УДК 630*181.71(470.53)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ В ЦЕЛЯХ АКТУАЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

¹Зубова С.С., ²Ворожнин В.С.¹ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: svtvorog@mail.ru;²Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: vorozhnin@mail.ru

В настоящее время наблюдается дефицит корректной информации о лесном фонде для отдельных районов. На сегодняшний день данная проблема решается использованием способа актуализации при проведении таксации лесов. В связи со сложившейся ситуацией возникла необходимость применения альтернативных методов лесной таксации которые могут использовать модели роста древостоев для лесных участков в целом. В качестве объекта исследования выбраны еловые древостои, произрастающие в условиях Чайковского лесничества Пермского края на дренированных участках с устойчивым водным режимом. Для моделирования методом случайной выборки были отобраны 30 выделов, по которым проведена натурная таксация. В ходе работы создана электронная база лесоустроительных данных Чайковского лесничества, с использованием которой оценены параметры моделей на основе изменения основных таксационных показателей (диаметра, высоты и запаса) с использованием уравнений Корсуна и Корсуна – Бакмана. Модели характеризуют ход роста соответствующий II классу бонитета в наиболее распространенных лесорастительных условиях. Таксационные выделы в пределах модального класса бонитета были распределены по относительным полнотам, для учета специфики роста, связанной с первоначальной густотой и ходом последующего изреживания насаждений. В качестве критерия адекватности полученных моделей использован коэффициент детерминации $R^2 > 0,9$. Проведено исследование закономерных изменений приростов по высоте, диаметру и запасу еловых древостоев с возрастом. На основании исследований составлены справочные таблицы, разработаны модели для проведения актуализации материалов предыдущего лесоустройства для данного лесничества. Проведено сравнение полученных актуализированных материалов лесоустройства с данными глазомерно-измерительной таксации. Установлено, что различие при сравнении модельных данных с результатами натурной таксации не превышает 10 %.

Ключевые слова: лесной фонд, лесничество, актуализация материалов лесоустройства, моделирование хода роста, модели роста древостоев, лесотаксационная база данных

THE ACTUALIZATION OF FOREST INVENTORY DATA BASE BY THE DEVELOPMENT OF FOREST GROWTH MODELS

¹Zubova S.S., ²Vorozhnin V.S.¹Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: svtvorog@mail.ru;²Institute of Industrial Ecology UB RAS, Ekaterinburg, e-mail: vorozhnin@mail.ru

Currently there is a deficit of correct information about the forest fund for certain areas. Today this problem is solved using the method of actualization when forest inventory is carried out. To change the current situation, it became necessary to use alternative methods of forest inventory that can use the growth models of forest stand for total forest plots. Spruce stands growing under conditions of the Chaikovsky forest district of Permsky Krai on drainable plots with a stable water regime were selected as a research object. 30 allotments were selected for random sampling. Full-scale inventory was carried out for modeling. The result of the work is the creation of electronic database of forest management data of the Chaikovsky forestry. It helps to measure the parameters of models on the basis of changes in basic taxation indicators (diameter, height and stock) using the Korsun' and Korsun'-Bakman equations. The models characterize growth corresponding to growth class II in the most common forest growing conditions. Taxation allocations within the modal growth class were distributed according to relative completeness, taking into account the specific growth connected with the initial density and the course of subsequent thinning of plantations. As a criterion of adequacy of the models obtained, the determination coefficient $R^2 > 0.9$ is used. A study of the regular changes in increment in height, diameter and stock of spruce stands with age was made. Based on the research, reference tables have been prepared, models for updating the materials of the previous forest inventory for the given range have been developed. The obtained updated forest inventory materials are compared with the data of the eye-measuring inventory. It is established that the comparison of model data and the results of full-scale inventory does not exceed 10 %.

Keywords: forest fund, forestry, data base actualization of forest inventory, forest growth modeling, forest growth models, data base of forest taxation

В последнее время, в связи с автоматизацией управления лесным хозяйством, большое значение приобретают модели роста древостоев. При этом последние, как правило, используются при проведении таксации лесов способом актуализации, указанном в лесоустроительной инструкции [1], за-

ключающемся в уточнении таксационных описаний предыдущего лесоустройства. Однако, несмотря на типовой подход, в настоящее время наблюдается дефицит корректной информации о лесном фонде для лесных участков в целом. Обычно это связано с низким качеством исходных данных,

в том числе из-за человеческого фактора, обусловленного проведением выборочной натурной таксации и актуализации отдельных лесных выделов, отобранных методом экспертной оценки [2, 3]. Решение данной проблемы представляется рядом специалистов проведением компьютерной идентификации древостоев и их состояний на всей территории по космическим снимкам высокого разрешения (например, методом распознавания образов). Однако подобная идентификация нуждается в проверке адекватности ввиду удаленности изучаемых объектов. Проводимая в данном направлении работа, несмотря на возможность получения характеристики лесных массивов в целом, до сих пор не привела к решению проблемы [4].

