

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК [630\*562.2:582.475]:004.9(043.3)(476)

**СИДЕЛЬНИК**  
**Николай Ярославович**

**ЛЕСОТАКСАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРИРОСТА  
ПО ЗАПАСУ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

по специальности 06.03.02 – лесоустройство и лесная таксация

Минск 2010

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:

**Булавик Иван Макарович**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией радиологии лесных экосистем, старший научный сотрудник РНИУП «Институт радиологии»;

**Цай Сергей Сергеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий инженер отдела приема и обработки космической информации РУП «Белгослес»

Оппонирующая организация

Государственное научное учреждение «Институт леса Национальной академии наук Беларуси»

Защита диссертации состоится «29» июня 2010 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.08.05 в УО «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, тел.: (8-017) 226-08-43, факс: (8-017) 227-62-17, e-mail: minkevich@mail.by

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

Автореферат разослан «28» мая 2010 г.

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



Минкевич С.И.

## ВВЕДЕНИЕ

Леса Республики Беларусь занимают 37,8% ее территории с общей площадью лесного фонда – 9,4 млн. га и общим запасом древостоев 1,4 млрд. м<sup>3</sup>. Общий средний прирост лесов составляет 28 млн. м<sup>3</sup> в год, а размер лесопользования 14–15 млн. м<sup>3</sup> в год.

В Программе развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2007–2011 годы определена основная цель лесного хозяйства – повышение эффективности и комплексности использования лесосырьевых ресурсов при соблюдении принципа непрерывности и неистощительности лесопользования. Поставлены задачи повышения продуктивности лесов, улучшения их породной и возрастной структуры на основе рационального лесопользования и лесовосстановления.

Реализация поставленных задач предопределяет повышение точности таксации лесов, получения актуализированной, достоверной и надежной информации о состоянии лесного фонда, приросте и производительности насаждений, на основе которой возможно принимать оптимальные решения при разработке программ ведения лесного хозяйства, увеличении размера лесопользования и доходов лесного хозяйства. Информация о приросте древостоев обеспечивает контроль состояния лесов и продуктивности насаждений при непрерывном и неистощительном лесопользовании.

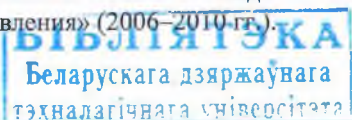
С помощью геоинформационной системы (ГИС) «Лесные ресурсы» можно получать оперативную актуализированную информацию о лесном фонде, текущем и среднем приросте древостоев, лесных массивов, насаждений лесничества и лесхоза.

Актуальное значение имеет оценка прироста сосновых древостоев в повысительной базе данных геоинформационной системы «Лесные ресурсы» для актуализации лесного фонда, нормирования лесопользования, устойчивого управления лесами, мониторинга лесов и лесных ресурсов, контроля проведенных лесохозяйственных мероприятий.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Диссертационная работа выполнена в 2002–2010 гг. и явилась составной частью научно-исследовательских проектов и заданий кафедры лесоустройства: 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 сортиментов и провести опытно-промышленную проверку» (2003–2005 гг.); ГБ 4-06 «Разработать и внедрить систему оптимизации размера лесопользования в лесах Беларуси в соответствии с национальными и международными стандартами» (2006–2010 гг.), Государственной научно-технической программы «Управление лесами и рациональное лесопользование» (задание 1.17 «Разработать и внедрить оптимальную породную и возрастную структуру лесов по лесохозяйственным учреждениям на основе ГИС «Лесные ресурсы» и результатов почвенно-типологического обследования лесов, рационального лесопользования и лесовосстановления» (2006–2010 гг.).

1363 ар



**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – разработать лесотаксационные модели прироста по запасу и производительности сосновых древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы» для актуализации лесного фонда, нормирования лесопользования и устойчивого управления лесами.

Для достижения поставленной цели решены следующие основные задачи:

- 1) выполнить анализ направлений моделирования прироста по запасу и производительности сосновых древостоев по классам бонитета;
- 2) изучить закономерности связей прироста с таксационными показателями сосновых древостоев, изменения прироста по запасу с возрастом и классами бонитета древостоев;
- 3) разработать лесотаксационные модели прироста по запасу и производительности сосновых древостоев по классам бонитета на основе данных перечислительной и выборочной таксации сосновых древостоев;
- 4) разработать лесотаксационные модели прироста сосновых древостоев для повыведельной актуализации лесного фонда в геоинформационной системе «Лесные ресурсы» и нормирования лесопользования;
- 5) создать лесотаксационные таблицы производительности сосновых древостоев по классам бонитета для лесоинвентаризации и обоснования размера лесопользования в системе устойчивого управления лесами.

Хвойные леса занимают 60,2% лесопокрываемой площади, а сосновые насаждения составляют 50,7%. Объектами исследования явились чистые, разновозрастные сосновые древостои в возрасте от 10 до 110 лет в сосняках кисличных, орляковых, мшистых, черничных и вересковых.

Предмет исследования – текущий и средний прирост по запасу сосновых древостоев.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- 1) закономерности изменения прироста по запасу сосновых древостоев с возрастом и классами бонитета, установленные по материалам выборочной таксации сосновых насаждений на 4801 круговых пробных площадках, перечислительной таксации сосновых древостоев на 71 пробных площадях, повышающие точность моделирования прироста сосновых древостоев и разработки лесотаксационных таблиц производительности сосновых насаждений;
- 2) лесотаксационные модели прироста по запасу сосновых древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы», отличающиеся научной новизной и позволяющие на основе таксационных показателей древостоев в повыведельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» оценивать текущий и средний прирост сосновых древостоев по каждому таксационному выделу лесничества и лесхоза для нормирования лесопользования, лесной сертификации, мониторинга лесов и прогноза роста насаждений;
- 3) лесотаксационные модели текущего прироста по запасу сосновых древостоев, предназначенные для повыведельной актуализации лесного фонда с использованием ГИС-технологий, обеспечивающие точность прогноза запасов сосновых древостоев до 10%;
- 4) лесотаксационные таблицы производительности сосновых насаждений, показывающие фактическую производительность и прирост сосновых древостоев по возрастам и классам бонитета для нормирования лесопользования и анализа воз-

возможности повышения продуктивности лесов в системе устойчивого лесопользования.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является завершенной квалификационной научной работой, выполненной соискателем самостоятельно. Автором выполнена постановка задач, разработаны программа и методика исследований, обоснованы теоретические и методические положения реализации задач, проведен сбор и анализ экспериментального материала, статистическая обработка данных, разработаны лесотаксационные модели прироста и производительности сосновых древостоев и предложены рекомендации по практическому применению результатов диссертации. Автором была заложена 71 временная пробная площадь в шести лесхозах Республики Беларусь, использованы материалы выборочной таксации лесов Гродненского ПЛХО, выполненной работниками РУП «Белгослес» и сотрудниками кафедр лесоустройства.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты диссертации обсуждались и получили положительную оценку на республиканских научных и научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ (2003, 2006–2009); на международных конференциях: Международной научно-технической конференции «Молодежь в науке» (Минск, 2004); Международной научной конференции «Лес, наука, молодежь» (Гомель, 2004); Международной конференции молодых ученых, посвященной академику П.С. Погребняку «Леса Евразии – Восточные Карпаты» (Москва, 2004); Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов», (Минск, 2005); Эколого-экономический механизм сохранения биоразнообразия особо охраняемых территорий Республики Беларусь (Национальный парк «Беловежская пушта», 2006).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях согласно Перечня ВАК Республики Беларусь объемом 2,2 авторского листа и 4 в прочих изданиях объемом 0,6 авторского листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, рекомендаций по практическому использованию результатов, списка использованных источников и приложений; изложена на 144 страницах, в том числе содержит 20 таблиц на 22 страницах, 35 рисунков на 16 страницах и 6 приложений на 25 страницах. Список использованных литературных источников включает 148 наименований, в том числе 22 на иностранных языках.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Состояние проблемы

Анализируются результаты исследований отечественных и зарубежных авторов в изучении прироста по запасу и использованию геоинформационных систем в управлении лесами и лесном хозяйстве.

