DOI: 10.58168/GenDesCL2026_202-206
УДК 574*4; 470.324

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДЕКСА ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВОСТОЯ

EXPERIENCE AND PROSPECTS OF APPLICATION THE LEAF AREA INDEX (LAI) OF TREE CANOPY

Голядкина И.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Лесных А.В., аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Арефьева А.В., студентка 4 курса бакалавриата направления подготовки «Ландшафтная архитектура» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Golyadkina I.V., Cand. Sci (Agric)**,** Associate Professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Lesnykh A.V., Post graduate student of Landscape architecture and Soil science department Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia

Arefieva A.V., 4-th year bachelor's student of the Landscape Architecture program, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: важным фитометрическим показателем биопродуктивности растений, характеризующим облиственность, является индекс листовой поверхности (LAI). В данной работе представлены результаты двухлетних измерений LAI древостоя в условиях старовозрастных участков Воронежской нагорной дубравы (кварталы 35 и 47). Итоговое значение индекса листовой поверхности составило для судубравы 5,68, а для дубравы – 6,5.

Помимо широкого применения, которое индекс листовой поверхности, уже получил для естественных и нарушенных лесов, перспективным также является и применение его для оценки состояния зеленых насаждений в городских условиях.

Abstract: an important phytometric measure of plant bioproductivity that characterizes foliage is the leaf area index (LAI). This work presents the results of two-year LAI measurements of a tree in the conditions of old-growth Voronezh upland oak forest. The total leaf area index of oak forest with norway maple and small-leaved lime was 5,68 and for the oak forest was 6,5. In addition to the wide application that the leaf area index has already achieved for natural and disturbed forests, its usage to assess the condition of trees in urban greening is also promising.

Ключевые слова: фитометрия, индекс листовой поверхности (LAI), Воронежская нагорная дубрава, старовозрастные насаждения, пригородные леса

Keywords: phytometry, leaf area index (LAI), Voronezh upland oak forest, old-growth forest, suburban forests.

© Голядкина И. В., Лесных А. В., Арефьева А. В., 2026

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1025032000060-3-1.5.1 "Биогеохимические закономерности динамики пулов и потоков углерода в репрезентативных экосистемах Центральной лесостепи в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий" (FZUR-2026-0004).

Funding: the study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 1025032000060-3-1.5.1 "Biogeochemical patterns of carbon pool and flux dynamics in representative ecosystems of the Central Forest-Steppe under climate change and anthropogenic impacts" (FZUR-2026-0004).

Особое внимание при изучении биологической продуктивности растительных сообществ уделяется исследованию фотосинтезирующих фракций фитомассы – фракций, обеспечивающих накопление органического вещества, а, следовательно, и продуктивность той или иной растительной ассоциации. Важным фитометрическим показателем, характеризующим листовой полог, является индекс листовой поверхности или LAI (от англ. Leaf Area Index). Индекс листовой поверхности древостоя меняется в зависимости от преобладающей породы, среднего возраста, режима управления лесами и положения на рельефе; значение LAI для конкретного дерева зависит от размера листьев, их общего числа и архитектуры кроны [2].

Способ освоения воздушного пространства растениями древесного полога определяет не только общий внешний облик, но и свойства лесной экосистемы. Морфология побегов и расположенных на них фотосинтезирующих органов, прежде всего геометрия или архитектура сообщества, придает каждой экосистеме уникальность, определяет основные потоки преобразования энергии, поступления воды и питательных веществ. В связи с этим важнейшими признаками надземной структуры древостоя являются высота доминантов и индекс листовой поверхности. Поливариантность развития древостоя в различных местообитаниях обуславливает необходимость более детальных исследований, связанных с развитием крон и листовой массы.

В 2024-2025 гг мы определяли индекс листовой поверхности древостоя в условиях старовозрастных участков Воронежской нагорной дубравы (кварталы 35 и 47), тип лесорастительных условий C_2D и D_2. Сбор листвы выполняли в августе-сентябре с веток, срезанных из середины кроны. Листья с каждого дерева складывали отдельно и затем сканировали, учитывая только одностороннюю площадь. Сканирование производили с помощью портативного лазерного измерителя площади листа CI-202 Portable Laser Leaf Area Meter (рисунок 1). После сканирования листья высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °C. Для каждого дерева были получены отношения площади листвы к абсолютно сухой массе, на основе данного показателя был рассчитан индекс листовой поверхности для основных древесных пород и для насаждения, в целом.



