КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 630*52

НАДЗЕМНАЯ БИОМАССА ВЕРХОВЫХ, ПЕРЕХОДНЫХ И НИЗИННЫХ БОЛОТ УРАЛА

И. В. Петрова[1], В. А. Усольцев[2], Н. И. Плюха[1, 2], А. Д. Демин[1], В. А. Лебедев[1]

[1] *Ботанический сад УрО РАН*
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

[2] *Уральский государственный лесотехнический университет*
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

E-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru, Usoltsev50@mail.ru, nikcskript@mail.ru, andru1229@mail.ru, lebedev.uro.ran@gmail.com

Поступила в редакцию 11.03.2026 г.
Принята к публикации 27.03.2026 г.

Торфяные болота занимают около 3–4 % площади суши Земли, они играют существенную роль в формировании климата, регулировании речного стока, в газовом обмене с атмосферой, а также вносят значимый вклад в глобальный круговорот углерода. Изучение накопления углерода в биомассе различных ярусов лесоболотных систем – приоритетное направление. Хотя оценке биологической продуктивности лесоболотных систем уделено достаточно большое внимание, с получением объективной информации о круговороте органического углерода в болотах имеются существенные проблемы. В частности, для лесоболотных систем Урала отсутствуют данные о биомассе основного и нижнего ярусов. В данном исследовании впервые для Урала в градиенте расстояний 450, 200, 110 и 70 м от оз. Исеть (56.95° с. ш., 60.39° в. д.) заложены четыре пробные площади, на которых определены таксационные показатели древостоев и структура надземной биомассы всех функциональных групп растений. Высота пробных площадей над уровнем моря составила 250–253 м, а уровень грунтовых вод варьировал от 0 до 5 см от поверхности. Средний возраст древостоев в названном градиенте снижался с 163 до 37 лет, средняя высота древостоев – с 5.5 до 2.2 м, запас – с 127 до 13 м^3/га. Установлено, что в названном градиенте биомасса древесного яруса снижается с 77 до 8 т/га, а биомасса нижнего яруса увеличивается с 1 до 4 т/га. Сопоставление полученных показателей структуры биомассы древесного и нижнего ярусов с данными других регионов показало, что выявленные результаты имеют региональную специфику.

Ключевые слова: *лесоболотные системы, функциональные группы растений, биомасса основного и нижнего яруса, градиент расстояний до водоема.*

DOI: 10.15372/SJFS20260308

ВВЕДЕНИЕ

Торфяные болота занимают около 500 млн га, или около 3–4 % площади суши Земли (Garisoain et al., 2023), они играют существенную роль в формировании климата, регулировании речного стока, газовом обмене с атмосферой, а также вносят значимый вклад в глобальный круговорот углерода (Коронатова, Косых, 2022). Изучение накопления углерода в биомассе различных ярусов лесоболотных систем является приоритетным аспектом (Coracero, Malabrigo, 2020). Хотя оценке биологической продуктивности лесоболотных систем уделено достаточно большое внимание (Валуцкий, Храмов, 1976; Пьявченко, 1985; Валетов и др., 1985; Ефремов и др., 2005; Бобкова, 2007; Косых и др., 2008; Mohd et al., 2019; Peregon et al., 2024), с получением объек-