Изучением прироста древостоев лесоводы занимаются более 150 лет (Георг-Людвиг Гартиг, Г. М. Турский, М. М. Орлов). Большой вклад по теоретическому обос-

нованию способов определения прироста внесли М. Л. Дворецкий (1925 г.). И. М. Науменко (1936), А. В. Тюрин (1936, 1945), Ф. П. Моисеенко (1940), Г. Ф. Хильми (1955, 1957), В. Джурджу (1957), П. В. Воропанов (1956, 1961), В. К. Захаров (1966), А. И. Патацкас (1968, 1969), В. В. Антанайтис (1969, 1981), В. В. Загреев (1969, 1981), Н. Н. Свалов (1979) и другие ученые.

Наиболее точные результаты оценки текущего прироста по запасу древостоев дают данные таксации древостоев на постоянных пробных площадях (М. Л. Дворецкий (1964, 1966), А. С. Бабакин (1962), П. М. Верхунов (1972), В. В. Гончарук (1973), Grochowski (1950, 1961)).

В Беларуси прирост древостоев изучали В. К. Захаров, О. А. Труль, В. С. Мирошников, И. Д. Юркевич, Н. Ф. Ловчий, В. Е. Ермаков, В. Ф. Багинский, О. А. Атрощенко.

Наибольшее распространение при изучении оценки прироста по запасу древостоев находит направление моделирование взаимосвязи прироста по запасу с таксационными показателями древостоев (Н. П. Анучин, В. С. Мирошников, О. А. Труль, Н. Н. Свалов, В. В. Кузьмичев, П. М. Верхунов, В. К. Захаров, В. Ф. Багинский, Р. Л. Терехова, Л. Д. Есимчик, Н. Ф. Ловчий, В. Е. Ермаков, О. А. Атрощенко).

Анализируя многочисленные работы по моделированию прироста древостоев по запасу, можно отметить, что наиболее часто использовались модели роста леса (А. К. Кивисте, Prodan, D. Monro, W. Peschel, E. Assman, F. Franz, Y. Vuokila, D. Xlutter, П. В. Воропанов, Н. Н. Свалов).

Анализ современных тенденций развития лесного хозяйства подтверждает широкое использование геоинформационных технологий (О. А. Атрощенко (2003), А. Кулепис, А. Руткаускас (2002), С. Lin, I. Minkinen (2000)).

Разработка лесотаксационных моделей прироста по запасу на ЭВМ на основе таксационных показателей древостоев в повидельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» и внедрение их в практику лесного хозяйства позволит использовать модели для оценки прироста по запасу сосновых древостоев, оперативно получать и актуализировать данные по лесному фонду, повысить эффективность нормирования лесопользования и комплексность использования лесосырьевых ресурсов.

### Методика и объекты исследования

Разработка моделей прироста древостоев по запасу требует наличия значительного исходного экспериментального материала, что увеличивает достоверность результатов при статистическом анализе и моделировании. Поэтому исследования проводились с использованием материалов выборочной лесоинвентаризации лесов Гродненского ПЛХО на 4801 круговых пробных площадках, данных перечислительной таксации сосновых древостоев на 71 временной пробной площади и данных повторной перечислительной таксации на постоянных пробных площадях.

Наиболее представлены сосновые древостои II, III, IV классов возраста – 21,1%, 31,1% и 23,9% соответственно. Доля спелых лесов составляет 18,3%. Перестойные древостои и молодняки I класса возраста составляют по 2,8% (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Распределение числа пробных площадей в сосновых древостоях по классам возраста**

Опытный материал охватывает весь возрастной диапазон произрастающих на территории республики древостоев – от молодняков до спелых и перестойных сосновых насаждений.

Преобладают сосновые древостои I<sup>A</sup> и I (по 29,6%), II (21,6%) классов бонитета (рисунок 2). Пробные площади, представленные сосновыми древостоями I<sup>A</sup>–II классами бонитета составляют 80,3% от общего количества пробных площадей. В I<sup>A</sup> классе бонитета преобладают древостои II класса возраста (9,9%), III класса возраста (12,7%), в I классе бонитета – III и IV класса возраста (9,9% и 7,0% соответственно).



**Рисунок 2 – Распределение общего числа пробных площадей в сосновых древостоях по классам бонитета**

Преобладают сосняки мшистые (29,6%), орляковые (18,3%), черничные (15,5%), кисличные (14,1%), и вересковые (8,5%).

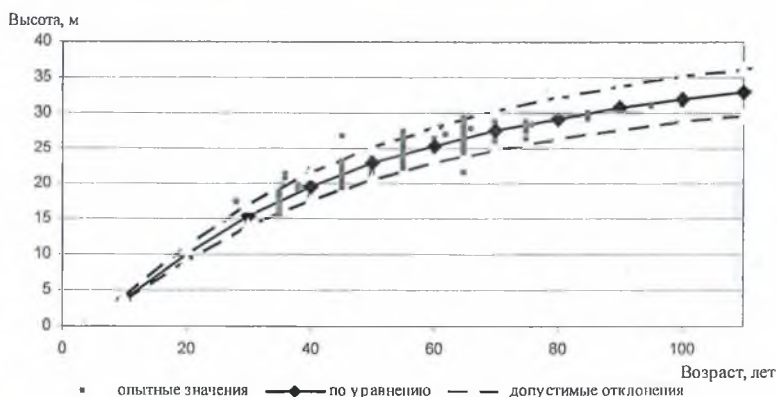
По данным переписи таксации сосновых древостоев на временных пробных площадях выполнен анализ хода роста модельных деревьев. Опытные данные хода роста по высоте сглаживались моделями роста. Лучшие результаты выравнивания высот по классам бонитета показала модель Странда (1967):

$$H(M) = \left( \frac{A(\text{лет})}{b_0 \left( \text{лет} \times M^{-\frac{1}{3}} \right) + b_1 \left( M^{-\frac{1}{3}} \right) \times A(\text{лет})} \right)^3, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр, см;  $A$  – возраст, лет;  $H$  – высота, м;  $b_0, b_1$  – коэффициенты регрессии.

Модели высот деревьев объясняют до 95% вариации высот с абсолютной ошибкой 0,3–0,7 м и достоверны по  $F$ -критерию Фишера.

Принадлежность древостоев к одному естественному ряду роста и развития определялась аналитическим методом и методом Гейера на основании данных анализа хода роста моделей и данных таксации древостоев. По данным анализа хода роста моделей определялись средние высоты модельных деревьев по интервалам возраста. По полученным уравнениям строились графики (рисунок 3), на которые наносились сглаженные средние значения высот модельных деревьев и средние высоты древостоев по данным перечислительной и выборочной таксации сосновых древостоев по классам бонитета. Пробные площади, на которых средняя высота отличалась от хода роста по высоте модельных деревьев более чем на 10%, исключались из экспериментального материала.



