

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.*

*тельного дешифрирования пробных площадей на аэро- и космических снимках, дан сравнительный анализ данных, полученных при наземной таксации и при измерительном дешифрировании цифровых снимков. Выявлено, что с увеличением полноты древостоя снижается коэффициент вариации основных таксационно-дешифровочных показателей.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач Государственной программы развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1626 от 03.11.2010 г., является модернизация лесохозяйственного производства путем его технического и технологического переоснащения, внедрения современных информационных технологий и аэрокосмических методов, новых программных средств, единой геоинформационной системы лесного хозяйства, электронных лесных измерительных инструментов. Среди предусмотренных программой направлений развития лесоустройства можно отметить повышение точности определения запасов древесных ресурсов; применение цифровых аэро- и космических снимков высокого разрешения; составление цифровых лесных карт в единой географической системе координат; разработку технологии комплексной обработки данных дистанционного зондирования земли для инвентаризации и оценки состояния лесов, формирования тематических лесных карт; совершенствование системы ведения государственного учета лесного фонда и мониторинга лесов с использованием материалов аэрокосмической съемки, поэтому разработка методов автоматизированной оценки количественных и качественных показателей древостоев по аэро- и космическим снимкам является актуальной задачей. В связи с этим возникает необходимость разработки моделей взаимосвязей между дешифровочными показателями, которые можно измерить непосредственно на снимках и таксационными показателями древостоя.

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ

Современное лесоустройство в Республике Беларусь на всех стадиях лесоустроительного проектирования и производства планово-картографических материалов широко использует компьютерные средства и геоинформационные системы [1]. Однако, несмотря на внедрение современной вычислительной техники, методика подготовки снимка к таксации практически не изменилась, дешифрирование выполняется в рабочей области одного из снимков с помощью стереоскопа.

Анализ основных этапов производства лесоустроительных планово-картографических материалов показал, что в последние годы в производстве лесных карт происходят значительные изменения:

- интенсивно используются современные цифровые технологии и компьютерное оборудование, информационные и навигационные системы;
- значительно повышаются требования к точности картографических материалов и пространственной привязке;

– оборудование, имеющееся для получения аналоговых аэрофотоснимков, исчерпало свой ресурс и в скором времени будет заменено на более совершенное и современное – цифровое, а использование цифровых снимков (ЦС) потребует некоторых изменений в технологическом процессе;

– широко используются цифровые аэро- и космические снимки, доступность и пространственное разрешение которых постоянно повышаются;

– применение геоинформационных систем обеспечивает использование картографических и выведельных баз данных лесоустройства прошлых лет [2].

Технология производства лесных карт в РУП «Белогослес» достаточно современна, базируется на цифровых методах обработки информации, постоянно развивается, имеет хорошие возможности модернизации и может быть легко адаптирована к использованию в технологическом процессе цифровых снимков и выполнению на них измерений с применением средств автоматизации. В настоящее время в практике лесного хозяйства все шире используются цифровые снимки, поэтому методы таксационного дешифрирования цифровых снимков с использованием фотограмметрических станций и геоинформационных систем, поддерживающих работу с растровыми изображениями, вызывают повышенный интерес.

Цель исследования – разработка методов оценки основных таксационно-дешифровочных показателей на цифровых снимках с использованием ГИС технологий, определение необходимого количества опытных измерений для обеспечения ошибки оценки дешифровочных показателей не более 10%.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На цифровых аэро- и космических снимках высокого пространственного разрешения на изображении полога древостоя достаточно хорошо выделяются кроны отдельных деревьев, что позволяет выполнить автоматизированную оценку состава и густоты древостоя, размеров крон, сомкнутости полога, а на их основе с использованием регрессионных моделей взаимосвязей дешифровочных и таксационных показателей, закономерностей строения и роста – запаса древостоя. Современные цифровые технологии обработки изображений открывают новые возможности в контурном и таксационном дешифрировании материалов дистанционного зондирования.

Используя ГИС дешифровщик получает мощные средства масштабирования и цветовой коррекции цифровых снимков, а также совмещаются процессы дешифрирования и векторизации границ, что упрощает технологию производства лесных карт и позволяет автоматизировать процесс измерений. С помощью средств ГИС можно в автоматизированном режиме выполнять измерение таких показателей как густота, состав, диаметр крон деревьев, сомкнутость полога, средняя высота древостоя.

