

DOI 10.31509/2658-607x-2019-2-4-1-10

УДК 528.871

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ДИАМЕТРА КРОН ДЕРЕВЬЕВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТАКСАЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ В СЕВЕРО-ТАЕЖНОМ ЛЕСНОМ РАЙОНЕ

© 2019 г. А.П. Богданов^{1,2*}, Р.А. Алешко^{1,2}, А.С. Ильинцев^{1,2}

¹ Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства

Россия, 163062 Архангельск, ул. Никитова, д. 13

² Северный Арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова

Россия, 163002 Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

*E-mail: a.p.bogdanov@sevniilh-arh.ru

Поступила в редакцию: 18.06.2019

Для повышения точности оценки лесных насаждений по аэрофотоснимкам методом автоматизированного дешифрирования необходимо глубокое изучение степени и формы взаимосвязи между таксационными и дешифровочными показателями. Исследование направлено на реализацию идеи о выявлении наиболее достоверных (оптимальных) зависимостей между данными показателями и последующей разработкой уравнений при их расчете. Выявлены взаимосвязи таксационного диаметра с таксационно-дешифровочными показателями древостоя такими как высота и диаметр кроны. В результате анализа зависимостей между полнотой древостоя и сомкнутостью кроны деревьев выявлена слабая связь.

Ключевые слова: дешифровочные показатели, таксационные показатели, диаметр кроны, таксационно-дешифровочные пробные площади, сверхдетальная съемка.

Актуальность исследования обусловлена повсеместным применением цифровых технологий и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что предполагает их внедрение в лесное хозяйство в ближайшей перспективе. Существующие методики автоматизированного дешифрирования сверхдетальной съёмки позволяют выделять размеры отдельных кроны деревьев, особенности спектральной отражательной способности и позволяют определять древесную породу. Получение таких показателей как высота и размеры кроны позволят получать основные таксационные показатели, такие как средний диаметр и полноту древостоя. Разнообразие природно-климатических условий, которые напрямую влияют на распространение лесообразующих пород, типов леса, состава, производительности лесов и т.д. не позволяют использовать универсальные зависимости для всего лесного фонда.

Технологический цикл в лесной промышленности включает множество этапов: от заготовки лесных ресурсов до выпуска готовой продукции. Процессы в лесном хозяйстве как в России, так и в большинстве зарубежных стран характеризуются традиционным подходом к учету, обновлению и использованию информации о лесных ресурсах. Но в условиях

конкурентной борьбы, существует острая необходимость во внедрении новых средств сбора и обработки данных. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) стало и остается одним из главных объективных источников информации о земной поверхности (Hüttich, 2014; White, et al. 2016; Барталев, Лупян, 2017; Сочилова и др. 2018). Фактически, внедрение космических систем съемки высокого разрешения в совокупности с развитием методов автоматизированной интерпретации цифровых изображений стало одним из главных двигателей цифровой трансформации производственных процессов. Однако, многолетний опыт применения систем спутникового мониторинга позволил выявить и ряд недостатков, в числе которых недостаточное пространственное разрешение данных, продолжительное время ожидания съемки, зависимость от облачности и других атмосферных процессов. С развитием технологий аккумуляирования электрического заряда, электроники, появлением новых материалов, а также в процессе технического совершенствования БПЛА, цифровых камер, систем точного геопозиционирования появились новые средства сбора актуальной пространственной информации. Перечисленные технические и технологические новшества не принесут изменений в существующую модель хозяйственной деятельности без создания эффективных методик обработки, анализа и интерпретации получаемых данных.

В последние несколько лет в международных научных исследованиях (Franklin et al., 2017; Valbuena et al., 2017; Giannetti et al., 2018) все чаще применяются БПЛА для решения задач, требующих высокой детальности. Однако, методы и программные системы, предназначенные для интерпретации данных такого рода пока слабо представлены на международном рынке. А законченные программные решения, позволяющие с достаточным уровнем достоверности решать задачи в предметных областях, таких как лесное хозяйство, фактически отсутствуют.

Цель данного исследования – выявление достоверных уравнений зависимости диаметра крон деревьев с различными таксационными показателями в северо-таежном лесном районе в пределах Архангельской области.

Поскольку размер кроны – это основной параметр, который можно оценить с достаточной долей достоверности, используя глазомерно-измерительные и автоматизированные методы дешифрирования снимка, информации о диаметре кроны может быть вполне достаточно для решения многих практических задач.

