

И.В. Шевелина, З.Я. Нагимов, И.С. Сальникова, В.З. Нагимов

**ОЦЕНКА ЗАПАСОВ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ
И УГЛЕРОД ДЕПОНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ
В ГОРОДСКИХ ЛЕСАХ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА**

Введение. В настоящее время с увеличением масштабов техногенного загрязнения окружающей среды существенно возрастает средозащитное значение лесов, особенно прилегающих к крупным промышленным центрам. Лесные насаждения вокруг городов и в пределах городской черты выполняют роль фитофильтра на пути распространения промышленных и транспортных эмиссий в окружающую среду. Многие исследователи считают, что средоочищающий потенциал лесов тесно связан с их биологической продуктивностью, и указывают на важность региональных оценок фитомассы насаждений отдельных древесных пород с использованием лесоустроительных данных [Алексеев, Бердси, 1994; Уткин и др., 1999; Щепашенко, 2005; Вараксин и др., 2008; Усольцев, 2018; Kurbanov, Post, 2002; Zamolodchikov et al., 2005; Shvidenko et al., 2008].

Во многих районах страны, в том числе и на Урале, получены достаточно полные сведения о фитомассе насаждений в государственном лесном фонде. Леса городских поселений, не входящие в государственный лесной фонд, в этом отношении остаются слабоизученными. В то же время именно им отводится главная роль в оздоровлении окружающей среды и санитарно-гигиенических условий жизни в городах.

Целью исследований явилось определение запасов надземной фитомассы сосновых древостоев и объемов депонирования ими углерода в границах муниципального образования «город Екатеринбург».

Материалы и методика исследования. В настоящее время на территории муниципального образования «город Екатеринбург» экологические и средозащитные функции выполняют лесные насаждения городских лесов, которые делятся на три категории по подчинению – муниципальному (площадь лесов составляет 2934,8 га), областному (12094,8 га) и федеральному (29306,4 га). Все они вместе образуют мощный защитный лесной пояс города. В этом поясе общая площадь лесов составляет 44336 га, в том числе

земель, покрытых лесной растительностью – 38379,9 га (86,6% от общей площади). На исследуемой территории преобладают сосновые насаждения. Их доля по площади в составе земель, покрытых лесной растительностью, составляет 73,6%, поэтому они выбраны нами в качестве объектов исследования. Таксационная характеристика сосняков в городских лесах г. Екатеринбурга в разрезе подчиненности приведена в табл. 1. Данные табл. 1 свидетельствуют, что исследуемые объекты характеризуются близкими таксационными показателями.

Таблица 1

Средние таксационные показатели сосняков в городских лесах в разрезе их административного подчинения

Average taxation parameters of pine stands in urban forests in the context of their administrative subordination

Подчиненность лесов	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Относительная полнота	Запас, м ³	Класс бонитета
муниципальная	111	28,9	23,9	0,69	272	II
областная	105	30,0	23,8	0,68	290	II
федеральная	110	28,4	24,0	0,72	366	II

Для достижения поставленной цели необходимо располагать моделями, показывающими изменение фракций фитомассы отдельных древостоев в зависимости от их основных таксационных показателей, и материалами распределения площади всех древостоев по этим показателям на исследуемой территории. Последние составляются на основе повыделной базы лесоустроительных данных.

В районе исследований изучением фитомассы сосновых древостоев и разработкой различного рода моделей для ее оценки целенаправленно занимались на кафедре лесной таксации и лесоустройства УГЛТУ [Усольцев и др., 1991; Усольцев и др., 1993; Усольцев и др., 1994; Трофимова и др., 2012]. В нашей работе использованы модели, разработанные З.Я. Нагимовым [2000] на основе результатов предыдущих исследований, которые прошли верификацию [Трофимова, 2015] и успешно применяются в лесоводственно-таксационных исследованиях [Трофимова, 2015; Нагимов и др., 2019]:

Для фракции «ствол в коре» (P_c):

$$P_c = 2,2929 + 0,41008 M + 0,09575 A - 0,30596 H_{100}, \quad (1)$$

$$t_0 = 1,6; t_1 = 75,0; t_2 = 4,3; t_3 = -2,2; R^2 = 0,985; \delta = \pm 6,7\%.$$

