

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 4. С. 47–54.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 4. P. 47–54.

Научная статья

УДК 574.3

DOI: 10.51318/FRET.2023.87.4.004

ОЦЕНКА ФИТОМАССЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОПАРКОВ ЕКАТЕРИНБУРГА)

Зуфар Ягфарович Нагимов¹, Александр Владимирович Суслов²,
Юлия Сергеевна Коломенцева³

^{1,2,3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ nagimovzy@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6853-2375>

² suslovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2640-7274>

³ colomentsewa2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0845-3579>

Аннотация. Целью работы явилась оценка надземной фитомассы сосновых древостоев и ее изменчивости в лесопарках Екатеринбурга на основе данных постоянных пробных площадей (ППП), заложенных по методике Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), и многофакторных уравнений фракций фитомассы, разработанных на кафедре лесной таксации и лесоустройства УГЛТУ. Установлено, что в исследуемых лесопарках по Единой схеме стратификации лесов Российской Федерации выделяются 29 лесных страт, наиболее крупной (3995,7 га) из которых является десятая, объединяющая светлохвойные спелые и перестойные высокопроизводительные насаждения и занимающая 3995,7 га. В данной страте фитомасса стволов варьирует в пределах от 106,8 до 381,1 т/га, а крон – от 29,7 до 75,4 т/га. Коэффициент вариации первого показателя составляет 29,2 %, а второго несколько выше – 33,9 %. При прочих равных условиях запасы фитомассы стволов и крон закономерно повышаются с улучшением лесорастительных условий и увеличением возраста насаждений. С повышением полноты фитомасса стволов монотонно увеличивается, а фитомасса крон достигает максимума при значении 0,7, а затем снижается. Процентное содержание массы крон в общей надземной фитомассе увеличивается с уменьшением возраста и полноты насаждений и ухудшением условий их местопроизрастания. В целом абсолютные значения фитомассы стволов и крон, а также показатели участия фитомассы крон в общей надземной фитомассе древостоев, полученные на ППП ГИЛ, изменяются в диапазонах, характерных для сосняков Среднего Урала с соответствующими значениями возраста, класса бонитета и полноты. Это свидетельствует о возможности корректной оценки фитомассы древостоев на основе данных ГИЛ.

Ключевые слова: государственная инвентаризация лесов, лесные страты, пробные площади, фитомасса стволов и крон

Для цитирования: Нагимов З. Я., Суслов А. В., Коломенцева Ю. С. Оценка фитомассы сосновых древостоев на пробных площадях государственной инвентаризации лесов (на примере лесопарков Екатеринбурга) // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 4 (87). С. 47–54.

Scientific article

ASSESSMENT OF THE PHYTOMASS OF PINE STANDS ON TRIAL AREAS OF THE STATE FOREST INVENTORY (ON THE EXAMPLE OF FOREST PARKS IN YEKATERINBURG)

Zufar Y. Nagimov¹, Alexander V. Suslov², Yulia S. Kolomentseva³

^{1,2,3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ nagimovzy@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6853-2375>

² suslovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2640-7274>

³ colomentsewa2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0845-3579>

Abstract. The aim of the work was to assess the aboveground phytomass of pine forests and its variability in the forest parks of Yekaterinburg on the basis of the data of permanent test areas (DPA) laid down according to the methodology of the State Forest Inventory (SFI), and multifactorial equations of phytomass fractions developed at the Department of Forest Taxation and Forest Management of USFEU. It is established that in the studied forest parks, according to the Unified Scheme of stratification of forests of the Russian Federation, 29 forest strata are distinguished, the largest (3995,7 ha) of which is the tenth, combining light-coniferous ripe and over-ripe high-productive plantations and occupying 3995,7 ha. In this country, the phytomass of trunks varies from 106,8 to 381,1 t/ha, and crowns – from 29,7 to 75,4 t/ha. The coefficient of variation of the first indicator is 29,2 %, and the second is slightly higher – 33,9 %. Under other equal conditions, the stocks of phytomass of trunks and crowns naturally increase with the improvement of forest growing conditions and an increase in the age of plantings. With increasing completeness, the phytomass of trunks increases monotonously, and the phytomass of crowns reaches a maximum at a value of 0,7 and then decreases. The percentage of crown mass in the total supervising phytomass increases with a decrease in the age and completeness of plants and deterioration of their growing conditions. In general, the absolute values of the phytomass of trunks and crowns, as well as the indicators of the participation of crown phytomass in the total aboveground phytomass of stands obtained at the SFIDPA, vary in the ranges characteristic of pine forests of the Middle Urals with the corresponding values of age, class of boniteness and completeness. This indicates the possibility of a correct assessment of the phyto-mass of stands based on GIL data.

