

УДК 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА УГЛЕРОДНОГО ПУЛА В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ КУЛЬТУР СОСНЫ И ЕЛИ

*Н.Р. Сунгурова, д-р с.-х. наук, доц.; ResearcherID: H-1847-2019, ORCID: 0000-0002-8464-4596*

*В.В. Худяков, канд. с.-х. наук; ORCID: 0000-0002-8782-7021*

*С.Е. Страздаускас, магистрант; ORCID: 0000-0001-9407-9407*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.sungurova@narfu.ru, v.hudyakov@narfu.ru

В круговороте углерода на планете мощными стабилизаторами выступают лесные насаждения. Поэтому мировое научное сообщество проявляет огромное внимание к изучению углерододепонирующей функции лесных массивов. Большой шаг вперед может быть осуществлен в точности оценок запасов углекислого газа путем формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе лесных площадей. Для определения количества углерода, аккумулированного различными фракциями надземной фитомассы, проводятся периодические исследования в культурах сосны обыкновенной и ели европейской в Архангельской области. Установлено, что к концу второго класса возраста сосновые культурфитоценозы аккумулируют углерод в 4 раза активнее еловых (119,3 т/га против 30,08 т/га). Запасы депонированного углерода по мере роста растений независимо от породы во всех фракциях надземной фитомассы увеличиваются. Как в насаждениях сосны, так и ели наибольшая доля аккумуляции углерода отмечена у фракции стволовой древесины. Второй по величине депонирования углерода в культурах ели является древесная зелень, в культурах сосны – ветви. Наименьшее количество накапливаемого углерода сосредоточено во фракциях сухих сучьев сосны (4,3 %) и ветвей ели (4,4 %). При организации эффективных мер по рациональному использованию лесных ресурсов и оценке экологических функций лесов полученный нами массив экспериментальных данных по углеродному пулу в лесных культурах окажет помощь в процессе формирования банка данных о запасах углерода в надземной фитомассе лесов.

**Для цитирования:** Сунгурова Н.Р., Худяков В.В., Страздаускас С.Е. Сравнительная структура углеродного пула в надземной фитомассе культур сосны и ели // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 159–165. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

**Ключевые слова:** лесные культуры сосны, лесные культуры ели, надземная фитомасса, углеродный пул, аккумуляция.

### *Введение*

На нашей планете леса выступают мощными накопителями углерода, аккумулированного в живых растениях, их остатках различной степени деструкции, в гумусе и торфе. В зависимости от природно-экономических условий насаждения могут являться либо хранителем (стоком, резервуаром) углерода, либо – при неразумных формах хозяйствования – его источником (эмиссией) поступления в биосферу. Для активации депонирования углерода целесообразно использовать лесной покров. Кроме аккумуляции углерода леса выполняют важные экологические и ресурсные функции. На основании этого достигается тройной эффект – депонирование излишков углерода, повышение ресурсного потенциала и улучшение природной среды [13].

Баланс углекислого газа (CO<sub>2</sub>) на Земле складывается из биологических (поступление и поглощение CO<sub>2</sub> в результате фотосинтеза и дыхания) и химических (поступление CO<sub>2</sub> при расщеплении карбонатов, лесных и степных пожарах, промышленном сжигании угля, нефти, газа, потреблении CO<sub>2</sub> при выветривании силикатов) процессов. В общем поглощении атмосферного углерода неорганические процессы играют незначительную роль (всего 0,1 %).

