

УДК 630\*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.42

## **СВЯЗЬ МЕЖДУ СРЕДНИМИ ТАКСАЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ДРЕВОСТОЕВ БЕРЕЗЫ В КРАСНОЯРСКО-АЧИНСКО-КАНСКОМ ЛЕСОСТЕПНОМ РАЙОНЕ**

*С.Л. Шевелев, д-р с.-х. наук, проф.  
М.Н. Ефремова, асп.*

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира, д. 82, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: taksator@sibstu.Rts.ru, tenia@mail.ru

В работе проведен анализ зависимостей между средними таксационными показателями лесных массивов с доминированием березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесостепной зоне Средней Сибири. Объектом исследования являлся лесной массив с абсолютным преобладанием березовых древостоев, который расположен на территории Манского лесничества Красноярского края. В основу изучения положены данные натурной таксации 1212 таксационных выделов. Выбранный лесной массив типичен для лесных систем Красноярско-Ачинско-Канского лесостепного района, в нем преобладают древостои травяной группы типов леса. Условия местопроизрастания березовых древостоев благоприятны и характеризуются средним классом бонитета – II. Основную массу березняков в лесном массиве представляют средневозрастные древостои. На первом этапе была проведена первичная статистическая обработка данных. Анализ рядов средних таксационных характеристик в пределах групп возраста показал, что они соответствуют рядам нормального распределения или близки к ним. Так как установление связей проводили на типологической основе, то на следующем этапе были проанализированы парные связи между средними таксационными показателями в древостоях преобладающих типов леса – березняках осочково-разнотравном и вейниково-разнотравном. Оказалось, что древостои двух типов леса можно отнести к одной генеральной совокупности. Также были вычислены уравнения, отображающие динамику средних высот и средних диаметров березняков, рассмотрена обусловленность формирования запаса древостоя величинами средних высот, средних диаметров и относительных полнот. В результате были получены уравнения множественной регрессии. Проверка точности определения запасов по уравнениям была проведена путем сопоставления с данными Стандартной таблицы Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства, а также с материалами пробных площадей. Оказалось, что величина отклонений близка к полученной по уравнениям. Завершающей частью работы явилось определение парной зависимости между средними высотами древостоев травяной группы типов леса и средними диаметрами. В результате были установлены множественные и парные регрессионные зависимости между средними таксационными показателями для березовых

---

*Для цитирования:* Шевелев С.Л., Ефремова М.Н. Связь между средними таксационными показателями древостоев березы в Красноярско-Ачинско-Канском лесостепном районе // Лесн. журн. 2017. № 2. С. 42–51. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.42

древостоев травяной группы типов леса. Полученные уравнения могут быть использованы при дешифрировании данных лесной аэрофотосъемки и построении таксационных нормативов.

*Ключевые слова:* лесной массив, березовые древостои, средний диаметр, средняя высота, относительная полнота, запас стволовой древесины.

### *Введение*

Лесной массив, являясь структурной составляющей лесной системы, формируется далеко не случайно, а под воздействием ряда факторов (климатических, почвенных, орографических) и особенностей лесообразовательных процессов (характера смены древесных пород, динамики таксационных показателей, слагающих массив древостоев и др.). В работах ряда авторов [2, 3, 5, 8, 9] доказывается наличие математического единства в распределении древостоев с различными таксационными характеристиками в пределах лесных массивов.

По структуре лесного массива можно судить об этапах формирования древостоев на достаточно продолжительном временном отрезке и делать прогнозы. В то же время средние таксационные характеристики древостоев в массиве также взаимообусловлены. Установление закономерных связей между ними позволяет решать технические задачи, связанные с оптимизацией методов таксации древостоев, в том числе и с использованием методов дистанционного зондирования.

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) является одним из основных лесообразователей. Закономерностям роста и развития древостоев, сформированных различными видами березы, посвящен достаточно обширный ряд работ как отечественных [4, 6 и др.], так и зарубежных исследователей [7, 10, 11], однако некоторые аспекты взаимообусловленности отдельных характеристик этих ценозов требуют более пристального внимания.

Целью работы явилось установление зависимостей между средними таксационными характеристиками березовых древостоев на основе данных, представляющих лесной массив в Красноярско-Ачинско-Канском лесостепном районе. Этот район занимает значительную территорию на Среднесибирском плоскогорье и Западно-Сибирской равнине.

