



# 3. ЛЕСОУСТРОЙСТВО. ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ. ЭКОНОМИКА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 630\*587

## ТАБЛИЦЫ И МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ТАКСАЦИОННЫМИ И ДЕШИФРОВОЧНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ В ЧИСТЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ

**Бахур О.С.**

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

*В статье приводится краткий анализ использования данных дистанционного зондирования и современных программных продуктов для их обработки, дан краткий обзор основных закономерностей и взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями древостоя. Описана методика выполнения работ по закладке таксационно-дешифровочных выделов и измерительной таксации, исследованы взаимосвязи между таксационными показателями и показателями полога в чистых сосновых древостоях.*

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в отрасли лесного хозяйства Республики Беларусь интенсивно развиваются и внедряются цифровые методы и современные цифровые технологии обработки информации и геоинформационные системы. На смену традиционной обработке материалов аэро- и космической съемки при помощи простых оптических приборов и визуального анализа

приходят цифровые компьютерные технологии. В РУП «Белгослес» уже внедрена цифровая фотограмметрическая станция Photomod для обработки цифровых снимков и построения ортофотопланов, а также используется современное программное обеспечение для обработки данных дистанционного зондирования, такие, как ENVI, ScanEx, ERDAS IMAGINE и другие.

Применение геоинформационных систем и цифровых фотограмметрических станций открывает новые возможности для измерительного лесотаксационного дешифрирования на цифровых снимках, а использование закономерностей строения древостоя и взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями позволяет определить основные таксационные характеристики древостоя.

Цифровые материалы аэрофотосъемки и космической съемки лесов широко используются при мониторинге лесов, при оценке состояния лесного фонда и изменений, вызванных хозяйственной деятельностью человека и неблагоприятными погодными условиями, поэтому, необходима разработка новых методов дешифрирования и интерпретации цифровых снимков. При лесоустроительных работах с прошлого года начали применять космические снимки (в 2011 г. составило 5%, в 2012г. – 10%).

22 июля 2012 года был запущен белорусский космический аппарат дистанционного зондирования Земли, который в ближайшем времени обеспечит заинтересованные отрасли Республики Беларусь данными космической съемки, которые будут использованы для решения различных задач градостроительства, геодезии, землеустройства, сельского и лесного хозяйства. В связи с этим разработка новых методов оценки количественных и качественных показателей лесного фонда, а также его изменений, является актуальной задачей.

Целью исследования является изучение взаимосвязей между таксационными показателями и показателями полога в чистых сосновых древостоях на цифровых космических снимках высокого разрешения с использованием специализированного программного обеспечения и ГИС-технологий.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования выбраны сосновые насаждения Барановичского, Быховского, Ивацевичского, Смолевичского лесхозов I и I<sup>a</sup> классов бонитета, в которых была проведена закладка 56 круговых пробных площадей в 22 таксационно-дешифровочных выделах с использованием GPS-приемника Garmin 60C. Для выполнения измерительного дешифрирования использовались цифровые цветные космические снимки 2007 года, сделанные с космического спутника Quickbird, с разрешением 0,6 м, выполненные в красном, инфракрасном и зеленом диапазонах (RNIRG).

Таксационная характеристика насаждений в таксационно-дешифровочных выделах устанавливалась по данным выборочной измерительно-перечислительной таксации закладкой круговых пробных площадок (КПП) постоянного радиуса. Количество круговых площадок постоянного радиуса,

необходимое для определения таксационных показателей, зависело от полноты и площади выдела. Величина радиуса площадок в разных выделах колебалась от 9,8 до 17,8 м в зависимости от полноты и среднего диаметра древостоя.

При таксации древостоев на КПП постоянного радиуса применялась систематическая выборка. В пределах таксационно-дешифровочного выдела по диагонали располагали КПП через равный интервал. С помощью GPS-навигатора Garmin 60С определялись координаты центров КПП. Границы КПП отводились с помощью ультразвукового высотомера-дальномера VERTEX IV. В пределах КПП выполнялся сплошной пересчет деревьев с измерением диаметров в двух направлениях (СЮ, ЗВ) с точностью 0,1 см металлической мерной вилкой с делением 1 мм. При сплошном пересчете по участию крон в формировании полога дерева делились на свободные, частично закрытые и закрытые деревья.

