



Научная статья

УДК 630*52

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-195-203

Запасы углерода в 40-летних культурах сосны обыкновенной

Д.Н. Клевцов, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

О.Н. Тюкавина[✉], д-р с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru[✉]

Поступила в редакцию 19.05.22 / Одобрена после рецензирования 22.08.22 / Принята к печати 27.08.22

Аннотация. Представлена оценка запасов углерода в компонентах надземной фитомассы древесного яруса 40-летних посевов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих в различных лесорастительных условиях Балтийско-Белозерского таежного района Европейского Севера России. Исследованные сосновые культуры созданы на свежих незадернелых вырубках со слабой степенью захламленности в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий, которые характеризуются существенными различиями по биопродукционному потенциалу. Установлено, что наименьший пул углерода формируется в древостое 40-летнего соснового культурфитоценоза лишайникового типа (16,59 т/га), наибольший – в черничном типе условий местопроизрастания (69,41 т/га). В искусственно созданном 40-летнем сосняке брусничном запасы углерода в надземной фитомассе древесного яруса имеют промежуточное положение (44,40 т/га). Наибольшее значение запаса углерода достигает в таком компоненте надземной фитомассы, как древесина ствола. Доля запасов углерода в данной фракции от общей надземной фитомассы древостоя исследованных сосновых ценозов изменяется от 59,5 % в лишайниковом типе условий местопроизрастания до 75,6 % в черничном. Ветви и хвоя имеют близкие количественные значения запасов углерода и схожую структуру дифференциации по лесотипологическому градиенту, занимая второстепенное положение по углеродному пулу древостоя исследованных искусственных сосняков после стволовой древесины. Доля углерода, связанного данными фракциями надземной фитомассы древостоя, уменьшается от наименее продуктивного сосняка лишайникового к более производительному сосняку черничному. Доля углерода, аккумулированного стволовой корой, в общем пуле углерода надземной фитомассы древостоя исследованных искусственных сосняков имеет тенденцию к снижению от сосняка лишайникового к сосняку черничному. На фракцию сухих сучьев приходится наименьший процент запасов углерода в древесном ярусе по всем исследованным лесорастительным условиям (2,3–5,9 %).

Ключевые слова: углерод, запасы углерода, надземная фитомасса, искусственные сосняки, Европейский Север

Для цитирования: Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н. Запасы углерода в 40-летних культурах сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 195–203. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-195-203>

Original article

Carbon Stocks in 40-year Scots Pine Crops

Denis N. Klevtsov, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

Olga N. Tyukavina[✉], Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; d.klevtsov@narfu.ru,
o.tukavina@narfu.ru[✉]

Received on May 19, 2022 / Approved after reviewing on August 22, 2022 / Accepted on August 27, 2022

Abstract. The paper presents an assessment of carbon stocks in components of above-ground phytomass of the tree layer of 40-year Scots pine crops (*Pinus sylvestris* L.) growing in different forest conditions of the Baltic-Belozersky taiga region of the European North of Russia. The studied pine crops were created on fresh, unsodded clearings with a low degree of litter in lichen, lingonberry and bilberry types of forest growth conditions, which are characterized by significant differences in bioproductive potential. It was found that the smallest carbon pool is formed in the stand of a 40-year pine stand of lichen-type culture-phytocenosis (16.59 t/ha), the largest – in the blueberry type of habitat conditions (69.41 t/ha). In artificially created 40-year lingonberry pine forest, carbon stocks in the above-ground phytomass of the tree layer have an intermediate position (44.40 t/ha). The highest relative value of bound carbon is reached in such component of aboveground phytomass as trunk wood. The share of carbon stocks in this fraction of the total aboveground phytomass of the forest stand of the studied pine cenoses varies from 59.5 % in lichen type of habitat conditions to 75.6 % in blueberry one. Branches and needles have close quantitative values of carbon stocks and similar structure of differentiation along the forest typological gradient, occupying a secondary position in the carbon pool of the forest stand of the studied artificial pine forests after stem wood. The proportion of carbon bound by these fractions of aboveground phytomass of the stand decreases from the least productive lichen pine forest to the more productive blueberry pine forest. The share of carbon accumulated by stem bark in the total carbon pool of aboveground phytomass of the stand of the studied artificial pine forests tends to decrease from lichen pine forest to blueberry pine forest. The fraction of dry branches has the smallest percentage of carbon stocks in the tree stand in all studied forest conditions (2.3–5.9 %).