### *Объекты и методы исследования*

Объект исследования – лесной массив с абсолютным преобладанием березовых древостоев, расположенный на территории Манского лесничества Красноярского края.

Выделение массива из лесного фонда лесничества осуществлялось на базе методических положений, изложенных в работе И.И. Красикова, С.Л. Шевелева [3]. Эти авторы понимают лесной массив как биологическую лесную систему, сформировавшуюся в определенных географических условиях, соответствующую отдельным элементам ландшафта, занимающую целостную территорию с естественными границами, которой присущи опосредованные орографическими, почвенными, погодно-климатическими и другими факторами структуры биоценозов.

Район исследования характеризуется относительно равнинным рельефом. Речная сеть сформирована ручьями и мелкими реками. Преобладают древостои травяной группы типов леса. Лесной массив состоит из 1212 выделов, протаксированных методом глазомерно-измерительной таксации в процессе проведения лесоустроительных работ. Населенных пунктов нет.

Условия местопроизрастания березняков относительно благоприятны – средний класс бонитета древостоев II (к I классу бонитета относятся 0,2 % древостоев, к II – 82,7 %, к III – 17,1 %).

Преобладающими типами леса являются березняк осочково-разнотравный (Б<sub>осрт</sub>), на долю которого приходится 79,5 % древостоев, и березняк вейниково-разнотравный (Б<sub>врт</sub>) с долей участия 19,1 %. Кроме них, в незначительном количестве учтены березняки вейниковые и хвощово-осочковые.

Основную массу березняков в массиве представляют средневозрастные древостои, на их долю приходится 52,5 % по числу древостоев и 54,2 % по занимаемой ими площади. Приспевающие, спелые и перестойные древостои составляют 42,3 % от общего числа древостоев, занимая 37,2 % покрытой лесом площади.

Характер соотношения древостоев различных возрастных групп в массиве свидетельствует о том, что он испытал значительное антропогенное воздействие в виде рубок в 80–90-е гг. прошлого века.

Анализ рядов средних таксационных характеристик древостоев в пределах возрастных групп (запасов, средних высот и диаметров, относительных полнот, исключая ряды классов бонитета) показал, что они соответствуют или близки к рядам нормального распределения. Проверка рядов на нормальность велась в соответствии с возможностями программы SPSS. Такое распределение, по мнению ряда авторов [2, 3, 5], указывает на стабильное формирование массива на данном временном этапе.

Максимальная доля запасов березняков (84,9 %) приходится на древостои со средними диаметрами 20...24 см.

Приведенные выше характеристики объекта исследования весьма типичны для лесных систем Красноярско-Ачинско-Канского лесостепного района.

Установление связей между средними таксационными показателями велось на типологической основе.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

На первом этапе обработки данных была проведена первичная статистическая оценка рядов средних таксационных характеристик березовых древостоев в лесном массиве.

Оказалось, что средние значения высот и диаметров составляют соответственно 17,4 м и 17,3 см при среднем запасе 110 м<sup>3</sup>/га. Древостои в абсолютном преобладании модальны – средняя относительная полнота равна 0,59.

Наибольшую изменчивость имеют средние диаметры и запасы древостоев (39,7...39,4 %). Точность опыта лежит в пределах 0,9...1,6 %.

Далее были проанализированы парные связи между средними таксационными показателями в древостоях преобладающих типов леса – березняках осочково-разнотравном и вейниково-разнотравном. Этим также решалась задача установления степени различия в характере формирования древостоев двух типов леса, относящихся к одной группе. Для этой цели были проанализированы кривые, характеризующие динамику средних высот и средних диаметров березняков.

Оказалось, что динамика средних высот с высокой степенью адекватности отображается функцией вида

$$H = \frac{a + bA}{1 + cA + dA^2}, \quad (1)$$

где  $H$  – средняя высота древостоя, м;  
 $A$  – возраст, лет;  
 $a, b, c, d$  – коэффициенты уравнения (табл. 1).

Динамика средних диаметров аппроксимируется следующим уравнением:

$$D = a(1 - e^{-bA}). \quad (2)$$

Здесь  $D$  – средний диаметр древостоя, см.