**Рисунок 3 – Зависимость средней высоты древостоев (опытные значения) и сглаженных средних высот модельных деревьев (по уравнению) от возраста древостоя в сосняках I<sup>A</sup> класса бонитета**

Окончательная проверка опытного материала на однородность выполнялась методом, разработанным П. Н. Курбатским и Г. А. Макеевым под руководством проф. Н. В. Третьякова (1937) на основе регрессий связи:

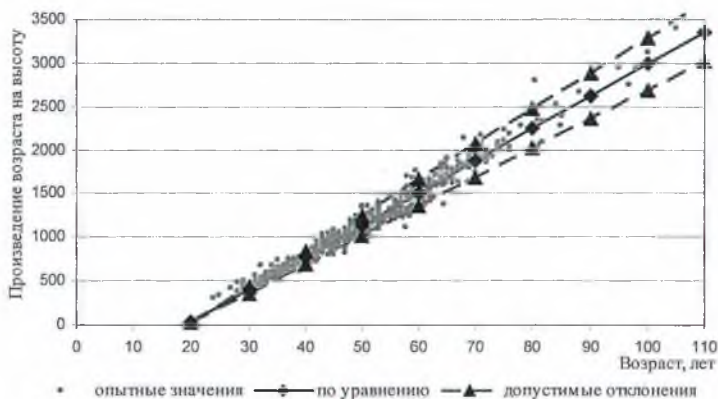
$$A \times D(\text{лет} \times \text{см}) = b_1(\text{см}) \times A(\text{лет}) + b_0(\text{лет} \times \text{см}); \quad (2)$$

$$A \times H(\text{лет} \times \text{м}) = b_1(\text{м}) \times A(\text{лет}) + b_0(\text{лет} \times \text{м}), \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр, см;  $A$  – возраст, лет;  $H$  – высота, м;  $b_0, b_1$  – коэффициенты регрессии.

Регрессии (2, 3) объясняют до 95% вариации произведения возраста и диаметра с абсолютной ошибкой 0,2–2,0 (лет × см), а произведения возраста и высоты – с ошибкой 0,1–1,4 (лет × м) и достоверны по  $F$ -критерию Фишера.

На графике (рисунок 4) отображались опытные значения произведений высоты и среднего диаметра на возраст, прямые рассчитанные по уравнениям (2, 3) и пределы изменчивости диаметров или высот.



**Рисунок 4 – Зависимость произведения возраста на среднюю высоту древостоя от возраста древостоя в сосняках I<sup>A</sup> класса бонитета**

Пробные площади, средняя высота которых отличалась от значений, рассчитанных по уравнениям (2, 3) более чем на 10%, а средний диаметр более чем на 15% исключались из экспериментального материала.

#### **Лесотаксационное моделирование прироста по запасу сосновых древостоев в ГИС «Лесные ресурсы»**

В результате группировки собранного материала по естественным рядам роста и развития и проверки сгруппированного материала на однородность количество круглых пробных площадок I<sup>A</sup> класса бонитета составило 260 шт., I класса бонитета – 1402, II класса бонитета – 277, III класса бонитета – 31 шт.

Для каждого ряда роста и развития выявлялись взаимосвязи прироста с таксационными показателями сосновых древостоев, изменения прироста по запасу с возрастом и классами бонитета насаждений, разрабатывались модели прироста по запасу сосновых древостоев.

С помощью корреляционного анализа было установлено, что наиболее тесная корреляционная связь (коэффициент корреляции  $r > 0,71$ ) среднего и текущего среднепериодического прироста по запасу ( $\bar{Z}_M^{\#}$ ) наблюдается со средним диаметром, возрастом и средним запасом сосновых насаждений.

Основной переменной выступает возраст, т. к. он разграничивает процесс роста древостоев на временные интервалы. Остальными переменными являются показатели роста – диаметр, высота и объем, а динамика их средних значений – таблицы хода роста древостоев.

Изучено около 150 регрессионных уравнений – степенные, экспоненциальные, степенно-показательные и др. (по классификации А. К. Кивисте). Подбирались модели, достоверные по  $F$ -критерию Фишера, коэффициенты регрессии значимы на 5 % уровне значимости по  $t$ -критерию Стьюдента. С помощью регрессионного анализа можно отметить, что наиболее высокий коэффициент детерминации ( $R^2 \geq 0,67$ ) получен в тех регрессиях, которые используют в качестве исходных данных возраст, средний запас, диаметр и высо-

ту. Более сложные модели практически всегда обеспечивают более достоверный результат ( $R^2 \geq 0,71$ ), а регрессии, использующие в качестве независимой переменной значения логарифмов, имеют более высокий коэффициент детерминации ( $R^2 \geq 0,77$ ).

Для оценки прироста по запасу сосновых древостоев в ГИС «Лесные ресурсы» разработаны лесотаксационные модели следующего вида:

– абсолютного текущего среднепериодического прироста по запасу ( $\bar{Z}_M^n$ ):

$$\bar{Z}_M^n = 10^{-0,898} \times M^{(1,436-0,403 \times \lg(A))}, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,84; F = 4376; S_{b0} = 0,06, S_{b1} = 0,041; S_{b2} = 0,011;$$

– относительного текущего среднепериодического прироста по запасу ( $P_{Z_M^n}$ ):

$$P_{Z_M^n} = 10^{0,752} \times M^{(0,746-0,532 \times \lg(A))}, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,95; F = 3803; S_{b0} = 0,035, S_{b1} = 0,035; S_{b2} = 0,013;$$

– абсолютного среднего прироста по запасу ( $\bar{Z}_M$ ):

$$\bar{Z}_M = 10^{-1,099} \times M^{(1,195-0,226 \times \lg(A))}, \quad (6)$$

$$R^2 = 0,96; F = 3803; S_{b0} = 0,025, S_{b1} = 0,016; S_{b2} = 0,004;$$

– относительного среднего прироста по запасу ( $P_{Z_M}$ ):

$$P_{Z_M} = 10^{1,060} \times M^{(0,265-0,349 \times \lg(A))}, \quad (7)$$

$$R^2 = 0,95; F = 5188; S_{b0} = 0,028, S_{b1} = 0,028; S_{b2} = 0,011,$$

где  $A$  – средний возраст, лет;  $M$  – запас древостоя,  $m^3$ ;  $S_{b0}, S_{b1}, S_{b2}$  – стандартные ошибки коэффициентов регрессии.

Данные модели достоверны по  $F$ -критерию Фишера, имеют высокие коэффициенты детерминации ( $R^2 \geq 0,91$ ) и незначительную ошибку оценки прироста по запасу древостоя ( $0,06 m^3$ ).

На основе лесотаксационных моделей получены значения прироста по запасу сосновых древостоев (таблица 1), которые введены в ГИС «Лесные ресурсы».

