

630
К 56

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630*524.4:630*521.2:004

КОВАЛЕВСКИЙ
Сергей Владимирович

**ЛЕСОТАКСАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ
ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
«ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

по специальности 06.03.02 – лесоустройство и лесная таксация

Минск 2008

Работа выполнена на кафедре лесоустройства УО «Белорусский государственный технологический университет»

Научный руководитель

Атрошенко Олег Александрович,
заслуженный лесовод Республики Беларусь, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоустройства, УО «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

Ловчий Николай Федорович,
доктор биологических наук, главный научный сотрудник ГНУ «Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси»;

Ильючик Михаил Александрович,
кандидат сельскохозяйственных наук, начальник отдела приема и обработки космической информации РУП «Белгослес»

Оппонирующая организация

Государственное научное учреждение «Институт леса НАН Беларуси»

Защита диссертации состоится «22» декабря 2008 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.05 в УО «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, тел.: (8-017) 226-14-32, факс: (8-017) 227-62-17, e-mail: root@bstu.unibel.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский государственный технологический университет»

Автореферат разослан «21» ноября 2008 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат с.-х. наук, доцент

В. П. Машковский

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В 2006 году была разработана и принята к выполнению «Программа развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2007–2011 годы», которая определила основную цель развития лесохозяйственной отрасли – повышение эффективности и комплексности использования лесосырьевых ресурсов при соблюдении принципа непрерывности и неистощительности лесопользования.

Лесопользование составляет экономическую основу ведения лесного хозяйства и определяет уровень его интенсивности.

В 2007 году был разработан и вступил в силу новый нормативный документ «Технический кодекс установившейся практики. Правила по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь». В соответствии с ним таксация лесосек может осуществляться по материалам лесоустройства.

В связи с этим актуальной проблемой является использование данных лесоустройства в геоинформационной системе «Лесные ресурсы», разработка лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру для таксации лесосечного фонда, материально-денежной оценки запасов древостоев.

В работе впервые установлены закономерности строения чистых одно-возрастных древостоев по диаметру, разработаны лесотаксационные модели, позволяющие получать распределение деревьев по ступеням толщины и выполнять материально-денежную оценку запасов на лесосеках, на основе существующих таблиц динамики таксационных показателей созданы лесотаксационные модели динамики строения модальных древостоев основных лесобразующих пород Республики Беларусь.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Диссертационная работа выполнена в 1998–2007 гг. и явилась составной частью научно-исследовательских проектов и заданий: ГБ-4-96 «Исследование прироста, отпада и производительности лесов РБ с прогнозом лесопользования» (1996–2000 гг.), БС 99-207 «Внедрить технологию базового лесоустройства с использованием почвенного обследования лесов, участкового метода лесоустройства и ГИС “Лесные ресурсы” для рационального размещения древесных пород, повышения продуктивности и прироста лесов» (№ госрегистрации 19993489) в рамках Государственной научно-технической программы (ГНТП) «Леса Беларуси и их рациональное использование» (1999–2000 гг.), ГБ-4-01 «Исследование сортиментной структуры лесного фонда в связи с прогнозом размера лесопользования в лесах Беларуси» (2001–2005 гг.), БС 23-202 «Разработать программы рубок ухода различной интенсивности, повторяемости и оборота рубки в сосновых древостоях с оптимизацией выхода промышленных

1145ар.



сортиментов и провести опытно-промышленную проверку» (№ госрегистрации 20033195) в рамках ГНПП «Леса Беларуси» (2003–2005 гг).

Цель и задачи исследования. Цель исследования - разработка лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру в геоинформационной системе «Лесные ресурсы», позволяющих получать распределение деревьев по ступеням толщины на основе таксационных показателей древостоев для решения практических задач при таксации лесосечного фонда, прогнозе роста и производительности древостоев.

Программой исследования предусматривалось решение следующих задач:

1. Разработка программы исследований и методики лесотаксационного моделирования строения древостоев по диаметру.
2. Изучение закономерностей строения древостоев по диаметру.
3. Выявление взаимосвязей между таксационными показателями древостоев и основными статистиками распределений числа деревьев по диаметру.
4. Моделирование строения древостоев по диаметру на основе функций распределения случайных величин.
5. Разработка лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру.
6. Моделирование строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы».
7. Решение практических задач по таксации лесосечного фонда.

Объект исследования – чистые одновозрастные сосновые, еловые, березовые, черноольховые и осиновые насаждения Республики Беларусь, которые занимают около 30 % лесопокрытой площади государственного лесного фонда. Предмет исследования – закономерности строения древостоев по диаметру.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) методика лесотаксационного моделирования строения древостоев по диаметру для основных лесообразующих пород Беларуси, отличающаяся применением новых методов лесотаксационного моделирования с использованием геоинформационных технологий и повыведельной базы данных по лесным ресурсам;
- 2) закономерности строения древостоев по диаметру чистых одновозрастных сосновых, еловых, березовых, осиновых и черноольховых насаждений, используемые при разработке лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы»;
- 3) лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы», позволяющие получать распределение деревьев по ступеням толщины для основных лесообразующих пород Беларуси на основе таксационных показателей насаждения из повыведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» и материалов выборочной таксации древостоев, для решения практических задач при подготовке лесосечного фонда и материально-денежной оценке лесосек;
- 4) лесотаксационные модели динамики строения древостоев по диаметру для модальных сосновых, еловых, березовых и осиновых насаждений, приме-

няемые при оценке товарности древостоев, разработке новых товарных и сортиментных таблиц основных лесообразующих пород Беларуси.