Таблица 1

**Значения коэффициентов уравнений и показателей их адекватности**

Таксационный показатель	Тип леса	Коэффициенты уравнений				Коэффициент детерминации ( $R^2$ )	Стандартная ошибка $S$
		$a$	$b$	$c$	$d$		
Средняя высота, м	Босрт	-0,32135	0,48832	0,00155	9,15749e-005	0,98	0,75
	Бврт	-0,95226	0,63669	0,01164	4,06596e-005	0,98	0,53
Средний диаметр, см	Босрт	141,4598	0,002594	–	–	0,95	0,97
	Бврт	84,2104	0,004686	–	–	0,93	1,65

Графики динамики средних таксационных показателей практически совпадают (рис. 1) и даже без расчетов критериев согласия позволяют утверждать, что древостои двух типов леса относятся к одной генеральной совокупности и дальнейшую обработку данных можно проводить в целом, в пределах группы типов леса.

Далее были рассмотрены множественные зависимости, имеющие практическое значение при использовании методов дистанционного мониторинга лесов. Была изучена обусловленность формирования запаса древостоя ( $M$ ) величинами средних высот и диаметров, а также относительных полнот ( $P$ ). Характер формирования поля исходных данных по величине запасов березняков травяной группы типов леса в зависимости от средних диаметров и относительных полнот иллюстрирует рис. 2.

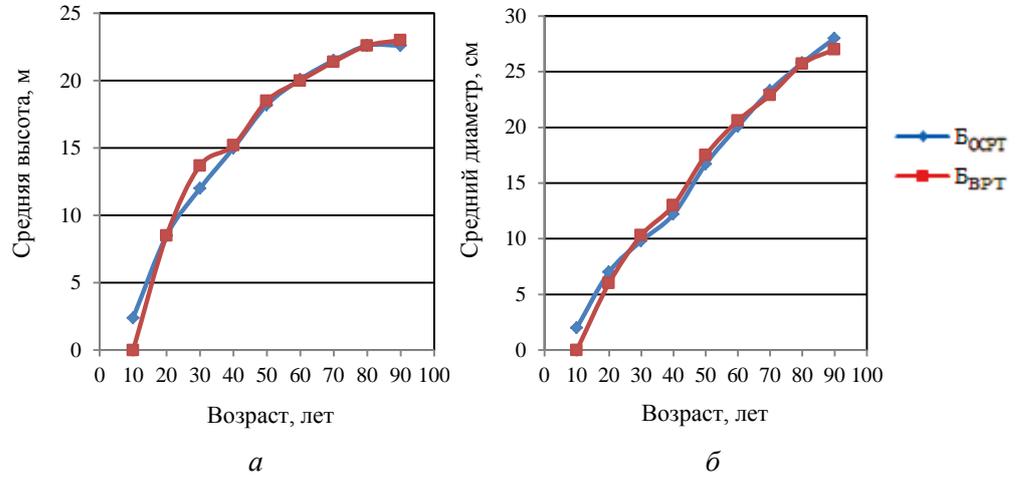
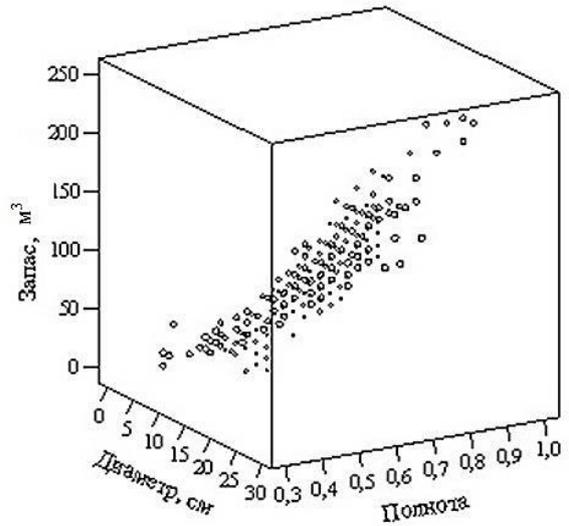


Рис. 1. Динамика средних высот (а) и диаметров (б) березняков травяной группы типов леса

Рис. 2. Запас березняков травяной группы типов леса различных средних диаметров и относительных полнот



Зависимость запаса древостоев от их таксационных характеристик (среднего диаметра и относительной полноты) с достаточно высокой степенью адекватности отображается следующим уравнением:

$$M = -105,107 + 5,693D + 197,254P. \quad (3)$$

Коэффициент множественной корреляции, отражающий связь зависимой переменной с совокупностью независимых переменных,  $R = 0,920$ , при этом коэффициент детерминации ( $R^2$ ) = 0,846, т. е. 84,6 % дисперсии зависимой переменной обусловлено влиянием среднего диаметра и относительной полноты древостоев.

