

## КОНВЕРСИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАСАЖДЕНИЙ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД РОССИИ\*

*Лесообразующие породы, насаждения, фитомасса, площадь поверхности листьев, конверсионные коэффициенты для фитомассы и площади листовой поверхности.*

Нормативы лесной таксации быв. СССР были традиционно ориентированы на лесной комплекс и сырьевые функции леса. Среди основных таксационных показателей насаждений (древостоев) поэтому доминируют линейные, объемные и числовые характеристики древостоев, реже – отношения некоторых из этих показателей [1]. Из площадных таксационных показателей важнейшим остается "сумма площадей поперечного сечения стволов" ( $\Sigma g, \text{м}^2 \cdot \text{га}^{-1}$ ). Но и этот показатель несложно преобразовать в линейный, если  $\Sigma g$  рассматривать как круг с диаметром  $d$ , м:  $\Sigma g = \pi d^2/4 = 0,785 d^2$ ,  $d = \sqrt{\Sigma g/0,785}$ . В таком круге, как бы образованном из кругов стволов на высоте 1,3 м от поверхности почвы, все живые деревья должны соприкасаться на той же высоте своими боковыми поверхностями, без образования каких-либо просветов.

При лесном дешифрировании аэрофотоснимков и аэротаксации основное внимание уделялось получению некоторых из таксационных показателей, обычно тех же, что и при наземной таксации [3].

Для лесной экологии и различных видов моделирования процессов, которые протекают в экологических и более крупных системах (типа атмосфера – растительность – почва и др.), имеющаяся лесотаксационная информация в нормативной (таблицы, уравнения, алгоритмы и т.д.) и иной формах, как правило, оказывается недостаточной. С другой стороны, нет смысла и повторять почти двухсотлетний путь и наработки, имеющиеся в лесной таксации и дендрометрии, чтобы получить экологически ориентированные нормативы. В этой ситуации наилучшим выходом было бы пополнение имеющейся нормативной базы новыми элементами при небольших трансформациях и дополнениях. Во всех случаях следует считаться как с временным фактором, так и с денежными затратами.

Решение одной из частных задач данного направления – цель настоящего сообщения, посвященного площади листовой поверхности.

### Предмет исследования

Площадь поверхности листьев – одна из важнейших характеристик структурной организации биологических систем разного ранга, вплоть до крупных территориальных объединений (экорегионы, биомы). Особое значение этого структурного показателя проявляется в наземных экосистемах, поскольку площади поверхности растений проявляют себя разносторонне: а) как зона раздела биотической сферы (живого вещества) с абиотической (физической) средой; б) как внутренняя поверхность полога леса, выступающего фильтром атмосферных осадков, эмиссий различной природы, лучистых и тепловых потоков и одновременно как живой щит, гасящий и ослабляющий потоки механической энергии ветра, шумов и др., в) как сфера жизни многих представителей микро- и мезофауны (из числа беспозвоночных), грибов и других микроорганизмов, обеспечивая сохранение биоразнообразия; г) как зона реализации у растений основных физиологических процессов (фотосинтез, дыхание, транспирация), механизмы которых и определяют звенья материальных превращений и потоков энергии; ряд других более узких и частных сторон, важных для функционирования биологических систем, но тематически далеких от обсуждаемых вопросов, опускаем.

Использование количественных показателей площади поверхности растений в лесоведении наиболее результативным оказалось в актинометрии, т.е. при изучении трансформации лучистых потоков, прежде всего фотосинтетически активной радиации (ФАР) в пологе леса, и в

\* Работа поддерживалась РФФИ (95–04–11023) и ГНТП России 18 (проект 4.3.1 "Лесные экосистемы").