Задачами данного исследования явилось рассмотрение взаимосвязей между таксационными показателями древостоя (диаметром, высотой, относительной полнотой и возрастом) и дешифровочными показателями его полога (диаметром крон, густотой и сомкнутостью полога).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения морфологической структуры полога древостоев, основных таксационных и дешифровочных показателей и взаимосвязей между ними в типичных древостоях использовались материалы обследования двенадцати (12) таксационно-дешифровочных пробных площадей (ТДПП) и тринадцати (13) таксационно-дешифровочных выделов (ТДВ). Пробные площади заложены в модельных насаждениях и характеризуют наиболее распространенные по составу и возрасту, типам леса и группам полнот древостои объекта. Для проведения анализа зависимостей между таксационными показателями у основных лесобразующих пород обработаны значения диаметров крон, таксационных диаметров и высот различных пород деревьев в количестве: ель – 493 ед.; сосна – 173 ед.; береза – 253 ед.; осина – 87 ед.

В результате совместного изучения и анализа таксационных и дешифровочных показателей на пробных площадях и таксационных выделах, пройденных выборочно-перечислительной таксацией, изучены взаимосвязи между дешифровочными и таксационными показателями. Изучение таксационных и дешифровочных показателей позволило составить графические взаимосвязи между ними. Размеры крон определяли крономером (крономер Белова). Исследование взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями древостоев проводилось методами регрессионного анализа с использованием пакета прикладных программ Statistica. В результате были разработаны регрессионные уравнения взаимосвязей между таксационными показателями древостоя (диаметром, высотой, относительной полнотой и возрастом) и дешифровочными показателями его полога (диаметром крон, густотой и сомкнутостью полога). Для оценки регрессионных уравнений применялись критерий Фишера (F), коэффициент детерминации (R^2). Все отобранные в качестве моделей регрессионные уравнения имеют независимые переменные, значимые по t-критерию Стьюдента.

На территории заложенных пробных площадей были получены данные аэросъемки с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Проверка результатов исследования заключалась в сравнении полученных размеров крон по материалам аэрофотосъемки с материалами наземного обследования на территории одной круговой площадки постоянного радиуса. В результате анализа характеристик, таких как возможность полета по заданному маршруту, дальность и высота полета, возможность замены штатной камеры, точность позиционирования на местности, был выбран аппарат серии DJI Phantom. Была выполнена экспериментальная съемка на высотах 100, 200 и 300 метров над поверхностью земли. Для данного набора используемых технических средств съемки, максимальной высотой, на которой четко различимы кроны деревьев является 100 метров. В

дальнейшем съемка выполнялась на этой высоте. Получение данных производилось как в видимом диапазоне, так и с использованием данных в ближней инфракрасной области. Для исследуемых участков с использованием программного обеспечения Litchi был сформирован план полета по контрольным точкам на высоте 100 метров с перекрытием кадров не менее 50%. Для съемки был применен специализированный объектив «4K LENS 4.35 mm FLAT NDVI», способный фиксировать отраженный солнечный свет в диапазонах 400-580 нм, 690-790 нм при этом в свет других диапазонов объектив не пропускает. Объектив совместим с камерами GoPro. В результате съемки получены изображения объектов исследования с пространственным разрешением 0.05 м и поперечным перекрытием изображений 50%.

Для апробации полученных результатов заложены круговые площадки постоянного радиуса площадью 400 м² для определения таксационной характеристики таксационно-дешифровочного выдела с таксационной характеристикой типичной для северо-таежного района Архангельской области. Затем была выполнена автоматизированная обработка детальной аэросъемки исследуемого участка программным алгоритмом. В результате обработки получен векторный слой контуров крон отдельных деревьев на исследуемой территории. На снимок нанесен контур круговой пробной площади, в границах которой ранее проведен полный пересчет деревьев (рис. 1). Для контуров крон в рамках круговой площади определены породы деревьев и диаметры крон.



Рисунок 1. Результат автоматического выделения крон деревьев и граница круговой пробной площади

На круговой площади проведены работы в соответствии с методикой закладки ТДВ. Таксационная характеристика таксационно-дешифровочного выдела по результатам натурного обследования: состав – 87Е6С7Б; бонитет – IV; полнота – 0.84; запас – 230 м³/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средний диаметр крон имеет важное практическое значение для характеристики древостоя, определения его товарной и сортиментной структуры. Многие исследователи, работавшие в данном направлении, отмечали тесную связь между средним диаметром (D) и диаметром крон (Dк) которая чаще всего носит линейный характер. По результатам исследования прослеживается зависимость между средним диаметром крон и таксационным диаметром для различных пород. Так коэффициент детерминации варьируется от 0.39 (для ели) до 0.50 (для сосны), что соответствует слабой и умеренной тесноте связи соответственно.

