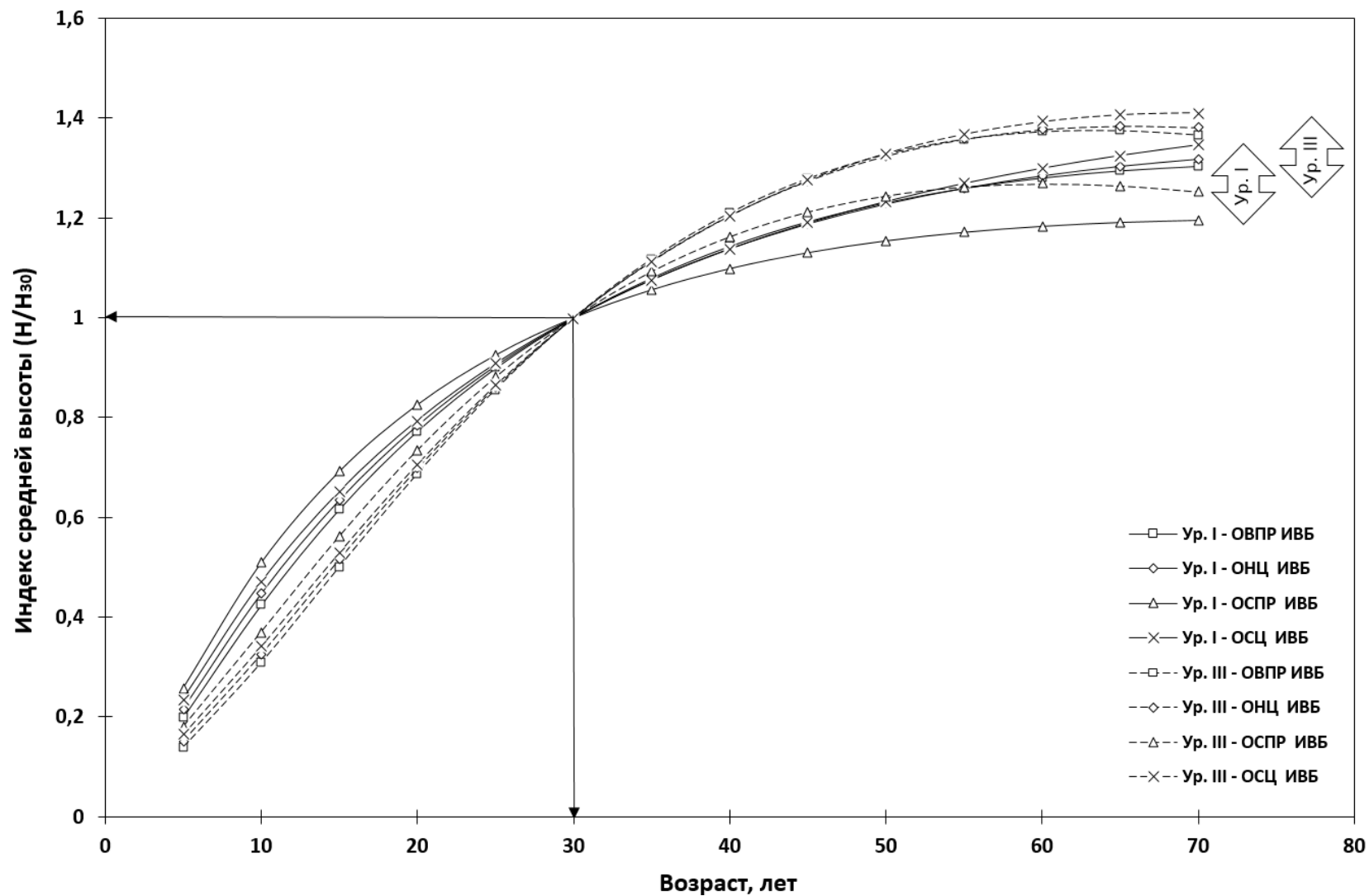
Для этого были рассчитаны индексные кривые средних высот, представленные для каждой лесообразующей породы как разрезе группы типов леса, так и по крайним уровням средних высот (Рис. 4.30 – 4.32).

Анализ рисунков позволяет сделать заключение о том, что форма ростовых кривых имеет общие для всех древесных пород закономерные изменения. Так, древостои первого (высшего) уровня средних высот имеют более высокий темп роста на этапе молодняков и средневозрастных древостоев, который существенно замедляется в приспевающих и спелых древостоях.

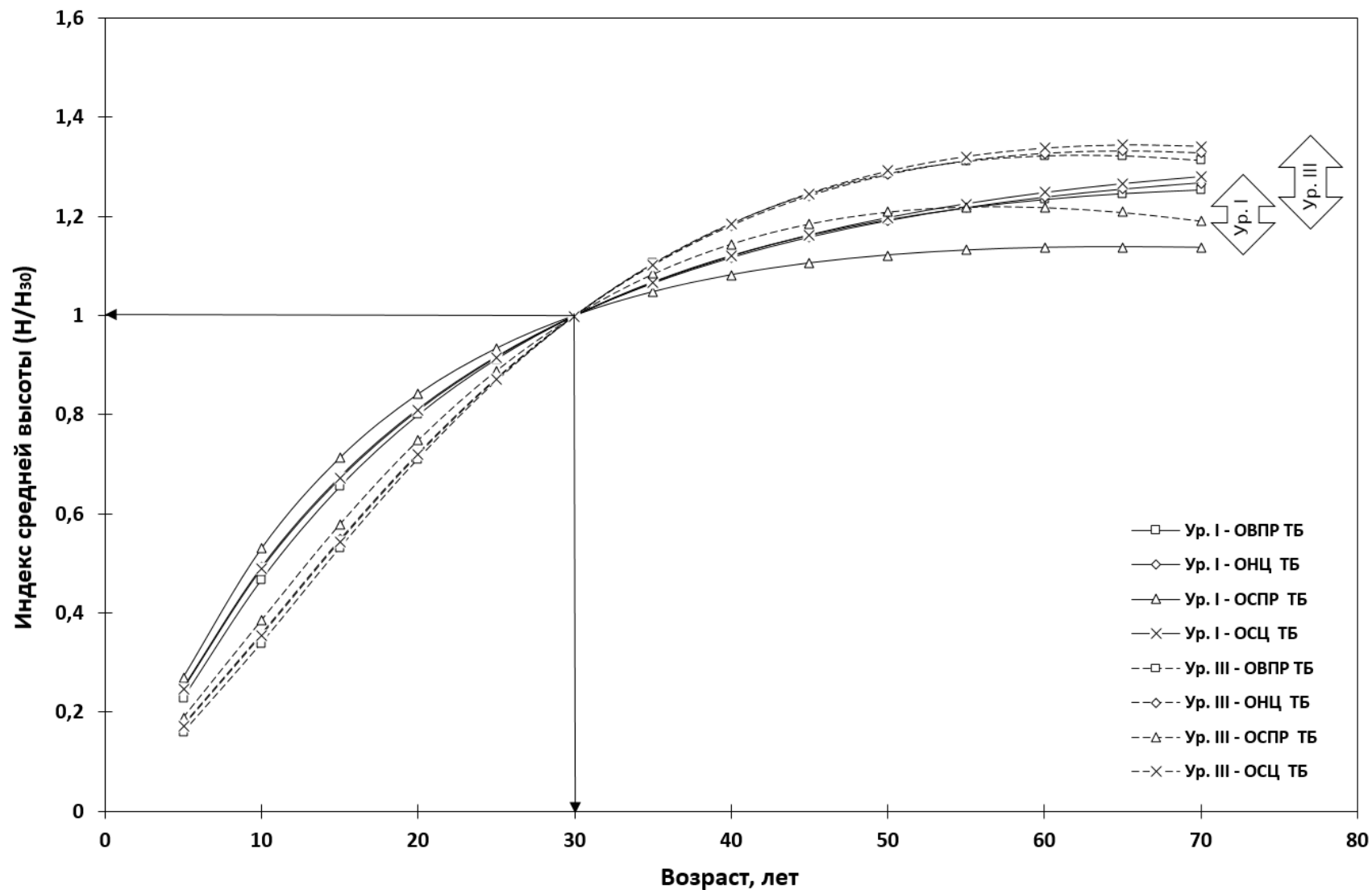
Проведенное сравнение индексных кривых средней высоты указывает на необходимость при построении моделей роста учитывать асинхронность изменений в разрезе уровней средних высот и групп типов леса.

Наряду со средней высотой графически представлены закономерности изменения с возрастом средних диаметров древостоев основных лесообразующих пород поймы реки Урал по четырём группам типов леса и трём уровням средних диаметров (Рис. 4.28, 4.29).

Возрастное изменение индексных кривых среднего диаметра по предельным  $D_I$  и  $D_{III}$  уровням средних диаметров показано на рисунках 4.33-4.35. Для рассматриваемых лесообразующих пород проявляется схожая дифференциация в индексных кривых, которая зависит как уровня средних высот, так и от группы типов леса.

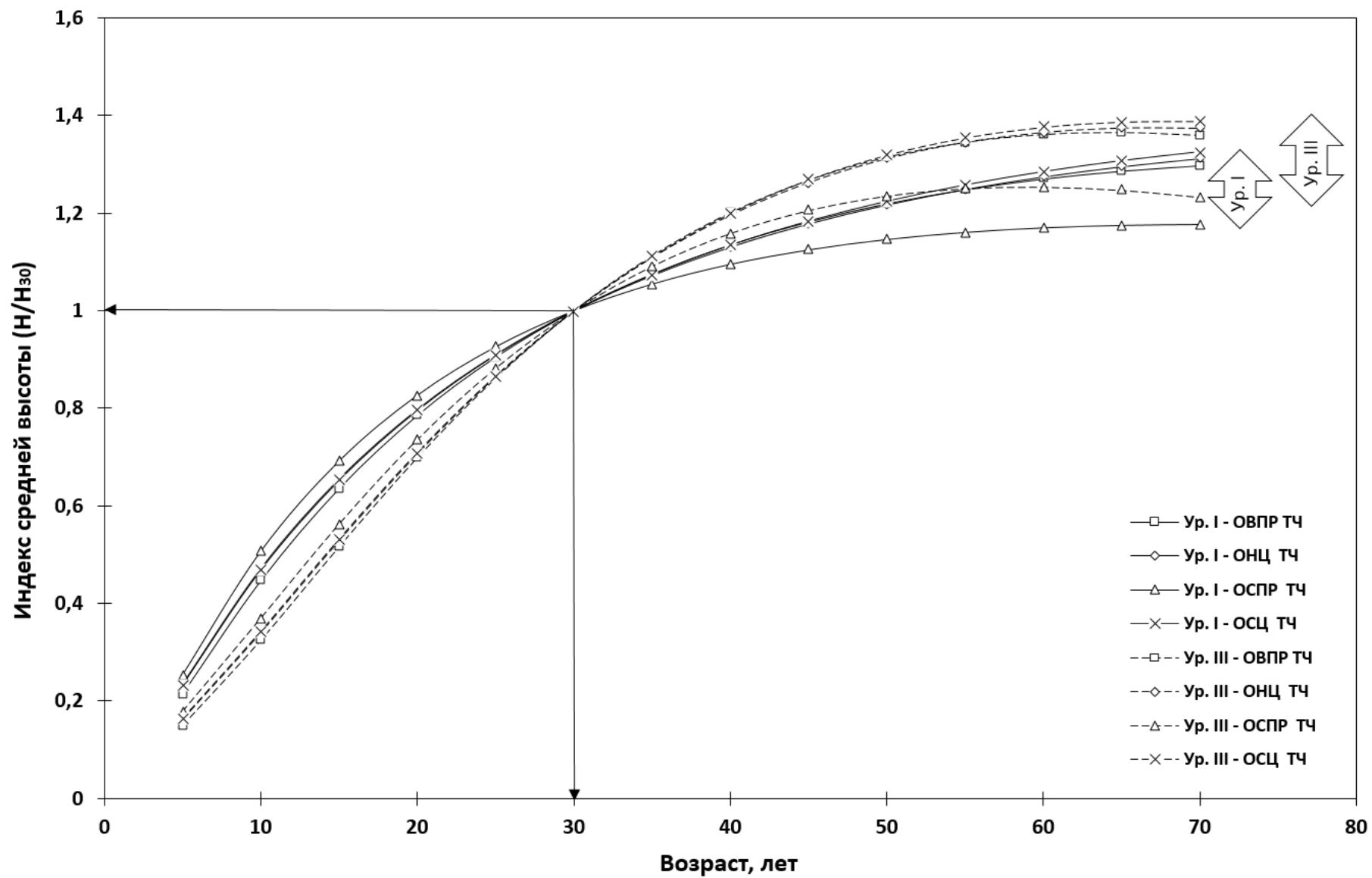


**Рисунок 4.30.** Возрастное изменение индексов средней высоты древостоев ивы белой крайних уровней средних высот по группам типов леса

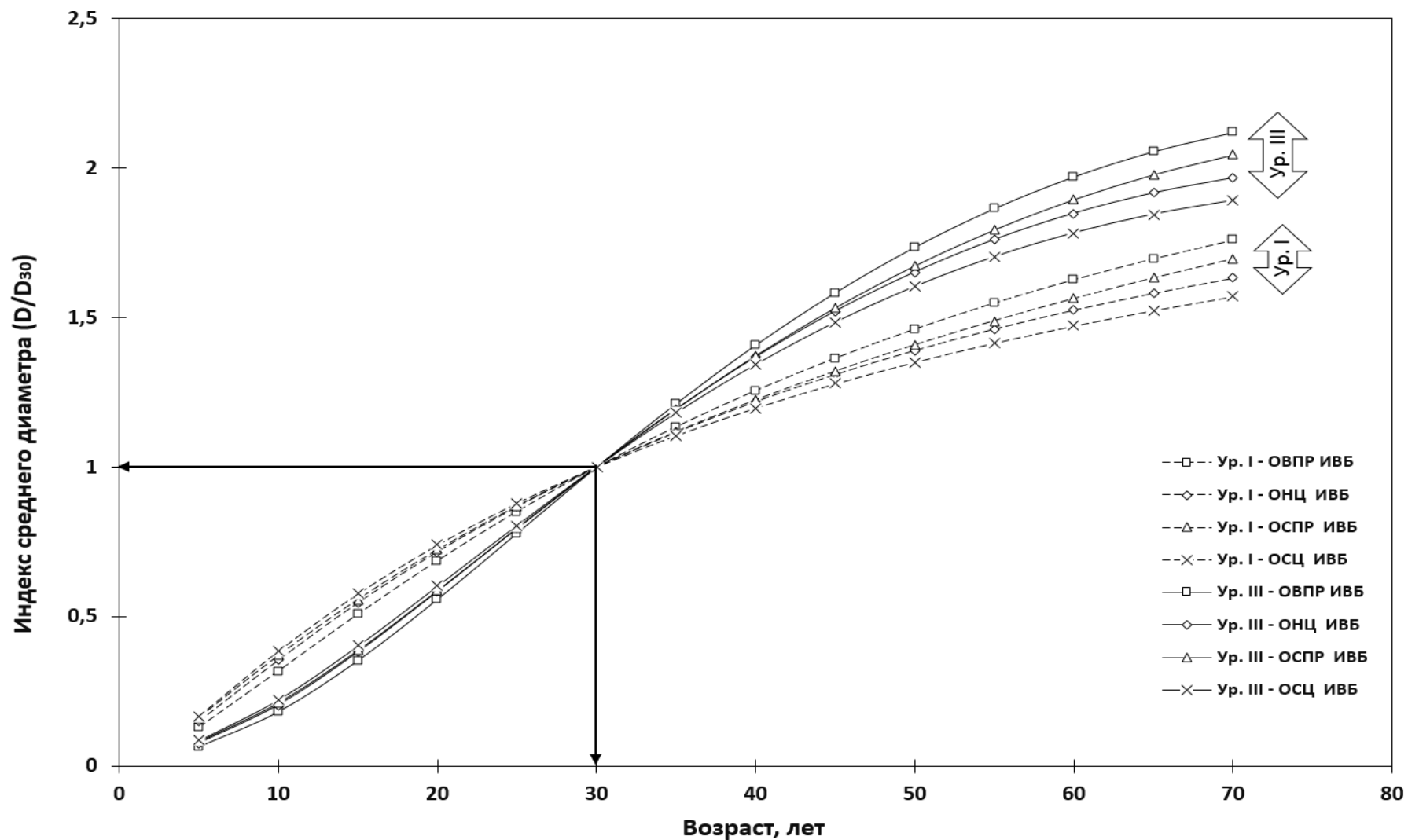


**Рисунок 4.31.** Возрастное изменение индексов средней высоты древостоев тополя белого крайних уровней средних высот по группам типов леса

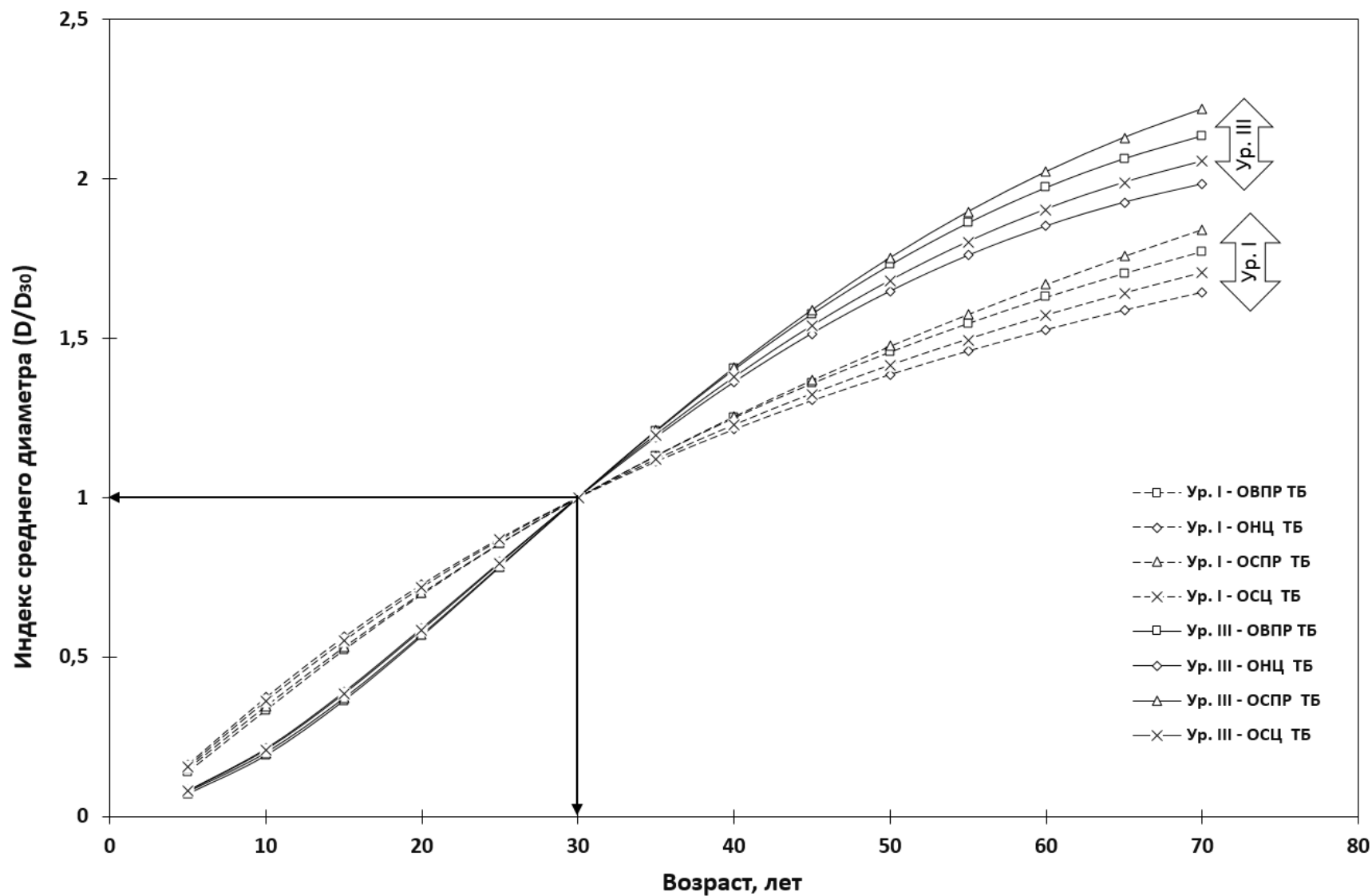




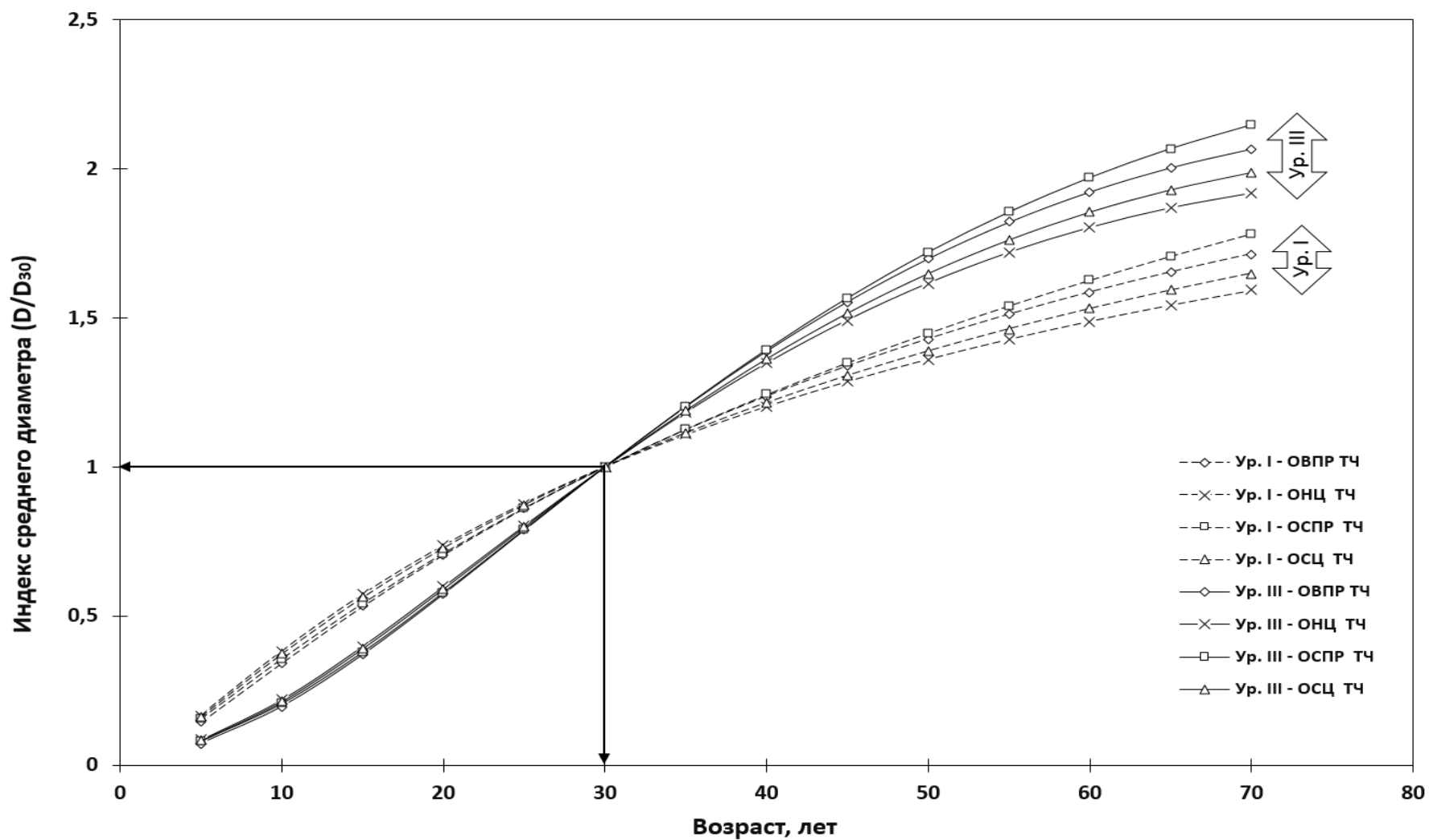
**Рисунок 4.32.** Возрастное изменение индексов средней высоты древостоев тополя чёрного крайних уровней средних высот по группам типов леса



**Рисунок 4.33.** Возрастное изменение индексов среднего диаметра древостоев ивы белой крайних уровней средних высот по группам типов леса



**Рисунок 4.34.** Возрастное изменение индексов среднего диаметра древостоев тополя белого крайних уровней средних высот по группам типов леса



**Рисунок 4.35.** Возрастное изменение индексов среднего диаметра древостоев тополя чёрного крайних уровней средних высот по группам типов леса

## 5. Хода роста древостоев по лесотипологическим классам высот

### 5.1. Лесотипологическая модель классов средних высот и продуктивности древостоев

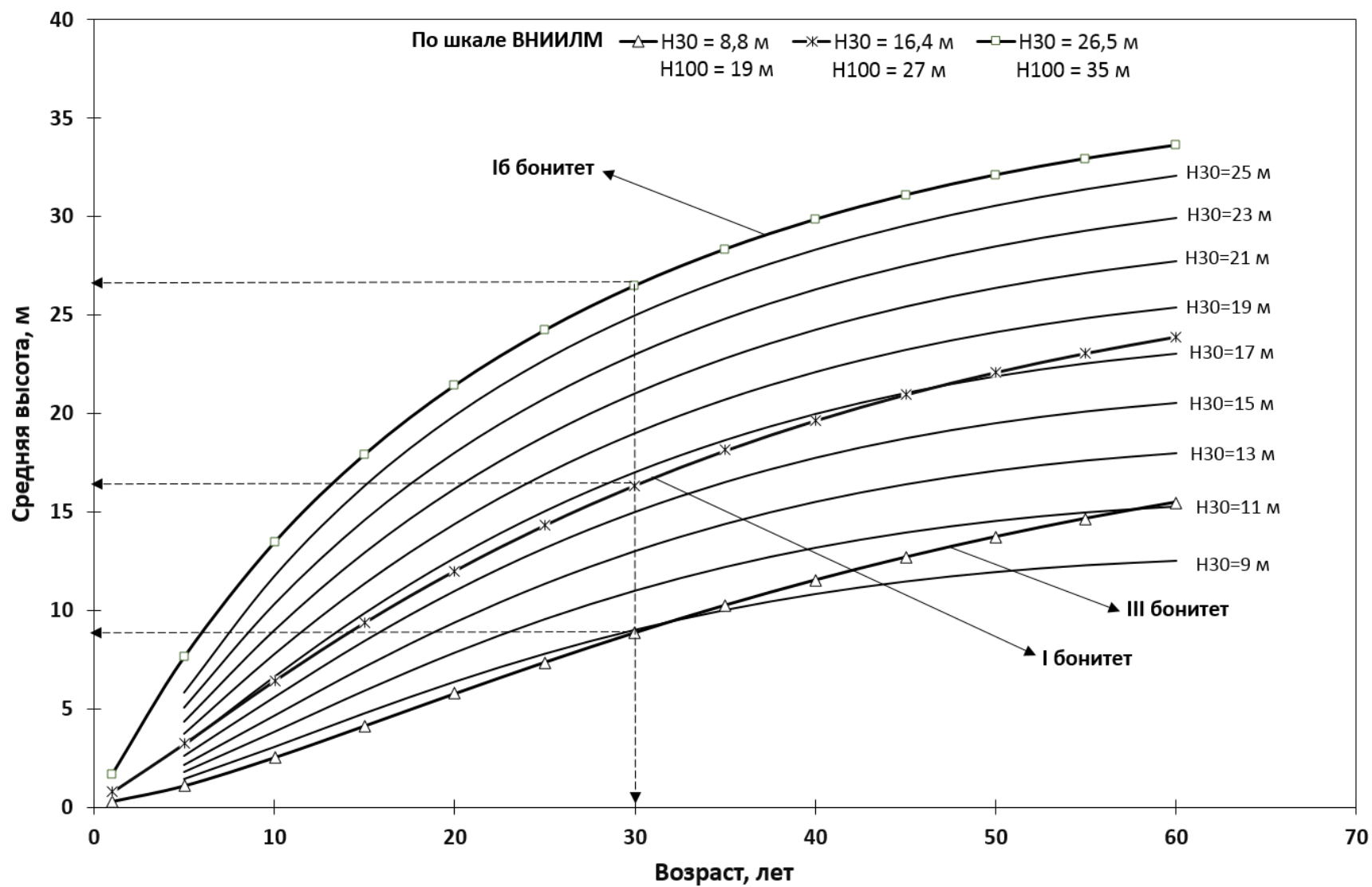
Экологическая составляющая нормативов учтена и подробно описана в разделе «Краткая характеристика групп типов леса». Данными для построения регрессий лесотипологических классов средних высот послужили затабулированные значения трёхуровневой градации высот, соответствующие лесотипологической модели средних высот (42) для группы типов леса Осокорники средних уровней центральной поймы (Осц).

Так, модель взаимосвязи средней высоты древостоев тополя чёрного с возрастом для условно заданной градации уровней средней высоты в базовом возрасте 30 лет представлена уравнением регрессией вида:

$$\begin{aligned} H_{cp} = \exp(-0,49901 + 0,44530 \ln A - 0,08061 \ln^2 A - \\ - 0,00211 \ln^3 A - 1,73172 \ln A \ln H_{30} + 0,65722 \ln A \ln^2 H_{30} + \\ + 1,02238 \ln^2 A \ln H_{30} - 0,32601 \ln^2 A \ln^2 H_{30} - 0,12548 \ln^3 A \ln H_{30} + \\ + 0,03904 \ln^3 A \ln^2 H_{30}) \end{aligned} \quad (45)$$
$$R^2=1,0$$

Функционально полученная модель средних высот с заданной в метрах градацией в 30 - летнем возрасте показана на рисунке 5.1. Наряду с лесотипологическими кривыми классов средних высот на рисунке показаны кривые, соответствующие бонитетной шкале ВНИИЛМ для древесных пород быстрого роста (тополь, ива белая, акация белая).

Сопоставление линий регрессии с кривыми средних высот, построенными по данным бонитеровочной шкалы указывает на возможность использования бонитетной шкалы только в высших классах бонитета.



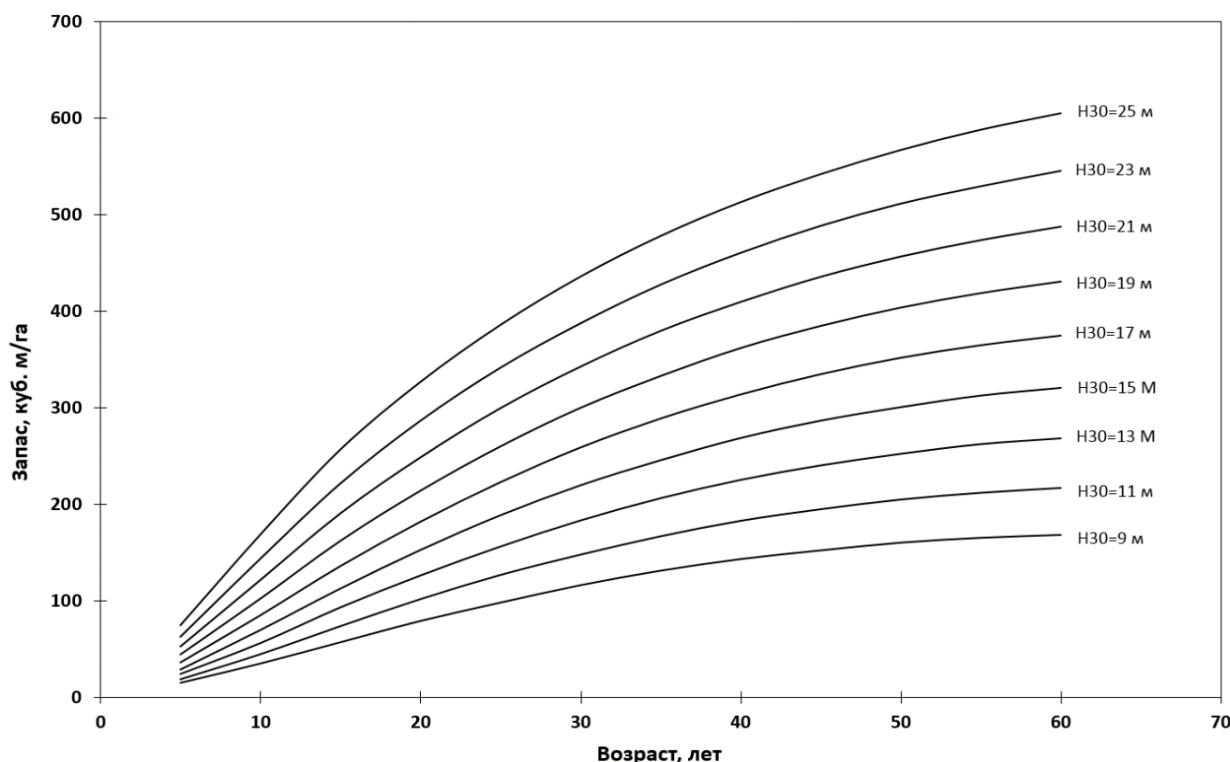
**Рисунок 5.1.** Изменение с возрастом средней высоты древостоев тополя черного по классам средних высот в группе типов леса ОСЦ

В пойме реки Урал в основном встречаются насаждения средних уровней продуктивности, при которых значения бонитетной шкалы не совпадает с лесотипологическими кривыми классов средних высот ( $H_{30}$ ).

Общеизвестна взаимосвязь продуктивности элементов леса со средней высотой. Итоговыми показателями продуктивности древостоев являются наличный запас и запас отпадающих деревьев, в сумме характеризующие общую продуктивность (производительность) (Гусев, 1978).

Запас наличного древостоя ( $M$ , куб. м/га) определяют, как правило, три показателя: средняя высота ( $H$ , м), относительная полнота ( $\Pi$ ), доля участия древесной породы в составе древостоя ( $D_{\Pi}$ ). Уравнение регрессии запаса, полученное во данным стандартных таблиц, имеет вид:

$$M = \exp(-0,39351 + 1,16608 \ln H + 0,0399 \ln^2 H + 0,99999 \ln \Pi + 0,99999 \ln D_{\Pi}) \quad (46)$$



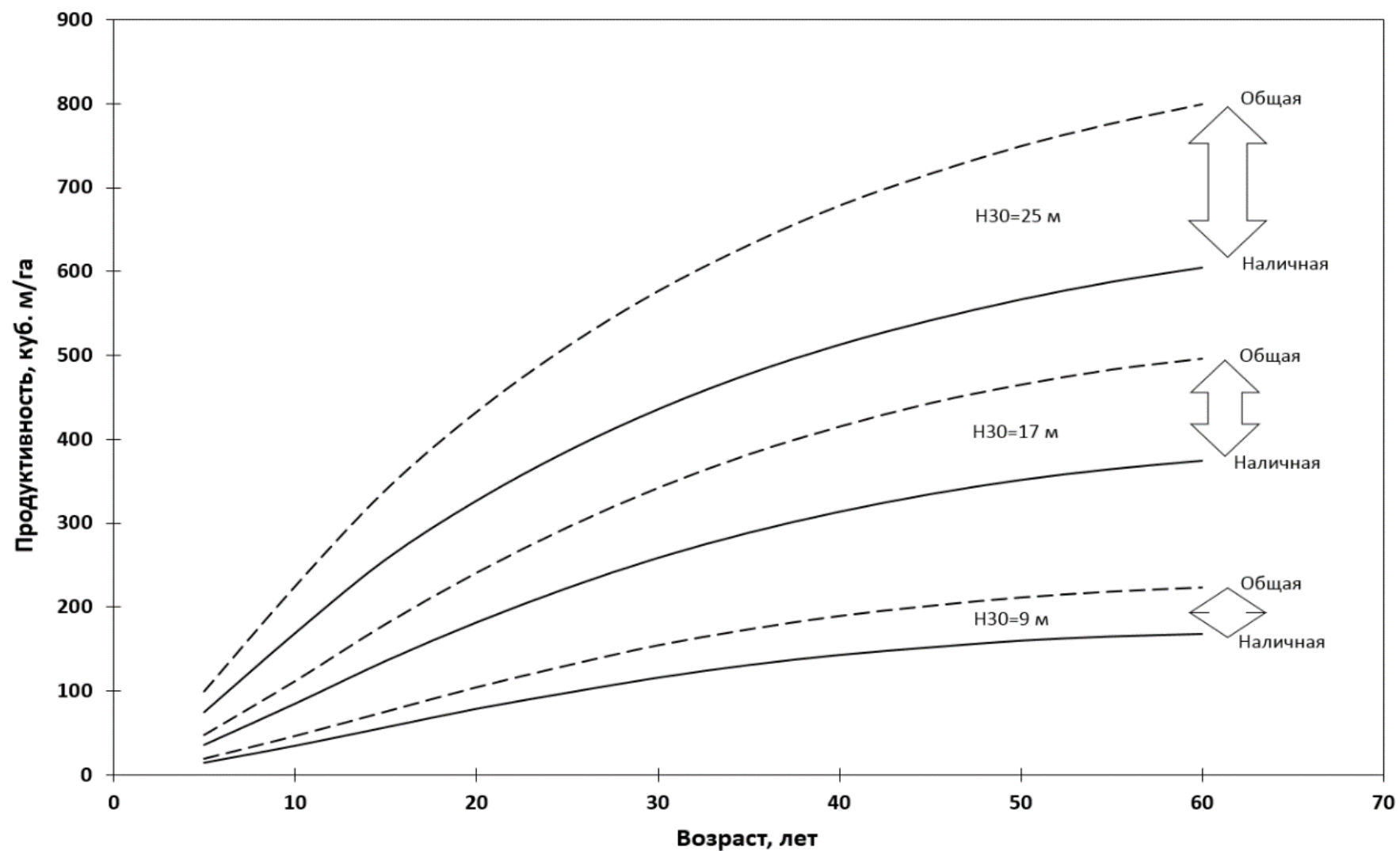
**Рисунок 5.2.** Изменение с возрастом запаса чистых, сомкнутых древостоев тополя чёрного по классам средней высоты в группе типов леса ОСЦ

Графически возрастное изменение запаса чистых по составу, сомкнутых древостоев тополя чёрного в группе типов леса, характеризующей осокорники средних уровней центральной поймы. Максимальная продуктивность этой категории древостоев к возрасту спелости насчитывает от 500-600 куб. м на 1 га.

Для перехода от наличного запаса к общей продуктивности использован коэффициент прямой редукции (1,3215), полученный по материалам А.З. Швиденко и др. (Швиденко и др., 2008) для древостоев тополя чёрного, позволяющий получить условную взаимосвязь между общей продуктивностью и запасу наличного древостоя вида:  $M_{оп} = 1,3215 * M$ .

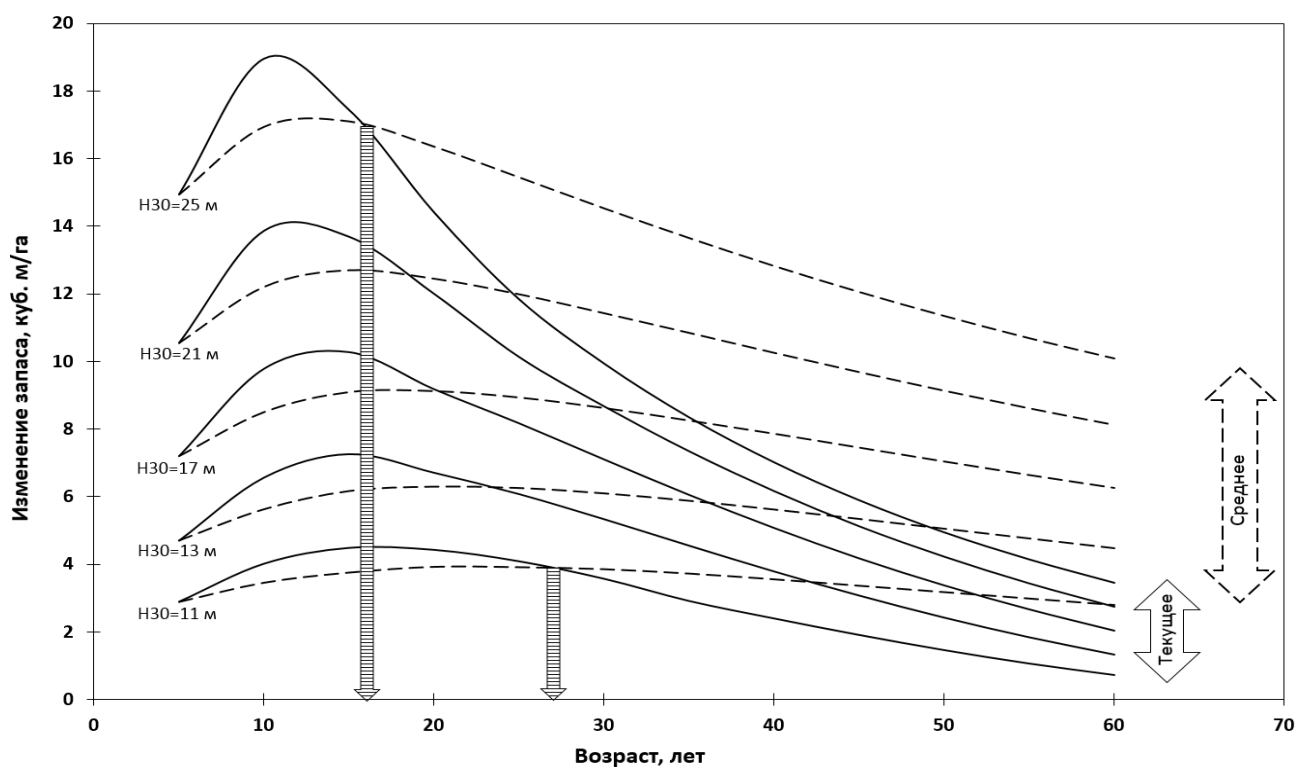
На рисунке 5.3 представлено сопоставление линий регрессии возрастного изменения запаса и общей продуктивности совокупности чистых и сомкнутых древостоев тополя чёрного.