Рисунок 1 – Сканирование площади листа

Рассчитанные нами в 2024-2025 годах, фитометрические характеристики листовой поверхности для основных пород – эдификаторов древостоев в условиях судубравы и свежей дубравы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика листовой поверхности древостоя Воронежской нагорной дубравы

Порода	Площадь 100 листьев, $см^2$	Масса сырая, г	Масса абсолютно-сухая, г	Индекс листовой поверхности, га $га^{-1}$	Удельная листовая поверхность, $см^2$ $г^{-1}$
3Д5Лп2КлО* (C_2D)					
Дуб	3744,69	65,72	32,86	1,27	114
Липа	2546,08	32,22	11,54	2,65	221
Клён	5239,38	38,54	16,78	1,76	312
3Д3КлО3Лп1Яс (D_2)					
Дуб	3328,67	50,94	23,62	1,5	141
Липа	4720,14	51,58	17,06	2,16	277
Клён	11290,11	92,8	34,32	2,84	329

*Примечание. Обозначение древесных пород: Д – дуб черешчатый; КлО – клен остролистный; Лп –липа мелколистная; Яс – ясень обыкновенный

По существующим опубликованным в литературе оценкам LAI древостоев, средний LAI для дуба составляет от 3,27 до 4,52, для липы от 3,78 до 4,13, для клена от 2,01 до 4,68 га $га^{-1}$ [4]. Обращают на себя внимание, более низкие значения индекса листовой поверхности для дуба черешчатого, полученного для Воронежской нагорной дубравы, что вполне закономерно, учитывая современную деградацию дубравы и снижение долевого участия дуба в древостое.

Итоговое значение для древостоя составило для судубравы 5,68, а для дубравы – 6,5. Полученные значения вполне согласуются с оценками индекса листовой поверхности для территории России по данным государственного лесного реестра, в которых показано, что несмотря на значительную пространственную гетерогенность LAI, среднее значение для лесов России находится в диапазоне 4-7 [1]. Иванов А.В. и соавторы (2020) для лесных насаждений Приморского края показали, что максимальные значения LAI характерны для коренных высокополнотных хвойно-широколиственных насаждений, не нарушенных антропогенной деятельностью и пожарами [2].

При определении индекса листовой поверхности необходимо учитывать его сезонные колебания, которые являются следствием прохождения различных фенологических фаз (начало облиствения, полное развертывание листьев, начало листопада, массовое осеннее окрашивание листьев, конец листопада). Начиная с апреля, постепенно начинает прорастать разнообразная растительность. К июлю в средней полосе России индекс листовой поверхности достигает максимального значения. В сентябре начинается листопад, растительный покров постепенно уменьшается, а индекс листовой поверхности – снижается.

Как правило, сезонные биологические явления приурочены к определенным среднемноголетним датам. Определенные сложности при планировании сроков измерений LAI, в настоящее время вызывают фенологические сдвиги, возникающие под влиянием долгосрочных изменений климата. Анализируя многолетние ряды фенологических данных для европейской территории России, Минин А.А. и др. (2024) показали, что живая природа реагирует на современное потепление. Наступают раньше весенние события, осенние – позже, на значительной площади возрастает продолжительность вегетационного периода [3]. По нашим наблюдения теплая и засушливая осень на территории Воронежской области в 2024 год привела к тому, что в ноябре поздние формы дуба черешчатого оставались все еще в частично облиственном состоянии.
Помимо широкого применения, которое индекс листовой поверхности уже получил для естественных и нарушенных лесов, перспективным также является и применение его для оценки состояния зеленых насаждений в городских условиях. Даже незначительные изменения в почвенно-растительном покрове города могут со временем привести к таким отрицательным последствиям, как фрагментация среды обитания, утрата биоразнообразия, нарушение водного баланса и некоторым другим изменениям окружающей среды [6].

Парки, являясь важнейшими зелеными зонами в современных городах, не только предоставляют жителям место для рекреации, но и играют ключевую роль в обеспечении таких важных экосистемных функций, как регулирование городского микроклимата, улучшение качества воздуха, повышении биоразнообразия и т. д. Информация о растительном покрове, предоставляемая вегетационными индексами, такими как, например, широко распространённый индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), не может напрямую отражать морфологические структурные характеристики древостоя, такие как высота, ярусность, форма листовой пластины, плотность кроны и т.д. Применение индексов листовой поверхности может отражать изменения высоты и плотности растительности, что имеет важное значение для более глубокого понимания экологических процессов в городских экосистемах [5].

Полученные в ходе настоящего исследования значения LAI для древостоев Воронежской нагорной дубравы планируется расширить и провести наземные маршрутные измерения LAI с использованием менее трудоёмкого косвенного метода на основе применения портативного анализатора листового индекса LAI-2200C, LI-COR.

Список литературы

1. Грабовский В. В., Зукерт Н. В., Корзухин М. Д. Оценка индекса листовой поверхности для территории России по данным Государственного лесного реестра. Лесоведение. 2015. № 4. С. 255-259.

2. Иванов А.В., Покаместова В.Ю., Касаткин А.С., [и др.] Индексы листовой поверхности древостоев в естественных и нарушенных лесах Приморского края. Экология. 2020. № 4. С. 243-250. DOI 10.31857/S0367059720040083.

3. Минин А.А., Буйволов Ю.А., Самохина О.Ф. [и др.] Фенологические тренды в природе России: насколько они следуют за изменениями климата? Фундаментальная и прикладная климатология. 2024. Т. 10, № 3. С. 378-398. DOI 10.21513/2410-8758-2024-3-378-398.

4. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование А.И. Уткин, Л.С. Ермолова, И.А. Уткина. Ин-т лесоведения РАН. М.: Наука, 2008. 292.с. ISBN 978-5-02-034140-1.

5. Li Y, Wang B, Zhao X, Zhang Y, Qiao L. Inversion and analysis of leaf area index (LAI) of urban park based on unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral remote sensing and random forest (RF). PLoS One. 2025 Mar 24; 20(3): e0320608. doi: 10.1371/journal.pone.0320608.

6. Zhang Y, Hou J, Han W, Dou P and Huang C (2024) Spatio-temporal analysis of LAI using multisource remote sensing data for source region of Yellow River Basin. Front. Environ. Sci. 12:1320881. doi: 10.3389/fenvs.2024.1320881.

References

1. Grabovskii V.I., Zukert N.V., Korzukhin M.D. Estimates of leaf-area index for the territory of russia using state forest inventory data. Contemporary Problems of Ecology. 2016. T. 9. № 7. P. 814-819.

2. Ivanov A.V., Pokamestova V.Y., Kasatkin A.S., Zamolodchikov D.G. Leaf area indices of forest stands in natural and disturbed forests of Primorsky krai (in Russian). Russian Journal of Ecology. 2020. T. 51. № 4. P. 299-305. DOI 10.31857/S0367059720040083.

3. Minin A.A., Buyvolov Yu.A.1,3, Samokhina [et.al.] Phenological trends in Russian nature: how much do they follow climate changes? (in Russian). Fundamental and applied climatology. 2024. T. 10, № 3. P. 378-398. DOI 10.21513/2410-8758-2024-3-378-398.

4. Ploshhad poverxnosti lesnyx rastenij: sushhnost, parametry, ispolzovanie (in Russian). A.I. Utkin, L.S. Ermolova, I.A. Utkina. In-t lesovedeniya RAN. M.: Nauka, 2008. 292 p. ISBN 978-5-02-034140-1.

5. Li Y, Wang B, Zhao X, Zhang Y, Qiao L. Inversion and analysis of leaf area index (LAI) of urban park based on unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral remote sensing and random forest (RF). PLoS One. 2025 Mar 24; 20(3): e0320608. doi: 10.1371/journal.pone.0320608.

6. Zhang Y, Hou J, Han W, Dou P and Huang C (2024) Spatio-temporal analysis of LAI using multisource remote sensing data for source region of Yellow River Basin. Front. Environ. Sci. 12:1320881. doi: 10.3389/fenvs.2024.1320881.