Keywords: state forest inventory, forest strata, trial areas, phytomass of trunks and crowns

For citation: Nagimov Z. Y., Suslov A. V., Kolomentseva Y. S. Assessment of the phytomass of pine stands on trial areas of the state forest inventory (on the example of forest parks in Yekaterinburg) // Forests of Russia and agriculture in them. 2023. № 4 (87). P. 47–54.

Введение

В крупных городах с высокой концентрацией населения, промышленных объектов и транспорта роль городских лесов, выполняющих санитарно-гигиенические, экологические и социальные функции, трудно переоценить. В пределах муниципального образования «город Екатеринбург» важнейшей составляющей городских лесов являются лесопарки, общая площадь которых составляет 12 094,8 га. Полезные функции лесопарковых

насаждений определяются их количественными и качественными показателями и в первую очередь надземной фитомассой древостоев. В лесопарках, находящихся под постоянным антропогенным прессом, необходимой задачей является организация постоянного мониторинга за лесными насаждениями. Эффективность ведения лесопаркового хозяйства в значительной степени зависит от актуальной информации о состоянии, таксационной структуре и фитомассе произрастающих

на территории лесопарков насаждений. Такую информацию можно получить созданием регулярной сети постоянных пробных площадей (ППП). Их закладка может быть корректно выполнена на основе методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). В настоящее время ГИЛ в нашей стране осуществляется в основном на землях лесного фонда. Перспективность применения математико-статистических методов при организации мониторинга за лесными насаждениями в лесопарках, а также возможность оценки фитомассы на основе ППП, заложенных по методике ГИЛ, требует специальных исследований. Региональные оценки фитомассы насаждений в настоящее время представляют значительный интерес при решении проблем, связанных с техногенными загрязнениями, потеплением климата, сохранением биологического разнообразия и др. (Курбанов, 2002; Усольцев, 2002; Щепашенко, 2005; и др.).

Цель, задача, методика и объекты исследования

Основная цель работы – оценка надземной фитомассы сосновых древостоев и ее изменчивости в лесопарках Екатеринбурга на основе данных ППП, заложенных по методике ГИЛ, и многофакторных уравнений фракций фитомассы, разработанных на кафедре лесной таксации и лесоустройства УГЛТУ.

Для достижения этой цели решались следующие задачи.

1. Разделение (стратификация) лесного фонда лесопарков Екатеринбурга на однородные группы (страты) в соответствии с Единой схемой стратификации лесов Российской Федерации.

2. Выявление наиболее крупной страты и определение для нее по методике ГИЛ необходимого количества ППП для организации в них оценочных и мониторинговых исследований.

3. Закладка ППП с проведением соответствующих исследований, предусмотренных методическими рекомендациями по проведению ГИЛ.

4. Определение надземной фитомассы древостоев на ППП с использованием многофакторных уравнений, разработанных на кафедре лесной таксации и лесоустройства УГЛТУ.

Объектами исследований являлись следующие лесопарки Екатеринбурга: Карасье-Озерский, Железнодорожный, Южный, Московский, Юго-Западный, Шувакишский, Нижнеисетский и Уктусский.

В основу исследований положены методические рекомендации по проведению ГИЛ, построенные на выборочном методе наблюдений в соответствии с законами теории вероятностей и математической статистики (Методические рекомендации..., 2013). В соответствии с этим документом проводились стратификация лесного фонда лесопарков, установление необходимого количества ППП и их закладка, определение на ППП таксационных показателей деревьев, древостоев и насаждений.

При оценке фитомассы древостоев использованы математические модели фракций надземной фитомассы деревьев, разработанные ранее на кафедре лесной таксации и лесоустройства УГЛТУ (Нагимов, 2000):

$$\ln P_c = 2,4470 + 1,8831 \ln D + 0,7397 \ln H, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,990, \delta = \pm 10,2 \%;$$

$$\ln P_k = 2,5272 + 2,4106 \ln D + 4,2237 \ln H - 0,624 \ln A - 0,7701 \ln H_{100} + 0,2778 \ln D \ln H, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,962, \delta = \pm 23,2 \%.$$

В уравнениях (1) и (2):

P_c – фитомасса ствола в коре в свежем состоянии, кг;

D – диаметр ствола на высоте груди, см;

H – высота дерева, м;

A – возраст дерева, лет;

H_{100} – средняя высота древостоя в возрасте 100 лет, м;

P_k – фитомасса кроны в свежем состоянии, кг;

R^2 – коэффициент детерминации;

δ – точность уравнения (среднеквадратическая ошибка отдельного измерения), %.