экофизиологии. В последней учитывается площадь как отдельных листьев и растений, так и растительного покрова на площади участка [5]. В расчете на поверхность листьев рассчитывается не только интенсивность физиологических процессов [5], но и содержание основных элементов питания и прежде всего азота. Считается даже, что по сравнению с массой листьев в расчете на площадь поверхности листьев древесного полога получаются более корректные оценки, свидетельствующие об объективном увеличении годичной продукции при разных концентрациях  $\text{CO}_2$  в атмосфере [8]. Для сельскохозяйственных культур разработана теория продукционного процесса, синтезирующая представления и количественные выражения площади листовой поверхности, поглощения ФАР и фотосинтеза [7].

Для лесоведения наиболее важным является отношение площади поверхности листьев к площади участка, т.е. безразмерный показатель (хотя часто и выражаемый размерностью  $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$  или  $\text{га} \cdot \text{га}^{-1}$ ), который соответствует числу слоев листьев в пологе леса или травостое. Его называют "индексом листовой поверхности" и обычно выражают аббревиатурой LAI, от английского "leaf area index". LAI мог бы стать информативным и надежным таксационным показателем, особенно для понимания механизмов динамики насаждений.

Следует заметить, что термин "листовая поверхность" может применяться к разным видам измерения площади листьев. Поэтому различают: 1) общую листовую поверхность, т.е. площадь с обеих сторон листьев или всех граней игл хвойных; 2) ассимиляционную, если устьица располагаются не на всех, а на одной стороне листа или хвоинки; 3) проекционную, т.е. проекцию листа или хвоинки на горизонтальную поверхность. В зависимости от угла наклона листьев ассимиляционная площадь поверхности листьев будет меньше проекционной на величину тангенса угла наклона.

Использование в последнее время специалистами электронной техники для измерения площади поверхности пластинок листьев и хвои обусловило лидирующее положение проекционной листовой поверхности. На нее перерасчитываются показатели двух других видов поверхности измерения, в том числе и определения поверхности хвои по стереометрическим формулам.

Не вдаваясь в детали, укажем, что по предварительно выполненным Л.С. Ермоловой обмерам после увеличения в 40–60-кратных размерах поперечных сечений хвои разных пород и привлечения литературных данных получены следующие обобщенные коэффициенты для перевода проекционной поверхности хвои в общую. Расчет по отношению периметра поперечного сечения хвои к ширине или наибольшей диагонали для ромбовидных сечений: хвоя нескольких видов пихт 2,10–2,40 (в среднем 2,25), елей 2,40–2,85 (~2,45), лиственниц 2,20–2,40 (~2,3), сосен (двухвойных и трехвойных) 2,5–2,8 (~2,65), сосен пятихвойных (кедров) 3,0. По отношению периметра поперечного сечения хвои к ее морфологической ширине для елей был получен коэффициент 3,2–3,65 (в среднем ~3,45). Более высокие числовые значения этого отношения у ели по сравнению с предыдущим объясняются сильной морфологической изменчивостью у этой породы хвои светового и темного типа. Поэтому даже на одном и том же дереве форма поперечного сечения хвои может изменяться от правильного ромба до плоской пластинки.

Приводимые ниже количественные значения площади поверхности листьев касаются исключительно проекционной поверхности хвои и односторонней поверхности листьев.

### Методика

Главная задача исследования сводилась к получению сводного конверсионного показателя, интегрирующего в себе представления как о физическом состоянии листьев, так и запасах листьев в насаждениях основных для России лесобразующих пород, различающихся возрастом насаждений. При этом сохранялась принятая при государственных учетах лесов дифференциация по группам лесобразующих пород и по возрастным группам.

Физическое состояние листьев характеризовалось "удельной листовой поверхностью" или SLA (от английского "specific leaf area"), т.е. величиной площади поверхности для единицы массы листьев, с размерностью  $\text{см}^2 \cdot \text{г}^{-1}$  (для настоящей работы принята размерность  $\text{га} \cdot \text{т}^{-1}$ ). Экофизиологи растений, подробно изучавшие изменчивость различных характеристик листьев, признают среди них SLA одной из наиболее пластичных, удовлетворительно сопряженных с факторами внешней среды мест произрастания.