Для определения таксационно-дешифровочных показателей на аналоговых снимках широко используются палетки. Палетки предназначены для оценки густоты, состава и сомкнутости полога древостоя. Они имеют вид на-

несенных на прозрачную основу различного размера окружностей, квадратов, прямоугольников, линий или точек [3].

При определении густоты и состава насаждений в ГИС можно использовать аналогичные методы, основанные на подсчете числа видимых в пологе крон древесных пород на единицу площади. Для этой цели используют площадной объект с известной площадью или линейные объекты, формирующие сетку квадратов (рисунок 1).

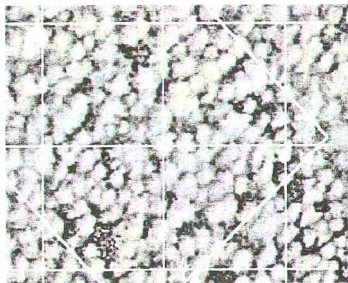


Рисунок 1 – Оценка густоты площадным способом

В зависимости от текущего масштаба изображения площадь подбирается таким образом, чтобы на ней разместилось не менее 30 видимых крон деревьев, и подсчитывают их количество по породам. Подсчеты проводят несколько раз смещая объект или в нескольких квадратах сетки с последующим вычислением средних показателей густоты и состава. Полученные результаты редуцируются на один гектар.

Густоту древостоя можно определить также по среднему расстоянию между деревьями. Для этого в нескольких местах выдела измеряются расстояния между расположенными вблизи деревьями (рисунок 2) и вычисляется среднее, по которому рассчитывается (1) густота.

$$N = 10000 / l^2 \quad (1)$$

где:  $N$  – количество деревьев (шт./га),  $l$  – среднее расстояние между ними (м).

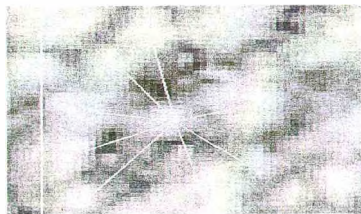


Рисунок 2 – Оценка густоты по среднему расстоянию между деревьями

Сомкнутость полога древостоя можно определить с использованием точечного или линейного методов. В ГИС формируется точечный слой с систематическим размещением точек. Затем производится подсчет точек, попадающих на кроны, края крон и общее количество точек на выделе (рисунок 3). Отношение суммы точек, попавших на кроны, и половины попавших на края крон к общему количеству точек на выделе дает сомкнутость полога.

Следует отметить, что подсчеты необходимо проводить на том снимке, на котором дешифрируемый выдел расположен как можно ближе к центру.

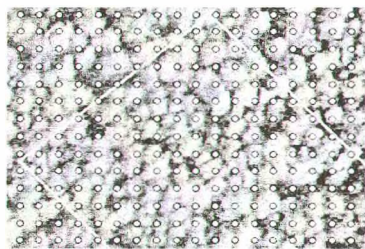


Рисунок 3 – Оценка сомкнутости полога точечным способом

Сомкнутость полога древостоя может быть измерена также линейным методом. Для этого необходимо провести несколько параллельных прямых линий в пределах дешифрируемого таксационного участка, затем вдоль линий измерить длины отрезков, приходящиеся на изображения крон, и общую длину линии (рисунок 4).



Рисунок 4 – Оценка сомкнутости полога линейным методом

Измерение расстояний между дерсвьями, диаметров крон деревьев в ГИС выполняется стандартными средствами измерения длин линий. Для вычисления площади проекции кроны отдельного дерева необходимо создать полигональный объект и вычислить его площадь.

Высоту отдельных деревьев или среднюю высоту древостоя в ГИС можно измерить по длине теней или смещению вершины дерева от основания. Для определения высоты по длине теней нужно знать время съемки (дату и время дня), широту местности и измерить длину тени.

Однако необходимо помнить, что измерения по длине тени можно использовать только в равнинной местности, при сильно холмистом рельефе измерения будут выполнены с грубыми ошибками вызываемыми рельефом. Эти способы измерения средней высоты древостоя можно применять только в насаждениях с низкой полнотой или на границе с открытыми участками (вырубками, прогалинами и др.) [5]. Более широкие возможности измерений дает цифровая фотограмметрическая станция.

