

УДК 630*56

Н. Я. Сидельник, ассистент (БГТУ)

**МОДЕЛИ АКТУАЛИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ФОНДА В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ
В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»**

Разработаны модели актуализации лесного фонда в сосновых лесах с использованием геоинформационной системы «Лесные ресурсы». Исходными данными для актуализации сосновых насаждений являются таксационные показатели насаждений, содержащиеся в повыделной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» (возраст, запас, класс бонитета). Проверка точности и надежности оценивалась путем определения систематических и среднеквадратических ошибок прогноза запасов, средних диаметров и средних высот сосновых древостоев с данными перечислительной таксации на постоянных пробных площадях. Систематическая ошибка моделей актуализации сосновых лесов находится в пределах допустимых отклонений по запасу, диаметру и высоте при 5%-м уровне значимости.

Models of actualization of the forest fund of pine forests using the geoinformation system «Forest resources» are developed in this article. The initial data for the actualization of pine stands are plantations taxation parameters contained in the subcompartment database GIS «Forest resources» (age, stand volume, bonitet). Models are compared to data enumerating forest mensuration of temporary sample plots. Checking the accuracy and reliability was assessed by determining the systematic and mean forecast errors volume, average diameter and average heights of pine stands. Systematic errors models of actualization pine forest are within the permissible deviations: volume, diameter and height at 5% significance level.

Введение. Эффективность управления и планирования в лесном хозяйстве в значительной степени определяется наличием надежной информации о текущем состоянии лесного фонда. Поэтому особое значение приобретают программы по прогнозированию и актуализации лесного фонда. Проф. В. С. Чуенков указывает на две основные трудности, связанные с этими задачами: точность исходной таксационной информации и подбор адекватных математических моделей, достоверно описывающих естественный рост древостоев [1].

Актуализация лесного фонда имеет в виду внесение текущих изменений в лесном фонде с учетом давности лесоустройства. Технология актуализации предусматривает:

1) внесение текущих изменений от проведенных лесохозяйственных мероприятий (рубок леса, лесовосстановления и т. д.), стихийных явлений (пожаров, ветровалов и др.);

2) прогнозирование таксационных показателей древостоев с учетом периода роста и развития.

Изменения, произошедшие в лесном фонде, должны учитываться в ходе непрерывного лесоустройства. Отечественная технология этого вида лесоустройства разработана в 1989 г. под методическим руководством проф. О. А. Атрощенко белорусскими специалистами с учетом опыта латвийских коллег. Технической основой ее осуществления является созданная в нашей стране геоинформационная система (ГИС) «Лесные ресурсы». В Беларуси первая геоинформационная система ГИС ForMap для MS DOS была разработана в 1992 г. (О. А. Атрощенко, А. П. Кулагин). Использование ГИС-технологий позволяет вносить текущие изменения, произошедшие в лес-

ном фонде и значительно ускорить получение актуализированной информации.

Актуализированная информация используется для решения комплекса задач по перспективному и текущему планированию ведения лесного хозяйства и лесопользования, по учету лесного фонда и лесосырьевых ресурсов, для контроля за эффективностью лесохозяйственной деятельности, для оценки состояния лесов.

Основная часть. В лесном фонде Республики Беларусь хозяйственным воздействием ежегодно охватывается в среднем 5% выделов и на 25% выделов (преимущественно средневозрастные и приспевающие древостои средних полнот) возникает необходимость уточнения или проведения новых хозяйственных мероприятий [2]. Поэтому актуальным является вопрос о точности актуализации древостоев на естественный ход роста.

Актуализация лесного фонда может выполняться двумя способами: 1) повыделная актуализация, когда изменения вносятся в каждый отдельный участок с учетом его особенностей; 2) актуализация лесного фонда по итоговому таблицам классов возраста. Принципиальное значение для актуализации имеет установление зависимостей вида $H=f(A)$, $D=f(A)$, $M=f(A)$. Для выражения приведенных закономерностей существует достаточно большой набор математических моделей. Их описание представлено в научных исследованиях О. А. Атрощенко, Н. Н. Свалова, В. Ф. Багинского, В. В. Антанайтиса [3, 4, 5, 6].

От точности моделей актуализации зависит и достоверность информации о запасах древостоев, которые не таксируются в течение длительного периода с момента базового лесоустройства [7]. Точность моделей оценивается путем определения систематических и среднеквадра-

тических ошибок данных актуализации запасов, средних диаметров и средних высот сосновых древостоев.

Был исследован ряд моделей – функций роста леса, рекомендованных для данных целей А. К. Кивисте [8]. Для актуализации диаметров и высот сосновых насаждений были использованы регрессионные модели, предложенные О. А. Атрощенко [9].

Моделирование роста древостоев по диаметру и высоте осуществляется по классам бонитета согласно общепониманной шкале проф. М. М. Орлова. На основании этой шкалы проф. О. А. Атрощенко были приняты индексы классов бонитета [9]:

$$P_D = 10^{1,758} \cdot A^{-0,400} \cdot A^{-0,216 \cdot \lg(A)} \cdot (H_{100})^{-0,128}; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,960; \quad F = 2028,8; \quad S_y = 0,09;$$

$$P_H = 10^{1,907} \cdot A^{-0,415} \cdot A^{-0,251 \cdot \lg(A)} \cdot (H_{100})^{-0,196}; \quad (2)$$

$$R^2 = 0,954; \quad F = 1751,8; \quad S_y = 0,11,$$

где $P_{D,H}$ – процент текущего изменения среднего диаметра и средней высоты древостоя соответственно; H_{100} – индекс класса бонитета; R^2 – коэффициент детерминации; F – критерий Фишера; S_y – стандартная ошибка регрессии.

Модели объясняют 95–96% вариации зависимой переменной с относительной ошибкой $\pm 0,11$. Коэффициенты регрессий значимы на 5%-м уровне, модели достоверны по F -критерию Фишера [9].

Данные модели были проверены на точность многими исследователями [9, 10, 11]. По исследованиям А. П. Кулагина [10], по диаметру систематические ошибки не превышают +1,3%, средне-

квадратические $\pm 1,5\%$ в сосновых насаждениях I класса бонитета, по высоте – +2,3 и $\pm 3,1\%$ в сосняках II и III классов бонитета соответственно.

Проверка данных моделей А. А. Пушкиным [11] по материалам перечислительной таксации сосновых древостоев на пробных площадях показала систематическую ошибку актуализации средней высоты сосновых древостоев +0,4%, среднего диаметра +2,6%. Среднеквадратическая ошибка актуализации средней высоты составила $\pm 3,2\%$, среднего диаметра $\pm 4,0\%$ [13].

Для актуализации запаса была использована модель текущего среднепериодического прироста:

$$\bar{Z}_M^n = 10^{-0,898} \cdot M^{(1,436-0,403 \cdot \lg(A))}; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,84; \quad F = 4376,2; \quad S_y = 0,06,$$

где \bar{Z}_M^n – текущий прирост по запасу сосновых древостоев, m^3 ; M – запас древостоя, $m^3/га$; A – возраст древостоя, лет.

Регрессия объясняет до 84% вариации произведения текущего среднепериодического прироста с абсолютной ошибкой $0,6 m^3$ и достоверна по F -критерию Фишера.

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 [12].

Результаты сравнительной оценки данных прогноза запасов по материалам повторной перечислительной таксации на постоянной пробной площади (сосняк орляково-мшистый [13]) в Негорельском учебно-опытном лесхозе представлены в таблице.

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

Год таксации	Возраст, лет	Запас, m^3	Данные прогноза запаса, m^3	Отклонения, m^3	Систематическая ошибка, %
1972	45	218	–	–	–
1973	46	229	226	–3	–1,3
1974	47	238	237	–1	–0,4
1975	48	250	246	–4	–1,5
1976	49	261	258	–3	–1,0
1977	50	274	269	–5	–1,7
1978	51	284	283	–1	–0,5
1979	52	295	293	–2	–0,8
1980	53	307	304	–3	–1,1
1981	54	318	316	–2	–0,7
1985	58	354	353	–1	–0,3
1988	61	377	378	1	0,2
1989	62	385	386	1	0,2
1990	63	393	394	1	0,2
1991	64	400	402	2	0,5
1992	65	408	409	1	0,2
1993	66	415	417	2	0,4
1994	67	423	424	1	0,2

В целом необходимо отметить, что регрессионная модель (3) достаточно надежно моделирует текущий прирост по запасу сосновых насаждений. Систематическая ошибка прогноза запаса сосновых древостоев $-0,3\%$, среднеквадратическая ошибка прогноза запаса $\pm 0,8\%$.

Прогнозные актуализированные таксационные показатели определялись по формулам:

$$D_{A+n} = D_A + 0,01 \cdot D_A \cdot P_D \cdot n; \quad (4)$$

$$H_{A+n} = H_A + 0,01 \cdot H_A \cdot P_H \cdot n; \quad (5)$$

$$M_{A+n} = M_A + \bar{Z}_M^n \cdot n, \quad (6)$$

где D_{A+n} , H_{A+n} , M_{A+n} – актуализированные значения среднего диаметра, высоты и запаса древостоя соответственно; D_A , H_A , M_A – значения среднего диаметра, высоты и запаса древостоя на начало актуализации (по данным базового лесоустройства); n – период актуализации, лет.

Использование ГИС «Лесные ресурсы» позволяет выполнять повыдельную актуализацию, при этом среднеквадратическая ошибка уменьшается обратно пропорционально квадрату корню из числа измерений. ГИС предоставляет в этом отношении уникальную возможность, позволяя мгновенно выполнить расчет по всем участкам, представленным в базе данных и таким путем достичь приемлемой точности результата.

Для актуализации таксационных показателей с использованием ГИС-технологий можно из повыдельной базы данных с помощью программных средств ГИС «Лесные ресурсы» отобразить сосновые насаждения. Таксационные показатели (средняя высота, средний диаметр и запас на 1 га) сосновых древостоев были актуализированы. Актуализированные таксационные показатели определялись по формулам (1–6).

Работа с повыдельной (атрибутивной) базой данных геоинформационной системы «Лесные ресурсы» проводилась с использованием СУБД (например, MS Access) или специализированных утилит для работы с таблицами баз данных в формате *paradox*.

Актуализация основных таксационных показателей лесного фонда выполнялась следующим образом.

1. Возраст преобладающей и составляющих пород. К возрасту, определенному при базовом лесоустройстве, поочередно прибавляется один год до года актуализации.

2. Высота преобладающей и составляющих пород. Актуализация средних высот выполняется на каждый год ревизионного периода по формуле (5) для каждой составляющей породы.

Если для составляющей породы высота не указана, то она принимается равной высоте предшествующей породы яруса.

3. Диаметр преобладающей и составляющей пород. Актуализация средних диаметров выполняется на каждый год ревизионного периода по формуле (4) для каждой древесной породы, входящей в состав насаждения.

4. Запас преобладающей и составляющей пород. Актуализация запасов производится по элементам леса на каждый год ревизионного периода по формуле (6).

В повыдельной базе данных таксационные показатели на начало прогноза заменяются актуализированными таксационными показателями (средние диаметры и высота, запас на 1 га).

Заключение. С использованием ГИС «Лесные ресурсы» можно получать оперативную актуализированную информацию о лесном фонде, текущем и среднем приросте древостоев, лесных массивов, насаждений лесничества и лесхоза.

Представленные модели актуализации лесного фонда сосновых лесов разработаны с использованием геоинформационной системы «Лесные ресурсы». Исходными данными для актуализации сосновых насаждений являются таксационные показатели насаждений, содержащиеся в повыдельной базе данных ГИС «Лесные ресурсы» – возраст, запас, класс бонитета.

Проверка точности и надежности оценивается путем определения систематических и среднеквадратических ошибок прогноза запасов, средних диаметров и средних высот сосновых древостоев. Систематическая ошибка прогноза средней высоты сосновых древостоев составила $+0,4$ – $2,3\%$, среднего диаметра $+0,4$ – $2,6\%$, запаса древостоев $\pm 1,9\%$. Среднеквадратическая ошибка актуализации средней высоты составила $\pm 3,2\%$, среднего диаметра $\pm 4,0\%$, запаса до $\pm 4,3\%$.

Модели актуализации сосновых лесов имеют систематическую ошибку в пределах допустимых отклонений и могут быть рекомендованы для получения актуализированных данных высот, диаметров и запасов в ГИС «Лесные ресурсы» на основе имеющихся таксационных показателей в повыдельной базе данных.

Литература

1. Чуенков, В. С. Совершенствование методов лесоустройства в соответствии с современными требованиями экологии и экономики / В. С. Чуенков // Проблемы и перспективы развития лесоустройства. – Новосибирск: Изд-во Запсиблеспроект, 1999. – С. 37–43.

2. Дубовик, И. Д. Технология непрерывного лесоустройства на основе повидельного банка данных «Лесной фонд Беларуси» / И. Д. Дубовик, А. П. Кулагин. – Минск: БелНИИНТИ, 1991. – 87 с.
3. Атрощенко, О. А. Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов / О. А. Атрощенко. – Минск: БГТУ, 2004. – 249 с.
4. Багинский, В. Ф. Лесопользование в Беларуси / В. Ф. Багинский, Л. Д. Есимчик // Минск: Беларуская навука, 1996. – 367 с.
5. Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н. Н. Свалов. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 215 с.
6. Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загребев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 200 с.
7. Антанайтис, В. В. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом / В. В. Антанайтис, И. Н. Репшис. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 104 с.
8. Кивисте, А. К. Функции роста леса / А. К. Кивисте. – Тарту, 1988. – 108 с.
9. Атрощенко, О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02 / О. А. Атрощенко. – Киев, 1985. – 520 с.
10. Кулагин, А. П. Система непрерывного лесоустройства в Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / А. П. Кулагин. – Минск: БГТУ, 1997. – 18 с.
11. Пушкин, А. А. Оптимизация главного пользования в сосновых лесах с использованием ГИС-технологий: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / А. А. Пушкин. – Минск: БГТУ, 2002. – 25 с.
12. Инструкция по проведению лесоустройства государственного лесного фонда. – Минск: РУП «Белгослес», 2002. – 88 с.
13. Тарайковский, Д. Г. Динамика таксационных элементов средневозрастного сосняка орляково-мшистого / Д. Г. Тарайковский, С. М. Кононович // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 1996. – Вып. IV. – С. 53–58.

Поступила 14.04.2010