Отмечается изменчивость SLA в зависимости от положения листьев в пологе леса, в ярусе фитоценозов, физического возраста листа, сомкнутости древостоев и ряда других факторов. Размерные характеристики листьев (хвои) и видовая принадлежность древесных пород в

пределах родов сказываются на SLA обычно меньше, чем экологические условия. Амплитуда различий SLA удовлетворительно вписывается в общее вероятностное распределение признака.

Используя материалы собственных исследований и литературных источников, Л.С. Ермолова создала рабочую базу данных для SLA всех групп лесных растений, а также части культивируемых деревьев и кустарников, овощных культур. Статистические показатели SLA для лесообразующих пород России (древостоев, подроста, саженцев) анализируются в отдельной статье [2]. Здесь же приводятся среднестатистические SLA лишь тех лесообразующих пород, для которых имелись конверсионные коэффициенты перерасчетов фитомассы насаждений по значениям их древесных запасов. Конверсионные коэффициенты были получены раньше [6] по материалам специальной компьютерной базы данных по фитомассе и продуктивности лесов [4].

В работе [6] опубликованы в перерасчете на углерод конверсионные коэффициенты, которые для получения полной или общей фитомассы ( $K_{ph.t.}$ ) должны быть удвоены. Они представляют собой сумму отношений фитомассы отдельных фракций ( $tC \cdot ga^{-1}$ ) к запасу древостоев (в  $m^3 \cdot ga^{-1}$ ). Другими словами,  $K_{ph.t.} = K_{ph.st.} + K_{ph.b.} + K_{ph.l.} + K_{ph.r.} + K_{ph.u.l.}$ , где в правой части равенства помещены частные конверсионные коэффициенты соответственно для стволов, ветвей, листвы, корней и, наконец, для всех подчиненных ярусов (подроста, подлеска, напочвенного покрова) вместе. Под фитомассой в настоящей работе понимается масса только живых растений. Сухостойные деревья и даже отмершие ветви в кронах живых деревьев в состав фитомассы не включали.

Следовательно, если взять произведение  $K_{ph.l.}(t \cdot ga^{-1}) \times SLA(ga \cdot t^{-1})$ , то получаем конверсионный коэффициент интегрального содержания ( $K_{LAI}$ ). Но он будет характеризовать уже не степень пропорциональности между массой листвы и древесным запасом, а показывать, какая доля LAI должна соответствовать единице запаса ( $1 m^3$ ) для участка в 1 га. Умножением  $K_{LAI}$  на запас древостоя конкретной породы определенной возрастной группы сразу же получаем величину LAI для данного участка леса. В случае формирования древостоя несколькими породами расчеты ведутся по каждой из них, затем значения LAI суммируются.

## Результаты и обсуждение

Конечный результат представлен таблицей, в которую помимо SLA и  $K_{LAI}$  включены и величины конверсионных коэффициентов  $K_{ph.t.}$  (без фитомассы подчиненных ярусов) и  $K_{ph.l.}$  ( $t$  абсолютно сухого вещества  $\cdot m^{-3}$ ); первые из них не были опубликованы на русском языке, а вторые вообще не публиковались. Мы посчитали, что они могут иметь и самостоятельное значение. Из-за малочисленности исходного материала, для кедрового стланика принят общий для всех возрастных групп  $K_{ph.l.}$ , что дало неизменную для этой породы величину  $K_{LAI}$ .

Предлагаемые нормативы могут использоваться при решении самых разных задач, прежде всего – в научных исследованиях и проектных работах.

Во-первых, для экологического мониторинга при слежении за состоянием лесов и динамикой растительности дистанционными методами. При этом отграниченные для наблюдений площади в дополнение к таксационным описаниям можно будет охарактеризовать по LAI входящих в полигоны насаждений. То же касается и космической съемки в системе ANVI, в случае необходимости специальной инвентаризации лесонасаждений отдельных пикселей.

