

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО КЛАССАМ БОНИТЕТА

Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В.

*Белорусский государственный технологический университет
(г. Минск, Беларусь)*

На основе разработанной лесотаксационной модели прироста по запасу сосновых древостоев рассчитан текущий прирост сосновых древостоев. Разработаны модели роста и таблицы производительности сосновых древостоев по классам бонитета на основе данных перечислительной и выборочной таксации сосновых древостоев. Составлены таблицы производительности сосновых древостоев по классам бонитета. Выполнено сравнение полученных таблиц с уже существующими таблицами хода роста и производительности.

ВВЕДЕНИЕ

Учет леса, прогнозирование роста древостоев, назначение и оценка эффективности лесохозяйственных мероприятий теперь невозможны без использования таблиц хода роста и производительности древостоев. Устойчивое развитие лесов Беларуси в значительной степени определяется оптимальным размером лесопользования и рациональным использованием лесных ресурсов. Нормальный лес должен иметь оптимальную породную и возрастную структуру лесов, максимальные прирост и производительность, размер лесопользования и доход лесного хозяйства.

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, повышение размера лесопользования и доходов лесного хозяйства. Информация о приросте древостоев обеспечивает контроль за состоянием лесов и их продуктивности при непрерывном и неистощительном лесопользовании.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование роста и производительности древостоев в значительной степени зависит от наличия достаточно надежных и полных исходных данных. Сбор этой информации весьма трудоемкий процесс, т. к. банка данных наблюдений на постоянных пробных площадях нет. Для моделирования роста и производительности сосновых древостоев могут быть использованы временные пробные площади (выборочная лесоинвентаризация), которые могут обеспечить данными для разработки приемлемых функций роста насаждений, и также снижают субъективизм в математическом моделировании и увеличивает достоверность результатов при статистическом анализе.

Разработка таблиц производительности сосновых древостоев по запасу требует наличия значительного исходного экспериментального материала, что увеличивает достоверность результатов при статистическом анализе и моделировании. Поэтому исследование проводилось 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.

Основными ограничивающими факторами при отборе материалов для целей моделирования взаимосвязей между таксационными показателями и построения таблиц производительности сосновых древостоев были: класс бонитета – I^A, I, II, III, полнота – не менее 0,5.

Для проверки точности и надежности системы моделирования хода роста древостоев выполнялось моделирование хода роста древостоев на постоянных пробных площадях и сравнение таксационных показателей, полученных в результате моделирования, с показателями, полученными в результате таксации.

В данной работе при создании таблиц производительности сосновых древостоев определялась принадлежность древостоев к одному естественному ряду развития, т. к. материалы выборочной лесоинвентаризации Гродненской области включают большое количество экспериментального данных.

Основные таблицы хода роста составляются по классам бонитета. Таксационный подход к выбору в качестве критерия гомогенности использует количественные признаки, что позволяет широко применять статистические методы при обработке данных. К этому добавляется еще то, что количество типов леса больше, чем классов бонитета, и поэтому охватить и учесть все типы леса довольно сложно.

Группировка собранного материала по естественным рядам роста и развития и проверка сгруппированного материала на гомогенность выполнялась комбинированным методом. Принадлежность древостоев к одному естественному ряду роста и развития определялась аналитическим методом на основании данных анализа хода роста стволов и данных таксации древостоев. Окончательная проверка опытных данных на однородность выполнялась методом ЦНИИЛХа [1, 2]. Пробные площади, средняя высота которых отличалась от значений, рассчитанных по уравнениям [2] более чем на 10 %, а средний диаметр более чем на 15 % исключались из опытного материала и в дальнейшей обработке не учитывались. Обработывались данные тех сосновых древостоев, которые в результате проверки принадлежали к одному естественному ряду роста и развития.

Основным видом моделей производительности древостоев являются таблицы хода роста. Таблицы хода роста имеют большое значение для практики лесного хозяйства и лесоустройства. Сведение о ходе роста и производительности насаждений служат основой многих лесоустроительных расчетов.