В уравнениях (1) и (2) первые независимые переменные (возраст, диаметр и высота) – это показатели, которые на ППП ГИЛ определяются у каждого дерева. Высота древостоя в 100-летнем возрасте устанавливалась на основе средней высоты таксируемого древостоя с использованием бонитировочной шкалы М. М. Орлова. Этот показатель позволяет наиболее корректно представлять классы

бонитета в уравнениях множественной регрессии (Усольцев, 1988; Нагимов, 2000; и др.).

При определении фитомассы древостоев с помощью уравнений (1) и (2) на ППП ГИЛ для каждого дерева сосны с использованием его соответствующих таксационных показателей (возраста, диаметра и высоты) и показателя H_{100} древостоя устанавливалась фитомасса стволов и крон. Общая фитомасса (отдельно стволов и крон) на ППП ГИЛ вычислялась суммированием фитомассы всех деревьев. Затем данные на ППП переводились на 1 га. В смешанных древостоях фитомасса общепринятым методом приводилась к составу 10С.

Экспериментальным материалом исследований послужили 25 ППП ГИЛ, заложенных в высокопроизводительных чистых по составу (или с небольшой примесью других пород) среднеполнотных (с полнотой 0,6–0,8) спелых и перестойных насаждениях сосны.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с Единой схемой стратификации лесов Российской Федерации лесные насаждения лесопарков корректно группируются в 29 лесных страт. Причем наибольшая площадь (3995,7 га)

приходится на 10-ю лесную страту, которая объединяет светлохвойные спелые и перестойные высокопроизводительные насаждения. В данной страте проводились наши исследования.

Размещение ППП в пределах страты в строгом соответствии с теорией вероятностей и методами вариационной статистики позволяет объективно оценить в данном объекте изменчивость и характер распределения таксационных показателей древостоев, в том числе фракций их надземной фитомассы. Такие сведения в специальной литературе отсутствуют. В то же время они необходимы для оценки однородности (или разнородности) исследуемых объектов, правильного обоснования объема выборки при исследовании фитомассы, обеспечивающего заданную точность определения ее запасов.

Известно, что основными статистиками, характеризующими степень однородности исследуемых совокупностей, являются: среднее значение таксационного показателя, стандартное отклонение, коэффициент вариации (изменчивости) признака, стандартная ошибка и точность опыта (Рокицкий, 1973). Основные статистические показатели распределения запасов фракции надземной фитомассы древостоев сосны в 10-й лесной страте лесопарков города представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Статистические показатели распределения запасов фракций надземной фитомассы
в 10-й лесной страте лесопарков
Statistical indicators of the distribution of stocks of fractions of aboveground phytomass
in the 10 forest stratum of forest parks

Фракции надземной фитомассы Fractions of aboveground phytomass	Статистические показатели Statistical indicators						
	Среднее значение, кг Average value, kg	Минимальное значение, кг Minimum value, kg	Максимальное значение, кг Maximum value, kg	Стандартное отклонение, кг Standard deviation, kg	Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %	Стандартная ошибка, кг Standard error, kg	Точность опыта, % Accuracy of experience, %
Фитомасса крон Phytomass of crowns	58814	29722	75400	19942	33,9	3988	6,8
Фитомасса стволов Phytomass of trunks	252877	106813	381113	73812	29,2	14762	5,8

Точность настоящих исследований отвечает самым строгим требованиям: она в отношении фитомассы стволов составляет $\pm 5,8\%$, а в отношении фитомассы крон $\pm 6,8\%$. Среднее значение запасов фитомассы стволов по данным 25 ПП – 252,9 т/га, а запасов фитомассы крон – 58,8 т/га. Достоверность средних запасов подтверждается на 5 %-ном уровне значимости ($t_{\text{факт}} > t_{0,05}$).