Личный вклад соискателя. Диссертация является самостоятельным и законченным трудом. Автором выполнена постановка задачи, разработаны программа и методика исследований, обоснованы теоретические и методические положения ее реализации, проведен сбор и анализ экспериментального материала, проведена статистическая обработка полученных данных, сделаны выводы, подготовлено заключение и предложены рекомендации производству. Работа выполнена лично соискателем и представлена к защите впервые. Экспериментальные данные получены автором лично, а также при проведении совместных исследований со специалистами РУП «Белгослес», лесхозов республики и сотрудниками кафедры лесоустройства, за что выражаем им искреннюю благодарность. В статьях [1, 3-5, 11] подготовленных в соавторстве и без соавторов, диссертант выполнил анализ результатов исследований отечественных и зарубежных авторов по изучению закономерностей строения древостоев и использованию геоинформационных систем в управлении лесами и лесном хозяйстве, провел обработку опытных данных. В статьях [2, 4, 6-10, 12-13] диссертанту принадлежит постановка задачи, разработка методических положений и их реализация, сбор и обработка данных, анализ результатов.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации доложены автором и обсуждены на республиканских научных и научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ (1998–2004, 2007); на международных конференциях: Международной научно-технической конференции «Лес – экология и ресурсы» (Минск, 1998); Международной научной конференции «Лес, наука, молодежь» (Гомель, 1999); Международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности» (Минск, 1999), Международной конференции молодых учёных «Леса Евразии в XXI веке: Восток – Запад» (Москва, 2002), Международной конференции молодых ученых, посвященной академику И.С. Погребняку «Леса Евразии – Восточные Карпаты» (Москва, 2004).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 9 статей в научных изданиях, включенных в Перечень ВАК Республики Беларусь, и 4 в прочих изданиях. Общий объем опубликованных материалов составляет 3,3 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристика работы, четырех глав, заключения, рекомендаций по практическому использованию результатов, библиографического списка и приложений; изложена на 242 страницах машинописного текста, содержит 35 таблиц,

42 рисунка и 8 приложений. Список использованных литературных источников включает 174 наименования, из них 34 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Современное состояние проблемы

Анализируются результаты исследований отечественных и зарубежных авторов по изучению закономерностей строения древостоев по диаметру и использованию геоинформационных систем в управлении лесами и лесном хозяйстве.

Изучением строения древостоев лесоводы занимаются более 150 лет (В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик, 1996). Большой вклад в решение этой проблемы внесли А.В. Тюрин (1930), Н.В. Третьяков (1927), В.К. Захаров (1967), К.Е. Никитин (1966), А. Г. Мошкалев (1975), Н.Н. Свалов (1979), В.Ф. Багинский (1996), О.А. Атрощенко (1985, 2004).

Наибольшее распространение при изучении строения древостоев находит направление по изучению распределений деревьев по таксационным показателям.

Анализируя многочисленные работы по моделированию строения древостоев по диаметру, можно отметить, что наиболее часто использовались для аппроксимации рядов распределения числа деревьев по диаметру – нормальное, обобщенное нормальное, логарифмически–нормальное, функция Вейбулла, гамма- и бета-распределения. При этом лучшим для аппроксимации строения древостоев по диаметру в большинстве случаев было бета-распределение либо распределение Вейбулла.

Анализ современных тенденций развития лесного хозяйства подтверждает широкое распространение геоинформационных технологий (М. И. Швец (2002), О. А. Атрощенко (2003), А. Кулешис, А. Руткаускас(2002), J. S.Friends, A. Jolly, C. Lin, I. Minkkinen (2000)).

Внедрение в лесное хозяйство геоинформационных систем позволяет значительно ускорить оперативность получения и обновления информации о лесных ресурсах при ведении лесного хозяйства и повысить эффективность и комплексность использования лесосырьевых ресурсов. Перспективным направлением является использование закономерностей строения древостоев в виде моделей на ЭВМ на основе таксационных показателей древостоев повидельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» для таксации лесосечного фонда, сортиментации запасов древостоев, прогноза роста и производительности насаждений.

Методика и объекты исследования

Исследования выполнены на кафедре лесоустройства УО БГТУ в 1998–2008 гг. Экспериментальный материал собран за 1998–2004 годы.

Автором собраны и обработаны данные перечислительной таксации на 475 временных пробных площадях, из них: 236 пробных площадей – материалы кафедры лесоустройства БГТУ, 159 пробных площадей – материалы РУП «Белгослес».

Самостоятельно автором заложены 80 временных пробных площадей, для разработки лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру, и 12 контрольных временных пробных площадей, для проверки лесотаксационных моделей.

Опытный материал охватывает все возрастные периоды, от молодняков до спелых и перестойных насаждений, характеризуется широким рангом по условиям произрастания, по возрасту и другим таксационным показателям (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1 – Распределение пробных площадей по классам возраста

Преобладающая порода	Классы возраста								Всего
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Сосна	19	29	32	30	13	2			125
Ель	5	29	30	37	4	3	1		109
Береза	3	15	24	19	21	17	20	7	126
Осина			6	12	11	9			38
Ольха черная			7	11	24	20	10	5	77
Итого	27	73	99	109	73	51	31	12	475

Наиболее представлены средневозрастные (31,6% – 150 пробных площадей) и приспевающие (25,3% – 120 пробных площадей) насаждения. Доля спелых лесов составляет 21%. Перестойные древостои представлены 2,5% пробных площадей, заложенных в березовых и черноольховых насаждениях.



Рисунок 1 – Распределение пробных площадей по классам бонитета

Таксация древостоев и обработка данных перечислительной таксации выполнялись по принятым в лесной науке методам, разработанным А.В. Тюриным (1945), В.К. Захаровым (1967), Н.П. Ануциным (1982), В.С. Мирошниковым с авторами (1980).

Закладка временных пробных площадей и таксация древостоев на них выполнялась по ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки».

Таксационные показатели древостоя вычислялись на ЭВМ по программе CSP, разработанной на кафедре лесоустройства БГТУ.

Проверка опытного материала на однородность выполнялась методом, разработанным П.Н. Курбатским и Г.А. Макеевым, под руководством проф. Н.В. Третьякова (1937).

Статистическая обработка экспериментальных данных и моделирование строения древостоев по диаметру выполнены на ЭВМ с использованием программ кафедры лесоустройства БГТУ, пакета прикладных программ STATISTICA и пакета Microsoft Excel.

Моделирование строения древостоев по диаметру выполнено путем аппроксимации опытных распределений функциями теоретических распределений. Для выравнивания применены функции нормального распределения, бета-функция и распределение Вейбулла. Параметры и теоретические частоты нормального распределения и бета-функции вычислялись с использованием программ О.А. Атрошенко (1985). Для вычисления параметров распределения Вейбулла в Microsoft Excel была создана электронная таблица «Проба», которая кроме оценки параметров, позволяет вычислять число стволов по ступеням толщины.

Соответствие между теоретическим и опытным распределениями определяли по критерию χ^2 Пирсона с доверительной вероятностью 0,95.