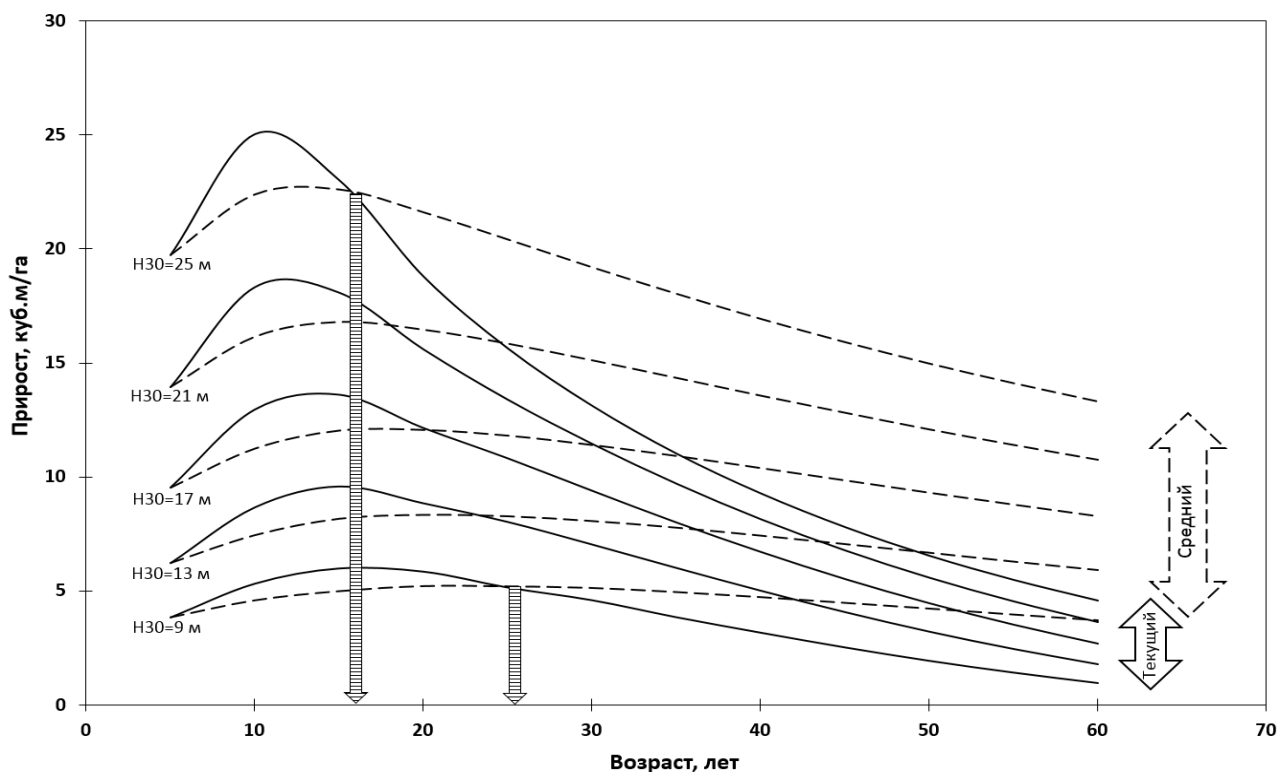


**Рисунок 5.3.** Изменение с возрастом запаса и общей продуктивности сомкнутых древостоев по классам средней высоты

На рисунке 5.4 показаны кульминирующие кривые текущего и среднего изменения запаса сомкнутых древостоев, а также возраст количественной спелости, соответствующий пересечению кривых для максимального ( $H_{30}=25$  м) и минимального ( $H_{30}=9$  м) класса средних высот древостоев, соответственно равный 17 и 27 годам. Кривые полного текущего прироста по запасу для этих же классов средних высот показаны на рисунке 5.5. При классе средних высот  $H_{30}=25$  м в возрасте кульминация текущего прироста - 10 лет максимальная годовичная продуктивность сомкнутых древостоев может достигать 25 куб. м/га, а минимальная при  $H_{30}=9$  м в возрасте 15 лет - 6 куб. м/га.



**Рисунок 5.4.** Изменение с возрастом текущего и среднего изменения запаса сомкнутых древостоев по классам средней высоты



**Рисунок 5.5.** Изменение с возрастом текущего и среднего прироста по запасу сомкнутых древостоев по классам средней высоты

## 5.2. Относительный диаметр - критерий оценки густоты древостоев

Зачастую соотношение высоты и толщины деревьев в лесной таксации используют при решении задач, связанных с характеристикой сбega древесных стволов, степени жизнеспособности деревьев, густоты древостоев.

Исследованием закономерностей изменения соотношения среднего диаметра и средней высоты при стандартизации хода роста древостоев занимался В.В. Загреев (1978) продолжая исследования Воропанова (1970), В.Г. Рубцова (1972), Л.И. Крестьяншина, В.Г. Рубцова, А.Г. Мошкалева (1971), которые рекомендовали использовать этот показатель для обоснования схем лесотаксационного районирования. Справедливо отмечается наибольшая динамичность и изменчивость средних диаметров по сравнению со средней высотой. Это связано прежде всего с более интенсивным приростом по диаметру, отвечающему на изменение комплекса экологических факторов, показателей пространственной структуры фитоценоза и прежде всего густоты стояния

деревьев (Бузыкин и др., 2002; Бузыкин, 1975, 1982; Пшеничникова, 1989; Сухоруких и др., 1982). Динамичность текущего прироста среднего диаметра проявляется до возраста естественной спелости в отличие от прироста по высоте, который прекращается задолго до возраста естественной спелости. Анализируя соотношение  $D/H$  по данным многочисленных таблиц хода В.В. Загребов (1978) указывает на зависимость показателя от бонитета и возраста древостоев и её отсутствие от суммы площадей сечения по классам бонитета. Вместе с тем им справедливо указывается на соотношение  $D/H$  как меры «нормальности» древостоев по густоте. Учитывая изложенное лесотипологическая модель классов средних высот была усовершенствована включением в модель градации по среднему диаметру в базовом 30-летнем возрасте. На рисунке 5.6 показана десятичная градация отношения  $\frac{D_{30}}{H_{30}}$  в диапазоне от 0,7 до 1,0. О том, как будут изменяться таксационные показатели древостоев при  $(D_{отн}^{30} = \frac{D_{30}}{H_{30}} = 1,0$  показано в следующей главе.

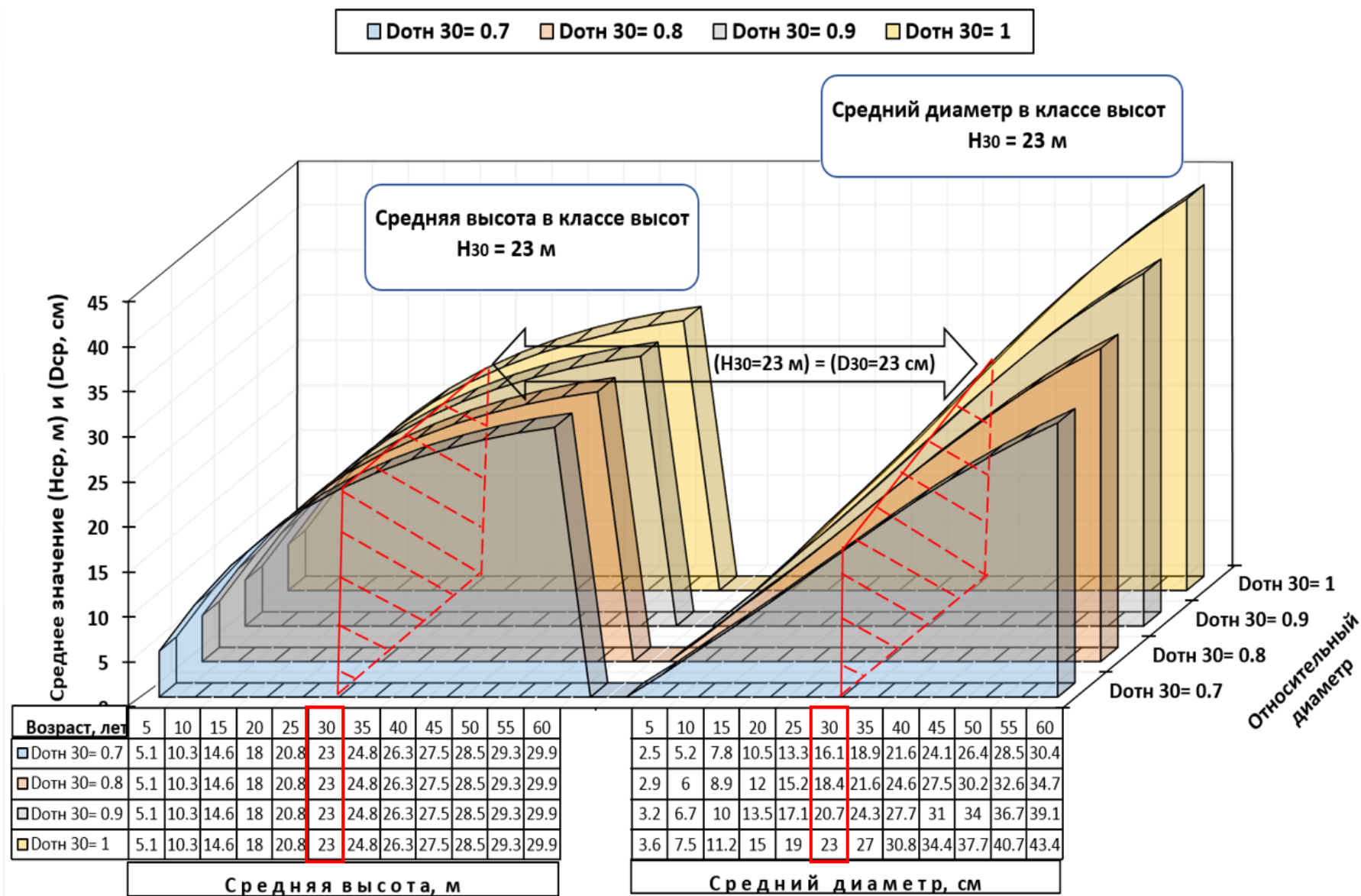


Рисунок 5.6. Изменение с возрастом средних высот и диаметров древостоев разного относительного диаметра и класса средних высот H<sub>30</sub>=23 м

### 5.3. Возрастные изменения таксационных показателей древостоев по классам средних высот при разном относительном диаметре

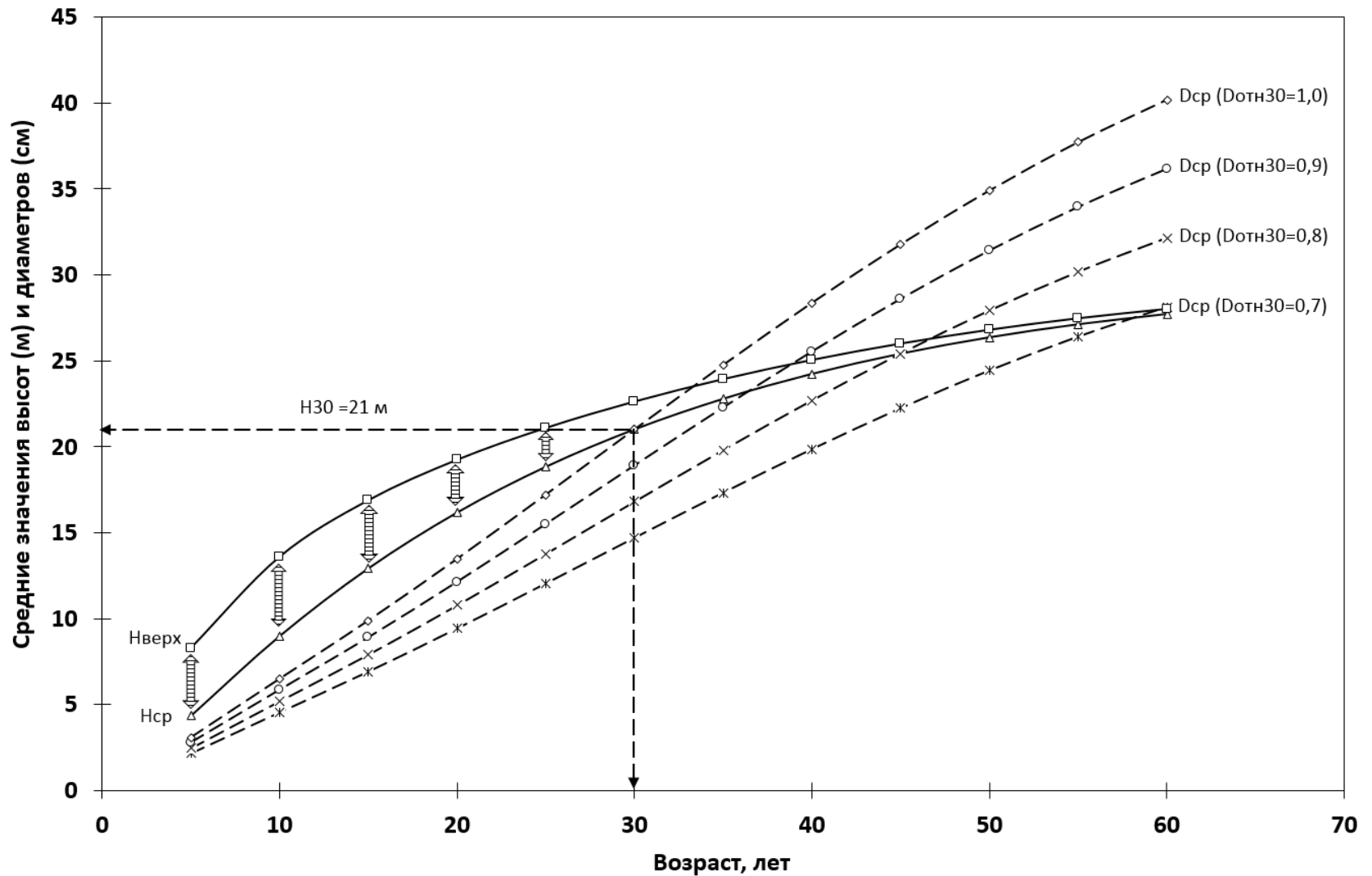
Общеизвестно, что методические решения по представлению хода роста древостоев базируются на условных понятиях либо о совокупности нормальных (максимально сомкнутых), либо о модальных (наиболее часто встречаемых) насаждениях (Багинский и др., 2012; Выводцев, 1960; Загреев и др., 1974; Загреев и др., 1987; Лакида и др., 2000; Макаренко и др., 1980; Макаренко, 1982; Моисеев и др., 1968; Поляков, 1959; Семечкин и др., 2005; Тюрин, 1913, 1931).

Однако главным недостатком указанных нормативов является отсутствие классификации древостоев по уровням густоты стояния деревьев, которые функционально связаны со средним диаметром древостоев и полнотой в разрезе конкретного лесотипологического класса средних высот. Решить задачу взаимосвязи густоты со средним диаметром, полнотой и классам средних высот позволяет введение понятия относительного диаметра древостоев ( $D_{отн}$ ), как отношения  $D_A/H_A$ . Подробно об использовании взаимосвязи относительного диаметра с относительной густотой по классам средних высот описано в монографии В.К. Хлюстова (2015б).

На рисунке показаны возможные изменения с возрастом верхней высоты, среднего диаметра древостоев при классе средних высот, равном 21 м ( $H_{30}=21$  м) и относительном диаметре в 30-летнем возрасте древостоев в диапазоне от  $D_{отн30}=0,7$  до  $D_{отн30}=1,0$ .

Судя по графику (Рис. 5.7) максимальные значения среднего диаметра древостоев в 60 - летнем возрасте при  $D_{отн30} = 1,0$  соответствуют 40 см, а при  $D_{отн30} = 0,7$  величине 27 см. При указанном размахе варьирования средних диаметров густота стояния деревьев в сомкнутых древостоях насчитывает от 398 шт./га до 803 шт./га.

Так, в разрезе лесотипологических классов средних высот значения средних высот, взаимосвязанные со средними диаметрами древостоев, соответствующими градации относительных диаметров древостоев, были получены рисунки 5.6 и 5.9.



**Рисунок 5.7.** Изменение с возрастом средней, верхней высоты и среднего диаметра при классе средней высоты  $H_{30}=21$  м и относительных диаметрах древостоя в 30-летнем возрасте ( $D_{отн30}$ ) от 0,7 до 1,0

На рисунках показана возможная комбинация соотношений между основными морфометрическими показателями  $H_{cp}$  и  $D_{cp}$  как по классам высот, так и по значениям относительного диаметра древостоев в диапазоне от 0,7 до 1,0 в базовом, условно заданном возрасте древостоев 30 лет.

В естественно формирующихся древостоях без выборочных рубок при одном и том же классе средних высот значения средних диаметров в одних и тех же лесорастительных условиях, в одном возрасте древостоев может существенно варьировать. Так, на рисунке 5.6 показано возможное соотношение средних высот и средних диаметров древостоев в классе средних высот  $H_{30}=23$  м при разных относительных диаметрах. Аналогичные соотношения показаны для разных классов средних высот в диапазоне от  $H_{30}=11$  м до  $H_{30}=23$  м.

При построении таблиц хода роста сомкнутых древостоев, как правило, рассмотрению подлежит изменение числа деревьев с возрастом по классам средних высот, о чём свидетельствует рисунок 5.10.

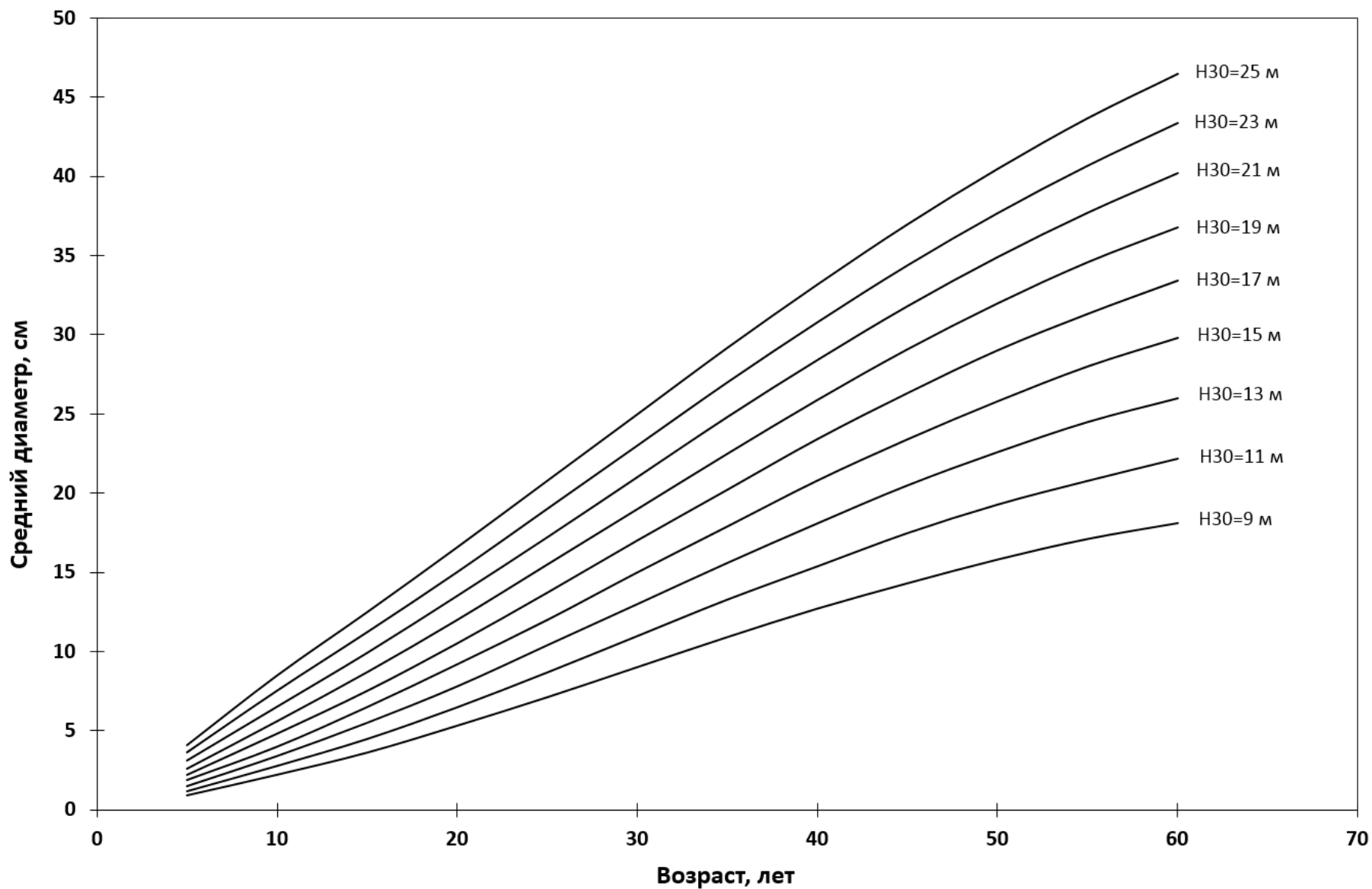
Введение в теорию хода роста понятия относительного диаметра, функционально связанного с относительной густотой древостоев, позволило дифференцировать кривые возрастного изменения густоты по классам средних высот и градации относительного диаметра древостоев от  $D_{отн30}=0,7$  до  $D_{отн30}=1,0$ . Графическое представление густоты сомкнутых древостоев в диапазоне возраста от 10 до 30 лет показано на рисунке 5.11, а от 30 до 60 лет на рисунке 5.12.

Наряду со средним диаметром и числом деревьев, являющихся составляющими суммы площадей сечения, для определения запаса требуется иметь модель изменения видовой высоты от класса средних высот, самой средней высоты и относительного диаметра вида:

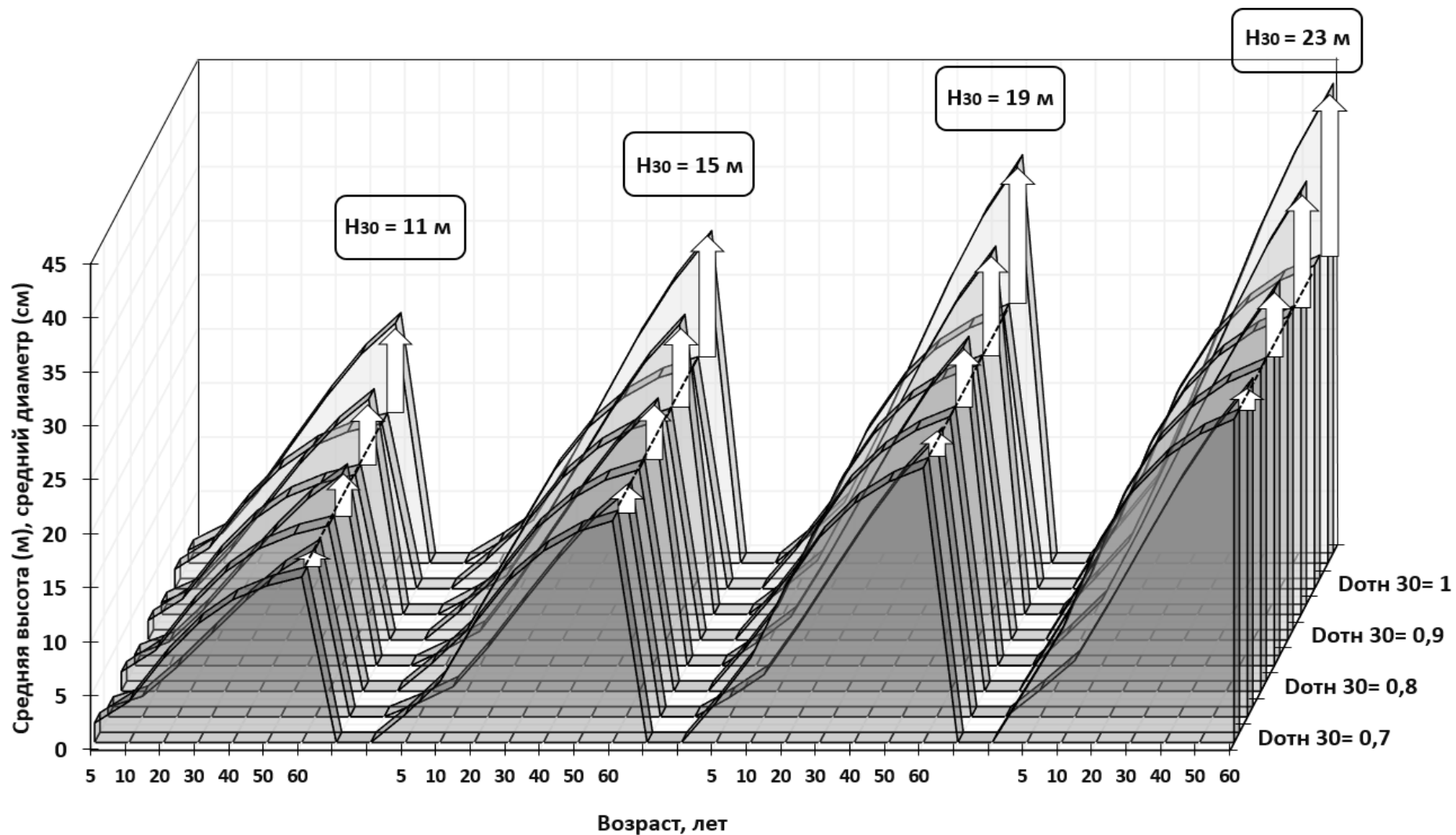
$$HF = 0,98 * \exp(0,12871 + 0,06338 \ln H_{30} - 0,02760 \ln^2 H_{30} - 0,42124 \ln D_{отн30} + 0,66984 \ln H - 0,12729 \ln^2 H + +0,01530 \ln^3 H + +0,08128 \ln H_{30} \ln H + 0,10670 \ln D_{отн30} \ln H ) \quad (47)$$

$$R^2 = 0,998; ES = \pm 1,6\%; t_{расч} > t_{05} = 1,96$$

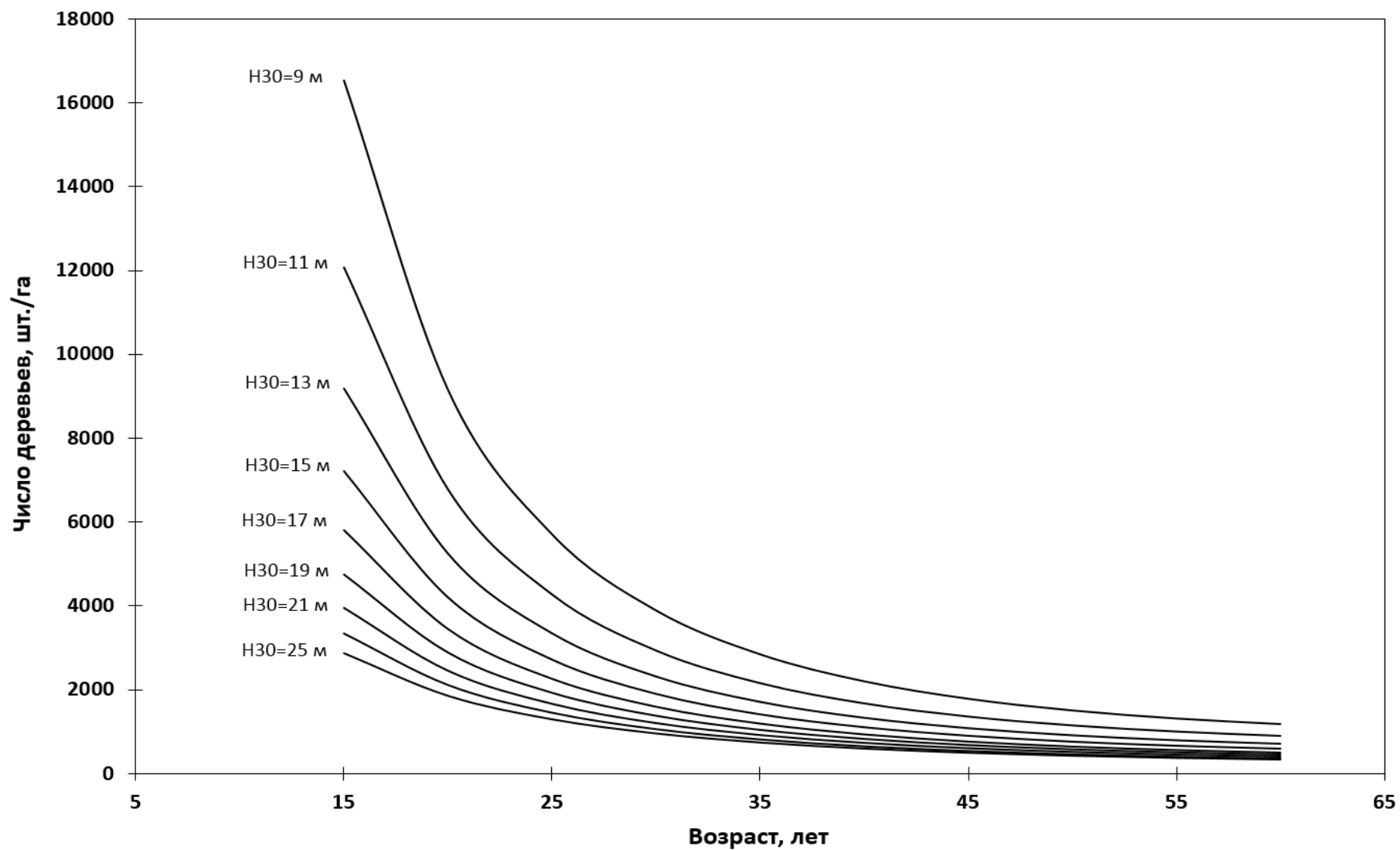




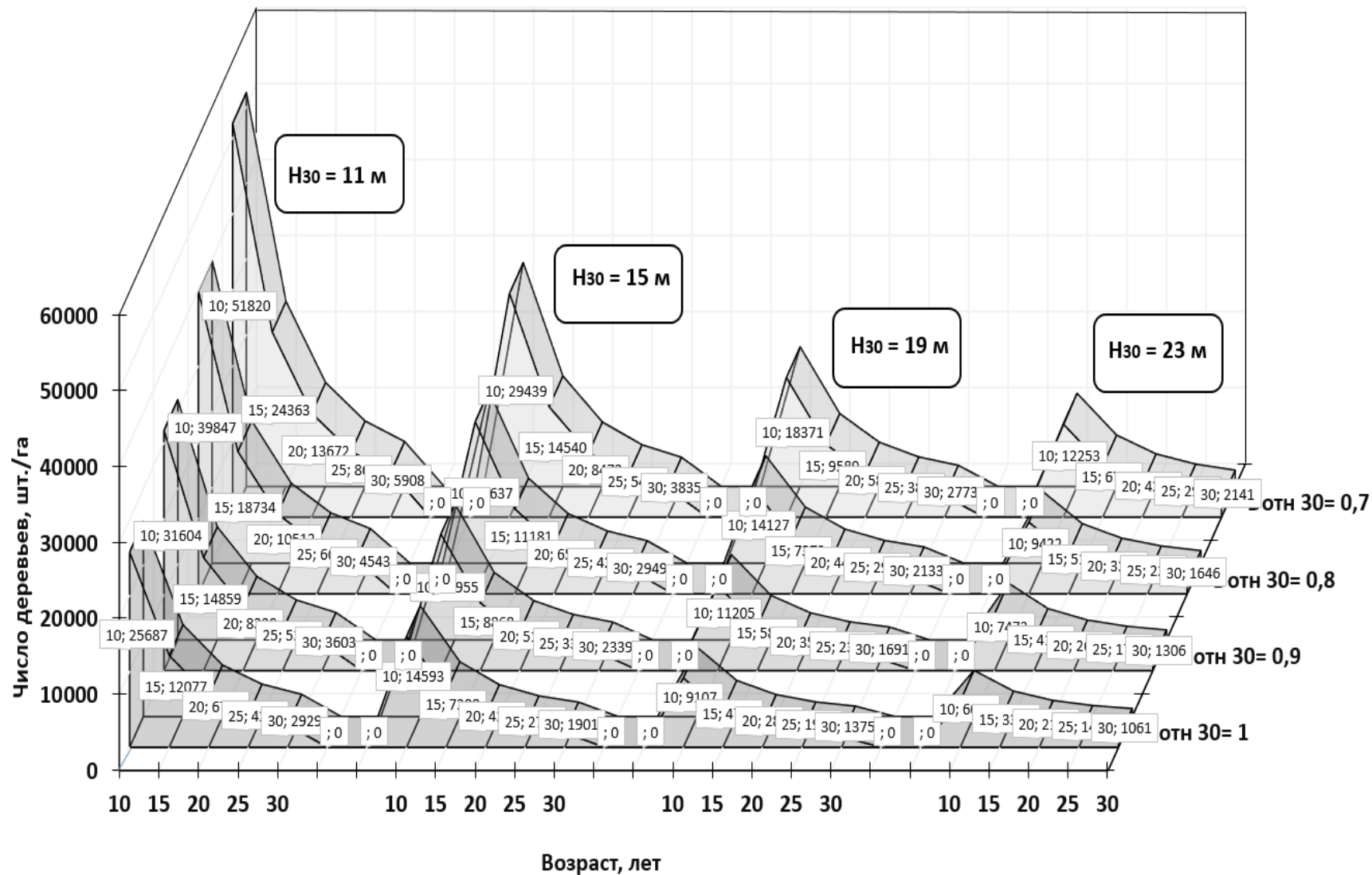
**Рисунок 5.8.** Изменение с возрастом среднего диаметра древостоев по классам средней высоты при относительном диаметре древостоя в 30-летнем возрасте  $D_{отн30}=1,0$



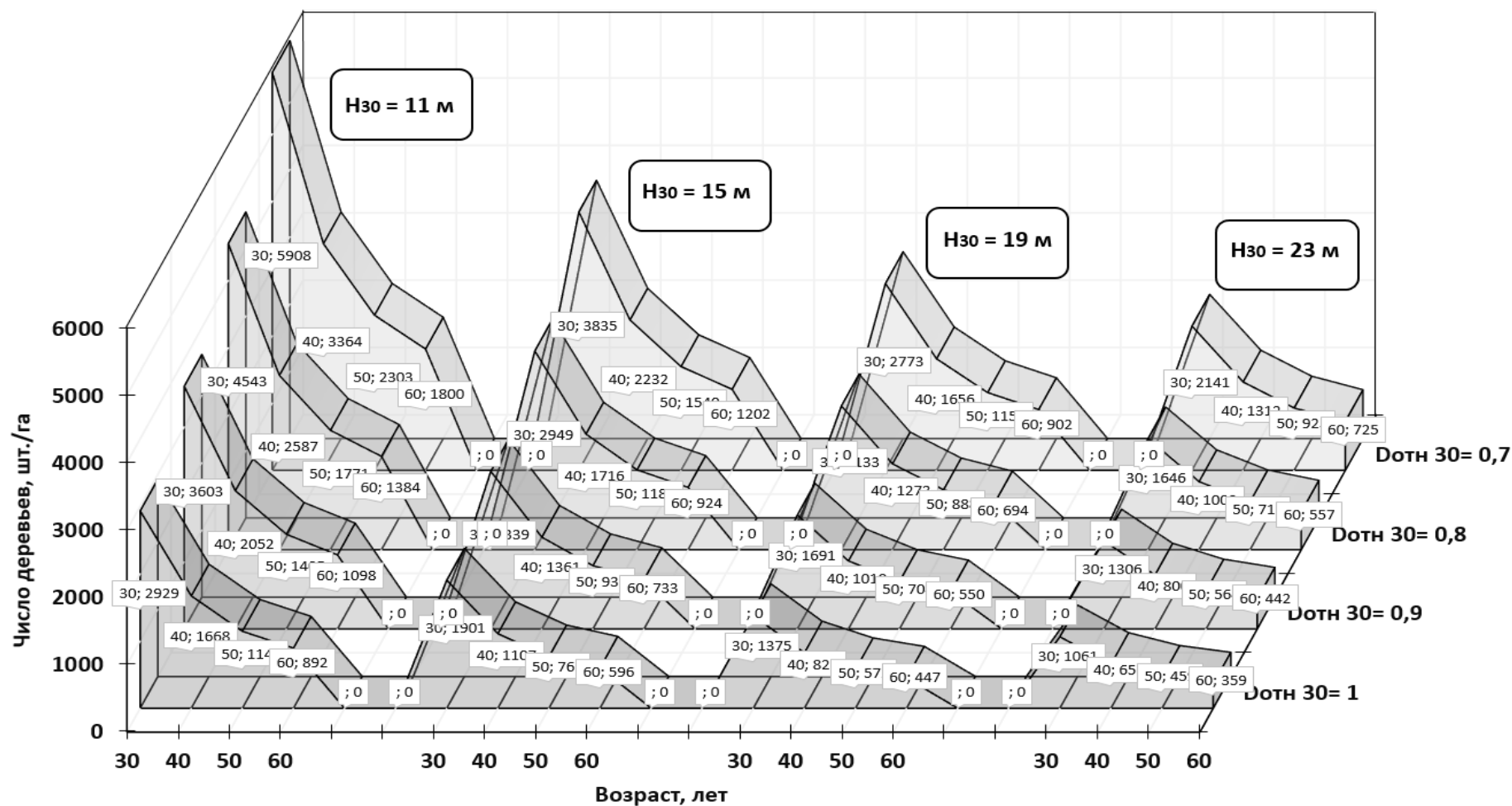
**Рисунок 5.9.** Изменение с возрастом средних высот и средних диаметров древостоев разного относительного диаметра по классам средних высот от  $H_{30}=11\text{ м}$  до  $H_{30}=23\text{ м}$



**Рисунок 5.10.** Изменение с возрастом числа деревьев в сомкнутых древостоях по классам средней высоты при относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте  $D_{отн30}=1,0$



**Рисунок 5.11.** Изменение с возрастом (от 10 до 30 лет) числа деревьев в сомкнутых древостоях по классам средней высоты при разном относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте ( $D_{отн30}$ )



**Рисунок 5.12.** Изменение с возрастом (от 30 до 60 лет) числа деревьев в сомкнутых древостоях по классам средней высоты при разном относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте ( $D_{отн30}$ )

О возрастном изменении полндревесности стволов (средних видовых чисел) при относительном диаметре  $D_{отн30}=1,0$  можно судить по линиям регрессии в разрезе классов средних высот в диапазоне  $H_{30}=9$  м -  $H_{30}=23$  м (Рис. 5.13).

Многомерные изменения видового числа с возрастом при добавлении переменной  $D_{отн30}$  в диапазоне от 0,7 до 1,0 по четырём классам средних высот от  $H_{30}=11$  м до  $H_{30}=23$  м показано на рисунке 5.14.

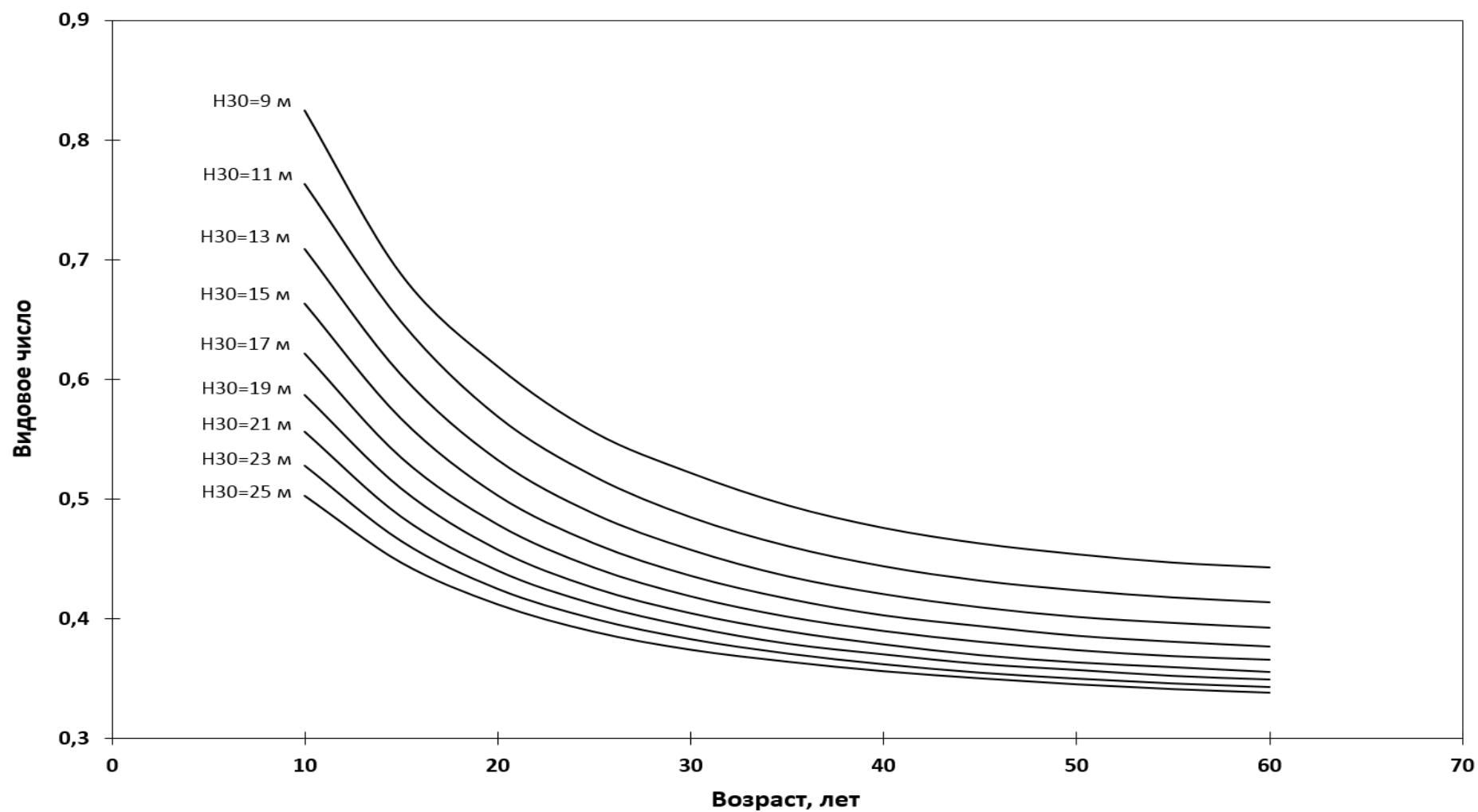
Наличие возрастных изменений среднего диаметра и средних высот по классам средних высот, относительных диаметров (Рис. 5.9), модели средней видовой высоты (47) позволяет рассчитать и продемонстрировать возрастное изменение среднего объёма стволов в разрезе задействованных переменных (Рис. 5.15) и (Рис. 5.16) (Филиппов и др., 1989; Khlyustov и др., 2013).

При определении запаса (М) с учётом классов высот ( $H_{30}$ ), средней высоты (Н), полноты (П) и относительного диаметра ( $D_{отн30}$ ) следует использовать модель вида:

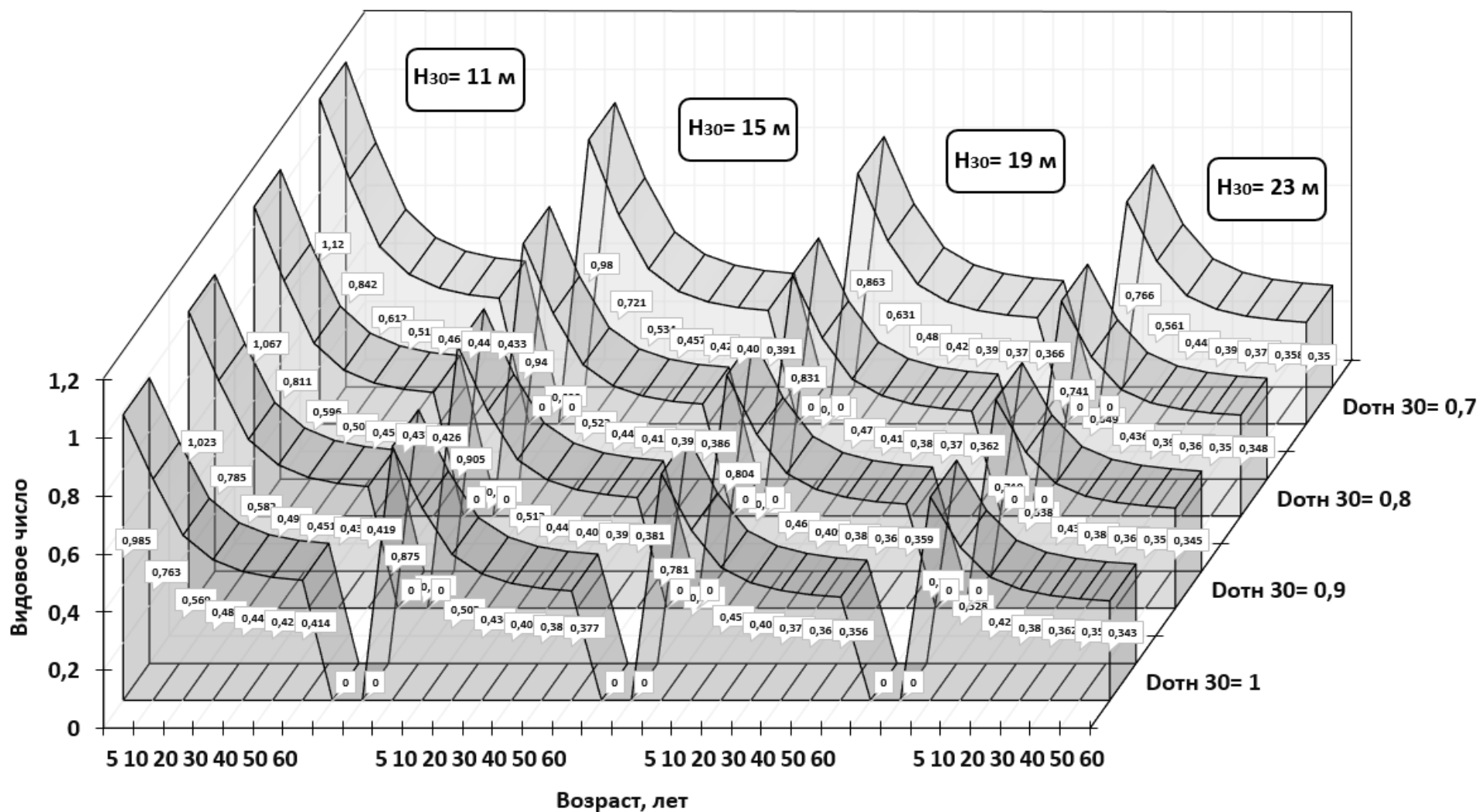
$$\begin{aligned}
 M = \exp(-13,41568 + 0,51723 \ln H_{30} - 1,85234 + \\
 + 0,99944 \ln \Pi + 24,9267 \ln H - 12,17901 \ln^2 H + 2,03762 \ln^3 H - \\
 - 0,0699 \ln D_{отн30} - 15,43242 \ln H_{30} \ln H + 7,75033 \ln H_{30} \ln^2 H - \\
 - 1,28505 \ln H_{30} \ln^3 H + 2,61929 \ln^2 H_{30} \ln H - 1,2815 \ln^2 H_{30} \ln^2 H + \\
 + 0,20956 \ln^2 H_{30} \ln^3 H)
 \end{aligned} \quad (48)$$

$$R^2=0,998; ES = \pm 3,4\%; t=|21,0; 17,6; 13,2; 957,5; 30,4; 33,0; 35,4; \\
 22,9; 21,0; 24,6; 27,9; 15,9; 19,1; 22,5|; F=31286 \text{ при } P<0,05$$

Взаимосвязанное сочетание моделей (39) и (44) позволяет получить данные для построения трёхмерной графику взаимосвязи показателей запаса и общей продуктивности за весь роста древостоев с возрастом по четырём классам средних высот от  $H_{30}=11$  м до  $H_{30}=23$  м и четырём значениям относительного диаметра  $D_{отн30}=0,7 - D_{отн30}= 1,0$ .

