

1. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*583

А.С. Алексеев, А.А. Никифоров, А.А. Михайлова, М.Р. Вагизов

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАЖДЕНИЙ ПО СНИМКАМ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА)

Введение. Достоверная информация о лесных ресурсах всегда была, есть и будет необходимой для решения задач устойчивого управления лесами, лесного сектора экономики, экологии, охраны природы и смежных отраслей деятельности. К сожалению, в последние десятилетия произошло резкое сокращение объемов лесоустроительных работ, что привело к существенному снижению уровня информационного обеспечения управления лесами. По официальным данным, по состоянию на 1 января 2015 года достоверными могут считаться сведения государственного лесного реестра о 18% площади лесов, давность таксации которых не превышает 10 лет, в то время как 71% площади российских лесов имеют давность материалов лесоустройства 20 и более лет (рис. 1).

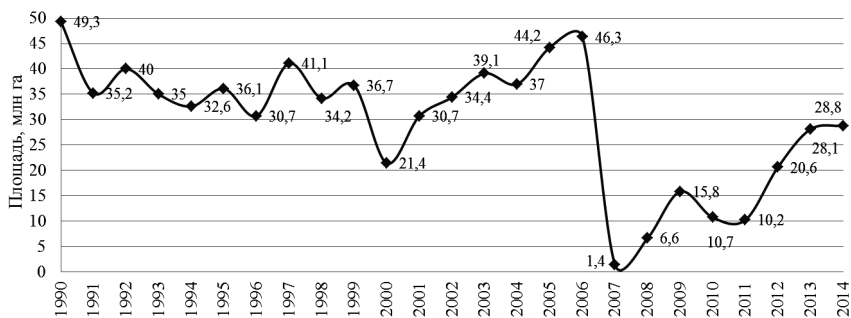


Рис. 1. Площади лесоустроительных работ за период 1990–2014 гг., млн га

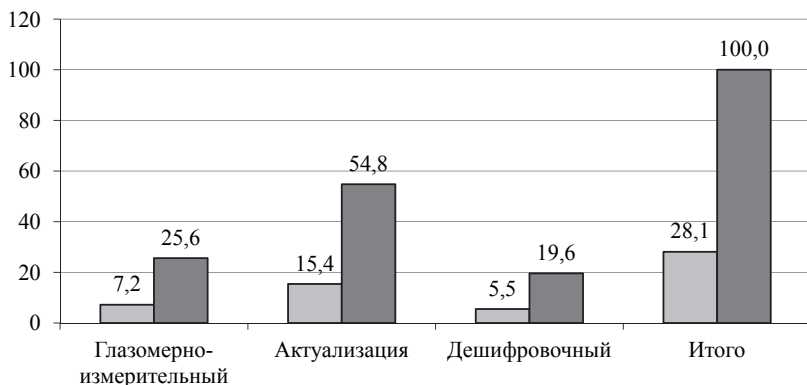


Рис. 2. Распределение площади лесоустроительных работ за 2013 г. по методам таксации насаждений:

□ – площадь, млн га; ■ – %

Как видно из рис. 1, резкое падение лесоустроительных работ было связано с введением в действие лесного кодекса в 2006 г., который практически ликвидировал лесоустройство. В последние годы наметилась тенденция к увеличению площадей лесоустроительных работ, однако они в значительной степени проводятся методом актуализации материалов предыдущего лесоустройства (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что из 28,1 млн га лесоустроительных работ, проведенных в 2013 г., 15,4 млн га или 54,8% были выполнены методом актуализации данных предыдущего лесоустройства и только 7,2 или 25,6% площади были обследованы глазомерно-измерительным методом в результате проведения полевых работ.

Таким образом, существует актуальная потребность в разработке инновационных методов таксации древостоев, основанных на применении последних научно-технических достижений в области теории структуры и продуктивности древостоев, дистанционных методов изучения лесов, информационных и ГИС технологий.

Современные высокоточные материалы дистанционных съемок лесов, выполненных с помощью различных летательных аппаратов высокого и сверхвысокого разрешения с привязкой к географическим координатам, позволяют по новому подойти к решению задачи определения запаса насаждений. На таких снимках видны кроны отдельных деревьев и есть возможность определения их видовой принадлежности и численности стволов на единицу площади.