В связи с вышеизложенным, отметим, что появилось смещение акцентов в сторону применения альтернативных методов таксации, в том числе анализа данных дистанционного зондирования. Подобная тенденция не позволяет полностью отказаться от выборочно-статистического метода инвентаризации, так как разработка моделей роста древостоя для актуализации лесоустроительной информации лесных участков полностью может использоваться как для самостоятельной оценки, так и для проверки адекватности альтернативных методов [5].

Целью исследования являлась разработка моделей роста древостоев для характерных участков на примере Чайковского лесничества с целью актуализации лесоустроительной информации.

Материалы и методы исследования

Чайковское лесничество расположено в зоне хвойно-широколиственных лесов в юго-западной части Пермского края на территории двух муниципальных районов: Еловского и Чайковского. Протяженность территории лесничества с севера на юг составляет около 70 км, с востока на запад – 116 км. Общая площадь лесничества Чайковское – 22706 га, в том числе 13517 га – защитные, 9189 га – эксплуатационные [6]. Климат умеренно континентальный. Период вегетации имеет продолжительность около 130 дней. За год выпадает около 550 мм осадков.

В соответствии с методикой [7] по таксационным показателям строилась регрессионная модель, которая позволяет учесть естественный рост древостоев и может быть применима для прогнозирования. В работе использована электронная база ле-

сотаксационных данных Чайковского лесничества Пермского края. Применимость данного метода связана с широким использованием материалов лесоустройства, в том числе в соответствии с Н.П. Анучиным [8], возможностью устанавливать закономерности хода роста древостоев.

Анализ исходных материалов показал, что в районе исследований наиболее представленными являются еловые древостои, произрастающие на дренированных участках с устойчивым водным режимом. Поэтому основное внимание было уделено изучению динамики таксационных показателей данных древостоев. Однако, учитывая, что в пределах выбранных участков производится ельников существенно различается (с I по III класс бонитета), в работе более тщательное внимание уделялось разработке моделей, характеризующих ход роста для модальных лесорастительных условий соответствующих II классу бонитета, аккумулирующего наибольший объем экспериментального материала. Далее в пределах данного класса бонитета таксационные выделы были распределены по относительным полнотам, для учета специфики роста, связанной с первоначальной густотой и ходом последующего изреживания насаждений.

С использованием регрессионного анализа методом наименьших квадратов отклонений по выборке строились модели роста для трех основных таксационных показателей древостоев: средней высоты, среднего диаметра и запаса древесины на одном гектаре. В качестве критерия адекватности полученной регрессионной модели рассматривался коэффициент детерминации ($R^2 > 0,9$). Принималось предположение, что рассматриваемая выборка имеет нормальное распределение. Поэтому в качестве критерия достоверности регрессионных коэффициентов в модели рассматривались коэффициенты Стьюдента.

На основе полученных моделей возрастной динамики таксационных показателей и отмеченных особенностей изменения текущего прироста составлены справочные материалы в виде таблиц годовых приростов таксационных показателей по n -летним ступеням возраста для актуализации лесотаксационных материалов. С их использованием проведен перерасчет устаревших данных. Согласно лесоустроительной инструкции [1] проверка актуализированных показателей произведена путем сопоставления полученных материалов с данными натурной таксации. Для проверки методом

случайной выборки отобраны 30 выделов, пройденных натурной таксацией.

В качестве базовых уравнений приняты наиболее подходящие для описания изменений основных таксационных показателей древостоев, которые позволяют произвести учет зависимостей средней высоты и среднего диаметра древостоев от их возраста, согласно рекомендациям Н.П. Анучина [8], уравнение Корсуня:

$$Y = X^2 / (c + b \times X + a \times X^2), \quad (1)$$

где Y – значение таксационного показателя (диаметра в см и высоты в м);

X – средний возраст древостоя, лет;

a, b, c – регрессионные коэффициенты уравнения.

И оценка запасов с помощью уравнения Корсуня – Бакмана [4]:

$$\ln Y = c + b \times \ln X + a \times \ln^2 X, \quad (2)$$

где Y – запас древостоя, м³;

X – возраст древостоя, лет;

a, b, c – регрессионные коэффициенты уравнения.

Использование данных уравнений позволяет сопоставлять полученные закономерности прироста с данными других исследований [5].

Результаты исследования и их обсуждение

С использованием уравнения (1) по исходным данным получены статистически достоверные коэффициенты для уравнения регрессии по полученному объему выборки (N) зависимости высоты (H , м) от возраста древостоя (A , лет), значения которых приведены в табл. 1.

На рис. 1 приведен график хода роста, полученный на основе регрессионной модели возрастной динамики еловых древостоев второго класса бонитета, без учета влияния относительной полноты насаждения, в сопоставлении с исходными данными лесоустройства.