Во-вторых, для интерпретации оценок годичной продукции, рассчитываемой как по эффективности поглощения ФАР в насаждениях разных лесообразующих пород по физико-географическим зонам, так и по экспериментальным данным эколого-физиологических исследований в лесах. Для оценки задержания на поверхности древесных растений воды и поллютантов, поступающих с осадками из атмосферы.

В-третьих, что, пожалуй, представляется наиболее важным, для использования параметра LAI при моделировании наиболее значимых в лесных экосистемах процессов; например, трансформации ФАР пологом,  $CO_2$ -газообмена, определения потенциальной биологической продуктивности лесов, интенсивности самоизреживания древостоев и т.д.

Для проектно-исследовательских работ параметры LAI могут успешно использоваться на стадии предварительного математического моделирования при обосновании типов лесных культур по составу и густоте выращивания, а также сроков, повторностей и интенсивности рубок ухода, при обосновании представлений о параметрах, свойственных насаждениям

Средние значения удельной листовой поверхности ( $SLA$ ,  $га \cdot м^{-1}$ ) и конверсионных от запасов древостоев ( $м^{-3} \cdot га^{-1}$ ) коэффициентов: общей фитомассы ( $К_{ph.t.}$ ,  $т \cdot м^{-3}$ ), фитомассы листы ( $К_{ph.l.}$ ,  $т \cdot м^{-3}$ ) и индекса листовой поверхности ( $K_{LAI}$ ,  $га \cdot м^{-3}$ ) для насаждений разных возрастных групп основных лесобразующих пород

Порода	SLA, га · т <sup>-1</sup>	Молодняки			Средневозрастные			Приспевающие			Спелые и перестойные		
		K <sub>ph.l.</sub>	K <sub>ph.t.</sub>	K <sub>LAI</sub>	K <sub>ph.l.</sub>	K <sub>ph.t.</sub>	K <sub>LAI</sub>	K <sub>ph.l.</sub>	K <sub>ph.t.</sub>	K <sub>LAI</sub>	K <sub>ph.l.</sub>	K <sub>ph.t.</sub>	K <sub>LAI</sub>
<b>Хвойные</b>													
сосна	1,23	0,904	0,135	0,166	0,658	0,028	0,034	0,681	0,024	0,029	0,662	0,024	0,029
ель	1,27	1,052	0,203	0,257	0,741	0,077	0,098	0,717	0,047	0,060	0,744	0,046	0,058
пихта	1,29	0,731	0,107	0,137	0,623	0,048	0,062	0,549	0,040	0,051	0,578	0,035	0,045
лиственница	2,29	0,820	0,036	0,082	0,901	0,018	0,042	0,990	0,023	0,052	0,979	0,016	0,036
кедр	0,42	0,800	0,068	0,028	0,695	0,027	0,011	0,662	0,029	0,012	0,829	0,036	0,015
кедровый стланник*	0,46	0,87	0,17	0,08	1,00	0,17	0,08	1,13	0,17	0,08	1,64	0,17	0,08
<b>Твердолиственные</b>													
дуб высокоствольный	1,48	1,080	0,064	0,095	1,030	0,018	0,026	0,884	0,010	0,015	0,912	0,010	0,015
дуб низкоствольный	1,48	1,652	0,210	0,310	1,038	0,023	0,034	0,950	0,015	0,022	1,454	0,020	0,030
бук	2,29	0,927	0,009	0,020	1,016	0,013	0,031	0,902	0,011	0,026	0,991	0,023	0,052
ясень	1,76	0,985	0,037	0,066	0,972	0,019	0,034	0,900	0,012	0,021	0,915	0,020	0,035
<b>Мягколиственные</b>													
береза	1,99	0,888	0,083	0,166	0,802	0,028	0,055	0,738	0,016	0,031	0,737	0,025	0,050
осина, тополь	1,59	0,853	0,059	0,093	0,834	0,023	0,036	0,619	0,014	0,022	0,702	0,011	0,017
липа	2,76	0,809	0,034	0,093	0,677	0,028	0,076	-	-	-	0,645	0,009	0,025
ольха	2,21	0,713	0,052	0,115	0,777	0,011	0,025	0,648	0,011	0,024	0,673	0,016	0,035

\* По: А.И. Уткин, А.А. Пряхников, Д.В. Карелин (неопубликованные данные).