Таблица 1 – Прирост по запасу сосновых древостоев II класса бонитета в ГИС «Лесные ресурсы»

| Возраст, лет                                                    | Запас растущего древостоя, м³ |      |      |      |      |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                 | 20                            | 40   | 60   | 80   | 100  | 120   | 140   | 160   | 180   | 200  | 250   | 300  | 350  | 400  | 450  | 500  | 550  |
| Относительный текущий среднепериодический прирост по запасу, %  |                               |      |      |      |      |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |
| 20                                                              | 6,88                          | 7,01 | 7,08 | 7,14 | 7,18 | 7,21  | 7,24  | 7,27  | 7,29  | —    | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| 40                                                              | —                             | —    | 3,96 | 3,83 | 3,73 | 3,65  | 3,59  | 3,53  | 3,48  | 3,44 | 3,35  | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| 60                                                              | —                             | —    | —    | —    | 2,54 | 2,45  | 2,38  | 2,32  | 2,26  | 2,22 | 2,12  | 2,04 | 1,98 | —    | —    | —    | —    |
| 80                                                              | —                             | —    | —    | —    | —    | —     | 1,78  | 1,72  | 1,67  | 1,62 | 1,53  | 1,46 | 1,40 | 1,36 | 1,32 | —    | —    |
| 100                                                             | —                             | —    | —    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | 1,31 | 1,27  | 1,19 | 1,13 | 1,07 | 1,03 | 0,99 | 0,96 |
| Абсолютный текущий среднепериодический прирост по запасу, м³/га |                               |      |      |      |      |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |
| 20                                                              | 1,53                          | 3,24 | 5,02 | 6,87 | 8,75 | 10,66 | 12,60 | 14,56 | 16,55 | —    | —     | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| 40                                                              | —                             | —    | 2,86 | 3,76 | 4,65 | 5,52  | 6,39  | 7,25  | 8,11  | 8,96 | 11,07 | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| 60                                                              | —                             | —    | —    | —    | 3,21 | 3,76  | 4,30  | 4,82  | 5,34  | 5,85 | 7,10  | 8,32 | 9,51 | —    | —    | —    | —    |
| 80                                                              | —                             | —    | —    | —    | —    | —     | 3,24  | 3,61  | 3,97  | 4,33 | 5,19  | 6,01 | 6,81 | 7,59 | 8,35 | —    | —    |
| 100                                                             | —                             | —    | —    | —    | —    | —     | —     | —     | 3,16  | 3,42 | 4,06  | 4,67 | 5,26 | 5,82 | 6,37 | 6,91 | 7,43 |

Для использования лесотаксационных моделей (таблица 1) оценки прироста по запасу сосновых древостоев в геоинформационной системе нужно добавить показатели прироста в базу данных ГИС «Лесные ресурсы».

### Производительность сосновых древостоев по классам бонитета

На основе установленных закономерностей роста сосновых древостоев в электронной таблице Excel разработана система взаимосвязанных лесотаксационных моделей роста и производительности сосновых древостоев по классам бонитета. Разработанные уравнения, отражающие взаимосвязи между таксационными показателями в древостое, вводятся в качестве исходных данных в систему моделирования роста и производительности сосновых древостоев.

Моделирование хода роста сосновых древостоев по высоте и диаметру по классам бонитета выполнено по уравнению Странда (1). Регрессии объясняют 96–99% вариации средних высот древостоев с ошибкой 0,05–0,14 м, достоверны по  $F$ -критерию Фишера на 5% уровне значимости.

Для моделирования хода роста по диаметру ( $D$ ) сосновых древостоев лучший результат показала регрессия связи в зависимости от возраста ( $A$ ):

$$D(\text{см}) = \frac{A(\text{лет})}{b_0 \left( \frac{\text{лет}}{\text{см}} \right) + b_1 \left( \frac{1}{\text{см}} \right) \times A(\text{лет})}, \quad (8)$$

где  $D$  – диаметр, см;  $A$  – возраст, лет;  $b_0$ ,  $b_1$  – коэффициенты регрессии.

Модели по диаметру объясняют 93–99% вариации средних диаметров сосновых древостоев с ошибкой 0,07–0,16 см, достоверны по  $F$ -критерию Фишера на 5% уровне значимости.

Сумма площадей сечений древостоя определялась по регрессионному уравнению связи в зависимости от средней высоты древостоя.

Среднее видовое число древостоя ( $F$ ) определялось по регрессии в зависимости от средних диаметра и высоты деревьев. Регрессионные модели объясняют 90–99% вариации средних видовых чисел сосновых древостоев с ошибкой 0,03–0,05, достоверны по  $F$ -критерию Фишера на 5% уровне значимости.

Число деревьев на 1 га в сосновом древостое определялось в зависимости от суммы площадей сечений древостоя и среднего диаметра древостоя.

Запас древостоя ( $M$ ) рассчитан по формуле:

$$M(\text{м}^3) = G(\text{м}^2) \times H(\text{м}) \times F, \quad (9)$$

где  $G$  – сумма площадей сечения древостоя,  $\text{м}^2/\text{га}$ ;  $H$  – средняя высота древостоя, м;  $F$  – среднее видовое число древостоя.

Относительный текущий среднепериодический прирост, абсолютный текущий среднепериодический прирост, абсолютный средний прирост древостоев установлены по разработанным лесотаксационным моделям в зависимости от среднего возраста и запаса древостоя.

Запас отпада ( $M_o$ ) вычислялся как разница между текущим периодическим приростом по запасу и текущим периодическим изменением запаса.

$$M_o^n = Z_M^n - \Delta_M^n, \quad (10)$$

где  $M_o^n$  – запас отпада древостоя за  $n$  лет,  $\text{м}^3$ ;  $\Delta_M^n$  – абсолютное текущее периодическое изменение запаса,  $\text{м}^3$ .

Запас вырубаемой древесины или промежуточного пользования ( $M_{\text{выр}}$ ) определялся как сумма запасов отпада ( $\sum M_o$ ) в древостое:

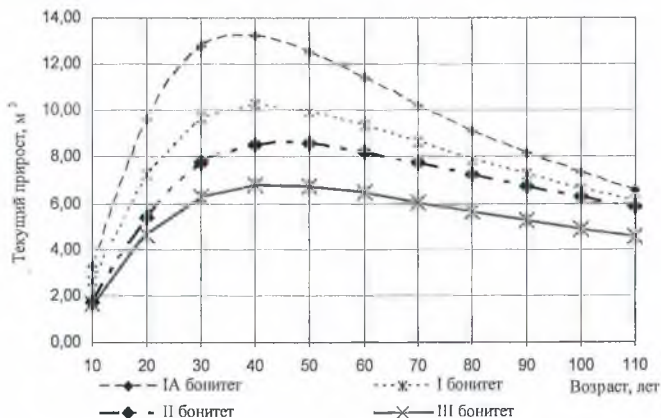
$$M_{\text{выр}} = \sum_{i=1}^A M_o \quad (i = 1, \dots, A), \quad (11)$$

где  $i = 1, \dots, A$  – периоды роста древостоя

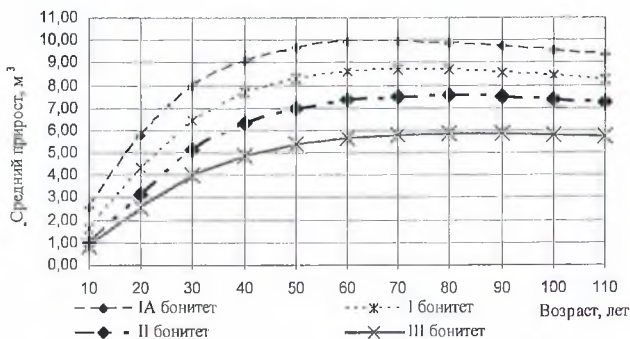
Общую производительность ( $M_{\text{общ}}$ ) древостоя определяли по формуле:

$$M_{\text{общ}} = M_A + \sum_{i=1}^A M_o \quad (12)$$

Графики, отражающие динамику текущего и среднего прироста по запасу сосновых древостоев I<sup>A</sup>–III классов бонитета с возрастом, представлены на рисунках 5, 6.