Основные методы, применяемые на практике для составления таблиц хода роста и производительности древостоев, подробно рассмотрены в работах Н.Н. Свалова [1, 3], Н.П. Анучина, В.В. Кузьмичева, В.В. Антанайтиса [4, 5], В.Ф. Багинского и Л.Д. Есимчика [6, 7].

В настоящее время большое внимание уделяется выявлению общей производительности древостоев, при построении таблиц хода роста, поэтому особое значение имеет установление размера промежуточного пользования (отпада) и прироста по запасу древостоев [8].

Обоснование расчетов общей производительности через показатели текущего прироста приводится в работах П.В. Воропанова [8], Н.Н. Свалова [1, 3], В. В. Антанайтиса и В.В. Загреева [4, 5]. Цель – получить совместные модели роста и производительности насаждений. Общую производительность древостоев можно установить на основе данных текущего прироста наличных древостоев, что практически осуществимо, имея массовые данные о динамике древесных запасов и их текущего прироста. Соответственно, идя по такому пути, первоначально вычисляют полный текущий прирост и потом выбираемую часть (как разницу между текущим приростом и текущим изменением запасов).

Д. Клуттер (1963) указывал, что использование логарифма запаса как зависимой переменной, а не просто запаса, более подходит статистическим предпосылкам линейного регрессионного анализа.

Для аналитического выравнивания хода роста древостоя по диаметру и высоте использованы модели роста леса, рекомендованные А.К. Кивисте (1988). Наилучшие результаты моделирования хода роста сосновых древостоев по высоте дало уравнение Странда (1).

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

где H – высота, м; A – возраст, лет; b_0, b_1 – коэффициенты регрессии.

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):

$$D = \frac{A}{b_0 + b_1 \times A}, \quad (2)$$

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:

$$M = G \times H \times F, \quad (3)$$

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 ($S = 0,03 - 0,09$; $F = 3802,54 - 29692,05$; $R^2 = 0,90 - 0,98$) [2].

$$Z_M = 10^{b_0} \times M^{(b_1 + b_2 \times \lg(A))} \quad (4)$$

где Z_M – показатель прироста, $\text{м}^3/\text{га}$ (%); M – запас древостоя, $\text{м}^3/\text{га}$; A – возраст древостоя, лет.

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

$$M_o^n = Z_M^n - \Delta_M^n, \quad (5)$$

где M_o^n – запас отпада древостоя за n лет, м^3 ; Δ_M^n – абсолютное текущее периодическое изменение запаса, м^3 .

Запас вырубаемой древесины или промежуточного пользования ($M_{выр}$) определялся как сумма запасов отпада (M_o^n) за n лет в древостое:

$$M_{выр} = \sum_{i=1}^A M_o^n \quad (i = 1, \dots, A), \quad (6)$$

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

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

$$M_{общ} = M_A + \sum_{i=1}^A M_o^n \quad (7)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

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.

Графики, отражающие динамику текущего и среднего прироста по запасу сосновых древостоев I^A–III классов бонитета с возрастом, по результатам моделирования роста и производительности сосновых древостоев представлены на рисунках 1, 2.

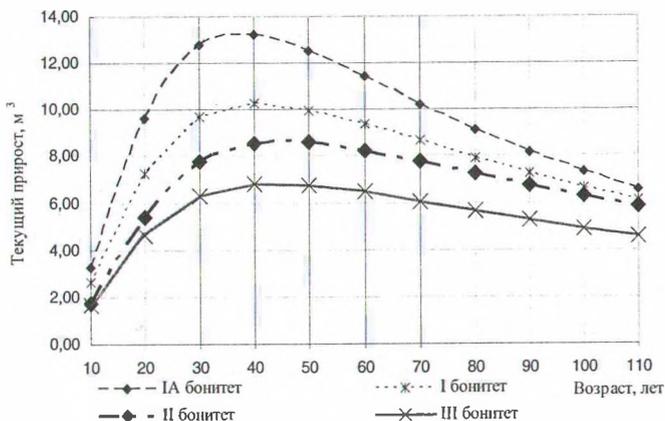


Рисунок 1 – Динамика текущего прироста по запасу сосновых древостоев по классам бонитета