У ближайших к центру 5 учетных деревьев измерялась высота дерева, высота до наибольшего диаметра кроны и высота окончания кроны с помощью ультразвукового высотомера-дальномера VERTEX IV. Диаметр крон измерялся в двух взаимоперпендикулярных направлениях (1- наибольший диаметр крон, 2- перпендикулярно к нему), также описывалась густота и форма крон (по классификации Г.Г. Самойловича). Сомкнутость полога древостоя при натурной таксации насаждения измерялась линейным методом.

При дешифрировании сосновых насаждений на космических снимках использовались измерительные методы, разработанные для цифровых снимков с использованием специализированного программного обеспечения и геоинформационных систем (ENVI и Quantum Gis) [1, 2].

Для обработки данных, полученных при измерительной таксации насаждений, использовались математико-статистические методы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При составлении таксационной характеристики насаждений методами измерительного дешифрирования аэро- и космических снимков можно получить лишь часть показателей древостоя, характеризующий его полог. Поэтому еще в 1924 г. возник вопрос об использовании связи между размерами крон, видимыми на снимках, и другими таксационными признаками, невидимыми на них, например диаметрами на высоте груди. В дальнейшем исследования проводились с целью установления зависимостей не только между диаметрами крон  $D_K$  и диаметрами на высоте груди  $d_m$ , но также между диаметром кроны, высотой деревьев и длиной крон. Они показали, что диаметры крон в наибольшей степени связаны с диаметрами на высоте груди (коэффициент корреляции 0,7-0,9). Связь же между диаметром кроны, высотой деревьев и длиной крон оказалась несколько ниже (коэффициент корреляции 0,5-0,6) [3].

Между таксационно-дешифровочными показателями, характеризующими древостой и его полог, существуют не только парные, но и множественные зависимости, например, между диаметром на высоте груди, высотой и пол-

нотой –  $d_m = f(h, P)$  или диаметром на высоте груди, высотой, диаметром крон, сомкнутостью и классом бонитета –  $d_m = f(h, D_k, C_n, \text{кл. бонитета})$ , которые моделируются с помощью различных корреляционных уравнений или выражаются в виде графиков, номограмм, таблиц, в том числе хода роста, дополненных дешифровочными показателями ( $h, D_k, C_n, l_k, h_{Dk}, h_{Ok}$ ) [2].

И.М. Данилиным составлены уравнения взаимосвязей между  $d_m$ ,  $h$  и  $P$  древостоев некоторых лесообразующих пород Сибири [4]. Уравнение взаимосвязи для сосны II класса бонитета:

$$d_m = 4,791 + 0,749 h + 0,022 h_{cp}^2 - 4,616 P - 1,353 P^2, \quad (1)$$

где  $h$  – высота дерева, м;  $h_{cp}$  – средняя высота древостоя, м;  
 $P$  – полнота древостоя.

По измеренным на снимках диаметрам крон и корреляционным уравнениям можно определять диаметры на высоте груди, высоту и длину крон деревьев и другие таксационные показатели.

Также установлено, что в чистых сосновых насаждениях различных возрастов с небольшой примесью других пород сомкнутость полога ( $C_n$ ) меньше полноты на 0,1-0,5, в еловых - на 0,1-0,4, в лиственничных - на 0,2-0,6; в кедровых - на 0,2-0,5, в дубовых - на 0,2, в березовых - на 0,3; в осиновых сомкнутость равна полноте или больше на 0,1-0,2 единицы. Так, для чистых по составу сосновых насаждений, по данным И.М. Данилина, взаимосвязь полноты насаждения с сомкнутостью полога отображается уравнением:

$$P = -0,0043 + 2,0028 C_n - 0,7439 C_n^2, \quad (2)$$

где  $P$  – относительная полнота древостоя;  
 $C_n$  – сомкнутость полога.

Изучение закономерностей полога древостоев позволяет глубже познать природу леса. Форма, размер и протяженность крон оказывают значительное влияние на рост и развитие деревьев. Поэтому исследование закономерностей строения крон и полога древостоя, а также особенностей их изображения на снимках, позволит более точно определить все таксационные показатели при измерительном дешифрировании цифровых аэро- и космических снимках.