**Рисунок 5 – Динамика текущего прироста по запасу сосновых древостоев по классам бонитета**



**Рисунок 6 – Динамика среднего прироста по запасу сосновых древостоев по классам бонитета**

Наблюдаются следующие закономерности: кульминация текущего среднепериодического прироста по запасу в сосновых насаждениях наступает в 40 лет. Максимальный средний прирост по запасу (количественная спелость) наступает для сосновых древостоев I<sup>A</sup> и I классов бонитета в 55 лет, а II и III классов бонитета в 60 лет.

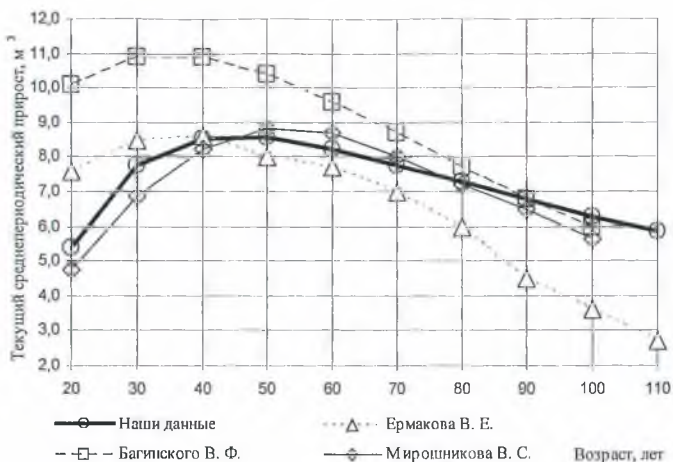
Созданные таблицы производительности сосновых древостоев по классам бонитета (таблица 2) сравнивались с данными по таблицам хода роста различных авторов.

Таблица 2 – Производительность сосновых древостоев II класса бонитета

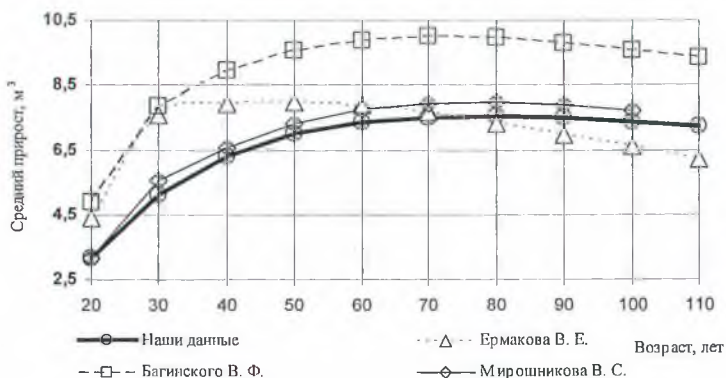
| Возраст, лет | Средние   |             | Число стволов, шт. | Сумма сечений, м <sup>2</sup> | Видовое число | Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> | Относительный текущий прирост, % | Прирост, м <sup>3</sup> |         | Текущее изменение запаса, м <sup>3</sup> | Среднее изменение запаса, м <sup>3</sup> | Запас отпада, м <sup>3</sup> | Запас вырубаемой древесины, м <sup>3</sup> | Общая производительность, м <sup>3</sup> |
|--------------|-----------|-------------|--------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
|              | высота, м | диаметр, см |                    |                               |               |                                           |                                  | текущий                 | средний |                                          |                                          |                              |                                            |                                          |
| 10           | 2,5       | 4,6         | 4515               | 7,4                           | 0,835         | 16                                        | 10,1                             | 1,75                    | 0,98    | –                                        | 1,60                                     | –                            | –                                          | 16                                       |
| 20           | 7,3       | 8,6         | 2761               | 15,9                          | 0,559         | 64                                        | 7,09                             | 5,39                    | 3,17    | 4,80                                     | 3,20                                     | 6                            | 6                                          | 70                                       |
| 30           | 11,4      | 12,1        | 1923               | 22,1                          | 0,505         | 128                                       | 4,83                             | 7,74                    | 5,11    | 6,40                                     | 4,27                                     | 13                           | 19                                         | 147                                      |
| 40           | 14,8      | 15,2        | 1458               | 26,6                          | 0,484         | 190                                       | 3,46                             | 8,54                    | 6,30    | 6,20                                     | 4,75                                     | 23                           | 43                                         | 233                                      |
| 50           | 17,4      | 18,1        | 1170               | 30,0                          | 0,474         | 247                                       | 2,61                             | 8,58                    | 7,00    | 5,70                                     | 4,94                                     | 29                           | 71                                         | 318                                      |
| 60           | 19,5      | 20,6        | 977                | 32,6                          | 0,467         | 297                                       | 2,05                             | 8,25                    | 7,36    | 5,00                                     | 4,95                                     | 32                           | 104                                        | 401                                      |
| 70           | 21,2      | 22,9        | 840                | 34,7                          | 0,463         | 341                                       | 1,66                             | 7,78                    | 7,51    | 4,40                                     | 4,87                                     | 34                           | 138                                        | 479                                      |
| 80           | 22,7      | 25,0        | 739                | 36,4                          | 0,461         | 380                                       | 1,37                             | 7,28                    | 7,55    | 3,90                                     | 4,75                                     | 34                           | 172                                        | 552                                      |
| 90           | 23,9      | 27,0        | 662                | 37,8                          | 0,458         | 413                                       | 1,16                             | 6,77                    | 7,48    | 3,30                                     | 4,59                                     | 35                           | 206                                        | 619                                      |
| 100          | 24,9      | 28,7        | 601                | 38,9                          | 0,457         | 443                                       | 1,00                             | 6,30                    | 7,38    | 3,00                                     | 4,43                                     | 33                           | 239                                        | 682                                      |
| 110          | 25,8      | 30,3        | 553                | 39,9                          | 0,455         | 469                                       | 0,87                             | 5,86                    | 7,25    | 2,60                                     | 4,26                                     | 33                           | 272                                        | 741                                      |

По текущему среднепериодическому приросту отклонения по всем таблицам хода роста составили 0,7–3,8 м<sup>3</sup>/га, по среднему приросту 0,4–5,7 м<sup>3</sup>/га. Наименьшие отклонения составили по таблицам хода роста В. С. Мирошникова: I класс бонитета – по общей производительности 15–36 м<sup>3</sup>, по текущему среднепериодическому приросту до 0,8 м<sup>3</sup>/га, по среднему приросту 0,2–1,1 м<sup>3</sup>/га; II класс бонитета – по общей производительности 7–26 м<sup>3</sup>, по текущему среднепериодическому приросту 0,1–0,9 м<sup>3</sup>/га, по среднему приросту –0,3–0,4 м<sup>3</sup>/га; III класс бонитета – по общей производительности 2–40 м<sup>3</sup>/га, по текущему среднепериодическому приросту 0,3–1,5 м<sup>3</sup>/га, по среднему приросту –0,2–1,1 м<sup>3</sup>/га.