Главные позиции в связывании атмосферного углерода принадлежат фотосинтезу – органическому поглощению (99,9 %) [9]. В процессе фотосинтетической деятельности лесных фитоценозов происходит сток углерода в виде CO<sub>2</sub> из атмосферы [12]. Основную роль в поглощении углекислоты играют лесные массивы, которые, занимая 28 % площади суши, вырабатывают 66 % органического вещества на планете. Высокий коэффициент эффективности фотосинтеза (0,33 %) подтверждает ведущие позиции лесов в потреблении CO<sub>2</sub>. Лесные насаждения являются и основным накопителем биологически связанного углерода (в них содержится 2/3 всего атмосферного запаса углерода). Они выступают мощными стабилизаторами в круговороте углерода. В связи с этим изучению углерододепонирующей функции лесных массивов мировое научное сообщество уделяет огромное внимание. Большой шаг вперед может быть осуществлен в точности оценок запасов CO<sub>2</sub> путем формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе лесных площадей. Некоторые исследователи [14] подчеркивают, что от продуктивности лесов, их состояния, породного состава, возрастной и товарной структуры в лесных экосистемах зависят запасы углерода и темпы его депонирования. Немаловажное значение имеют направленность и интенсивность лесопользования, уровень лесохозяйственного производства, охраны и защиты леса.

#### *Объекты и методы исследования*

В целях определения количества аккумулированного углерода различными фракциями надземной фитомассы в молодняках сосны и ели искусственного происхождения проведены исследования в северо-таежном районе европейской части России (Архангельская область). Опытные лесные культуры заложены в долгомошном типе условий местопроизрастания по пластам, сформированным плугом ПКЛ-70-1. Высаживали стандартные двухлетние сеянцы, посадку проводили вручную, под лопату. Первоначальная густота – 4000 шт./га.

В табл. 1 приведены показатели исследуемых опытных лесных культур сосны и ели.

Таблица 1

#### **Характеристика опытных лесных культур**

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Количество, шт./га	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
<i>Сосна</i>						
24	8,7±0,12	13,2±0,14	2444	II	1,46	191
36	14,7±0,03	16,3±0,02	2080	II	0,78	214
<i>Ель</i>						
24	3,8±0,07	4,8±0,11	2524	IV	1,34	56
36	7,1±0,02	8,0±0,01	2508	III	1,31	75

При изучении фитомассы отбирали по 10 моделей каждой породы пропорционально представленности по ступеням толщины. Исследование запасов фитомассы и ее элементов проводили по окончании сезонного роста. После отбора и валки модельное дерево разделяли на фракции: ветви, древесная зелень (побеги с хвоей диаметром у основания до 0,8 см), кора ствола, древесина ствола, сухие сучья. Поочередно определяли массу каждой фракции взвешиванием. Для расчета фитомассы использовали регрессионный метод, за аргумент брали диаметр ствола на высоте 1,3 м.

В ходе вычислений количество сухого вещества в древесной зелени, ветвях, коре, древесине, сухих сучьях принимали в среднем равным соответственно 47, 49, 51, 52, 87 % [2–4]. Установлено, что в 1 кг абсолютно сухой массы коры, древесины, ветвей, сухих сучьев содержится 0,50 кг углерода, а в 1 кг абсолютно сухой массы древесной зелени – 0,45 кг [1, 6, 8].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В табл. 2 сгруппированы сведения о накоплении углерода изучаемыми фракциями надземной фитомассы в сосновых и еловых искусственных молодняках разного возраста.

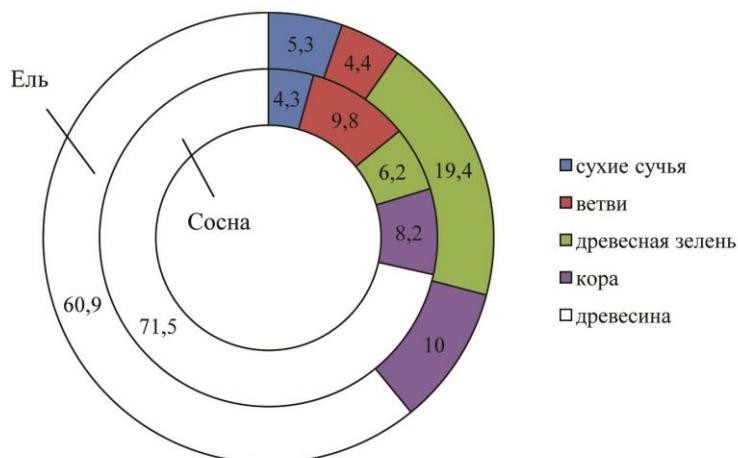
Таблица 2

#### **Накопление углерода (т/га) в опытных лесных культурах**

Возраст, лет	Депонированный углерод по фракциям надземной фитомассы					
	Сухие сучья	Ветви	Древесная зелень	Кора	Древесина	Всего
<i>Сосна</i>						
24	2,82	6,55	5,63	4,96	45,72	65,68
36	5,13	11,65	7,46	9,86	85,25	119,30
<i>Ель</i>						
24	1,50	1,06	10,20	1,76	12,63	27,15
36	1,61	1,30	5,85	3,00	18,32	30,08

К концу второго класса возраста сосновые культурфитоценозы аккумулируют углерод в 4 раза активнее (119,3 т/га), чем еловые (30,08 т/га). Запасы депонированного углерода с ростом растений независимо от породы во всех фракциях надземной фитомассы возрастают. Исключением является фракция древесной зелени в еловых насаждениях, где этот показатель сократился почти вдвое. На данный факт указывает М.А. Люминарская [10], которая, обследуя культуры ели сибирской в Красноярском крае в южной подзоне тайги, установила, что количество накопления CO<sub>2</sub> хвоей уменьшается по мере роста насаждений. Независимо от возраста максимальная доля аккумуляции углерода принадлежит фракции древесного ствола (43...71 %), минимальная – коре (7...11 %).

На рисунке показано распределение накопления углерода в культурфитоценозах сосны и ели (возраст 36 лет) по фракциям надземной фитомассы.



Структура углеродного пула, %, в культурах сосны и ели  
36-летнего возраста

Carbon pool structure in 36-years-old pine and spruce crops, %

Из рисунка видно, что в насаждениях сосны и ели наибольшая доля аккумуляции углерода приходится на фракцию стволовой древесины (60,9...71,5 %), на что обращают внимание многие авторы. Вторые позиции по доле депонирования углерода в культурах ели принадлежат фракции древесной зелени (19,4 %), в культурах сосны – ветвям (9,8 %). Минимальное количество накапливаемого углерода сосредоточено во фракциях сухих сучьев сосны (4,3 %) и ветвей ели (4,4 %).

М.А. Карасева [7] при проведении углерододепонирующей оценки лесных культур лиственницы сибирской в Среднем Поволжье пришла к выводу, что в надземной фитомассе лесных экосистем сконцентрированы большие запасы углерода. Она констатировала, что его значительная часть сосредоточена в древесине ствола и с возрастом запасы увеличиваются до 80 % от всей надземной фитомассы.

Ряд исследователей [8, 11, 15] в настоящее время отмечают, что в составе отдельных фракций биомассы хвойных древесных видов количество углерода находится в пределах 50,0...57,0 %, лиственных – 42,0...48,0 % от сухой массы.

К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина [5], исследуя сосновые и еловые фитоценозы в средней подзоне тайги Республики Коми, пришли к выводу, что в различных фракциях фитомассы древесных растений количество углерода составляет 44,6...50,3 % от сухой массы.

Н.А. Бабич, Д.Н. Клевцов, И.В. Евдокимов [3] установили, что в посевах сосны, созданных в различных лесорастительных условиях, в любом возрасте максимальная доля накопления углерода сконцентрирована в древесном стволе (53,0...85,0 %). С возрастом количество углерода, депонированного этой фракцией надземной фитомассы в культурфитоценозах сосны, увеличивается. Минимальная доля накопления углерода в искусственных насаждениях любого возраста и лесорастительных условий составляет 1,0...5,0 % и приходится на сухие сучья.

### Заключение

На основании комплексных исследований сосновых и еловых культур северо-таежного района европейской части России установлено соотношение запасов углерода в изучаемых фракциях надземной фитомассы.

Полученные экспериментальные данные о содержании углерода в культурах фитомассы целесообразно использовать при формировании банка данных о запасах углерода в надземной фитомассе лесов, при оценке экологических функций лесных экосистем и организации эффективных мер по рациональному использованию лесных ресурсов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Стаканов В.Д., Коротков И.А. и др. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексеева, Р.А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 170 с.
2. Бабич Н.А. О точности учета надземной фитомассы культур сосны // Лесн. журн. 1989. № 1. С. 112–115. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
4. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск, 2004. 112 с.
5. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
6. Исаев, А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.
7. Карасева М.А. Лиственница сибирская в Среднем Поволжье: науч. изд. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 376 с.
8. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла: моногр. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 248 с.
9. Кондрашова Н.Ю. Роль лесов в углеродном цикле планеты // Роль науки в создании лесов будущего: тез. докл. на всесоюз. конф. молодых ученых, 5–7 мая 1981 г., Пушкино Моск. обл. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. С. 184.
10. Люминарская М.А. Особенности роста культур ели сибирской в южнотаежных и лесостепных районах Красноярского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2007. 22 с.
11. Риссер П. Отходы сельского хозяйства и леса // Биомасса как источник энергии / под ред. С. Соуфера, О. Заборски. М.: Мир, 1985. С. 25–45.
12. Саковец В.И., Иванчиков А.А. Запасы и потоки углерода в лесах Карелии // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы Третьих Мелеховских чтений, посвященных 100-летию со дня рождения И.С. Мелехова (15–16 сент. 2005 г.). Архангельск, 2005. С. 14–16.
13. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми / отв. ред. К.С. Бобкова, С.В. Загирова. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2014. 202 с.
14. Усольцев В.А., Нагимов Н.Я. Методы таксации фитомассы деревьев и древостоев. Свердловск: УЛТИ, 1988. 44 с.
15. Vogt K. Carbon Budgets of Temperate Forests Ecosystems // Tree Physiology. 1991. Vol. 9, no. 1–2. Pp. 69–86.

Поступила 16.01.19

UDC 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

### Comparative Carbon Pool Structure in Above-Ground Phytomass of Pine and Spruce Crops

**N.R. Sungurova**, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.

ResearcherID: [H-1847-2019](https://orcid.org/0000-0002-8464-4596), ORCID: [0000-0002-8464-4596](https://orcid.org/0000-0002-8464-4596)

**V.V. Khudyakov**, Candidate of Agriculture, Prof.; ORCID: [0000-0002-8782-7021](https://orcid.org/0000-0002-8782-7021)

**S.E. Strazdauskas**, Master; ORCID: [0000-0001-9407-9407](https://orcid.org/0000-0001-9407-9407)

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: [n.sungurova@yandex.ru](mailto:n.sungurova@yandex.ru), [v.hudyakov@narfu.ru](mailto:v.hudyakov@narfu.ru)

Forests are the active stabilizers of the carbon cycle. Therefore, the global academic community pays a great attention to the study of carbon deposit function of forest lands. Progress in the accuracy of carbon stock estimates can be achieved through the creation of a database on carbon stocks in phytomass of forest areas. Periodic researches of Scots pine and Norway spruce crops are carried out in Arkhangelsk region in order to determine the accumulated carbon in different fractions of above-ground phytomass. It has been found that 36-years-old pine crops phytocenosis accumulate carbon 4 times more actively (119.3 t/ha) than spruce crops phytocenosis (30.08 t/ha). Deposited carbon stocks increase with plants growth, regardless of breed, in all above-ground phytomass fractions. The largest share of carbon accumulation was observed in the stem wood fraction both in pine and spruce plantations. The second largest carbon deposit fraction in spruce crops is leaves and branches; in pine crops – branches. The lowest share of carbon pool is concentrated in the fraction of pine dead branches (4.3 %), and spruce branches (4.4 %). A set of experimental data on carbon pool in forest crops will give a boost to the database formation of carbon stocks in the above-ground phytomass of forests; which must be considered in assessing the ecological functions of forests and organization of effective measures for the forest resources rational use.

**For citation:** Sungurova N.R., Khudyakov V.V., Strazdauskas S.E. Comparative Carbon Pool Structure in Above-Ground Phytomass of Pine and Spruce Crops. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 159–165. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

**Keywords:** pine forest crops, spruce forest crops, above-ground phytomass, carbon pool, accumulation.

#### REFERENCES

1. Alekseev V.A., Stakanov V.D., Korotkov I.A., et al. *Carbon in Ecosystems of Forests and Bogs of Russia*. Ed. by V.A. Alekseev, R.A. Berdsi. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., 1994. 224 p.
2. Babich N.A. On the Accuracy of Pine Crops Above-Ground Phytomass Tally. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1989, no. 1, pp. 112–115.
3. Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal Patterns of Phytomass Change of Pine Crops*: Monography. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 140 p.
4. Babich N.I., Merzlenko N.I., Evdokimov I.V. *Phytomass of Pine and Spruce Crops in the European Part of Russia*. Arkhangelsk, SOLTI Publ., 2004. 112 p.
5. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Carbon Concentrations and Caloric Value of Organic Matter in Northern Forest Ecosystems. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 1, pp. 69–71.

6. Isaev A.S., Korovin G.N., Utkin A.I., Pryazhnikov A.A., Zamolodchikov D.G. Estimation of Carbon Pool and Its Annual Deposition in Phytomass of Forest Ecosystems of Russia. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1993, no. 5, pp. 3–10.
7. Karaseva M.A. *Siberian Larch in the Middle Volga Region*: Scientific Publication. Yoshkar-Ola, MarSTU Publ., 2003. 376 p.
8. Kobak K.I. *Biotic Components of Carbon Cycle: Monography*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988. 248 p.
9. Kondrashova N.Yu. The Role of Forests in the Planet's Carbon Cycle. *The Role of Science in Creation the Forests of Future: Proc. of the All-Union Conf. of Young Scientists, May 5–7, 1981, Pushkino, Moscow region*. Leningrad, LenNIILKh Publ., 1981. 184 p.
10. Lyuminarskaya M.A. *Features of Siberian Spruce Crops Growth in Southern Taiga and Forest-Steppe Regions of Krasnoyarsk Krai*: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs. Krasnoyarsk, 2007. 22 p.
11. Risser P.G. *Agricultural and Forestry Residues. Biomass Conversation Processes for Energy and Fuels*. Ed. by S.S. Sofer, O.R. Zaborsky. Moscow, Mir Publ., 1985. pp. 25–47.
12. Sakovets V.I., Ivanchikov A.A. Carbon Stocks and Flows in the Forests of Karelia. *Problems of Forest Science and Forestry: Proceedings of the III Melekhov Readings Dedicated to the 100th Anniversary of I.S. Melekhov, Arkhangelsk, September 15–16, 2005*. Arkhangelsk, 2005, pp. 14–16.
13. *Carbon in Forest and Wetland Ecosystems of Especially Protected Natural Territories of the Komi Republic*. Executive editors K.S. Bobkova, S.V. Zagirova. Syktyvkar, Komi NTS UrO RAN Publ., 2014. 202 p.
14. Usol'tsev V.A., Nagimov N.Ya. *Methods of Trees and Stands Phytomass Valuation*. Sverdlovsk, ULTI Publ., 1988. 44 p.
15. Vogt K. Carbon Budgets of Temperate Forest Ecosystems. *Tree Physiology*, 1991, vol. 9, no. 1–2, pp. 69–86.

Received on January 16, 2019

---