С использованием уравнения Корсуня получена возрастная динамика диаметров деревьев (D , см) по исследуемому участку. Параметры модели приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения $H = A^2 / (a \times A^2 + b \times A + c)$ для еловых насаждений II класса бонитета

Класс бонитета	Значения коэффициентов (числитель) и критерия Стьюдента (знаменатель)			R^2
	a	b	c	
II	0,0232 / 12,4	1,3556 / 7,3	26,9322 / 5,7	0,97

Таблица 2

Значения коэффициентов регрессии и их характеристики по уравнению $D = A^2 / (a \times A^2 + b \times A + c)$ по II классу бонитета и относительной полноте 0,6

Класс бонитета	Значения коэффициентов (числитель) и критерия Стьюдента (знаменатель)			R^2
	a	b	c	
II	0,0183 / 5,05	0,8776 / 2,27	33,9495 / 3,21	0,92

Рис. 1. Возрастная динамика средней высоты еловых насаждений II класса бонитета. Линией обозначена модель, кружочками – исходные данные

Рис. 2. Возрастная динамика текущего прироста древостоев по высоте в еловых древостоях II класса бонитета

Рис. 3. Возрастная динамика текущего прироста по диаметру ельников II класса бонитета с относительной полнотой 0,6

Рис. 4. Возрастная динамика текущего прироста по запасу насаждений ельников II класса бонитета с относительной полнотой 0,6

В результате анализа было выявлено существенное влияние относительной полноты на рост ельников по диаметру, в связи с чем модель разработана для модальных еловых древостоев второго класса бонитета с относительной полнотой 0,6.

Для выравнивания запасов использовалась функция Корсуня – Бакмана (2). В результате получена статистически достоверная регрессионная модель.

Далее, учитывая, что наиболее эффективным приемом актуализации является использование в этом процессе экстраполяционных коэффициентов, представляющих собой величины изменения таксационных показателей за определенное количество лет, был проведен анализ приростов по высоте (рис. 2).

Возрастная динамика текущего прироста по диаметру в молодом возрасте описывается аналогичным образом, достигая кульминации в 30 лет (рис. 3).

Возрастная динамика текущего прироста по запасу характеризуется кульминацией в 30 лет (рис. 4), после чего с возрастом прирост также постепенно снижается.

Проведенный анализ по приростам позволил разработать экстраполяционные коэффициенты, представляющие собой величины изменения таксационных показателей за определенное количество лет (приросты по высоте, диаметру и запасу в %). Полученные данные, сгруппированные в зависимости от возраста насаждения, позволили произвести пересчет данных прошлого лесоустройства с учетом срока их давности.

Сопоставление результатов натурного обследования с модельными данными

показало, что в среднем наибольшее расхождение по запасу не превышает 10 %. В результате оценки по модели получены значения, превышающие результаты натурного обследования (рис. 5). Однако статистически значимого различия средних между модельными расчетами и результатами натурного обследования установить не удалось.

В результате проведенной работы:

– Получены коэффициенты регрессии, позволившие определить среднегодовое изменение средних высоты, диаметра и запаса на 1 га в различном возрасте древостоев. Составлена таблица текущего прироста еловых древостоев по основным таксационным показателям.

– Для проверки адекватности разработанных моделей, на основе полученной таблицы текущего прироста, таксационной характеристики выделов и периода с момента проведения предыдущего лесоустройства проведена актуализация средних диаметров, средних высот и запасов на 1 гектар. Сравнение значений таксационных показателей в выделах, пройденных натурной таксацией, с данными, полученными в результате актуализации, показало адекватность полученных моделей.

– Получены модели, характеризующие рост древостоев с учетом особенностей условий произрастания, применимые при составлении местных таблиц хода роста еловых древостоев, которые могут быть использованы как для характеристики рассматриваемого лесного фонда, так и для проверки адекватности актуализации материалов, выполненной другими способами.

Рис. 5. Сравнение результатов актуализации по модели и натурного обследования: среднее – среднее арифметическое; SE – стандартная ошибка; 0,95 – 95 % – доверительный интервал

Выводы

Использование уравнения Корсуня для описания возрастной динамики средней высоты и среднего диаметра еловых древостоев, а также уравнения Корсуня – Бакмана для описания запасов позволяет получить достоверные регрессионные коэффициенты.

Материалы лесоустройства надлежащего качества в сочетании с результатами измерительно-перечислительной таксации позволяют получать объективные данные о возрастной динамике основных таксационных показателей древостоев и могут служить основой для проведения лесоустройства методом актуализации.