Keywords: carbon, carbon stocks, aboveground phytomass, artificial pine forests, European North

For citation: Klevtsov D.N., Tyukavina O.N. Carbon Stocks in 40-year Scots Pine Crops. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 5, pp. 195–203. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-195-203>



Введение

Биологическая продуктивность – фундаментальное свойство биосферы, способность живого вещества воспроизводить биомассу и образовывать биотический покров [2]. Лесные сообщества играют важную роль в глобальных потоках веществ и энергии, являясь существенными накопителями фитомассы в биосфере. За счет процессов депонирования и эмиссии углерода леса участвуют в изменении климата Земли. Потоки углерода можно связать с продуктивностью лесных насаждений, а именно с запасом древесины и ее приростом, так как основная часть фитомассы лесов сосредоточена в деревьях [11].

Баланс углекислоты на нашей планете поддерживают две группы процессов: биологические (использование углекислого газа при фотосинтетической деятельности растений и дыхание аэробных организмов) и химические (высвобождение углекислого газа при пожарах, в результате разложения мертвой органики, промышленного сжигания углеводородов). Доля неорганических процессов фиксации углекислого газа от его суммарного поглощения из атмосферы составляет около 0,1 %. Наибольшей величины фиксации CO_2 (99,9 %) достигают зеленые растительные организмы (в т. ч. лесные), что обусловливается их фотосинтетической деятельностью [9, 19]. Связывая существенную долю углерода из атмосферы от общей поглотительной способности всех наземных экосистем, леса выступают в качестве основных биологических резервуаров стока углерода. Таким образом, лесные экосистемы являются активными механизмами стабилизации потоков углерода на Земле. Сохранение первобытных (девственных) лесов, лесоразведение и своевременное лесовосстановление становятся залогом успешного решения проблемы компенсации антропогенной эмиссии углекислого газа в атмосферу при использовании природных ископаемых энергетических ресурсов.

Мировое научное сообщество в последние десятилетия уделяет большое внимание такой экологической проблеме, как углерододепонирующая способность лесов [17, 18, 20, 23, 24]. Бореальные леса занимают существенное положение в стабилизации биосферных климатических процессов и ослаблении парникового эффекта, поскольку им свойственны медленные темпы биогенной миграции углерода от связывания при фотосинтезе до растянутого во времени возврата в атмосферу при разложении мертвой органики. Точность оценок запасов углерода зависит от ряда факторов и особенно от степени исследования приходной части «углеродного бюджета». Первым шагом человечества в этом направлении может стать создание базы данных о фиксированных лесной фитомассой запасах углерода.

По мнению В.А. Алексеева, Р.А. Бердси [12], на основе исследования запасов фитомассы лесных фитоценозов в них устанавливают пулы углерода. На биосферном уровне все острее встают вопросы прогнозирования экологической ситуации, что обусловливается сложившейся нехваткой данных о запасах, структуре и динамике фитомассы лесной растительности, использовании неупроченных методов наблюдения [13]. Проблемы адекватности моделей потоков углерода затрудняют оценку роли лесов в глобальном углеродном балансе [9]. Необходима точная информация о количестве углерода, хранящегося в различных типах лесов [6, 21, 22].