Раннесукцессионные виды, такие как лиственные – береза, осина и хвойные – сосна и лиственница характеризуются узкими и высоко расположенными кронами, тогда как позднесукцессионная ель, имеет широкую в вертикальном отношении крону. Ель демонстрирует очень высокую степень пластичности формы кроны в зависимости от возраста дерева и условий его произрастания (Шанин и др. 2016), что подтверждается результатами исследования.

Зависимости между диаметром, высотой и диаметром крон

Проведено исследование взаимосвязи таксационного диаметра с таксационно-дешифровочными показателями древостоя такими как: высота и диаметр крон. Результат приведен в следующем уравнении множественной регрессии (1).

$$D_{1.3} = a + x_1 \times H + x_2 \times D_k \quad (1)$$

где $D_{1.3}$ – диаметра на высоте груди, см;

H – Высота дерева, м;

D_k – диаметр кроны дерева, м;

F – критерий Фишера;

RI – коэффициент детерминации, характеризующий тесноту связи уравнения;

a, x_1 , x_2 коэффициенты уравнения линейной регрессии.

Коэффициенты уравнения для основных лесообразующих пород, критерий Фишера и коэффициент детерминации (табл. 1).

Таблица 1. Сводная таблица коэффициентов

Порода	F	RI	a	x_1	x_2
Ель	724	0.8	-5.55	1.17	1.92
Сосна	247	0.8	-7.35	1.08	2.51
Осина	39	0.5	-2.32	0.71	2.53
Береза	318	0.7	-4.31	0.75	2.16

Номограммы уравнений для ели, сосны, березы и осины приведены на рисунках далее (рис. 2,3,4,5).

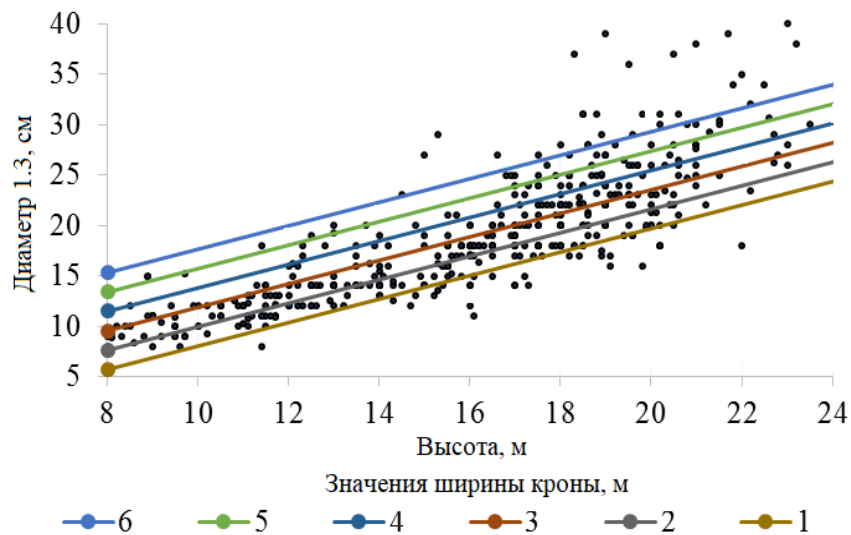


Рисунок 2. Номограмма уравнения $D_{1.3} = -5.55 + 1.17H + 1.92Dk$ ($R^2 = 0.8$; $F = 724$.) Ель, $F_{0.05} = 3.86$