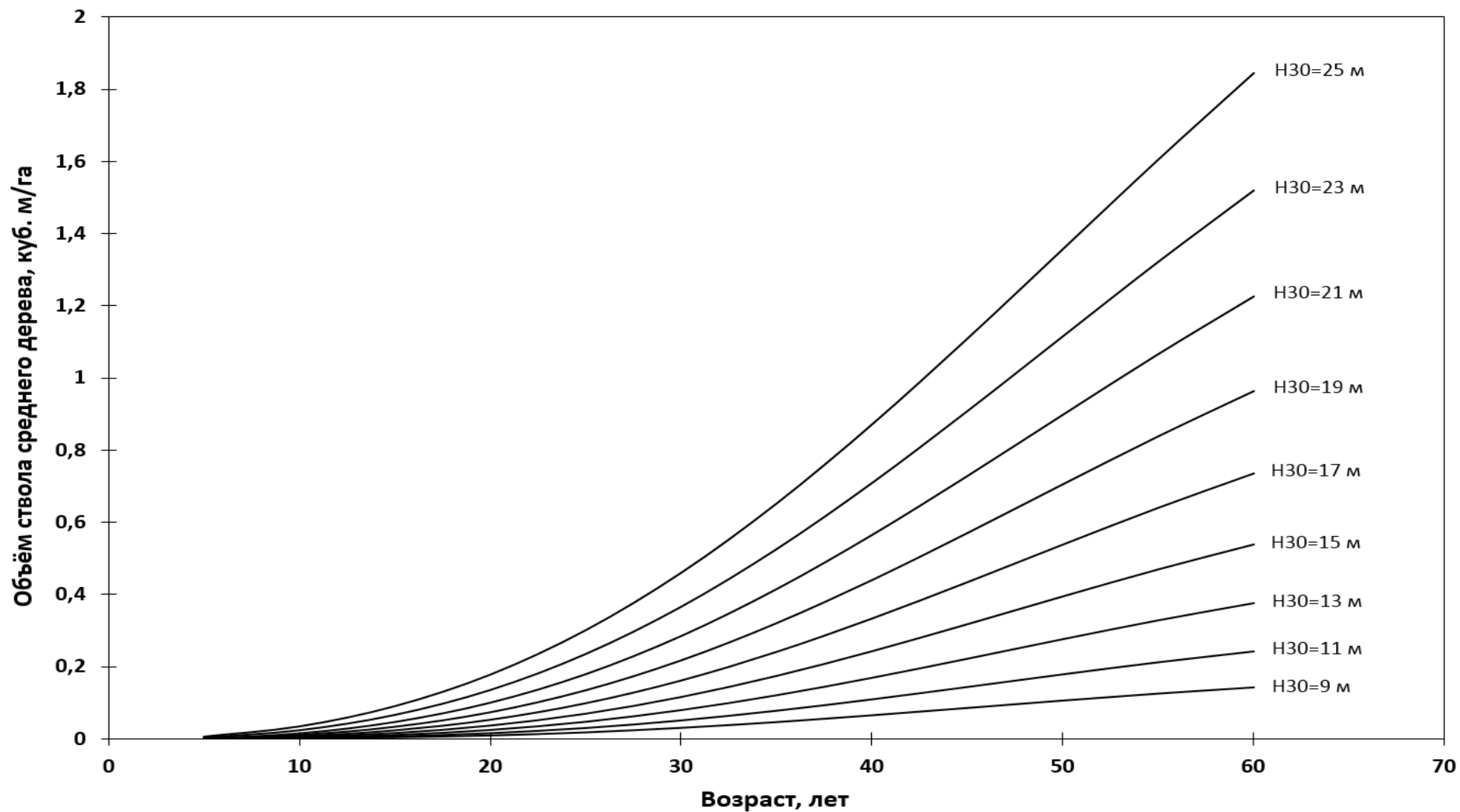


**Рисунок 5.13.** Изменение с возрастом видового числа по классам средних высот при относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте  $D_{отн30}=1,0$

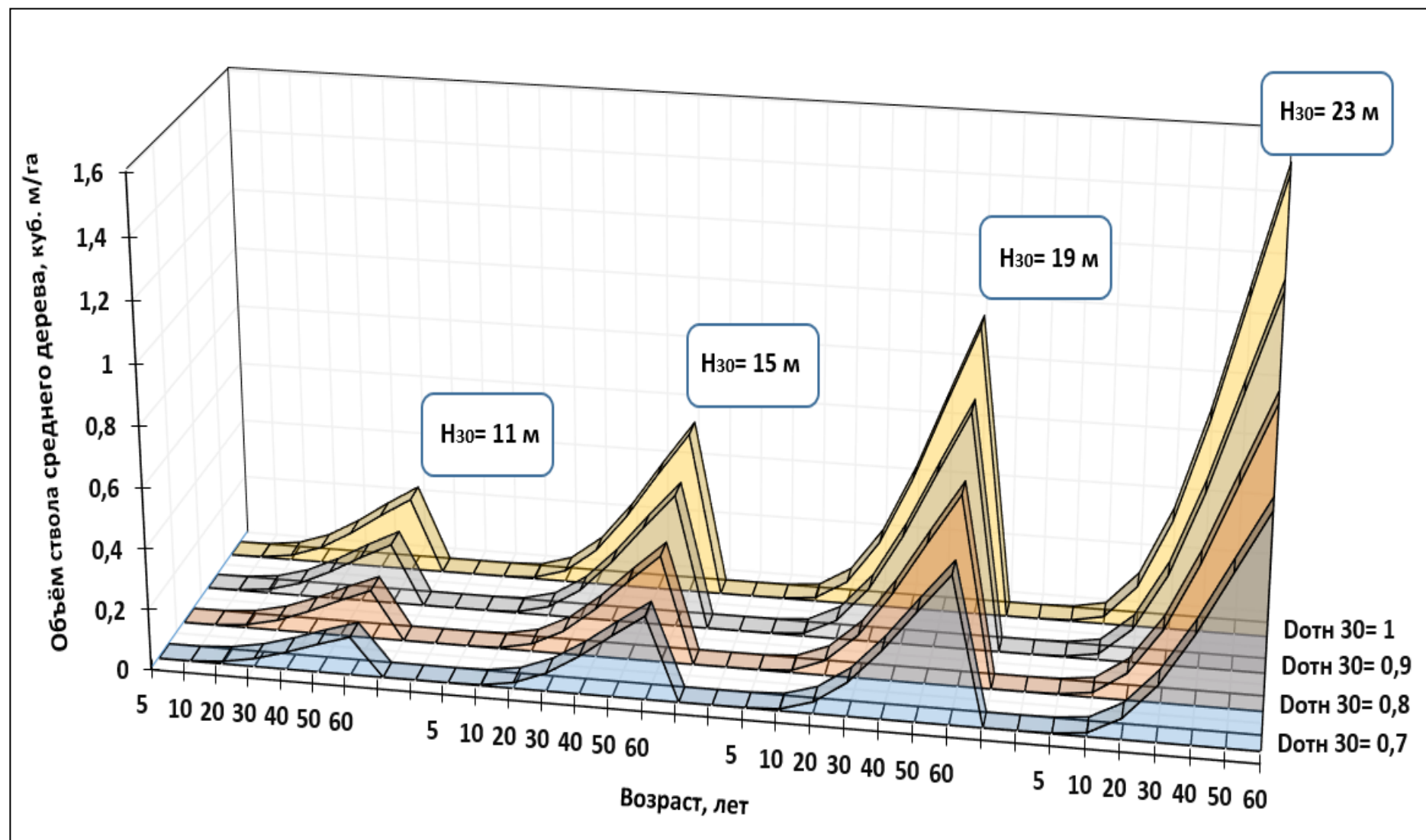


**Рисунок 5.14.** Изменение с возрастом среднего видового числа по классам средних высот при разном относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте ( $D_{отн30}$ )





**Рисунок 5.15.** Изменение с возрастом объёма ствола среднего дерева по классам средней высоты при относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте  $D_{отн30}=1,0$



**Рисунок 5.16.** Изменение с возрастом объёма ствола среднего дерева по классам средней высоты при разном относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте ( $D_{отн30}$ )

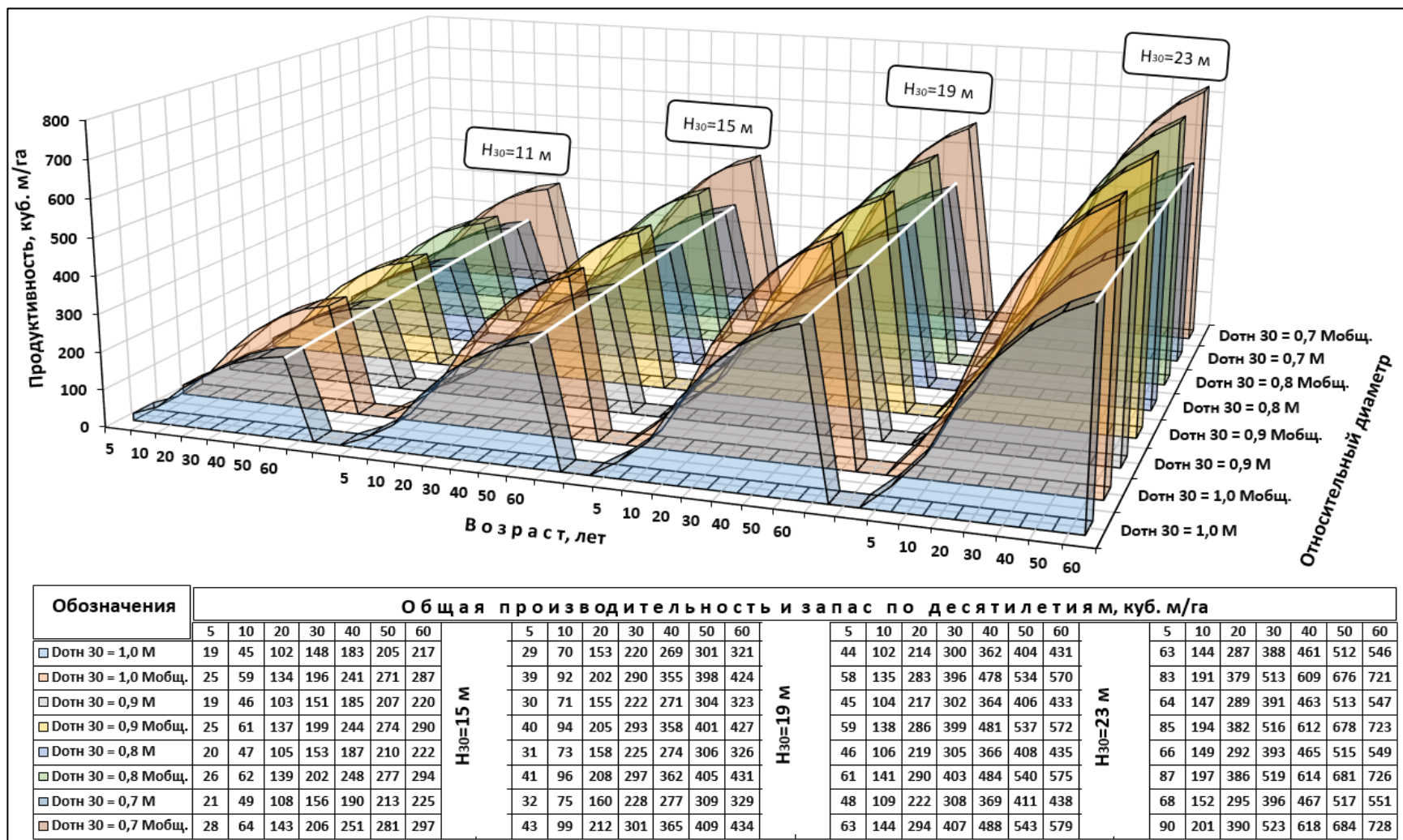


Рисунок 5.17. Изменение с возрастом запаса общей и наличной продуктивности сомкнутых древостоев по классам средней высоты при разном относительном диаметре древостоев в 30-летнем возрасте ( $D_{отн30}$ )

## **6. Стрoение древостоев по толщине деревьев**

### **6.1. Выбор моделей аппроксимации эмпирических распределений числа деревьев по толщине**

Существуют методические приемы по выявлению закономерностей распределения числа деревьев по таксационным показателям. Они основываются на выравнивании эмпирических рядов распределения при помощи теоретических кривых распределений. Часто используемые распределения, это нормальное распределение, распределение Пирсона, распределение Джонсона, распределение Грамма-Шарлье,  $\beta$  – распределение и другие. Выявление зависимостей между таксационными показателями древостоев и параметрами, которые задаются теоретические кривые распределения является сложной задачей. Даже при решении таких задач, результаты не всегда приемлемы.

В работе использованы типовые кривые распределения случайных величин по 10 классовым промежуткам. Теоретические обобщения изложены в работах А.А. Макаренко (1982).

Для проведения анализа взаимосвязей были использованы данные сплошного перечёта деревьев на 120 пробных площадях, представленных древостоями с преобладанием тополя чёрного в лесорастительной формации «Осокорники», в группах типов леса:

- осокорники средних уровней центральной поймы (Осц) - 48 ПП,
- осокорники средних уровней прирусловой поймы (Оспр) - 47 ПП,
- осокорники низинные центральной поймы (Онц) - 8 ПП,
- осокорники низинные прирусловые (Онпр) – 17 ПП.

## 6.2. Взаимосвязь между статистическими параметрами кривых распределения

Наряду с описанными в разделе 1.6. множественными регрессиями статистических показателей рядов распределения с таксационными признаками древостоев рассмотрим взаимосвязи показателей масштаба и формы распределений между собой.

О тесноте и направленности связи показателей, характеризующих масштаб и форму вариационных рядов, свидетельствуют коэффициенты корреляции, представленные в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Корреляционная матрица статистических показателей вариационных рядов (N = 120 ед.)

Параметр вариационного ряда	Средний диаметр, см	Минимальный диаметр, см	Максимальный диаметр, см	Стандартное отклонение, см	Асимметрия	Экссесс
Средний диаметр, см	1	-	-	-	-	-
Минимальный диаметр, см	0,870	1	-	-	-	-
Максимальный диаметр, см	0,848	0,694	1	-	-	-
Стандартное отклонение, см	0,343	0,063	0,562	1	-	-
Асимметрия	-0,526	-0,265	-0,161	-0,018	1	-
Экссесс	-0,200	-0,152	0,138	-0,154	0,548	1

Судя по значениям коэффициента корреляции взаимосвязи между средним диаметром с максимальным и минимальным диаметрами являются прямыми по направлению с теснотой связи от умеренной до сильной (0,694 до 0,870). Взаимосвязи между средним диаметром и показателями формы ( $A_s$ ,  $E_x$ ) являются обратными по направлению и характеризуются от слабой (-0,526) до отсутствующей (-0,200). Между асимметрией и эксцессом отмечается умеренная взаимосвязь прямая по направлению. Значительная часть отмеченных взаимосвязей согласуется с результатами исследований в других

лесорастительных регионах страны (Черных, 2002; Никитин, 1957; Хлюстов, 2015; Макаренко, 1965, 1974, 1975, 1982; Макаренко и др., 1978, 1980, 1989;).

Наличие особенностей строения древостоев по регионам указывает на необходимость детального рассмотрения закономерностей изменения показателей масштаба и формы рядов распределения между собой.

### 6.2.1. Регрессионные модели показателей масштаба рядов распределения

**Масштаб ряда** или иными словами размах варьирования является важнейшим показателем, характеризующим форму рядов распределения. Еще на ранних этапах исследований строения древостоев В.Вейзе, А.В.Тюриным отмечено, что максимальная толщина деревьев в спелых древостоях составляет от 1,5 до 1,6 от среднего диаметра, а минимальные 0,3 и не зависит от полноты, бонитета и в значительной степени от возраста древостоев. Согласно этому положению наиболее чётко размах варьирования толщины деревьев связан со средним диаметром. Наглядно эта закономерность для тополя чёрного в осокорниках представлена на рисунке 6.1.

Судя по графику предельные границы толщины деревьев имеют некоторый разброс. Этот разброс данных увеличивается по мере увеличения среднего диаметра древостоя. Интерпретируя указанную закономерность представим вначале линии регрессии, соответствующие средним значениям минимальных диаметров и средним значениям максимальных диаметров. Уравнения регрессии имеет вид:

$$d_{\min \text{ регр}} = 0,1089 * D^{1,3931} \quad (49)$$

$$d_{\max \text{ регр}} = 6,5804 * D^{0,5939} \quad (50)$$

Вместе с тем, при оценке размаха варьирования следует учитывать возможные варианты размаха с учётом возможного отклонения от средней линии регрессии, которое с возрастом древостоя при его естественном формировании

существенно не изменится. Так, возможные варианты размаха варьирования могут иметь комбинации, представленные в таблице 6.2.

Таблица 6.2. Возможные варианты размаха варьирования рядов распределения числа деревьев по толщине

№	Левая граница	Правая граница
1.	$1,15 * d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$0,7 * d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
2.	$1,15 * d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
3.	$1,15 * d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$1,3 * d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
4.	$d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$0,7 * d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
5.	$d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
6.	$d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$1,3 * d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
7.	$0,88 * d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$0,7 * d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
8.	$0,88 * d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$
9.	$0,88 * d_{\max \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$1,3 * d_{\min \text{ перп}} \text{ от } D_{\text{ср}}$

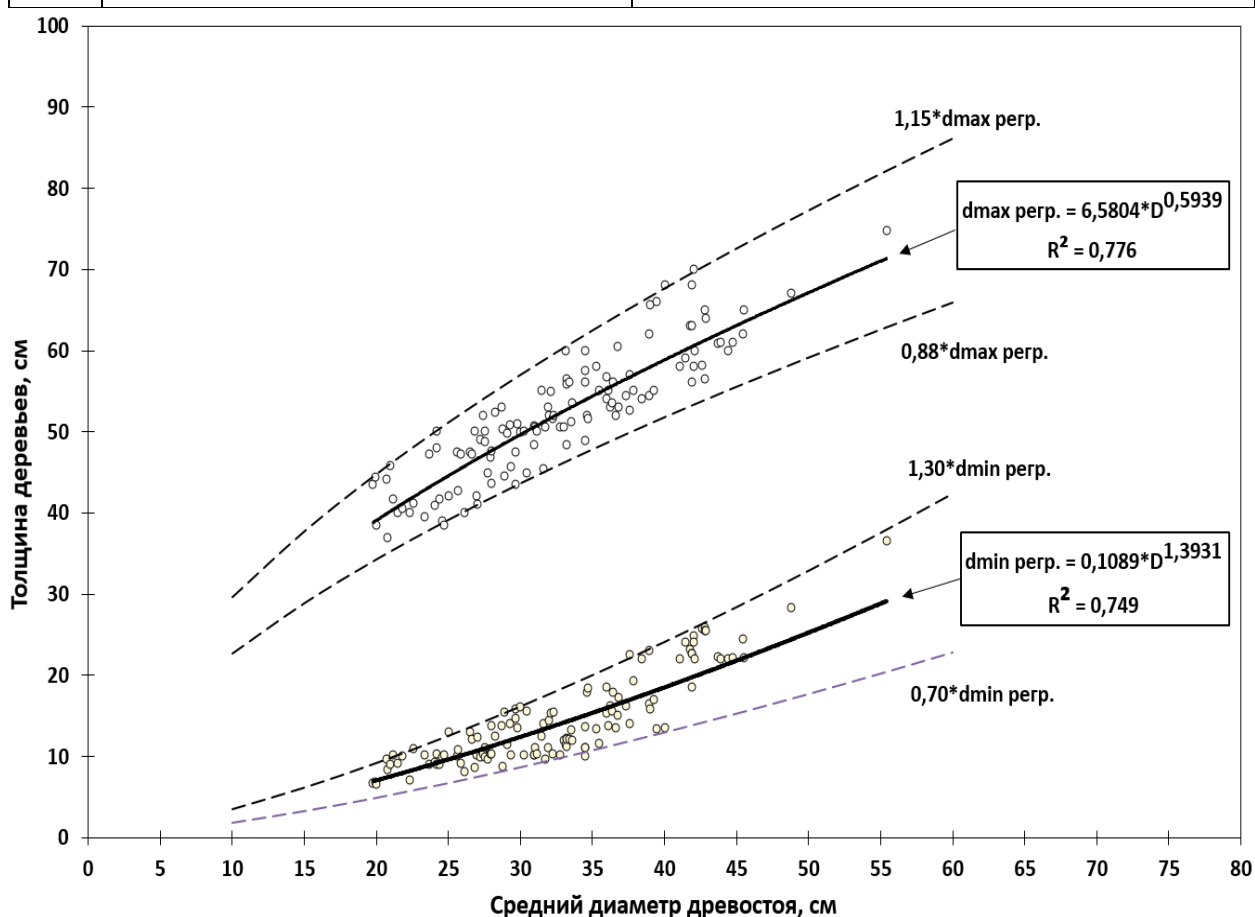


Рисунок 6.1. Линии регрессии размаха варьирования толщины деревьев в древостоях тополя чёрного

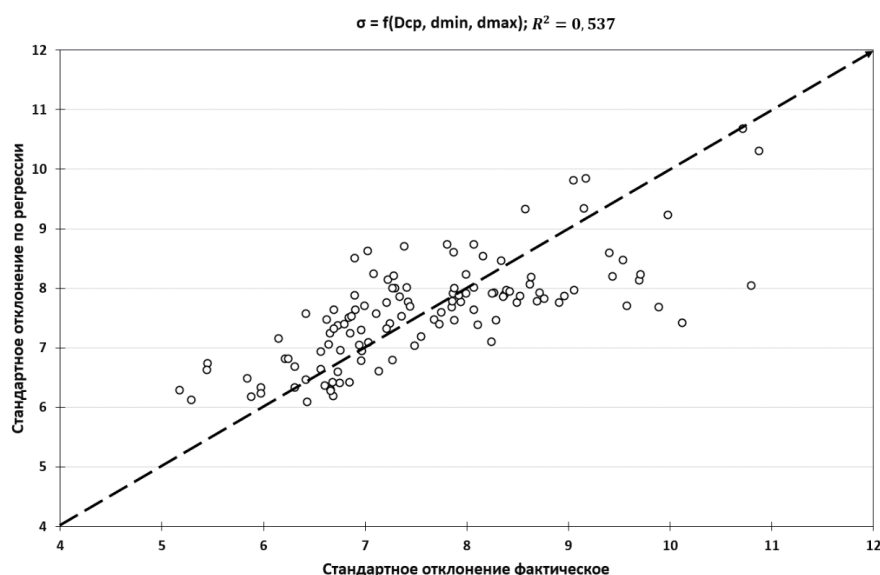
Таким образом, точное определение размаха варьирования является важнейшим звеном классификации рядов распределения, что убедительно показано в следующем разделе.

### 6.2.2. Регрессионные модели показателей формы рядов распределения

**Стандартное отклонение** является статистическим показателем изменчивости, включение которого в параметрические модели кривых распределения определяет форму кривой распределения, определяет форму кривой нормального распределения. Оценка изменения стандартного отклонения от показателей масштаба вариационного ряда ( $D_{cp}$ ,  $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ) по данным 120 пробных площадей показала слабую тесноту связи, характеризуемой коэффициентом детерминации  $R^2=0,537$ . Использование уравнений регрессии с такой низкой характеристикой взаимосвязи неприемлемо при описании возрастных изменений строения древостоев через показатели масштаба. Квадрат оценки адекватности (рис. 6.2) указывает на среднюю степень соответствия теоретических значений фактическим данным.

$$\sigma = 1,96076 + 0,05743D_{cp} - 0,17283d_{min} + 0,11992d_{max} \quad (51)$$

$$R^2 = 0,537; ES = \pm 81,6\%; t = |3,8; 2,0; 6,3; 6,9| > t_{0,5} = 1,96$$



**Рисунок 6.2.** графическое представление степени соответствия теоретических значений стандартного отклонения фактическим данным

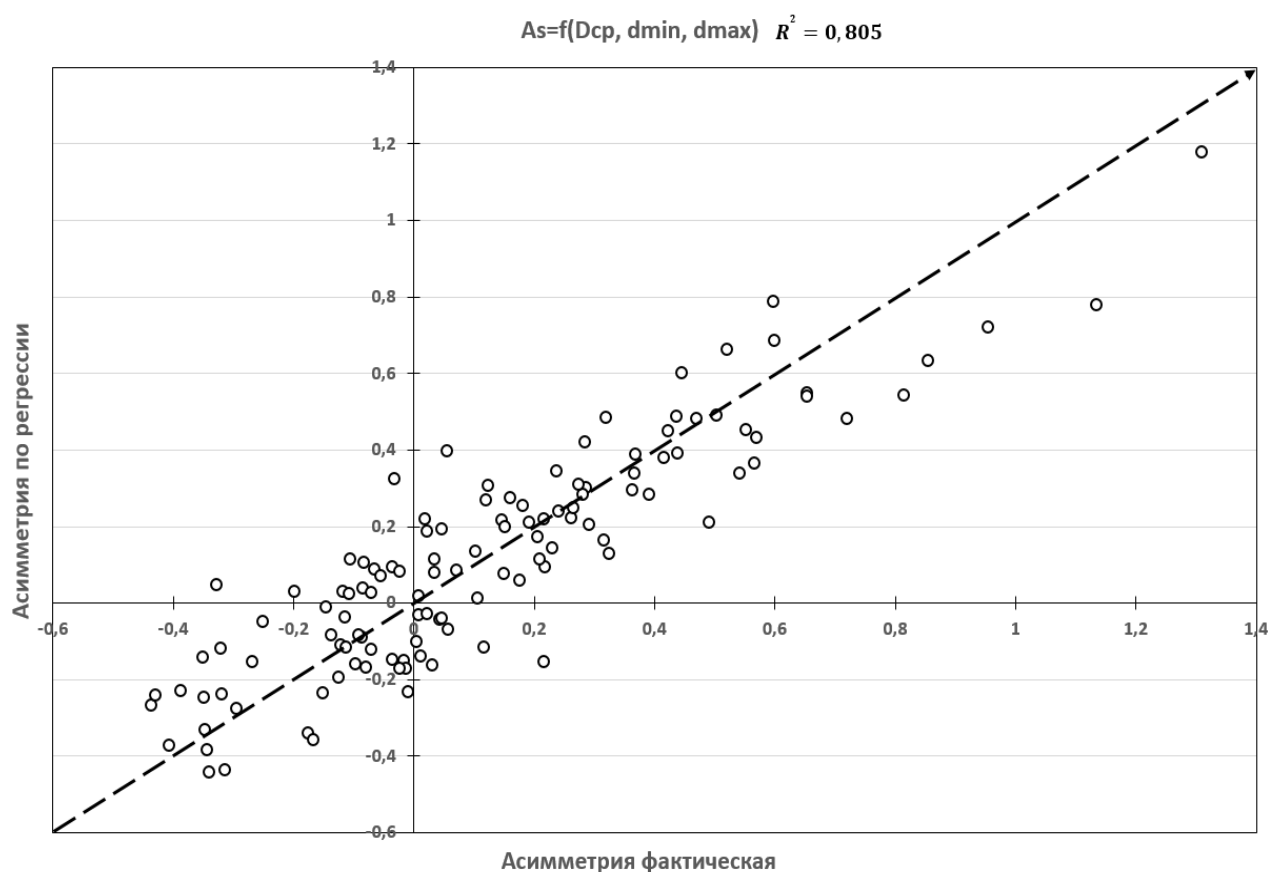


**Асимметрия** вариационного ряда характеризует форму кривой распределения мерой скошенности вправо или влево от симметричной кривой нормального распределения. Регрессионный анализ взаимосвязи асимметрии с показателями масштаба ряда ( $D_{cp}$ ,  $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ) позволяет сделать заключение о том, что указанные переменные уравнения (51) охватывают только 80% изменчивости асимметрии. О степени соответствия теоретически полученных по уравнению значений асимметрии фактическим данным показано на рисунке 6.3.

$$As = 0,40405 - 0,10987D + 0,05920 d_{min} + 0,04682 d_{max} \quad (52)$$

$$R^2 = 0,805; ES = \pm 14,8\%; t = |4,3; 20,9; 11,9; 14,9| > t_{05} = 1,96;$$

$$F = 159,8 \text{ при } P < 0,05$$



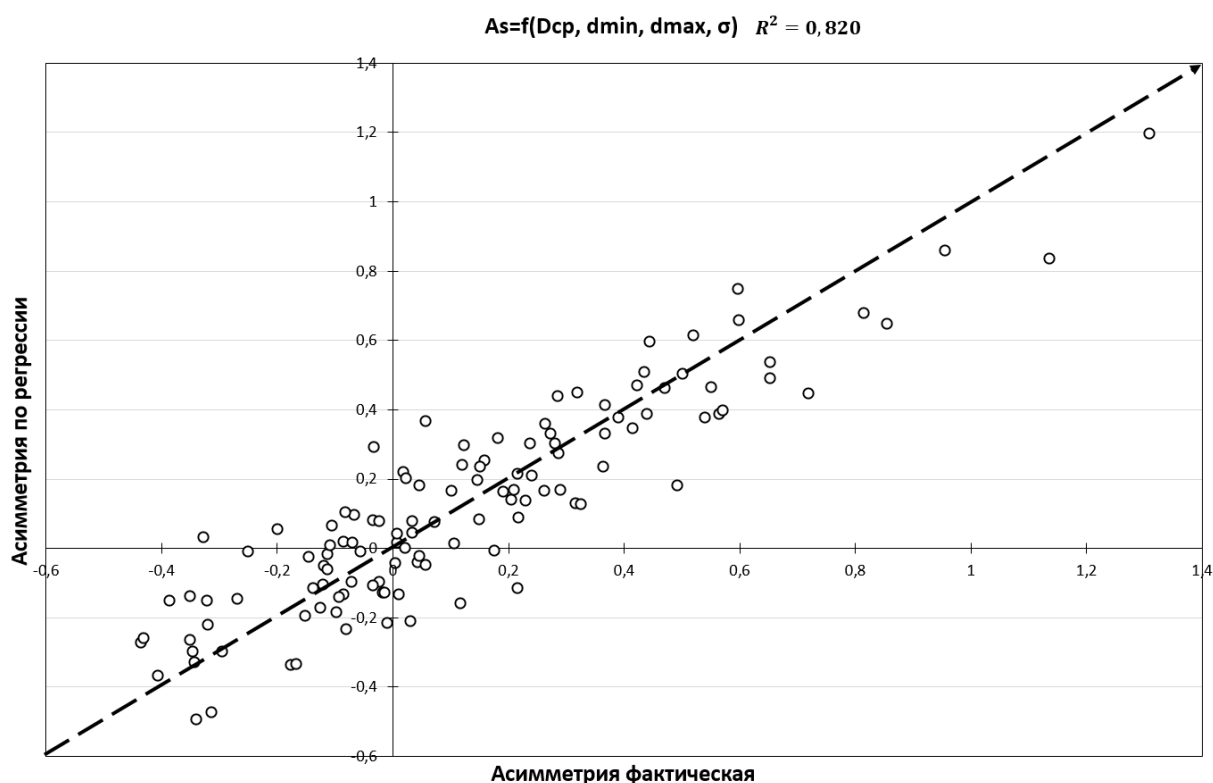
**Рисунок 6.3.** графическое представление степени соответствия теоретических значений асимметрии фактическим данным

$$As = 0,30584 - 0,11275D + 0,06785d_{min} + 0,04081d_{max} + 0,05009\sigma \quad (53)$$

$$R^2 = 0,820; ES = \pm 14,2\%; t = |3,2; 21,9; 12,2; 11,3; 3,1|;$$

$$F = 131,0 \text{ при } P < 0,05$$

Добавление в уравнение (52) в качестве независимой переменной стандартного отклонения даёт незначительное увеличение точности уравнения определения асимметрии. Точность регрессионного уравнения (53) увеличилась всего на 1,5%.



**Рисунок 6.4.** графическое представление степени соответствия теоретических значений асимметрии по уравнению (53) фактическим данным

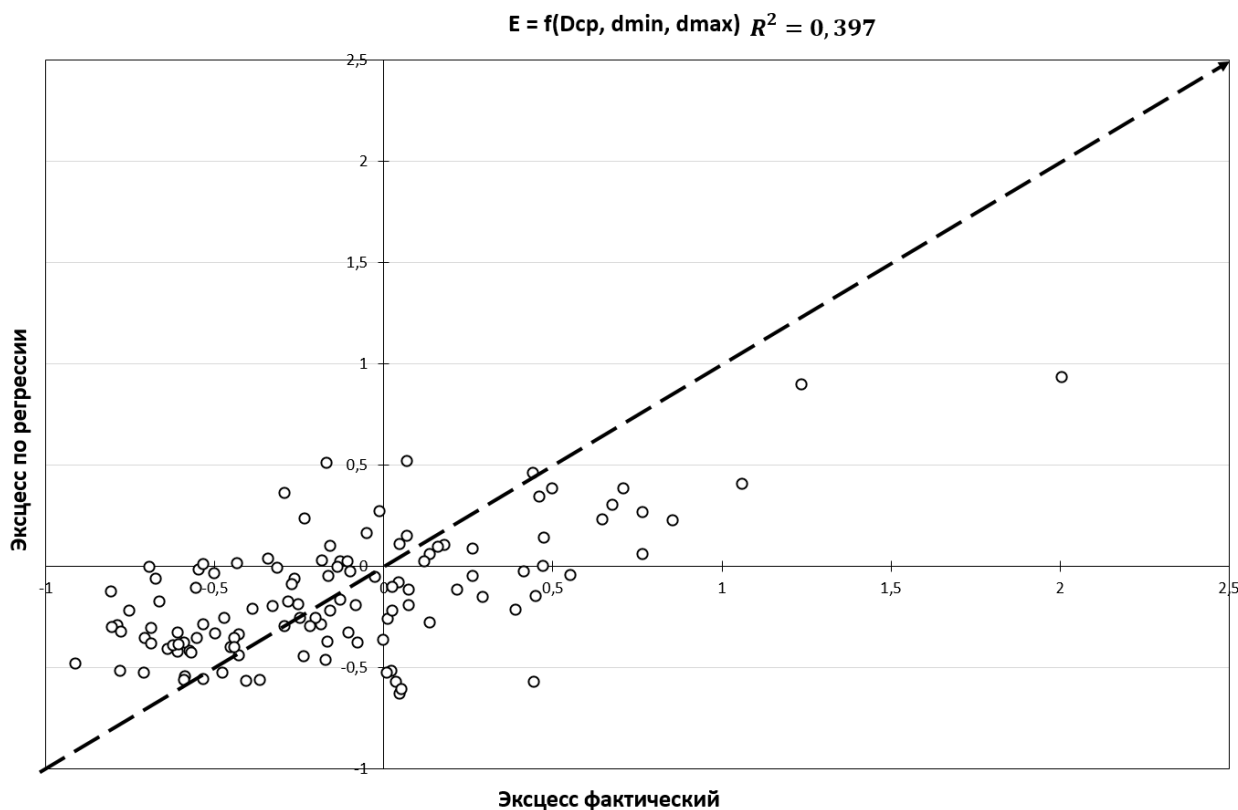
**Эксцесс** вариационного ряда характеризует форму кривой распределения мерой крутости и пологости. По аналогии с предыдущим параметром – асимметрией, получено уравнение регрессии эксцесса с параметрами масштаба ряда ( $D_{cp}$ ,  $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ). Анализируемый параметр формы рядов связан с включенными в уравнение регрессии (53) переменными слабой теснотой связи, характеризуемой коэффициентом детерминации равным 0,397. Квадрат оценки

адекватности представленный на рисунке 6.5 свидетельствует о значительном расхождении теоретических значений эксцесса от фактических.

$$E = -0,87803 - 0,09552D + 0,02549 dmin + 0,06670 dmax \quad (54)$$

$$R^2 = 0,397; ES = \pm 38,0; t = |3,6; 7,1; 2,0; 8,3| > t_{05} = 1,96;$$

$$F = 25,5 \text{ при } P < 0,05$$



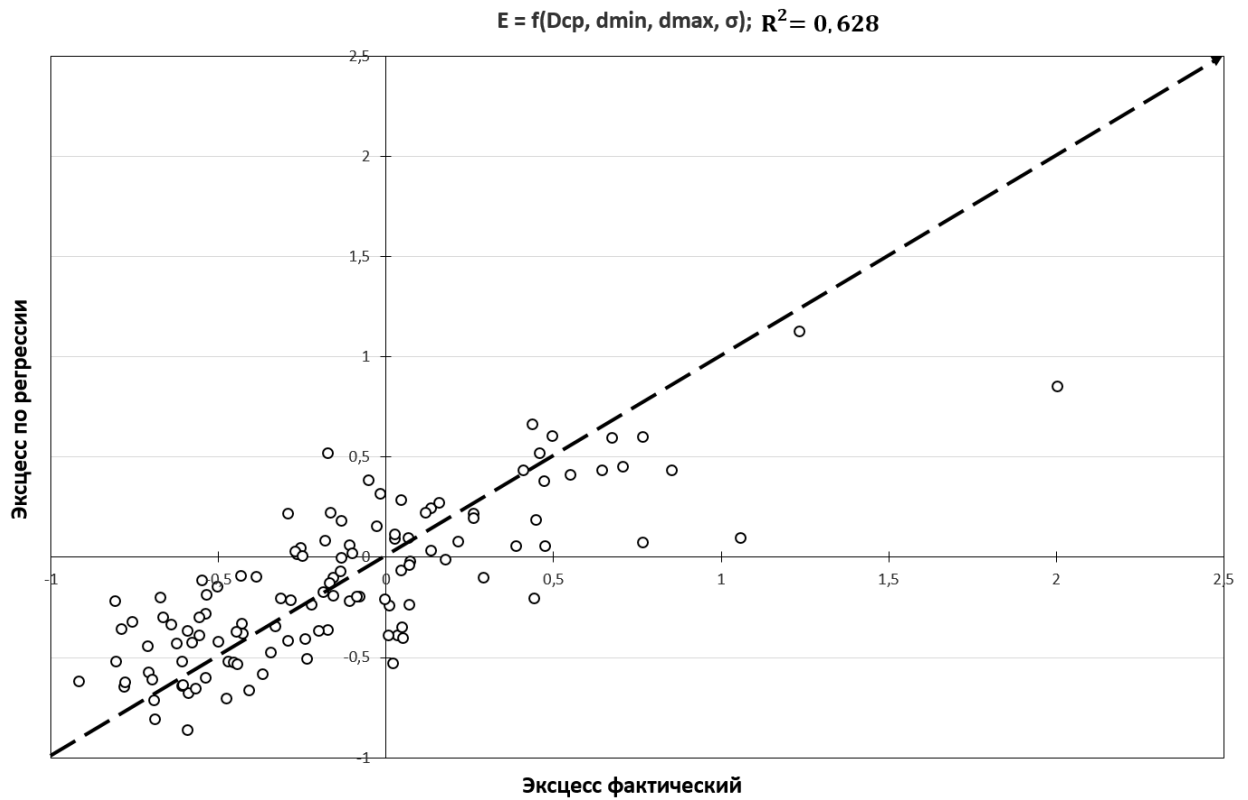
**Рисунок 6.5.** Графическое представление степени соответствия теоретически полученных по уравнению (54) значений эксцесса фактическим данным

Дополнительным включением в уравнение (53) в качестве независимой переменной стандартного отклонения ( $\sigma$ ) получено уравнение (54). Коэффициент детерминации нового уравнения ( $R^2=0,628$ ) значительно превышает показатель уравнения (54) ( $R^2=0,397$ ), что свидетельствует о существенной доле влияния стандартного отклонения на дисперсию эксцесса.