Исследованиями в области изучения закономерностей и взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями насаждений занимались Г.Г. Самойлович, И.Д. Дмитриев, В.И. Сухих, И.М. Данилин, Н.И. Баранов, А.С. Агеенко, И.Т. Трунов и другие.

По полученным данным в программе «Statgraphics», при помощи анализа параметров множественной регрессии, составлялись модели взаимосвязи между диаметром дерева, средним диаметром древостоя и другими таксационными показателями для I и Ia классов бонитета.

Анализ между таксационными показателями древостоя и его полога был выполнен вначале отдельно для I и Ia классов бонитета. Различия между по-



лученными уравнениями оказались не значимыми, поэтому на последующих этапах данные были объединены в единую совокупность.

Для вычисления регрессионного уравнения связи между полнотой древостоя и сомкнутостью полога было выполнено соотношение этих данных и построены графики.

Таблица 1 - Соотношение между полнотой древостоя и сомкнутостью полога в сосновых насаждениях на пробных площадях

№ ПП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Полнота (P)	0,98	1,0	1,0	0,96	0,97	0,9	0,83	0,97	0,77	1,0	0,88	0,82	0,94	0,68	0,78	0,78	0,73	0,79	0,75	1,0	0,84	1,0
Сомкнутость (C <sub>п</sub> )	0,78	0,82	0,84	0,78	0,8	0,78	0,77	0,81	0,76	0,82	0,79	0,76	0,77	0,74	0,73	0,74	0,75	0,81	0,79	0,84	0,77	0,82

Уравнение, характеризующее связь между полнотой древостоя и сомкнутостью полога в сосновых насаждениях:

$$P = - 13,5834 + 34,101 C_{п} - 19,9105 C_{п}^2, \quad (3)$$

Коэффициент корреляции составляет – 0,875, коэффициент детерминации ( $R^2$ ) – 76,6%, средняя квадратическая ошибка уравнения ( $S_y$ ) – 0,039, F-критерий Фишера (F) – 59,06. Пределы действия уравнения по сомкнутости  $0,70 < C_{п} < 0,85$ .

На рисунке 1 графически представлена модель взаимосвязи между полнотой древостоя и сомкнутостью полога в сосновых насаждениях по уравнению 3.

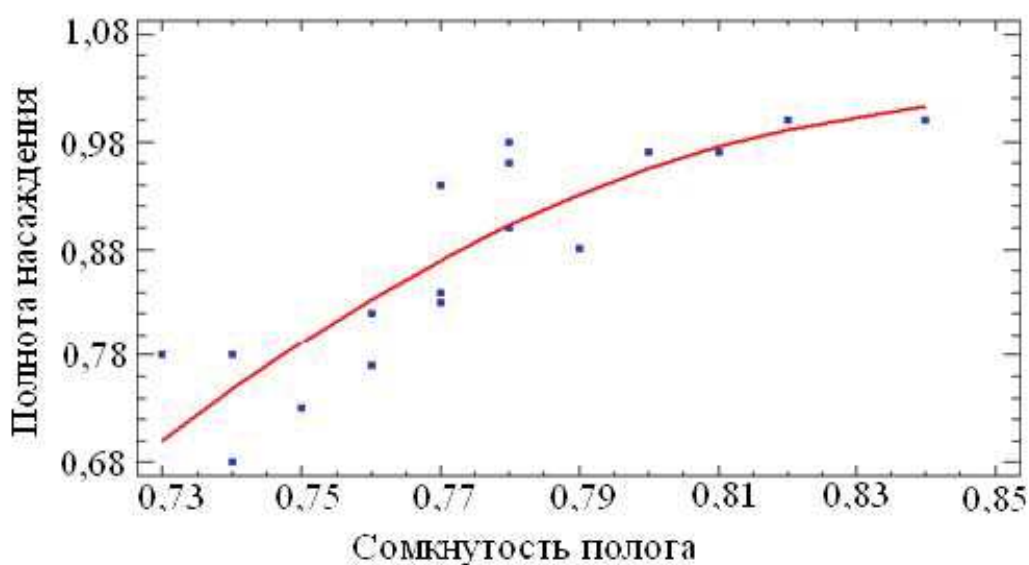


Рисунок 1 – График взаимосвязи между полнотой древостоя и сомкнутостью полога в сосновых насаждениях на пробных площадях