На основе данных перечислительной таксации древостоев и выдельной базы данных геоинформационной системы «Лесные ресурсы» разработаны лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру для чистых разновозрастных сосновых, еловых, березовых, осиновых и черноольховых насаждений.

В Microsoft Excel с применением языка программирования VBA (Visual Basic for Application) создана система моделирования распределения числа деревьев по ступеням толщины по данным ГИС «Лесные ресурсы», состоящая из отдельных электронных таблиц «Перечет» для каждой из перечисленных выше лесообразующих пород.

Для проверки лесотаксационных моделей выполнялась оценка надежности и точности результатов в сравнении с данными ГИС «Лесные ресурсы» и перечислительной таксации древостоев на контрольных временных пробных площадях.

Для возможности практического применения разработанных лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» осуществлялась оценка надежности и точности результатов в сравнении с данными перечислительной таксации спелых древостоев на лесосеках главного пользования. При этом сравнивался выход и таксовая стоимость общего запаса, ликвида, деловой древесины по категориям крушности, полученные на лесосеках и при моделировании строения древостоев по диаметру в геоинформационной системе «Лесные ресурсы».

Закономерности строения древостоев по диаметру

Закономерности строения древостоев, их частей и совокупностей являются теоретической основой разработки методов таксации леса, учета лесного и лесосечного фонда, широко используются при подготовке справочно-нормативных лесотаксационных материалов (О. А. Атрощенко, 1985).

Распределение числа деревьев по диаметру определяется статистическими показателями выборочных распределений (О. А. Атрощенко, 1985; О. А. Труль, 1966).

Анализ основных статистик распределения показал, что средний диаметр исследуемых древостоев изменяется от 3,1 до 38,7 см. Коэффициент вариации средних диаметров в сосновых, еловых и березовых древостоях составляет 42 %, а в осиновых и черноольховых – 30 %. Данное различие объясняется тем, что осиновые и черноольховые древостои представлены средневозрастными, приспевающими и спелыми насаждениями. Коэффициент вариации средних диаметров древостоев принимает значения в сосняках от 16,1 %, до 50,4 %, в ельниках от 22,2 до 57,9 %. Среднеквадратическое отклонение распределений деревьев по диаметру изменяется от 1,4 до 10,1 см.

Анализируя динамику основных статистик выборочных распределений числа деревьев по ступеням толщины, можно отметить, что с увеличением среднего диаметра и возраста древостоя среднеквадратическое отклонение увеличивается. При ухудшении условий произрастания древостоев, т. е. при переходе от высокобонитетных насаждений (I^a – I класс бонитета) к низкобонитетным (IV – V класс бонитета), наблюдается уменьшение показателя степени варьирования диаметров деревьев вокруг среднеарифметического диаметра древостоя (рисунок 2).

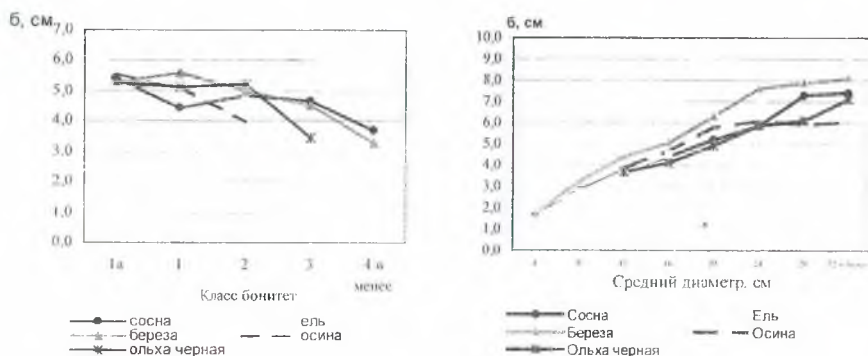


Рисунок 2 – Изменение среднеквадратического отклонения по классам бонитета и среднему диаметру древостоя в разрезе древесных пород

Если динамика показателя асимметрии ряда распределения числа деревьев по диаметру имеет определенные закономерности, характерные для всех исследованных древостоев, то показатели эксцесса изменяются по-разному. При ухудшении условий произрастания в сосняках коэффициент эксцесса уменьша-

ется, в березняках – увеличивается, а затем уменьшается, в ельниках, осинниках и черноольшаниках – находится на одном уровне, а при увеличении возраста и среднего диаметра древостоя в березовых насаждениях коэффициент эксцесса уменьшается. В сосняках, ельниках, осинниках и черноольшаниках данный параметр практически не изменяется.

Следует отметить, что статистические показатели отдельных опытных распределений могут значительно отличаться от описанных выше закономерностей изменения статистик опытных распределений от среднего диаметра древостоя, возраста и бонитета.

Выполненные исследования показывают, что наиболее перспективными для моделирования и разработки лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру являются такие показатели распределений: 1) площадь под кривой распределения, т. е. число деревьев; 2) центр распределения или средний диаметр древостоя; 3) масштаб распределения или среднеквадратическое отклонение. Соответственно, практическое значение приобретают функции теоретических распределений, имеющие данные параметры. К ним относятся: нормальное, гамма- и бета-распределения, функция Вейбулла, распределение Пуассона и Джонсона (Никитин, Швиденко, 1978; Хастингс, 1980).

В теории строения древостоев главным вопросом является выбор теоретических функций для моделирования распределений диаметров деревьев в древостоев.

Данные соответствия опытных распределений функциям теоретических распределений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Соответствие опытных распределений числа деревьев по диаметру функциям теоретических распределений (в % от общего числа древостоев)

Древесная порода	Тип распределения. %		
	нормальное	бета-распределение	функция Вейбулла
Сосна	4.0	79.2	64.8
Ель	2.8	83.5	74.1
Береза	2.4	55.6	57.1
Осина	–	68.4	71.1
Ольха черная	–	72.7	61.0
Итого	2.3	72.0	64.8

Аналитическое обобщение данных аппроксимации показало, что лучшие результаты при моделировании опытных распределений числа деревьев по ступеням толщины дает бета-распределение, которое аппроксимирует 72 % экспериментальных данных. Хотя следует также отметить, что в осиновых и березовых древостоях несколько лучшие результаты показывает функция распределения Вейбулла.

Исходя из того, что наиболее универсальным по данным аппроксимации 475 опытных рядов распределения числа деревьев по диаметру является бета-распределение, оно и было выбрано в качестве теоретической функции распределения для разработки и создания лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы».