Как видно из данных табл. 1, исследуемая лесная страта характеризуется достаточно широкими диапазонами варьирования фитомассы стволов и крон: минимальное значение фитомассы стволов составляет 106,8 т/га, а максимальное 381,1 т/га; фитомасса крон имеет значения от 29,7 до 75,4 т/га. Такое варьирование запасов обусловлено различиями насаждений в пределах страты по классам бонитета, возрасту и полноте. Запасы фитомассы крон в лесной страте отличаются большей изменчивостью (коэффициент вариации составляет 33,9 %), чем запасы фитомассы стволов (коэффициент вариации 29,2 %). Это вполне объяснимо: на формирование массы крон деревьев оказывает влияние большее количество факторов, чем

на формирование массы стволов (Нагимов, 2000). Изменчивость запасов фитомассы стволов (29,2 %) значительно выше, чем запасов ствольной древесины в объемных единицах (19,9 %). На наш взгляд, это связано с варьированием влажности и плотности древесины. Поэтому при исследовании фитомассы стволов требования к объему выборки должны быть строже, чем при оценке запасов ствольной древесины в объемных единицах. В целом можно считать изменчивость и запасы фитомассы стволов и запасы фитомассы крон в пределах страты невысокой. Лесные массивы, в которых вариация запасов насаждений менее 35 %, рекомендуется относить к однородным (Grossmann, Wolff, 1963).

Усредненные с учетом классов бонитета, возраста и полноты насаждений данные запасов фитомассы стволов и крон представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что в насаждениях одного класса бонитета и одинаковой полноты запасы фитомассы и стволов и крон повышаются с увеличением возраста деревьев.

Таблица 2
Table 2

Запасы фитомассы стволов и крон в сосняках разного возраста при фиксированных значениях класса бонитета и полноты
Stocks of phytomass of trunks and crowns in pine forests of different ages at fixed values of the quality classes and completeness

Возраст Age	Фитомасса, т/га Phytomass, ton/hectare			Доля крон в общей фитомассе, % The share of crowns in the total phytomass, %
	стволов trunks	крон crowns	общая total	
Класс бонитета – 1, полнота – 0,6 Quality classes – 1, completeness – 0,6				
110–120	263,2	57,8	321,0	18,0
121–130	310,4	57,3	367,7	15,6
Класс бонитета – 2, полнота – 0,6 Quality classes – 2, completeness – 0,6				
100–110	216,6	51,9	294,1	18,3
111–120	334,8	62,3	344,6	16,1
Класс бонитета – 3, полнота – 0,7 Quality classes – 3, completeness – 0,7				
100–110	197,5	44,8	242,3	18,5
111–120	265,5	58,3	323,8	18,0

Доля фитомассы крон в общей надземной фитомассе с возрастом снижается. Данная закономерность объясняется тем, что в отличие от формирования фитомассы стволов, формирование фитомассы крон представляет собой куммулятивный процесс депонирования ограниченного вещества с частичным отпадом.

Фитомасса стволов при одинаковых значениях возраста и полноты древостоев устойчиво повышается с улучшением класса бонитета. Это объясняется тем, что в лучших условиях местопроизрастания при одинаковой полноте древостоев деревья характеризуются значительно большими размерами. При прочих равных условиях с повышением класса бонитета заметно увеличивается фитомасса крон. Это связано с тем, что чем богаче условия местопроизрастания древостоев, тем больше возможностей имеют они для увеличения темпов продуцирования, а следовательно, массы ассимиляционного аппарата и энергии побегообразования, т. е. кроны в целом. Лесорастительные условия оказывают влияние и на процентное соотношение фракций надземной фитомассы. С ухудшением их повышается доля крон и, соответственно, понижается доля стволовой древесины.

В одном классе бонитета при одинаковом возрасте фитомасса стволов в значительной степени определяется полнотой. Чем выше полнота, тем выше фитомасса стволовой древесины. Этот факт не требует особых пояснений. Фитомасса стволов в основном определяется их запасом, а запас является функцией полноты. В тесной зависимости от полноты древостоев протекает и формирование фитомассы крон. По нашим данным, в насаждениях одного класса бонитета при одинаковом возрасте абсолютные значения фитомассы крон максимального значения достигают при полноте 0,7. С увеличением (до 0,8) и уменьшением (до 0,6) полноты запас фитомассы крон снижается. Удельный вес фитомассы крон в общей надземной фитомассе закономерно увеличивается с понижением полноты насаждений. На наш взгляд, это объясняется разрастанием крон в насаждениях более низкой полноты. В настоящее время влияние полноты на накопление запасов фитомассы крон изучено крайне слабо. Имеющиеся работы

в основном фрагментарны. В настоящее время общепринятого представления по данной проблеме не существует (Нагимов, 2000).

Таким образом, запасы фитомассы стволов и общей надземной фитомассы сосновых древостоев при прочих равных условиях закономерно повышаются с улучшением лесорастительных условий, увеличением возраста и полноты насаждений. Запасы фитомассы крон с повышением класса бонитета и возраста насаждений также возрастают, а с повышением и понижением полноты относительно полноты 0,7 снижаются. Лесорастительные условия, возраст и полнота насаждений влияют не только на абсолютные значения надземной фитомассы и ее структурных частей, но и на соотношения последних между собой. Процентное содержание крон в общей надземной фитомассе увеличивается с уменьшением возраста и полноты насаждений и ухудшением условий их местопроизрастания.