© Петрова И. В., Усольцев В. А., Плюха Н. И., Демин А. Д., Лебедев В. А., 2026

тивной информации о круговороте органического углерода в болотах имеются существенные проблемы (Ваганов и др., 2005). В частности, для лесоболотных систем Урала отсутствуют данные о биомассе основного и нижнего ярусов. Единственные опубликованные данные о биомассе осушенных болот на Среднем Урале (Shobairi et al., 2025) нельзя считать корректными, поскольку надземная и подземная биомасса древесного яруса болот их авторами определена по аллометрическим моделям (Усольцев и др., 2022), полученным для деревьев, произрастающих на суходолах. Некорректность упомянутых данных обусловлена тем, что морфоструктура деревьев и соответствующая структура их биомассы на болоте и суходоле существенно различаются (Усольцев, 2007).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изученные лесоболотные экосистемы расположены в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала, в подзоне южной тайги, в условиях умеренно холодного и субгумидного климата (Колесников и др., 1973). Пробные площади заложены согласно ОСТ 56-69-83 (1983) в верховом, переходном и низинном болотах (56.95° с. ш., 60.39° в. д.) вблизи оз. Исеть, на расстоянии 450, 200, 110 и 70 м до кромки берега. Высоты составляют 250–253 м над ур. м., а уровень грунтовых вод варьирует от 0 до 5 см от поверхности. Таксационная характеристика древостоев лесоболотных экосистем представлена в табл. 1. Различия в таксационных характеристиках отражают влияние возраста на формирование древостоев. Возраст сосны (*Pinus* L.) на пробной площади И1 варьирует от 75 до 230 лет, на пробной площади И2 – от 40 до 155 лет и березы (*Betula* L.) – от 30 до 130 лет, а на пробных площадях И3 и И4 он изменяется соответственно от 40 до 70 и от 20 до 50 лет. Таким образом, по возрастной структуре древостои пробных площадей относятся к абсолютно разновозрастным.

На пробных площадях выполняли сплошной перечет деревьев по ступеням толщины и при помощи высотомера измеряли высоты и диаметры ствола на высоте груди у 15–20 растущих деревьев. По этим данным строили графики высот деревьев в зависимости от их диаметров, которые использовались для определения средней высоты древостоя. Для определения биомассы деревьев и древостоев взяты модельные деревья. На каждой пробной площади отбирали шесть модельных деревьев древесного яруса, равномерно распределенных по всему диапазону размеров, от минимального до максимального. Данное количество соответствует оптимальному соотношению точности и трудозатрат при оценке биомассы древесных растений (Усольцев, 2007). После валки модельных деревьев измеряли длину ствола и разделяли на 10 равных секций, на границах которых выпиливали диски. У каждого диска определяли диаметр в коре и без коры, толщину, взвешивали массу древесины и коры с точностью 50 г. После высушивания рассчитывали содержание сухого вещества и базисную плотность древесины и коры, на основании которых определяли сухую биомассу отдельных участков ствола и ствола в целом. Регрессионным методом рассчитана надземная биомасса древостоев на 1 га.

Биомассу кроны определяли методом отбора образцов. У крупных деревьев крону разделяли на 2–3 равные секции с отбором образцов хвои (листвы) и ветвей из каждой секции. У мелких деревьев отбирали одну навеску из средней час-

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев лесоболотных экосистем в градиенте расстояний от оз. Исеть

Номер пробной площади	Расстояние от кромки воды, м	Состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, экз./га	Площадь сечений, м²/га	Запас, м³/га
И1	450	10С	163 ± 41	Vб	5.5	11.5	2292	23.7	127.0
И2	200	7С3Б	92 ± 33 (С)	Va	7.2 (С)	12.8 (С)	1698 (С)	21.8 (С)	125.6 (С)
			71 ± 28 (Б)	Va	6.2 (Б)	8.05 (Б)	1585 (Б)	8.1 (Б)	46.8 (Б)
Итого ...			82 ± 32	Va	6.7	10.4	3283	29.9	172.4
И3	110	10Б	43 ± 4	Va	2.5	4.7	2907	5.1	22.5
И4	70	10Б	37 ± 3	Va	2.2	2.9	5400	3.6	13.3

Примечание. С – сосна; Б – береза.