Стандартизованные коэффициенты регрессии  $\beta$  для диаметра и полноты соответственно составляют 0,901 и 0,598.

Стандартная ошибка уравнения – 17,1; стандартные ошибки коэффициентов, являющиеся мерой стабильности и равные стандартному отклонению их значений, для константы уравнения соответствуют 4,3, для диаметра – 0,1, для полноты – 5,6. Вероятность того, что результаты аппроксимации являются случайными, равна 0.

Ниже, в табл. 2, приведены результаты проверки точности работы уравнения по материалам шести пробных площадей с рубкой 147 модельных деревьев.

Таблица 2

**Сопоставление запасов, полученных по уравнению (3), с запасом древостоев на пробных площадях**

Номер пробной площади	Состав	Средние		Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га		Отклонение	
		высота, м	диаметр, см		на пробе	по уравнению (3)	м <sup>3</sup> /га	%
1	9Б1Ос	23,0	22,0	0,90	194	198	+4	+2,0
2	9Б1Лц	20,0	18,0	0,80	182	162	-20	-
3	10Б	21,4	21,1	0,75	176	163	-13	-7,4
4	10Бед.Лц	15,0	12,1	0,80	121	121	-	-
5	9Б1Лц	25,0	30,0	0,90	243	243	-	-
6	10Бед.Ос	21,6	20,4	0,74	166	157	-9	-5,4

Уравнение, объединяющее три независимых переменных (средние высота и диаметр, а также полнота древостоя) имеет следующий вид:

$$M = -108,849 + 4,703H + 2,199D + 167,246P. \quad (4)$$

Коэффициент детерминации равен 0,868. Стандартизованные коэффициенты регрессии для диаметра, высоты и полноты соответственно равны 348, 554, 507. Критерий Дарбина–Ватсона составляет 1,6, распределение остатков близко нормальному. Вероятность случайности результата равна 0.

Однако введение в уравнение дополнительного предиктора не повлекло за собой значимого увеличения точности – коэффициент детерминации увеличился только на 0,022. По-видимому, оказала влияние высокая степень взаимной корреляции средних высот и диаметров древостоев.

Опосредованность запаса березовых древостоев средней высотой и относительной полнотой характеризуется уравнением множественной регрессии:

$$M = -108,385 + 7,496H + 148,605P. \quad (5)$$

Адекватность уравнения подтверждается коэффициентом детерминации:  $(R^2) = 0,867$ . Для высоты коэффициент  $\beta = 0,881$ , для полноты – 0,450. Стандартная ошибка уравнения – 15,8, ошибки коэффициентов уравнения: константа – 3,9, высота – 0,1, полнота – 4,9. Вероятность случайности результата равна 0.

Сопоставление результатов определения запасов по уравнению (5) со Стандартной таблицей Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства (ЦНИИЛХ) [1] показало, что при средних полнотах древостоев отклонения невелики. В табл. 3 приведены результаты сопоставления запасов при относительной полноте древостоев 0,5.

Таблица 3

**Сопоставление запасов, рассчитанных по уравнению (5) и определенных по Стандартной таблице ЦНИИЛХ**

Показатель	Значение показателя при средней высоте древостоя, м								
	10	12	14	16	18	20	22	24	25
Запас, м <sup>3</sup> /га:									
по таблице	44	53	67	82	98	114	134	153	163
по уравнению	41	56	71	86	101	116	131	146	153
Отклонение:									
м <sup>3</sup> /га	-3	3	4	4	3	2	-3	-7	-10
%	-6,8	5,7	6,0	4,9	3,1	1,8	-2,2	-4,6	6,1

Однако для высоко- и низкополнотных древостоев величина отклонений значительно возрастает. Поэтому на данном этапе целесообразно установить пределы работы уравнения при относительной полноте 0,5...0,7 и средней высоте древостоев 12...20 м и продолжить исследования в части оценки соответствия показателей Стандартной таблицы ЦНИИЛХ характеристикам березовых древостоев района исследования.

Проверка точности уравнения по материалам пробных площадей показала, что величина отклонений близка к определенной по уравнению (5).