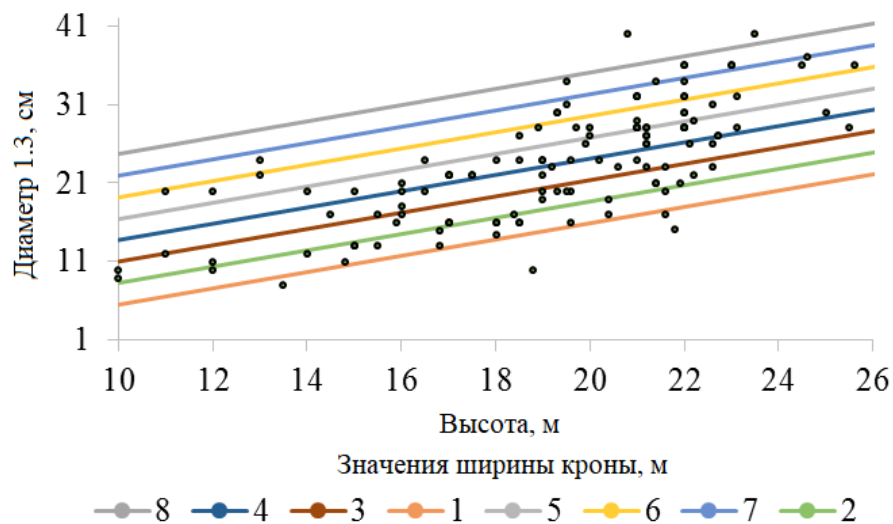


Рисунок 3. Номограмма уравнения $D_{1.3} = -7.35 + 1.08H + 2.51Dk$ ($R^2 = 0.8$; $F = 247$) Сосна, $F_{0.05} = 3.89$

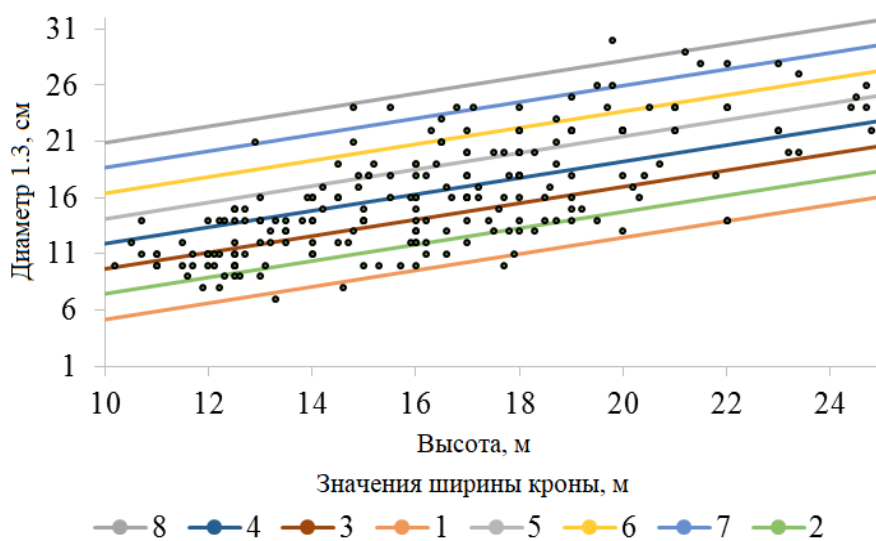


Рисунок 4. Номограмма уравнения $D_{1.3} = -4.31 + 0.75H + 2.16Dk$ ($R^2 = 0.7$; $F = 318$) Береза, $F_{0.05} = 3.89$

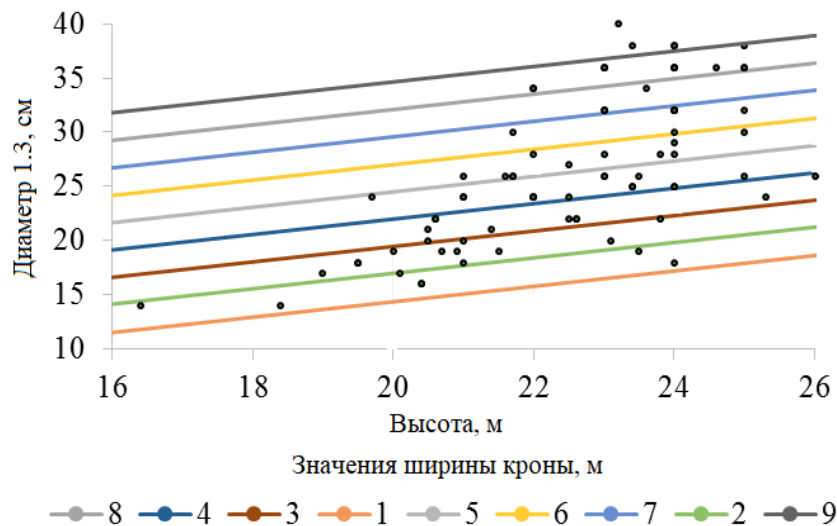


Рисунок 5. Номограмма уравнения $D_{1.3} = -2.32 + 0.71H + 2.526Dk$ ($R^2 = 0.47$; $F = 39$) Осина, $F_{0.05} = 3.96$

Благодаря использованию множественной корреляции значительно повысилась точность. Наиболее высокая достоверная зависимость прослеживается у сосны.