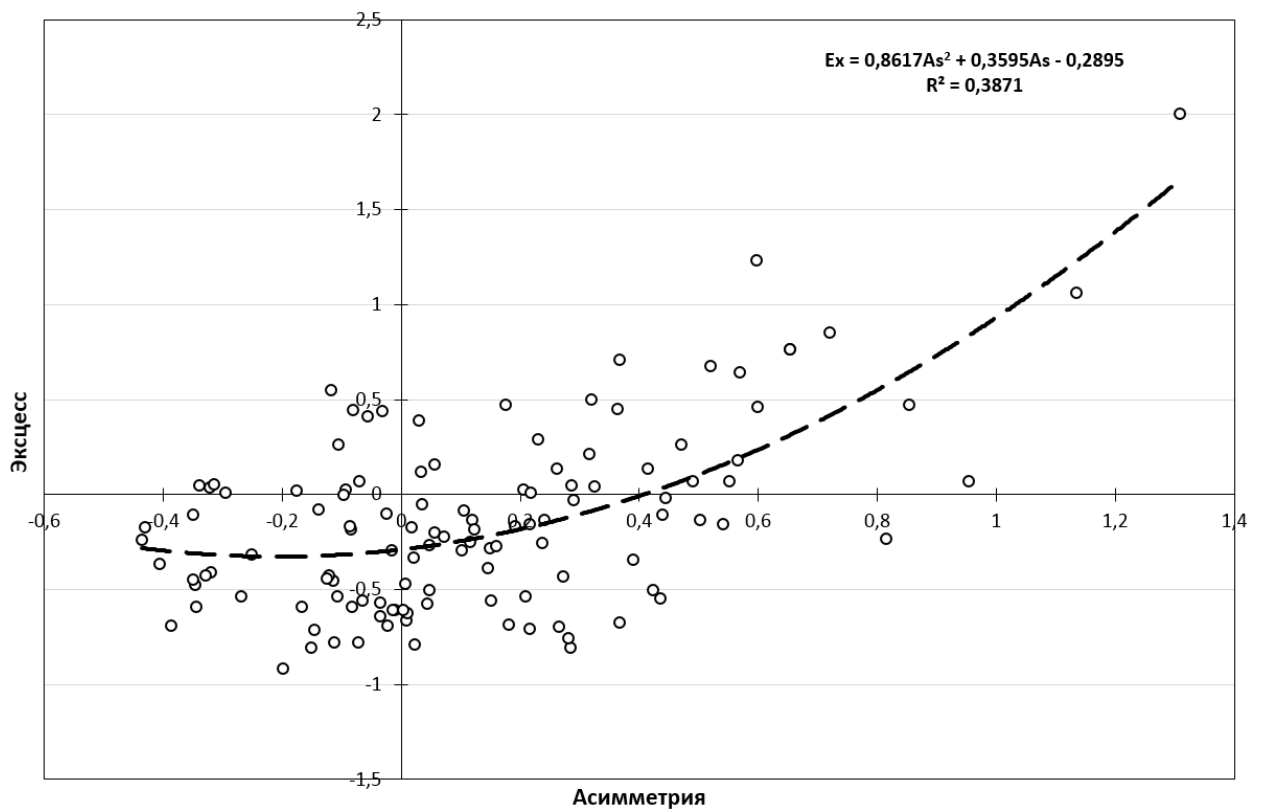
Более компактное расположение теоретически полученных значений эксцесса вдоль гипотенузы квадрата (рис. 6.6) подтверждает сделанное заключение.

$$E = -0,34130 - 0,07997D - 0,02316dmin + 0,10087dmax - 0,27925\sigma \quad (55)$$

$$R^2 = 0,628; t = |1,7; 7,4; 2,0; 13,3; 8,1| > t_{05} = 1,96; F = 48,1 \text{ при } P < 0,05$$



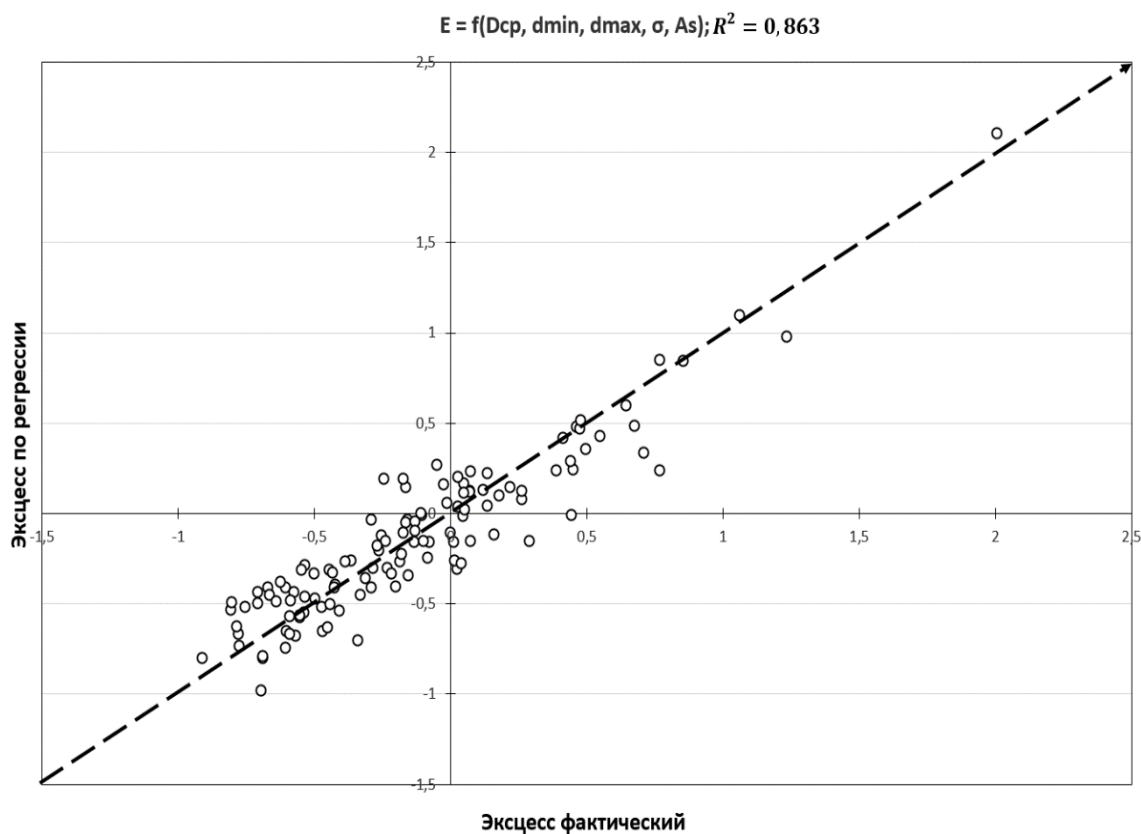
**Рисунок 6.6.** Графическое представление степени соответствия теоретически полученных по уравнению (55) значений эксцесса фактическим данным



**Рисунок 6.7.** Зависимость эксцесса от асимметрии вариационных рядов тополя чёрного

Между параметрами асимметрии и эксцесса существует взаимосвязь, которая отмечалась многими исследователями закономерностей строения древостоев (Каплунов и др., 1985, 1987; Каплунов, 1989; Кузьмичёв, 1977; Черных, 2002; Макаренко и др., 1978; Хлюстов, 1992, 2007, 2010, 2015б; Макаренко, 1987; Хлюстов и др., 2008, 2013, 2015, 2017; Pretzch and other, 2008). Во всех случаях отмечалась зависимость эксцесса от асимметрии, описываемая параболой второго порядка.

По данным 120 вариационных рядов древостоев тополя чёрного пойменных лесов Урала рассматриваемая взаимосвязь характеризуется низким коэффициентом детерминации ( $R^2=0,387$ ). Графически указанная зависимость представлена на рисунке 6.5.



**Рисунок 6.8.** Графическое представление степени соответствия теоретически полученных по уравнению (56) значений эксцесса фактическим данным

Включение в уравнение эксцесса (55) параметров масштаба, стандартного отклонения и асимметрии позволило получить регрессию с максимально возможным коэффициентом детерминации ( $R^2=0,863$ ).

$$E = -0,57185 + 0,03524D - 0,09787d_{min} + 0,06537d_{max} - \quad (56)$$

$$-0,38329\sigma + 0,39129As + 1,19208As^2$$

$R^2 = 0,863$ ;  $ES = \pm 18,4\%$ ;  $t = |4,4; 2,3; 9,0; 9,7; 17,3; 3,0; 11,4| > t_{05} = 1,96$ ;  
 $F = 118,5$  при  $P < 0,05$

Обобщая изложенное следует указать на отсутствие между параметрами кривых распределения взаимосвязей, отвечающих по точности требованиям статистического моделирования. Это связано с тем, что теоретически полученные параметры рядов распределения могут характеризовать лишь тренд направленности взаимосвязей, а не точное значение самого параметра, что подтверждается низкими коэффициентами детерминации  $R_{\sigma}^2 = 0,537$ ;  $R_{As}^2 = 0,820$ ;  $R_E^2 = 0,860$  и квадратами оценки адекватности.

Более того, для моделирования динамики строения древостоев необходимо получить статистическую модель изменения среднего диаметра как минимум от четырёх показателей: 1) возраста, 2) типа лесорастительных условий, 3) уровня продуктивности (бонитета) 4) густоты древостоев, а также дополнительно получить кривые, характеризующие размах варьирования толщины деревьев, как это показано в разделе 6.2.1.

Лишь только после этого, усреднённые по моделям параметры вариационных рядов при заданных значениях  $D_{cp}$  и размахе варьирования толщины деревьев ( $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ), вводятся в программу для расчёта теоретических частот по четырёхпараметрическим кривым Грам-Шарлье или К. Пирсона как это показано в работах В.В. Кузьмичёва (1977), Макаренко и др. (1987), Черных (2002).

Вполне очевидно, что использование параметрических методов распределения не в состоянии достоверно отобразить возрастное изменение строения древостоев и обеспечить широкомасштабное внедрение таких нормативов в производство.

### **6.3. Классификация вариационных рядов распределения числа деревьев по толщине**

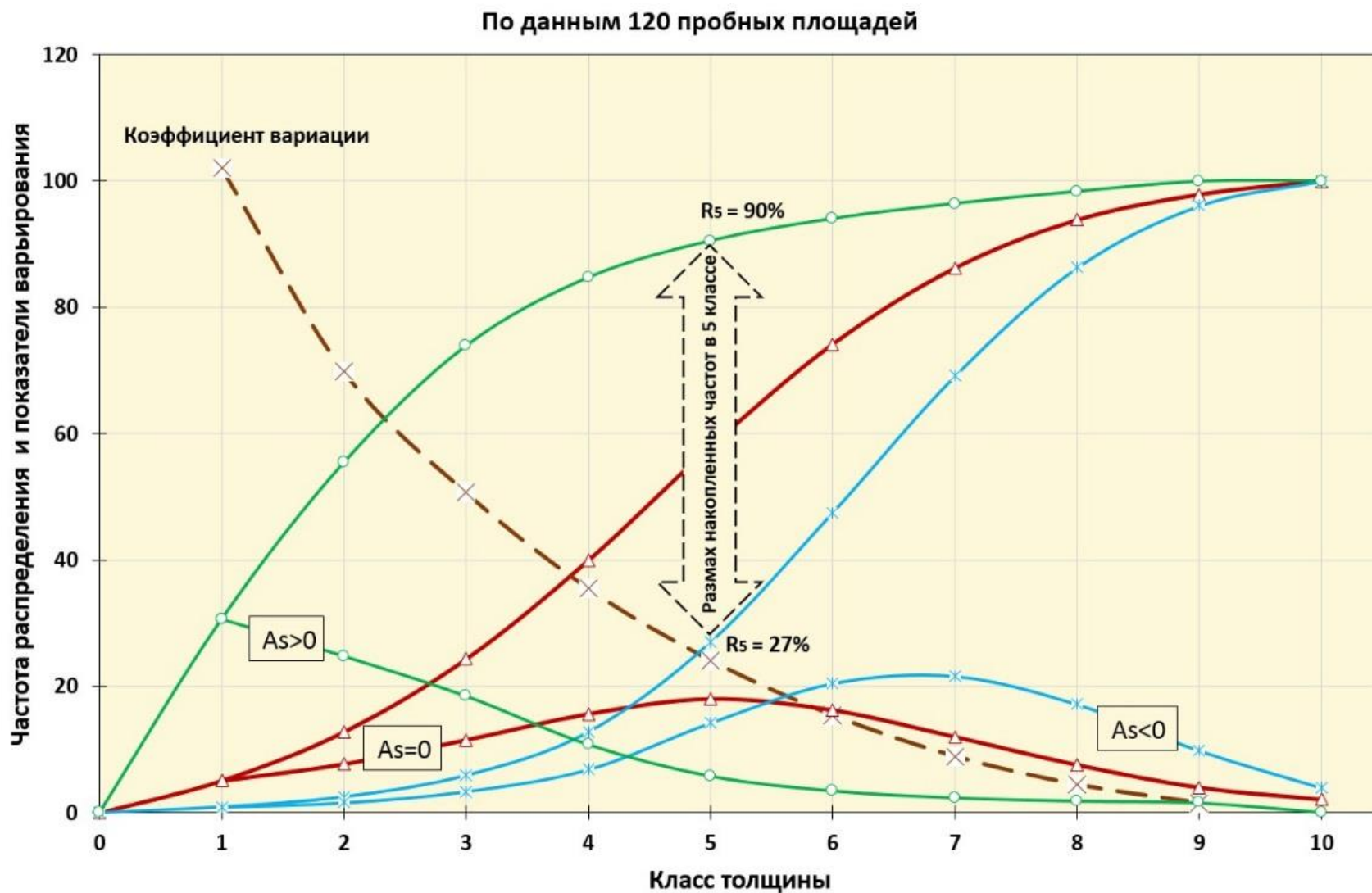
Многообразие формы кривых распределения деревьев по толщине требует систематизации (классификации) рядов с учётом размаха варьирования диаметров. Для решения этой задачи использованы непараметрические методы строения древостоев.

При разработке классификационной модели использовано 120 вариационных рядов, относящихся к древостоям тополя чёрного, произрастающих в осокорниковых группах типов леса. В качестве переменных использованы квантили вариационного ряда по 10 классовым промежуткам толщины деревьев.

Задача решалась методами факторного, кластерного и дискриминантного анализов.

Для представления предельных форм кривых распределения из всей совокупности вариационных рядов приведён рисунок 6.9. Графическая интерпретация предельных и среднестатистических кривых распределения частот позволяет судить о широком диапазоне возможных вариантов строения. На рисунке явно просматриваются ряды как с левосторонней, так и с правосторонней асимметрией.

В соответствии с методикой В.К. Хлюстова моделирования строения древостоев накопленное распределение частот (раздел 3.3.3.) в ряду с предельной правосторонней асимметрией ( $A_s > 0$ ) ранг деревьев в центральном (пятом) классе насчитывает 90%. В ряду с предельной левосторонней асимметрией ( $A_s < 0$ ) ранг деревьев в центральном (пятом) классе составляет 27%. Среднее распределение числа деревьев по всей совокупности вариационных рядов близок по форме к кривой нормального распределения, с максимумом частот в центральном классе.



**Рисунок 6.9.** Предельно асимметричные и среднестатистическое распределения частоты встречаемости деревьев по толщине



Следует отметить закономерное уменьшение коэффициента вариации накопленной частоты по классам толщины от значительной (100%) в первом классе, до незначительной (3 %) в девятом классе.

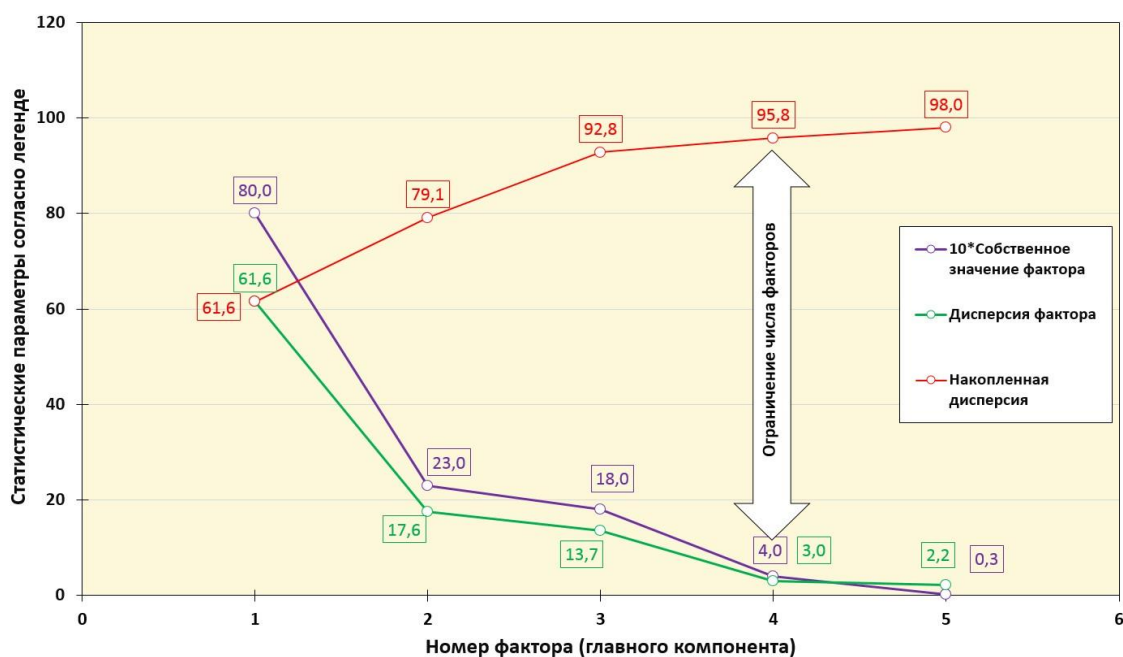
В соответствии с методикой многомерной классификации вариационных рядов, изложенной в разделе 3.3.4. каждый ряд был представлен накопленным распределением частот (огивой), построенным по 10 классовым промежуткам. Снятие с графика – огивы частот соответствующих правым границам классов толщины деревьев получено 9 значений переменных от первого до девятого класса. Дополнительно к девяти указанным переменным добавлены три переменные, характеризующие масштаб ряда, представленный средним диаметром ( $D_{cp}$ ) и значениями диаметров, соответствующими размаху варьирования ( $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ).

Далее массив данных из 120 вариационных рядов обработан поочерёдно: 1) факторным, 2) кластерным, 3) дискриминантным анализами.

### **Факторный анализ**

В результате факторного анализа 12 независимых переменных были обработаны корреляционным анализом, выявлена автокорреляция переменных, которая позволила выявить собственные значения факторов, определить их дисперсию и скомпоновать переменные в оптимальное число главных компонент. На рисунке 6.10 наглядно показано изменение собственных значений факторов относительно номеров факторов. Согласно критерию «каменистой осыпи» Кеттела, место ограничения числа факторов соответствует четырём, охватив 95,8% дисперсии переменных. Справа от четырёх факторов остаётся только 4,2% «факторной осыпи».

Придать семантический смысл выделенным факторам позволяют факторные нагрузки после вращения системы координат, значения которых приведены в таблице 6.3. Максимальные значения факторных нагрузок в разрезе переменных позволяют получить переменные, komponующие каждый фактор (главный компонент).



**Рисунок 6.10.** Изменение собственных значений факторов и их дисперсии относительно номеров факторов

Так, первый главный компонент характеризует накопленные частоты второй половины вариационного ряда, начиная с пятого и заканчивая девятым классом. Второй главный компонент характеризует три переменные – минимальный, максимальный и средний диаметр древостоя. Третий главный компонент образует частоты первой половины вариационного ряд, начиная с первого класса и заканчивая четвертым классом. Значения нагрузок четвертого фактора ничтожны и на результат классификации не влияют.

Таблица 6.3. Нагрузки на факторные оси после вращения системы координат

Переменная	Фактор (главный компонент)			
	1	2	3	4
Частота в 1 классе	0,031	-0,181	<b>-0,956</b>	-0,051
Частота во 2 классе	0,170	-0,154	<b>-0,964</b>	0,062
Частота в 3 классе	0,300	-0,151	<b>-0,901</b>	0,220
Частота в 4 классе	0,476	-0,160	<b>-0,767</b>	0,365
Частота в 5 классе	<b>0,625</b>	-0,141	-0,607	0,456
Частота в 6 классе	<b>0,733</b>	-0,117	-0,448	0,476
Частота в 7 классе	<b>0,855</b>	-0,067	-0,301	0,362
Частота в 8 классе	<b>0,962</b>	-0,057	-0,152	0,113
Частота в 9 классе	<b>0,955</b>	-0,149	-0,054	-0,182
Средний диаметр, см	-0,255	<b>0,895</b>	0,339	-0,119
Диаметр минимальный	-0,152	<b>0,899</b>	0,087	-0,097
Диаметр максимальный	0,072	<b>0,929</b>	0,098	0,071

Таблица 6.4. Координаты объектов в системе факторов

№ ряда	Фактор				№ ряда	Фактор			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	159,4	-7,5	-182,8	250,4	31	132,3	38,3	-124,6	182,4
2	175,4	-13,7	-235,2	299,6	32	148,9	30,8	-144,1	219,3
3	176,0	-13,7	-230,4	301,4	33	142,8	21,9	-144,3	210,6
4	158,8	-10,5	-199,9	251,2	34	116,0	40,5	-98,5	141,8
5	150,3	0,7	-165,2	228,8	35	130,2	37,7	-125,0	176,1
6	150,3	2,3	-157,8	228,7	36	115,9	35,2	-97,9	140,5
7	148,0	8,9	-153,0	222,4	37	120,3	44,2	-96,0	142,8
8	124,2	41,8	-108,6	162,3	38	151,4	30,2	-158,0	229,4
9	135,2	60,4	-133,6	190,7	39	170,4	32,2	-209,6	287,9
10	131,1	16,3	-113,8	171,9	40	114,0	35,4	-92,6	138,9
11	119,2	14,4	-88,0	139,6	41	143,2	25,3	-144,4	209,6
12	169,9	2,7	-214,2	286,4	42	139,4	35,8	-130,8	195,0
13	129,3	49,6	-120,7	182,2	43	131,8	37,5	-110,8	172,6
14	141,4	22,3	-138,8	198,9	44	134,3	29,3	-129,0	187,4
15	147,1	20,7	-137,0	214,3	45	126,5	46,2	-101,7	157,2
16	149,9	9,2	-153,0	226,0	46	154,9	31,5	-161,2	237,2
17	157,3	12,9	-188,0	251,6	47	144,2	40,5	-144,0	209,5
18	151,9	11,2	-156,1	229,7	48	131,3	38,0	-119,7	176,3
19	152,2	23,0	-157,1	232,2	49	113,8	45,6	-87,0	131,4
20	162,1	24,1	-199,6	263,9	50	121,2	41,4	-104,7	150,0
21	147,0	34,3	-151,4	221,9	51	122,0	47,0	-95,9	145,7
22	117,2	45,9	-91,2	140,6	52	146,4	37,1	-149,7	214,7
23	157,4	10,1	-168,6	246,4	53	154,3	34,8	-164,5	236,8
24	147,8	12,1	-143,5	215,6	54	153,5	25,0	-166,3	235,0
25	150,4	10,8	-153,1	225,7	55	137,5	29,7	-139,7	193,2
26	160,6	8,7	-182,7	256,4	56	133,5	15,7	-126,6	176,6
27	170,5	5,0	-207,1	286,8	57	123,1	20,2	-115,3	161,7
28	153,6	14,2	-166,7	238,8	58	176,3	-16,0	-269,4	307,1
29	150,0	16,5	-152,8	224,8	59	164,5	-9,3	-217,8	268,3
30	132,3	39,3	-108,3	174,5	60	150,3	4,6	-186,9	233,0

Таблица 6.4. Координаты объектов в системе факторов (продолжение)

№ ряда	Фактор				№ ряда	Фактор			
	1	2	3	4		1	2	3	4
61	170,8	-9,1	-263,3	291,4	91	156,4	3,3	-175,6	242,1
62	187,1	-17,5	-305,2	333,8	92	159,5	-2,2	-204,2	251,0
63	172,1	-13,9	-246,8	293,4	93	162,4	-9,2	-210,8	262,1
64	154,8	3,2	-192,6	247,6	94	163,8	-7,8	-216,5	264,9
65	164,3	-9,0	-245,2	276,7	95	170,6	-4,7	-222,7	284,8
66	135,1	17,5	-129,0	188,6	96	150,9	-2,1	-179,5	231,3
67	138,0	16,4	-136,3	194,4	97	143,9	8,9	-158,1	208,4
68	160,2	4,0	-193,4	259,4	98	149,8	4,3	-160,0	224,1
69	164,8	4,5	-191,2	269,7	99	128,3	17,9	-119,1	168,2
70	148,4	7,3	-157,1	219,0	100	128,3	18,8	-115,2	164,0
71	123,9	21,0	-119,7	158,0	101	133,9	21,1	-114,6	179,1
72	139,1	15,0	-139,1	195,7	102	127,6	28,2	-115,3	169,8
73	158,0	5,3	-173,4	247,3	103	142,6	18,2	-137,4	204,1
74	140,6	16,5	-136,9	200,7	104	108,5	29,9	-72,6	114,3
75	136,0	23,7	-116,0	181,8	105	109,9	34,8	-75,5	119,2
76	140,2	23,2	-138,2	199,9	106	146,5	26,7	-141,4	213,8
77	160,1	17,0	-176,6	256,1	107	145,4	20,1	-143,8	211,3
78	160,3	20,0	-173,2	254,4	108	130,4	21,7	-129,5	180,4
79	144,9	25,3	-130,2	205,6	109	131,5	19,2	-120,8	177,9
80	146,1	21,6	-134,0	209,6	110	126,5	27,9	-118,6	170,7
81	120,2	14,6	-98,0	143,6	111	129,6	25,9	-128,2	180,7
82	129,7	23,0	-109,9	167,9	112	127,0	26,2	-115,1	165,3
83	117,7	25,8	-91,3	138,7	113	125,3	29,0	-118,0	167,8
84	166,3	0,8	-204,8	273,9	114	129,6	26,3	-126,4	173,2
85	160,7	2,4	-192,8	258,0	115	112,2	30,7	-95,5	135,5
86	152,0	-2,0	-163,1	230,3	116	146,2	20,3	-158,7	219,3
87	138,4	5,1	-139,0	192,2	117	125,2	30,4	-112,0	163,5
88	129,7	10,1	-133,7	173,4	118	155,4	9,6	-180,6	242,8
89	137,9	11,5	-131,8	189,6	119	148,5	15,6	-165,5	223,6
90	139,0	4,5	-142,8	194,9	120	152,2	13,2	-177,9	232,3

Таким образом, факторный анализ позволил получить массив данных строения древостоев в системе координат факторов. Значения координат объектов в системе факторов не коррелированы между собой, что исключают шумы при группировке схожих вариационных рядов при проведении кластерного анализа.

### **Кластерный анализ (первый этап)**

Кластерный анализ как методов многомерной статистики применяется в процедуре классификации объектов. Сущность кластерного анализа - распределение множества вариационных рядов, характеризуемых совокупностью независимых переменных, на схожие группы (кластеры).

Это означает, что решается задача классификации объектов с выделением компактных, удаленных друг от друга групп рядов или разбиения совокупности рядов на области скопления.

Кластеризация 120 вариационных рядов в системе координат факторов по объединяющей стратегии Уорда позволила получить дендрограмму, представленную на рисунке 6.11. На дендрограмме просматривается групповая структура рядов с близкими значениями переменных.

Для более наглядного изображения группировки рядов в системе координат была применена разделяющая (дивизивная) стратегия динамических сгущений. Графическая интерпретация кластеров на плоскость первого и второго факторов представлена на рисунке 6.12.

Сопоставление дендрограммы (рис.6.11) и кластеров на плоскости факторов (рис. 6.12) позволяет идентифицировать соответствие кластерных построений.

Таким образом, на первом этапе кластеризации образовано 40 групп рядов, в среднем по 3 вариационных ряда в кластере.

### **Дискриминантный анализ (первый этап)**

Согласно методике применения дискриминантного анализа, сгруппированные в кластеры вариационные ряды должны быть оценены как с позиций межкластерного расстояния ( $D^2$ ), так и с позиций внутрикластерного расстояния ( $d^2$ ) принадлежности каждого ряда к конкретному классу. Результаты

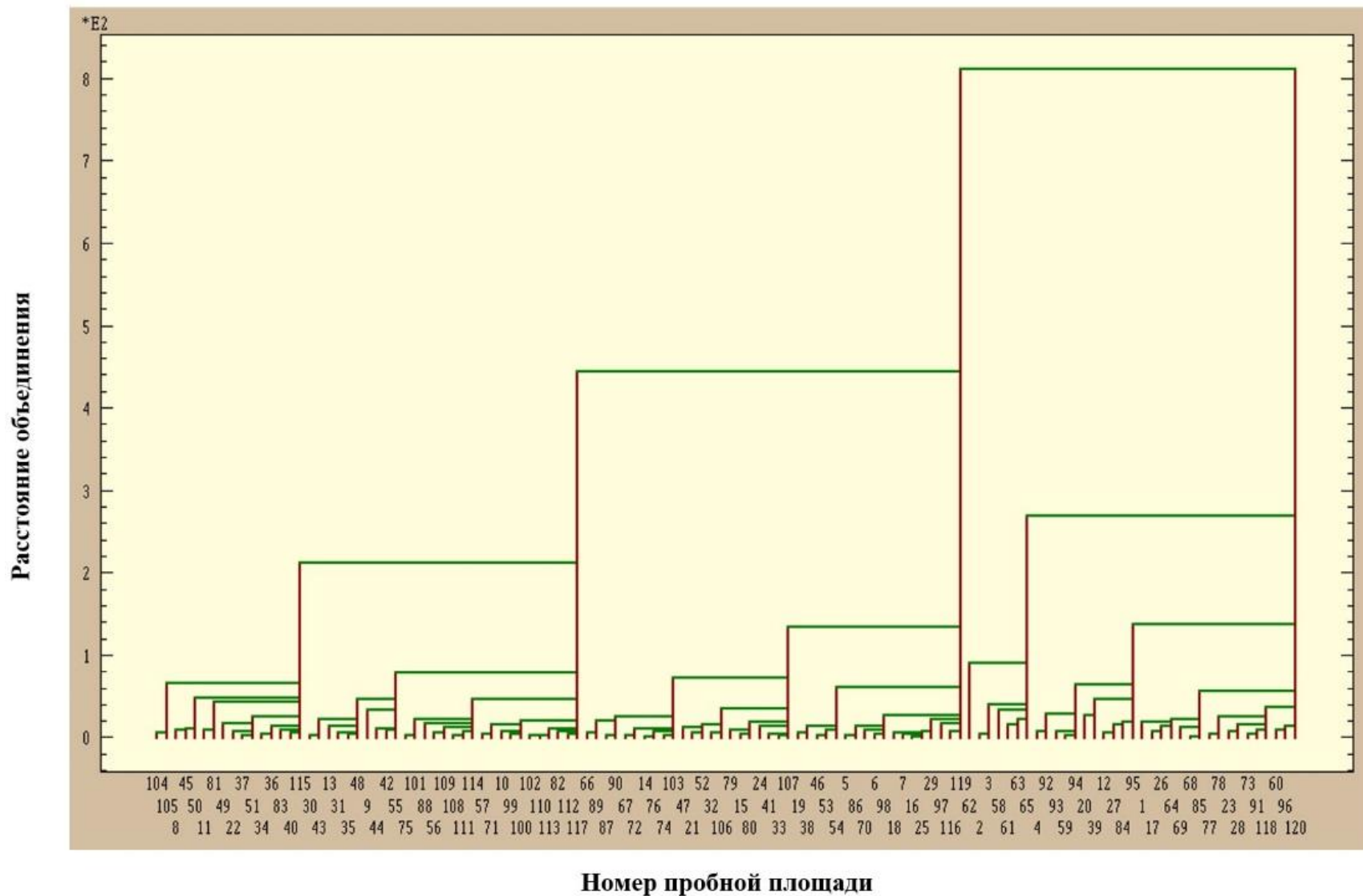
дискриминантного анализа позволили получить уравнения дискриминантной функции, статистические параметры и критерии надёжности проведённой классификации.

Главным критерием достоверности различий между классами является суммарное межкластерное расстояние Махаланобиса ( $D^2=461,4$ ) при котором значимость  $P < 0,05$  указывает на достаточно высокую степень надёжности проведённой классификации. Внутрикластерное расстояние  $d^2 < 9,5$  при  $P > 0,05$ , что указывает на принадлежность ряда к конкретному классу. Это также подтверждает надёжность попадания вариационных рядов в конкретный класс.

Наглядно результаты классификации приведены на рисунке 6.13 которые показывают, что 76,7% рядов имеют вероятность попадания в конкретный класс в 80-100 % случаев, 20% рядов относятся к конкретному классу в 60 - 80% случаев и только 3,3% рядов - в 50-60% случаев.

Таким образом, классификация 120 вариационных рядов по 40 классам позволила получить усреднённые ряды, показатели варьирования накопленных частот и точность их определения.

Для уменьшить числа классов вариационных рядов, относящихся к древостоям тополя чёрного в осокорниковой группе типов леса усреднённые по классовым промежуткам значения накопленных частот подлежали повторной процедуре факторизации, кластеризации и дискриминации.



**Рисунок 6.11.** Дендрограмма кластеризации 120 пробных площадей по объединяющей стратегии Уорда (первая кластеризация)

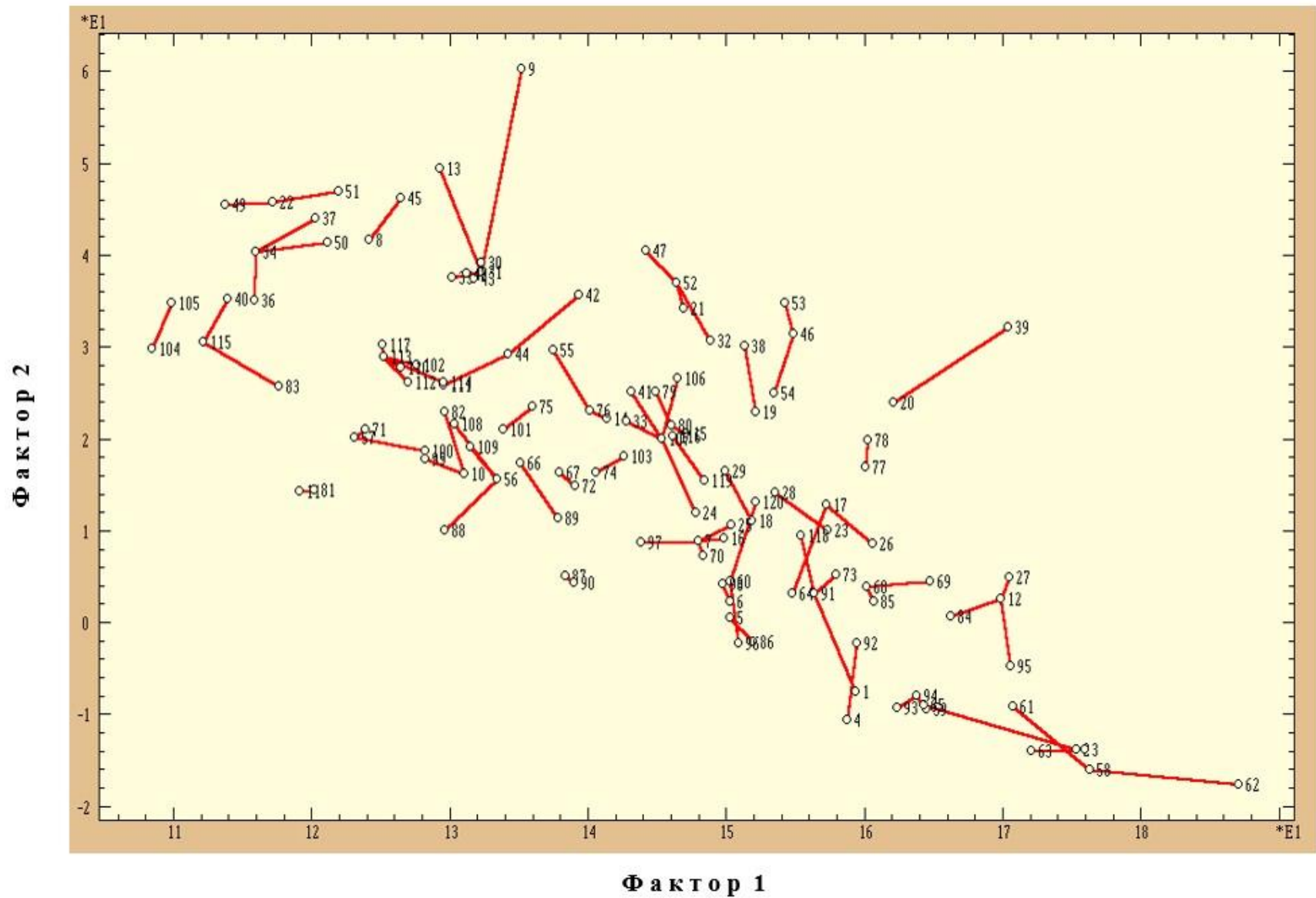
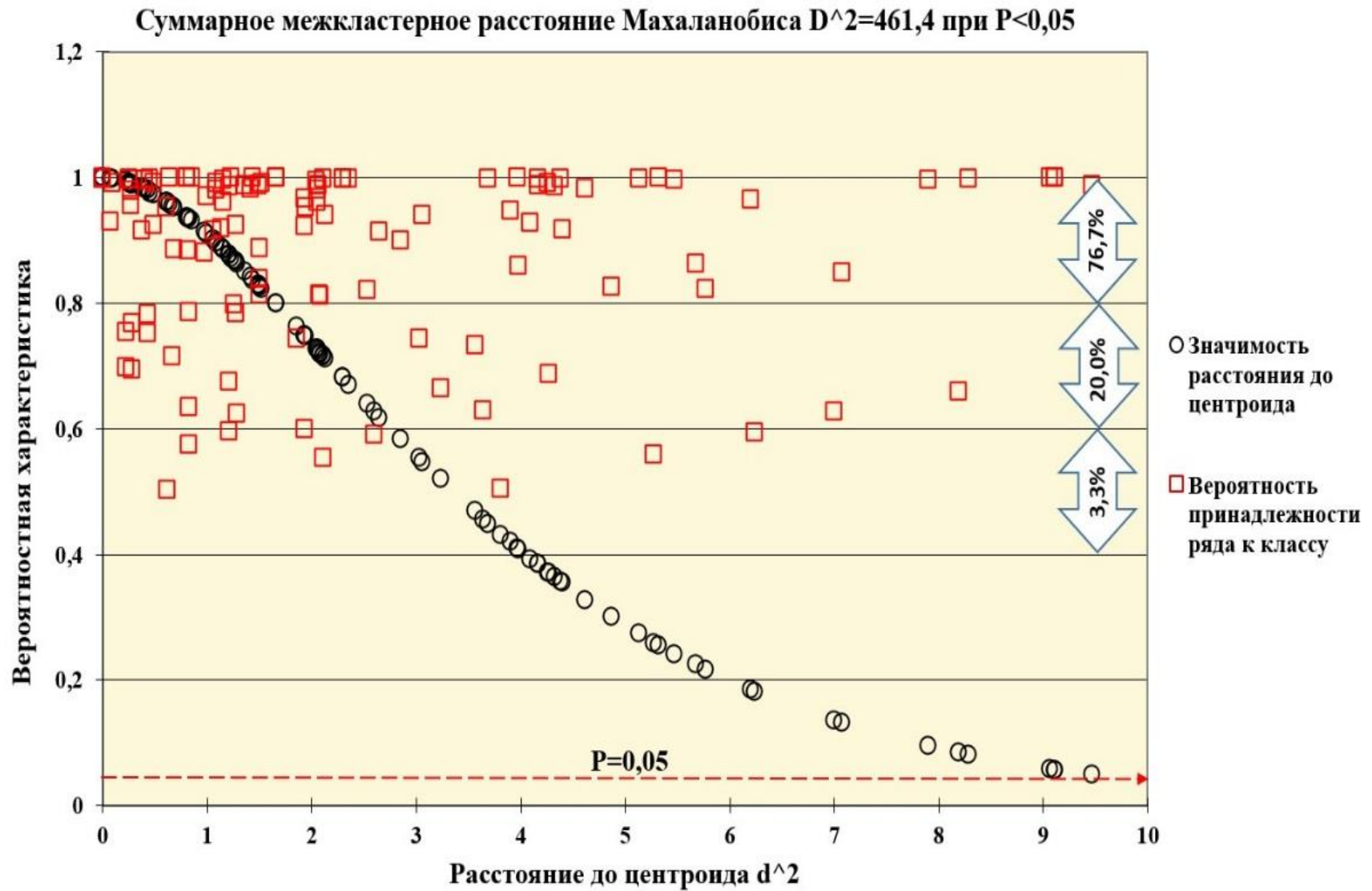


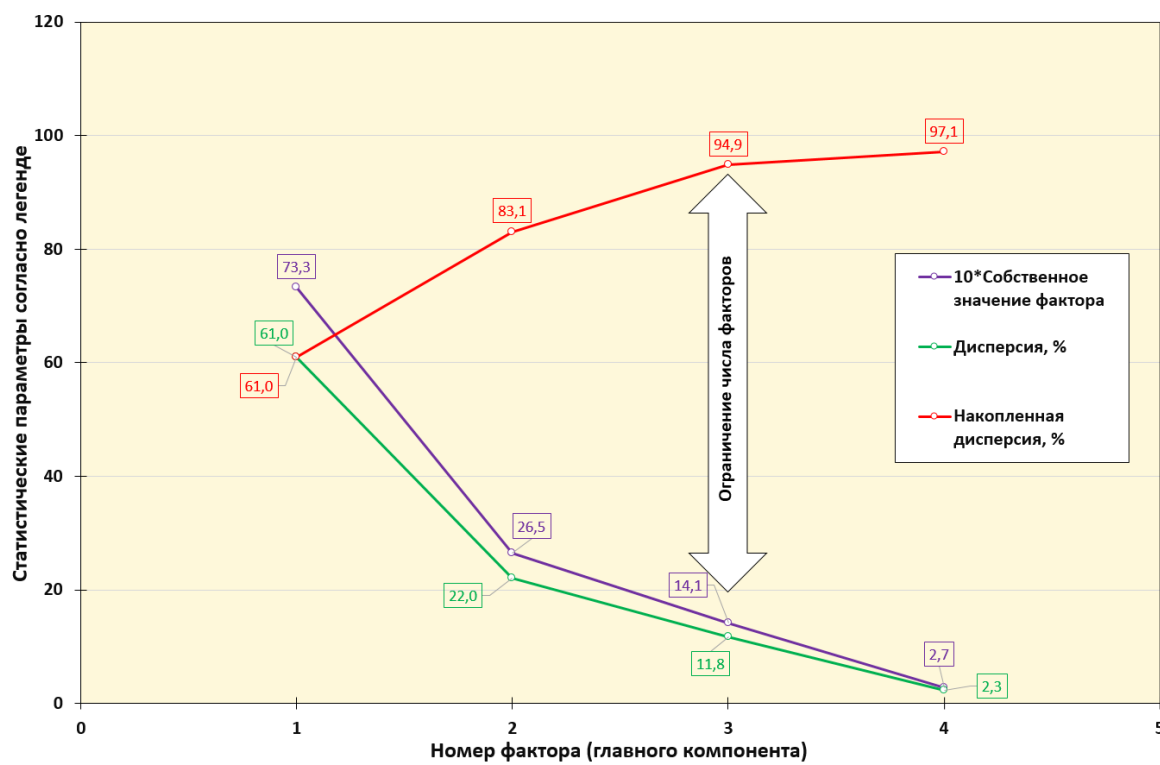
Рисунок 6.12. Распределение 120 вариационных рядов по 40 кластерам на плоскость первого и второго факторов





**Рисунок 6.13.** Статистические параметры классификации 120 вариационных рядов (первая кластеризация)

Усреднённые значения накопленных частот по 9 классам после проведения дискриминантного анализа позволили сформировать новый массив данных из 40 вариационных рядов для повторного проведения факторного анализа.



**Рисунок 6.14.** Изменение собственных значений факторов и их дисперсии относительно номеров факторов

Сравнение статистических параметров после первой (рис. 6.12) и второй (Рис. 6.14) факторизации дало идентичные результаты как по собственным значениям факторов, так и по дисперсиям. Предельные по модулю нагрузки на факторные оси после вращения системы координат в разрезе трёх факторов остались без изменения (таблица 6.5).