Большое влияние на изображение кроны дерева и полога древостоя оказывают направление солнечных лучей и угол солнцестояния. Поскольку на снимках отображается только освещенная часть кроны, размеры крон, изображенные на снимках, меньше их действительных размеров, так как часть кроны затенена и не просматривается. В данном случае необходимо разрабатывать нормативные таблицы (модели), отражающие взаимосвязи между видимыми на снимке и действительными размерами крон.

В качестве объекта исследования послужила часть лесов Окинчечского лесничества ГОЛХУ «Столбцовский опытный лесхоз». Для выполнения измерительного лесотаксационного дешифрирования использовались цифровой цветной космический снимок 2004 года, находящийся в свободном доступе на сайте [maps.google.com](http://maps.google.com) и цифровые аэроснимки, полученные методом сканирования аэрофотоснимков залета 2010г. с разрешением 56 мк и глубиной цвета 24 бит с негативов масштаба 1:15000.

В соответствии с методикой исследования было выполнено измерительное дешифрирование цифровых снимков с использованием геоинформационной системы (ГИС) Quantum GIS 1.7.3. На первоначальном этапе были отобраны выдела средневозрастных чистых сосновых насаждений с полнотами 0,4, 0,7 и 0,9. В пределах каждого выдела были измерены такие показатели, как сомкнутость полога, густота древостоя, расстояние между деревьями и средний диаметр видимой части крон.

Существует два основных способа наблюдений по охвату единиц изучаемого объекта: сплошное обследование всех единиц изучаемой совокупности и выборочное обследование, когда наблюдению подвергается лишь часть единиц изучаемой совокупности. На практике чаще используется выборочный метод, так как он позволяет обеспечить заданную точность при меньшем количестве измерений. Принцип выборочного метода теоретически обоснован акад. П.Л. Чебышевым, доказавшим, что достаточно большая выборка правильно воспроизводит особенности и свойства генеральной совокупности. Отбор единиц можно производить по методу случайной или систематической выборки. Для выполнения исследования использовалась систематическая выборка пробных площадок, путем отбора объектов через равный интервал [6].

Для получения экспериментальных данных был создан векторный слой с регулярной сеткой 20×20м (рис.5). В пределах отобранных площадок были измерены дешифровочные показатели.

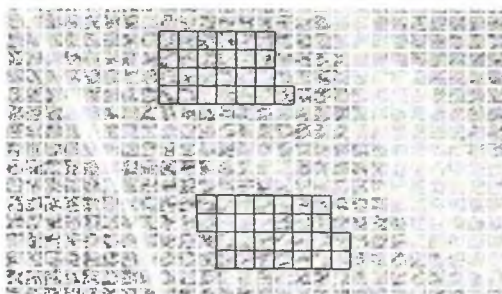


Рисунок 5 – Фрагмент цифрового снимка с регулярной сеткой 20×20м

Измерение густоты древостоя выполнялось методами сплошного перечета деревьев на площадках с известной площадью и по среднему расстоянию между деревьями.

Сомкнутость полога древостоя измерялась линейным способом с использованием Quantum GIS. На снимке в пределах дешифрируемого участка были проведены прямые линии. Вдоль этих линий измерялись длины линий приходящиеся на изображения кроны и общую длину линии. Отношение суммы длин линий попавших на кроны к общей длине линии выражает сомкнутость полога. Диаметры видимой части кроны измерялись с помощью модуля «измерение линии» с последующим вычислением среднего диаметра кроны.

Далее выполнялась статистическая обработка данных. Для каждого дешифровочного показателя вычислялись среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации (таблица 1).

Таблица 1 – Величина коэффициентов вариации таксационно-дешифровочных показателей (%)

Относительная полнота древостоя	Показатели			
	густота	сомкнутость полога	диаметр кроны	расстояние между деревьями
0,4	28,5	34,8	32,3	34,9
0,7	10,6	19,0	21,5	27,7
0,9	9,3	9,7	17,0	27,5

Величина процента выборки зависит от величины обследуемой площади (чем больше площадь, тем меньше может быть процент выборки) и от степени варьирования изучаемого признака (чем больше степень изменчивости признака, тем больше должна быть выборка).