Список литературы

1. Приказ Рослесхоза от 12.12.2011 № 516: «Об утверждении лесоустроительной инструкции». URL: www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208 (дата обращения: 20.01.2018).
2. Скудин В.М. Проектирование лесных участков и разработка проектов освоения лесов: проблемы и их решение / В.М. Скудин, К.И. Распопин, Д.А. Свищев, С.К. Распопин, Р.С. Ахмедзянов // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – № 2. – С. 224–228.
3. Григорьев А.Ю. Хотели как лучше... и что надо делать, чтобы не «получилось как всегда» // Социально-экологические проблемы лесного сектора России и пути их решения. – М., 2001. URL: old.forest.ru/rus/publications/how/03-2.html (дата обращения: 20.01.2018).
4. Трейфельд Р.Ф. Между Лесоустройством и ГИЛ. URL: forstmeisterspb.org/blog16327 (дата обращения: 20.01.2018).
5. Zubova S.S. Актуализация материалов лесоустройства с использованием нормативов, полученных на основе поведельных баз данных ГИС / С.С. Zubova, З.Я. Нагимов, Г.А. Годовалов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. URL: www.science-education.ru/ru/article/view?id=11070 (дата обращения: 20.01.2018).
6. Лесохозяйственный регламент Чайковского лесничества. Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. – Пермь. – 260 с. URL: priroda.permkrai.ru/timberraw/les_regl/reglamenty/2014-2018/Чайковское%20лесничество.pdf (дата обращения: 20.01.2018).
7. Zubova S.S. Разработка нормативов для актуализации лесоустроительной информации в ГИС ГЕОГРАФ (на примере лесного участка ООО «Катавлесхоз»): автореф.

дис. ... канд. с.-х. наук (25.12.13) / Zubova Svetlana Sergeevna; УГЛТУ. – Екатеринбург, 2013. – 21 с.

8. Анучин Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.

References

1. Prikaz Rosleskhoza ot 12.12.2011 №516: «Ob utverzhdenii lesoustroitel'noi instruksii». [Order of Rosleskhoz from 12.12.2011 no.516: «On approval of the forest management planning manual »]. Available at: www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208 (accessed 20.01.2018).
2. Skudin V.M., Raspopin K.I., Svishchev D.A., Raspopin S.K., Akhmedzianov R.S. The Design of Forest Plots and the Project Development of the Forest Exploitation: Problems and their Solution [Proektirovanie lesnykh uchastkov i razrabotka proektov osvoeniia lesov: problemy i ikh reshenie]. Khvoynye boreal'noi zony - Coniferous of the boreal zone, 2009, no. 2, pp. 224-228.
3. Grigor'ev A.Iu. Khoteli kak luchshe i chto nado delat', chtoby ne «poluchilos' kak vseгда». Sotsial'no-ekologicheskie problemy lesnogo sektora Rossii i puti ikh resheniia. [Like the best... and what to do to not "turned out as always". Socio-environmental problems of the Russian forest sector and their solutions.]. Available at: old.forest.ru/rus/publications/how/03-2.html (accessed 20.01.2018).
4. Treifel'd R.F. Mezhdru Lesoustroistvom i GIL [Between Forest inventory and GIL.]. Available at: forstmeisterspb.org/blog16327 (accessed 20.01.2018).
5. Zubova S.S., Nagimov Z.Ia., Godovalov G.A. The Aktualization of Forest Management Materials on the Basis Date Base of Inventarizathion of Forest from GIS [Aktualizatsiia materialov lesoustroistva s ispol'zovaniem normativov, poluchennykh na osnove povyd'el'nykh baz dannykh GIS]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia - Modern Problems of Science and Education, 2013, no. 6. available at: www.science-education.ru/ru/article/view?id=11070 (accessed 20.01.2018).
6. Lesokhoziaistvennyi reglament Chaikovskogo lesnichestva. Ministerstvo prirodnnykh resursov, lesnogo khoziaistva i ekologii Permskogo kraia Perm'. [Lesohozjajstvennyj reglament Chajkovskogo lesnichestva. Ministerstvo prirodnnykh resursov, lesnogo hozjajstva i jekologii Permskogo kraja Perm']. Available at: priroda.permkrai.ru/timberraw/les_regl/reglamenty/2014-2018/Чайковское%20лесничество.pdf (accessed 20.01.2018).
7. Zubova S.S. Razrabotka normativov dlja aktualizatsii lesoustroitel'noi informatsii v GIS GEOGRAF (na primere lesnogo uchastka ООО «Katavleskhoz»): avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. s.-kh. nauk [The development of standards for updating management information in a GIS GEOGRAPHER (on the example of forest, ООО "Katavleskhoz") [Razrabotka normativov dlja aktualizatsii lesoustroitel'noj informatsii v GIS GEOGRAF]. Ekaterinburg, UGLTU, 2013, 21.
8. Anuchin N.P. Lesnaia taksatsiia [Forest Survey]. Ekaterinburg, Lesnaia promyshlennost', 1982, 552.