С другой стороны, в теоретической биологии существует давно известное правило 3/2, которое связывает число растений произрастающих на единице площади с размером, весом или объемом среднего экземпляра, а следовательно, и с их общим (суммарным) размером, весом или запасом [Kira и др., 1953; Yoda и др., 1957; Yoda и др., 1963; Pretzsch, 2002, 2005, 2009]. С теоретической точки зрения эта зависимость относится к классу аллометрических связей, очень часто встречающихся при количественном описании соотношений частей биологических систем разных уровней иерархии, от организмов до экосистем.

Правило 3/2 может быть получено разными способами, рассмотрим один из них, в рамках которого предполагается аллометрическая зависимость объема среднего дерева – v от его площади питания, которая принимается равной проекции кроны дерева на поверхность земли – s , отсюда легко получить следующую зависимость:

$$v = cs^{3/2},$$

где c – константа.

Полагая, что площадь питания – s , приходящаяся на одно дерево, расположенное на единице площади равна

$$s = 1 / N,$$

где N – число деревьев на единице площади, получим искомое аллометрическое соотношение между объемом среднего дерева и их числом на единице площади:

$$v = cN^{-3/2}.$$

Для расчета общего (суммарного) запаса на единице площади – V последняя формула принимает вид:

$$V = vN = c_1N^{-1/2},$$

где c_1 – новая постоянная.

К правилу 3/2 теоретически близки два частных случая, которые могут быть использованы для определения средних высоты и диаметра насаждений по числу стволов на единице площади, их можно назвать правилами Рейнеке (для среднего диаметра) и правило Хильми (для средней высоты) [Reineke, 1933; Хильми, 1957, 1966; Кофман, 1986].

Аллометрические зависимости средних высоты (h) и диаметра (d) насаждений от числа стволов на единицу площади (N) имеют следующий вид:

$$h = c_2N^{-1/2}, \quad d = c_3N^{-1/2},$$

где c_2 и c_3 – соответствующие константы.

Число деревьев на единице площади представляет собой важную таксационную характеристику лесов, настолько важную, что недавно было проведено специальное исследование, результаты которого были опубликованы в журнале Nature, основной целью этой работы было определение общего числа деревьев на Земле и их плотности, т. е. числа на единицу площади [Crowther и др., 2015].

В настоящей статье основной целью является разработка и проверка нового метода определения основных таксационных характеристик сомкнутых насаждений – запаса, средних диаметра и высоты на основе правил 3/2, Рейнеке и Хильми, с одной стороны, и определения числа деревьев на единице площади по снимку сверх высокого разрешения, полученного с помощью БПЛА, с другой.

Объекты и методика исследований. Объектами исследований были сомкнутые смешанные древостои, расположенные на территории Лисинского учебно-опытного лесхоза – филиала Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. На основе правил 3/2, Рейнеке и Хильми были обработаны таблицы хода роста сосновых, еловых и березовых нормальных древостоев, составленных Варгасом де Бедемаром для этой же территории, результаты обработки представлены в табл. 1–3. При обработке показатель степени в аллометрических уравнениях зависимости запаса, средних диаметра и высоты от числа деревьев на единице площади принимался равным его теоретическому значению – 0,5, таким образом, были определены значения постоянных c_1 , c_2 и c_3 .

Таблица 1

**Параметры зависимости запаса нормальных древостоев
от числа стволов на единице площади**

(правило 3/2, показатель степени аллометрического уравнения – 0,5)

Класс бонитета/ порода	Сосна		Ель		Береза	
	C_1	R^2	C_1	R^2	C_1	R^2
1	10713,4	0,97	11626,1	0,89	7826,72	0,97
2	9690,5	0,94	10149,1	0,89	7382,78	0,96
3	8376,6	0,94	8436,12	0,92	6297,92	0,96
4	6568,08	0,94	6437,02	0,93	5326,1	0,95
5	4938,42	0,92	4892,77	0,89	3553,54	0,91

Табл. 1 показывает, что для нормальных (полных) древостоев правило 3/2 описывает зависимость запаса от числа стволов на единице площади для основных лесообразующих пород с достаточно высокой точностью, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов детерминации. Коэффициенты детерминации варьируют в зависимости от породы и бонитета от минимального значения 0,89, которое, тем не менее, является высоким, до 0,97. Поэтому полученные аллометрические уравнения могут быть использованы для расчета величины запаса насаждений при известном числе деревьев на единице площади. Следует отметить, что величина постоянной c_1 , закономерно снижается у всех пород при увеличении (ухудшении) класса бонитета, являясь, таким образом, показателем продуктивности древостоев.