Таблица 2 – Полнота насаждений при различных значениях сомкнутости полога

	Полнота при сомкнутости					
	0,73	0,75	0,77	0,80	0,83	0,85
Сосна	0,70	0,79	0,87	0,95	1,00	1,02

Было выполнено исследование взаимосвязи между диаметром ствола дерева и таксационными показателями древостоя такими как: высота дерева, средняя высота древостоя, возраст, диаметр крон, густота, сомкнутость, сумма площадей сечения и др. Последовательно исключая не значимые по t-критерию Стьюдента, получили следующее уравнение множественной регрессии:

$$d_m = 3,74950 d_{кр} + 0,70263 h - 0,00604 N, \quad (4)$$

где  $d_m$  – диаметр дерева, см;  $h$  – высота дерева, м;  
 $d_{кр}$  – диаметр крон, м;  $N$  – густота древостоя, шт/га.

Таблица 3 – Значение t-критерия Стьюдента независимых переменных для расчета диаметра дерева

Параметры	t-критерий Стьюдента
$d_{кр}$	16,7699
$h$	15,8916
$N$	-7,37411

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составляет 98,59 %; средняя квадратическая ошибка уравнения ( $S_y$ ) – 2,9171, F-критерий Фишера (F) – 6492,09.

На рисунке 2 графически представлена модель взаимосвязи между диаметром ствола дерева, высотой дерева и густотой насаждения по уравнению 4.

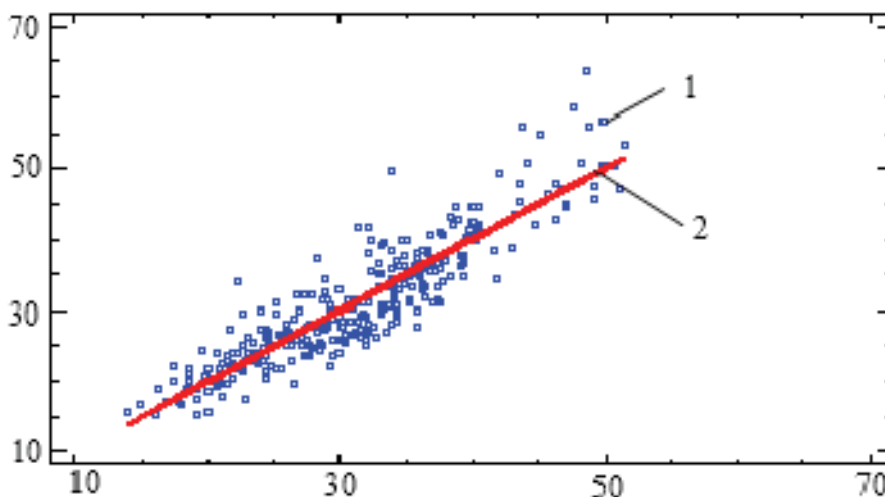


Рисунок 2 - Расчетные (1) и опытные (2) значения диаметров деревьев

Таблица 4 – Диаметр дерева в зависимости диаметра кроны, высоты дерева и густоты насаждения