Существенный вклад в поддержание углеродного баланса Земли вносят лесные экосистемы Европейского Севера России. В настоящей работе под Европейским Севером на основе сходства природных и естественно-исторических условий понимаются Республика Коми, Архангельская и Вологодская области. Согласно распоряжению Губернатора Вологодской области от 29.11.2021 г. № 6306-р «О внесении изменений в распоряжение Губернатора области от 30 ноября 2018 года № 4807-р» в лесном плане Вологодской области на период 2018–2027 гг. искусственное лесовосстановление планируется провести на площади 75 915 га (3,7 % – посев семян; 96,3 % – посадка сеянцев).

В лесном фитоценозе подавляющую часть фитомассы (95 % и более по весу) составляет древостой, лишь 4–5 % и менее приходится на его нижние ярусы [5]. Как отмечают А.М. Швецов, С.М. Швецов [16], древостой является основным компонентом лесных биогеоценозов, который в большей степени определяет развитие всех других его элементов.

Цель исследования – оценка запасов углерода в компонентах надземной фитомассы древесного яруса искусственно созданных 40-летних сосновых ценозов различных типов лесорастительных условий, произрастающих в Балтийско-Белозерском таежном районе Европейского Севера России.

Объекты и методы исследования

Для проведения исследований подобраны 40-летние посевы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), занимающие разное эколого-ценотическое положение в пределах Балтийско-Белозерского таежного района Европейского Севера (Вологодская область). Дендрометрическая характеристика исследованных сосновых культурфитоценозов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика 40-летних сосняков искусственного происхождения

Forestry and taxational characteristics of 40-year pine forests of artificial origin

Тип лесорастительных условий	Первоначальная густота, шт./га	Состав	Средние		Класс бонитета	Количество деревьев, шт./га	Полнота	Запас, м ³ /га
			диаметр, см	высота, м				
Лишайниковый	6000	10С	6,0	7,4	V	5160	1,0	82
Брусничный	5000	10С	9,7	12,3	III	3250	1,0	171
Черничный	5000	9С	14,7	16,6	I	1117	0,7	176
		1Б	17,5	18,7	–	108	0,1	23
<i>Всего</i>						1225	0,8	199

Полевому исследованию предшествовали камеральные работы по изучению документальных материалов и рекогносцировочные обследования подобранных искусственных сосновых насаждений. На основе камерального анализа материалов установлено, что исследованные лесные культуры

создавали на свежих незадернелых вырубках со слабой степенью захламленности в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий, которые характеризуются существенными различиями по биопродукционному процессу. Обработка почвы на исследованных участках посевов сосны обыкновенной с дренированными почвами заключалась в основном в измельчении и перемешивании на глубину до 15 см подстилки с минеральными горизонтами. Работы проводились вручную при помощи лопат и мотыг.

На подобранных участках сосновых культур закладывали пробные площади и собирали опытные данные посредством выполнения наблюдений и измерений. Опирались на работы В.В. Огиевского, А.А. Хирова [7], Н.Н. Соколова [10], А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [8] и В.А. Усольцева [14].

На каждой пробной площади в пределах всего диапазона проведения исследований отбирали по 10 модельных деревьев. К модельным относили нормально развитые деревья без признаков механических и биологических повреждений. После отбора и валки модельное дерево подлежало обработке, при которой его разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора и древесина ствола. Фракционную массу измеряли электронным безменом с точностью до 50 г.