Для фракции «древесина ствола» ($P_{дс}$):

$$P_{дс} = -0,55098 + 0,38426 M + 0,08643 A - 0,23402 H_{100}, \quad (2)$$

$$t_0 = -2,3; t_1 = 70,0; t_2 = 3,8; t_3 = -1,8; R^2 = 0,980; \delta = \pm 7,2\%;$$

Для фракции «крона» ($P_{кр}$):

$$\begin{aligned} \ln P_{кр} = & -31,3807 + 11,7002 \ln A - 0,9163 \ln^2 A - 4,8194 \ln S_p - \\ & - 0,8164 \ln^2 S_p - 0,0128 \ln^3 S_p + 9,1610 \ln H_{100} - \\ & - 0,5330 \ln^2 H_{100} + 0,7291 \ln A \ln S_p - 1,7713 \ln A \ln H_{100} + \\ & + 0,6126 \ln S_p \ln H_{100} + 0,0714 \ln A \ln S_p \ln H_{100}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$t_0 = -17,4; t_1 = 20,0; t_2 = -19,5; t_3 = -11,4; t_4 = -10,5; t_5 = -5,8; t_6 = 13,1; \\ t_7 = -6,9; t_8 = 7,8; t_9 = -17,3; t_{10} = 5,5; t_{11} = 2,7; R^2 = 0,890; \delta = \pm 13,5\%;$$

Для фракции «хвоя» ($P_{хв}$):

$$\begin{aligned} \ln P_{хв} = & -26,4189 + 9,9839 \ln A - 0,8610 \ln^2 A - 1,9971 \ln S_p - \\ & - 0,0849 \ln^2 S_p - 0,0109 \ln^3 S_p + 7,0217 \ln H_{100} - 0,3926 \ln^2 H_{100} + \\ & + 0,05241 \ln A \ln S_p - 1,3139 \ln A \ln H_{100} + 0,2429 \ln S_p \ln H_{100} + \\ & + 0,0654 \ln A \ln S_p \ln H_{100}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$t_0 = -25,5; t_1 = 30,0; t_2 = -29,1; t_3 = -11,1; t_4 = -10,1; t_5 = -5,8; t_6 = 17,9; \\ t_7 = -9,1; t_8 = 10,7; t_9 = -22,8; t_{10} = 5,0; t_{11} = 5,4; R^2 = 0,885; \delta = \pm 13,7\%.$$

Примечание: в моделях (1)–(4) P_c , $P_{дс}$, $P_{кр}$, $P_{хв}$ – соответственно масса стволов, древесины стволов, крон и хвои в абсолютно сухом состоянии на 1 га, т/га; M – запас древесины на 1 га, м³/га; A – средний возраст древостоя, лет; H_{100} – средняя высота древостоев в столетнем возрасте, м; S_p – средняя площадь питания деревьев, м²; R^2 – коэффициент детерминации; δ – среднеквадратическая ошибка, %; t – значение t критерия Стьюдента

В уравнениях (1) и (2) обращают на себя внимание знаки констант при независимых переменных, особенно при факторах A и H_{100} . Фитомасса стволов повышается с увеличением запаса, что вполне логично и особых разъяснений не требует. Масса одного кубического метра древесины в абсолютно сухом состоянии увеличивается с повышением возраста деревьев и уменьшается с улучшением лесорастительных условий (класса бонитета). Этот известный в исследованиях фитомассы факт объясняется возрастной и экологической изменчивостью плотности древесины [Нагимов, 2000; Lebedev, Kuzmichev, 2022]. Плотность древесины при прочих равных

условиях увеличивается с повышением возраста древостоев и уменьшается с улучшением лесорастительных условий.

В поывидельной базе лесоустроительных данных для древостоев представлены не все таксационные показатели, являющиеся определяющими факторами в уравнениях (1)–(4). В частности, в ней отсутствуют такие показатели, как высота древостоя в возрасте 100 лет (H_{100}) и средняя площадь питания деревьев (S_p). Следует отметить, что последний показатель в уравнениях множественной регрессии опосредует влияние густоты древостоев на варьирование фитомассы [Нагимов, 2000]. В связи с вышеизложенным в базе данных для каждого выдела были определены эти два показателя на основе приведенных ниже методических решений.

Показатель H_{100} устанавливался на основе бонитетной шкалы М.М. Орлова с учетом достигнутой древостоем высоты в конкретном возрасте. При этом предполагалась параллельность изменения во времени средних высот древостоев кривым высот бонитетной шкалы [Нагимов, 2000].