Таблица 2

Параметры зависимости среднего диаметра нормальных древостоев от числа стволов на единице площади

(правило Рейнке, показатель степени аллометрического уравнения – 0,5)

Класс бонитета/ порода	Сосна		Ель		Береза	
	C_2	R^2	C_2	R^2	C_2	R^2
1	706,308	0,98	701,615	0,96	614,373	0,97
2	671,82	0,96	662,548	0,96	584,83	0,97
3	630,587	0,97	614,567	0,97	553,618	0,97
4	564,0	0,97	561,642	0,98	514,842	0,97
5	494,647	0,97	519,643	0,98	431,156	0,97

Табл. 2 показывает, что для нормальных (полных) древостоев правило Рейнке хорошо описывает зависимость среднего диаметра от числа стволов на единице площади для основных лесообразующих пород. Коэффициенты детерминации варьируют в зависимости от породы и бонитета в более узких пределах, чем для запаса древостоев от минимального значения 0,96 до 0,98. В этом случае полученные аллометрические уравнения так же могут быть использованы для расчета величины среднего диаметра древостоев при известном числе деревьев на единице площади. Следует отметить, что величина постоянной c_2 , так же закономерно снижается у всех пород при увеличении (ухудшении) класса бонитета.

Таблица 3

Параметры зависимости средней высоты нормальных древостоев от числа стволов на единице площади

(правило Хильми, показатель степени аллометрического уравнения – 0,5)

Класс бонитета/ порода	Сосна		Ель		Береза	
	C_3	R^2	C_3	R^2	C_3	R^2
1	622,159	0,97	645,7	0,98	601,865	0,99
2	622,904	0,98	624,729	0,98	608,928	0,99
3	603,825	0,97	585,823	0,98	580,988	0,99
4	584,541	0,98	525,189	0,98	576,199	0,98
5	568,219	0,98	480,599	0,97	542,171	0,95

Из данных табл. 3 видно, что для нормальных (полных) древостоев правило Хильми хорошо описывает зависимость средней высоты от числа стволов на единице площади для основных лесообразующих пород, как это было и в предыдущих случаях. Коэффициенты детерминации варьируют в зависимости от породы и бонитета от 0,95 до 0,99, т. е. в этом случае полученные аллометрические уравнения так же могут быть использованы для расчета величины средней высоты древостоев при известном числе деревьев на единице площади.

Для экспериментальной проверки возможности применения правила 3/2 для определения запаса насаждений по числу деревьев на единице площади производилась съемка кварталов № 123 Лисинского участкового лесничества с применением БПЛА и последующей обработкой полученных изображений. Съемка производилась с помощью 4-роторной платформы, в результате была получена серия из 166 изображений с разрешением каждого снимка 3000 × 2250 пикселей, пространственное разрешение съёмки составило 7,13 см/пиксель. Обработка материалов аэрофотосъемки выполнена в специализированной фотограмметрической системе Agisoft Photoscan (см. рис. 3).

В результате были получены ортофотоплан и цифровая модель поверхности крон деревьев на изучаемую территорию с определением их высот. Для автоматизированной обработки полученных изображений с целью получения значений числа деревьев на единицу площади был создан специализированный скрипт на языке Java.

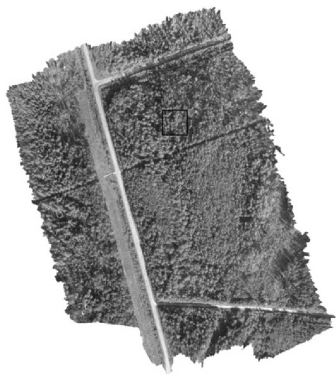


Рис. 3. Ортофотоплан участка квартала № 123 Лисинского учебно-опытного лесхоза – филиала Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова

В дальнейшем, для каждого из выделов по числу деревьев на единице площади был определен возраст насаждений, а по высоте и возрасту – бонитет. Затем с использованием данных табл. 1–3 и правил 3/2, Рейнеке и Хильми был рассчитан их общий запас.