Завершающей частью работы явилось установление парной зависимости между средними высотами и диаметрами древостоев травяной группы типов леса. Эта зависимость представляет значительный интерес при построении объемных таблиц, так как является основой для шкалы разрядов высот.

Зависимость отображается уравнением

$$H = \frac{-0,28519 + 1,40627D}{1 + 0,000172D + 0,00086D^2} \text{ при } R^2 = 0,974 \text{ и } S = 0,812. \quad (6)$$

#### Выводы

1. Использование полученных статистических моделей даст возможность усовершенствовать процесс дешифрирования аэрофотоснимков для лесостепной зоны Средней Сибири.

2. Парные взаимосвязи, характеризующие динамику средних высот и диаметров березняков травяной группы типов леса, позволят внести коррективы в региональные таблицы хода роста.

3. Сопоставление полученных результатов с данными Стандартной таблицы ЦНИИЛх позволит использовать их при дальнейших исследованиях в процессе анализа оценки соответствия показателей таблицы характеристикам низко- и высокополнотных березовых древостоев района исследования.

4. Зависимость между средними высотами и средними диаметрами древостоев может явиться основой для построения шкалы разрядов высот объемной таблицы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 551 с.
2. *Глазов Н.М.* Статистический метод в таксации и лесоустройстве. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 144 с.
3. *Красиков И.И., Шевелев С.Л.* Структура лесных массивов в Республике Тыва. Красноярск: СибГТУ, 2013. 118 с.
4. *Морозов Л.М.* Основы организации хозяйства в таежных березняках Обь-Иртышского междуречья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1978. 23 с.
5. *Мошкалева А.Г., Книзе А.А., Ксенофонтов Н.И., Уланов Н.С.* Таксация товарной структуры древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 160 с.
6. *Тюрин А.В.* Таблицы сбега и объема стволов березы по бонитетам // Массовые таблицы для сосны, ели, дуба, березы и осины по классам бонитета. М.; Л.: Сельколхозгиз, 1931. С. 405–496.
7. *Emery M.R., Wrobel A., Hansen M.H., Dockry M., Moser W.K., Stark K.J., Gilbert J.H.* Using Traditional Ecological Knowledge as a Basis for Targeted Forest Inventory: Paper Birch (*Betula papyrifera*) in the US Great Lakes Region // *J. of Forestry*. 2014. No. 112(2). Pp. 207–214.
8. *Grossman H.* Ergebnisse der in Jare 1957 durchgefuehrten Holzvorrats und Zuwachsinventur im Plenterwald Keula // *Arch. Fur Forstwesen*. 1959. No. 6/7. Pp. 666–689.
9. *Grossman H., Wolff G.* Versuche zur Rationalisierung der Methodik von Holzvarrotsinventuren auf mathematisch-statistischer Grundlage // *Arch. Fur Forstwesen*. 1963. No. 12. Pp. 77–101.
10. *Howard A.F., Yaussy D.A.* Multivariate Regression Model for Predicting Yields of Grade Lumber from Yellow Birch Sawlogs // *Forest Products J.* 1986. No. 36. Pp. 56–60.
11. *Moser W.K., Hansen M.H., Gormanson D., Gilbert J.H., Wrobel A., Emery M.R., Dockry M.J.* Paper Birch (Wiigwaas) of the Lake States, 1980–2010 // USA: Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2015. 37 p.

Поступила 14.11.16

UDC 630\*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.42

**The Relationship Between the Average Forest Inventory Indices of Birch Stands in the Krasnoyarsk-Achinsk-Kansk Forest-Steppe Area**

*S.L. Shevelev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*M.N. Efremova, Postgraduate Student*

Siberian State Technological University, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: taksator@sibstu.Rts.ru, tenia@mail.ru

The paper analyzes the impact between the average forest inventory indices of the forestlands with the silver birch dominance (*Betula pendula* Roth.) in the forest-steppe zone of Middle Siberia. The study object is the forestland with an absolute birch stand predominance in the Mansky Forestry in the Krasnoyarsk region. The study is based on the data of the forest inventory of 1212 subcompartments. The selected forestland is typical for the forest systems of the Krasnoyarsk-Achinsk-Kansk forest-steppe area. The stands of the herbal group of the forest types are dominated. The birch stands are characterized by the 2nd soil-site index. The basic part of birch stands is the middle-aged stands. The primary statistical data processing is carried out on the first stage. The analysis of the series of the average forest inventory characteristics within the age groups demonstrates their correspondence to the rows of normal distribution. The establishment of connections is carried out on the typological basis. So, the pairwise connections are analyzed between the average forest inventory indices in the stands of the prevailing forest types – herb-grass-sedge and herb-grass-reed birch stands. Two types of forest stands can be attributed to the same general population. The equations of the dynamics of mean heights and mean diameters of birch stands are calculated. The conditionality of growing stock formation by the values of mean heights, mean diameters and relative stand densities is considered. As a result, the multiple regression equations are obtained. The accuracy test of determination of growing stocks according to the equations is carried out by the comparison with the data of the Standard table of the Central forestry scientific research institute and sample plots materials. The magnitude of deviation is close to the magnitude of equations deviations. The final part of the work is the establishment of the pairwise connection between the mean heights of the stands of the herbal group of the forest types and the mean diameters. As a result of the work, the multiple and pairwise regression connections between the average forest inventory indices for birch stands of the herbal group of the forest types are established. The obtained equations can be used when interpreting the data of forest aerial photography and adoption the forest inventory regulations.

*Keywords:* forestland, birch stand, mean diameter, mean height, relative density, stock of stem wood.

---

*For citation:* Shevelev S.L., Efremova M.N. The Connection Between the Average Forest Inventory Indices of Birch Stands in the Krasnoyarsk-Achinsk-Kansk Forest-Steppe Area. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 2, pp. 42–51. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.42

REFERENCES

1. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Taxation]. Moscow, 1982. 551 p.
2. Glazov N.M. *Statisticheskiy metod v taksatsii i lesoustroystve* [The Statistical Method in Inventory and Forest Management]. Moscow, 1976. 144 p.
3. Krasikov I.I., Shevelev S.L. *Struktura lesnykh massivov v Respublike Tyva* [The Structure of Forestlands in the Republic of Tyva]. Krasnoyarsk, 2013. 118 p.
4. Morozov L.M. *Osnovy organizatsii khozyaystva v taezhnykh bereznyakakh Ob'-Irtyskogo mezhdurech'ya*: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Fundamentals of Economy in the Taiga Birch Forests in the Ob-Irtys Interfluve: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Krasnoyarsk, 1978. 23 p.
5. Moshkalev A.G., Knize A.A., Ksenofontov N.I., Ulanov N.S. *Taksatsiya tovarnoy struktury drevostoev* [Taxation of Stand Commodity Composition]. Moscow, 1982. 160 p.
6. Tyurin A.V. *Tablitsy sbega i ob"ema stvolov berezy po bonitetam* [Taper and Volume Tables of Birch Trunks According to the Site Classes]. *Massovye tablitsy dlya sosny, eli, duba, berezy i osiny po klassam boniteta* [Mass Pine, Spruce, Oak, Birch and Aspen Tables According to the Site Classes]. Moscow; Leningrad, 1931, pp. 405–496.
7. Emery M.R., Wrobel A., Hansen M.H., Dockry M., Moser W.K., Stark K.J., Gilbert J.H. Using Traditional Ecological Knowledge as a Basis for Targeted Forest Inventory: Paper Birch (*Betula papyrifera*) in the US Great Lakes Region. *J. of Forestry*, 2014, no. 112(2), pp. 207–214.
8. Grossman H. Ergebnisse der in Jare 1957 durchgefuehrten Holzvorrats und Zuwachsinventur im Plenterwald Keula. *Arch. Fur Forstwesen*, 1959, no. 6/7, pp. 666–689.
9. Grossman H., Wolff G. Versuche zur Rationalisierung der Methodik von Holzvarrotsinventuren auf mathematisch-statistischer Grundlage. *Arch. Fur Forstwesen*, 1963, no. 12, pp. 77–101.
10. Howard A.F., Yaussy D.A. Multivariate Regression Model for Predicting Yields of Grade Lumber from Yellow Birch Sawlogs. *Forest Products J.*, 1986, no. 36, pp. 56–60.
11. Moser W.K., Hansen M.H., Gormanson D., Gilbert J.H., Wrobel A., Emery M.R., Dockry M.J. Paper Birch (Wiigwaas) of the Lake States, 1980–2010. *USA: Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station*, 2015. 37 p.

Received on November 14, 2016

---