Средняя площадь питания деревьев в лесотаксационном выделе определялась по формуле:

$$S_p = \frac{10000}{N}, \quad (5)$$

где S_p – средняя площадь питания деревьев, m^2 ; N – количество деревьев всех элементов леса на 1 га, шт./га.

Количество деревьев (N) вычислялось по следующему алгоритму. На первом этапе для каждого элемента леса, входящего в состав насаждения выдела, определялась площадь поперечного сечения среднего дерева (g_m) через его средний диаметр (d_m) по формуле:

$$g_m = \frac{\pi d_m^2}{4}, \quad (6)$$

где g_m – площадь поперечного сечения среднего дерева, m^2 ; d_m – диаметр среднего дерева, м.

На втором этапе на основе применяемой в регионе стандартной таблицы [Верхунов и др., 1991] для каждого элемента леса лесотаксационного выдела определялась сумма площадей сечений ($\sum G$) на 1 га и с учетом этого показателя – количество деревьев. Причем вначале по данным указанной таблицы для всех пород, встречающихся в поывидельной базе данных, с применением соответствующих статистических процедур были получены уравнения зависимости $\sum G$ от высоты (H). Затем на основе этих уравнений с учетом средней высоты элементов леса вычислялись их суммы площадей

сечений. Этот показатель каждого элемента леса приводился в соответствие с его коэффициентом в формуле состава и умножался на относительную полноту насаждения. По полученному таким образом значению суммы площадей сечения элемента леса ($\sum G_i$) определялось количество деревьев на 1 га в соответствующем выделе:

$$N_i = \frac{\sum G_i}{g_m}, \quad (7)$$

где N_i – количество деревьев i -го элемента леса, шт./га; $\sum G_i$ – сумма площадей поперечных сечений элемента леса, m^2 /га; g_m – площадь поперечного сечения среднего дерева, m^2 .

На заключительном этапе по каждому лесотаксационному выделу суммированием количества деревьев всех элементов леса определялось их общее количество ($N = \sum N_i$). Затем по формуле (5) вычислялась средняя площадь питания деревьев.

Определенные по вышеизложенной методике средняя высота древостоя в 100-летнем возрасте и средняя площадь питания деревьев по каждому выделу заносились в электронную базу лесоучастительных данных в качестве дополнительных показателей.

Фитомасса стволов, кроны и хвои определялась только для древостоев сосны по лесотаксационным выделам городских лесов. В расчет включались все выделы, в насаждениях которых имелся сосновый древостой с любым участием в составе (от 1 единицы до 10). Общее количество таких выделов составило 9245 шт. Все расчетные работы проводились в пакете МО Excel.

Результаты исследования. Насаждения городских лесов, находящихся в различном подчинении, несмотря на близкие таксационные показатели (табл. 1), отличаются по степени техногенных нагрузок, экологической и рекреационной роли [Метелев, 2020]. Поэтому оценка запасов фитомассы и углерода в сосновых древостоях проводилась отдельно с учетом подчиненности лесов.

Для древостоя сосны каждого лесотаксационного выдела по значениям его соответствующих средних таксационных показателей на основе уравнений (1)-(4) вычислялись запасы следующих фракций надземной фитомассы в абсолютно сухом состоянии: стволов в коре, древесины стволов, кроны в целом и хвои. Полученные результаты свидетельствуют, что в городских лесах муниципального подчинения общая надземная фитомасса древостоев сосны в абсолютно сухом состоянии колеблется от 45,9 (в 30-летних насаж-

денях четвертого класса бонитета) до 268,6 т/га (в 100-летних насаждениях первого класса бонитета). Этот показатель в лесах федерального подчинения варьирует от 35,7 (в 30-летних насаждениях пятого класса бонитета) до 277,9 т/га (в 95-летних насаждениях Ia класса бонитета), а в лесах областного подчинения – от 87,3 (в 30-летних насаждениях четвертого класса бонитета) до 310,9 т/га (в 125-летних насаждениях первого класса бонитета). Амплитуда колебания фитомассы объясняется варьированием условий местопроизрастания, возраста и густоты древостоев. В зависимости от этих факторов наблюдается закономерное изменение как абсолютных значений надземной фитомассы, а, следовательно, и их структурных частей, так и соотношений последних между собой.