Выводы

В лесопарках Екатеринбурга по Единой схеме стратификации лесов Российской Федерации выделяются 29 лесных страт, наиболее крупной из которых является десятая, объединяющая светлохвойные спелые и перестойные высокопроизводительные насаждения и занимающая 3995,7 га.

В данной страте фитомасса стволов варьирует в пределах от 106,8 до 381,1 т/га, а крон – от 29,7 до 75,4 т/га. Коэффициент вариации первого показателя составляет 29,2 %, а второго несколько выше – 33,9 %. В соответствии с классификацией Г. Гроссмана (Grossmann, Wolff, 1963) по величине варьирования фитомассы стволов и крон насаждения в пределах страты относятся к очень однородным.

Запасы фитомассы стволов и общей надземной фитомассы исследуемых сосновых древостоев при прочих равных условиях закономерно повышаются с улучшением лесорастительных условий, увеличением возраста и полноты насаждений. Масса крон максимального значения достигает при полноте 0,7. С увеличением (до 0,8) и уменьшением (до 0,6) полноты этот показатель снижается. Процентное содержание фитомассы крон в общей

надземной фитомассе увеличивается с уменьшением возраста и полноты насаждений и ухудшением условий их местопроизрастания.

В целом абсолютные значения фитомассы стволов и крон, а также показатели участия фитомассы крон в общей надземной фитомассе древостоев изменяются в диапазонах, характерных для сосняков Среднего Урала, с соответствующими значениями возраста, класса бонитета и пол-

ноты. Это свидетельствует о корректности данных по фитомассе стволов и крон, получаемых на ПП ГИЛ.

При исследовании фитомассы стволов требования к объему выборки должны быть строже, чем при оценке запасов стволовой древесины в объемных единицах. Последнее связано с более высокой изменчивостью массы стволов по сравнению с таковой их объемов.

Список источников

- Курбанов Э. А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. Йошкар-Ола : МарГТУ, 2002. 254 с.
- Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов (в ред. приказа Рослесхоза от 07.05.2013 г. № 135). URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.05.2023).
- Нагимов З. Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.03.03 / *Нагимов Зуфар Ягфарович*. Екатеринбург, 2000. 40 с.
- Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск : Вышэйш. шк., 1973. 320 с.
- Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск : Наука, 1988. 253 с.
- Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии. Нормативы и элементы географии. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. 763 с.
- Щепашченко Д. Г. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов северо-востока России. М., 2005. 47 с.
- Grossmann H., Wolff G. Versuche zur Rationalisierung der Methodik von Holzvarrotsinventuren auf mathematisch – statistischer // Arch. für Forstwesen. 12 h-1. 1963. P. 77–101.

References

- Grossmann H., Wolff G. Experiments for the rationalization of the methodology of wood varrots inventories on a mathematical – statistical basis // Arch. For forestry. 12 h-1. 1963. P. 77–101. (In Germ.)
- Kurbanov E. A. Carbon budget of pine ecosystems of the Volga-Vyatka district. Yoshkar-Ola : MarGTU, 2002. 254 p.
- Methodological recommendations for the state forest inventory (ed. Rosleskhoz Order № 135 dated 7.05.2013). URL: <http://docs.cntd.ru> (accessed: 01.05.2023).
- Nagimov Z. Ya. Regularities of growth and formation of aboveground phy-tomass of pine stands : abstract. dis. ... Doctor of Agricultural Sciences. Yekaterinburg : UGLTU, 2000. 40 p.
- Rokitsky P. F. Biological statistics. Minsk : Vysheysh. shk., 1973. 320 p.
- Shchepashchenko D. G. Biological productivity and carbon budget of larch forests of the North-East of Russia. M., 2005. 47 p.
- Usoltsev V. A. Growth and structure of phytomass of stands. Novosibirsk : Nauka (Science), 1988. 253 p.
- Usoltsev V. A. Phytomass of forests of Northern Eurasia. Standards and elements of geography. Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. 763 p.

Информация об авторах

*З. Я. Нагимов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института;
А. В. Суслов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Ю. С. Коломенцева – магистр.*

Information about the authors

*Z. Y. Nagimov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute;
A. V. Suslov – docent;
Y. S. Kolomentseva – magister.*

*Статья поступила в редакцию 15.05.2023; принята к публикации 15.07.2023.
The article was submitted 15.05.2023; accepted for publication 15.07.2023.*