По текущему среднепериодическому приросту по запасу наибольшее отклонение составило в 30 лет (–53,7%) для II класса бонитета (рисунок 7) по таблицам хода роста В. Ф. Багинского, наименьшее –2,7% в 90 лет по таблицам хода роста В. С. Мирошникова для II класса бонитета. По среднему приросту по запасу (рисунок 8) наибольшее отклонение составило в 30 лет (–72,1%) для I<sup>A</sup> класса бонитета по таблицам хода роста В. Ф. Багинского, наименьшее –0,6% в 70 лет – по таблицам хода роста В. Е. Ермакова для I<sup>A</sup> класса бонитета. В целом большие отклонения приходится на молодняки, что связано с большой вариацией показателей в данном возрасте.



**Рисунок 7 – Динамика текущего среднепериодического прироста по запасу сосновых древостоев II класса бонитета**



**Рисунок 8 – Динамика среднего прироста по запасу сосновых насаждений II класса бонитета**

Значительные расхождения объясняются как различиями в методике сбора и обработки данных, так и самим экспериментальным материалом, лежащим в основе таблиц. Простое редуцирование значений таксационных показателей при приведении их к единой полноте для целей сравнения не всегда приемлемо (В. Ф. Багинский, 1984).

### Модели актуализации лесного фонда в сосновых лесах

Эффективность управления и планирования в лесном хозяйстве в значительной степени определяется наличием надежной информации о состоянии и прогнозировании лесного фонда. Поэтому особое значение приобретают модели по прогнозированию и актуализации лесного фонда.

В лесном фонде Республики Беларусь хозяйственным воздействием ежегодно охватывается в среднем 5% таксационных выделов и на 25% выделах планируется проведение новых хозяйственных мероприятий. Поэтому важным вопросом является точность актуализации таксационных показателей этих древостоев на естественный ход роста с использованием ГИС-технологий.

Описание математических моделей взаимосвязей, которые могут использоваться для актуализации представлено в научных исследованиях О. А. Атрошенко, Н. Н. Свалова, В. Ф. Багинского, В. В. Антанайтиса. Для актуализации запасов сосновых древостоев была использована лесотаксационная модель (4).

Результаты сравнительной оценки данных прогноза запасов по материалам повторной перечислительной таксации на постоянной пробной площади (сосняк орляково-мшистый) в Негорельском учебно-опытном лесхозе приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная оценка прогноза запасов по материалам повторной перечислительной таксации на постоянной пробной площади

| Возраст, лет | Запас, м <sup>3</sup> | Данные прогноза запаса, м <sup>3</sup> | Отклонения, м <sup>3</sup> | Отклонения, % |
|--------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 45           | 218                   | –                                      | –                          | –             |
| 46           | 229                   | 226                                    | –3                         | –1,3          |
| 47           | 238                   | 237                                    | –1                         | –0,4          |
| 50           | 274                   | 269                                    | –5                         | –1,7          |
| 53           | 307                   | 304                                    | –3                         | –1,1          |
| 55           | 330                   | 327                                    | –3                         | –0,9          |
| 57           | 344                   | 347                                    | 3                          | 0,9           |
| 60           | 369                   | 370                                    | 1                          | 0,2           |
| 63           | 393                   | 394                                    | 1                          | 0,2           |
| 65           | 408                   | 409                                    | 1                          | 0,2           |
| 67           | 423                   | 424                                    | 1                          | 0,2           |

Необходимо отметить, что лесотаксационная модель (4) дает достаточно надежные результаты по оценке текущего прироста по запасу сосновых насаждений. Систематическая ошибка прогноза запасов сосновых древостоев на данном стационаре составила –0,3 %, среднеквадратическая ошибка прогноза запаса  $\pm 0,8$  %. Проверка данной модели по материалам перечислительной таксации сосновых древостоев на пробных площадях показала систематическую ошибку в пределах допустимых отклонений по запасу – до 15% при 5%-м уровне значимости.

Для прогноза средних диаметров и высот сосновых древостоев использовалась модель (О. А. Атрошенко, 1986):

$$P_{H,D} = 10^{b_0} \times A^{b_1} \times A^{b_2 \times \lg(A)} \times (H_{100})^{b_3}, \quad (13)$$

где  $P_{H,D}$  – процент текущего изменения средней высоты и диаметра древостоя соответственно;  $A$  – возраст древостоя, лет;  $H_{100}$  – индекс класса бонитета;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты регрессий.

Данные модели были проверены на точность многими исследователями. Проверка данных моделей А. А. Пушкиным по материалам перечислительной таксации со-

сновых древостоев на пробных площадях показала систематическую ошибку прогноза средней высоты сосновых древостоев +0,4%, среднего диаметра +2,6%. Среднеквадратическая ошибка прогноза средней высоты составила  $\pm 3,2\%$ , среднего диаметра  $\pm 4,0\%$ , запаса  $\pm 4,3\%$ .

Максимальная систематическая и среднеквадратическая ошибка по моделям (14) составила  $-2,7\%$  и  $3,8\%$  соответственно при прогнозе средних диаметров сосновых древостоев (О. А. Атрощенко).

### **Экономический эффект нормирования лесопользования текущим приростом по запасу сосновых древостоев с использованием ГИС «Лесные ресурсы»**

Конкретное применение показателя текущего прироста находят при выборочном хозяйстве. Существует ряд способов, направленных на учет прироста в той или иной мере (М. М. Орлов, О. Н. Ацункевич и др.). Разработаны методики расчета лесопользования с учетом величины прироста (В. В. Антанайтис, Н. П. Анучин, В. Е. Ермаков, В. В. Гончарук).

Для нормирования лесопользования с использованием ГИС «Лесные ресурсы» по лесотаксационной модели (4) был определен прирост по запасу сосновых лесов Логойского, Полоцкого, Лунинецкого лесхозов. Значения текущего прироста по запасу приводились к полноте выдела, его площади и использовались в дальнейших расчетах.

Для анализа отклонений возрастной структуры древостоев от «нормальной» рассчитан индекс возрастной структуры ( $J_n$ ). Методика расчета индекса приведена в российской лесоустроительной инструкции (1991):

$$J_n = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n |S_j^* - S_j^*|}{2 \times S_n}, \quad (14)$$

где  $S_j^*$  – теоретическая площадь сосновых древостоев  $j$ -го класса возраста при нормальной возрастной структуре, га;  $S_j^*$  – фактическая площадь насаждений  $j$ -го класса возраста, га;  $S_n$  – общая площадь, га.

Индекс возрастной структуры для сосновых древостоев Логойского лесхоза по двум группам леса составил 0,76, для Полоцкого – 0,72, для Лунинецкого – 0,80, что указывает на возможность использования годичного прироста до 76%, 72%, 80% соответственно.

В данной работе выполнен анализ использования текущего годичного прироста при ежегодном фактическом размере лесопользования и при использовании годичного прироста по запасу на 50% (таблица 4).

Наименьшее использование текущего годичного прироста по запасу наблюдается в Логойском лесхозе 12,1% (связано с недостатком спелых сосновых лесов – 8,4% и низкой интенсивностью рубок ухода), наибольшее в Лунинецком – 30,7%. Полученный процент использования текущего прироста в насаждениях, назначенных в рубки ухода, получен при проектировании рубок ухода по действующим «Правилам рубок леса в Республике Беларусь».

Таблица 4 – Экономический эффект нормирования размера главного и промежуточного пользования текущим приростом по запасу сосновых лесов

| Показатели                                              | Лесхозы   |          |            |
|---------------------------------------------------------|-----------|----------|------------|
|                                                         | Логойский | Полоцкий | Лунинецкий |
| Размер лесопользования, тыс. м <sup>3</sup>             |           |          |            |
| – ежегодный                                             | 43,5      | 44       | 81,9       |
| – оптимальный (50% прироста)                            | 179,2     | 76,2     | 133,3      |
| Экономическая оценка размера лесопользования, млн. руб. |           |          |            |
| – ежегодный                                             | 998,3     | 1009,8   | 1879,6     |
| – оптимальный (50% прироста)                            | 4112,5    | 1748,9   | 3059,5     |
| Годовой экономический эффект, млн. руб.                 | 3114,2    | 739,1    | 1179,9     |

Годовой экономический эффект нормирования лесопользования в сосновых древостоях при использовании годичного прироста по запасу на 50% составит по Логойскому лесхозу – 3,1 млрд. руб., Полоцкому – 0,7 млрд. руб., Лунинецкому – 1,2 млрд. руб. Для повышения использования текущего прироста по запасу сосновых древостоев необходимо увеличить интенсивность рубок ухода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Актуальными задачами является использование лесотаксационных моделей прироста по запасу древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы» для оценки прироста насаждений по каждому участку леса (таксационному выделу), преобладающим породам и группам лесов. Это позволит оценивать прирост лесов по классам бонитета и типам леса, полнотам и группам возраста с соответственным нормированием главного и промежуточного лесопользования в лесхозе.

В геоинформационной системе «Лесные ресурсы» для оценки прироста по запасу сосновых древостоев предпочтительнее использовать модели текущего прироста по запасу древостоев, в которых прирост оценивается по преобладающим породам в зависимости от класса бонитета, возраста и запаса (такие показатели имеются в повыведельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы») [1, 6, 8].

2. Изучены закономерности связей прироста с таксационными показателями сосновых древостоев, изменения прироста по запасу с возрастом и классами бонитета насаждений. Кульминация текущего среднепериодического прироста по запасу в сосновых насаждениях наступает в 40 лет. Максимальный средний прирост по запасу (количественная спелость) наступает для I<sup>A</sup> и I классов бонитета в 55 лет, а II и III классов бонитета в 60 лет [3, 4, 5, 9].

3. Выполнено исследование более 150 регрессионных моделей прироста по запасу сосновых древостоев. Для практического применения прироста в ГИС «Лесные ресурсы» принята модель относительного прироста по запасу в зависимости от

возраста и запаса сосновых древостоев. По моделям прироста получены относительный и абсолютный текущий и средний прирост по запасу сосновых древостоев по возрастным периодам (10, 20, 30, ..., 110 лет) и средним запасам растущего древостоя (20, 40, 60, ..., 550 м<sup>3</sup>/га) для I<sup>A</sup>–III классов бонитета чистых сосновых насаждений, которые введены в геоинформационную систему «Лесные ресурсы». Лесотаксационные модели прироста по запасу могут использоваться при разработке программ рубок ухода, оптимизации планирования главного пользования [5, 6, 8].

4. Составлены таблицы производительности сосновых древостоев I<sup>A</sup>–III классов бонитета. Таблицы производительности включают показатели растущего древостоя, запас деревьев отпада и объем промежуточного пользования, текущий и средний прирост по запасу древостоев, общую производительность сосновых древостоев [5, 6].

5. Разработаны модели актуализации лесного фонда сосновых лесов для использования в геоинформационной системе «Лесные ресурсы». Исходными данными для актуализации сосновых насаждений являются таксационные показатели насаждений, содержащиеся в повыведельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы – возраст (*A*), запас (*M*), индекс класса бонитета (*H*<sub>100</sub>), средний диаметр (*D*), средняя высота (*H*).

Лесотаксационные модели актуализации таксационных показателей сосновых лесов имеют достаточно высокую надежность: среднеквадратическая ошибка находится в пределах допустимых отклонений: по запасу – до 15%, по диаметру – до 10%, по высоте – до 8% при 5%-м уровне значимости и могут быть рекомендованы для прогноза высот, диаметров и запасов в ГИС «Лесные ресурсы» [5, 6].

6. Нормирование лесопользования текущим приростом по запасу древостоев позволит повысить доходность лесного хозяйства. Годовой экономический эффект нормирования лесопользования в сосновых древостоях при использовании годичного прироста по запасу на 50% составит по Логойскому лесхозу – 3,1 млрд. руб., Полоцкому – 0,7 млрд. руб., Лунинецкому – 1,2 млрд. руб. Наименьшее использование текущего годичного прироста наблюдается в Логойском лесхозе 12,1%, наибольшее в Лунинецком – 30,7%. Более высокий процент использования прироста показывает большую эффективность нормирования лесопользования [2, 7, 10].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1) Лесотаксационные модели прироста по запасу внедрены в геоинформационную систему «Лесные ресурсы» ГЛХУ «Логойский лесхоз» (акт внедрения от 22.04.2010 г.).

2) Результаты исследований используются в учебном процессе кафедры лесоустройства БГТУ по дисциплине «Лесная таксация», в курсовом и дипломном проектировании студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» (акт внедрения от 19.04.2010 г.).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Публикации в научных изданиях согласно перечня ВАК

1. Сидельник, Н. Я. Методы оценки текущего прироста древостоев и их использование в ГИС-технологиях / **Н. Я. Сидельник** // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2003. – Вып. XI. – С. 181–185.
2. Сидельник, Н. Я. Нормирование лесопользования текущим приростом на основе данных в ГИС «Лесные ресурсы» / **Н. Я. Сидельник** // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2004. – Вып. 62: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 67–69.
3. Сидельник, Н. Я. Прирост и отпад в сосновых лесах Беларуси / **Н. Я. Сидельник** // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2006. – Вып. XIV. – С. 75–78.
4. Сидельник, Н. Я. Динамика таксационных показателей сосновых древостоев на стационарах ГПУ «Березинский биосферный заповедник» / **Н. Я. Сидельник** // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2007. – Вып. XV. – С. 77–80.
5. Сидельник, Н. Я. Определение прироста по запасу сосновых древостоев в ГИС «Лесные ресурсы» / **Н. Я. Сидельник** // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2008. – Вып. XVI. – С. 93–97.
6. Сидельник, Н. Я. Лесотаксационные модели оценки прироста сосновых древостоев по классам бонитета в ГИС «Лесные ресурсы» / **Н. Я. Сидельник** // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2009. – Вып. XVII. – С. 29–33.

### Публикации в других научных изданиях

#### *Материалы конференции и тезисы докладов*

7. Сидельник, Н. Я. Прирост, лесопользование и сохранение биологического разнообразия лесов / **Н. Я. Сидельник** // «Молодежь в науке–2004» – Минск, НАН РБ. – С. 239–242.
8. Сидельник, Н. Я. Методы оценки текущего прироста древостоев в ГИС «Лесные ресурсы» / **Н. Я. Сидельник** // 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. 77–78.
9. Сидельник, Н. Я. Текущий прирост сосновых древостоев Негорельского учебно-опытного лесхоза / **Н. Я. Сидельник** // Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов» – Минск, 2005. – С. 95–97.
10. Сидельник, Н. Я. Сохранение биоразнообразия лесов и нормирование лесопользования ООПТ в ГИС «Лесные ресурсы» / **Н. Я. Сидельник** // Эколого-экономический механизм сохранения биоразнообразия особо охраняемых территорий Республики Беларусь: материалы междунар. науч.-прак. конф., Беловеж. пуца, 27–28 апр. 2006 г. / Национальный парк «Беловежская пуца»; редкол.: В. И. Парфенов [и др.]. – Брест: Академия, 2006. – С. 352–357.