Результаты и их обсуждение. Рассчитанные по предлагаемой методике величины общего запаса, средних диаметра и высоты насаждений на единице площади были сравнены с данными материалов лесоустройства. Результаты сравнения приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение запасов, средних диаметров и высот, рассчитанных на основе правил 3/2, Рейнеке и Хильми и снимка с БПЛА с данными лесоустройства (123 квартал Лисинского участкового лесничества)

Данные лесоустройства	№ выдела	Запас, м ³ /га		Средний диаметр, см		Средняя высота, м	
	24	280		21		23	
	25	300		28		26	
	26	270		27		24	
	27	250		21		21	
Результаты расчетов	№ выдела	Запас, м ³ /га		Средний диаметр, см		Средняя высота, м	
	24	263		22		20	
	25	294		25		23	
	26	244		30		25	
	27	236		20		18	
Отклонения по запасу, средним по диаметру и высоте	№ выдела	Запас		Средний диаметр, см		Средняя высота, м	
		м ³ /га	%	см	%	м	%
	24	17	-6,2	1	6,3	3	-11,8
	25	6	-2,2	3	-9,5	3	-10,5
	26	26	-9,6	3	11,3	1	4,0
27	14	-5,5	1	-4,4	3	-13,2	

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что результаты определения запаса, средних диаметра и высоты насаждений с помощью правил 3/2 Рейнеке и Хильми и данных, полученных со снимка сверх высокого разрешения, хорошо соответствуют материалам лесоустройства.

Отклонения в абсолютных и относительных значениях по общему запасу не велики и составляют от 6 до 26 м³/га или от 2,2 до 9,6%. Отклонения по среднему диаметру составляют от 1 до 3 см или от 4,4 до 11,3%. Отклонения по средней высоте от 1 до 3 м или 4 до 13,2%. Общий запас на единицу площади определяется по предлагаемой методике наиболее точно. Ошибки определения запаса, средних диаметра и высоты древостоев в результате расчетов меньше допустимых по действующей лесоустроительной инструкции для дешифровочного метода таксации.

При определении запаса насаждений предлагаемым методом учитывались все деревья, расположенные на площади выдела, в то время как при проведении лесоустройства на выдел закладываются 3-5 точек таксации. Таким образом, объем используемой при определении запаса информации возрастает, что должно способствовать увеличению точности получаемых результатов. По предварительной оценке, в рамках разработанного метода были правильно определены и другие таксационные показатели древостоев, такие как возраст, бонитет и состав.

Применение БПЛА имеет следующие преимущества перед космической и самолетной съемкой в интересах лесного хозяйства:

1. Высокое разрешение. Возможно получение аэрофотоснимков с разрешением до 1 см на пиксель и стереопар снимков очень высокого разрешения для создания цифровых моделей местности высокой точности.

2. Оперативность. Получить и обработать снимки на любую территорию можно через 30 мин после появления необходимости съемки территории и прибытия на место. По традиционной технологии на аэрофотосъемку при проведении лесоустройства отводится 1 год.

3. Независимость от облачности. Возможность съемки под облаками в облачные дни. Системы космической и авиационной съемки могут работать месяцами до тех пор, пока будет получена четкая съемка необходимого участка без облаков, что особенно актуально для северных и северо-западных регионов страны.

4. Стоимость. Существует возможность проводить съемку относительно небольших территорий, космическая съемка и традиционная аэрофотосъемка которых не являются рентабельной.

Заключение. Предлагаемый метод определения таксационных характеристик древостоев объединяет в себе аллометрические зависимости запаса, средних диаметра и высоты древостоев от числа стволов на единицу площади и результаты автоматизированной обработки снимков сверхвысокого разрешения с целью определения последнего. Число стволов древостоя на единице площади является одной из его наиболее объективно определяемых по снимкам сверхвысокого разрешения таксационных характеристик, кроме этого, возможно автоматизированное определение этого показателя. Первое применение данного метода дало обнадеживающие результаты, однако в дальнейшем планируется его совершенствование и всесторонняя проверка на более обширном материале.