$d_{кр}$ , м h, м	2	3	4	5	6	7	8
<b>Густота – 400 шт/га</b>							
20	19,14	22,89	26,63	30,38	34,13	37,88	41,63
22	20,54	24,29	28,04	31,79	35,54	39,29	43,04
24	21,95	25,70	29,45	33,19	36,94	40,69	44,44
26	23,35	27,10	30,85	34,60	38,35	42,10	45,85
28	24,76	28,51	32,26	36,01	39,75	43,50	47,25
30	26,16	29,91	33,66	37,41	41,16	44,91	48,66
32	27,57	31,32	35,07	38,82	42,57	46,31	50,06
<b>Густота – 600 шт/га</b>							
20	17,93	21,68	25,43	29,18	32,93	36,68	40,42
22	19,33	23,08	26,83	30,58	34,33	38,08	41,83
24	20,74	24,49	28,24	31,99	35,74	39,49	43,24
26	22,14	25,89	29,64	33,39	37,14	40,89	44,64
28	23,55	27,30	31,05	34,80	38,55	42,30	46,05
30	24,95	28,70	32,45	36,20	39,95	43,70	47,45
32	26,36	30,11	33,86	37,61	41,36	45,11	48,86
<b>Густота – 800 шт/га</b>							
20	16,72	20,47	24,22	27,97	31,72	35,47	39,22
22	18,12	21,87	25,62	29,37	33,12	36,87	40,62
24	19,53	23,28	27,03	30,78	34,53	38,28	42,03
26	20,94	24,68	28,43	32,18	35,93	39,68	43,43
28	22,34	26,09	29,84	33,59	37,34	41,09	44,84
30	23,75	27,50	31,24	34,99	38,74	42,49	46,24
32	25,15	28,90	32,65	36,40	40,15	43,90	47,65
<b>Густота – 1000 шт/га</b>							
20	15,51	19,26	23,01	26,76	30,51	34,26	38,01
22	16,92	20,67	24,42	28,17	31,91	35,66	39,41
24	18,32	22,07	25,82	29,57	33,32	37,07	40,82
26	19,73	23,48	27,23	30,98	34,73	38,47	42,22
28	21,13	24,88	28,63	32,38	36,13	39,88	43,63
30	22,54	26,29	30,04	33,79	37,54	41,29	45,03
32	23,94	27,69	31,44	35,19	38,94	42,69	46,44

При исследовании взаимосвязи между средним диаметром насаждения с показателями полога древостоя, лучшие результаты дала следующая функция:

$$D_{\text{ср}} = -6,52007 D_{\text{кр ср}} + 0,923253 D_{\text{кр ср}}^2 + 5,29728 L_{\text{дер}} + 27,3359 C_{\text{п}}^2, \quad (5)$$

где  $D_{\text{ср}}$  – средний диаметр насаждения, см;  
 $D_{\text{кр ср}}$  – средний диаметр крон полога насаждения, м;  
 $L_{\text{дер}}$  – среднее расстояние между деревьями, м;  
 $C_{\text{п}}$  – сомкнутость полога насаждения.

Таблица 5 – Значение t-критерия Стьюдента независимых переменных для расчета среднего диаметра

Параметры	t -критерий Стьюдента
$D_{\text{кр ср}}$	-18,0861
$D_{\text{кр ср}}^2$	17,8456
$L_{\text{дер}}$	46,5218
$C_{\text{п}}^2$	24,4315

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составляет 99,90 %; средняя квадратическая ошибка уравнения ( $S_y$ ) - 0,7619, F-критерий Фишера (F) - 68624,21.

На рисунке 3 графически представлена модель взаимосвязи между средним диаметром насаждения, средним диаметром крон, средним расстоянием между деревьями и сомкнутостью полога по уравнению 3.

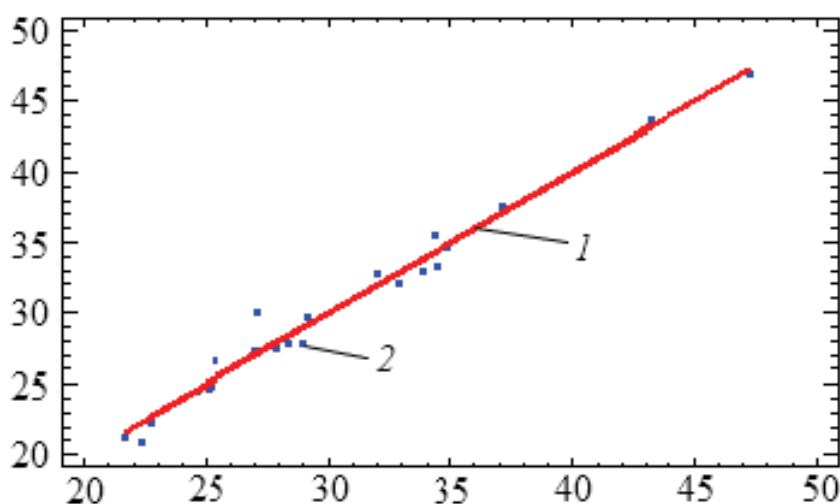


Рисунок 3 - Расчетные (1) и опытные (2) значения диаметров деревьев



Таблица 6 – Средний диаметр древостоя в зависимости среднего диаметра кроны, расстоянием между деверьями и сомкнутостью полога в квадрате