## РЕЗЮМЕ

Сидельник Николай Ярославович

### Лесотаксационные модели прироста по запасу сосновых древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы»

**Ключевые слова:** прирост по запасу, сосна, лесотаксационные модели, пробные площади, геоинформационные системы, базы данных, ход роста, бонитет, производительность, актуализация, нормирование лесопользования.

**Объекты исследований:** чистые, одновозрастные сосновые древостои Республики Беларусь.

**Цель исследования:** разработать лесотаксационные модели прироста по запасу сосновых древостоев в геоинформационной системе (ГИС) «Лесные ресурсы» для актуализации лесного фонда, нормирования лесопользования, устойчивого управления лесами.

**Методы исследования** основаны на методах лесной таксации, лесной биометрии, моделирования на ЭВМ.

#### **Полученные результаты и их новизна заключаются:**

- 1) в анализе направлений моделирования прироста по запасу и производительности сосновых древостоев по классам бонитета;
- 2) в изучении закономерностей связей прироста с таксационными показателями сосновых древостоев, изменения прироста по запасу с возрастом и классами бонитета древостоев;
- 3) в разработке лесотаксационных моделей прироста по запасу и производительности сосновых древостоев по классам бонитета на основе данных перечислительной и выборочной таксации сосновых древостоев;
- 4) в разработке лесотаксационных моделей прироста сосновых древостоев для повысительной актуализации запасов лесного фонда в геоинформационной системе «Лесные ресурсы» и нормирования лесопользования;
- 5) в создании лесотаксационных таблиц производительности сосновых древостоев по классам бонитета для лесоинвентаризации и обоснования размера лесопользования в системе устойчивого управления лесами.

**Степень использования.** Результаты исследований внедрены в геоинформационную систему «Лесные ресурсы» ГЛХУ «Логойский лесхоз» и используются в учебном процессе кафедры лесоустройства БГТУ по дисциплине «Лесная таксация», в курсовом и дипломном проектировании студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство».

**Область применения.** Лесное хозяйство.

## РЭЗЮМЭ

Сідзельнік Мікалай Яраслававіч

### Лесатаксацыйныя мадэлі прыросту па запасе сасновых дрэвастояў у геаінфармацыйнай сістэме «Лясныя рэсурсы»

**Ключавыя словы:** прырост па запасе, сасна, лесатаксацыйныя мадэлі, пробныя плошчы, геаінфармацыйныя сістэмы, базы даных, ход росту, банітэт, прадукцыйнасць, актуалізацыя, нармаванне лесакарыстання.

**Аб'екты даследаванняў:** чыстыя, аднаўзроставыя сасновыя дрэвастой Рэспублікі Беларусь.

**Мэта даследавання:** распрацаваць лесатаксацыйныя мадэлі прыросту па запасе сасновых дрэвастояў у геаінфармацыйнай сістэме (ГІС) «Лясныя рэсурсы» для актуалізацыі ляснога фонду, нармавання лесакарыстання, устойлівага кіравання лясамі.

**Метады даследавання** заснаваны на метадах лясной таксацыі, лясной біямэтрыі, мадэлявання на ЭВМ.

#### Атрыманыя вынікі і іх навізна заключаюцца:

1) у аналізе напрамкаў мадэлявання прыросту па запасе і прадукцыйнасці сасновых дрэвастояў па класах банітэту;

2) у вывучэнні заканамернасцяў сувязяў прыросту з таксацыйнымі паказчыкамі сасновых дрэвастояў, змяненні прыросту па запасе з узростам і класамі банітэту дрэвастояў;

3) у распрацоўцы лесатаксацыйных мадэляў прыросту па запасе і прадукцыйнасці сасновых дрэвастояў па класах банітэту на аснове даных пераліковай і выбарковай таксацыі сасновых дрэвастояў;

4) у распрацоўцы лесатаксацыйных мадэляў прыросту сасновых дрэвастояў для павыдзельнай актуалізацыі запасаў ляснога фонду ў геаінфармацыйнай сістэме «Лясныя рэсурсы» і нармавання лесакарыстання;

5) у распрацоўцы лесатаксацыйных табліц прадукцыйнасці сасновых дрэвастояў па класах банітэту для лесаінвентарызацыі і абгрунтавання памеру лесакарыстання ў сістэме ўстойлівага кіравання лясамі.

**Ступень выкарыстання.** Вынікі даследаванняў укаранёны ў геаінфармацыйную сістэму «Лясныя рэсурсы» ДЛГУ «Лагойскі лясгас» і выкарыстоўваюцца ў навучальным працэсе кафедры лесаўпарадкавання БДТУ па дысцыпліне «Лясная таксацыя», у курсавым і дыпломным праектаванні студэнтаў спецыяльнасці 1-75 01 01 «Лясная гаспадарка».

**Вобласць прымянення.** Лясная гаспадарка.

## SUMMARY

Sidelnik Nikolai Yaroslavovich

### **Forest mensuration models of the volume increment of the pine stands in the geographic information system «Forest resources»**

**Keywords:** volume increment, pine, forest mensuration models, sample plots, geographic information systems, databases, growth of stands, bonitet, yield of stands, actualization, rationing forest harvesting.

**Objects of research:** pure, even-aged pine stands of the Republic of Belarus.

**The purpose of the research:** to develop forest mensuration models of the volume increment for pine stands in the geographic information system (GIS) «Forest resources», for actualization of the forest fund, forest harvesting valuation, and sustainable forest management.

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

#### **Scientific novelty and importance:**

- 1) the directions of the volume increment and productivity modeling of pine stands on the bonitet class approach have been analyzed;
- 2) the governing law of relation volume increment with some pine stand characteristics and the fluctuation of the volume increment in relation with the age and bonitet classes have been studied;
- 3) the forest mensuration models of the volume increment and productivity of pine forest stands on the bonitet classes have been developed based on enumerated forest mensuration data as well as sampling forest mensuration data;
- 4) the forest mensuration models of the pine forest stands volume increment have been developed. The models are intended to be used for the actualization of some forest data on the level of a forest subcompartment in the geographic information system «Forest resources» as well as for valuation of forest harvesting volume;
- 5) the forest mensuration tables of the forest pine stands productivity depending on the bonitet classes have been created. The proposed tables could be used for the purposes of a forest inventory and limiting of forest harvesting volume in the information system of sustainable forest management.

**Degree of application.** The results of the research have been implemented in the geographic information system «Forest resources» on the example of Logoisk Forestry Enterprise and have been using in the university curriculum of the forest inventory department of BSTU within the university course «Forest mensuration», as well as in the course of student diploma works of the specialty 1-75 01 01 «Forestry».

**Field of application.** Forestry.

Научное издание

Сидельник Николай Ярославович

**ЛЕСОТАКСАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРИРОСТА  
ПО ЗАПАСУ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
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 Н.Я. Сидельник

Подписано в печать 28.05.2010. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 60 экз. Заказ 238.

Отпечатано в Центре издательско-полиграфических  
и информационных технологий учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».

220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.