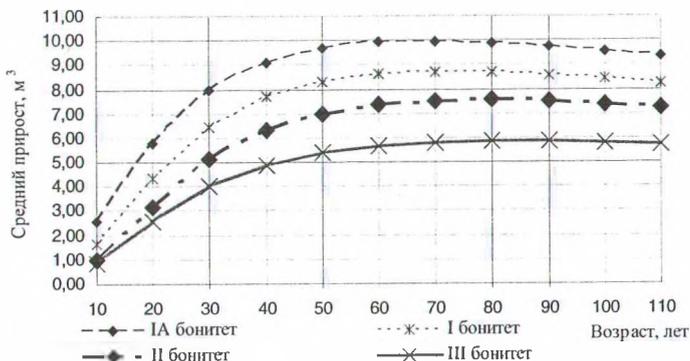


Рисунок 2 – Динамика среднего прироста по запасу сосновых древостоев по классам бонитета

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

На примере наиболее представленного в Республике Беларусь II класса бонитета показаны результаты по созданию таблицы производительности сосновых древостоев по классам бонитета (таблица 1).

Полученные таблицы производительности сосновых древостоев сравнивались с данными таблиц хода роста и производительности сосновых древостоев О.А. Атрошенко, составленных на основании массовых данных производственной таксации лесов (средний уровень производительности для мшистого типа леса) [9], таблицам хода роста В.Е. Ермакова (нормальных сосновых древостоев по типам леса); В.Ф. Багинского (ход роста нормальных сосновых древостоев), таблицам хода роста сосновых древостоев естественного происхождения (В.С. Мирошников); Так как некоторые таблицы составлены по типам леса, при сравнении использовались данные, соответствующие бонитетам (рисунки 3, 4).

Таблица I – Производительность сосновых древостоев II класса бонитета

Возраст, лет	Средние		Число стволов, шт.	Сумма сечений, м ²	Видовое число	Запас ствольной древесины, м ³	Относительный текущий прирост, %	Прирост, м ³		Текущее изменение запаса, м ³	Среднее изменение запаса, м ³	Запас отпада, м ³	Запас вырубаемой древесины, м ³	Общая производительность, м ³
	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

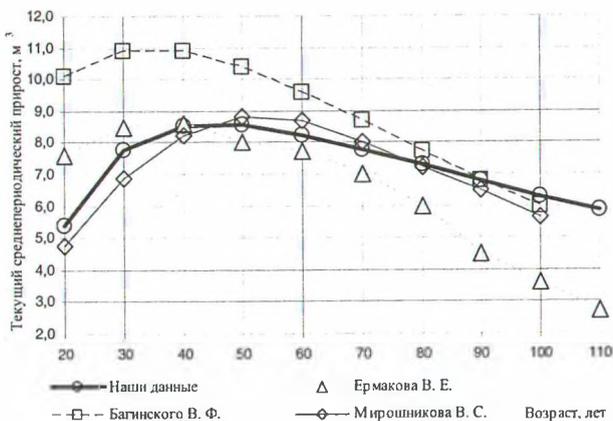


Рисунок 3 – Динамика текущего среднепериодического прироста по запасу сосновых древостоев II класса бонитета

По текущему среднепериодическому приросту отклонения по всем таблицам хода роста и производительности составили 0,7–3,8 м³/га, по среднему приросту 0,4–5,7 м³/га. Наименьшие отклонения составили по таблицам хода роста В.С. Мирошникова: I класс бонитета – по общей производительности 15–36 м³, по текущему среднепериодическому приросту до 0,8 м³/га, по среднему приросту 0,2–1,1 м³/га; II класс бонитета – по общей производительности 7–26 м³, по текущему среднепериодическому приросту 0,1–0,9 м³/га, по среднему приросту –0,3–0,4 м³/га; III класс бонитета – по общей производительности 2–40 м³/га, по текущему среднепериодическому приросту 0,3–1,5 м³/га, по среднему приросту –0,2–1,1 м³/га.

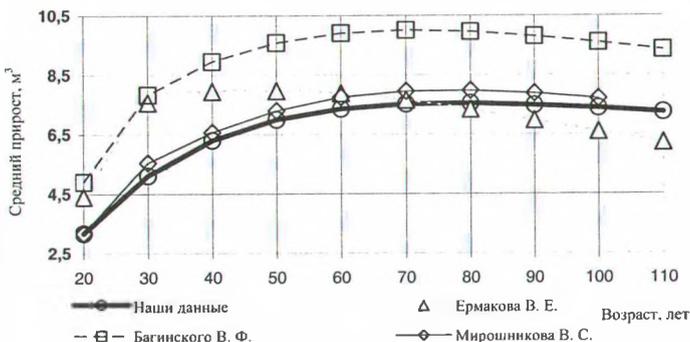


Рисунок 4 – Динамика среднего прироста по запасу сосновых древостоев II класса бонитета

По текущему среднепериодическому приросту по запасу наибольшее отклонение наблюдается в 30 лет ($-53,7\%$) для II класса бонитета (рисунок 3) 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 4) наибольшее отклонение составило $-72,1\%$ в 30 лет для I^A класса бонитета по таблицам хода роста В.Ф. Багинского, наименьшее $-0,6\%$ в 70 лет – по таблицам хода роста В.Е. Ермакова для I^A класса бонитета. В целом большие отклонения приходится на молодняки, что связано с большой вариацией таксационных показателей в данном возрасте.

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 [7].

Для сравнения результатов моделирования роста сосновых древостоев используем данные II класса бонитета. Результаты сравнения показывают, что различия в высоте не существенны по сравнению с таблицами В.Е. Ермакова, В.С. Мирошникова, В.Ф. Багинского (до 90 лет отклонения не выходят за пределы $\pm 1,1$ м. у всех авторов). По диаметру наши данные не превышают $+3,9$ см (таблицы хода роста В.Ф. Багинского в возрасте 40 лет). При сравнении динамики запасов наилучшие результаты дают сравнения наших данных с данными таблиц хода роста В.Е. Ермакова, и В.С. Мирошникова, В.Ф. Багинского – максимальное отклонение по запасу -54 м³ в 30-летнем возрасте (таблицы хода роста О.А. Атрощенко).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя материалы выборочной лесоинвентаризации лесов Гродненского ПЛХО на 4801 круговой пробной площадках, данные перечислительной таксации сосновых древостоев на 71 временной пробной площади и данные повторной перечислительной таксации на постоянных пробных площадях выполнено моделирование роста и производительности сосновых древостоев по классам бонитета.

Моделирование хода роста сосновых древостоев по высоте и диаметру выполнено на основе модели роста Странда. Регрессии связи средних высот с возрастом древостоев объясняют 96–99% вариации средних высот древостоев с ошибкой 0,05–0,14 метра, достоверны по F -критерию Фишера на 5% уровне значимости.

Регрессии связи средних диаметров с возрастом древостоев объясняют 93–99% вариации средних диаметров древостоев с ошибкой 0,07–0,16 сантиметра, достоверны по F -критерию Фишера на 5% уровне значимости.

Сумма площадей сечений древостоя выравнивалась в зависимости от средней высоты древостоев. Регрессии объясняют 90–93% вариации сумм площадей сечений с ошибкой 0,08–0,16 м²/га достоверны по F -критерию Фишера на 5% уровне значимости.

Модели прироста использованы для расчетов относительного и абсолютного текущего среднепериодического прироста по запасу сосновых древостоев. Запас отпада получен как разница между текущим приростом и текущим изменением запасов древостоев. Сумма запасов растущего древостоя и отпада представляет общую производительность древостоев.

Составлены таблицы производительности сосновых древостоев I^A–III классов бонитета. Таблицы производительности включают показатели растущего древостоя, запас деревьев отпада и объем промежуточного пользования (вырубаемой части), текущий и средний прирост по запасу древостоев, общую производительность сосновых древостоев. Кульминация по текущему среднепериодическому приросту по запасу достигает максимума в 40 лет по всем классам бонитета. Количественная спелость наступает для I^A и I классов бонитета в 55 лет, а II и III классов бонитета в 60 лет.

Выполнено сравнение таблиц производительности сосновых древостоев с таблицами хода роста и производительности древостоев. Результаты показывают, что для I^A класса бонитета наибольшие отклонения по общей производительности наблюдаются по таблицам хода роста В.Ф. Багинского в возрасте 110 лет 149 м³, по текущему среднепериодическому приросту отклонения по всем таблицам хода роста составили 0,7–3,8 м³/га, по среднему приросту 0,4–5,7 м³/га. Наименьшие отклонения составили по таблицам хода роста В.С. Мирошникова: I класса бонитета – по общей производительности 15–36 м³, по текущему среднепериодическому приросту 0–0,8 м³/га, по среднему приросту 0,2–1,1 м³/га; II класс бонитета – по общей производительности 7–26 м³, по текущему среднепериодическому приросту 0,1–0,9 м³/га, по среднему приросту –0,3–0,4 м³/га; III класс бонитета – по общей производительности 2–40 м³, по текущему среднепериодическому приросту 0,3–1,5 м³/га, по среднему приросту –0,2–1,1 м³/га.

Составленные лесотаксационные таблицы производительности сосновых древостоев могут быть использованы при таксации лесов для оценки продуктивности насаждений и степени использования лесных земель, производительности условий местопроизрастания, обоснования размера лесопользования в системе устойчивого управления лесами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Свалов, Н.Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н.Н. Свалов. – Москва: Лесная промышленность, 1979. – 216 с.
- 2 Сидельник, Н.Я. Лесотаксационные модели прироста по запасу сосновых древостоев в геоинформационной системе «Лесные ресурсы»: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Н.Я. Сидельник – Минск, 2010. – 144 с.
- 3 Свалов, Н.Н. Основные положения методики моделирования производительности древостоев / Н.Н. Свалов // Сб. науч. тр./ ЛитСХА. – Каунас, 1983. – С.42–47.
- 4 Антанайтис, В.В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В.В. Загреев – Москва: Лесная промышленность, 1981. – 198 с.

5 Антанайтис, В.В. Значение моделей производительности древостоев и пути их совершенствования / В.В. Антанайтис // Сб. науч. тр./ ЛитСХА. – Каунас, 1983. – С. 4–6.

6 Багинский, В.Ф. Лесопользование в Беларуси: история, современное состояние, проблемы и перспективы / В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик. – Минск: Беларуская думка, 1996. – 367 с.

7 Багинский, В.Ф. Повышение продуктивности лесов / В.Ф. Багинский. – Минск, 1984. – 136 с.

8 Воропанов, П.В. Метод расчёта общей продуктивности насаждений при построении таблиц хода роста / П.В. Воропанов.– М.: Лесная промышленность, 1966.– 128 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, 1986. – 520 с.

MODELING OF THE GROWTH AND THE PRODUCTIVITY OF PINE STANDS ON THE BONITET CLASSES

Sidelnik N. YA., Kovalevsky S. V.

Based on the developed model of the volume increment was calculated the current increment of the pine stands. Models of growth and the productivity tables of pine stands on the bonitet classes have been developed based on enumerated forest mensuration data as well as sampling forest mensuration data. The productivity tables of the pine stands depending on the bonitet classes have been created. The received tables were compared to existing tables of growth and productivity stands.

Статья поступила в редколлегию 04.04.2012 г.



УДК 630*587

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ТАКСАЦИОННО-ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ЦИФРОВЫХ СНИМКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

Толкач И.В., Бахур О.С.

*Белорусский государственный технологический университет
(г. Минск, Беларусь)*

В статье приводится краткий анализ лесотаксационного дешифрирования цифровых снимков с использованием геоинформационных систем и цифровой фотограмметрической станции, дан краткий обзор основных методов дешифрирования аэро- и космических снимков. Описана методика выполнения работ и приведены результаты измерений.