максимальной производительности, условиях поддержания этих параметров до возраста главной рубки и т.д.

Площадь листовой поверхности принято считать главным фактором, обуславливающим продуктивность лесонасаждений. Эффект большинства хозяйственных мероприятий (осушение, удобрение, обрезка крон и др.) проявляется опосредованно – через увеличение LAI, удлинение сроков функционирования листы из-за запаздывания ухода ее из вегетации осенью, вследствие более высоких концентраций азота в листьях. Для тех случаев, когда необходимо объяснить механизмы динамики древостоев (возрастной и в ходе сукцессий), LAI может стать полезным лесотаксационным показателем.

Предстоит, очевидно, не столько экспериментальное изучение связей LAI и динамики площади листы с продуктивностью насаждений разных пород, сколько обобщение имеющейся информации в специальном обзоре. В этом случае для главных лесообразующих пород особо следует остановиться и на варьировании LAI в насаждениях разных классов бонитета, групп полноты, типов условий местопрорастания и типов леса.

**Заключение.** Количественные параметры площади листовой поверхности, и в первую очередь LAI, получившие широкое признание и сферу использования в экологии растений, в лесоведении и лесоводстве России до сих пор остаются невостребованными. Предложены нормативы для быстрых расчетов LAI и массы листьев по запасу насаждений основных лесообразующих пород России. Нормативы связаны с методикой определения фитомассы (и углерода) лесов по конверсионным коэффициентам фитомасса/запас. Для определения LAI целесообразно использовать тот же, что и для фитомассы, алгоритм расчетов. Наиболее эффективной методика определения LAI будет, очевидно, не для элементарных участков леса, а их территориальных объединений, т.е. для отдельных полигонов, бассейнов, островов леса и т.п.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. Изд. 3-е. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 512 с.
2. Ермолова Л.С., Уткин А.И. Удельная листовая поверхность основных лесообразующих пород России // Экология (в печати).
3. Самойлович Г.Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 486 с.
4. Уткин А.И., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Ермолова Л.С. Компьютерная база данных "Биологическая продуктивность лесных экосистем". М.: Ин-т лесоведения РАН, 1994.
5. Czarnowsky M. Important measure units and symbols used in plant physiology // Acta Physiological Plantarum. 1996. V. 18. No 2. P. 173–181.
6. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D. et al. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. № 1–2. P. 247–256.
7. Lawlor D.W. Photosynthesis, productivity and environment // J. Exp. Botany. 1995. V. 46. Sp. iss. P. 1449–1461.
8. Norby R.J. Forest canopy productivity index // Nature. 1996. V. 381. № 6583. P. 564.

Институт лесоведения РАН,  
Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.

Поступила в редакцию  
18.12.1996

Центр по проблемам экологии  
и продуктивности лесов РАН, Москва

A.I. UTKIN, L.S. ERMOLOVA, D.G. ZAMOLODCHIKOV

#### CONVERSION COEFFICIENTS FOR DETERMINING LEAF AREA IN MAIN FOREST-FORMING SPECIES OF RUSSIA

For determining the carbon stock in phytomass of forests the ratio phytomass/standing crop ( $t \cdot m^{-3}$ ) is used. Common for the total phytomass ratios ( $K_{ph.t.}$ ) may be represented as a sum of analogous ratios for separate fractions (stems, branches, roots, foliage). Coefficients of conversion of standing crop values into leaf area indices ( $K_{LAI}$ ,  $ha \cdot m^{-3}$ ) have been calculated according to the products of ratios leaf phytomass/standing crop into specific leaf area (SLA,  $ha \cdot t^{-3}$ ). The  $K_{ph.t.}$ ,  $K_{ph.l.}$  and  $K_{LAI}$  values have been obtained with regard to the age groups of stands.