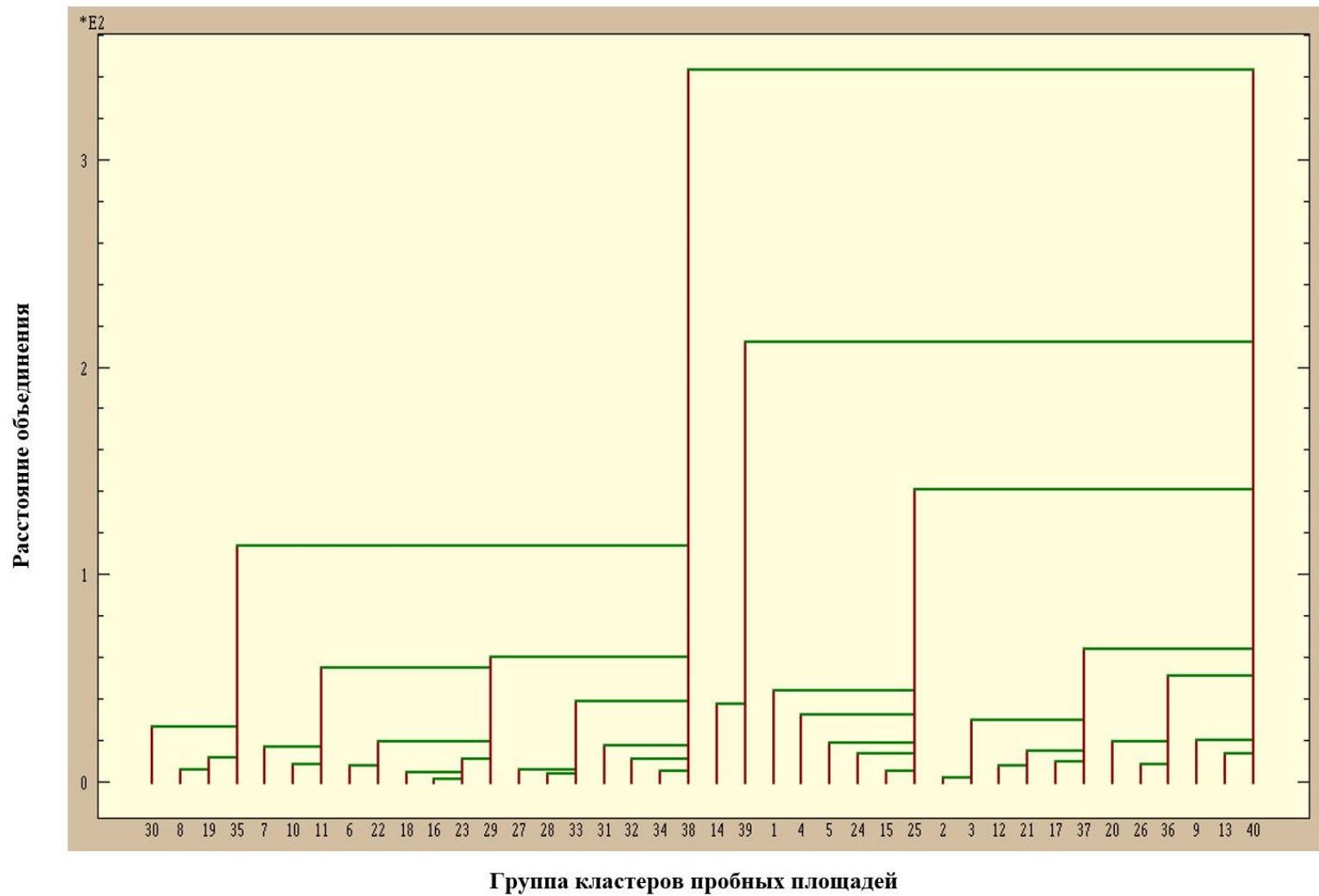
В результате факторизации были получены новые данные в системе координат факторов для проведения кластерного анализа. Кластеризацией рядов построена дендрограмма по объединяющей стратегии Уорда (рис.6.15). Также получено распределение проекций 16 кластеров на плоскость первого и второго факторов (рис. 6.16).

Таблица 6.5. Нагрузки на факторные оси после вращения системы координат

Переменная	Фактор (главный компонент)		
	1	2	3
Частота в 1 классе	0,155	-0,033	<b>-0,964</b>
Частота во 2 классе	0,274	-0,084	<b>-0,954</b>
Частота в 3 классе	0,422	0,040	<b>-0,898</b>
Частота в 4 классе	0,596	0,098	<b>-0,784</b>
Частота в 5 классе	<b>0,733</b>	0,124	-0,641
Частота в 6 классе	<b>0,830</b>	0,118	-0,513
Частота в 7 классе	<b>0,906</b>	0,118	-0,379
Частота в 8 классе	<b>0,951</b>	0,129	-0,237
Частота в 9 классе	<b>0,939</b>	0,028	-0,143
Средний диаметр, см	-0,100	<b>-0,979</b>	0,012
Диаметр минимальный	-0,039	<b>-0,929</b>	0,102
Диаметр максимальный	-0,123	<b>-0,908</b>	-0,058

Таблица 6.6. Координаты объектов в системе факторов

№ ряда	Фактор			№ ряда	Фактор		
	1	2	3		1	2	3
1	176,1	-3,4	-263,2	21	151,1	-23,8	-189,4
2	149,8	-11,4	-181,4	22	137,4	-24,0	-159,9
3	151,8	-10,3	-182,9	23	139,6	-24,4	-167,7
4	159,4	-6,1	-216,6	24	160,7	-22,8	-230,4
5	170,2	-8,9	-239,0	25	165,1	-22,7	-243,3
6	133,8	-17,7	-156,4	26	152,6	-27,2	-210,5
7	120,5	-26,4	-134,2	27	129,3	-46,2	-144,4
8	120,2	-50,4	-128,2	28	123,8	-49,3	-146,5
9	150,4	-65,9	-188,0	29	141,9	-32,6	-166,1
10	134,5	-23,2	-144,2	30	109,9	-49,2	-105,0
11	128,5	-17,9	-140,2	31	144,8	-43,4	-172,7
12	148,7	-24,4	-181,7	32	132,0	-38,9	-157,2
13	154,2	-52,4	-196,5	33	127,6	-48,6	-149,2
14	178,5	-24,5	-301,0	34	134,8	-44,4	-161,9
15	168,2	-24,6	-239,0	35	114,7	-60,0	-125,3
16	139,7	-22,5	-167,6	36	156,9	-32,3	-205,0
17	155,4	-27,8	-195,2	37	148,1	-34,6	-192,6
18	141,7	-24,6	-171,3	38	136,1	-45,5	-167,5
19	119,7	-51,0	-121,9	39	188,1	-40,0	-334,5
20	160,8	-41,6	-218,9	30	144,5	-44,6	-189,4



**Рисунок 6.15.** Дендрограмма кластеризации 40 усреднённых рядов по объединяющей стратегии Уорда (вторая кластеризации)

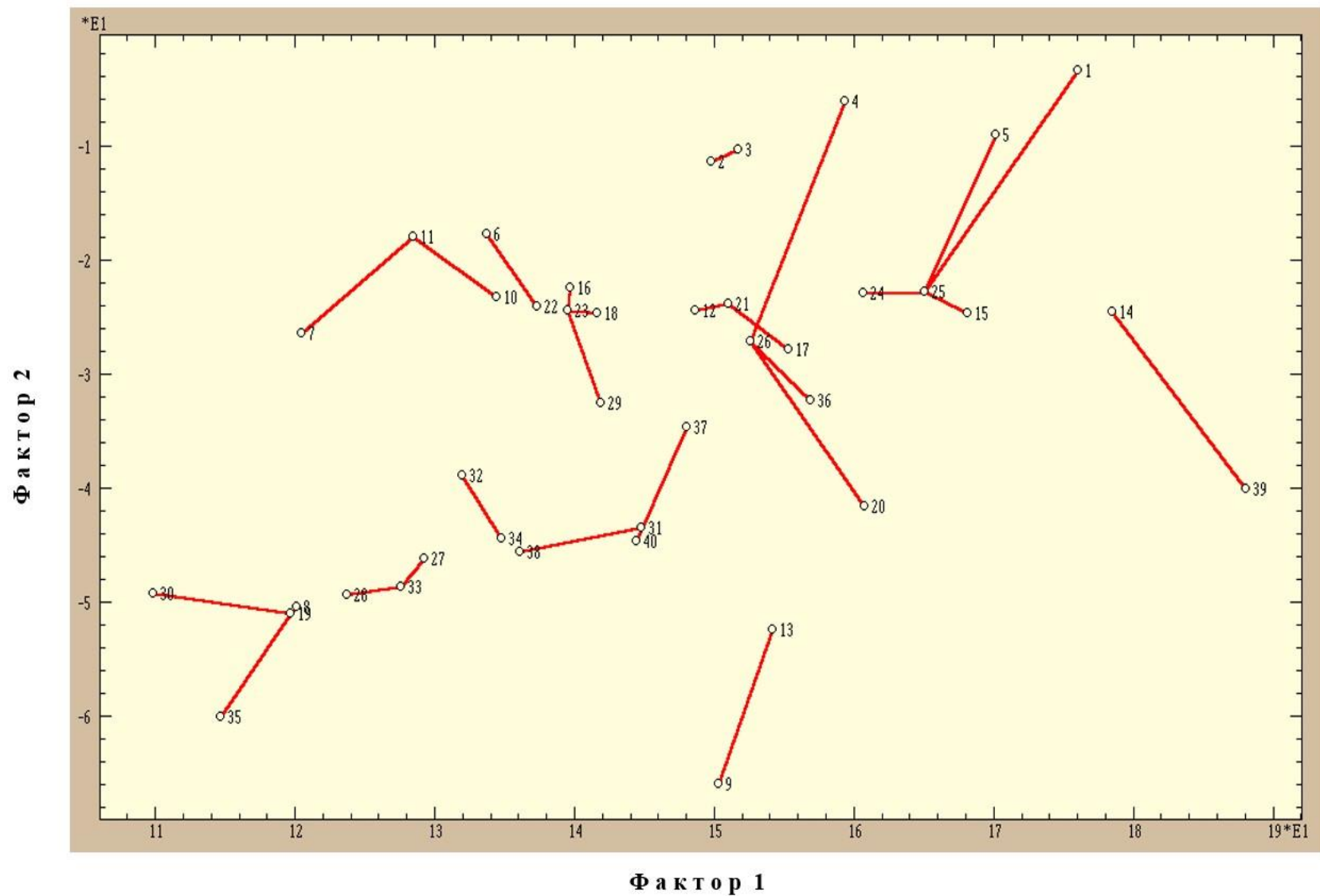


Рисунок 6.16. Распределение 40 вариационных рядов по 16 кластерам на плоскость первого и второго факторов

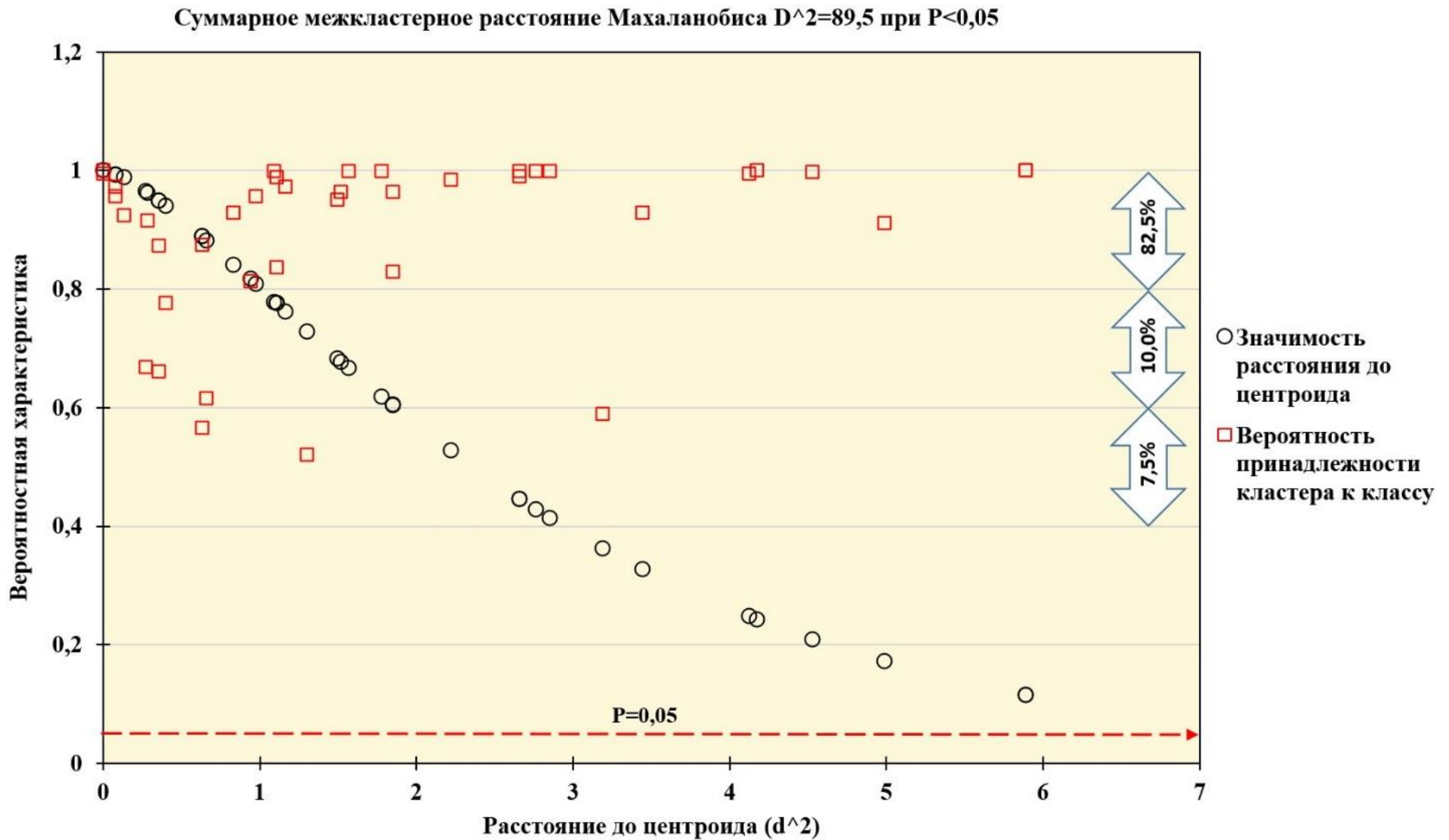
Достоверность нового распределения рядов по группам подтверждено статистическими критериями суммарного межкластерного расстояния Махаланобиса ( $D^2 = 89,5$  при  $P > 0,05$ ) и внутрикластерного расстояния ряда до центра класса ( $d^2 < 7$  при  $P > 0,05$ ).

Графическое представление надежности классификации показано на рисунке 6.17, который свидетельствует о том, что в 82,8% рядов укладываются в конкретный класс с вероятностью 80-100%, 10% рядов - с вероятностью 60-80% и только 7,5% рядов - с вероятностью 50-60%.

Аналитическая часть раздела даёт информацию для графической интерпретации многомерной классификации вариационных рядов, построенных по 10 классовым промежуткам. Так, на рисунке 6.18 показаны усреднённые по 16 классам ряды накопленного распределения частот.

Наличие асинхронности кривых распределения объясняется, главным образом, спецификой формирования насаждений в разные возрастные периоды, а также размахом варьирования ряда как одного из главных компонентов, определённых факторным анализом. Именно размах варьирования толщины деревьев связан, прежде всего, с лесорастительными условиями, возрастом и густотой древостоя. Вместе с тем размах варьирования и средний диаметр древостоя могут изменяться под воздействием выборочной рубки деревьев, что также влияет на форму кривой распределения частот. На рисунке 6.19 показаны кривые распределения частот после повторной классификации вариационных рядов. Как видим, предельные по асимметричности ряды совпадают с рядами из общей совокупности, представленной 120 вариационными рядами (рис. 6.9). Ранги деревьев в середине вариационных рядов практически совпадают, а все промежуточные ряды укладываются между ними.

Таким образом, многомерная классификация вариационных рядов позволила выявить возможные варианты изменения формы строения древостоев и определить главные факторы, влияющие на неё.



**Рисунок 6.17.** Распределение 40 вариационных рядов по 16 кластерам на плоскость первого и второго факторов

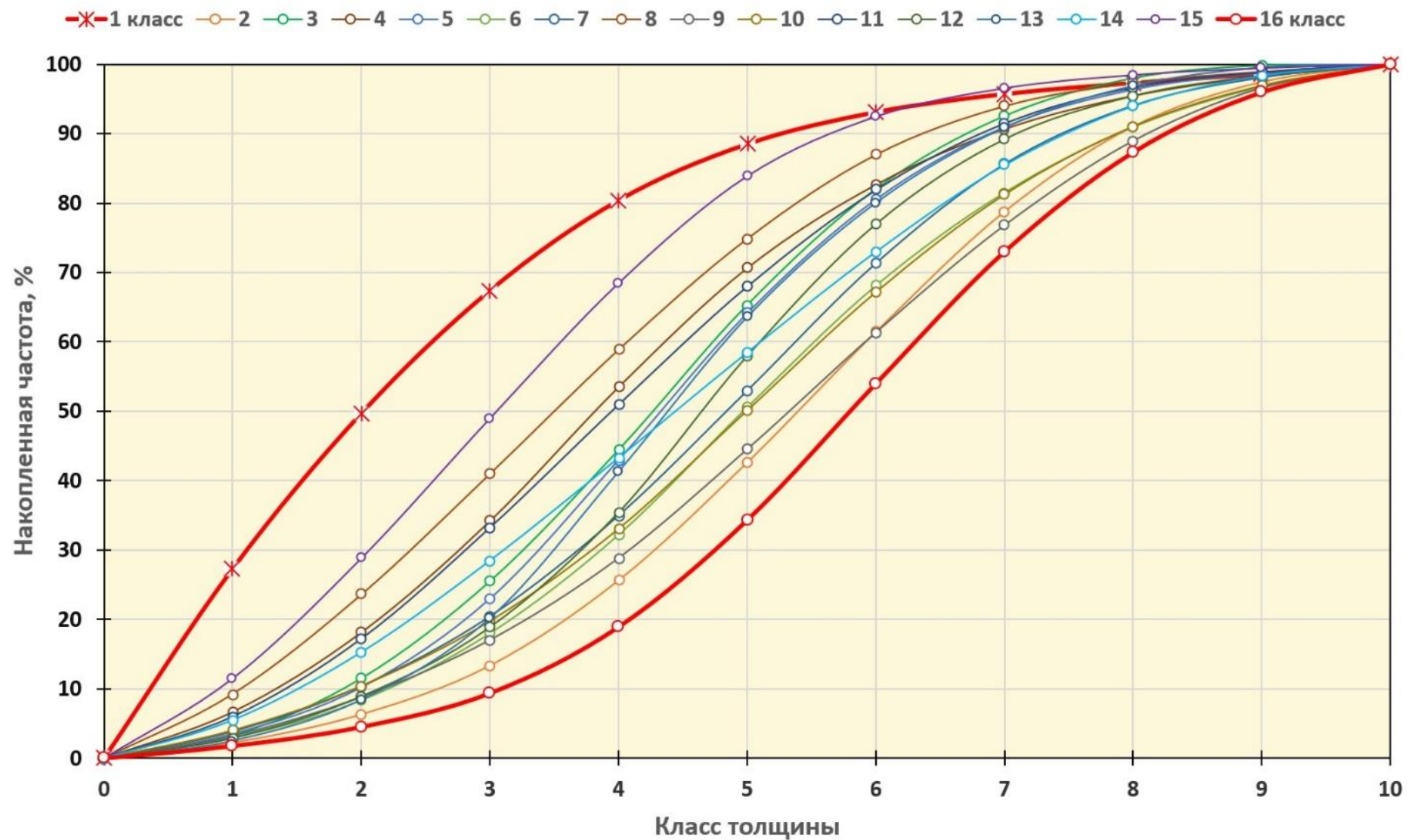


Рисунок 6.18. Классификация рангово-классовых кривых распределения (огив) после второй кластеризации



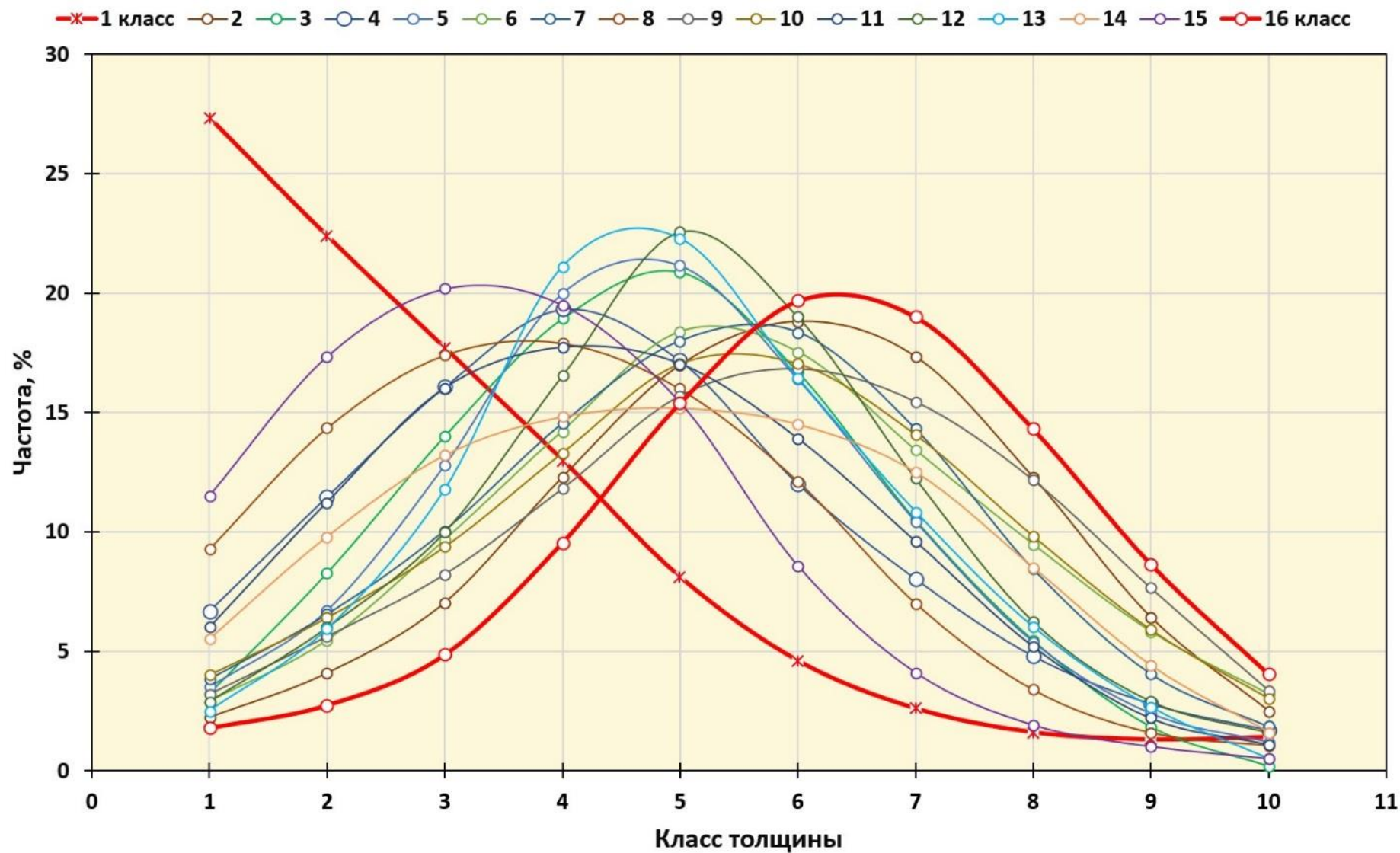


Рисунок 6.19. Классификация кривых распределения частоты встречаемости деревьев по 10 классам толщины

#### 6.4. Моделирование возрастных изменений строения древостоев по таксационным показателям деревьев

Решение задачи возрастного изменения строения древостоев по таксационным показателям деревьев в разрезе классов толщины выполнено по методике, предложенной и использованной В.К. Хлюстовым (2015а, 2015б). Как уже было указано в разделе 6.4 размах варьирования ( $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ) и средний диаметр ( $D_{\text{ср}}$ ) являются главными факторами, определяющими форму ряда распределения. На рисунке 6.20 показаны возможные варианты размаха варьирования в зависимости от среднего диаметра древостоя.

Ранее в таблице 6.2 показаны возможные варианты изменения масштаба рядов распределения, из которых для наглядности представления закономерностей строения древостоев выбран первый вариант, охватывающий из всей совокупности вариационных рядов максимально возможный размах варьирования толщины деревьев (табл.6.7).

Таблица 6.7. Вариант размаха варьирования рядов распределения числа деревьев по толщине (фрагмент)

№	Левая граница ряда	Правая граница ряда
1.	$1,15 * d_{\max \text{ перг}} \text{ от } D_{\text{ср}}$	$0,7 * d_{\min \text{ перг}} \text{ от } D_{\text{ср}}$

Отобразить изменение размаха варьирования с возрастом позволяет модель взаимосвязи среднего диаметра с возрастом в разных группах типов леса или же модель изменения  $D_{\text{ср}}$  с возрастом по классам средних высот в разрезе конкретной группы типов леса.

Для наглядного отображения динамики строения древостоев, прежде всего, рассмотрим графическое представление поверхностей кривых распределения. Так, на рисунке 6.21 показаны градуированные поверхности размаха варьирования толщины деревьев в разрезе классов средней высоты ( $H_{30}=23$  м,  $H_{30}=19$  м,  $H_{30}=15$  м,  $H_{30}=11$  м) древостоев тополя чёрного в группе типов леса Осокорники средних уровней центральной поймы.

На рисунке 6.22 показано изменение высоты деревьев от их толщины по пятилетиям в разрезе классов средней высоты древостоев. Основанием для

теоретического построения графиков высот  $h=f(d)$  древостоев разного среднего диаметра ( $D$ ) и средней высоты ( $H$ ) использована модель В. К. Хлюстова (2015а, 2015б) вида:

$$h_i = 1,3 + (H - 1,3) * \exp(-1,0998 \ln D - 0,33244 \ln^2 D + 0,17370 \ln^3 D - 0,01834 \ln^4 D + 1,0101 \ln d_i + 0,33199 \ln^2 d_i - 0,17369 \ln^3 d_i + 0,018329 \ln^4 d_i) \quad (57)$$

Для построения уравнения использовались графики высот, построенные по данным замера деревьев на пробных площадях, а также нормативы для таксации деревьев по разрядам высот.

Главным элементом методики отображения формы кривой распределения является уравнение изменения ранга деревьев в пятом классовом промежутке ( $R_V$ ) от показателей масштаба, выраженных предельными значениями редуционных чисел ( $r_{dmin} = d_{min}/D_{cp}$ ), ( $r_{dmax} = d_{max}/D_{cp}$ ) общего вида:

$$R_V = k_0 + k_1 * r_{dmin} + k_2 * r_{dmin}^2 + k_3 * r_{dmax} + k_4 * r_{dmax}^2 + k_5 * r_{dmax}^3 + k_6 * r_{dmax}^4 + k_7 * r_{dmax}^5 + k_8 * r_{dmin} r_{dmax} + k_9 * r_{dmin} r_{dmax}^2 + k_{10} * r_{dmin} r_{dmax}^3 + k_{11} * r_{dmin} r_{dmax}^4 \quad (58)$$

Модель с конкретными численными коэффициентами представлена в монографии В.К. Хлюстова (Книга II) (2015б). Модели придан статус общерегиональной независимо от древесной породы и лесорастительных условий. Сопоставление фактических значений накопленной частоты в середине ряда со значениями, полученными по модели, отражает квадрат оценки адекватности (Рис.6.23). Незначительное систематическое ( $\Delta=0,7\%$ ) и случайное ( $\sigma=\pm 5,3\%$ ) отклонения подтверждает надежность и достоверность использованной методики.

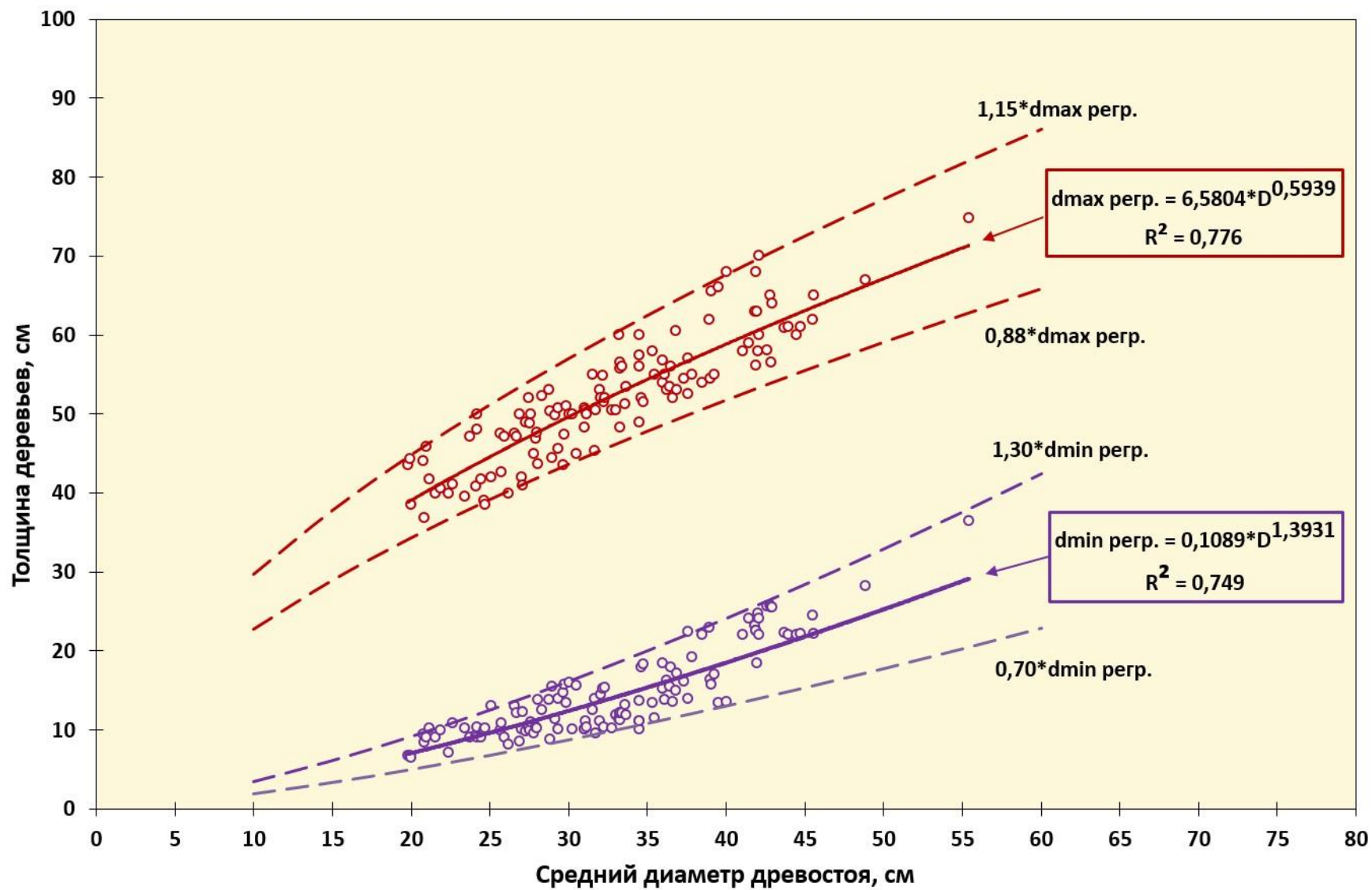


Рисунок 6.20. Линии регрессии размаха варьирования толщины деревьев в древостоях тополя чёрного

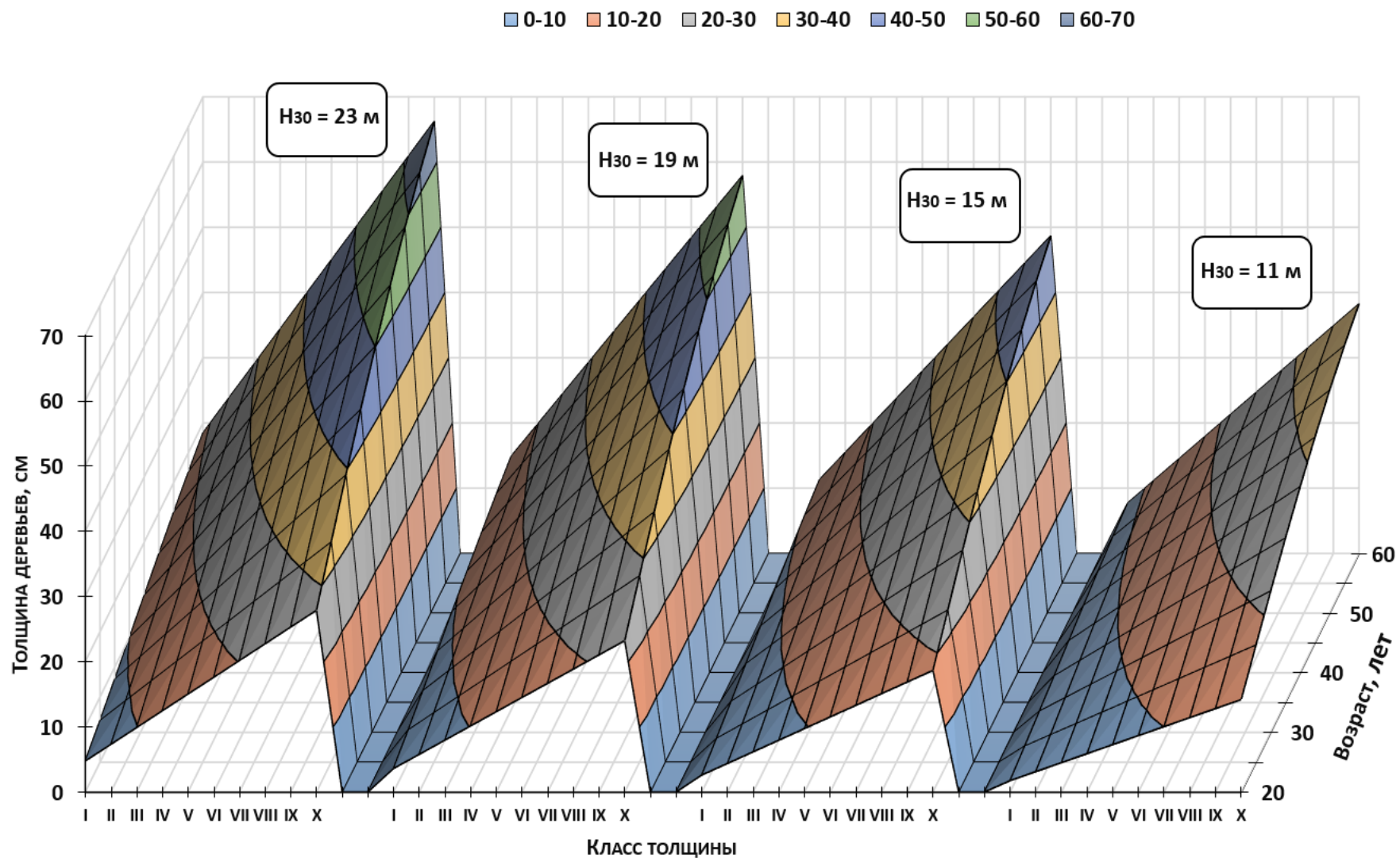
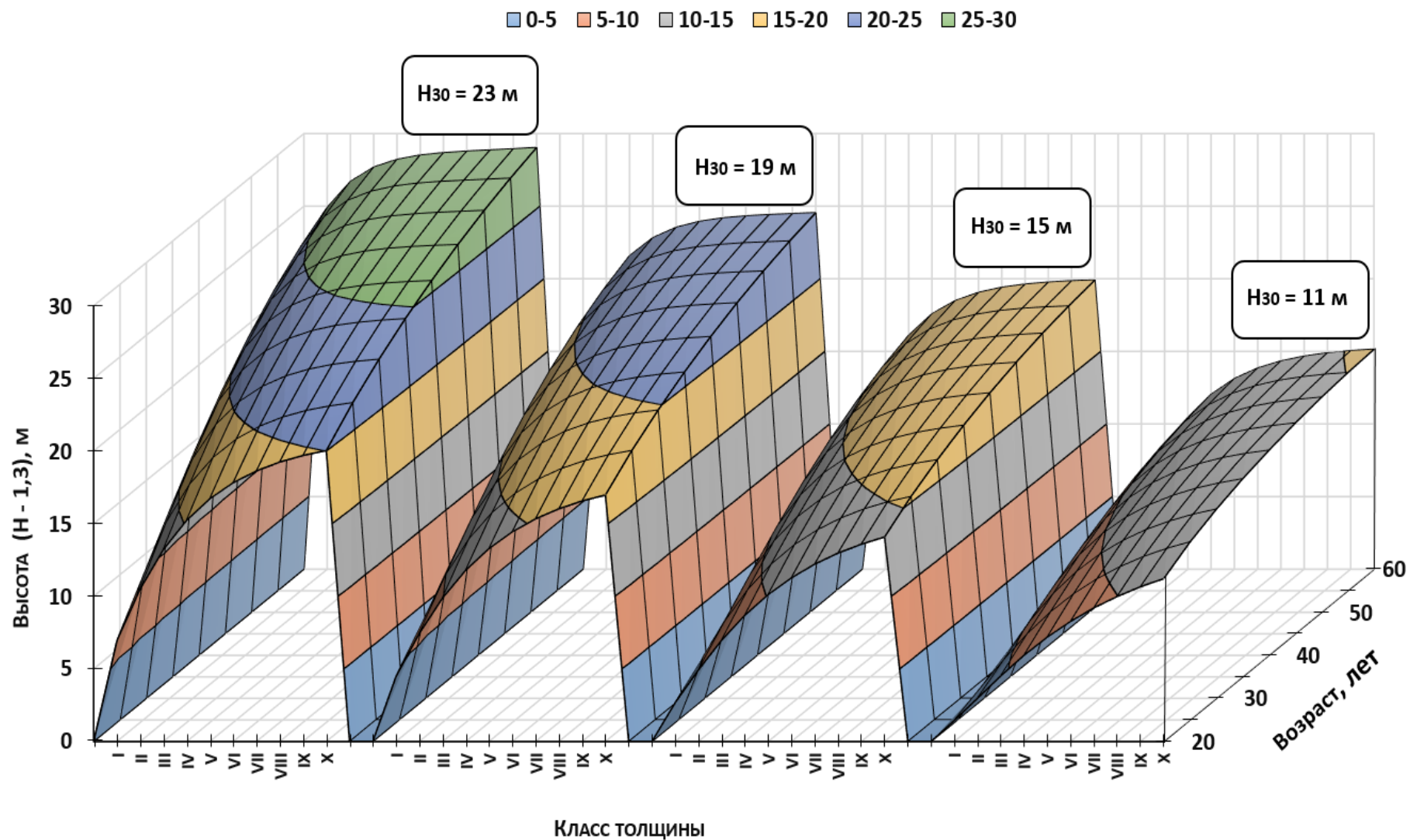
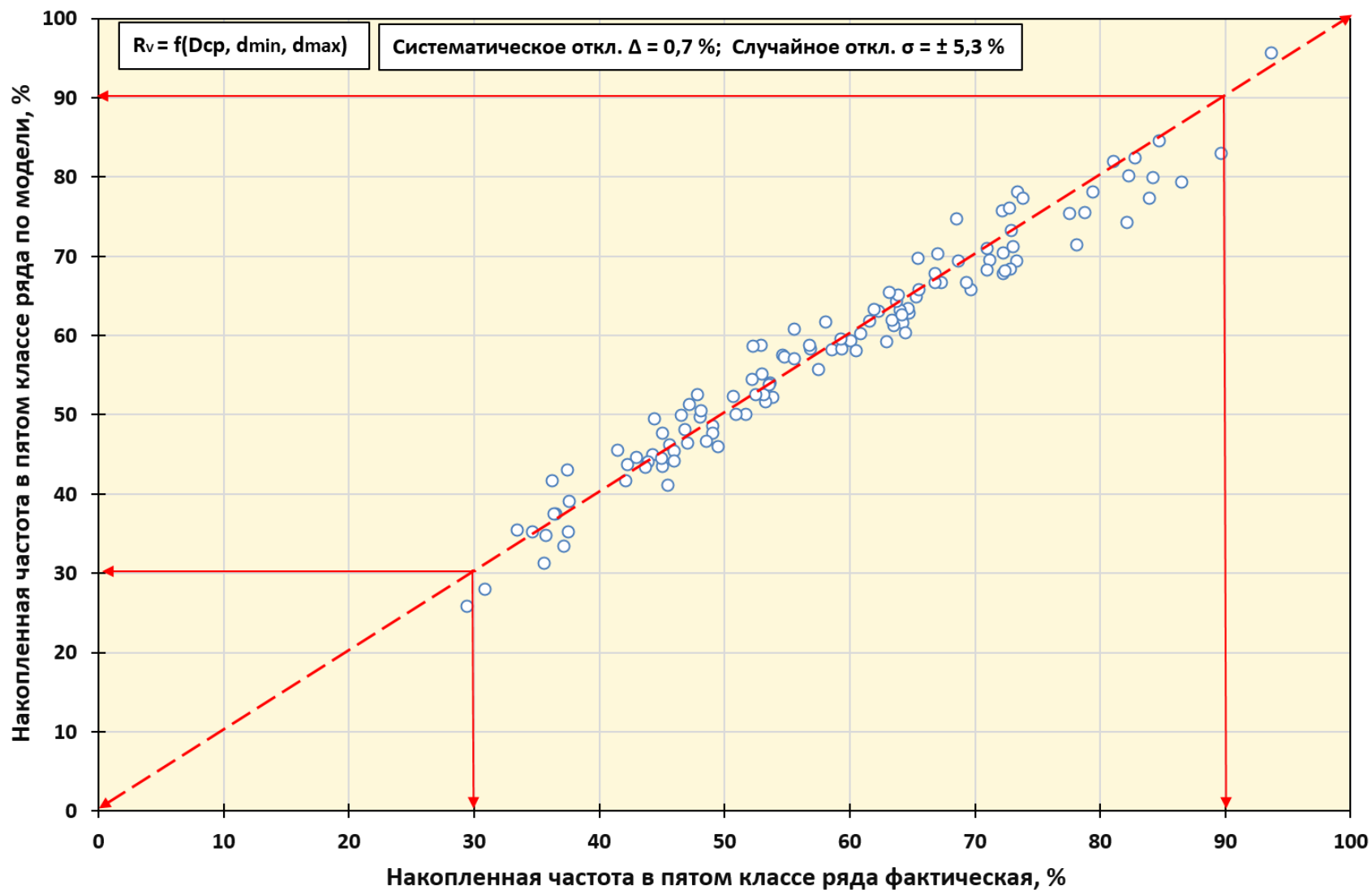


Рисунок 6.21. Линии регрессии размаха варьирования толщины деревьев в древостоях тополя чёрного



**Рисунок 6.22.** Поверхности регрессии высоты деревьев в древостоях разного возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.23.** Сопоставление фактических и теоретических (по В.К. Хлюстову, 2015) значений накопленной частоты в пятом классе 120 вариационных рядов древостоев тополя чёрного лесорастительной формации Осокорники

Наряду с моделью  $R_V$  методикой предусмотрено использовать уравнения регрессии взаимосвязи накопленной частоты, выраженной в долях частоты в пятом классе по каждому из 10 классовых промежутков со значениями ранга деревьев в пятом классе. Регрессии накопленных частот получаем используя уравнения общего вида:

$$R_I \div R_{IV} = R_V * \exp(k_0 + k_1 * \ln R_V + k_2 * \ln^2 R_V + k_3 * \ln^3 R_V + k_4 * \ln^4 R_V) \quad (59)$$

$$R_V = 1,0 \quad (60)$$

$$R_{VI} \div R_X = R_V * \exp(k_0 + k_1 * \ln R_V) \quad (61)$$

Конкретные математические выражения по каждому из десяти классов представлены в выше указанной методике.