Анализ зависимости между полнотой и сомкнутостью крон деревьев

Для вычисления регрессионного уравнения связи между полнотой древостоя и сомкнутостью полога было выполнено соотношение этих данных. Изучение зависимости сомкнутости полога и относительной полноты является важной задачей, так как дает возможность определять запас древостоя с нормативной точностью.

Уравнение, характеризующее связь между относительной полнотой исследуемых древостоев и дешифровочной сомкнутостью полога (2)

$$P = 0.4106 + 0.5239Spд \quad (2)$$

$$R^2 = 0.35; F = 7, F_{0.05} = 4.96$$

где $Spд$ – дешифровочная сомкнутость полога;

P – относительная полнота древостоя.

В результате анализа зависимости между полнотой и сомкнутостью крон деревьев выявлена слабая связь.

Анализ зависимости между шириной кроны и возрастом дерева

Наиболее сложно и с самыми большими погрешностями определяется возраст древостоя. Он дешифрируется на основе анализа различных признаков: формы и размера крон, средней высоты, просматриваемости полога в глубину, расстояния между деревьями. Возраст можно установить, актуализируя данные таксации прошлых лет. По результатам исследования определение возраста на основе уравнений множественной регрессии преимуществ по сравнению с аналитическим методом не имеет.

Результат апробации автоматического выделения крон деревьев

Определяющее значение при дешифрировании древостоев на цифровых снимках имеет верхняя часть кроны. Исследование показало, что определение диаметра кроны по данными аэросъемки с использованием автоматизированного алгоритма дает значительную ошибку ввиду затенения и перекрытия соседних крон деревьев. В результате автоматизированного дешифрирования в границах круговой пробной площади определено местоположение и размеры крон у 35 деревьев породы ель и 3 деревьев породы береза.

Достоверность классификации оценивается как количество правильно классифицированных объектов (деревьев) от общего количества проверяемых объектов в %. Для данных, полученных опытным путем показатель оказался равен: $(33+2) / 40 = 87.5\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате совместного изучения и анализа таксационных и дешифровочных показателей на пробных площадях и таксационных выделах, пройденных выборочно-перечислительной таксацией изучены взаимосвязи между дешифровочными и таксационными показателями. По результатам исследования прослеживается зависимость между средним диаметром крон и таксационным диаметром для различных пород. Коэффициент детерминации варьируется от 0.39 (для ели) до 0.51 (для сосны). Выявлены взаимосвязи таксационного диаметра с таксационно-дешифровочными показателями древостоя такими как: высота и диаметр крон. Наиболее высокая между этими показателями выявлена зависимость для сосны. В результате анализа зависимости между полнотой и сомкнутостью крон деревьев выявлена слабая связь. Однако ввиду важности относительной полноты в практике дешифровочного метода таксации исследования в данном направлении необходимо продолжить.

Использование автоматизированного алгоритма дает хорошие результаты по определению количества деревьев, однако несовершенство автоматических методов определения размеров крон по данным аэросъемки дает значительную ошибку. В первую очередь это связано с затенением части кроны и перекрытием соседних крон деревьев в спелых ельниках, типичных для северо-таежного района Архангельской области. По результатам оценки методики автоматизированного дешифрирования точность определения количества крон деревьев и определения породного состава составляет 87.5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барталев С.А., Лупян Е.А. Основные направления и результаты развития методологии спутникового картографирования растительного покрова России // 7-я международная научно-техническая конференция "КЭ Циолковский-160 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика". 2017. С. 74-79.

Сочилова Е.Н., Сурков Н.В., Ершов Д.В., Хамедов В.А. Оценка запасов фитомассы лесных пород по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения (на примере лесов Ханты-Мансийского АО) // Вопросы лесной науки. 2018. №1. С. 1-23.

Шанин В.Н., Шашков М.П., Иванова Н.В., Грабарник П.Я. Влияние конкуренции в пологе леса на пространственную структуру древостоев и форму крон доминантов древесного яруса на примере лесов европейской части России // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Т. 4. №1. С. 112-125.

Franklin S.E., Ahmed O.S., Williams G. Northern Conifer Forest Species Classification Using Multispectral Data Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2017. Vol. 83. No. 7. P. 501-507.

Giannetti F., Gobakken T., Chirici G., Næsset E.A. A new approach with DTM-independent metrics for forest growing stock prediction using UAV photogrammetric data // Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 213. P. 195-205.

Hüttich C., Korets M., Bartalev S., Zharko V., Schepaschenko D., Shvidenko A., Schmillius C. Exploiting growing stock volume maps for large scale forest resource assessment: cross-comparisons of ASAR-and PALSAR-based GSV estimates with forest inventory in central Siberia // Forests. 2014. Vol. 5., No. 7. P. 1753-1776.

Valbuena R., Maltamo M., Mehtätalo L., Packalen P. Key structural features of boreal forests may be detected directly using L-moments from airborne lidar data // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 194. P. 437-446.

White J.C., Coops N.C., Wulder M.A., Vastaranta M., Hilker T., & Tompalski P. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review // Canadian Journal of Remote Sensing. 2016. Vol. 42. No. 5. P. 619- 641.

REFERENCES

Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Current state and development prospects of satellite mapping methods of Russia's vegetation cover. 7-ya mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya, KE Ciolkovskij-160 let so dnya rozhdeniya. Kosmonavtika. Radioelektronika. Geoinformatika, 2017, pp. 74-79.

Sochilova E.N., Surkov N.V., Ershov D.V., Khamedov V.A., Assessment of biomass of forest species using satellite images of high spatial resolution (on the example of the forest of Khanty-Mansi Autonomous Okrug), *Voprosy lesnoj nauki*, 2018, No. 1. pp. 1-23.

Shanin V.N., Shashkov M.P., Ivanova N.V., Grabarnik P.Ya., The effect of aboveground competition on spatial structure and crown shape of the dominating canopy species of forest stands of European Russia, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2016, Vol. 4. No. 1, pp. 112-125.

Franklin S.E., Ahmed O.S., Williams G., Northern Conifer Forest Species Classification Using Multispectral Data Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2017, Vol. 83, No. 7, P. 501-507.

Giannetti F., Gobakken T., Chirici G., Næsset E., A new approach with DTM-independent metrics for forest growing stock prediction using UAV photogrammetric data, *Remote Sensing of Environment*, 2018, Vol. 213, P. 195-205.

Hüttich C., Korets M., Bartalev S., Zharko V., Schepaschenko D., Shvidenko A., Schmulliu C., Exploiting growing stock volume maps for large scale forest resource assessment: cross-comparisons of ASAR-and PALSAR-based GSV estimates with forest inventory in central Siberia, *Forests*, 2014, Vol. 5, No. 7, P. 1753-1776.

Valbuena R. Maltamo M., Mehtätalo L., Packalen P., Key structural features of boreal forests may be detected directly using L-moments from airborne lidar data. *Remote Sensing of Environment*, 2017, Vol. 194. P. 437-446.

White J., Coops N., Wulder M., Vastaranta M., Hilker, T., Tompalski P., Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2016, Vol. 42, No. 5, P. 619-641.

RELATIONSHIP BETWEEN TREE CROWN DIAMETER AND VARIOUS TAXATION INDICATORS IN THE NORTH-TAIGA FOREST AREA

A.P. Bogdanov^{1,2}, A.S. Ilintsev^{1,2}, R.A. Aleshko^{1,2}

¹ Northern research institute of forestry

¹ Russia, 163062 Arkhangelsk, Nikitova Str., 13

² Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,

Russia, 163002 Arkhangelsk, Northern Dvina emb, 17

E-mail: a.p.bogdanov@sevniilh-arh.ru

Received 18.06.2019

To improve the accuracy of the assessment of forest area from aerial photographs by automated decoding, it is necessary to study of the degree of tightness and interrelation forms between decryption and evaluation indexes. The purpose of the study is to identify the most reliable (optimal) dependencies between these indicators and the subsequent development of equations in their calculation. The interrelations of the taxation diameter and decoding indicators of the forest stand such as: height and diameter of the crowns are revealed. As a result of the analysis of the dependencies between the fullness and closed canopy revealed a weak relationship.

Key words: *decryption indicators; taxation indicators; crown width; canopy structure; taxation-decoding test plots; super detailed shooting.*

Рецензент: М.Н.С. Белова Е.И.