В целом, применение БПЛА для получения снимков сверх высокого разрешения с их последующей обработкой по предлагаемой технологии может стать основой для осуществления малозатратного, высокоточного лесоустройства [Алексеев, Никифоров, 2013].

Библиографический список

Алексеев А.С., Никифоров А.А. Анализ производительности съемки участков лесного фонда с помощью беспилотного летательного аппарата *Storcamp* (на примере учебно-опытного лесничества Ленинградской области) // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2013. Вып. 205. С. 6–15.

Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. 209 с.

Хильми Г.Ф. Теоретическая биогеофизика леса. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 205 с.

Хильми Г.Ф. Основы физики биосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 300 с.

Crowther T.W. et. al. Mapping tree density at a global scale // *Nature*, 2015, vol. 525, no. 7568 (September 10, 2015), pp. 157–284.

Kira T., Ogawa H., Sakazaki H. Intraspecific competition among higher plants, I. Competition-yield-density interrelationship in regularly dispersed populations // *Journal of the Institute of Polytechnics*, 1953, vol. 4, no. 1, Series D, pp. 1–16.

Yoda K., Kira T., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants, IX. Further analysis of competitive interactions between adjacent individuals // *Journal of the Institute of Polytechnics*, 1957, vol. 8, pp. 161–178.

Yoda K., Kira T., Ogawa H., Hozumi K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants, XI) // *Journal of the Institute of Polytechnics*, 1963, vol. 14, Series D, pp. 107–129.

Pretzsch H. A unified law of spatial allometry for woody and herbaceous plants // *Plant biology*, 2002, no. 4, pp. 159–166.

Pretzsch H. Link between the self-thinning rules for herbaceous and woody plants // *Scientia Agriculturae Bohemica*, 2005, vol. 36, no. 3, pp. 98–107.

Pretzsch H. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer, 2009. 664 p.

Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests // *Journal of Agricultural Research*, 1933, no. 46, pp. 627–638.

Bibliography

Alekseev A.S., Nikiforov A.A. Analiz proizvoditel'nosti s'emki uchastkov lesnogo fonda s pomoshch'iu bespilotnogo letatel'nogo apparata Cropcamp (na primere uchebno-opyt'nogo lesnichestva Leningradskoi oblasti). *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*. 2013. Vyp. 205. S. 6–15. (Rus)

Kofman G.B. Rost i forma derev'ev. Novosibirsk: Nauka, 1986. 209 s. (Rus)

Khil'mi G.F. Teoreticheskaja biogeofizika lesa. M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. 205 s. (Rus)

Khil'mi G.F. *Osnovy fiziki biosfery*. L.: Gidrometeoizdat, 1966. 300 s. (Rus)

Crowther T.W. et. al. Mapping tree density at a global scale. *Nature*, 2015, vol. 525, no. 7568 (September 10, 2015), pp. 157–284.

Kira T., Ogawa H., Sakazaki H. Intraspecific competition among higher plants, I. Competition-yield-density interrelationship in regularly dispersed populations. *Journal of the Institute of Polytechnics*, 1953, vol. 4, no. 1, Series D, pp. 1–16.

Yoda K., Kira T., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants, IX. Further analysis of competitive interactions between adjacent individuals. *Journal of the Institute of Polytechnics*, 1957, vol. 8, pp. 161–178.

Yoda K., Kira T., Ogawa H., Hozumi K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants, XI). *Journal of the Institute of Polytechnics*, 1963, vol. 14, Series D, pp. 107–129.

Pretzsch H. A unified law of spatial allometry for woody and herbaceous plants. *Plant biology*, 2002, no. 4, pp. 159–166.

Pretzsch H. Link between the self-thinning rules for herbaceous and woody plants. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 2005, vol. 36, no. 3, pp. 98–107.

Pretzsch H. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer, 2009. 664 p.

Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research*, 1933, no. 46, pp. 627–638.

Материал поступил в редакцию 31.03.2016 г.