Одной из задач моделирования строения древостоев по диаметру является получение распределения деревьев по ступеням толщины на основе таксационных показателей древостоя без сплошного перечета деревьев. Это возможно выполнить, если будут разработаны модели связи параметров теоретического распределения с таксационными показателями древостоя.

Для выявления связей между статистиками выборочных распределений и таксационными показателями древостоев выполнен корреляционный анализ.

Корреляционный анализ в исследуемых древостоях выявил тесную корреляцию между возрастом древостоя и средней высотой, средним диаметром древостоя и среднеарифметическим диаметром ряда распределения, размахом распределения и максимальным диаметром опытных распределений числа деревьев по ступеням толщины ($r > 0,750$) (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты парной корреляции между таксационными показателями и статистиками выборочных распределений деревьев по диаметру в сосновых древостоях

Таксационные показатели	Статистики выборочных распределений деревьев по диаметру							
	\bar{D}	D_{\min}	D_{\max}	W	σ	As	E	V
A	0,799	0,687	0,815	0,771	0,742	-0,043	0,302	-0,533
H	0,920	0,758	0,921	0,881	0,870	-0,195	0,165	-0,559
D	0,996	0,870	0,968	0,891	0,875	-0,226	0,189	-0,634
N	-0,778	-0,651	-0,778	-0,739	-0,707	0,174	-0,236	0,668
G	0,522	0,487	0,514	0,461	0,471	-0,101	-0,026	-0,327

Примечание – A – средний возраст; H – средняя высота; D – средний диаметр; N – кол-во деревьев; G – сумма площадей сечений; \bar{D} – среднесарифметический диаметр ряда распределения; D_{\min} – минимальный диаметр; D_{\max} – максимальный диаметр; W – размах ряда распределения; σ – среднеквадратическое отклонение; As – коэффициент асимметрии; E – коэффициент эксцесса; V – коэффициент вариации.

Для создания лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру на основе таксационных показателей по выделной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» разработаны модели связи среднеарифметического значения ряда распределения деревьев по диаметру (\bar{D}), максимального диаметра деревьев в древостое (D_{\max}), размаха (W) и среднеквадратического отклонения (σ) ряда распределения числа деревьев по диаметру со средним таксационным диаметром (D), возрастом (A), средней высотой (H) и суммой площадей сечений древостоя (G).

Уравнения связи среднеарифметического значения ряда распределения деревьев по диаметру (\bar{D}) со средним таксационным диаметром древостоя (D) имеют вид:

сосновые древостои

$$\bar{D}(c.m) = -0,381 + 0,985 \times D(c.m) \quad (1)$$

слобые древостои

$$\bar{D}(c.m) = -0,233 + 0,964 \times D(c.m) \quad (2)$$

березовые древостои

$$\bar{D}(см) = -0,261 + 0,963 \times D(см) \quad (3)$$

осиновые древостои

$$\bar{D}(см) = -0,767 + 1,002 \times D(см) \quad (4)$$

черноольховые древостои

$$\bar{D}(см) = 0,915 \times D(см) \quad (5)$$

Уравнения связи максимального диаметра деревьев в древостоях (D_{max}) со средним диаметром (D), средней высотой (H) и возрастом насаждения (A) имеют вид:

сосновые древостои

$$D_{max}(см) = 0,065 \left(\frac{см}{лет} \right) \times A(лет) + 1,101 \times D(см) + 0,428 \left(\frac{см}{м} \right) \times H(м) \quad (6)$$

еловые древостои

$$D_{max}(см) = \exp(1,751 + 0,132 \times D(см)) - 0,002 \left(\frac{см}{см^2} \right) \times D^2(см) \quad (7)$$

березовые древостои

$$D_{max}(см) = \exp(1,896 + 0,022 \left(\frac{см}{м} \right) \times H(м) + 0,104 \times D(см) - 0,002 \left(\frac{см}{см^2} \right) \times D^2(см)) \quad (8)$$

осиновые древостои

$$D_{max}(см) = 2,711 \times D(см) - 0,038 \left(\frac{см}{см^2} \right) \times D^2(см) \quad (9)$$

черноольховые древостои

$$D_{max}(см) = 16,119 + 0,511 \left(\frac{см}{м} \right) \times H(м) + 0,001 \left(\frac{см}{см^3} \right) \times D^3(см) \quad (10)$$

Уравнения связи размаха ряда распределения диаметров деревьев в древостое (W) со средним диаметром (D), средней высотой (H), возрастом (A) и суммой площадей сечений насаждения (G) имеют вид:

сосновые древостои

$$W(см) = \exp(1,756 + 0,002 \left(\frac{см}{лет} \right) \times A(лет) + 0,071 \times D(см) - 0,001 \left(\frac{см}{см^2} \right) \times D^2 + 0,023 \left(\frac{см}{м} \right) \times H(м)) \quad (11)$$

еловые древостои

$$W(см) = \exp(1,9261 + 0,024 \times D(см) + 0,033 \left(\frac{см}{м} \right) \times H(м) + 0,006 \left(\frac{см}{м^2} \right) \times G(м^2)) \quad (12)$$

березовые древостои

$$W(см) = 5,943 + 0,604 \left(\frac{см}{м} \right) \times H(м) + 0,097 \left(\frac{см}{лет} \right) \times A(лет) + 0,017 \left(\frac{см}{см^2} \right) \times D^2 \quad (13)$$

осиновые древостои

$$W(см) = 3,265 \times D(см) - 0,061 \left(\frac{см}{см^2} \right) \times D^2(см) - 0,410 \left(\frac{см}{м^2} \right) \times G(м^2) \quad (14)$$

черноольховые древостои

$$W(см) = 6,945 + \exp(0,948 + 0,017 \left(\frac{см}{м} \right) \times H + 0,069 \times D(см)) \quad (15)$$

Разработанные модели связи среднеарифметического диаметра, максимально-го диаметра, размаха и среднеквадратического отклонения ряда распределения числа деревьев по диаметру с таксационными показателями древостоев достоверны по F -критерию Фишера, объясняют более 83 % вариации зависимых переменных со среднеквадратической ошибкой не более $\pm 10\%$. Во всех моделях коэффициенты регрессии значимы на 5 %-ном уровне по t -критерию Стьюдента.

Лесотаксационное моделирование строения древостоев по диаметру в геонформационной системе «Лесные ресурсы»

Достоинства имитационных моделей достаточно хорошо показаны в работах О. А. Атрошенко (1985, 2004), В. Ф. Багинского, Л. Д. Есимчика (1996), К. Е. Никитина и А. З. Швиденко (1978), Н. Н. Свалова (1978), Р. Бейли и Т. Дэлла (1973), Х. Шрейдера и В. Шванка (1974), Х. Вялиахо (1973), И. В. Толкача (1998).

ГИС «Лесные ресурсы» является специализированной системой и предназначена для лесохозяйственных предприятий (лесхозов, леспромхозов и т. д.), управлений лесного хозяйства и лесной промышленности. Основным принципом работы ГИС «Лесные ресурсы» является возможность одновременной работы с картографической и повыведельной (атрибутивной) базами данных.

Исходными данными для моделирования распределения числа деревьев по ступеням толщины являются таксационные показатели насаждения, указанные в повыведельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» – древесная порода, возраст (A), средний (таксационный) диаметр (D), средняя высота древостоя (H), сумма площадей сечений (G) или относительная полнота древостоя (p), запас (M), класс бонитета ($H100$). Все таксационные показатели насаждений в повыведельную базу данных ГИС «Лесные ресурсы» заносятся из таксационного описания.

Структурная схема лесотаксационной модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» представлена на рисунке 3.

Основное назначение лесотаксационной модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» – по таксационным показателям повыведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» получить перечень деревьев по ступеням толщины.

Результатом работы лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» являются распределение числа стволов по ступеням толщины и таксационные показатели, полученные на основе теоретического распределения и по моделям связи: средний диаметр древостоя, средние высоты по ступеням толщины, средняя высота древостоя, видовые высоты по ступеням толщины, сумма площадей сечений, и, как результат, запас древостоя. Разработанные лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру составляют единую систему моделирования строения по диаметру чистых одновозрастных древостоев в ГИС «Лесные ресурсы» на основе таксационных показателей из повыведельной базы данных.

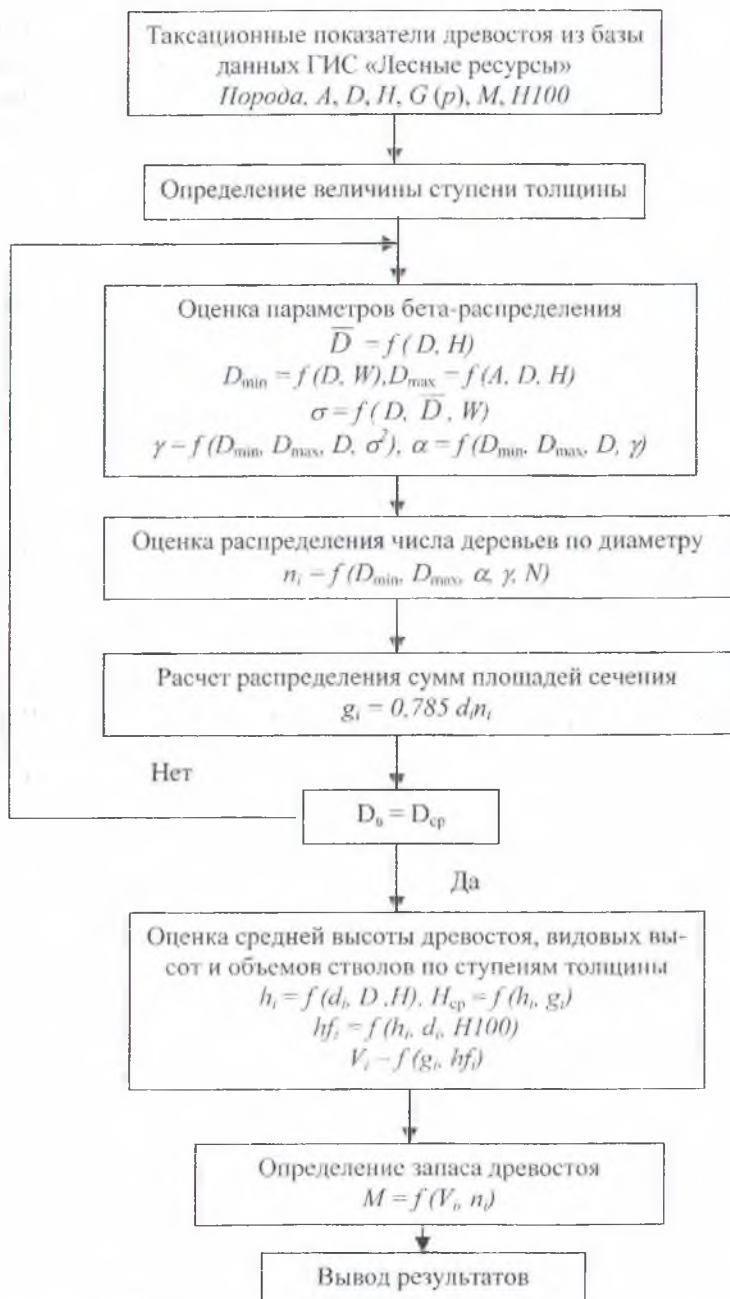


Рисунок 3 – Лесотаксационная модель строения древостоев по диаметру по данным ГИС «Лесные ресурсы»

Для проверки точности и надежности системы моделирования строения древостоев по диаметру в сравнении с данными поведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» и данными перечислительной таксации было подобрано 12 контрольных временных пробных площадей. На ЭВМ выполнен эксперимент с применением системы моделирования строения древостоев по диаметру на основе данных поведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» и данных перечислительной таксации древостоев на пробных площадях.

В результате моделирования строения древостоев по диаметру на контрольных пробных площадях в системе моделирования по данным ГИС «Лесные ресурсы» и данным перечислительной таксации установлено, что средний диаметр древостоя определяется точно, максимальные относительные отклонения при определении таксационных показателей по данным теоретического распределения не превышают 1,5 % – при оценке суммы площадей сечений, 9,5 % – при оценке запаса древостоя и 2,0 % – при оценке числа стволов на 1 га. Среднеквадратическая ошибка оценки таксационных показателей составляет: средней высоты древостоя – 5,7 %, суммы площадей сечений – 0,55 %, числа стволов на 1 га – 0,61 %, запаса древостоя – 5,2 %.

Точность и надежность результатов работы системы моделирования строения древостоев по диаметру зависят от точности исходных данных таксации насаждений. Поэтому необходимо перед использованием данных ГИС «Лесные ресурсы» для получения распределения числа стволов по ступеням толщины в древостоях проводить выборочную таксацию с закладкой круговых реласкопических площадок для корректировки данных лесоустройства.

В соответствии с «Правилами по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь» (2006) таксация лесосек при отпуске древесины на корню может осуществляться с использованием материалов лесоустройства. Таксация лесосек с использованием материалов лесоустройства проводится в участках, намеченных лесоустройством для проведения прореживаний и прочих рубок леса.

Для возможности практического применения в ГИС «Лесные ресурсы» разработанной системы моделирования строения древостоев по диаметру в Сморгонском, Минском и Осиповичском лесхозах совместно с работниками лесхоза выполнена перечислительная таксация 14 лесосек главного пользования в спелых сосновых, еловых, березовых и черноольховых древостоях.

Для оценки надежности данных моделирования строения по диаметру лесосек главного пользования сравнивался выход и таксовая стоимость общего запаса, ликвида и деловой древесины по категориям крупности, определялись абсолютные и относительные ошибки оценки таксационных показателей, выхода древесины по категориям крупности и таксовой стоимости.

Результаты моделирования строения по диаметру лесосек с использованием системы моделирования строения древостоев показывают, что общий запас древесины оценивается надежно (отклонения от -1,9 до +5,9 %), отклонения по выходу деловой древесины составляют от -7,0 до +1,6 %, по ликвидной

древесине – от –1,6 до +5,8 %, по общей таксовой стоимости – от –6,1 % до +4,1 %. Отклонения по объему крупной деловой древесины в целом не превышают $\pm 10,5$ %, по объему средней деловой древесины, в большинстве случаев, отклонения не превышают ± 10 %. Отклонения по выходу мелкой деловой древесины в целом не превышают ± 18 % (таблица 4).

Таблица 4 – Точность оценки в системе моделирования выхода деловой древесины

Показатель		Деловая древесина				Ликвид	Общий запас
		крупная	средняя	мелкая	итого		
Максимальные абсолютные отклонения, м ³	+	8,0	13,0	6,8	2,0	17,0	13,0
	-	9,0	40,0	1,9	61,0	11,0	8,0
Максимальные относительные отклонения, %	+	15,8	7,6	23,4	1,6	3,0	5,9
	-	10,2	13,7	27,1	7,0	5,8	1,9
Среднеквадратическая ошибка, %		7,0	7,0	14,5	3,5	1,9	2,0

Общий выход деловой и ликвидной древесины, таксовая стоимость древесины на корню незначительно различаются по лесотаксационным моделям в сравнении с данными сплошного перече́та, отклонения не превышают 3,5 % (таблица 5).

Таблица 5 - Общий выход и таксовая стоимость древесины на лесосеках

Способ оценки	Деловая древесина		Ликвид	
	м ³	тыс. руб	м ³	тыс. руб
Сплошной пере́чет	6029	87895,0	8158	88356,7
Система моделирования	5837	85149,4	8204	85659,5
Отклонения, %	3,2	3,1	0,6	3,0

Разработанная система моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» позволяет получать таблицы динамики строения древостоев по диаметру в дополнении к таблицам хода роста насаждений. Созданы модели динамики строения древостоев по диаметру для модальных сосновых, еловых, березовых и осиновых насаждений на основе таблиц динамики таксационных показателей модальных древостоев БССР (В.Ф. Багинский, 1984).

Экономическую эффективность системы моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» определяли при отводе и материально-денежной оценке запаса древостоя на лесосеке главного пользования. Издержки на проведение работ по отводу лесосеки главного пользования на площади 1 га со сплошным пере́четом составляют 13 355 рублей, в ценах 2007 года. При отводе и таксации лесосеки выборочным методом с закладкой реласкопических круговых площадок прямые затраты равны 7 395 рублей. Применение системы моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» для отвода и таксации лесосек главного пользования в лесах Министерства лесного хозяйства в 2007 году в чистых по составу насаждениях позволило бы получить годовой экономический эффект примерно равный 44 млн. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика лесотаксационного моделирования строения древостоев по диаметру для преобладающих пород Беларуси, отличающаяся применением новых методов лесотаксационного моделирования на основе геоинформационных технологий с использованием повывдельных баз данных по лесным ресурсам и позволяющая создать лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» [3, 6, 7, 8, 10].

2. Исследования закономерностей строения древостоев по диаметру показали, что с увеличением среднего диаметра древостоя от 3 до 38 см увеличивается среднеквадратическое отклонение от 2 до 10 см, размах ряда распределения числа деревьев по диаметру – от 8 до 48 см, уменьшается коэффициент вариации средних диаметров деревьев от 42 до 16 %. Показатели асимметрии и эксцесса распределения варьируют в значительных пределах (A_s – от $-0,43$ до $1,1$; E – от $-0,77$ до $1,45$). Наиболее надежными показателями при моделировании строения древостоев по диаметру являются среднеарифметический диаметр древостоя, максимальный диаметр и средний (таксационный) диаметр древостоя, размах ряда распределения диаметров деревьев в древостое [1, 2, 5, 6, 8, 10, 13].

3. Аналитическое описание опытных распределений числа деревьев по диаметру в древостоях на основе модели нормального распределения, функции Вейбулла и бета-распределения, показало, что лучшие результаты при моделировании строения древостоев по диаметру представляет модель бета-распределения (функция описывает 72 % опытных распределений). Модель нормального распределения достоверно аппроксимирует только распределения диаметров деревьев в спелых древостоях (функция описывает 2,3 % опытных распределений), функция Вейбулла, в целом, при моделировании строения древостоев уступает модели бета-распределения (функция описывает 65 % опытных распределений). Система моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» создана на основе применения функции бета-распределения [4, 6, 8, 10, 11, 12, 13].

4. Разработаны для преобладающих пород Республики Беларусь лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы». Разработанные лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру составляют единую систему моделирования строения древостоев по диаметру. Исходными данными для системы моделирования строения древостоев по диаметру являются таксационные показатели насаждений повывдельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» (порода, возраст, средний диаметр, средняя высота древостоя, относительная полнота древостоя, запас и класс бонитета). Проверка точности и надежности системы моделирования строения древостоев по диа-

метру опытными данными из поведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» и перечислительной таксации на временных пробных площадях показала, что средний диаметр определяется точно, максимальные относительные отклонения при определении таксационных показателей по данным системы моделирования на ЭВМ не превышают 1,5 % – при оценке суммы площадей сечений, 9,5 % – запаса древостоя и 2,0 % числа стволов на 1 га. Среднеквадратическая ошибка оценки таксационных показателей составляет: средней высоты древостоя – 5,7 %, суммы площадей сечений – 0,55 %, числа стволов на 1 га – 0,61 %, запаса древостоя – 5,2 % [6, 7, 8, 13].

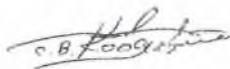
5. Практическое применение системы моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» на лесосеках главного пользования показывает, что общий запас древесины оценивается с ошибками от –1,9 до +5,9 %, выход деловой древесины – от –7,0 до +1,6 %, ликвидная древесина – от –1,6 до +5,8 %. Среднеквадратические ошибки в оценке выхода крупной и средней деловой древесины составляют $\pm 7,0$ %, мелкой деловой древесины $\pm 14,5$ %, общего объема деловой $\pm 3,5$ %, общего запаса древесины $\pm 2,0$ %. Общая таксовая стоимость древесины на 14 лесосеках главного пользования при оценке в системе моделирования строения древостоев отклоняется от фактической таксовой стоимости древесины на 3,5 % [9].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1) Систему моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» использовать для подготовки и таксации лесосечного фонда, материально-денежной оценки лесосек на основе поведельной базы данных и материалов выборочной таксации древостоев.

2) Лесотаксационные модели динамики строения модальных сосновых, еловых, березовых и осиновых насаждений применять для оценки товарности древостоев и сортиментной структуры лесосечного фонда, в лесоустроительном проектировании рубок леса и оценке производительности древостоев.

Результаты исследований внедрены в практику таксации лесосек ГЛХУ «Кличевский лесхоз» (акт внедрения от 14.05.2008 г.), используются в учебном процессе кафедры лесоустройства БГТУ по дисциплине «Лесная таксация» и в дипломном проектировании студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» (акт внедрения от 13.03.2008г.).


С. В. Козлов

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Публикации в научных изданиях согласно перечня ВАК

1. Морено, К. Ф. Строение и ход роста сосны яйцеплодной в Никарагуа / К. Ф. Морено, О. А. Атрощенко, **С. В. Ковалевский** // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 1998. – Вып. VI. – С. 42–47..
2. Ковалевский, С. В. Статистический анализ распределений диаметров деревьев в сосновых, еловых и березовых древостоях / **С. В. Ковалевский** / Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 1999. – Вып. VII. – С. 115–118.
3. Атрощенко, О. А. Имитационная модель строения древостоев по диаметру / О. А. Атрощенко, **С. В. Ковалевский** / Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 2000. – Вып. VIII. – С. 110–116.
4. Ковалевский, С. В. Аналитическое описание функций Вейбулла распределений деревьев по диаметру в сосновых древостоях / **С. В. Ковалевский**, О. А. Атрощенко / Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 2001. – Вып. IX. – С. 90–94.
5. Минкевич, С. И. Анализ таксационного строения сосновых древостоев по материалам выборочной лесоинвентаризации / С. И. Минкевич, **С. В. Ковалевский** / Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 2003. – Вып. XI. – С. 176–181.
6. Ковалевский, С. В. Моделирование строения сосновых древостоев по диаметру / **С. В. Ковалевский** / Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 2004. – Вып. XII. – С. 265–269.
7. Ковалевский, С. В. Имитационная модель строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы» / **С. В. Ковалевский** // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 2007. – Вып. XV. – С. 51–58.
8. Ковалевский, С. В. Моделирование строения древостоев по диаметру мягколиственных насаждений / **С. В. Ковалевский** // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2007. – Вып. 67 : [Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 310–319.
9. Ковалевский, С. В. Материально-денежная оценка запасов древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы» / **С. В. Ковалевский**, К. П. Бусел // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство. – 2008. – Вып. XVI. – С. 26–29.

Публикации в других научных изданиях

Материалы конференции и тезисы докладов

10. Ковалевский, С. В. Моделирование распределений деревьев по диаметру в сосновых, еловых и березовых древостоях / **С. В. Ковалевский** // Лес, наука, молодежь: материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 5–7 окт. 1999 г.: в

2 т./ Ин-т леса НАН Беларуси; редкол.: В. Ф. Багинский [и др.]. – Гомель, 1999. – Т. 1. – С. 65–67.

11. Атрощенко, О. А. Система моделирования строения древостоев по диаметру /О. А. Атрощенко, **С. В. Ковалевский** // Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–25 нояб. 1999 г. / Бел. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 1999. – С. 53–55.

12. Ковалевский, С. В. Моделирование распределений деревьев по диаметру в березовых, осиновых и черноольховых древостоях / **С. В. Ковалевский** // Леса Евразии в XXI веке: Восток – Запад: материалы Междунар. конф. молодых учёных, посвящ. проф. И. К. Пачоскому, Москва, 1–5 окт. 2002 г. / Москов. гос. ун-т леса; редкол.: А. Н. Обливин [и др.]. – Москва, 2002. – С.44–46.

13. Ковалевский, С. В. Моделирование строения еловых древостоев по диаметру / **С. В. Ковалевский** // Леса Евразии – Восточные Карпаты: материалы IV междунар. конф. молодых ученых, посвященной академику П. С. Погребняку. – Москва, 27 сент. – 1 окт. 2004 г. / Москов. гос. ун-т леса; редкол.: В. Г. Санаев [и др.]. – Москва, 2004. – С. 68–69.

РЭЗІЮМЭ

Кавалеўскі Сяргей Уладзіміравіч

Лесатаксацыйнае мадэляванне будовы дрэвастояў па дыяметры ў геаінфармацыйнай сістэме «Лясныя рэсурсы»

Ключавыя словы: будова дрэвастояў, размеркаванне колькасці дрэў па дыяметры, пробная плошча, геаінфармацыйная сістэма, базы звестак, бэта-размеркаванне, лесатаксацыйныя мадэлі, сістэма мадэлявання будовы дрэвастояў па дыяметры.

Аб'ект даследавання: чыстыя аднаўзроставыя сасновыя, яловыя, бярозаваыя, асінавыя і чарнавольхавыя насаджэнні Рэспублікі Беларусь.

Прадмет даследавання: заканамернасці будовы дрэвастояў па дыяметры.

Мэта працы: распрацоўка лесатаксацыйных мадэляў будовы дрэвастояў па дыяметры ў геаінфармацыйнай сістэме «Лясныя рэсурсы», якія дазваляюць атрымліваць размеркаванне дрэў па ступенях таўшчыні на аснове таксацыйных паказчыкаў дрэвастояў для вырашэння практычных задач пры таксацыі леса-сечнага фонду, прагнозе росту і прадукцыйнасці дрэвастояў.

Метады даследавання заснаваны на метадах лясной таксацыі, лясной біяметрыі, імітацыйнага мадэлявання і спецыялізаваных праграмах на ЭВМ.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацавана метадыка лесатаксацыйнага мадэлявання будовы дрэвастояў па дыяметры для асноўных парод Беларусі, якая вызначаецца прамяненнем новых метадаў лесатаксацыйнага мадэлявання на аснове геаінфармацыйных тэхналогій з выкарыстаннем павыдзельных баз звестак па лясных рэсурсах; лесатаксацыйныя мадэлі будовы дрэвастояў па дыяметры ў ГІС «Лясныя рэсурсы». Створана сістэма мадэлявання будовы дрэвастояў па дыяметры ў ГІС «Лясныя рэсурсы», якая дазваляе атрымліваць размеркаванне дрэў па ступенях таўшчыні на аснове таксацыйных паказчыкаў насаджэнняў з павыдзельнай базы звестак.

Ступень выкарыстання. Вынікі даследавання ўкаранёны ў практыку таксацыі лесасек ДЛГУ «Клічаўскі лягас» і выкарыстоўваюцца ў вучэбным працэсе кафедры лесаўпарадкавання БДГУ па дысцыпліне «Лясная таксацыя», курсавым і дыпломным праектаванні.

Галіна выкарыстання. Дзяржаўныя лесагаспадарчыя ўстановы Міністэрства лясной гаспадаркі і іншыя лесафондаўтрымальнікі.

Ковалевский Сергей Владимирович

Лесотаксационное моделирование строения древостоев по диаметру в геоинформационной системе «Лесные ресурсы»

Ключевые слова: строение древостоев, распределение числа деревьев по диаметру, пробные площади, геоинформационные системы, базы данных, бета-распределение, лесотаксационные модели, система моделирования строения древостоев по диаметру.

Объект исследований: чистые одновозрастные сосновые, еловые, березовые, черноольховые и осиновые древостои Республики Беларусь.

Предмет исследований: закономерности строения древостоев по диаметру.

Цель работы: разработка лесотаксационных моделей строения древостоев по диаметру в геоинформационной системе «Лесные ресурсы», позволяющих получать распределение деревьев по ступеням толщины на основе таксационных показателей древостоев для решения практических задач при таксации лесосечного фонда, прогнозе роста и производительности древостоев.

Методы исследования основаны на методах лесной таксации, лесной биометрии, имитационного моделирования и прикладных программах на ЭВМ.

Полученные результаты и их новизна. Разработана методика лесотаксационного моделирования строения древостоев по диаметру для преобладающих пород Беларуси, отличающаяся применением новых методов лесотаксационного моделирования на основе геоинформационных технологий с использованием повывдельных баз данных по лесным ресурсам; лесотаксационные модели строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы». Создана система моделирования строения древостоев по диаметру в ГИС «Лесные ресурсы», позволяющая получать распределение деревьев по ступеням толщины на основе таксационных показателей насаждений из повывдельной базы данных.

Степень использования. Результаты исследования внедрены в практику таксации лесосек ГЛХУ «Кличевский лесхоз» и используются в учебном процессе кафедры лесоустройства БГТУ по дисциплине «Лесная таксация», курсовом и дипломном проектировании.

Область применения. Государственные лесохозяйственные учреждения Министерства лесного хозяйства и другие лесфондодержатели.

SUMMARY

Kavaleuski Siarhei Uladimiravich

Forest mensuration modeling of forest stands diameter structure based on geographical information system «Forest Resources»

Key words: forest stands structure, tree number distribution throughout the diameters, sample plots, geographical information systems, database, beta-distribution, forest mensuration models, system of forests stands diameter structure modeling.

Matter for scientific inquiry – pure even-aged pine, spruce, birch, black alder, aspen forest stands of Belarus.

The subject for the study – forest stands diameter structure principles.

The purpose of the research – working out of forest mensuration models of forest stands diameter structure based on geographical information system «Forest Resources». In a result, it allows getting tree number distribution throughout the diameters based on forest stands characteristics in order to solve the practical problems during forest inventory of forest cutting-areas as well as for prognosis of growth and yield of forest stands.

Research methods – forest mensuration methods-based, as well as based on the methods of forest biometry, imitation modeling and computer application software.

Scientific novelty and importance – forest stands diameter structure modeling procedure for the main tree species of Belarus has been worked out. Its distinguishing feature is the applications of recent forest mensuration modeling methods on the basis of geographical information technologies with forest resources standwise database-based. Forest mensuration models of forest stands diameter structure based on geographical information system «Forest Resources» have been developed. A system of the modeling of forest stands diameter structure based on geographical information system «Forest Resources» has been created. The system allows getting tree number distribution throughout the diameters based on forest stands characteristics from forest stand database.

Degree of application. The research results are introduced for forest inventory works of forest cutting-areas in the State Forest Enterprise «Klichauski Lyashas». Also the results are in use in the university curriculum for the classes in forest mensuration as well as for diploma projecting.

Field of application. The state forest enterprises of the Ministry of Forestry as well as other forest land owners.

1145 ар
БІБЛІЯТЭКА
Беларускага дзяржаўнага
тэхналагічнага ўніверсітэта

Научное издание

Ковалевский Сергей Владимирович

**ЛЕСОТАКСАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ
ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЕ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук
по специальности 06.03.02 – лесоустройство и лесная таксация

Ответственный за выпуск С. В. Ковалевский

Подписано в печать 20.11.2008. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Уч. изд. л. 1,3.

Тираж 60 экз. Заказ 464.

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050, Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050, Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.