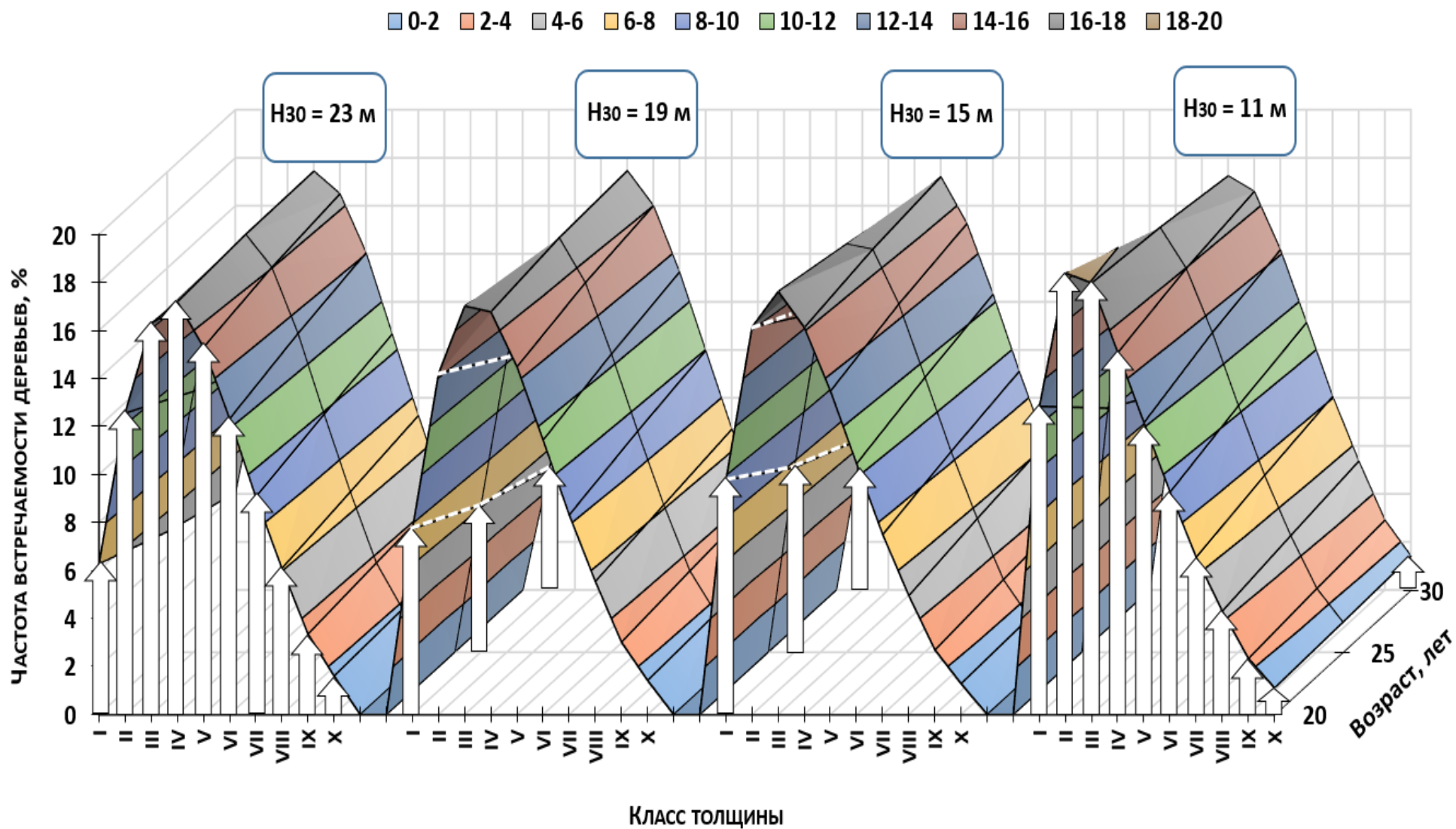
Следует отметить, что общий вид уравнений может иметь и другую аналитическую форму записи, однако методическая основа использования регрессий при отображении строения древостоев остаётся без изменения.

Итак, использование моделей В.К Хлюстова (2015а, 2015б) позволило провести графическую интерпретацию закономерностей динамики строения древостоев тополя чёрного по классам толщины деревьев в разрезе классов средних высот. Многомерность распределения таксационных показателей показана поверхностями регрессии, наглядно показывающими различия как в смежных возрастах, так и по уровням продуктивности древостоев.

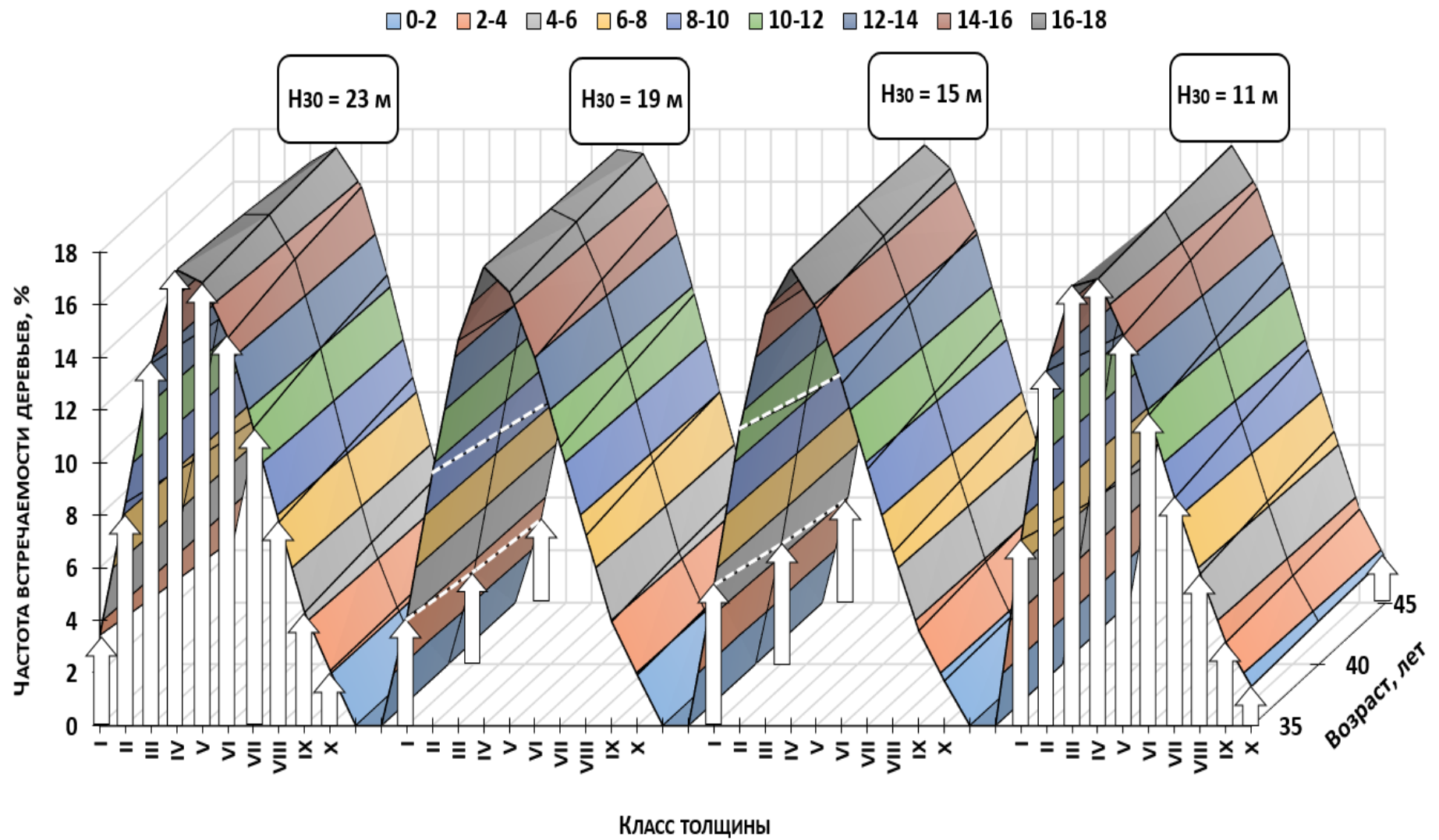
Наглядно закономерности распределения частоты встречаемости деревьев по 10 классам толщины в возрасте 20, 25 и 30 лет показаны на рисунке 6.24, соответственно в возрасте 35, 40, 45 лет – на рисунке 6.26 и в возрасте 50, 55, 60 лет – на рисунке 6.26.

Судя по форме кривых распределения при снижении класса средней высоты асимметричность кривых увеличивается, о чём свидетельствуют частота в первом классе толщины в разном возрасте древостоя. Максимум частоты находится в диапазоне от 16 до 18%.

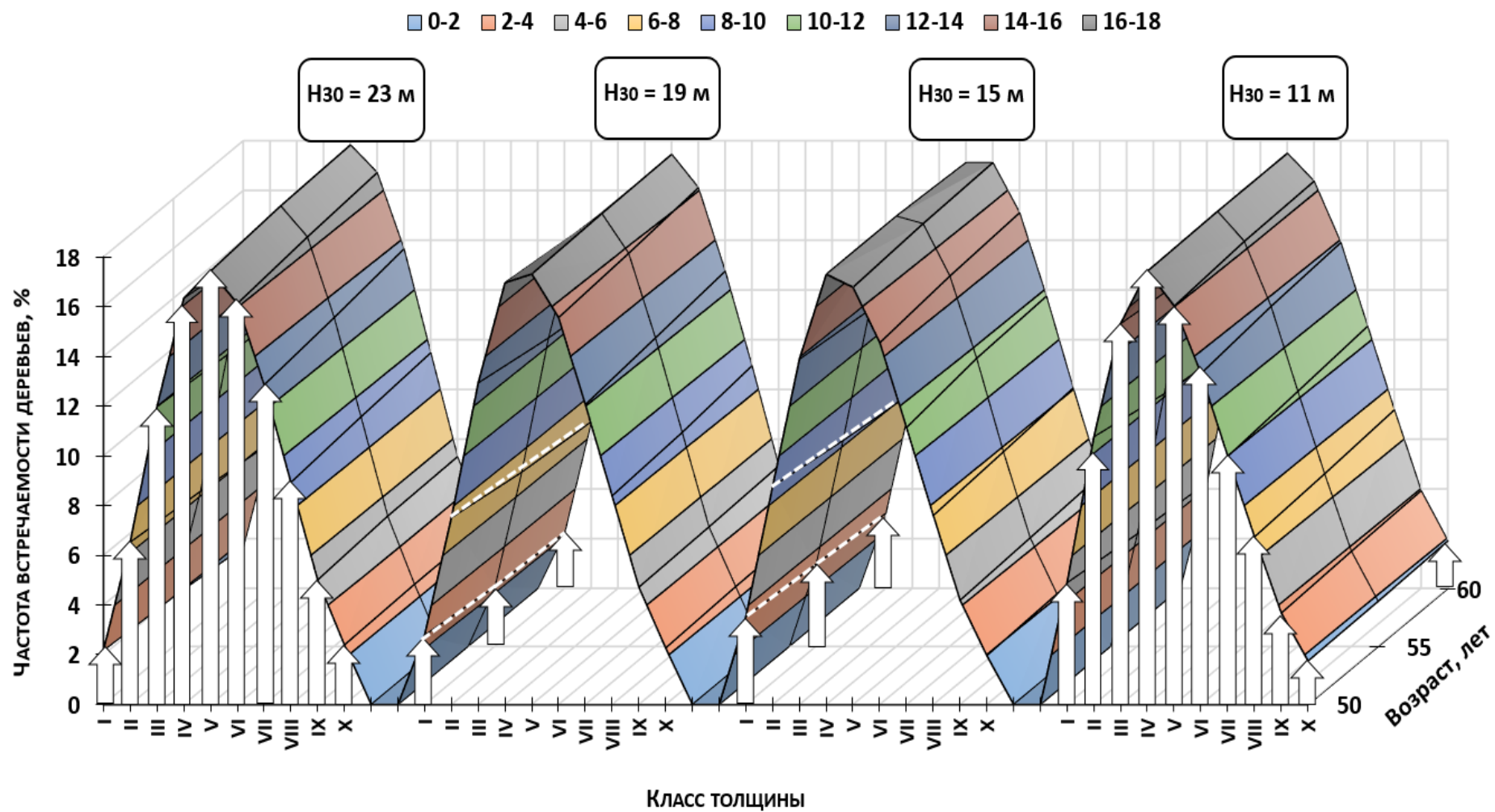




**Рисунок 6.24.** Поверхности распределения частоты встречаемости деревьев в древостоях 20-60 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.25.** Поверхности распределения частоты встречаемости деревьев в древостоях 35-45 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м

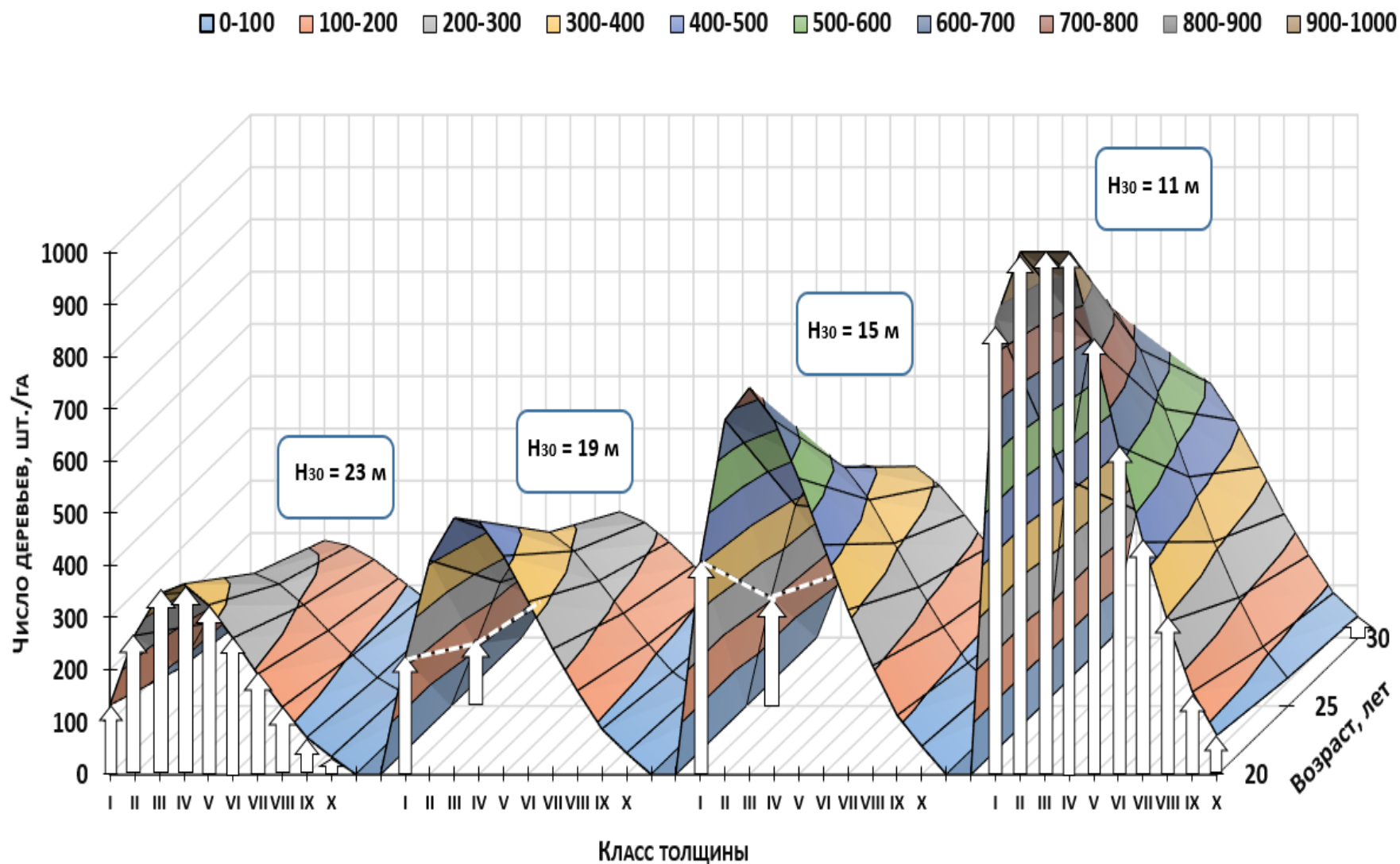


**Рисунок 6.26.** Поверхности распределения частоты встречаемости деревьев в древостоях 50-60 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м

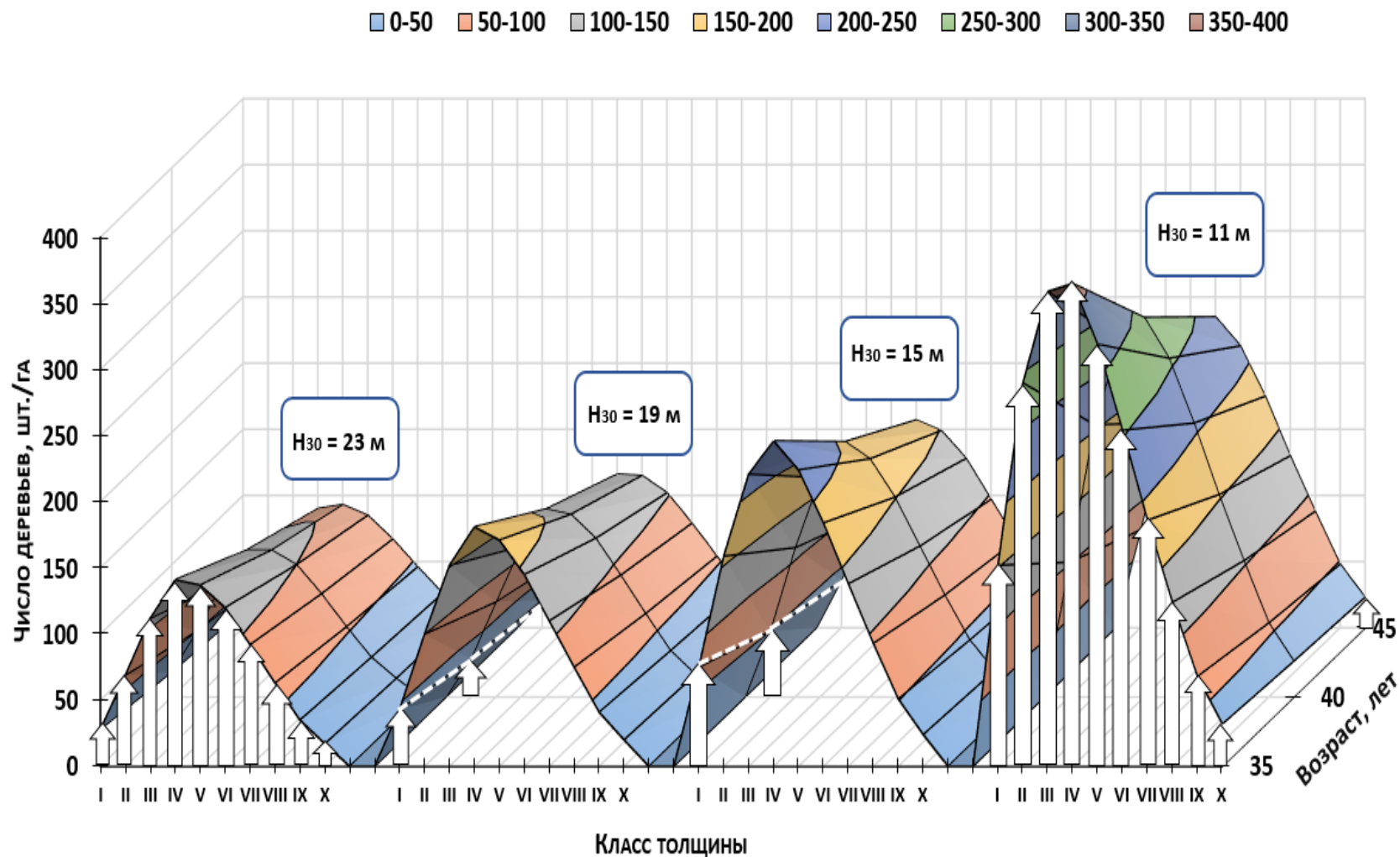
Далее на рисунках показаны поверхности кривых распределения числа деревьев по классам толщины в разном возрасте в разрезе классов средней высоты от  $H_{30}=11\text{м}$  до  $H_{30}=23\text{м}$ . Так, на рисунке 6.27 отображены распределения числа деревьев в возрасте от 20, 25 и 30 лет, на рисунке 6.28 в возрасте 35, 40, 45 лет и на рисунке 6.29 в возрасте 50, 55 и 60 лет. Особое внимание следует обратить на ординату графиков распределения, которая по мере увеличения возраста древостоев уменьшилась с 1000 шт./га в десятилетии 20-30 лет, до 400 шт./га - в десятилетии 35-45 лет и до 200 шт./га в десятилетие 50-60 лет.

В отличие от рядов распределения, выраженных частотой встречаемости деревьев, распределение числа деревьев по классам средних высот существенно отличается по форме. Это связано как с процессом самоизреживания древостоев по числу стволов, так и с особенностями этого явления в разных уровнях продуктивности, выраженных классами средних высот.

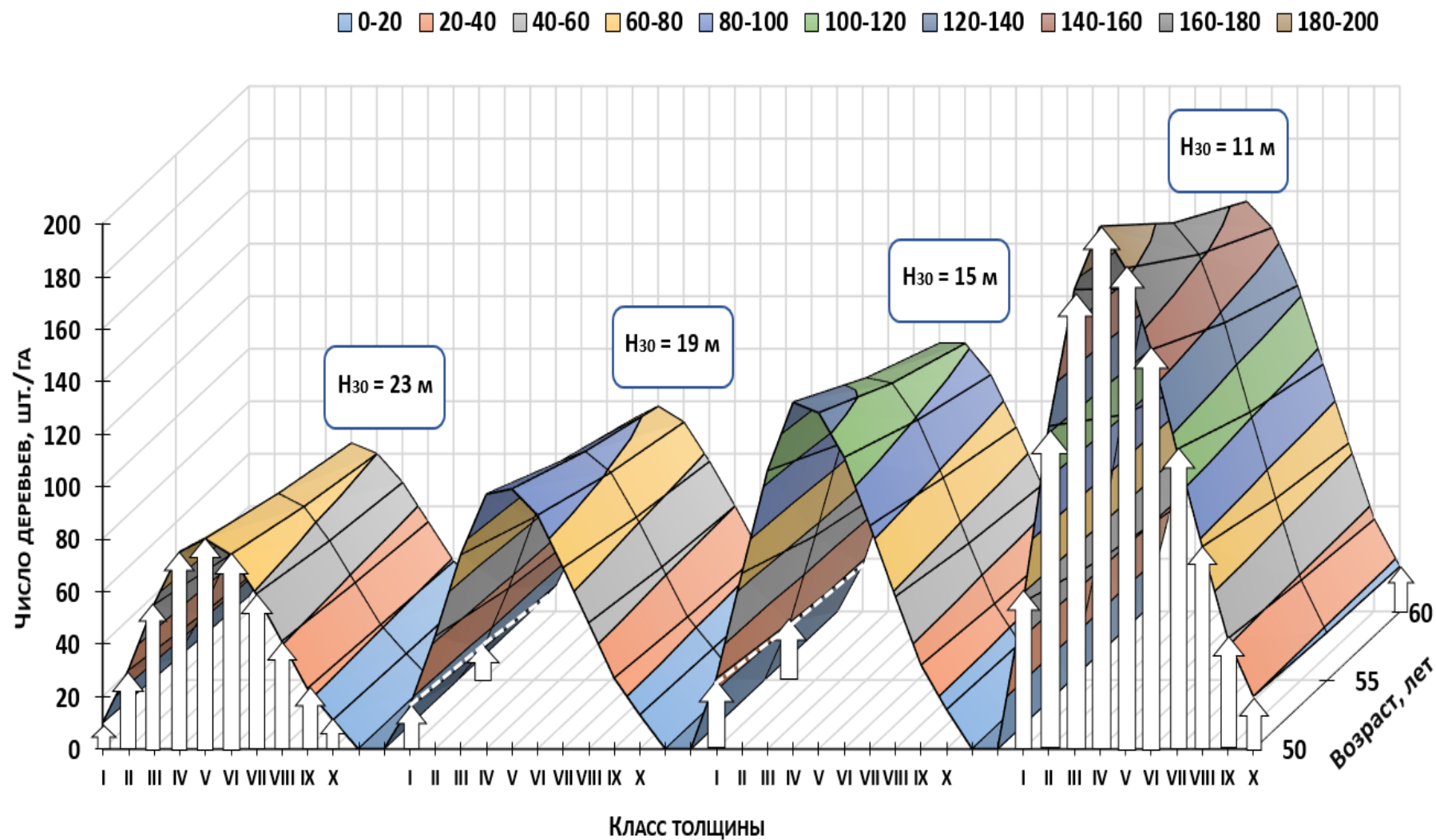
Практическое значение использования закономерностей распределения абсолютного числа деревьев при комплексной оценке древесных ресурсов трудно переоценить. Это относится, прежде всего, к оценке товарной и биологической продуктивности древостоев. Так, при наличии моделей взаимосвязи категорий крупности древесины с размерами деревьев по высоте и толщине через указанные распределения числа деревьев по классам толщины аналитическим путём определяется товарная структура и ведётся материально-денежная оценка древесных ресурсов. А наличие моделей взаимосвязи фракций фитомассы (масса стволов, коры, сучьев, хвои (листвы), корней) с высотой и толщиной деревьев позволяет при известном распределении числа деревьев по классам толщины получить структуру биологической продуктивности древостоев (Усольцев, 1985, 1998, 2003).



**Рисунок 6.27.** Поверхности распределения числа деревьев в сомкнутых древостоях 20-30 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.28.** Поверхности распределения числа деревьев в сомкнутых древостоях 35-45 –летнего возраста по десяти классам толщены и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.29.** Поверхности распределения числа деревьев в сомкнутых древостоях 50-60 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м

В классическом варианте построения вариационных рядов классовые промежутки получают при известных значениях размаха варьирования толщины деревьев и заданном числе классов.

Для проведения производственной таксации древостоев лесоводы используют ступени толщины, размер которых связан со средним диаметром древостоя. Так, в лесной таксации принято использовать 2-х сантиметровые ступени толщины при среднем диаметре древостоев менее 16 см, а при среднем диаметре более 16 см принято пользоваться 4-х сантиметровыми ступенями толщины.

Для перерасчёта частот встречаемости деревьев, полученных при 10 классах толщины деревьев, была разработана компьютерная программа, позволяющая получить распределение частот для ступеней толщины любого размера в диапазоне от 1 до 4 см. Так, графическая интерпретация нормативов строения древостоев тополя чёрного для средних диаметров от 4 до 16 см представлена на рисунке 6.30, а для диаметров от 18 до 40 см на рисунке 6.31.

Распределение абсолютных значений числа деревьев ( $n_i$ , шт./га) по ступеням или классам толщины ( $d_i$ , см) позволяют получить функционально связанную с ними сумму площадей сечения ( $g_i$ , кв. м/га). На рисунке 6.32 показаны поверхности регрессии суммы площадей сечения по классам толщины в возрасте 20, 25, ..., 60 лет, для классов средних высот  $H_{30}=11$  м,  $H_{30}=15$  м, ...,  $H_{30}=23$  м.

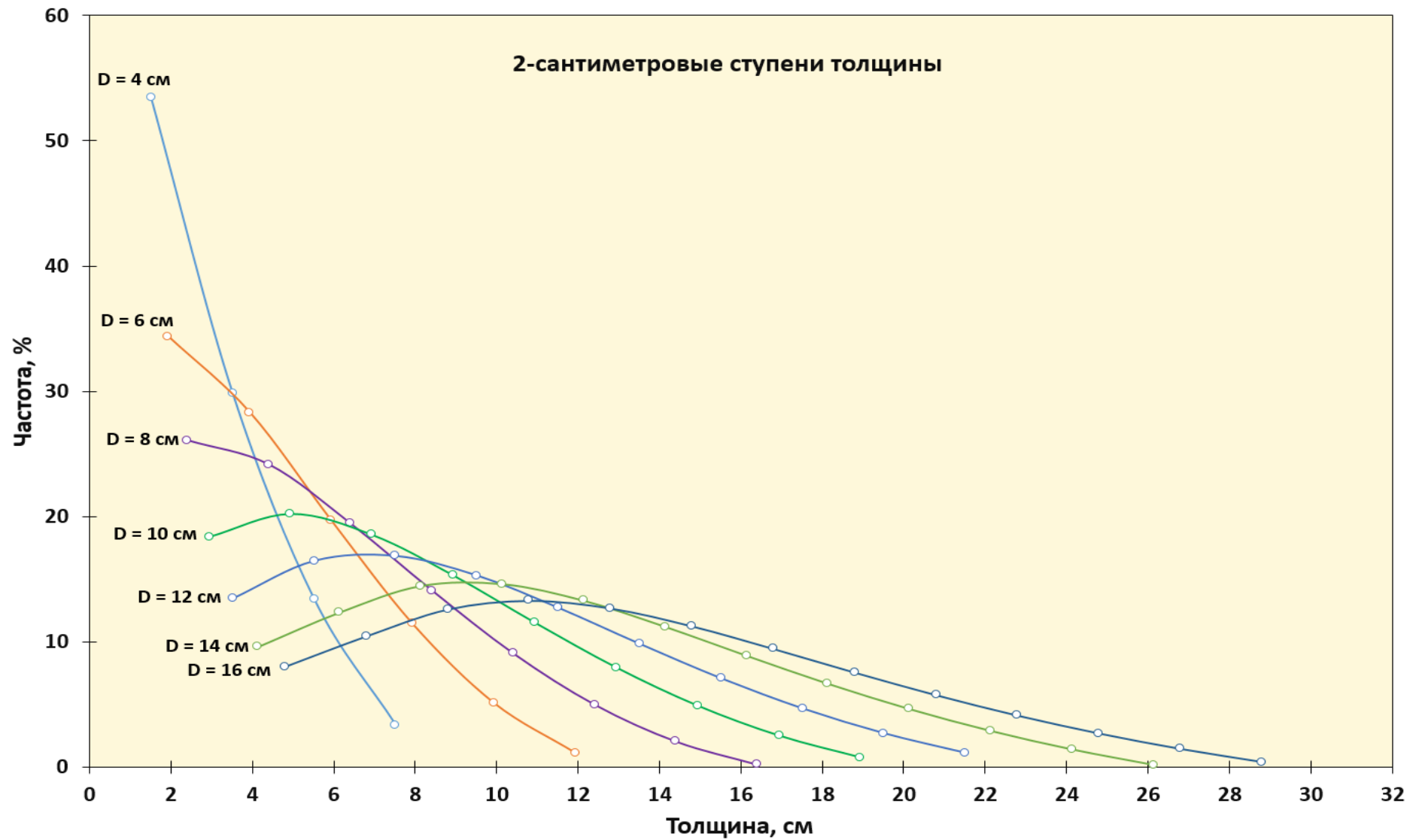
Итоговым показателем продуктивности является древесный запас, распределение которого по классам толщины требует наличия модели изменения объёма деревьев ( $v_i$ , куб. м) от толщины ( $d_i$ , см) и высоты ( $h_i$ , м) деревьев вида:

$$v_i = \exp(-9,67514 + 1,96755 \ln d_i + 0,79587 \ln h_i)$$

$$R^2 = 0,999; SE = \pm 3,2\%$$

Для отображения изменений объёма стволовой древесины от класса толщины и высоты деревьев в разном возрасте использованы данные для построения рисунков 6.21 и 6.22.





**Рисунок 6.30.** Кривые распределения частоты встречаемости деревьев по 2-х сантиметровым ступеням толщины при среднем диаметре древостоев от 4 до 16 см

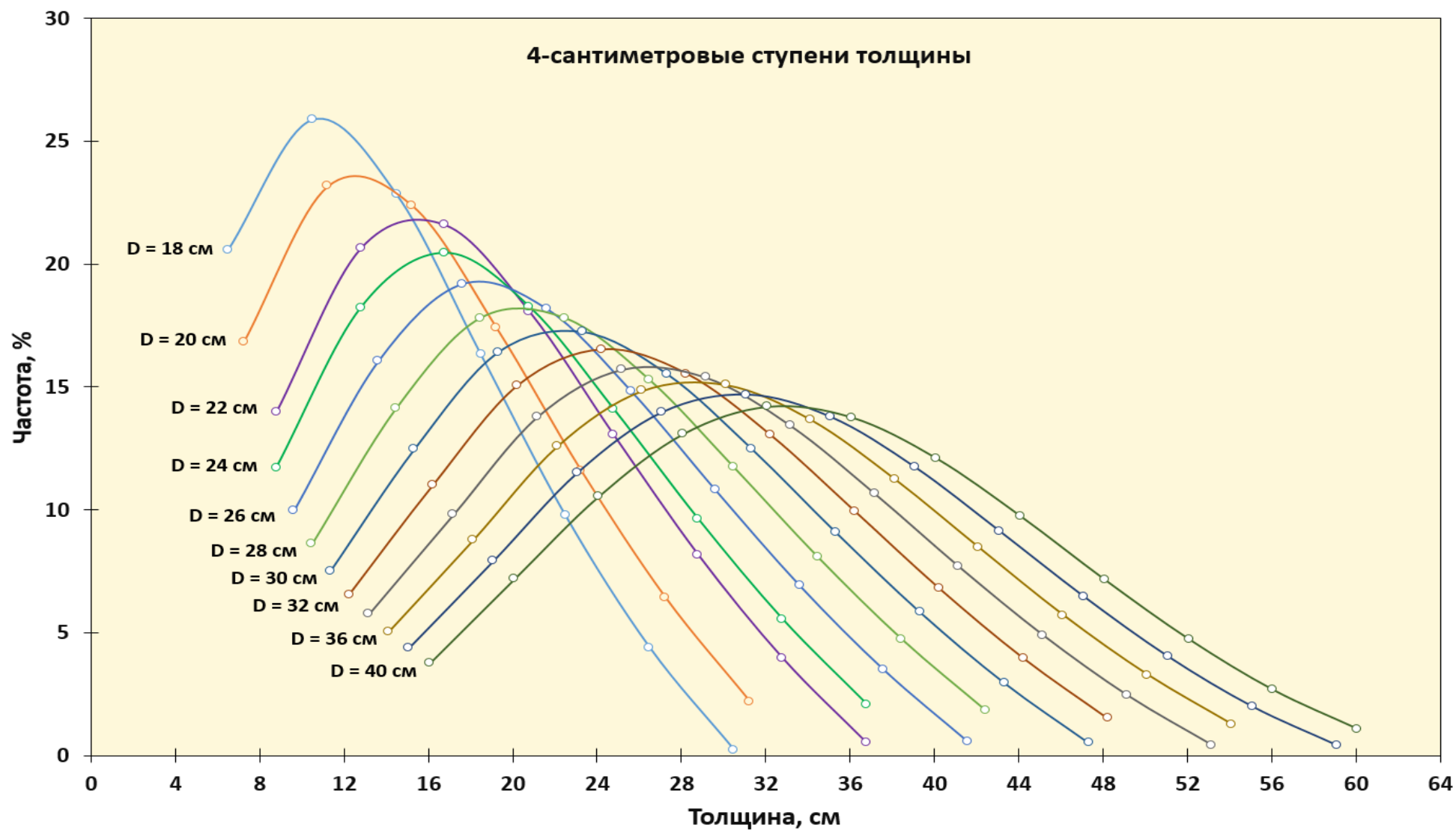
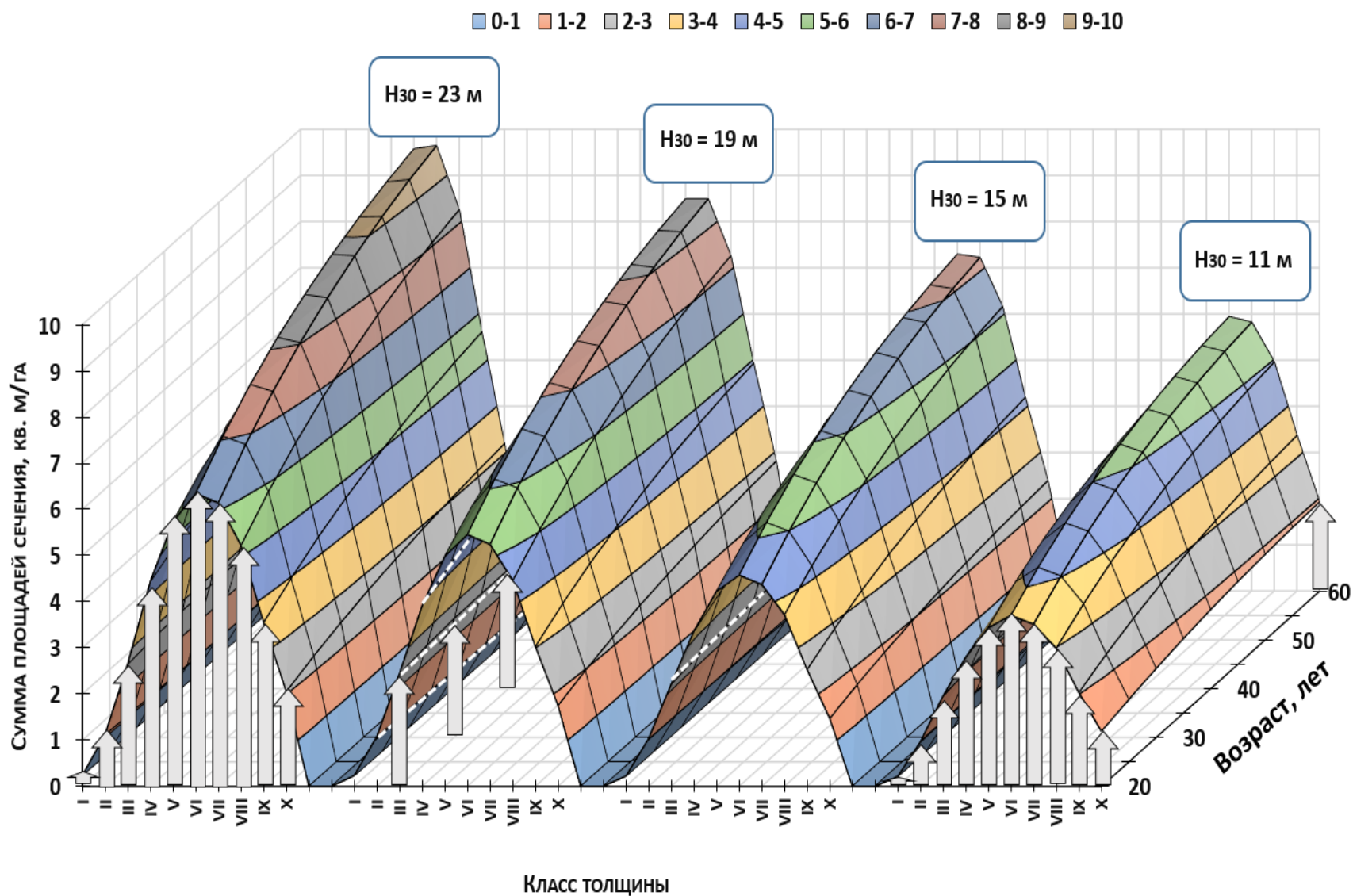
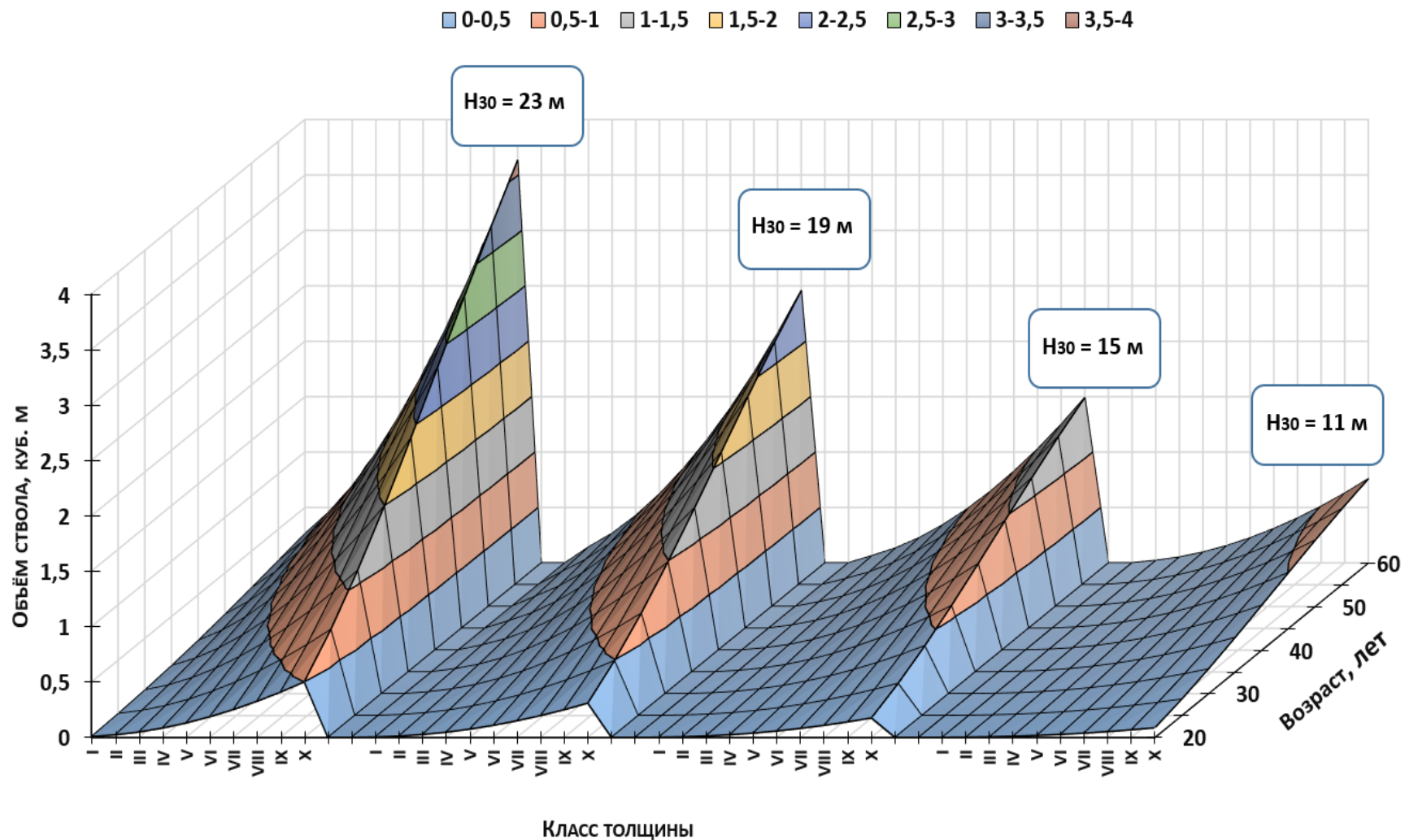


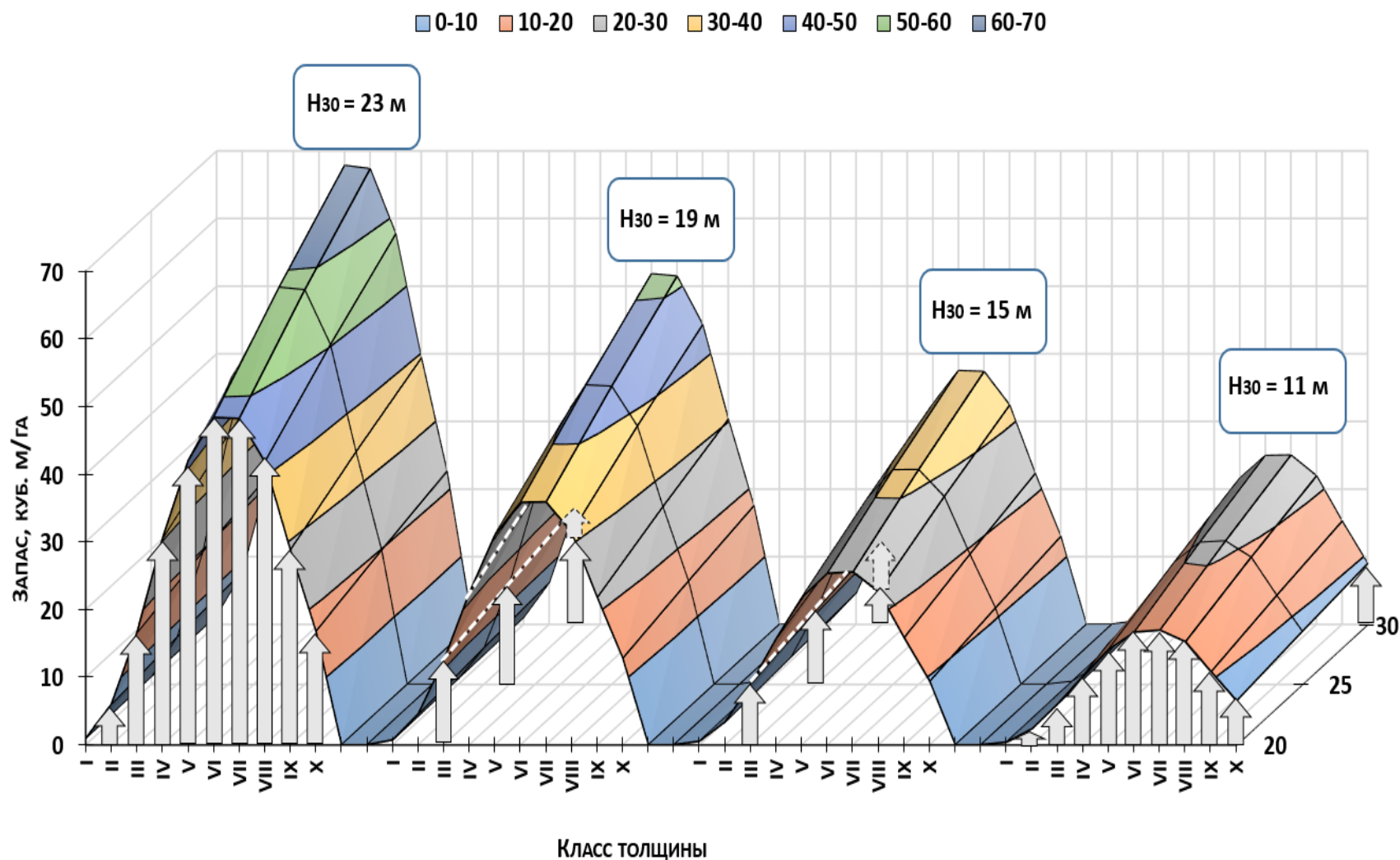
Рисунок 6.31. Кривые распределения частоты встречаемости деревьев по 2-х сантиметровым ступеням толщины при среднем диаметре древостоев от 18 до 40 см



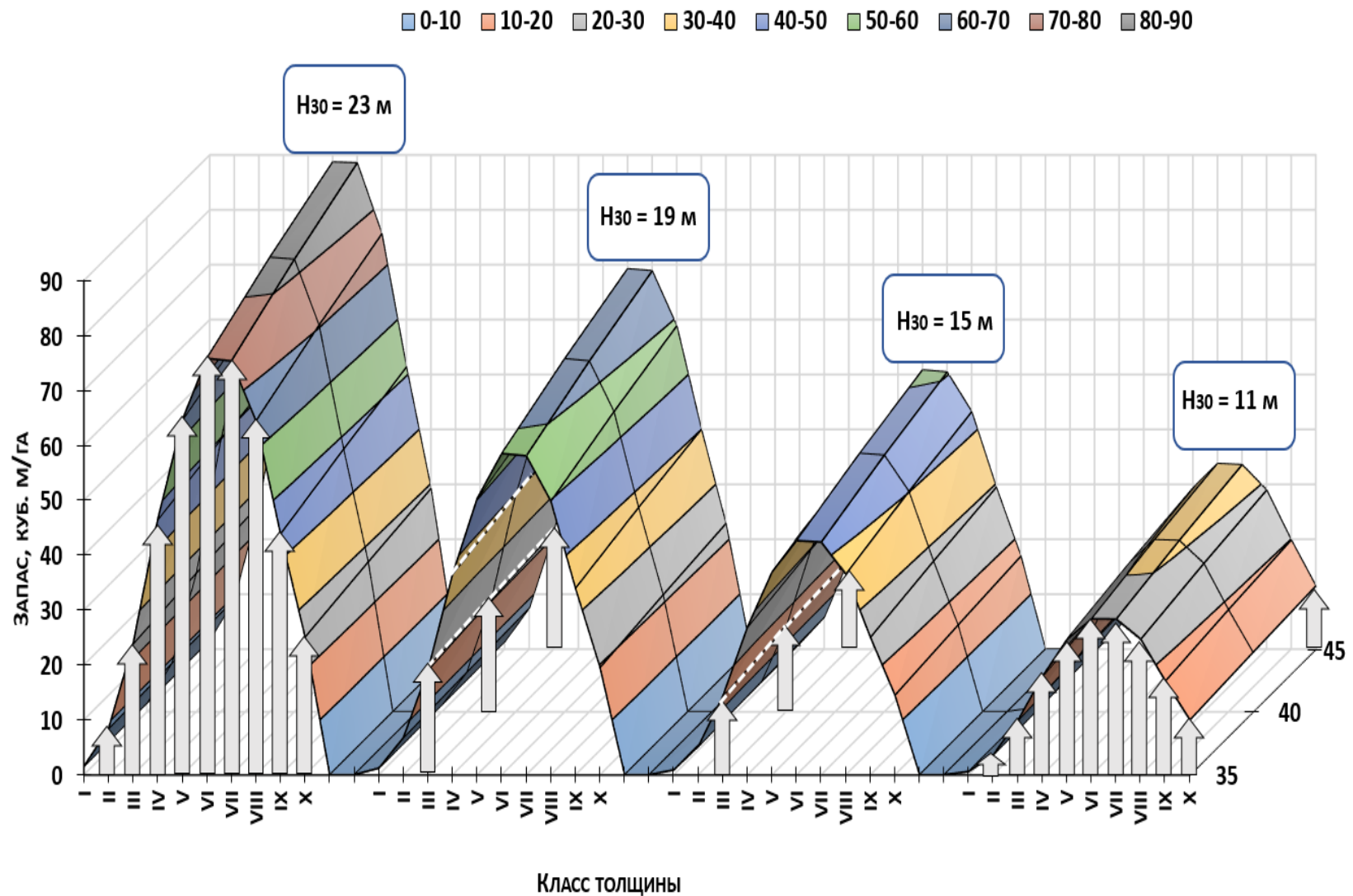
**Рисунок 6.32.** Поверхности распределения суммы площадей сечения деревьев в сомкнутых древостоях 20-60 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



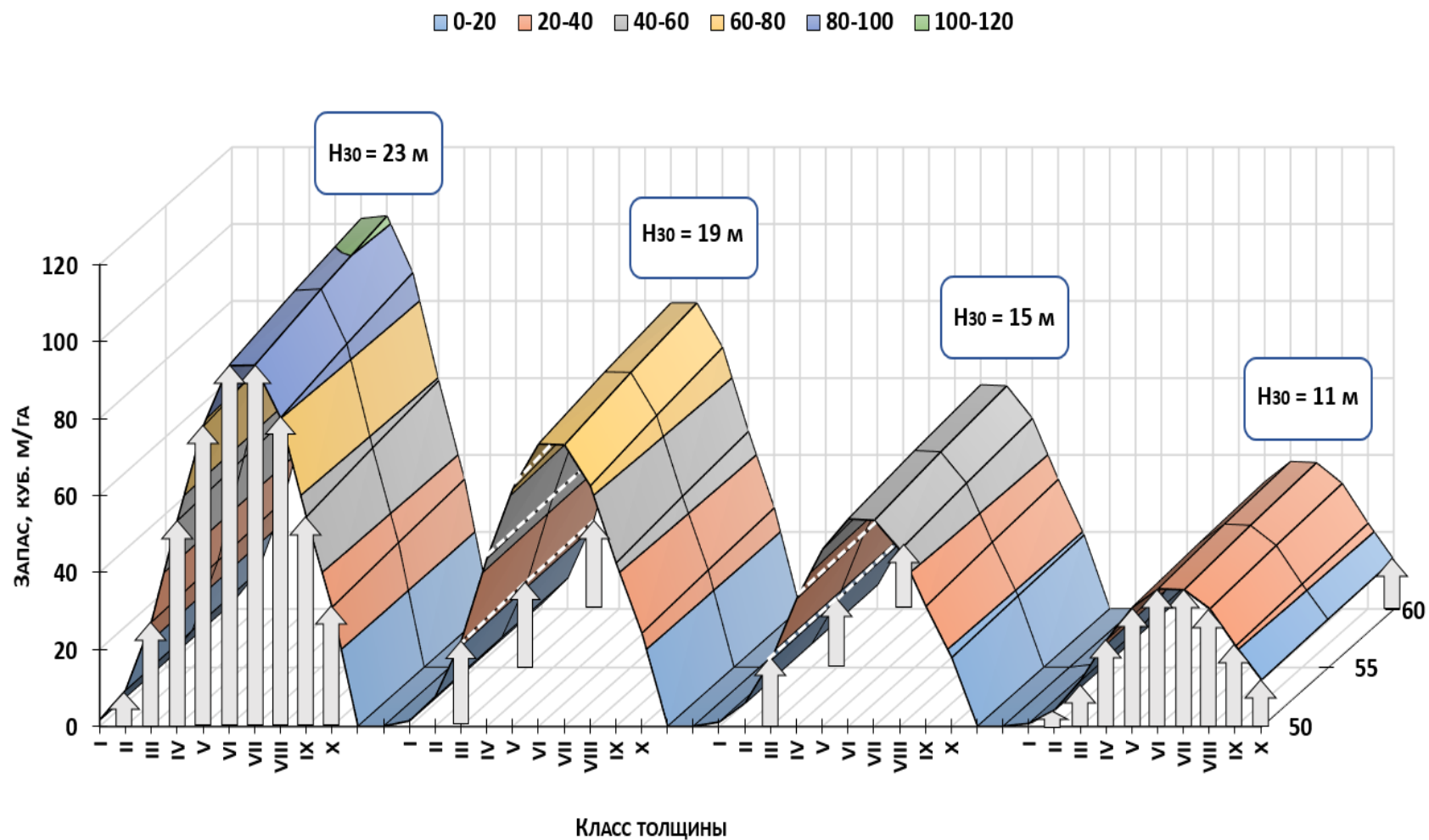
**Рисунок 6.33.** Поверхности регрессии объёма стволов деревьев в древостоях разного возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.34.** Поверхности распределения запаса в сомкнутых древостоях 20-30 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.35.** Поверхности распределения запаса в сомкнутых древостоях 35-45 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м



**Рисунок 6.36.** Поверхности распределения запаса в сомкнутых древостоях 50-60 –летнего возраста по десяти классам толщины и классам средних высот ( $H_{30}$ ) от 11 до 23 м

Результатом расчёта является построение поверхностей возрастного изменения объёма стволов деревьев по классам толщины при соответствующей им высоте в разрезе классов высоты древостоев от  $H_{30}=11\text{ м}$  до  $H_{30}=23\text{ м}$  (рис. 6.33).

Наличие значений объёма стволов для построения поверхностей регрессии, изображённых на рисунке 6.33, а также кривых распределения числа деревьев, показанных на рисунках 6.28, 6.29, 6.30 позволило путём перемножения значений  $v_i$  и  $n_i$  получить запас стволовой древесины по классам толщины. Наглядно многомерность распределения запаса по классам толщины в разные возрастные десятилетия  $20\div 30$ ,  $35\div 45$ ,  $50\div 60$  лет по классам средней высоты проиллюстрирована поверхностями регрессии, представленными на рисунках 6.34, 6.35, 6.36.

Таким образом, многомерная графическая интерпретация поверхностей распределения основных таксационных показателей по классам толщины деревьев даёт чёткое представление о возрастном изменении показателей роста, строения и продуктивности древостоев тополя чёрного в группе типов леса осокорники средних уровней центральной поймы.



## Основные выводы

Проведенные исследования позволили сделать следующие основные выводы:

1. Варьирование средних высот по классам возраста в осокорниках уменьшается от 40-50% в молодняках до 10-20% в спелых древостоях, в тополёвниках белых – от 40-45%, до 15-20% в ветловниках – от 45-50% до 10-20% , в дубняках – от 35-45%, до 15-20%, в вязовниках – от 40-45%, до 15-25% независимо от древесной породы, составляющей древостои в ландшафтно-типологической среде.
2. Точность определения среднестатистических значений средних высот и средних диаметров по группам типов леса изменяется от 5-9% в 10-летнем возрасте до 2-4% в 60-летнем возрасте.
3. Уравнения хода роста средних высот и средних диаметров элементов леса для осокорников, тополевок белых, ветловников, дубняков и вязовников, сочетающие ростовую функцию и закодированные названия древесных пород имеют коэффициенты детерминации ( $R^2=0,966-0,998$ ) и ошибки от  $\sigma_H = \pm 2,5\%$ , до  $\sigma_H = \pm 6,3\%$  и от  $\sigma_D = \pm 2,5\%$ , до  $\sigma_D = \pm 8,9\%$
4. Ход роста средних высот и диаметров элементов леса успешно описывается асинхронными лесотипологическими и породно-видовыми регрессиями, сочетающими синергизм ростовой функции с бинарными переменными, кодирующими группы типов леса и виды древесных пород. Коэффициенты детерминации  $R_H^2 = 0,983$ ;  $R_D^2 = 0,990$  и ошибки уравнений  $\sigma_H = \pm 6,3\%$ ;  $\sigma_D = \pm 6,8\%$  свидетельствуют о надёжности моделей.
5. Средние максимальные и минимальные высоты, средние максимальные и минимальные диаметры элементов леса тесно связаны со среднестатистическими величинами по массиву в разрезе лесообразующих древесных пород. Показатели детерминации уравнений ( $R_{Hmin}^2=0,946$ ;  $R_{Hmax}^2=0,954$ ;  $R_{Dmin}^2=0,870$ ;  $R_{Dmax}^2=0,977$ ) и ошибки уравнений  $\sigma_{Hmin} = \pm 22,0\%$ ;  $\sigma_{Hmax} = \pm 10,0\%$ ;  $\sigma_{Dmin} = \pm 21,0\%$ ;  $\sigma_{Dmax} = \pm 9,0\%$

свидетельствуют о надёжном определении предельных значений средних высот и средних диаметров древостоев.

6. По моделям предельных значений средней высоты и среднего диаметра построены лесотипологические шкалы классов средних высот и диаметров с заданной градацией в 30-летнем возрасте древостоев для отдельных древесных пород. На примере осокорников средних уровней центральной поймы построены таблицы хода роста для сомкнутых древостоев тополя чёрного.
7. Введение в статистические модели таксационных показателей лесотипологических классов средних высот ( $H_{30}$ ), относительного среднего диаметра ( $D_{отн30}$ ) позволяет построить таблицы хода роста и таблицы запаса древостоев с разной густотой. Функционал модели запаса  $M=f(H_{30}, H_{cp}, D_{отн30})$  позволяет построить регрессию с показателем детерминации  $R^2=0,998$  и ошибкой  $\sigma_M = \pm 3,4\%$ .
8. Моделирование взаимосвязей параметров кривых распределения не обеспечивает достоверных результатов при описании динамики строения древостоев.
9. Многообразие формы кривых распределения успешно классифицируется на основе накопленных частот вариационного ряда по классам толщины деревьев. Для классификации рядов распределения по форме следует использовать факторный, кластерный и дискриминантный анализы.
10. Размах варьирования толщины деревьев определяет форму кривых распределения. Для разработки нормативов строения древостоев размах варьирования деревьев по толщине следует оценивать как по усреднённым регрессиям связи минимального и максимального диаметра деревьев со средним диаметром древостоя, так и возможными комбинациями средних и крайних регрессий. Для тополя чёрного осокорниковых групп типов леса диапазон крайних линий регрессий толщины деревьев колеблется от 0,70 до 1,30  $d_{min}$  и от 0,88 до 1,15  $d_{max}$ .

## Рекомендации производству

В соответствии с полученными результатами предложены следующие рекомендации производству:

1. Предлагается для наиболее представленных групп типов леса в лесорастительных формациях: осокорники, белотопольники, ветловники, дубняки, вязовники использовать шкалы возрастного изменения средних высот и средних диаметров лесообразующих пород в трёх уровнях продуктивности.
2. Для лесорастительной формации осокорники предлагаются породно лесотипологические модели и шкалы возрастного изменения средних высот и средних диаметров в размахе естественного варьирования показателей.
3. Для древостоев тополя чёрного типа леса осокорники средних уровней центральной поймы предложены таблицы хода роста сомкнутых насаждений по классам средних высот, соответствующих указанным лесорастительным условиям.
4. Для древостоев тополя чёрного разной полноты и густоты произрастающих в типе леса осокорники средних уровней центральной поймы рекомендованы таблицы хода роста в градации классов средних высот, соответствующих указанным лесорастительным условиям.
5. Для древостоев тополя чёрного предложены таблицы распределения процента числа деревьев по ступеням толщины в зависимости от среднего диаметра древостоев.
6. Предложенные к внедрению таблицы хода роста древостоев тополя чёрного увязаны с динамикой распределения числа деревьев, суммы площадей сечения и запаса в размахе варьирования толщины деревьев в соответствии с методикой профессора В.К. Хлюстова.

## Заключение

Изложенные материалы являются продолжением многолетних исследований академика РАН, МАНВШ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора В.К. Хлюстова, направленных на совершенствование нормативно-справочных материалов для классификации древостоев разной полноты, разного относительного диаметра древостоев, лесотипологических классов средних высот по группам типов леса Западно-Казахстанской части поймы реки Урал.

Следует отметить, что Казахское лесоустроительное предприятие «Казлеспроект» и лесное хозяйство Западно-Казахстанской области не имеет в своём арсенале полноценных лесотаксационных нормативов хода роста и строения древостоев современного уровня.

Из всего многообразия лесорастительных формаций и групп типов леса в диссертации рассмотрены закономерности хода роста древостоев тополя чёрного, произрастающих в группе типов леса - «Осокорники средних уровней центральной поймы».

Представленная работа является фрагментом широкомасштабных лесотаксационных и экологических исследований в лесорастительных регионах Республики Казахстан. Внедрение в учебный процесс и лесохозяйственное производство разработанных нормативов позволит вывести на новый уровень теоретическую подготовку специалистов в области инвентаризации лесов и оптимизации лесопользования.

Теоретические положения и материалы исследования положены в основу кандидатской диссертации М.М. Елекшевой - аспирантки кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства Российского государственного аграрного университета-МСХА имени К.А. Тимирязева.

## Библиография

1. Автоматизированная система лесоводственно-таксационных нормативов для инвентаризации древостоев по элементам леса: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012613879./ В.К. Хлюстов, М.М. Устинов, Д.В. Хлюстов// Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25 апреля 2012 г.
2. Алексеев Е.В. Типы украинского леса. Правобережье/ Е.В. Алексеев. Киев, 1-е изд. 1925. – 2-е изд. 1928. – 120 с.;
3. Андреев Г.В. Ход роста по высоте основных лесообразующих пород на Южном Урале/ Г.В. Андреев// Лесное хозяйство. Москва, 2010. - № 3. – С. 36-37.
4. Антанайтис, В.В. Законы, закономерности роста и строения древостоев/ В. В. Антанайтис, А. П. Тябера, Я. А. Шаптяене, - Каунас: ЛитСХА, 1986. – 158 с.
5. Антанайтис В.В. Изучение роста древостоев на экологической основе/ В.В. Антанайтис// Закономерности роста и производительности древостоев. Тезисы докладов. ЛитСХА, Каунас, 1985. - С. 11-14.
6. Антанайтис, В.В. Перспективы моделирования производительности 1982. - № 4. – С. 38-41.
7. Антанайтис, В. Применение математическо-статистического метода инвентаризации лесов/ В. Антанайтис, И. Репшис// Лесное хозяйство. Москва, 1967. - № 9. – С. 34-37.
8. Анучин Н.П. Густота насаждений и её определение/ Н.П. Анучин // Лесное хозяйство. Москва, 1983. - №8 - С. 42-45.
9. Анучин Н.П. Лесная таксация/ Н.П. Анучин. – Москва, 1971. – 512 с.
10. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов. 6-е издание/ Н.П.Анучин, М: ВНИИЛМ, 2004. – 552 с.
11. Анучин Н.П. Промышленная таксация леса и основы лесного хозяйства/ Н.П. Анучин. – Москва: Изд. Совр. Наука, 1975. – 261 с.

12. Багинский, В.Ф. Продуктивность модальных сосновых древостоев в восточной части Белорусского Полесья/ В.Ф. Багинский, М.С. Лазарева// Труды БГТУ, Минск, 2012. - № 1 (148). - С. 26-29.
13. Бельгард А.Л. Степное лесоведение/ А.Л. Бельгард. Москва: Изд. Лесная промышленность, 1971. – 336 с.
14. Березюк И.Е. Природное районирование лесов Казахстана/ И.Е. Березюк// Лесное хозяйство. Москва, 1976. - № 8. - С. 19-22.
15. Бирюков, В.Н. Классификация лесной растительности лесостепной и степной зон Казахстана/ В.Н. Бирюков, А.Д. Токарев// Экология. Москва, 1973. - С. 26-28.
16. Бирюков В.Н. Группы типов леса. Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации/ В.Н. Бирюков, Алма – Ата: «Кайнар», 1982. – 44 с.
17. Бузыкин, А.И. Густота и продуктивность древесных ценозов/ А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский, - Новосибирск: Наука, 2002. – С.151.
18. Бузыкин А.И. Некоторые методологические вопросы лесоведения. Методологические вопросы лесоведения/ А.И. Бузыкин, - Новосибирск: Наука, 1975. – С. 58-81.
19. Бузыкин А.И. Формирование и продуктивность древостоев. Формирование и продуктивность лесных фитоценозов/ А.И. Бузыкин, Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1982. – С. 5-17.
20. Буренина Л.Ф. Метеорологические условия Уралья в 1925 г./ Л.Ф. Буренина// Известия Уральской сельскохозяйственной опытной станции. Уральск, 1925. - № 9.
21. Буренина Л.Ф. Метеорологические условия Уралья в 1925 г./ Л.Ф. Буренина// Известия Уральской сельскохозяйственной опытной станции. Уральск, 1929. - № 2.
22. Быков Б.А. Растительность и кормовые ресурсы Западного Казахстана/ Б.А. Быков// Алма-Ата: АН СССР, 1955. - С.83-107.

23. Весёлова, Л.К. Ландшафтная карта КазССР./ Л.К. Весёлова, Г.В. Гельдыева// Вестник Академии наук Казахской ССР. – Алматы, 1971. – С. 11-19.
24. Власюк А.Б. Водозащитная и водоохранная роль лесов/ А.Б. Власюк// Лесное хозяйство. Москва, 1988. - № 5. - С. 56-57.
25. Воробей, П.М. Водорегулирующая и защитная роль насаждений на экспериментальном водосборе бассейна верхней Волги/ П.М. Воробей, А.В. Письмеров// Лесное хозяйство. Москва, 1990. - № 7. – С. 26-27.
26. Воропанов П.В. Принципиальные основы лесостроительного районирования/ П.В. Воропанов// Сборник лесохозяйственной информации. Реферативный журнал. СБНТИлесхоз., 1970. - № 8. – С. 10-15.
27. Выводцев Н.В. Изучение общих закономерностей хода роста лиственничных насаждений/ Н.В. Выводцев// В книге: Лиственница и ее использование в народном хозяйстве. Красноярск, 1960. – С. 10-16.
28. Выводцев, Н.В. Использование типовых линий для построения таблиц хода роста лиственничных насаждений/ Н.В. Выводцев, В.Н. Корякин, З.А. Выводцева// Тематический сборник научных трудов: Лесное хозяйство в горных лесах Дальнего Востока. ДальНИИЛХ. Хабаровск, 1982. – Выпуск 24. – С. 73-83.
29. Газизуллин, А.Х. Типы лесорастительных условий, их определение и использование в лесоустройстве и лесном хозяйстве/ А.Х. Газизуллин, Р.Н. Шарафутдинов// «Экология и леса Поволжья» Сборник научных статей. Йошкар-Ола, 2002. - Выпуск 2. - С.7-33.
30. Ганина Н.В. Распределение деревьев по диаметру с помощью функции Вейбулла/ Н.В. Ганина // Лесоведение. Москва, 1984. - № 2. - С. 65-70.
31. Гахрамани, Л. Закономерности строения сосновых насаждений по диаметру/ Л. Гахрамани, О.А. Харин// Вестник МГУЛ – Лесной вестник. Мытищи, 2006. - № 1. – С. 20-24.
32. Герасимов, Ю.Ю. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ: применение в лесоправлении и экологии/ Ю.Ю. Герасимов, В.К. Хлюстов. – Москва: МГУЛ, 2001. – 260 с.

33. Годнев Е.Д. Лесоразведение по берегам и в поймах рек/ Е.Д. Годнев// Лесное хозяйство. Москва, 1949. - № 7. – С. 18-22.
34. Гудочкин, М.В. Леса Казахстана/ М.В. Гудочкин, П.С. Чабан Алма-Ата: Казахское государственное издательство, 1958. – 323 с.
35. Гусев И.И. Продуктивность ельников севера/ И.И. Гусев. – Ленинград: Изд. Ленинградского университета, 1978. – 232 с.
36. Демаков Ю.П. Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе/ Ю.П. Демаков// Лесной журнал. Архангельск: ИВУЗ, 2002. - № 4. - С. 32-36.
37. Демаков Ю.П. Структуры древесного опада и ксилофильного энтомокомплекса как показатели устойчивости насаждений/ Ю.П. Демаков// Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов: Тезисы докладов II Всесоюзной научно-технической конференции. Москва: МЛТИ, 1991. - Часть 1. – С. 17-19.
38. Демаков Ю. П. Устойчивость лесных экосистем: методологические и методические аспекты / Ю.П. Демаков. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 416 с.
39. Денисов А.К. Защитно-водоохранная роль прирусловых лесов/ А.К. Денисов. Москва: Гослесбумиздат, 1963. – 140 с.
40. Денисов А.К. Типы пойменных лесов южной европейской тайги/ А.К. Денисов// Лесное хозяйство. Москва, 1968. - № 7. – С. 21-27.
41. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ/ Н. Дрейпер, Г. Смит. Москва: Статистика, 1973. – 392 с.
42. Дылис Н.В. Основы биогеоценологии/ Н.В. Дылис. – Москва: Изд.МГУ, 1978. – 151 с.
43. Дыренков С.А. Некоторые свойства и возрастная динамика рядов распределения числа стволов по ступеням толщины/ С.А. Дыренков// Вопросы лесоустройства, таксации и экономики лесного хозяйства. Сб.науч.тр. - Ленинград: ЛенНИИЛХ 1973. С. 114-128.



44. Дыренков С.А. Статистический подход к моделированию структуры и динамики древостоев/ С.А. Дыренков// Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. Москва, 1977. - С. 80-93.
45. Дыренков С.А. Структура и динамика таежных лесов/ С.А. Дыренков. Ленинград: Наука, 1984. – 174 с.
46. Жадин, В.И. Реки, озёра и водохранилища СССР их фауна и флора/ В.И. Жадин, С.В. Герд.. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1961. - 610 с.
47. Загребев В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев/ В.В. Загребев. Москва: Лесная промышленность, 1978. – 240 с.
48. Загребев В.В. Единые бонитировочные шкалы для оценки продуктивности сосновых и еловых насаждений/ В.В. Загребев, Б.Л. Брук, А.И. Загребева// Сборник трудов. ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства. Москва, 1974. - Выпуск 4. - С. 126-157.
49. Загребев В.В. Методика исследований сходства и различия хода роста насаждений различных географических районов/ В.В. Загребев. ВНИИ Лесоводства и механизации лесного хозяйства. Пушкино, 1971. – 38 с.
50. Загребев, В.В. Методические рекомендации по составлению таблиц хода роста древостоев/ В.В. Загребев, Н.Н. Гусев, Н.Я. Саликов. ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства. Пушкино, 1975. – 35 с.
51. Загребев В.В. Необходимость и пути совершенствования системы бонитирования древостоев/ В.В. Загребев// Моделирование и контроль производительности древостоев. Тезисы докладов. ЛитСХА. - Каунас, 1983. - С. 31-38.
52. Загребев В.В. Общесоюзные нормативы для таксации лесов/ В.В. Загребев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, [и др.]. - Москва: Колос, 1992. – 495 с.
53. Загребев В.В. Построение таблиц хода роста на основе типовых и стандартизированных моделей роста/ В.В. Загребев// Лесное хозяйство. Москва, 1979. - № 12. – С. 43-45.

54. Загреев В.В. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР/ В.В. Загреев, А.Ф. Баранов. Москва: ВНИИЛМ, 1987. – 128 с.
55. Загреев В.В. Типизация и стандартизация естественных рядов роста древостоев/ В.В. Загреев// Лесное хозяйство. Москва, 1976. - № 11. – С. 69-74.
56. Зейде Б. Б. Стандартизация рядов хода роста основных таксационных показателей / Б.Б. Зейде // Лесное хозяйство. Москва, 1968. – № 10. – С. 54-57.
57. Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата/ Н.Н. Иванов// Известия всесоюзного географического общества. Москва – Ленинград, Изд. АН СССР. – 1962. – Том 94. – Выпуск 1. – С. 65-70.
58. Иванов, П.В. Обзор режима рек СССР за 1925-26 г./ П.В. Иванов, А.А. Брейтерман. Ленинград: Издание Государственного Гидрологического Института, 1927. – 19 с.
59. Иванова, Е.Н. Опыт систематики почв степной зоны СССР/ Е.Н. Иванова и Н.Н. Розов// Почвоведение. – 1958. - № 12. – с. 48-59.
60. Ипатов Л.Ф. Строение и рост сосны на Европейском севере/ Л.Ф. Ипатов. – Архангельск: Сев.-Зап. книжное изд., 1974. – 108 с.
61. Исследование рек СССР/ Под редакцией Д.Л. Соколовского// Выпуск 10. Ленинград-Москва: Гидрометеорологическое изд., 1937. - С. 108-124.
62. Ишбулатова, Н.Г. Об экологических классификациях пойменных лесов/ Н.Г. Ишбулатова, Б.М. Миркин// Проблемы ботаники XI. Вопросы ценологии, географии, экологии и использования растительного покрова СССР. Ленинград: Изд. «Наука», Ленинградское отделение, 1969. - С. 157-163.
63. Каплунов, В.Я. Взаимосвязь рядов распределения числа стволов по толщине, сумме площадей сечений и запасу/ В.Я. Каплунов, В.В. Кузьмичёв// «Строение рост и инвентаризация лесонасаждений». Сибирское отделение Института леса и древесины им. В.Н. Сукачева. АН СССР. Красноярск, 1985. - С. 46-52.
64. Каплунов, В.Я. Динамика рядов распределения числа стволов по толщине/ В.Я. Каплунов, В.В. Кузьмичёв// Известия Сибирского отделения. АН СССР.

- Серия Биологические науки. Новосибирск: Изд. «Наука» СО, 1987. - Выпуск № 1. - С. 70-77.
65. Каплунов В.Я. Прогнозирование строения древостоев по диаметру/ В.Я. Каплунов // Лесоведение. Москва, 1989. - № 5. - С. 68-73.
66. Касацкий А.А. Изучение роста, строения и разработка моделей товарной структуры выбираемой части древостоев в сосновых насаждениях Брянского массива: дис.канд. с/х. наук: 06.03.02/ А.А. Касацкий – Брянск, 2005.
67. Кивисте А.К. Функции роста леса/ А.К. Кивисте. Тарту: Эстонская сельскохозяйственная академия, 1988. – 171 с.
68. Кожухов Н.И. Учение Г.Ф. Морозова о лесе – научные истоки устойчивого лесного хозяйства/ Н.И. Кожухов, В.И. Обыденников// Лесной вестник. Москва: Изд. МГУЛ, 2008. - № 1. - С. 9-12.
69. Козловский, В.Б. Ход роста основных лесообразующих пород СССР/ В.Б. Козловский, В.М. Павлов. – Москва: Лесная промышленность, 1967. – 328 с.
70. Колмаков С.Г. Материалы по флоре Западного Казахстана/ С.Г. Колмаков// Общество изучения Казахстана. Западно -Казахстанское областное отделение. Уральск, 1935. - Выпуск № 3. - С. 3-25.
71. Корчагин А.А. К вопросу о принципах классификации лесных группировок/ А.А. Корчагин// Сборник научных работ Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР выполненных в Ленинграде за 3 года ВОВ (1941-1943). Ленинград: Ленинградское газетно-журнальное и книжное издание, 1946. - С.121-138.
72. Корчагин А.А. Г.Ф. Морозов – создатель учения о типах насаждений (К 100-летию со дня рождения Г.Ф. Морозова) / А.А. Корчагин// Ботанический журнал. Ленинград, 1967. - Том 52. - № 11. - С. 1669-1677.
73. Крестьяншин, Л.И. Методика таксационного районирования лесов Северо-Запада СССР/ Л.И. Крестьяншин, В.Г. Рубцов, А.Г. Мошкалева. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1971. – 48 с.

74. Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны/ А.А. Крюденер. – Петроград: Изд. Лесного общества в Петрограде, 1916. – Выпуск 3. – 190 с.
75. Кузьмичёв В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели/ В.В. Кузьмичёв. - Новосибирск: Наука, 2013. – 208 с.
76. Кузьмичёв В.В. Закономерности роста древостоев/ В.В. Кузьмичёв. - Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
77. Кузьмичев В.В. Изреживание и рост лесных культур/ В.В. Кузьмичев. - Москва: РГАУ-МСХА, 2015. – 236 с.
78. Кузьмичёв В.В. Моделирование роста древостоев и оптимизация лесовыращивания/ В.В. Кузьмичев// Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. Москва, 1977. – С. 93-108.
79. Кузьмичёв, В.В. Регрессионные модели прогноза роста древостоев/ В.В. Кузьмичёв, Т.Н. Миндеева, Г.Б. Кофман// Лесное хозяйство. Москва, 1996. - № 4. – С. 43-44.
80. Кузьмичев В.В. Регулирование продуктивности лесных фитоценозов. Методологические вопросы лесоведения/ В.В. Кузьмичев// Новосибирск, 1975. – С. 123-142.
81. Кузьмичев В.В. Эколого-ценотические закономерности роста одновозрастных сосновых древостоев: автореф. дисс. д-ра б-х наук./ В.В. Кузьмичёв, - Красноярск: ИЛИД им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1980. – 31 с.
82. Кулаичев А.П. Компьютерный контроль процессов и анализ сигналов/ А.П. Кулаичев. – Москва, 1999. – 330 с.
83. Лакида, П.И. Модальные таблицы хода роста культур сосны Полесья Украины/ П.И. Лакида, М.М. Петренко// Леса Беларуси и их рациональное использование. Минск, 2000. - С. 9-11.
84. Леса СССР. Под ред. Жукова А.Б. Москва, 1970. – Том 5. – С. 57-59.
85. Лесная энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, 1985. – Том 1. – 565 с.

86. Лесная энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, 1986. – Том 2. – 632 с.
87. Лохов В.П. Усыхание леса в пойме р. Урал/ В.П. Лохов// Лесная промышленность. Москва, 1940. - № 5.
88. Макаренко, А.А. Моделирование роста и строения древостоев с использованием статистических зависимостей/ А.А. Макаренко, А.И. Колтунова// Научные основы повышения продуктивности лесов Казахстана. Сборник научных трудов КазНИИЛХА. Алма-Ата: Кайнар, 1980. - С. 215-235.
89. Макаренко А.А. Нормативы для таксации лесов Казахстана/ А.А. Макаренко [и др.]. Часть 1 Кн.1. - Алма-Ата: Кайнар, 1987. - 237 с.
90. Макаренко А.А. К вопросу о влиянии густоты древостоя на его таксационные показатели/ А.А. Макаренко // Лесной журнал. Москва, 1965. - № 2. – С. 6-9.
91. Макаренко А.А. К вопросу о горизонтальном строении древостоев/ А.А. Макаренко// Леса и древесные породы Северного Казахстана. Ботанические исследования. Ленинград, 1974. – С. 39-45.
92. Макаренко А.А. О возможности применения семейства кривых Пирсона в лесоводственных исследованиях/ А.А. Макаренко, А.И. Колтунова, Е.А. Рапп// Сб. «Интенсификация лесного хозяйства Казахстана»: Тр. КазНИИЛХА. Т. X. Алма-Ата: «Кайнар», 1978. – С. 3-12.
93. Макаренко А.А. Опыт прогнозирования продуктивности древостоев/ А.А. Макаренко, А.И. Колтунова, А.И. Сабанцев// Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. Алма-Ата, 1989. - №11 - С. 78-85.
94. Макаренко А.А. О свойствах рядов распределения деревьев в древостоях/ А.А. Макаренко// Лесоведение. Москва, 1975. - № 6. – С. 42-50.
95. Макаренко А.А. О среднем дереве в древостоях/ А.А. Макаренко// Леса и древесные породы Северного Казахстана. Ботанические исследования. Ленинград, 1974. – С. 46-52.
96. Макаренко А.А. Познание закономерностей формирования древостоев -основа выращивания высококачественных, устойчивых и высокопродуктивных

- насаждений. Рубки ухода за лесом/ А.А. Макаренко// Щучинск, 1980. - С. 15-20.
97. Макаренко А.А. Прогнозирование продуктивности древостоев/ А.А. Макаренко// Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. Алма-Ата, 1985. - № 7. - С. 78-83.
98. Макаренко А.А. Прогнозирование продуктивности древостоев/ А.А. Макаренко. - Алматы: НИЦ «Бастау», КазАСХН, 1996. – 164 с.
99. Макаренко А.А. Рекомендации по прогнозированию продуктивности древостоев: Утв. Минлесхозом Каз. ССР 22.09.87/ А.А. Макаренко// Алма-Ата, 1987. – 19 с.
100. Макаренко А.А. Рост и продуктивность сосновых древостоев Казахстана/ А.А. Макаренко// Научные основы повышения продуктивности лесов Казахстана. Алма-Ата, 1982. - С. 47-60.
101. Макаренко А.А. Строение древостоев/ А.А. Макаренко. - Алма-Ата: Кайнар, 1982. - 68 с.
102. Макаренко Г.П. Эколого-экономическая оценка водоохранной роли леса/ Г.П. Макаренко. Научное издание. «Формирование лесного кадастра, системы плат за лесопользование и аренды лесов Урала». Екатеринбург, 1996. С. 17-23.
103. Марков, М.В. Древесно-кустарниковая растительность пойм рек Волги и Камы в пределах ТАССР / М.В. Марков, М.И. Фирсова// Ученые записки Казанского государственного университета имени В.И. Ульянова-Ленина. – Казань, 1955. - Том 115. - Книга 5.– с. 5-110.
104. Мелехов И.С. Динамическая типология леса/ И.С. Мелехов// «Лесное хозяйство». Москва, 1968. - № 3. - С. 15-20.
105. Мелехов И.С. Лесная типология/ И.С. Мелехов. – Москва: Изд. МЛТИ, 1976. – 73 с.
106. Мелехов И.С. Лесоведение/ И.С. Мелехов. - Москва: Изд. Московского государственного университета леса, 2007. - 371 с.
107. Мелехов И.С. Пути рационального использования лесной типологии/ Мелехов И.С.// «Лесное хозяйство». Москва, 1976. - № 7. - С. 17-21.

108. Мигунова Е.С. Лесотипологическая классификационная система как основа единой экологической классификации и факторов природной среды/ Е.С. Мигунова// Лесной вестник, 2013. - № 6. - С. 173-182.
109. Мигунова Е.С. Лесотипологическая классификационная система – модель единой классификации природы/ Е.С. Мигунова// Лесное хозяйство. Москва, 2011. - № 1. - С. 22-23.
110. Мигунова Е.С. Лесотипологическая система представлений о природе земли/ Е.С. Мигунова// Лесное хозяйство. Москва, 2007. - № 1. – С. 17-21.
111. Мигунова Е.С. Отечественные лесоводы – родоначальники учения об экосистемном строении природы/ Е.С. Мигунова// Лесное хозяйство. Москва, 2014. - № 4. - С.17-20.
112. Мигунова Е.С. Столетие становления лесоведения/ Е.С. Мигунова// Лесное хозяйство. Москва, 2012. - № 2. - С. 29-31.
113. Мильков Ф.Н. Долины рек и водоразделы/ Ф.Н. Мильков// Воздействие рельефа на растительность и животный мир (Биогеоморфологические очерки). Москва, 1953. - С. 12-25.
114. Мильков Ф.Н. Современный ландшафт долины Урала/ Ф.Н. Мильков// От горы Вишнёвой до Каспийского моря (Географический очерк). Чкаловское изд., 1950. - С. 14-56.
115. Митропольский А.К. Кривые распределения/ А.К. Митропольский. Лекции по математической статистике. М-во высш. и сред. спец. Образования РСФСР Ленингр. Ордена Ленина лесотехн.акад. им. С.М. Кирова. Ленинград, 1960. - 171 с.
116. Моисеев, В.С. Методика составления таблиц хода роста и динамика товарной структуры модальных насаждений/ В.С. Моисеев, А.Г. МошкALEV, И.А. Нахабцев. - Ленинград: Ленинградская лесотехническая академия имени С.М. Кирова, 1968. – 87 с.
117. Морозов Г.Ф. Основания учения о лесе/ Г.Ф. Морозов. Симферополь, 1920. – 317 с.

118. Морозов Г.Ф. О типах насаждений и их значения в лесоводстве/ Г.Ф. Морозов// Лесной журнал. Архангельск, 1904. – Выпуск 1. – С.6-25.
119. Морозов Г.Ф. Учение о типах насаждений. Конспект лекций по общему лесоводству/ Г.Ф. Морозов// Санкт-Петербург, 1914. – 50 с.
120. Москалев, Г.Е. Природа Уральской области. / Г.Е. Москалев, А.Г. Таранов. Издание второе, дополненное и переработанное. Под редакцией доц. Горцева В.И. - Саратов: Издательство Саратовского университета, 1985. – 80 с.
121. Мошкалев А.Г. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР/ А.Г. Мошкалев - Ленинград: Ленинградская лесотехническая академия, 1984. – 319 с.
122. Невидомов А.М. Генетическая классификация тополевых и ветловых лесов Волго-Ахтубинской поймы/ А.М. Невидомов// Лесоведение. Москва, 1993. - № 5. – С. 40-47.
123. Неповинных А.Г. Прогнозирование строения и роста сосняков Красноярской лесостепи: Дис. канд. наук: 06.03.02/ А.Г. Неповинных. – Красноярск, 2009.
124. Никитин С.А. Государственная лесная полоса гора Вишневая – Каспийское море/ С.А. Никитин// «Тр. Компл. научной экспедиции по вопросам полезащ.лесоразв. АН СССР». Москва, 1951. -Том 1. – Выпуск 1.
125. Никитин С.А. Лесная растительность степного Зауралья/ С.А. Никитин// «Сообщ. Ин-та леса АН СССР». Москва, 1956. - Выпуск 6.
126. Никитин С.А. Лесорастительные условия низовий реки Урал. / С.А. Никитин// Труды института леса. Том 34. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1957. – с. 7-27.
127. Никитин С.А. Растительность Восточной части Прикаспийской низменности/ С.А. Никитин// Пустыни СССР и их освоение. Москва-Ленинград, 1954а. - С. 217-264.
128. Основные положения организации и развития лесного хозяйства Уральской области. Алма – Ата, 1992. – 411 с.



129. ОСТ 56-69-83 "Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки".  
Издание официальное. Технический редактор С.Ю. Соколова. Корректор С.И.  
Иванова. Приказом (распоряжением) Государственного комитета СССР по  
лесному хозяйству от 23 мая 1983 г. № 72 срок введения установлен с 01.01.84  
г
130. Остапенко Б.Ф. Лесоводственно-экологическая типология и её  
классификационная система/ Б.Ф. Остапенко. Лекция 2. МСХ СССР,  
Харьковский Ордена Трудового Красного знамени. СХИ им. В.В. Докучаева. -  
Харьков, 1978. - 72 с.
131. Павлов В.М. Лесная типология в лесоустройстве/ В.М. Павлов// «Лесное  
хозяйство». Москва, 1974. - № 8. - С. 43-46.
132. Павлов В.М. Особенности хода роста сосны в бассейне реки Унжи/ В.М.  
Павлов// Новое в лесной таксации и лесоустройстве. Выпуск 2. Москва, 1965.  
С. 37-39.
133. Пальгов Н.Н. Реки Казахстана/ Н.Н. Пальгов. - Алма-Ата: Изд. Каз АН ССР,  
1959. - С. 75-81.
134. Петренко А.З. Из истории исследования пойменных лесов среднего течения  
реки Урала (Яика)/ А.З. Петренко// Тематический сборник научных работ по  
биологии и географии. Алма-Ата, 1965. - Выпуск 2. - С.190-199.
135. Петренко А.З. Белотопольники долины Урала/ А.З. Петренко// Материалы  
по флоре и растительности Северного Прикаспия. АН СССР, Географическое  
общество СССР. Ленинград, 1974. - Выпуск 7. - С. 269-307.
136. Петренко А.З. Осокорники долины р. Урала/ А.З. Петренко //Материалы по  
флоре и растительности Северного Прикаспия. АН СССР, Географическое  
общество СССР. Западно-Казахстанский отдел Ленинград, 1969. - Выпуск 4. -  
Часть II. - С. 76-122.
137. Петренко А.З. Сравнение осокорников Урала с пойменными лесами других  
рек/ А.З. Петренко// Материалы по флоре и растительности Северного  
Прикаспия. Ленинград, 1964. - С. 75-82.

138. Побединский А.В. Беречь и усиливать водоохранно-защитные функции леса/ А.В. Побединский// Лесное хозяйство. Москва, 1996. - №3. - С. 31-34.
139. Побединский А.В. Водоохранная и защитная роль лесов/ А.В. Побединский. - Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. – 208 с.
140. Побединский А.В. Лесная типология и применение её в лесном хозяйстве/ А.В. Побединский// «Лесное хозяйство». Москва, 1976. - № 10. - С.25-30.
141. Побединский А.В. Лесная типология и применение её в лесном хозяйстве/ А.В. Побединский// «Лесное хозяйство». Москва, 1976. - № 2. – С.36-41.
142. Побединский А.В. Лесная типология – основа проведения лесохозяйственных мероприятий/ А.В. Побединский// Лесное хозяйство. Москва, 1973. - № 9. – С.15-20.
143. Побединский А.В. Приречные леса Урала и ведение хозяйства в них/ А.В. Побединский// Лесное хозяйство. Москва, 1975. - № 6. - С. 36-40.
144. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. / П.С. Погребняк. - Киев: Издательство АН Украинской ССР, 1955. – 452 с.
145. Поляков А.Н. О полноте, сомкнутости и густоте сосновых насаждений/ А.Н. Поляков// Научные доклады высшей школы. Лесоинженерное дело. М, 1959. - № 1. – С. 32-35.
146. Пугачев П.Г. Геоботаническая характеристика дубовых и вязовых лесов поймы среднего течения реки Урал: автореф. дис. канд. б. наук./ П.Г. Пугачев, - Свердловск, 1967. – 23 с.
147. Пугачев П.Г. Заметки о распространении и некоторых особенностях вяза гладкого в пойме среднего течения реки Урал/ Пугачев П.Г.// Материалы по флоре и растительности Северного Прикаспия. Ленинград, 1964. - С. 116-132.
148. Пшеничникова Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты. Факторы продуктивности леса/ Л.С. Пшеничникова// Новосибирск: Наука, 1989. - С.36-52.
149. Разин Г.С. Изучение и моделирование хода роста древостоев различной густоты (на примере ельников Пермской области): Методические рекомендации / Г.С. Разин. Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1977. – 43 с.

150. Разин, Г.С. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев/ Г.С. Разин, М.В. Рогозин// Лесное хозяйство. Москва, 2010. - № 2. - С. 19-20.
151. Разин, Г.С. О ходе роста древостоев. Догматизм в лесной таксации/ Г.С. Разин, М.В. Рогозин// Вестник Пермского университета. Серия биология. Пермь, 2009. - Вып.10 (36).- С. 9-38.
152. Разработка методических рекомендаций и нормативов актуализации таксационных показателей древостоев для основных лесобразующих пород по лесным районам: рук. Хлюстов В.К. Шифр 23-ИО. Заключительный отчёт об итогах научной работы по Государственному контракту № МГ-06-06/63к от 3 июля 2007 г. 219 с.
153. Ремезов Н.П. Сохранение и восстановление лесов в пойме нижнего течения Урала/ Н.П. Ремезов// Лесное хозяйство. Москва, 1949. - № 7. - С. 12-17.
154. Рогозин, М. В. Лесные культуры Теплоуховых в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели/ М. В. Рогозин, Г. С. Разин. Пермь: Пермский ГНИУ, 2012. – С.210.
155. Рубцов В.Г. Опыт таксационного районирования Новгородской и Ленинградской областей/ В.Г. Рубцов// Сборник трудов ЛенНИИЛХ. Ленинград, 1972. – Выпуск XIV. – С. 104-122.
156. Рубцов М.В. Выделению водоохранных лесов – научную основу/ М.В. Рубцов// Лесное хозяйство. Москва, 1987. - № 12. - С. 23-26.
157. Рысин Л.П. Лесная типология в СССР/ Л.П. Рысин. – Москва: Изд. Наука, 1982. – 217 с.
158. Сапанов М.К. Экологические последствия потепления климата в Северном Прикаспии/ М.К. Сапанов// Аридные экосистемы. Москва, 2018. – Том 24. - № 1(74). – С. 18-28.
159. Сапанов М.К. Экология лесных насаждений в аридных регионах/ М.К. Сапанов. – Тула: Изд. Гриф и К, 2003. – 248 с.
160. Свалов С.Н. Об оценке пригодности распределения Вейбулла для описания строения древостоев/ С.Н. Свалов// Научные труды МЛТИ «Вопросы

- лесовыращивания и рационального лесопользования». Москва, 1982. - Выпуск 139. - С. 172-174.
161. Свалов С.Н. Распределение стволов по ступеням площадей сечений при нормальном распределении стволов по диаметрам/ С.Н. Свалов// Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Архангельск, 1974. - № 1. - С. 20-23.
162. Свешников П. Очерк климатических условий города Уральска/ П. Свешников. Казань: Типография императорского университета, 1898, 1899, 1901, 1907.
163. Свешников П. Очерк климатических условий города Уральска/ П. Свешников. Уральск: Уральская областная типография, 1906. - 38 с.
164. Семечкин, И.В. Общие таблицы хода роста и биологической продуктивности полных («нормальных») насаждений сосны кедровой сибирской/ И.В. Семечкин, А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко// Лесная таксация и лесоустройство. – 2005. - № 1 (35). – С. 7-27.
165. Соколов С.И. Почвы долины реки Урал (преимущественно нижнего течения): автореф. дис. д.б.наук. / С.И. Соколов, - Москва, 1963. – 43 с.
166. Справочная система лесоводственно-таксационных нормативов для инвентаризации древостоев по элементам леса/ В.К. Хлюстов, М.М. Устинов, Д.В. Хлюстов; Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615418, Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 июля 2011 г.
167. Стяжкин В.П. Возрастная динамика оптимальной густоты и максимальной производительности древостоев ели/ В.П. Стяжкин// Лесное хозяйство. Москва, 2005. - № 4. – С. 40-43.
168. Сукачев В.Н. Дендрология с основами лесной геоботаники/ В.Н. Сукачев. Ленинград: Гослестехиздат, 1934. – 634 с.
169. Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии/ В.Н. Сукачев. Избранные труды. Ленинград, 1972. – Том 1. – 420 с.

170. Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов лесов/ В.Н. Сукачев// Избранные труды в 3 т. – Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Ленинград, 1972. – С. 15-141.
171. Сукачев В.Н. Типы лесов и лесорастительных условий/ В.Н. Сукачев. Москва: Изд. Гослестехиздат, 1945. – 37 с.
172. Сухоруких, Ю.И. Способ выравнивания густоты древостоев при изучении их роста/ Ю.И. Сухоруких, И.В. Трещевский, В.В. Успенский// Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Архангельск, 1982. - № 2. – С. 3-5.
173. Токарев А.Д. Типы пойменных лесов реки Урала. / А.Д. Токарев// Труды Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации. Том 9. Алма – Ата, 1975. – С. 266-278.
174. Толкач И.В. Строение и рост естественных сосновых древостоев Беловежской пуши: дис. канд. наук: 06.03.02/ И.В. Толкач.- Минск, 1997.
175. Третьяков Н.В. Закон единства в строении насаждений/ Н.В. Третьяков. – Москва: Новая деревня, 1927. – 113 с.
176. Третьякова В.А. Динамика распределения деревьев по диаметрам в густых культурах сосны, ели и кедра/ В.А. Третьякова// Лесоведение. Москва, 2005. - № 5. - С. 72-74.
177. Туркевич И.В. К оценке некоторых полезных функции лесов/ И.В. Туркевич// Лесоводство и агролесомелиорация. Киев, 1973. – Выпуск 35. – С. 123-129.
178. Тюрин А.В. Исследования хода роста нормальных сосновых насаждений в Архангельской области/ А.В. Тюрин// Труды по лесному опытному делу. Санкт-Петербург, 1913. – Выпуск 45. – С. 23-25.
179. Тюрин А.В. Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины и ели: (Всеобщие таблицы хода роста). 2-е издание/ А.В. Тюрин. - Москва - Ленинград: Сельколхозгиз, 1931. – 200 с.

180. Тюрин И.В. Опыт классификации лесных площадей водоохранной зоны по их водоохранно-защитной роли/ И.В. Тюрин// Исследования по лесному хозяйству (ВНИИЛХ). Москва – Ленинград, 1949. - Выпуск 26. - С. 5-56.
181. Тюрин А.В. Строение нормальных насаждений/ А.В. Тюрин// Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо. Петроград, 1923<sup>a</sup>. - № 1. – С. 10-14.
182. Тюрин А.В. Строение нормальных насаждений/ А.В. Тюрин// Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо. Петроград, 1923<sup>b</sup>. - № 2-3. – С. 27-28.
183. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев/ В.А. Усольцев. - Красноярск: Издательство Красноярского университета, 1985. – 191 с.
184. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии. Предельная продуктивность и география/ В.А. Усольцев - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 407 с.
185. Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов/ В.А. Усольцев. - Екатеринбург: Издательство УрО РАН, 1998. – 541 с.
186. Филиппов, Г.В. Стандартные таблицы – составная часть лесотаксационных нормативов/ Г.В. Филиппов, Н.А. Пирогов, Т.К. Бокова// Лесное хозяйство. Москва, 1989. - № 4. – С.42-45.
187. Хлюстов, В.К. Возрастная динамика биологической продуктивности сосновых древостоев по типам леса Костромской области/ В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев, О.Е. Ефимов// Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международной конференции (14-15 окт. 2015 г.)/ Отв. ред. проф. Э.А. Курбанов. - Электрон. дан. Поволжский государственный технологический университет. Йошкар-Ола, 2015. - с. 77-84.
188. Хлюстов, В.К. Возрастная динамика роста и продуктивности сосновых древостоев на лесотипологической основе в условиях боров Костромской

- области/ В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев// Международный журнал «Наука и мир». Волгоград, 2013. - №1 (1). - С. 132-134.
189. Хлюстов В.К. Древесный прирост и лесопользование/ В.К. Хлюстов// Санкт-Петербург: ЛТА, 1992. Депонирована во ВНИПИЭИ леспром. 06.05.92. - № 2842-лб-92. – 495 с.
190. Хлюстов, В.К. Информационно-справочная система инвентаризации насаждений по элементам леса/ В.К. Хлюстов, М.М. Устинов// Доклады ТСХА. Сборник статей. Москва, 2011. - Выпуск 283.- С. 340-343.
191. Хлюстов, В.К. Информационно-справочная система комплексной оценки древесных лесных ресурсов/ В.К. Хлюстов, М.М. Устинов, Д.В. Хлюстов// Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Москва, 2013. - Выпуск 2.- с.148—166.
192. Хлюстов, В.К. Информационно-справочная система лесоводственно-таксационных нормативов для лесоустройства и государственной инвентаризации лесов методами дистанционного зондирования и геопозиционирования Рациональное использование, охрана, защита и воспроизводство лесных ресурсов/ В.К. Хлюстов, М.М. Устинов// Научные труды. Москва: МГУЛ, 2011. - Выпуск 352.- с. 200-212.
193. Хлюстов, В.К. Классификация разнообразия рядов распределения саксаула чёрного по величине крон/ В.К. Хлюстов, М.Х. Азенов// Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование ресурсов Нижегородской области. Сборник НГСХА. Нижний Новгород, 2002. – С. 277-282.
194. Хлюстов В.К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: Модели-нормативы-технологии/ В.К. Хлюстов. Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2015. - Книга I. - 399 с.
195. Хлюстов В.К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами. Модели-нормативы-технологии/ В.К. Хлюстов. Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2015. - Книга II. - 449 с.

196. Хлюстов, В.К. К методике моделирования хода роста смешанных древостоев в пойме реки Урал/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева// Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2017. - № 289-2. – С. 383-385.
197. Хлюстов, В.К. Ландшафтно-типологическая и таксационная классификация пойменных насаждений Урала/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева. Уральск: Издательство WESTA, 2018. – 280 с.
198. Хлюстов В.К. Лесные культуры от семян до древостоев/ В.К. Хлюстов, О.И. Гаврилова. - Москва: РГАУ-МСХА, 2014. – 233 с.
199. Хлюстов, В.К. Лесотипологическая шкала хода роста березовых древостоев Калининградской области/ В.К. Хлюстов, Л.С. Мурачёва// Вестник Саратовского госагроун. им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2011. - № 6. – С. 42-45.
200. Хлюстов, В.К. Лесотипологические модели и ход роста древостоев горных лесов Кавказа/ В.К. Хлюстов, М.Ю. Александрова. - Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2014. – 314 с.
201. Хлюстов, В.К. Лесотипологические шкалы семенных дубрав Воронежской области/ В.К. Хлюстов, А.Л. Мусиевский// Лесотехнический журнал. – 2014. - Т. 4.- №1 (13). - С. 64-74.
202. Хлюстов, В.К. Лесотипологическое программирование оптимального режима лесопользования в конкретном древостое/ В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев, М.М. Устинов// Лесной вестник. Мытищи, 2016. - № 5. – С. 78-84.
203. Хлюстов В.К. Многомерная лесотипологическая шкала хода роста многоярусных древостоев пихты кавказской (*Abies Nordmanniana* ZK)/ В.К. Хлюстов// Материалы конференции «Вопросы экологии лесных экосистем». НИИГОРЛЕСЭКОЛ. Сочи 17-20 октября 2011. – с.152-156.
204. Хлюстов В.К. Методическое пособие по выполнению курсовой работы учебной дисциплины системный анализ и моделирование экосистем/Хлюстов В.К. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. - 177 с.
205. Хлюстов, В.К. Многомерные закономерности текущей актуализации таксационных показателей древостоев. Лесотаксационный справочник:



- учебное пособие/ В.К. Хлюстов, М.М. Устинов, Д.В. Хлюстов//. Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2013. – 141 с.
206. Хлюстов, В.К. Модели варьирования показателей хода роста смешанных белотопольников поймы реки Урал/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева// Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференций «Интеграционные процессы мирового научно-технологического развития».
207. Хлюстов В.К. Модели хода роста элементов дендроценоза в смешанных вязовниках поймы реки Урал/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева// Сборник научных трудов по материалам XIII Международного междисциплинарного форума молодых учёных. Санкт-Петербург, 2017. – С. 203-212.
208. Хлюстов, В.К. Модели хода роста элементов дендроценоза в смешанных дубняках поймы реки Урал/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева// Сборник статей Международной научно-практической конференции «Интеграционные процессы в науке в современных условиях». Казань, 2017. – Часть 1. – С. 18-26.
209. Хлюстов, В.К. Моделирование роста смешанных древостоев пойменных лесов Урала/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева, Ж.Н. Токтасынов// Аграрный научный журнал, Саратовский ГАУ. Саратов, 2017 - № 6. - С. 41-45.
210. Хлюстов В.К. Новый способ моделирования возрастной динамики строения древостоев на примере культур лиственницы Сукачева/ В.К. Хлюстов, Д.В. Хлюстов// Второе региональное совещание «Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство» 22-25 сентября 2008 года, Архангельский ГТУ. Архангельск, 2008. – С. 21-28.
211. Хлюстов, В.К. О систематизации кривых непрерывного распределения случайных величин/ В.К. Хлюстов, Д.В. Хлюстов// Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование ресурсов Нижегородской области. Сборник НГСХА. - Нижний Новгород, 2002. – С. 260-263.
212. Хлюстов В.К. Оптимизация режима промежуточного и главного пользования лесом и возрастная динамика лесосек/ В.К. Хлюстов//

- Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии. Сборник МСХА. Москва, 2004. – С. 35-37.
213. Хлюстов В.К. Прогнозирование текущего прироста и оптимизация повышения продуктивности древостоев на примере сосняков и березняков Северного Казахстана: дис. докт. с-х. наук: 06.03.02./ В.К. Хлюстов. - Санкт-Петербург, 1993. – 487 с.
214. Хлюстов, В.К. Рост и продуктивность элементов леса в осокорниках поймы реки Урал/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева, Т.С. Изтелеу и др.// Аграрный научный журнал. Саратов, 2019. - № 1. – С. 32-38.
215. Хлюстов, В.К. Системный комплекс электронных нормативов для инвентаризации и актуализации роста, строения и материальной оценки древостоев/ В.К. Хлюстов, Д.В. Хлюстов// Материалы первой международной конференции по проблемам лесоустройства и инвентаризации лесов. Москва, 2010. – с. 67-70.
216. Хлюстов, В.К. Товарно-денежный потенциал древостоев и оптимизация лесопользования/ В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев. – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017. – 328 с.
217. Хлюстов, В.К. Ход роста элементов леса смешанных ветловниках поймы реки Урал/ В.К. Хлюстов, М.М. Елекешева// Сборник статей Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы инновационного развития». Москва, 2017. – С. 588-601.
218. Хлюстов, В.К. Экобиоэнергетический потенциал сосняков Костромской области/ В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев, О.Е. Ефимов. Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2016. – 292 с.
219. Хлюстов, В.К. Экологическая типизация хода роста древостоев/ В.К. Хлюстов, А.В. Лебедев// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола, 2016. - № 4. – С. 5-18.

220. Хлюстов, В.К. Электронный справочник для таксации лесов/ В.К. Хлюстов, Д.В. Хлюстов, М.Г. Захарин// Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов БГИТА. Брянск, 2009. - №23. - с.69-72.
221. Черных В.Л. Автоматизированная актуализация лесотаксационных нормативов на примере лесов Урала: дис. доктора с/х. наук: 06.03.02/ Марийс.ГТУ – Йошкар-Ола, 2002.
222. Черных, В.Л., Математическая модель бонитировочной шкалы семенных и порослевых насаждений/ В.Л. Черных, А.П. Чернов, Д.П. Мальков// Рациональное использование лесных ресурсов: Материалы международной научно - практической конференции, 20-22 апреля 1999 г. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. - С. 250-251.
223. Черных, В.Л. Модель хода роста и возраст рубки осиновых древостоев в условиях свежей сурамени Республики Марий Эл/ В.Л. Черных, В.М. Грачев// Саратов: Лесное хозяйство Поволжья: Межвуз. сб. науч. работ, 1996. – Выпуск 2. - С. 57-63.
224. Черных, В.Л. Таблицы сумм площадей сечений, видовых высот и запасов для древостоев сосны искусственного происхождения Северо-Восточной части Республики Марий Эл/ В.Л. Черных, А.В. Попова, Н.Г. Киселева// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола, 2009. - № 1. – С. 33-40.
225. Чибилёв А.А. Река Урал./ А.А. Чибилёв. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 167 с.
226. Чупахин В.М. Природное районирование Казахстана. / В.М. Чупахин// Алма – Ата: Издательство «Наука» Казахской ССР, 1970. – 263 с.
227. Шаталов, В.Г. Пойменные леса/ В.Г. Шаталов, И.В. Трещевский, И.В. Якимов. - Москва: Лесная промышленность, 1984. – 160 с.
228. Шингарева-Попова Н.С. Пойменные, осокоревые и ветловые леса/ Н.С. Шингарева-Попова. - Ленинград: Изд. Гослестехиздат, 1935. - 72 с.

229. Швиденко А.З. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Изд. второе, дополненное/ А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильсон [и др.]. – Москва, 2008. – 886 с.
230. Шраг В.И. К вопросу о защитных лесных полосах по берегам рек/ В.И. Шраг// Лесное хозяйство. Москва, 1949. - № 7. – С. 78-80.
231. Яковлев Ф.С. Классификация и основные закономерности распространения ольшаников и дубняков в поймах рек Дона и Н. Волги / Ф.С. Яковлев// Научные записки Воронежского лесохозяйственного института. Том 9. Воронеж: Воронежское областное книгоиздательство, 1946. – с. 40-55.
232. Ярославцев С.В. Особенности строения ельников Крайнего Севера/ С.В. Ярославцев// Лесной журнал// Архангельск, 1992. - № 4. – С. 29-32.
233. Яшнов Л.И. Значение типов леса в теории и практике лесного хозяйства/ Л.И. Яшнов// Казань, 1928. – 11 с.
234. Ajayi S. Diameter distribution for Gmelina arborea plantations in Ukpon River Forest Reserve, Cross River State, Nigeria/ S. Ajayi// Afrrev Stech, 2013. - № 2(1).- p. 64-82.
235. Bailey R.L. Quantifying Diameter Distributions with the Weibull Function/ R.L. Bailey, T.R. Dell// Forest Science. A Quarterly Journal of Research and Technical Progress. Volume 19. - Number 2. - June 1973.
236. Charlier C. V. L., «Arkiv Mat., Astr., Fys.», 1914. - b. 2. - № 25. - s. 1-17.
237. Eslami, A.R. Investigation of the structure and distribution diameter classes models in beech forests of northern Iran/ A.R. Eslami, B. Karimi. H. Payam, and other//African Journal of Agricultural Research, 2011. – № 6 (10). – p. 2157-2165.
238. Gehrhardt E. Uber Bestandes-Wachstumsgesetze und ihre Anwendung zur Aufstellung von Ertragstafeln. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 1909. 117-128 p.
239. Gram J. P., «J. reine und angew. Math.», 1883. - Bd 94. - S. 41-73
240. Johnson N.L. Systems of frequency curves generated by methods of translation/ Johnson N.L.// Biometrika. – 1949. - V.36. – P. 149-176.

241. Khlyustov V.K. Growth simulation of the dendrometric parameters of mixed white poplar in the floodplains of river Ural/ V.K. Khlyustov, M.M. Yelekesheva// International conference on Recent Advances in Engineering, Technology and Applied Sciences. Section: Green technology. USA, Detroit, 2017. - P. 190-202.
242. Khlyustov V.K. Wachstum von Kieferbeständen nach Art der Wald in verschiedenen Arten von Waldwachstum/ V.K. Khlyustov, N.V. Koreschkov, A.V. Gemonov// Science and Education Materials of the iv International Research and Practice Conference Vol. I/ Munich, Germany/ October 30-31, 2013.
243. Knoebel, B.R. A growth and yield of thinned yellow poplar/ B.R. Knoebel, H.E. Burkhardt, D.E. Beck// For. Sci. Monograph 27. 1986. – 41 p.
244. Mattaji, A. Study of tree distribution in diameter classes in natural forests using probability distributions/ A. Mattaji, S.M. Hojjati, M.A. Namiranian// Iranian Journal of Natural Resources, 2000. – 35(2): 165-172.
245. Nelson T.C. Diameter distribution and growth of loblolly pine/ T.C. Nelson// Forest Sci. 1964. - № 10. – p. 105-115.
246. Pretzch, H. Models for forest ecosystem management: a European perspective/ H. Pretzch, R. Grote, B. Reineking and other// Ann Bot-London, 2008. – 101(8). – p. 1065-1087.
247. Rogozin M.V. Development of forest stands. Models, laws, hypotheses/ M.V. Rogozin, G.S. Razin// Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, 2015. - 196 p.
248. Sheikholeslami, S.N. Controlling the interplay of electric and magnetic modes via Fano-like plasmon resonances/ S.N. Sheikholeslami, A. Garsia-Etxarri, JA. Dionne// Nano letters, 2011. – 11(9). – p.3927-3934.
249. Schreuder, H.T. Coniferous stands characterized with the Weibull distribution/ H.T. Schreuder, W. T. Swank// Canadian J. Forest Res. 1974. - V. 4. – P. 518-523.
250. Schiffel A. Über de gesetzmässige Beziehungen der Massenfaktoren in normalen Fichtenbeständen/ A. Schiffel. - Wien, 1903.
251. Swank, W.T. Comparison of three methods of estimating surface area and biomass for a forest of young eastern white pine/ W.T. Swank, H.T. Schreuder// For. Sci., 1974. – 20. – p. 91-100.

252. Von Guttenberg A. Wachstum and Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Wien, Leipzig: Verlag Franz Deuticke, 1915. – 216 p.
253. Weise W. Ertragstafeln für die Kiefer. Berlin: Springer, 1880. – 157 p.
254. Wimmenauer K. Anleitung zur Waldwertrechnung, mit einem Abriss der forstlichen Statistik/ K. Wimmenauer. Leipzig, 1892. – 4. Aufl. – 337 p.
255. Zeide B. Standardization of growth curves/ B. Zeide // Journal of Forestry. – 1978. – T. 76, № 5, - C.289-292.

## **Приложения**

## Фрагмент таблиц хода роста

Возраст, лет	Высота, м		Средний диаметр, см	Число деревьев, шт./га	Сумма площадей сечений, кв. м/га	Видовое число	Видовая высота, м	Объем ствола среднего дерева, куб. м	Запас, куб. м/га	Прирост по запасу, куб. м/га в год		Общая продуктивность, куб. м/га	Прирост по общей продуктивности, куб. м/га в год		Среднепериодический годичный отпад		
	средняя	верхняя								текущий	средний		текущий	средний	число стволов, шт./га	объем, куб. м/га	
<b>Класс средней высоты - Н30 = 23 м. Относительный диаметр - Дотн30 = 1,0</b>																	
5	5,1	9,0	3,6	17565	17,77	0,701	3,5	0,0036	63	12,60	12,60	83	16,65	16,65			
10	10,3	14,9	7,5	6074	26,51	0,528	5,4	0,0238	144	16,28	14,44	191	21,51	19,08	2298	5,23	
15	14,6	18,3	11,2	3350	32,72	0,465	6,8	0,0663	222	15,52	14,80	293	20,51	19,56	545	4,99	
20	18,0	20,8	15,0	2118	37,44	0,425	7,7	0,1353	287	12,91	14,33	379	17,07	18,93	246	4,15	
25	20,8	22,8	19,0	1454	41,14	0,400	8,3	0,2350	342	11,02	13,67	452	14,56	18,06	133	3,54	
30	23,0	24,4	23,0	1061	44,09	0,383	8,8	0,3659	388	9,34	12,95	513	12,35	17,11	79	3,00	
35	24,8	25,8	27,0	814	46,47	0,371	9,2	0,5256	428	7,88	12,22	565	10,41	16,15	50	2,53	
40	26,3	27,0	30,8	650	48,40	0,362	9,5	0,7088	461	6,62	11,52	609	8,75	15,23	33	2,13	
45	27,5	28,0	34,4	538	49,98	0,355	9,8	0,9082	489	5,53	10,86	646	7,31	14,35	22	1,78	
50	28,5	28,9	37,7	459	51,27	0,350	10,0	1,1153	512	4,60	10,23	676	6,07	13,52	16	1,48	
55	29,3	29,6	40,7	401	52,31	0,346	10,1	1,3218	530	3,79	9,64	701	5,01	12,75	11	1,22	
60	29,9	30,2	43,4	359	53,15	0,343	10,3	1,5194	546	3,10	9,10	721	4,09	12,02	8	1,00	
<b>Класс средней высоты - Н30 = 19 м. Относительный диаметр - Дотн30 = 1,0</b>																	
5	3,7	6,7	2,6	27805	15,12	0,781	2,9	0,0016	44	8,76	8,76	58	11,58	11,58			
10	7,8	12,4	5,6	9107	22,48	0,587	4,6	0,0112	102	11,72	10,24	135	15,48	13,53	3740	3,77	
15	11,3	15,5	8,7	4753	28,09	0,509	5,8	0,0341	162	11,94	10,81	214	15,78	14,28	871	3,84	
20	14,4	17,7	12,0	2886	32,53	0,458	6,6	0,0742	214	10,44	10,71	283	13,79	14,16	373	3,36	
25	16,9	19,4	15,5	1924	36,09	0,426	7,2	0,1352	260	9,18	10,41	344	12,13	13,75	192	2,95	
30	19,0	20,8	19,0	1375	38,97	0,405	7,7	0,2180	300	7,91	9,99	396	10,46	13,20	110	2,54	
35	20,7	22,1	22,5	1038	41,30	0,390	8,1	0,3211	333	6,73	9,52	441	8,89	12,59	67	2,16	
40	22,1	23,1	25,9	821	43,19	0,379	8,4	0,4405	362	5,64	9,04	478	7,45	11,95	44	1,81	
45	23,2	24,0	29,1	674	44,71	0,370	8,6	0,5709	385	4,67	8,55	509	6,17	11,30	29	1,50	
50	24,1	24,7	32,0	572	45,93	0,364	8,8	0,7059	404	3,81	8,08	534	5,03	10,68	20	1,22	
55	24,9	25,3	34,6	500	46,88	0,360	8,9	0,8389	419	3,05	7,62	554	4,03	10,07	15	0,98	
60	25,4	25,8	36,8	447	47,63	0,356	9,1	0,9640	431	2,38	7,19	570	3,15	9,50	10	0,77	
<b>Класс средней высоты - Н30 = 15 м. Относительный диаметр - Дотн30 = 1,0</b>																	
5	2,6	5,1	1,9	46825	12,75	0,875	2,3	0,0006	29	5,86	5,86	39	7,74	7,74			
10	5,6	9,9	4,0	14593	18,77	0,663	3,7	0,0048	70	8,08	6,97	92	10,67	9,21	6446	2,60	



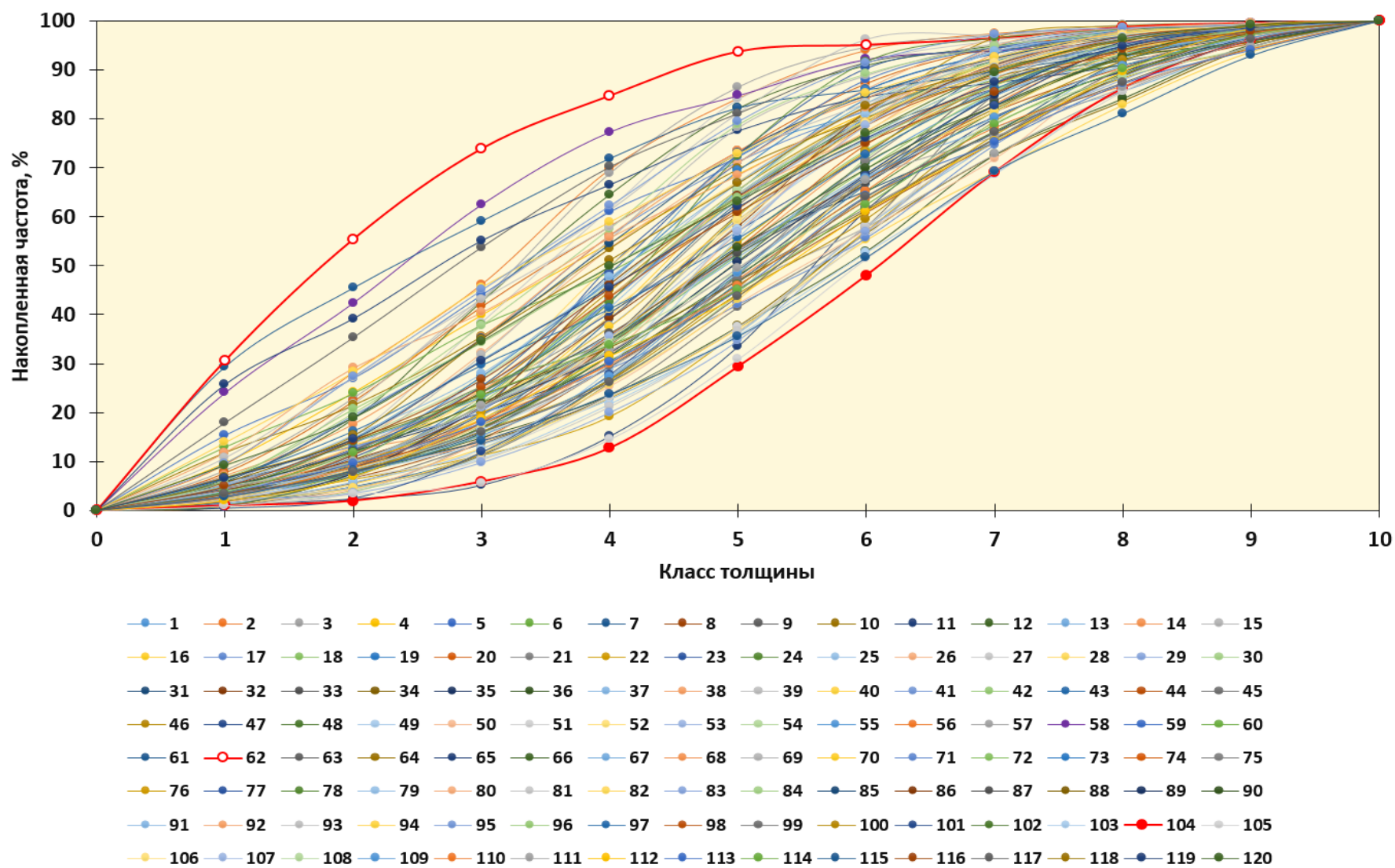


Рисунок П2. Графическое представление вариационных рядов по данным 120 пробных площадей

Возрастное изменение строения древостоев тополя чёрного в типе леса осокорники средних уровней центральной  
ПОЙМЫ

<b>Динамика соотношения высоты и толщины деревьев (H30=23 м)</b>													
Возраст, лет	Высота, м		Средний диаметр, см	Толщина деревьев, см									
	средняя	верхняя		Высота деревьев по классам толщины, м									
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<b>Класс средней высоты - H30 = 23 м. Относительный диаметр - Dотн30 = 1,0</b>													
				<i>2,0</i>	<i>3,6</i>	<i>5,1</i>	<i>6,6</i>	<i>8,1</i>	<i>9,7</i>	<i>11,2</i>	<i>12,7</i>	<i>14,3</i>	<i>15,8</i>
10	10,3	14,9	7,5	3,46	5,57	7,61	9,43	10,99	12,31	13,41	14,34	15,11	15,75
				<i>3,3</i>	<i>5,4</i>	<i>7,4</i>	<i>9,5</i>	<i>11,6</i>	<i>13,6</i>	<i>15,7</i>	<i>17,8</i>	<i>19,8</i>	<i>21,9</i>
15	14,6	18,3	11,2	5,59	8,62	11,19	13,25	14,88	16,15	17,15	17,93	18,55	19,03
				<i>4,8</i>	<i>7,3</i>	<i>9,9</i>	<i>12,5</i>	<i>15,0</i>	<i>17,6</i>	<i>20,2</i>	<i>22,7</i>	<i>25,3</i>	<i>27,9</i>
20	18,0	20,8	15,0	8,24	11,80	14,52	16,53	18,02	19,12	19,93	20,54	20,99	21,33
				<i>6,4</i>	<i>9,4</i>	<i>12,5</i>	<i>15,5</i>	<i>18,5</i>	<i>21,6</i>	<i>24,6</i>	<i>27,7</i>	<i>30,7</i>	<i>33,7</i>
25	20,8	22,8	19,0	11,19	14,90	17,51	19,34	20,62	21,51	22,14	22,59	22,90	23,13
				<i>8,1</i>	<i>11,6</i>	<i>15,1</i>	<i>18,6</i>	<i>22,1</i>	<i>25,5</i>	<i>29,0</i>	<i>32,5</i>	<i>36,0</i>	<i>39,5</i>
30	23,0	24,4	23,0	14,17	17,76	20,14	21,73	22,78	23,49	23,96	24,28	24,49	24,64
				<i>10,0</i>	<i>13,8</i>	<i>17,7</i>	<i>21,6</i>	<i>25,5</i>	<i>29,4</i>	<i>33,3</i>	<i>37,1</i>	<i>41,0</i>	<i>44,9</i>
35	24,8	25,8	27,0	16,98	20,30	22,40	23,73	24,58	25,13	25,48	25,70	25,85	25,95
				<i>11,8</i>	<i>16,1</i>	<i>20,3</i>	<i>24,6</i>	<i>28,8</i>	<i>33,0</i>	<i>37,3</i>	<i>41,5</i>	<i>45,8</i>	<i>50,0</i>
40	26,3	27,0	30,8	19,50	22,48	24,29	25,40	26,08	26,50	26,75	26,92	27,02	27,09
				<i>13,6</i>	<i>18,2</i>	<i>22,8</i>	<i>27,3</i>	<i>31,9</i>	<i>36,5</i>	<i>41,1</i>	<i>45,6</i>	<i>50,2</i>	<i>54,8</i>
45	27,5	28,0	34,4	21,68	24,31	25,86	26,77	27,31	27,63	27,83	27,95	28,03	28,09
				<i>15,4</i>	<i>20,2</i>	<i>25,1</i>	<i>29,9</i>	<i>34,8</i>	<i>39,6</i>	<i>44,5</i>	<i>49,4</i>	<i>54,2</i>	<i>59,1</i>
50	28,5	28,9	37,7	23,50	25,82	27,13	27,89	28,32	28,57	28,72	28,82	28,89	28,96
				<i>17,0</i>	<i>22,1</i>	<i>27,2</i>	<i>32,3</i>	<i>37,4</i>	<i>42,5</i>	<i>47,6</i>	<i>52,7</i>	<i>57,8</i>	<i>62,9</i>
55	29,3	29,6	40,7	25,00	27,03	28,16	28,79	29,15	29,35	29,47	29,55	29,62	29,70
				<i>18,5</i>	<i>23,8</i>	<i>29,1</i>	<i>34,4</i>	<i>39,7</i>	<i>45,0</i>	<i>50,3</i>	<i>55,6</i>	<i>60,9</i>	<i>66,2</i>
60	29,9	30,2	43,4	26,20	28,00	28,98	29,51	29,81	29,97	30,08	30,16	30,24	30,33

Возраст, лет	Высота, м		Средний диаметр, см	<i>Толщина деревьев, см</i>										Итого, шт./га
	средняя	верхняя		Число деревьев по классам толщины, шт./га										
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
<b>Класс средней высоты - Н30 = 23 м. Относительный диаметр - Дотн30 = 1,0</b>														
				<i>2,0</i>	<i>3,6</i>	<i>5,1</i>	<i>6,6</i>	<i>8,1</i>	<i>9,7</i>	<i>11,2</i>	<i>12,7</i>	<i>14,3</i>	<i>15,8</i>	
10	10,3	14,9	7,5	703	1066	1086	942	770	590	419	277	150	71	<b>6074</b>
				<i>3,3</i>	<i>5,4</i>	<i>7,4</i>	<i>9,5</i>	<i>11,6</i>	<i>13,6</i>	<i>15,7</i>	<i>17,8</i>	<i>19,8</i>	<i>21,9</i>	
15	14,6	18,3	11,2	276	494	576	557	477	374	271	180	98	47	<b>3350</b>
				<i>4,8</i>	<i>7,3</i>	<i>9,9</i>	<i>12,5</i>	<i>15,0</i>	<i>17,6</i>	<i>20,2</i>	<i>22,7</i>	<i>25,3</i>	<i>27,9</i>	
20	18,0	20,8	15,0	133	266	345	364	324	261	192	129	71	34	<b>2118</b>
				<i>6,4</i>	<i>9,4</i>	<i>12,5</i>	<i>15,5</i>	<i>18,5</i>	<i>21,6</i>	<i>24,6</i>	<i>27,7</i>	<i>30,7</i>	<i>33,7</i>	
25	20,8	22,8	19,0	73	158	224	253	233	193	144	97	54	26	<b>1454</b>
				<i>8,1</i>	<i>11,6</i>	<i>15,1</i>	<i>18,6</i>	<i>22,1</i>	<i>25,5</i>	<i>29,0</i>	<i>32,5</i>	<i>36,0</i>	<i>39,5</i>	
30	23,0	24,4	23,0	43	101	154	185	175	149	113	77	43	20	<b>1061</b>
				<i>10,0</i>	<i>13,8</i>	<i>17,7</i>	<i>21,6</i>	<i>25,5</i>	<i>29,4</i>	<i>33,3</i>	<i>37,1</i>	<i>41,0</i>	<i>44,9</i>	
35	24,8	25,8	27,0	28	69	112	141	137	120	92	63	35	17	<b>814</b>
				<i>11,8</i>	<i>16,1</i>	<i>20,3</i>	<i>24,6</i>	<i>28,8</i>	<i>33,0</i>	<i>37,3</i>	<i>41,5</i>	<i>45,8</i>	<i>50,0</i>	
40	26,3	27,0	30,8	19	50	85	111	111	100	78	53	30	14	<b>650</b>
				<i>13,6</i>	<i>18,2</i>	<i>22,8</i>	<i>27,3</i>	<i>31,9</i>	<i>36,5</i>	<i>41,1</i>	<i>45,6</i>	<i>50,2</i>	<i>54,8</i>	
45	27,5	28,0	34,4	13	38	67	90	93	85	67	46	26	12	<b>538</b>
				<i>15,4</i>	<i>20,2</i>	<i>25,1</i>	<i>29,9</i>	<i>34,8</i>	<i>39,6</i>	<i>44,5</i>	<i>49,4</i>	<i>54,2</i>	<i>59,1</i>	
50	28,5	28,9	37,7	10	30	55	75	80	74	59	41	23	11	<b>459</b>
				<i>17,0</i>	<i>22,1</i>	<i>27,2</i>	<i>32,3</i>	<i>37,4</i>	<i>42,5</i>	<i>47,6</i>	<i>52,7</i>	<i>57,8</i>	<i>62,9</i>	
55	29,3	29,6	40,7	8	25	47	64	71	66	53	37	21	10	<b>401</b>
				<i>18,5</i>	<i>23,8</i>	<i>29,1</i>	<i>34,4</i>	<i>39,7</i>	<i>45,0</i>	<i>50,3</i>	<i>55,6</i>	<i>60,9</i>	<i>66,2</i>	
60	29,9	30,2	43,4	6	21	41	56	64	60	49	34	19	9	<b>359</b>

Приложение 4

Распределение частот встречаемости деревьев по 2-х и 4-х сантиметровым ступеням толщины при разном среднем диаметре древостоев

Ступень толщины, см	Средний диаметр, см						
	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	413	198	145	97	-	-	-
<b>4</b>	314	278	223	166	134	95	85
<b>6</b>	175	229	207	183	164	123	104
<b>8</b>	79	160	166	167	168	145	126
<b>10</b>	19	93	121	138	153	146	133
<b>12</b>	-	42	78	104	127	133	127
<b>14</b>	-	-	43	72	98	112	112
<b>16</b>	-	-	17	44	71	89	94
<b>18</b>	-	-	-	22	47	66	75
<b>20</b>	-	-	-	7	27	46	57
<b>22</b>	-	-	-	-	11	29	41
<b>24</b>	-	-	-	-	-	14	27
<b>26</b>	-	-	-	-	-	2	14
<b>28</b>	-	-	-	-	-	-	5
<b>Итого</b>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
						Продолжение	
Ступень толщины, см	Средний диаметр, см						
	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	206	168	140	117	100	-	-
<b>12</b>	259	232	206	181	161	154	135
<b>16</b>	228	224	216	204	192	194	178
<b>20</b>	163	174	181	182	182	194	186
<b>24</b>	98	116	130	140	148	167	168
<b>28</b>	44	64	82	96	108	128	135
<b>32</b>	2	22	40	55	69	88	98
<b>36</b>	-	-	5	21	35	52	63
<b>40</b>	-	-	-	4	5	20	32
<b>44</b>	-	-	-	-	-	3	5
<b>Итого</b>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Продолжение

Ступень толщины, см	Средний диаметр, см				
	32	34	36	38	40
12	118	104	-	-	-
16	161	146	146	131	118
20	177	167	172	159	147
24	166	163	175	167	159
28	140	143	158	157	154
32	106	113	130	134	136
36	73	82	98	104	109
40	42	52	66	74	80
44	17	26	38	46	53
48	-	4	15	23	30
52	-	-	2	5	14
<b>Итого</b>	1000	1000	1000	1000	1000

*Научное издание*

Хлюстов Виталий Константинович  
*доктор сельскохозяйственных наук, профессор*  
Елекешева Мира Манаровна  
*аспирант*

**РОСТ, СТРОЕНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ  
ПОЙМЕННЫХ ЛЕСОВ УРАЛА**

*Монография*

Издано в авторской редакции

Корректурa автора

Подписано для размещения в электронно-библиотечной системе  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева 10.03.2023 г.