Алексеев А.С., Никифоров А.А., Михайлова А.А., Вагизов М.Р. Новый метод определения таксационных характеристик насаждений по снимкам сверхвысокого разрешения с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 215. С. 6–18.

В связи со старением информационных материалов о состоянии лесов существует потребность в разработке новых методов таксации древостоев, основанных на применении последних научно-технических достижений в области теории структуры и продуктивности древостоев, дистанционных методов изучения лесов, информационных и ГИС технологий. В статье приведены результаты разработки и проверки нового метода определения таксационных характеристик сомкнутых насаждений на основе правила 3/2 и подобных ему правил Хильми и Рейнеке, с одной стороны, и определения числа деревьев на единице площади по снимку сверх высокого разрешения, полученного с помощью БПЛА, с другой. С теоретической точки зрения эта зависимости величин запаса, средней высоты и среднего диаметра от числа стволов на единице площади относятся к классу аллометрических связей, очень часто встречающихся при количественном описании соотношений частей биологических систем разных уровней иерархии, от организмов до экосистем. Параметры аллометрических зависимостей запаса, средних высоты и диаметра от числа стволов на единице площади были определены для основных лесообразующих пород по данным таблиц хода роста нормальных (полных) древостоев с теоретическим показателем степени и затем использованы для расчетов. Число деревьев на единице площади определялось по снимку с разрешением 7,13 см/пиксель, полученному с помощью 4-роторной платформы. Обработка материалов аэрофотосъемки была выполнена в специализированной фотограмметрической системе Agisoft Photoscan. В результате были получены ортофотоплан и цифровая модель поверхности крон деревьев на изучаемую территорию с определением их высот. Для автоматизированной обработки полученных изображений с целью получения значений числа деревьев на единицу площади был создан специализированный скрипт на языке Java. Погрешности определения таксационных характеристик древостоев предлагаемым методом не выше установленных действующими нормативными материалами.

Ключевые слова: правило 3/2, запас древостоя, средняя высота, средний диаметр, беспилотный летательный аппарат, снимок высокого разрешения, число деревьев на единице площади.

Alekseev A.S., Nikiforov A.A., Mikhailova A.A., Vagizov M.R. New method for tree stands parameters determination using high resolution images done by unmanned aerial vehicle. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2016, is. 215, pp. 6–18 (in Russian with English summary).

Every time there is a demand for new innovative methods of forest resources estimation based on last achievements in theoretical science, remote sensing methods, information and GIS-technologies. In the paper are presented a new method and the results of its application to forest stands growing stock, mean height and diameter determination. The method is based on rule 3/2 and similar Reineke and Hilmy rules, on one hand and high resolution image made by unmanned aerial vehicle, which used for determination of number of trees per area unit, on other. The above rules are well known in quantitative biology as an allometric and widely used for description of different kind of relations in biological systems of various scale: from organisms to ecosystems. Parameters of above allometric relationships between growing stock, mean height and diameter and stems density per area unit was determine on the base of full stock growth and yield tables for main tree species and after used for experimental calculations. The number of trees per area unit was determined after special treatment of high resolution image made by unmanned flying machine. The growing stock, mean height and diameter determined by suggested method was compared with the data of regular forest inventory. Comparison gives positive result and method may be recommended for further development.

Key words: self-thinning rule 3/2, Reineke rule, Hilmy rule, growing stock, mean height, mean diameter, unmanned flying machine, high resolution image, number of trees per area unit.

АЛЕКСЕЕВ Александр Сергеевич – заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и ГИС Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор географических наук, профессор. SPIN-код: 8115-9103. Scopus Author ID: 55892224800.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург. Россия. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru

ALEKSEEV Alexander S. – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Forest Inventory, Management and GIS, Saint-Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru

НИКИФОРОВ Александр Александрович – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург. Россия.

NIKIFOROV Alexander A. – PhD (Agriculture), associate professor of the same Department, Saint-Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia.

МИХАЙЛОВА Анна Аркадьевна – заместитель директора Института леса и природопользования Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург. Россия.

MIKHAILOVA Anna A. – Deputy Director of the Institute of Forestry and Natural Resources of the Saint-Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia.

ВАГИЗОВ Марсель Равильевич – аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета.

VAGIZOV Marsel R. – PhD student of the same Department, Saint-Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia.