

УДК 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ
ОБЫКНОВЕННОЙ СЕВЕРОТАЕЖНОГО ЛЕСНОГО РАЙОНА***О.Н. Тюкавина¹, канд. с.-х. наук, доц.**Д.Н. Клевцов¹, канд. с.-х. наук, доц.**И.Н. Болотов², д-р биол. наук, ст. науч. сотрудник**Б.Ю. Филиппов¹, д-р биол. наук, доц.**Д.М. Адай^{1,3}, асп.*

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: i.bolotov@narfu.ru

³Технический университет Такоради, а/я 256, Такоради, Западный регион, Гана; e-mail: georgeadayi@yahoo.com

Рациональное использование леса – это, прежде всего, переход к ресурсосберегающим технологиям, в том числе к применению фитомассы лесных насаждений в качестве сырья для перерабатывающей промышленности. Использование всех компонентов дерева (древостоя) имеет большое экономическое значение. Лесосечные отходы (сучья и хвоя), отходы лесопиления (кора) и продукты их переработки получают широкое применение в химической, целлюлозно-бумажной, парфюмерной, фармацевтической, пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и производстве строительных материалов. Знание общей биологической продуктивности, а также отдельных биометрических параметров лесных фитоценозов необходимо для составления банка данных о биопродуктивности лесной растительности на разных уровнях. Цель исследования – определение биологической продуктивности культур сосны обыкновенной в северотаежном лесном районе (Архангельская область, Плесецкий район). Объектами наблюдений являлись участки культур сосны обыкновенной в черничном и брусничном типах лесорастительных условий. Пробные площади закладывали по стандартным методикам. На каждой пробной площади отбирали по 10 модельных деревьев из разных ступеней толщины. Модельные деревья разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Массу фракций для каждой модели определяли с помощью электронного безмена с точностью до ± 50 г. Исходные данные массы фракций фитомассы модельных деревьев с каждой пробной площади подвергали регрессионному анализу, который считается наиболее точным и универсальным. В сосняке черничном биологическая продуктивность культур сосны (4,3 т/га в год) больше на 11 % по сравнению с сосняком брусничным (3,8 т/га в год). В возрастном интервале от 31 до 48 лет биологическая продуктивность культур возрастает по всем фракциям надземной фитомассы древостоя в обоих изученных типах леса. Наиболее показательным элементом биопродуктивности древостоев является масса стволовой древесины. С возрастом доля этой фракции в общей надземной фитомассе увеличивается и в относительных, и в абсолютных величинах.

Для цитирования: Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю., Адай Д.М. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаежного лесного района // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 101–108. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

Для таких фракций фитомассы, как кора ствола и крона, характерна обратная зависимость. С возрастом доля их в общей массе древесного яруса уменьшается. Фракция сухих сучьев в исследованном возрастном интервале накапливает массу, при этом происходит увеличение ее доли в общей надземной фитомассе. В дальнейшем сведения о динамике формирования фитомассы фитоценозов можно использовать при обосновании лесоводственных мероприятий.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, надземная фитомасса, биологическая продуктивность.

Введение

Биологическая продуктивность – скорость образования биологической продукции организмами в ходе их жизнедеятельности. Измеряется она обычно количеством продукции (биомассы), создаваемой организмами за единицу времени на единице площади (например, т/га за год). Лесной фитоценоз, как неотъемлемая часть лесного биогеоценоза, накапливает органическое вещество, которое называют фитомассой.

Фитомасса (от греч. *phyton* – растение; растительная масса) – один из основных показателей первичной биологической продуктивности, являющейся частью общей биомассы лесного биогеоценоза [9] и характеризующей количественное (по массе) выражение как отдельных растений, так и их органов (частей, фракций). В лесном фитоценозе большую часть фитомассы (95 % и более по массе) составляет древостой, 4...5 % и менее приходится на его нижние ярусы [2].

При исследовании запасов и структуры фитомассы лесов традиционно выделяют два основных направления: биогеоценозическое (экологическое), связанное с познанием круговорота веществ и энергии в лесном фитоценозе, и ресурсоведческое, предлагающее оценку лесной фитомассы с точки зрения ее утилизации [8]. В связи с необходимостью решения глобальной экологической проблемы потепления климата повышается внимание к механизмам связывания углекислого газа лесными экосистемами. При оценке углероддепонирующей функции лесов широко используется биологическая продуктивность [13–16, 18, 19].

Определение общей биологической продуктивности, а также отдельных биометрических параметров, может служить универсальным диагностическим методом при мониторинге состояния лесов, в том числе оценке влияния изменений климата. Необходим банк данных о динамике биопродуктивности лесной растительности на разных уровнях (локальный, экорегиональный и т. д.) естественных сукцессий, особенно при антропогенном воздействии [10].

Переход к ресурсосберегающим технологиям, в том числе к применению фитомассы лесных насаждений в качестве сырья для перерабатывающей промышленности, – актуальнейшая проблема лесного комплекса. Использование всех компонентов дерева (древостоя) имеет большое экономическое значение. Лесосечные отходы (сучья и хвоя), отходы лесопиления (кора) и продукты их переработки получают широкое применение в химической, целлюлозно-бумажной, парфюмерной, фармацевтической и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и производстве строительных материалов. Кроме того, переработка фитомассы древесного яруса лесных насаждений имеет и социальное значение. Создание производств по переработке древесной зелени, коры и других фракций фитомассы позволит повысить занятость трудоспособного населения и предотвратит его миграцию.

Сосна обыкновенная является одной из приоритетных древесных пород при искусственном восстановлении лесов европейской части России. Сведения о динамике формирования фитомассы фитоценозов имеют не только теоретическое, но и практическое значение. Закономерности этого процесса можно успешно использовать при обосновании целого ряда лесоводственных мероприятий (процент выборки деревьев при рубках ухода, при учете ресурсов леса и т. п.).

Запасы фитомассы и первичная биологическая продуктивность насаждений для Европейского Севера изучены недостаточно в связи с трудоемкостью работ по их оценке [1, 4, 11, 12, 17, 20, 21].

Цель исследования – определение биологической продуктивности культур сосны обыкновенной в северотаежном лесном районе.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на территории таежной лесорастительной зоны в северотаежном лесном районе европейской части России (Архангельская обл., Плесецкий р-н). Объектами наблюдений являлись участки культур сосны обыкновенной в черничном и брусничном типах лесорастительных условий.

Экспериментальный материал получен методом однократных обмеров на временных пробных площадях, заложенных в культурах сосны обыкновенной. Обследование проводили с учетом методических рекомендаций В.В. Огиевского и А.А. Хирова [3], Н.Н. Соколова [6], А.Р. Родина и М.Д. Мерзленко [5]. В непосредственной близости с каждой пробной площадью отбирали по 10 модельных деревьев из разных ступеней толщины, избегая значительных отклонений по развитию крон и повреждению стволов, без признаков усыхания и т. п. Модельные деревья разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (согласно ГОСТ 21769–84 «Зелень древесная. Технические условия» – охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Массу фракций, отдельно по каждой модели, определяли с помощью электронного безмена с точностью до ± 50 г.

Исходные данные массы фракций фитомассы модельных деревьев с каждой пробной площади подвергали регрессионному анализу. Регрессионный метод определения фитомассы древостоев считается наиболее точным и универсальным [7]. В его основе лежит совмещение регрессионных зависимостей фракционного состава фитомассы модельных деревьев от их диаметра с ведомостью перечета (т. е. с рядом распределения) деревьев на пробной площади по ступеням диаметра.

Затем уравнения табулировали по числовым значениям ступеней толщины в перечетной ведомости. Перемножением полученных величин на установленное при перечете количество деревьев в каждой ступени и последующим суммированием результатов определяли итоговые значения фракционного состава фитомассы таксирваемого древостоя.

Выбор функций, аппроксимирующих (т. е. аналитически описывающих) зависимости, осуществляли с использованием программ Curve Expert 1.3 и Microsoft Excel. При выявлении степени пригодности различных выравнивающих функций в качестве критериев использовали коэффициент детерминации R^2 , характеризующий степень приближения эмпирической зависимости к функциональной (при которой $R^2 = 1$), и ошибку уравнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Таксационная характеристика исследованных культур сосны обыкновенной представлена в табл. 1, результаты выполненных исследований – в табл. 2.

Таблица 1

**Таксационные показатели исследованных культур сосны обыкновенной
(состав – 10С)**

Возраст, лет	Средние		Полнота	Запас, м ³ /га
	диаметр, см	высота, м		
<i>Сосняк черничный</i>				
31	6,4	6,9	0,9	76
48	11,7	14,8	0,9	211
<i>Сосняк брусничный</i>				
31	6,3	6,8	0,8	59
45	10,1	13,1	0,9	177

Таблица 2

**Биологическая продуктивность исследованных культур
сосны обыкновенной**

Возраст, лет	Фракции фитомассы					Сухие сучья	Всего
	Ствол		Крона				
	Древесина	Кора	Ветви	Древесная зелень			
<i>Сосняк черничный</i>							
31	<u>1,95</u> 62,8	<u>0,31</u> 9,9	<u>0,33</u> 10,6	<u>0,46</u> 15,0	<u>0,05</u> 1,7	<u>3,10</u> 100	
48	<u>4,27</u> 77,4	<u>0,43</u> 8,0	<u>0,28</u> 4,6	<u>0,44</u> 7,1	<u>0,13</u> 2,9	<u>5,55</u> 100	
<i>Сосняк брусничный</i>							
31	<u>1,72</u> 63,2	<u>0,25</u> 9,0	<u>0,21</u> 7,7	<u>0,50</u> 18,4	<u>0,05</u> 1,7	<u>2,73</u> 100	
45	<u>3,64</u> 75,2	<u>0,42</u> 10,2	<u>0,25</u> 3,7	<u>0,49</u> 8,6	<u>0,09</u> 2,3	<u>4,89</u> 100	

Примечание. Масса фракций в свежесрубленном состоянии приведена в числителе в т/га за год, в знаменателе – в процентах.

В сосняке черничном биологическая продуктивность культур сосны на 12 % больше, чем в сосняке брусничном 2-го и 3-го классов возраста.

В ходе анализа данных, установлено, что в исследованном возрастном интервале (31–48 лет) биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной возрастает по всем фракциям надземной фитомассы древостоя в обоих изученных типах леса. Наиболее показательным элементом биопродуктивности древостоев является масса стволовой древесины. С возрастом доля этой фракции в общей надземной фитомассе увеличивается как в относительных, так и в абсолютных величинах. Для таких фракций фитомассы, как кора ствола и крона (в целом), характерна обратная зависимость. С возрастом доля их в общей массе древесного яруса уменьшается. Фракция сухих сучьев в исследованном возрастном интервале накапливает массу, при этом происходит увеличение ее доли в общей надземной фитомассе древостоя.

Таким образом, стволовая древесина накапливает основную часть надземной фитомассы древесного яруса культур сосны обыкновенной. С возрастом ее доля в общей надземной фитомассе древостоев увеличивается, а доля коры и фракций кроны – уменьшается.

Заключение

В сосняке черничном 2-го класса возраста биологическая продуктивность культур сосны составляет 3,1 т/га в год, 3-го – 5,6 т/га в год; в сосняке брусничном – соответственно 2,7 и 4,9 т/год. В сосняке черничном за 17 лет и в сосняке брусничном за 14 лет биологическая продуктивность культур сосны повышается на 79 %. С возрастом доля стволовой древесины в общей надземной фитомассе древостоев увеличивается, доля коры и фракций кроны – уменьшается.

Результаты исследований могут быть использованы при проведении лесного мониторинга и осуществлении экологических программ, создании базы данных о фитомассе лесов, а также в лесном ресурсоведении. Полученные данные целесообразно использовать при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем и составлении энергетического баланса лесных сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск: АИЛиЛХ. 1986. 356 с.
2. Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. М.: МГУЛ, 2002. 399 с.
3. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
4. Осипов А.Ф. Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 43–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: ВАСХНИЛ, 1984. 36 с.
6. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: АЛТИ, 1978. 44 с.
7. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
8. Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Тепикин С.В. Распределение массы ветвей ели по толщинам и вертикальному профилю: моделирование и составление таблиц // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибТИ, 1991. С. 32–41.
9. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: АГТУ, 1997. 140 с.
10. Чибисов Г.А. Биологическая продуктивность сосняков, формируемых рубками ухода // Лесн. журн. 1997. № 5. С. 7–16. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Albrektson A. Relation between Tree Biomass Fraction and Conventional Silvicultural Measurements // Ecological Bulletins. 1980. No. 32. Pp. 315–327.
12. Helmisaari H.-S., Makkonen K., Kellomäki S., Valtonen E., Mälkönen E. Below- and Above-Ground Biomass, Production and Nitrogen Use in Scots Pine Stands in Eastern Finland // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 165, iss. 1–3. Pp. 317–326.
13. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forest in Northern Ontario // Silva Fennica. 2010. Vol. 44, no. 4. Pp. 563–582. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article128.pdf> (дата обращения: 31.12.2010). DOI: doi.org/10.14214/sf.128
14. Kolari P., Pumpanen J., Rannik Ü., Ilvesniemi H., Hari P., Berninger F. Carbon Balance of Different Aged Scots Pine Forest in Southern Finland // Global Change Biology. 2004. Vol. 10, iss. 7. Pp. 1106–1119. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00797.x

15. *Mälkönen E.* Annual Primary Production and Nutrient Cycle in Some Scots Pine Stands // *Metsäntutkimuslaitoksen Julkaisuja*. 1974. Vol. 84, no. 5. Pp. 1–87.

16. *Muukkonen P., Mäkipää R., Laiho R., Minkkinen K., Vasander H., Finér L.* Relationship between Biomass and Percentage Cover in Understory Vegetation of Boreal Coniferous Forests // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, no. 2. Pp. 231–245. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article340.pdf> (дата обращения: 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.340

17. *Repola J.* Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, no. 4. Pp. 673–685. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article322.pdf> (дата обращения: 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.322

18. *Shanin V., Komarov A., Mäkipää R.* Tree Species Composition Affects Productivity and Carbon Dynamics of Different Site Types in Boreal Forests // *European Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 133, iss. 2. Pp. 273–286. DOI: 10.1007/s10342-013-0759-1

19. *Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E., Neilson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D.* An Inventory-Based Analysis of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1990 to 2008 // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17, iss. 6. Pp. 2227–2244. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x

20. *Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A.* Effects of Age and Site Quality on the Distribution of Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Trees*. 1996. Vol. 10, iss. 4. Pp. 231–238. DOI: 10.1007/BF02185674

21. *Wang K.-Y., Kellomäki S., Zha T.S., Peltola H.* Component Carbon Fluxes and Their Contribution to Ecosystem Carbon Exchange in a Pine Forest: An Assessment Based on Eddy Covariance Measurements and an Integrated Model // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24, iss. 1. Pp. 19–34. Режим доступа: <https://academic.oup.com/treephys/article/24/1/19/1669211?searchresult=1> (дата обращения: 01.01.2004). DOI: 10.1093/treephys/24.1.19

Поступила 06.03.18

UDC 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

Biological Productivity of Scots Pine Cultures in the Northern Taiga Forest Area

*O.N. Tyukavina*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

*D.N. Klevtsov*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

*I.N. Bolotov*², Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher

*B.Yu. Filippov*¹, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

G.M. Adayi^{1,3}, Postgraduate Student

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Naberezhnaya Severnoy

Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: i.bolotov@narfu.ru

³Takoradi Technical University, P.O. BOX 256, Takoradi, Western Region, Ghana;

e-mail: georgeadayi@yahoo.com

Rational use of forests first of all is a transition to the resource-saving technologies including the use of forest plantations phytomass as a raw material for the processing industry. The use of all parts of tree (stand) is a matter of great economic importance. Wastewood

For citation: Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Bolotov I.N., Filippov B.Yu., Adayi G.M. Biological Productivity of Scots Pine Cultures in the Northern Taiga Forest Area. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 101–108. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

(boughs and needles), edgings (bark) and products of their processing are widely used in chemical, pulp and paper, perfume, pharmaceutical and food industries, agriculture and production of construction materials. Knowledge of total biological productivity as well as individual biometric parameters of forest phytocenoses is necessary for compiling a database of forest vegetation bioproductivity dynamics at different levels. The research purpose was determining the biological productivity of Scots pine cultures in the north taiga forest area (Arkhangelsk region, Plesetsk district). The objects of observations were the areas of Scots pine cultures in blueberry and cowberry types of forest growing conditions. Sample plots were laid with the use of standard methods. 10 sample trees were taken from different thickness levels on each sample plot. Sample trees were divided into the following fractions of phytomass: dry boughs, living branches, tree foliage (needle-leaved shoots with diameter above buttress up to 0.8 cm), trunk bark, trunk wood. Masses of fractions for each sample tree were determined by the means of electronic quick balance within the accuracy of ± 50 g. The initial mass data of the phytomass fractions of the sample trees from each sample plot were subjected to the regression analysis, which is considered to be the most accurate and universal. Biological productivity of pine cultures (4.3 t/ha per year) in blueberry pine forest is 11 % more than in cowberry pine forest (3.8 t/ha per year). Biological productivity of the cultures in all aerial phytomass fractions of the stand in the both studied forest types increases in the age range from 31 to 48 years. The most representative parameter of stands bioproductivity is stemwood mass. The fraction ratio in the total aerial phytomass increases with age. Inverse relationship is distinctive for such phytomass fractions as trunk bark and crown. Their ratio in the total mass of tree layer decreases with aged. The fraction of dry boughs accumulates mass in the studied age range, while its ratio is increasing in the total aerial phytomass. Data on formation dynamics of phytocoenosis phytomass can be used for justifying of silvicultural measures.

Keywords: forest cultures, pine, aerial phytomass, biological productivity.

REFERENCES

1. *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Valuation Handbook for the North-East of the European Part of the USSR]. Arkhangelsk, AILiLKH Publ., 1986. 356 p. (In Russ.)
2. Melekhov I.S. *Lesovedeniye: ucheb.* [Forest Science: Textbook]. Moscow, MGUL Publ., 2002. 399 p. (In Russ.)
3. Ogiyevskiy V.V., Khirov A.A. *Obsledovaniye i issledovaniye lesnykh kul'tur* [Inspection and Study of Forest Cultures]. Leningrad, LTA Publ., 1967. 50 p. (In Russ.)
4. Osipov A.F. Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov chernichno-sfagnovykh sredney taygi [Biological Productivity of Blueberry-Sphagnum Pine Forests of the Middle Taiga]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 1, pp. 43–51.
5. Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskiye rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Methodological Recommendations on the Study of Old-Aged Forest Cultures]. Moscow, VASKHNIL Publ., 1983. 36 p. (In Russ.)
6. Sokolov N.N. *Metodicheskiye ukazaniya k diplomnomu proyektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Guidelines for Thesis Project on Valuation of Sample Plots]. Arkhangelsk, ALTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.)
7. Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i eye prilozheniya* [Biological Productivity of the Northern Eurasia Forests: Methods, Database and Its Applications]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 636 p. (In Russ.)
8. Usol'tsev V.A., Nagimov Z.Ya., Tepikin S.V. *Raspredeleniye massy vetvey eli po tolshechinam i vertikal'nomu profilyu: modelirovaniye i sostavleniye tablits* [Distribution of Weight of Spruce Branches by Thickness and Vertical Profile: Modeling and Tabulation]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Valuation and Silviculture]. Krasnoyarsk, SibTI Publ., 1991, pp. 32–41.

9. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskiye i ekologicheskiye osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and Ecological Features of Pine Growth in the Northern Subzone of the European Taiga]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1997. 140 p. (In Russ.)
10. Chibisov G.A. Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov, formiruyemykh rubkami ukhoda [Biological Productivity of Pine Forests formed by Improvement Thinning]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1997, no. 5, pp. 7–16.
11. Albrektson A. Relation between Tree Biomass Fraction and Conventional Silvicultural Measurements. *Ecological Bulletins*, 1980, no. 32, pp. 315–327.
12. Helmisaari H.-S., Makkonen K., Kellomäki S., Valtonen E., Mälkönen E. Below- and Above-Ground Biomass, Production and Nitrogen Use in Scots Pine Stands in Eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, 2002, vol. 165, iss. 1–3, pp. 317–326.
13. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forest in Northern Ontario. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, no. 4, pp. 563–582. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article128.pdf> (accessed 31.12.2010). DOI: doi.org/10.14214/sf.128
14. Kolari P., Pumpanen J., Rannik Ü., Ilvesniemi H., Hari P., Berninger F. Carbon Balance of Different Aged Scots Pine Forest in Southern Finland. *Global Change Biology*, 2004, vol. 10, iss. 7, pp. 1106–1119. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00797.x
15. Mälkönen E. Annual Primary Production and Nutrient Cycle in Some Scots Pine Stands. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja*, 1974, vol. 84, no. 5, pp. 1–87.
16. Muukkonen P., Mäkipää R., Laiho R., Minkkinen K., Vasander H., Finér L. Relationship between Biomass and Percentage Cover in Understory Vegetation of Boreal Coniferous Forests. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 2, pp. 231–245. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article340.pdf> (accessed 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.340
17. Repola J. Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 4, pp. 673–685. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article322.pdf> (accessed 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.322
18. Shanin V., Komarov A., Mäkipää R. Tree Species Composition Affects Productivity and Carbon Dynamics of Different Site Types in Boreal Forests. *European Journal of Forest Research*, 2014, vol. 133, iss. 2, pp. 273–286. DOI: 10.1007/s10342-013-0759-1
19. Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E., Neilson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D. An Inventory-Based Analysis of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1990 to 2008. *Global Change Biology*, 2011, vol. 17, iss. 6, pp. 2227–2244. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
20. Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A. Effects of Age and Site Quality on the Distribution of Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees*, 1996, vol. 10, iss. 4, pp. 231–238. DOI: 10.1007/BF02185674
21. Wang K.-Y., Kellomäki S., Zha T.S., Peltola H. Component Carbon Fluxes and Their Contribution to Ecosystem Carbon Exchange in a Pine Forest: An Assessment Based on Eddy Covariance Measurements and an Integrated Model. *Tree Physiology*, 2004, vol. 24, iss. 1, pp. 19–34. Available at: <https://academic.oup.com/treephys/article/24/1/19/1669211?searchresult=1> (accessed 01.01.2004). DOI: 10.1093/treephys/24.1.19

Received on March 06, 2018