$d_{кр, М}$ $L_{дер, М}$	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5	5,5
1	2	3	4	5	6	7	8
Сомкнутость полога в квадрате – 0,5							
3	12,2	11,5	11,2	11,4	12,1	13,2	14,8
4	17,5	16,8	16,5	16,7	17,4	18,5	20,1
5	22,8	22,1	21,8	22,0	22,7	23,8	25,4
6	28,1	27,4	27,1	27,3	28,0	29,1	30,7
7	33,4	32,7	32,4	32,6	33,3	34,4	36,0
Сомкнутость полога в квадрате – 0,6							
3	15,2	14,5	14,2	14,4	15,1	16,2	17,8
4	20,5	19,8	19,5	19,7	20,4	21,5	23,1
5	25,8	25,1	24,8	25,0	25,7	26,8	28,4
6	31,1	30,4	30,1	30,3	31,0	32,1	33,7
7	36,4	35,7	35,4	35,6	36,3	37,4	39,0
Сомкнутость полога в квадрате – 0,7							
3	18,8	18,0	17,8	18,0	18,6	19,8	21,4
4	24,1	23,3	23,1	23,3	23,9	25,1	26,7
5	29,4	28,6	28,4	28,6	29,2	30,4	31,9
6	34,6	33,9	33,7	33,9	34,5	35,7	37,2
7	39,9	39,2	39,0	39,2	39,8	41,0	42,5

По рассчитанным регрессионным уравнениям связи между таксационными и дешифровочными показателями древостоя в пределах действия уравнения были составлены таблицы для расчета диаметра дерева и среднего диаметра древостоя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований подтверждают выводы других авторов о существовании тесных взаимосвязей между таксационными показателями древостоя и его полога.

Существует тесная связь между полнотой насаждения и сомкнутостью полога, на что указывает высокое корреляционное отношение (0,875). Наиболее тесная связь наблюдается между диаметрами отдельных деревьев, диаметром крон, высотой и густотой, что подтверждает высокий коэффициент детерминации (98,59 %), а также между средним диаметром насаждения, средним диаметром крон, средним расстоянием между деревьями и сомкнутостью полога (коэффициент детерминации составляет 99,90 %).

## ЛИТЕРАТУРА

1 Толкач, И.В. Методы оценки основных таксационно-дешифровочных показателей на цифровых снимках / И.В. Толкач //Труды БГТУ. – 2012.– № 1: Лесное хоз-во. – С. 63–65.

2 Толкач, И.В. Измерение основных таксационно-дешифровочных показателей древостоя с использованием цифровой фотограмметрической станции Photomod Lite 5.0 / И.В. Толкач, О.С. Бахур//Труды БГТУ. – 2012.– № 1: Лесное хоз-во. – С. 66–68.

3 Самойлович, Г.Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве / Г.Г. Самойлович. – 2-е изд. – М.: Лесная пром-сть, 1964. – 486 с.

4 Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учебник / В.И. Сухих. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.

### TABLES AND MODELS OF CORRELATION OF FOREST MENSURATION AND DECIPHERING CHARACTERISTICS IN PINE FOREST

*Bakhur O.S.*

*The article provides a brief analysis data of remote sensing and advanced software for processing, a brief review of the basic regularities and relationships between mensuration and deciphering characteristics of forest stand. The technique of performance of works to lay mensuration and deciphering stratum and forest inventory, the relationship between mensuration characteristics and indicators of forest canopy in pure pine stands is investigated.*

Статья поступила в редколлегию 04.04.2013 г.



УДК 630\*28:634.73

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ТАКСАЦИЯ ЧЕРНИЧНИКОВ

**Гедых В.Б.**

*Институт леса НАН Беларуси  
(г. Гомель, Беларусь)*

*Обсуждаются причины изменения продуктивности дикорастущих ягодников. Предложены инструменты, методика и номограммы для таксации естественных зарослей черники.*