ти кроны. После взвешивания каждой секции кроны с точностью до 50 г их делили на охвоенные и неохвоенные ветви. Масса неохвоенных и охвоенных ветвей взвешивалась с точностью до 50 г. Затем из охвоенной части каждой секции отбиралась навеска (около 0.5 кг) для установления соотношения хвои и скелетных частей. С этой целью хвоя в навеске отделялась от ветвей и отдельно взвешивалась масса обоих компонентов с точностью до 1 г. По установленным соотношениям определяли биомассу хвои (листвы) и древесных частей для каждой секции, а затем – для всей кроны. Для определения содержания сухого вещества в массе хвои (листвы) и ветвей из каждой части кроны брали их образцы и взвешивали с точностью до 0.01 г. По полученным значениям рассчитывали абсолютно сухую массу хвои (листвы) и ветвей дерева. После высушивания рассчитывали абсолютно сухую массу фракций кроны. Регрессионным методом определена биомасса крон на 1 га. Образцы ствола и кроны сушили до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

Показатели биомассы подроста и подлеска определены с использованием методики БИН РАН (Методы…, 2002). На каждой пробной площади методом случайной выборки заложены 5 мини-площадок размером 1 × 1 м. Выделены подрост (по хвойным и лиственным видам отдельно) и кустарники. У растений каждого вида измеряли высоту и диаметр у основания ствола, взвешивали все растение, затем отделили листву (хвою), взвешивали повторно и сушили в сушильном шкафу. Полученные значения фракционного состава модельных растений каждого вида соотносили с их суммой площадей сечений и затем по общей сумме площадей сечений, полученной пересчетом на каждой из пяти мини-площадок, находили значение биомассы скелетной части и хвои (листвы) и переводили ее на 1 га. Биомассу живого напочвенного покрова определяли сплошным укосом на площадках размером 1 × 1 м по 5 шт. на каждой пробной площади с последующей сушкой до абсолютно сухого состояния и расчетом ее на 1 га. На каждой площадке определен видовой состав подроста, подлеска и живого напочвенного покрова.

Возраст деревьев определяли по методу Г. Е. Комина (1964). После извлечения пня выпиливали продольную пластину через его центральную часть, и из пластины выпиливали поперечный брусок с расположением точки гипокотиля в его центральной части. Возраст дерева устанавливали на полуавтоматической установке Lintab5 путем подсчета годичных колец от точки гипокотиля.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты сведены в табл. 2. Установлено, что в градиенте расстояний от озера в диапазоне от 450 до 70 м надземная биомасса древесного яруса снижается в 10 раз, а общая с учетом нижнего яруса – с 78 до 12 т/га, тогда

Таблица 2. Надземная биомасса функциональных групп растений на пробных площадях в градиенте расстояний от оз. Исеть

Компоненты	Надземная биомасса функциональных групп на пробных площадях И1-И4, т/га			
	И1	И2*	И3	И4
Древостой				
Ствол в коре	53.16	78.19/22.63	11.97	6.28
В том числе кора ствола	4.88	10.24/4.52	2.65	1.90
Ветви	16.39	11.07/3.10	1.57	0.79
Хвоя (листва)	7.41	6.25/1.79	1.20	0.67
Итого по древостою	76.96	*95.51/27.52*	*14.74*	*7.74*
Нижний ярус				
Подлесок	0.635	0.036	0.625	0.633
В том числе листва (хвоя)	0.191	0.013	0.127	0.104
Травы	0.042	4.670	1.630	1.290
Мхи	0.254	0.050	1.370	2.351
Итого по нижнему ярусу	*0.931*	*4.756*	*3.625*	*4.274*
Всего ...	*77.891*	*100.266*	18.365	12.014

* Первая цифра означает всего по древостою, вторая – в том числе по березе.

как биомасса нижнего яруса в том же градиенте увеличивается с 0.9 до 4.3 т/га, с некоторым отклонением на пробной площади И2 (табл. 2). Упомянутое снижение биомассы древостоев может быть обусловлено как изменением почвенно-гидрологических условий, так и возрастом, среднее значение которого в названном градиенте снижается со 163 до 37 лет. Таким образом, по мере снижения биомассы древостоев на пробных площадях у нижнего яруса появляется больше возможности наращивать свою биомассу.

Можно отметить, что биомасса сосны на пробных площадях И1 и И2 различается, но незначительно (соответственно 77 и 68 т/га), и за счет березы с ее биомассой около 27 т/га общая биомасса на пробной площади И2 составила около 95 т/га. По причине разреженного полога лесоболотной экосистемы сосна и береза на пробной площади И2 заняли свои световые ниши, и общая продуктивность древостоя повысилась по отношению к чистому сосняку согласно «взаимно-благоприятствующим» взаимодействиям видов (Kelty, Cameron, 1995).

Полученные показатели биомассы лесоболотных систем Урала имеют региональную специфику. Так, в Березинском заповеднике в сфагновых сосняках Vб класса бонитета в возрасте 60 и 150 лет запас древостоя составил соответственно 10 и 83 м^3/га, а надземная биомасса древостоя – 3 и 58 т/га. При этом биомасса нижнего яруса с возрастом увеличивается и составляет соответственно 6 и 10 т/га (Валетов и др., 1985). В Республике Коми в осоково-сфагновом разновозрастном ельнике (90–320 лет) Va класса бонитета с примесью березы (7Е3Б) запас древостоя составил 109 м^3/га, а надземная биомасса древостоя и нижнего яруса определена на уровнях соответственно 68 и 12 т/га (Бобкова, 2007). Согласно обобщенным данным Н. И. Пьявченко (1985) для Европейской части России в болотах от низинного до верхового типов запасы биомассы древесного яруса в возрасте спелости варьируют в диапазоне от 45 до 167 т/га, а нижнего яруса (травы и мхи) – от 8 до 16 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые для Среднего Урала в градиенте расстояний 450, 200, 110 и 70 м от озера Исеть были заложены четыре пробные площади (56.95° с. ш., 60.39° в. д.), на которых определены таксационные показатели древостоев и структура надземной биомассы всех функциональных групп растений. Высота над уровнем моря составила 250–253 м, а уровень грунтовых вод варьировал от 0 до 5 см от поверхности. Установлено, что в названном градиенте биомасса древесного яруса снижается с 77 до 8 т/га, а биомасса нижнего яруса увеличивается с 1 до 4 т/га. Сопоставление полученных результатов с данными других регионов показало, что предложенные показатели структуры биомассы древесного и нижнего ярусов имеют региональную специфику.

Исследование выполнено по государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бобкова К. С. Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в заболоченных коренных ельниках Севера // Лесоведение. 2007. № 6. С. 45–54.

Ваганов Е. А., Ведрова Э. Ф., Верховец С. В., Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Круглов В. Б., Онучин А. А., Сухинин А. И., Шибистова О. Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12. № 4. С. 631–649.

Валетов В. В., Кудин М. В., Смоляк Л. П. Структура первичной продукции болотных лесов. Минск: Ураджай, 1985. 164 с.

Валуцкий В. И., Храмов А. А. Структура и первичная продуктивность рямов Юго-Восточного Васюганья // Теория и практика лесного болотоведения и гидролесомелиорации. Красноярск: Ин-т леса и древ. им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1976. С. 59–81.

Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Блойтен В. Биологическая продуктивность и углеродный пул фитомассы лесных болот Западной Сибири // Сиб. экол. журн. 2005. № 1. С. 29–44.

Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: Урал. науч. центр АН СССР, 1973. 176 с.

Комин Г. Е. Методика определения возраста деревьев в заболоченных лесах // Зап. Свердлов. отд. Всесоюз. бот. об-ва. 1964. Вып. 3. С. 133–140.

Коронатова Н. Г., Косых Н. П. Продуктивность древесного яруса на верховых болотах в таежной зоне Западной Сибири // Лесоведение. 2022. № 4. С. 432–448.

Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П., Паршина Е. К. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // Вестн. Том. гос. пед. ун-та. 2008. Вып. 4 (78). С. 53–57.

Методы изучения лесных сообществ / Под ред. В. Т. Ярмишко и И. В. Лянгузовой). СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.

ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во стандартов, 1983. 60 с.

Пьявченко Н. И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М.: Наука, 1985. 152 с.

Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.

Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели биомассы деревьев лесообразующих пород Урала // Леса России и хоз-во в них. 2022. № 1. С. 4–14.

Coracero E. E., Malabrigo Jr. L. P. Carbon storage potential of the tree species along the ultramafic forest in Sitio Dicasalarin, Barangay Zabali, Baler, Aurora, Philippines // AIM Environ. Sci. 2020. V. 7. N. 6. P. 589–601.

Garisoain R., Delire C., Decharme B., Ferrant S., Granouillac F., Payre-Suc V., Gandois L. A study of dominant vegetation phenology in a *Sphagnum* mountain peatland using in situ and Sentinel-2 observations // J. Geophys. Res. Biogeosci. 2023. V. 128. Iss. 10. Article 7403.

Kelty M. J., Cameron I. R. Plot design for the analysis of species interactions in mixed stands // Commonw. For. Rev. 1995. V. 74. N. 4. P. 322–332.

Mohd A. M., Philip E., Shahrul A. B., Mohd H. H. Biomass and carbon stock assessment of peat swamp forest ecosystem; A case study in permanent forest reserve Pekan Pahang, Malaysia // Int. Res. J. Eng. Technol. 2019. V. 6. N. 1. P. 21–31.

Peregon A. M., Kosykh N. P., Mironycheva-Tokareva N. P., Vishnyakova E. K., Koronatova N. G., Stepanova V. A., Kurbatskaya S. S. Production and destruction of plant organic matter in bog ecosystems in the south of western Siberia // Ecol. Divers. 2024. V. 1. Iss. 1. Article 10004. 15 p.

Shobairi S. O. R., Kochubei A., Cherepanova O., Tsepordey I., Napalkova V., Sharova E., Beirami B. A. The state of drained peatlands in the Middle Urals and prospects of their use for carbon farming // Comp. Ecol. Softw. 2025. V. 15. N. 2. P. 45–56.

ABOVEGROUND BIOMASS OF UPLAND, TRANSITIONAL, AND LOWLAND BOGS OF THE URALS

I. V. Petrova[1], V. A. Usoltsev[2], N. I. Plyukha[1, 2], A. D. Demin[1], V. A. Lebedev[1]

[1] *Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch*
8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation

[2] *Ural State Forest Engineering University*
Sibirskii trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

E-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru, Usoltsev50@mail.ru, nikcskript@mail.ru, andru1229@mail.ru, lebedev.uro.ran@gmail.com

Peat bogs occupy about 3–4 % of the Earth's land area, they play a significant role in climate formation, river flow regulation, gas exchange with the atmosphere, and also make a significant contribution to the global carbon cycle. Therefore, the study of carbon accumulation in the biomass of various tiers of swamp forest systems is a priority aspect. Although much attention has been paid to assessing the biological productivity of swamp forest systems, there are significant problems with obtaining objective information about the organic carbon cycle in swamps. In particular, there is no data on the biomass of the main and lower tiers for the swamp forest systems of the Urals. In this study, for the first time for the Middle Urals, four sample plots were established in the gradient of distances 450, 200, 110 and 70 m from the Lake Iset (56.95ºN, 60.39ºE), on which the survey indicators of stands and the structure of the aboveground biomass of all functional plant groups were determined. The heights of the sample plots above sea level were 250–253 m, and the groundwater level varied from 0 to 5 cm from the surface. The average age in this gradient decreased from 163 to 37 years, the average tree height from 5.5 to 2.2 m, and the stem volume from 127 to 13 m^3/ha. It was found that in this gradient, the biomass of the woody tier decreases from 77 to 8 t/ha, and the biomass of the lower tier increases from 1 to 4 t/ha. The comparison of the obtained results with data from other regions showed that the proposed indicators of the biomass structure of the woody and lower tiers have regional specifics.

Keywords: *swamp forest systems, functional groups of plants, biomass of the main and lower layers, gradient of distances to the reservoir*.

How to cite: *Petrova I. V., Usoltsev V. A., Plyukha N. I., Demin A. D., Lebedev V. A.* Aboveground biomass of upland, transitional, and lowland bogs of the Urals // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2026. N. 3. P. 96–100 (in Russian with English abstract and references).