В среднем фитомасса соснового древостоя на 1 га городских лесов муниципального подчинения оказалась равной 114,7 т/га, областного – 117,2 т/га, федерального – 123,4 т/га (табл. 2). Эти различия обусловлены особенностями таксационной структуры древостоев городских лесов разного подчинения.

Таблица 2

Запасы надземной фитомассы сосновых древостоев на 1 га по фракциям

Aboveground phytomass stocks of pine stands by fractions per unit area

Подчиненность лесов	Запасы надземной фитомассы на 1 га по фракциям, т/га						
	Всего	ствол			крона		
		итого	древесина	кора	итого	хвоя	ветви
муниципальная	<u>114,7</u> ±2,12	<u>93,5</u> ±2,01	<u>87,3</u> ±1,87	<u>6,2</u> ±0,19	<u>21,2</u> ±0,23	<u>4,3</u> ±0,02	<u>16,9</u> ±0,21
областная	117,2± 0,89	96,1 ±0,85	89,8 ±0,72	6,3 ±0,30	21,1 ±0,09	4,3 ±0,01	16,8 ±0,09
федеральная	123,4 ±0,68	101,2 ±0,64	94,3 ±0,60	6,9 ±0,04	22,2 ±0,07	4,6 ±0,01	17,6 ±0,07

Суммированием полученных по выделам данных определены запасы фракций фитомассы на исследуемых территориях (табл. 3). Представленные в табл. 3 материалы свидетельствуют, что общий запас надземной фитомассы древостоев сосны в абсолютно сухом состоянии на исследуемой территории составляет 4426,1 тыс. т. В общей надземной фитомассе доля стволов (82%) значительно превышает долю крон (18%).

Принимая во внимание средний возраст и производительность исследуемых сосняков, можно констатировать, что такое соотношение вполне соответствует имеющимся в специальной литературе данным [Нагимов, 2000]. Удельный вес коры в фитомассе стволов (6,6–6,8%) и хвои в фитомассе крон (20,3–20,6%) в исследуемых сосняках также близок к литературным данным. Это свидетельствует о корректности примененных в работе методических решений и полученных результатов.

Насаждения городских лесов различного подчинения (городского, областного и федерального) близки по структуре надземной фитомассы сосновых древостоев. Данное обстоятельство вполне объяснимо. В наших предыдущих работах было показано, что различия между насаждениями городских лесов разного подчинения по таксационным показателям, являющимся определяющими факторами в моделях фитомассы, не столь значительны [Шевелина и др., 2015; Шевелина и др., 2016].

Таблица 3

Запасы надземной фитомассы сосновых древостоев по фракциям

Aboveground phytomass stocks of pine stands by fractions

Подчиненность лесов	Запасы надземной фитомассы по фракциям (в числителе – тыс.т., в знаменателе – %)						
	общая	ствол			крона		
		итого	древесина	кора	итого	хвоя	ветви
муниципальная	<u>217.0</u> 100,0	<u>176.8</u> 81,5	<u>165.1</u> 93,4	<u>11.7</u> 6,6	<u>40.2</u> 18,5	<u>8.2</u> 20,4	<u>32.0</u> 79,6
областная	<u>1190.9</u> 100,0	<u>976.1</u> 82,0	<u>911.9</u> 93,4	<u>64.2</u> 6,6	<u>214.8</u> 18,0	<u>43.7</u> 20,3	<u>171.1</u> 79,7
федеральная	<u>3018.2</u> 100,0	<u>2475.8</u> 82,0	<u>2306.7</u> 93,2	<u>169.1</u> 6,8	<u>542.4</u> 18,0	<u>111.7</u> 20,6	<u>430.7</u> 79,4
Итого	<u>4426.1</u> 100,0	<u>3628.7</u> 82,0	<u>3383.7</u> 93,2	<u>245.0</u> 6,8	<u>797.4</u> 18,0	<u>163.6</u> 20,5	<u>633.8</u> 79,5

В настоящее время при определении запасов углерода используются коэффициенты, показывающие его содержание в тех или иных фракциях фитомассы в абсолютно сухом состоянии. В нашей работе использовались коэффициенты, предложенные К.С. Бобковой и В.В. Тужилкиной [Bobkova, Tuzhilkina, 2001]: для древесины стволов – 47,89, коры стволов – 48,57, хвои – 46,27 и ветвей – 47,18%.