В камеральных условиях полевые данные модельных деревьев обрабатывали с использованием регрессионного метода оценки фитомассы. В результате проведенных расчетов получили пофракционные запасы надземной фитомассы древесного яруса исследованных сосновых насаждений в свежесрубленном (сыром) состоянии. Запасы углерода в изученных искусственных сосновых ценозах определяли через фракционные запасы надземной фитомассы древостоев. Для этого применяли конверсионные коэффициенты, устанавливающие, что в 1 кг абсолютно сухой массы хвои содержится 0,45 кг углерода, а в 1 кг абсолютно сухой массы сухих сучьев, ветвей, коры и древесины – 0,5 кг углерода [4]. Долю хвои в древесной зелени принимали 75 % в абсолютно сухом состоянии, а содержание сухого вещества в сухих сучьях, ветвях, древесной зелени, коре и древесине – в среднем 87, 49, 47, 51 и 52 % соответственно [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Углеродоемкость древостоев исследованных сосновых насаждений существенно изменяется по типам лесорастительных условий. Запасы углерода древесного яруса в сосняке черничном максимальны по сравнению с другими изученными сосновыми культурфитоценозами. Различие по аккумулярованному древостоем углероду между сосняком черничным и сосняком брусничным составляет 25,01 т/га, черничным и лишайниковым – 52,82 т/га (табл. 2). Согласно данным М.А. Карасевой [3], основные пулы углерода искусственных насаждений лиственницы сибирской в Среднем Поволжье связаны в надземной фитомассе. При этом стволовая древесина имеет большую долю углерода, а доля данного компонента в общей надземной фитомассе исследованных насаждений с возрастом увеличивается до 80 %.

Таблица 2

**Запасы углерода в надземной фитомассе древесного яруса
40-летних посевов сосны обыкновенной**

**Carbon stock in the aboveground phytomass of the tree layer
of 40-year Scots pine crops, t/ha**

Тип лесорастительных условий	Компоненты надземной фитомассы					Сухие сучья
	ствол		крона		всего	
	древесина	кора	ветви	хвоя		
Лишайниковый	<u>10,50</u> 59,5	<u>1,97</u> 11,2	<u>2,04</u> 11,6	<u>2,08</u> 11,8	<u>16,59</u> –	<u>1,04</u> 5,9
Брусничный	<u>32,60</u> 69,6	<u>4,02</u> 8,6	<u>4,45</u> 9,5	<u>3,33</u> 7,1	<u>44,40</u> –	<u>2,41</u> 5,2
Черничный	<u>53,72</u> 75,6	<u>4,84</u> 6,8	<u>6,82</u> 9,6	<u>4,03</u> 5,7	<u>69,40</u> –	<u>1,62</u> 2,3

Примечание: В числителе – т/га; в знаменателе – % от суммы пулов углерода надземной фитомассы и сухих сучьев.

Структура запасов углерода, связанного компонентами надземной фитомассы древесного яруса исследованных сосновых культурфитоценозов, обусловлена их разным эколого-ценотическим положением. Для выявления характера распределения запасов углерода в надземной части древостоев исследованных культурфитоценозов сосны обыкновенной за 100 % приняли сумму пулов углерода в надземной фитомассе древостоя и его отмершей части (сухие сучья) по каждому из анализируемых типов леса (табл. 2).

Наиболее углеродоаккумулирующей структурой является стволовая древесина: по данному компоненту запас углерода изменяется от 59,5 % в сосняке лишайниковом до 75,6 % в сосняке черничном. К схожим выводам приходят А.И. Уткин с соавторами [15] при исследовании запасов углерода в сосновых насаждениях естественного происхождения Вологодской области, отмечая, что светолюбие сосны, следствием которого является хорошее очищение стволов от сучьев, обуславливает приоритет стволов и корней в накоплении углерода, при незначительном участии в этом процессе крон деревьев.

Ветви и хвоя имеют близкие количественные значения запасов углерода и схожую структуру дифференциации по лесотипологическому градиенту, занимая второстепенное положение по углеродному пулу древостоя исследованных искусственных сосняков после стволовой древесины. Доля углерода, связанного данными фракциями надземной фитомассы древесного яруса, уменьшается от наименее продуктивного сосняка лишайникового к более производительному сосняку черничному. Предположительно, такой характер распределения углеродных пулов в надземной фитомассе древесного яруса изученных сосновых культурфитоценозов обуславливается общими закономерностями биопродукционного процесса древостоев, произрастающих в разных экологических условиях. В наиболее богатых черничных лесорастительных

тельных условиях интенсивность физиологических процессов в древесных растениях выше, за равный промежуток времени они достигают больших размеров по сравнению с деревьями, произрастающими в бедных экологических условиях. Поэтому скелетный блок древостоя для обеспечения надежного поддержания кроны и тока веществ наращивает свои пропорции по отношению к фотосинтезирующему аппарату.