Минимальное количество наблюдений можно определить исходя из требуемой точности [7]:

$$n = \frac{t^2 \cdot V^2}{P^2} \quad (2)$$

где  $t$  – критерий Стьюдента для принятого уровня значимости;  $V$  – коэффициент вариации, определяемый по данным прежних наблюдений или на основе пробной выборки;  $P$  – точность, планируемая в данном опыте (обычно равна 95-90%).

Результаты определения необходимого количества измерений для оценки основных таксационно-дешифровочных показателей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Необходимое количество измерений для оценки основных таксационно-дешифровочных показателей.

Относительная полнота древостоя	Ошибка, %	Количество наблюдений			
		густота, шт.	сомкнутость, м	диаметр крон, шт.	среднее расстояние между деревьями, шт.
0,4	5	90	2680	114	132
	10	14	400	17	20
0,7	5	13	840	51	83
	10	2	120	8	13
0,9	5	11	240	31	82
	10	2	80	5	12

Анализ полученных результатов показал, что для чистых сосновых насаждений с полнотой 0,4 необходимо количество наблюдений при уровне точности не ниже 10% должно составлять: для определения густоты – 14 площадок, сомкнутости полога – 400м, среднего диаметра видимой части кроны 17 деревьев, для расчета среднего расстояния между деревьями необходимо выполнить 20 измерений расстояний между ними. При увеличении полноты изменчивость всех таксационно-дешифровочных показателей снижается и соответственно снижается необходимое количества выполняемых измерений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование для целей лесного хозяйства цифровых снимков, переход на современные методы обработки информации и ГИС-технологии открывают широкие возможности для выполнения таксационного дешифрирования древостоев и повышения его качества. Географические информационные системы имеют встроенные средства масштабирования, измерений линий и площадей, автоматизации процесса вычислений, что позволяет значительно повысить эффективность и точность как контурного, так и таксационного дешифрирования. При этом, целесообразно использовать уже известные ме-



тоды измерительного дешифрирования, применяемые для аналоговых снимков. Можно рекомендовать использовать для оценки густоты – площадной способ или по среднему расстоянию между деревьями, сомкнутости полога – линейный или точечный способы, средней высоты древостоя – по падающей тени или смещению вершины дерева относительно основания. Анализ результатов исследования показал, что с увеличением полноты древостоя варьирование основных таксационно-дешифровочных показателей снижается и соответственно снижается необходимое количество их измерений.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Атрошенко, О.А., Технология создания автоматизированной системы лесного картографирования / О. А. Атрошенко, А.А. Пушкин // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2002. – Вып. X. – С. 64–70.

2 Толкач И.В., Производство лесостроительных плано-картографических материалов с использованием цифровых снимков // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2009. – Вып. XVII. – С.62–65

3 Дмитриев, И.В. Лесная авиация и аэрофотосъемка / Е.С. Мурахтанов, В.И. Сухих. –М.: ВО «Агропромиздат», 1989. – 343 с.

4 Лобанов, А.Н. Фотограмметрия: учеб. для вузов / М.И. Буров, Б.В. Краснопевцев. –М.: Недра, 1984. – 309 с.

5 Hildebrandt, G. Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie.- Heidelberg: Wichmann, 1996, - 676 s.

6 Дворецкий, М.Л., Пособие по вариационной статистике / М.Л. Дворецкий, Изд. 3-е, переработ. и доп. «Лесная промышленность», 1971. – 104 с.

7 Жигунов, А.В. Статистическая обработка материалов лесокультурных исследований: Учебное пособие / А.В. Жигунов, И.А. Маркова, А.С. Бондаренко. – СПб.: ЛТА, 2002. – 87с.

### METHODS OF ASSESSMENT OF FOREST MENSURATION AND DECIPHERING CHARACTERISTICS ON DIGITAL IMAGES BY USING GIS TECHNOLOGIES

*Tolkach I.V., Bakhur O.S.*

*This article provides a brief analysis of forest mensuration deciphering digital images by using GIS technologies and digital photogrammetric station. The short review of the basic methods of deciphering of aerial and satellite images is done. The technique of performance of works is described and results of measuring plots for interpretation of aerial and satellite images were produced. Also a comparative analysis of data had been done from ground-based inventory and measurement interpretation of digital images. It was revealed that coefficient of variation of the basic forest mensuration and deciphering characteristics is reduced with an increase of stand density.*

Статья поступила в редколлегию 04.04.2012 г.