Результаты соответствующих расчетов показали, что в границах муниципального образования «город Екатеринбург» в надземной фитомассе древостоев сосны содержится 2114,2 тыс. т углерода (табл. 4). Основные запасы углерода сосредоточены в стволах деревьев (1739,5 тыс. т или 82,3% от общего количества). В среднем на 1 га исследуемых насаждений запас углерода в надземной фитомассе соснового элемента леса составляет 57,9 т/га. Минимальное значение этого показателя (54,8 т/га) характерно для городских лесов областного подчинения, а максимальное (58,9 т/га) – городских лесов федерального подчинения.

Таблица 4

Запасы депонированного углерода во фракциях надземной фитомассы сосновых древостоев

Deposited carbon stocks in fractions of aboveground phytomass of pine stands

Подчиненность лесов	Запасы депонированного углерода во фракциях фитомассы, тыс.т						
	итого	ствол	в т.ч.		крона	в т.ч.	
			древесина	кора		хвоя	ветви
муниципальная	103,7	84,8	79,1	5,7	18,9	3,8	15,1
областная (лесопарки)	568,8	467,9	436,7	31,2	100,9	20,2	80,7
федеральная	1441,7	1186,8	1104,7	82,1	254,9	51,7	203,2
Итого	2114,2	1739,5	1620,5	119,0	374,7	75,7	299,0

Данные исследования необходимо рассматривать как первый этап работ по оценке общих запасов углерода и его динамики в исследуемых экосистемах. Дополнение полученных нами материалов соответствующими данными по другим древесным породам и годичной продукции позволит оценить действительный бюджет углерода в защитном лесном поясе г. Екатеринбурга.

Заключение. Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности корректной оценки фитомассы лесов и запаса углерода в них на основе многофакторных моделей фракций фитомассы древостоев и скорректированных по выделным баз лесостроительных данных. Корректировка баз заключается в расширении их показателями, являющимися определяющими факторами в моделях, но отсутствующими в таксационной характеристике выделов.

Полученные впервые для городских лесов муниципального образования «город Екатеринбург» сведения о запасах надземной фитомассы сосновых древостоев являются отправным моментом для оценки экологического потенциала зеленого пояса города и бюджета углерода в нем. Предложенная и использованная нами методика по оценке запасов фракций надземной фитомассы древостоев может быть успешно применена в отношении других пород, произрастающих на исследуемой территории.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева РАН, 1994. 224 с.

Вараксин Г.С., Поляков В.И., Люминарская М.А. Биологическая продуктивность сосны обыкновенной в Средней Сибири // Лесоведение. 2008. № 3. С. 14–19.

Верхунов П.М., Попова А.В., Черных В.Л., Мамаев И.В. Лесотаксационный справочник для лесов Урала. М.: ЦБНТИ лесхоз, 1991. Ч. I. 239 с.

Метелев Д.В. Структура и динамика городских лесов муниципального образования «город Екатеринбург» и совершенствование организации и ведения хозяйства в них: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 20 с.

Нагимов З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2000. 40 с.

Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Сальникова И.С., Метелев Д.В. Разработка нормативов по оценке объемов порубочных остатков, оставляемых в процессе самовольных рубок // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 226. С. 33–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.33-46

Трофимова И.Л. Надземная фитомасса и ее годичная продукция в спелых сосняках Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 24 с.

Трофимова И.Л., Кощеева У.П., Нагимов З.Я. Надземная фитомасса сосновых насаждений в различных типах леса в условиях Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. 2012. Вып. 8 (100). С. 55–58.

Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год). Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 265 с.

Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Деменев В.В., Шарифутдинов Р.Р. Распределение массы ветвей по их толщинам в сосняках Среднего Урала // ИВУЗ. Лесной журнал. 1991. № 1. С. 7–12.

Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Деменев В.В., Мельникова И.В. Методы и таблицы оценки надземной фитомассы деревьев // Леса Урала и хозяйство в них. 1993. Вып. 16. С. 90–110.

Усольцев В.А., Мельникова И.В., Тепикин С.В., Нагимов З.Я. Ход роста надземной фитомассы сосняков и ельников Среднего Урала // Леса Урала и хозяйство в них. 1994. Вып. 17. С. 155–169.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Сухих В.И. Влияние возрастного критерия лесных насаждений на точность региональных оценок запасов и депонирования углерода в фитомассе лесов // Экология. 1999. № 4. С. 243–250.

Шевелина И.В., Нагимов З.Я., Метелев Д.В. Характеристика лесного фонда зеленой зоны в пределах муниципального образования «г. Екатеринбург» // Современные проблемы науки и образования. 2015. №1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18547> (дата обращения: 29.10.2024).

Шевелина И.В., Метелев Д.В., Нагимов З.Я. Динамика лесоводственно-таксационных показателей насаждений лесопарков города Екатеринбурга // Успехи современного естествознания. 2016. № 6. С. 125–131.

Щепаченко Д.Г. Биологическая продуктивность и бюджет углерода листовенных лесов Северо-Востока России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУЛ, 2005. 47 с.

Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Carbon concentrations and caloric value of organic matter in Northern forest ecosystems // Russian journal of Ecology. 2001. Vol. 32, no. 1. P. 63–65. DOI:10.1023/A:1009582318434

Kurbanov E.A., Post W.M. Changes in area and carbon in forests of the Middle Zavolgie: a regional case study of Russian forests // Climatic Change. 2002. Vol. 55, no. 1-2. P. 157–171. DOI: 10.1023/A:1020275713889

Lebedev A., Kuzmichev V. Changes of tree stem biomass in European for-ests since 1950 // Journal of Forest Science. 2022. Vol. 68, iss. 3. P. 107–155. DOI:10.17221/135/2021-JFS.

Shvidenko A.Z., Schepashchenko D.G., Vaganov E.A., Nilsson S. Net primary production of forest ecosystems of Russia: a new estimate // Doklady Earth Sciences. 2008. Vol. 421, no. 2. P. 1009–1012. DOI: 10.1134/S1028334X08060330

Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Dynamics of carbon pools and fluxes in Russia's forest lands // Russian Journal of Ecology. 2005. Vol. 36, no. 5. P. 291–301. DOI: 10.1007/s11184-005-0076-0

References

Alekseev V.A., Berdsi R.A. Carbon in ecosystems of forests and swamps of Russia. Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Forest Institute of the Russian Academy of Sciences, 1994. 224 p. (In Russ.)

Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Carbon concentration and caloric content of organic matter in northern forest ecosystems. *Russian journal of Ecology*, 2001, vol. 32, no. 1, pp. 63-65. DOI:10.1023/A:1009582318434

Kurbanov E.A., Post V.M. Changes in area and carbon in the forests of the Middle Volga region: a regional case study of Russian forests. *Climate change*, 2002, vol. 55, no. 1-2, pp. 157–171. DOI:10.1023/A:1020275713889

Lebedev A., Kuzmichev V. Changes of tree stem biomass in European forests since 1950. *Journal of Forest Science*, 2022, vol. 68, iss. 3, pp. 107–155. DOI: 10.17221/135/2021-JFS

Metelev D.V. Структура и динамика городских лесов муниципального образования «город Екатеринбург» и совершенствование организации и ведения хозяйства в них: автор's abstract. Dis. ... Candidate of Agricultural Sciences. Yekaterinburg: USFEU, 2020. 20 p. (In Russ.)

Nagimov Z.Ya. Закономерности роста и формирования наземной фитомассы сосновых древостоев: автор's abstract. Dis. ... Doctor of Agricultural Sciences. Yekaterinburg: USFEU, 2000. 40 p. (In Russ.)

Nagimov Z.Ya., Shevelina I.V., Salnikova I.S., Metelev D.V. Development of standards of assessment of volume of logging residues produced in the process of illegal logging. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2019, iss. 226, pp. 33–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.33-46 (In Russ.)

Shchepashchenko D. G. Биологическая продуктивность и бюджет углерода листовых пород лесов Северо-Востока России: автор's abstract. Dis. ... Doctor of Biological Sciences. Moscow: MSUF, 2005. 47 p. (In Russ.)

Shevelina I.V., Metelev D.V., Nagimov Z.Ya. Dynamics of silvicultural and taxation parameters of the stands in woodland parks in the city of Yekaterinburg. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*, 2016, no. 6, pp. 125–131. (In Russ.)

Shevelina I.V., Nagimov Z.I., Metelev D.V. Characteristic of the forest fund of the urban forest zone of municipal unit «city of Yekaterinburg». *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18547> (accessed October 29, 2024). (In Russ.)

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Vaganov E.A., Nilsson S. Clean primary production of Russian forest ecosystems: new assessment. *Earth Sciences reports*, 2008, vol. 421, no. 2, pp. 1009–1012. DOI: 10.1134/S1028334X08060330

Trofimova I.L. Наземная фитомасса и ее годичная продукция в спелых сосняках Среднего Урала: автор's abstract. Dis. ... Candidate of Agricultural Sciences. Yekaterinburg: USFEU, 2015. 24 p. (In Russ.)

Trofimova I.L., Koscheeva U.P., Nagimov Z.Ya. Aboveground phytomass of pine plantations in various types of forest in the conditions of the Middle Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2012, iss. 8 (100), pp. 55–58. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Melnikova I.V., Tepikin S.V., Nagimov Z.Ya. The course of growth of aboveground phytomass of pine forests and spruce forests of the Middle Urals. *Lesy Urala i khozyajstvo v nih*, 1994, iss. 17, pp. 155–169. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Nagimov Z.Ya., Demytyev V.V., Melnikova I.V. Methods and tables for estimating the aboveground phytomass of trees. *Lesy Urala i khozyajstvo v nih*, 1993, vol. 16, pp. 90–110. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Carbon sequestration by forests of the Ural region of Russia (on the base of Forest State Inventory data 2007). Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering University, 2018. 265 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Nagimov Z.Ya., Dementiev V.V., Sharafutdinov R.R. Distribution of the mass of branches by their thicknesses in the pine forests of the Middle Urals. *IVUZ. Lesnoy zhurnal*, 1991, no. 1, pp. 7–12. (In Russ.)

Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Sukhoi V.I. Influence of the age criterion of forest plantations on the accuracy of regional assessments of carbon stocks and deposition in forest phytomass. *Russian journal of Ecology*, 1999, no. 4, pp. 243–250. (In Russ.)

Varaksin G.S., Polyakov V.I., Luminarskaya M.A. Biologicheskaya produktivnost' sosny obyknovЕННОj v Srednej Sibiri. *Lesovedenie*, 2008, no. 3, pp. 14–19. (In Russ.)

Verkhunov P.M., Popova A.V., Chernykh V.L., Mamaev I.V. Lesotaksaci-onnyj spravochnik dlya lesov Urala. M.: CBNTI leskhoz, 1991, Ch. I. 239 p. (In Russ.)

Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Dynamics of carbon reserves and fluxes on Russian forest lands. *Russian Journal of Ecology*, 2005, vol. 36, no. 5, pp. 291–301. DOI:10.1007/s11184-005-0076-0

Материал поступил в редакцию 20.12.2023

Шевелина И.В., Нагимов З.Я., Сальникова И.С., Нагимов В.З. Оценка запасов надземной фитомассы и углерод депонирующей способности сосновых древостоев в городских лесах г. Екатеринбурга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 229–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.229-243

В ходе проведенных исследований модернизированы поведельные лесотаксационные базы данных всех категорий лесных насаждений муниципального образования «город Екатеринбург» – городских лесов федерального, областного (лесопарков) и городского подчинения. База включает в общей сложности 22098 выделов, в том числе 9245 выделов, в составе насаждений которых в том или ином объеме присутствует сосна. Для всех этих выделов на основе многофакторных математических моделей рассчитаны запасы надземной фитомассы сосновых древостоев по фракциям «ствол», «крона» и «хвоя». В качестве независимых переменных в моделях фитомассы стволов использованы показатель качества условий произрастания (средняя высота в 100-летнем возрасте), возраст и запас древостоев, а в моделях фитомассы крон – первые два фактора и средняя площадь питания деревьев (густота древостоев). Установлено, что общий запас надземной фитомассы сосновых древостоев на территории муниципального образования «город Екатеринбург» в абсолютно сухом состоянии составляет 4426,1 тыс. т. В среднем фитомасса соснового древостоя на 1 га городских лесов муниципального подчинения оказалась

равной 114,7 т/га, областного – 117,2 т/га, федерального – 123,4 т/га. Эти незначительные различия обусловлены особенностями таксационной структуры древостоев городских лесов разного подчинения. Выявлено, что общий объем депонированного углерода в надземной фитомассе сосновых древостоев муниципального образования составляет 2114,2 тыс. т. В этом объеме 1739,5 тыс. т (82,3%) углерода аккумулировано в стволовой части древостоев, 374,7 тыс. т (17,7%) – в кроновой. В среднем на 1 га исследуемых насаждений запас углерода в надземной фитомассе соснового элемента леса составляет 57,9 т/га. Минимальное значение этого показателя (54,8 т/га) характерно для городских лесов областного подчинения, а максимальное (58,9 т/га) – городских лесов федерального подчинения.

Ключевые слова: городские леса, сосновые древостои, надземная фитомасса, депонирование углерода, многофакторные уравнения.

Shevelina I.V., Nagimov Z.Ya., Salnikova I.S., Nagimov V.Z. Assessment of reserves of aboveground phytomass and carbon depositing capacity of pine stands in urban forests of Yekaterinburg. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 252, pp. 229–243 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.229-243

In the course of the conducted studies, the forest databases at stand level for all categories of forest stands of the city of Yekaterinburg, namely, the federal, regional and municipal subdivision were modernized. The database includes a total of 22,098 forest units, including 9,245 forest units with some proportion of pine in their stands. The aboveground phytomass stocks of pine stands by the following fractions: tree stems, crowns and needles were calculated for all these forest stands on the basis of multifactor mathematical models. The tree stem models used the quality of growing conditions (mean height at 100 years), age and stock of tree stands as independent variables; and the crown tree models use the first two factors and mean area of tree feeding (density of tree). It was established that the total stock of aboveground phytomass of pine stands in absolutely dry condition on the territory of the municipal formation ‘Yekaterinburg city’ is 4,426.1 thousand tons. The pine stand phytomass per hectare in municipal urban forests averaged 114.7 t/ha, compared to 117.2 t/ha in regional subordinated forests and 123.4 t/ha in federal subordinated forests. These insignificant differences are explained by the peculiarities of the taxation structure of stands in urban forests under different subordinations. It is revealed that the total amount of carbon deposited in the aboveground phytomass of pine stands in the municipality is 2,114.2 thousand tons. 1,739.5 thousand tons of carbon (82.3% of the total) were accumulated in tree stems and 374.7 thousand tones (17.7%) in crowns. The mean carbon stock in aboveground phytomass of pine elements of stands per hectare is 57.9 t/ha. The minimum value of this indicator (54.8 t/ha) is typical for urban forests of regional subordination, and the maximum (58.9 t/ha) is for urban forests of federal subordination.

Keywords: urban forests, pine stands, aboveground phytomass, carbon deposition, multifactorial equations.

ШЕВЕЛИНА Ирина Владимировна – заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Уральского государственного лесотехнического университета, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 4131-5616. ORCID: 0000-0001-8352-558X.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: shevelinaiv@m.usfeu.ru.

SHEVELINA Irina V. – PhD (Agriculture), Head of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forestry Engineering University, Associate Professor. SPIN-code: 4131-5616. ORCID: 0000-0001-8352-558X.

620100. Sibirskiy trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: shevelinaiv@m.usfeu.ru.

НАГИМОВ Зуфар Ягфарович – директор Института леса и природопользования, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральского государственного лесотехнического университета, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 6427-3102. ORCID: 000-0002-6853-2375.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: nagimovzy@m.usfeu.ru.

NAGIMOV Zufar Ya. – DSc (Agriculture), Director of the Institute of Forest and Nature Management, Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forestry Engineering University. SPIN-code: 6427-3102. ORCID: 000-0002-6853-2375.

620100. Sibirskiy trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: nagimovzy@m.usfeu.ru.

САЛЬНИКОВА Ирина Сергеевна – доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральского государственного лесотехнического университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 7287-4298. ORCID: 0000-0002-6236-1536.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: salnikovais@m.usfeu.ru.

SALNIKOVA Irina S. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forestry Engineering University. SPIN-code: 7287-4298. ORCID: 0000-0002-6236-1536.

620100. Sibirskiy trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: salnikovais@m.usfeu.ru.

НАГИМОВ Валерий Зуфарович – доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральского государственного лесотехнического университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 6667-6570. ORCID: 0000-0002-0586-3919.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: nagimov-v@mail.ru.

NAGIMOV Valeriy Z. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forestry Engineering University. SPIN-code: 6667-6570. ORCID: 0000-0002-0586-3919.

620100. Sibirskiy trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: nagimov-v@mail.ru.