Доля стволовой коры в общем пуле углерода надземной фитомассы древостоев исследованных искусственных сосняков имеет тенденцию к снижению от сосняка лишайникового к сосняку черничному. В исследованных типах искусственных сосновых насаждений на отмершую часть древостоев (сухие сучья) приходится наименьшая доля депонированного углерода по всем лесорастительным условиям (2,3–5,9 %).

Заключение

С улучшением экологических условий произрастания запасы углерода в компонентах надземной фитомассы древесного яруса искусственно созданных ценозов сосны обыкновенной возрастают. Структура депонированного разными фракциями фитомассы углерода также обусловлена лесотипологическими условиями. Данные по углеродному пулу в искусственных насаждениях сосны обыкновенной целесообразно учитывать при расчетах «углеродного бюджета» лесных экосистем, а также при реализации природоохранных проектов и исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в Европейской части России. Архангельск, 2004. 112 с.
Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov I.V. *Phytomass of Pine and Spruce Crops in the European Part of Russia*. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2004. 112 p. (In Russ.).
2. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.
Bazilevich N.I. *Biological Productivity of Northern Eurasia Ecosystems*. Moscow, Nauka Publ., 1993. 295 p. (In Russ.).
3. Карасева М.А. Продуктивность и углерододепонирующие функции лиственных фитоценозов в Среднем Поволжье // Изв. вузов. Лесн. журн. 2002. № 4. С. 22–27.
Karaseva M.A. Productivity and Carbon-depositing Functions of Larch Phytocenoses in the Middle Volga Region. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2002, no. 4, pp. 22–27. (In Russ.).
4. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
Kobak K.I. *Biotic Components of the Carbon Cycle*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988. 248 p. (In Russ.).
5. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 2002. 399 с.
Melekhov I.S. *Forestry*. Moscow, MGUL Publ., 2002. 399 p. (In Russ.).
6. Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 46–59.
Nakvasina E.N., Shumilova J.N. Dynamics of Carbon Reserves in the Formation of Forests on Postagrogenic Lands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2021, no. 1, pp. 46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59>

7. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
Ogievsky V.V., Khirov A.A. *Inspection and Research of Forest Crops*. Leningrad, LTA Publ., 1967. 50 p. (In Russ.).
8. Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: ВАСХНИЛ, 1983. 36 с.
Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Methodological Recommendations for the Study of Old-growth Forest Crops*. Moscow, VASKhNIL Publ., 1983. 36 p. (In Russ.).
9. Саковец В.И., Иванчиков А.А. Запасы и потоки углерода в лесах Карелии // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы Третьих Мелех. чтений, посвящ. 100-летию со дня рождения И.С. Мелехова, 15–16 сент. 2005 г. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 14–16.
Sakovec V.I., Ivanchikov A.A. Carbon Fluxes in the Forests of Karelia. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* = Problems of forest science and forestry. Arkhangelsk, 2005, pp. 14–16. (In Russ.).
10. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.
Sokolov N.N. *Methodological Instructions for the Diploma Project on Taxation of Sample Areas*. Arkhangelsk, RIO ALTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.).
11. Тишин Д.В. Оценка продуктивности древостоев. Казань: Казан. ун-т, 2011. 31 с.
Tishin D.V. *Evaluation of Forest Stands Productivity*. Kazan, Kazan University Publ., 2011. 31 p. (In Russ.).
12. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексева, Р.А. Бердси. Красноярск: ИЛ СО РАН, 1994. 224 с.
Carbon in Ecosystems of Forests and Swamps of Russia. Ed. by V.A. Alekseev, R.A. Berdsi. Krasnoyarsk, Institute of Forest SB RAS Publ., 1994. 224 p. (In Russ.).
13. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 707 с.
Usoltsev V.A. *Phytomass of Northern Eurasian Forests: Database and Geography*. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2001. 707 p. (In Russ.).
14. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
Usoltsev V.A. *Biological Productivity of Northern Eurasian Forests: Methods, Database, and its Applications*. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 636 p. (In Russ.).
15. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Неведьев В.В., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Гамбург С.П. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение. 1997. № 5. С. 51–66.
Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Nefediev V.V., Gulbe T.A., Gulbe Y.I., Hamburg S.P. Determination of Plantation Carbon Stocks in Sample Plots: Comparison of Allometric and Conversion-volume Methods. *Lesovedenie* = Forestry, 1997, no. 5, pp. 51–65. (In Russ.).
16. Швецов А.М., Швецов С.М. Размерная и возрастная структуры древесных пород в условиях сураменей Марийского Заволжья // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии: материалы междунар. конф. с элементами науч. шк. для молодежи, 28 июня – 2 июля 2010 г. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. С. 225–229.
Shvetsov A.M., Shvetsov S.M. Size and Age Structure of Tree Species in the Conditions of Surameni of the Mari Volga Region. *Forest Ecosystems under Climate Change: Biological Productivity, Monitoring and Adaptation Technologies. Materials of the international*

conference with elements of a scientific school for youth. Yoshkar-Ola, MarGTU Publ., 2010, pp. 225–229. (In Russ.).

17. Cerny J., Pokorny R., Vejpusťkova M., Sramek V., Bednar P. Air Temperature Is the Main Driving Factor of Radiation Use Efficiency and Carbon Storage of Mature Norway Spruce Stands under Global Climate Change. *International Journal of Biometeorology*, 2020, vol. 64. iss. 9, pp. 1599–1611. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01941-w>

18. Dar J.A., Sundarapandian S. Variation of Biomass and Carbon Pools with Forest Type in Temperate Forests of Kashmir Himalaya, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, vol. 187. iss. 2. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4299-7>

19. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forests in Northern Ontario, Canada. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44. iss. 4, pp. 563–582. <https://doi.org/10.14214/sf.128>

20. Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Byrne K.A. How Strongly can Forest Management Influence Soil Carbon Sequestration? *Geoderma*, 2007, vol. 137, iss. 3-4, pp. 253–268. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>

21. Khan A., Zhang X., Zhang K., Iqbal A., Ahmad A., Saeed S., Hayat M., Yang X. Tree Distribution Pattern, Growing Stock Characteristics and Biomass Carbon Density of Mongolian Scots pine (*Pinus Sylvestris* var *Mongolica*) Plantation of Horqin Sandy Land, China. *Pakistan Journal of Botany*, 2020, vol. 52, iss. 3, pp. 995–1002. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-3\(26\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-3(26))

22. Lamtom S.H., Savidge R.A. A Reassessment of Carbon Content in Wood: Variation Within and Between 41 North American Species. *Biomass Bioenergy*, 2003, vol. 25, pp. 381–388. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00033-3)

23. Malmsheimer R.W., Bowyer J.L., Fried J.S., Gee E., Izlar R.L., Miner R.A., Munn I.A., Oneil E., Stewart W.C. Managing Forests because Carbon Matters: Integrating Energy, Products, and Land Management Policy. *J. For.*, 2011, vol. 109, pp. 7–51.

24. Pohjola J., Valsta L. Carbon Credits and Management of Scots pine and Norway Spruce Stands in Finland. *Forest Policy and Economics*, 2007, vol. 9, iss. 7, pp. 789–798. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2006.03.012>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest