

УДК 630\*182.5

## ИНДЕКСЫ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЛЕСАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

© 2020 г. А. В. Иванов<sup>a, b, \*</sup>, В. Ю. Покаместова<sup>a</sup>, А. С. Касаткин<sup>c</sup>, Д. Г. Замолодчиков<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Приморская государственная сельскохозяйственная академия, Россия 692510 Уссурийск, ул. Блюхера, 44

<sup>b</sup>Дальневосточный НИИ лесного хозяйства, Россия 680020 Хабаровск, ул. Волочаевская, 71

<sup>c</sup>Рослесозащита, Россия 141207, Московская область, Пушкино, ул. Надсоновская, 13

<sup>d</sup>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Россия 117234 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

\*e-mail: [aleksandrkg86@mail.ru](mailto:aleksandrkg86@mail.ru)

Поступила в редакцию 24.07.2019 г.

После доработки 14.11.2019 г.

Принята к публикации 30.12.2019 г.

Определены индексы листовой поверхности (*LAI*) древостоев в естественных и нарушенных рубками и пожарами лесах Приморского края на основе сведений по фитомассе листвы и удельной листовой поверхности (*SLA*). Исходными данными послужили материалы инвентаризации 44 пробных площадей. *LAI* древостоев, нарушенных вследствие пожаров и рубок, более чем на 30% ниже, чем у малонарушенных лесов, близких по структуре к коренным хвойно-широколиственным насаждениям. Индекс листовой поверхности значимо связан с запасом древесины насаждений ( $R^2 = 0.68$ ), однако его следует считать самостоятельным, независимым показателем, расчет которого на основе таксационных характеристик древостоя связан с высокими неопределенностями.

**Ключевые слова:** индекс листовой поверхности (*LAI*), удельная листовая поверхность (*SLA*), запас насаждения, пробная площадь, кедрово-широколиственные леса

**DOI:** 10.31857/S0367059720040083

В XXI в. экосистемные функции лесов, не связанные с производством древесины, становятся объектом экономических расчетов и учитываются при политических решениях. Постепенно индустриальная цивилизация начинает переосмысливать значение лесов, осознавая, что срубленное дерево может приносить меньше пользы, чем оставленное на корню. Наиболее важные в глобальном масштабе экосистемные функции лесов связаны с поддержанием циклов вещества и энергии в системе суша–атмосфера: водного баланса, включая регулирование стока и перераспределение осадков, круговоротов углерода, азота и других элементов [1, 2]. С позиции традиционного “древесинного” лесопользования лесная экосистема рассматривается прежде всего как совокупность стволов деревьев разной сортиментно-сортной структуры. Например, система лесопользования России преимущественно направлена на решение проблемы получения максимума древесины при минимуме усилий. Оценкой лесных насаждений как государственного древесного ресурса занимается специальная наука – лесная таксация. Подробные таксационные характеристики в длительной динамике представлены для всех лесов России по субъектам РФ и лесни-

ществам, однако их использование для оценки экосистемных услуг лесов затруднительно. Накопленный объем новых знаний о лесах, базы данных об их продуктивности, биомассе, биологическом разнообразии, пространственной структуре, листовых индексах, потоках углерода, фенологическом развитии и др. формирует новое – экологическое – направление в таксации лесов [3].

Важным компонентом экологической таксации следует признать характеристику листовой поверхности древесного полога. Индекс листовой поверхности *LAI* (leaf area index) определяется как отношение площади поверхности листьев фитоценоза или его частей к площади территории, занимаемой этим фитоценозом. Обычно *LAI* измеряется в  $m^2/m^2$  или в га/га, либо указывается как безразмерная величина [4]. Для лесов, как правило, приводятся оценки *LAI* древостоя без учета подчиненных ярусов. Согласно обзору В.И. Грабовского с соавт. [5], среднее значение *LAI* для лесов России по состоянию на июль находится в пределах 4–6.

Через поверхность листвы древесного полога происходит преобразование радиационной энергии в биомассу, обмен водой и потоками углерода между растениями и окружающей средой [6]. Та-

ким образом, *LAI* может выступать одним из предикторов при определении продуктивности лесов и фактором в моделях экофизиологических процессов как на локальном, так и на глобальном уровнях [4, 6–9]. Установлена связь между валовой продукцией фотосинтеза (*GPP*) и значением *LAI* [10]. Индекс листовой поверхности может служить характеристикой степени деградации лесов после выборочных рубок и иных структурных нарушений в лесных насаждениях. Так, выполненное в буковых лесах Словакии исследование показало [6], что *LAI* вторичных лесов оказался на 1.6 ед. меньше, чем у коренных ненарушенных фитоценозов бука. У лесных насаждений *LAI* обычно находится в диапазоне 1–20 [11]. Расходы воды на транспирацию в пологе лесного насаждения на 90% определяются индексом листовой поверхности [4]. В работе “Площадь поверхности лесных растений” А.И. Уткин писал: “Вряд ли будет преувеличением утверждать, что уже в ближайшие годы *LAI* станет одним из важнейших таксационных показателей, таких как абсолютная полнота, класс бонитета, годичный прирост. Но для этого необходима фактологическая перевооруженность информационного обеспечения лесной науки, прежде всего за счет целеустремленного сбора данных о *LAI* для древостоев разных древесных пород с учетом их возрастной динамики, смен растительности, реакций на те или иные виды лесохозяйственных мероприятий и т.д.” [4, с. 39].

Индекс листовой поверхности насаждения меняется в зависимости от преобладающей породы, среднего возраста, режима управления лесами и положения на рельефе [6]; значение *LAI* для конкретного дерева зависит от размера листьев, их общего числа и архитектуры кроны [12]. Само по себе значение индекса листовой поверхности для конкретного насаждения не дает точной энергетической характеристики экосистемы [4]. Это возможно только при соотношении *LAI* с таксационными показателями, величинами приростов, общей биомассой фитоценоза и фитомассой листвы, данными о фотосинтезе и дыхании, что все еще относительно редко встречается в научной литературе [10, 11].

*LAI* может быть определен следующими способами: 1) установление аллометрических зависимостей между площадью листвы и геометрическими параметрами дерева (обычно диаметр и высота); 2) оптический метод с использованием фотокамеры со сферическим объективом; 3) моделирование на основе данных космической съемки; 4) лазерное сканирование (TLS, terrestrial laser scanning), которое может быть как наземным, так и дистанционным [9, 10, 13, 14]. Последний метод является наиболее простым и одновременно точным, однако для верификации съемки системами типа LIDAR необходимы репрезента-

тивные базы данных, полученные первыми двумя методами.

Цель настоящей работы – определение индекса листовой поверхности (*LAI*) весовым методом для древостоев лесных насаждений разных типов на территории Приморского края.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работу выполняли на лесном участке Приморской государственной сельскохозяйственной академии – на территории, расположенной в южной части Приморского края, в 40 км к востоку от г. Уссурийска (лесной участок). В 1990-е и 2000-е годы на большей части участка были проведены выборочные рубки и рубки ухода. По таксационным характеристикам лесные насаждения здесь весьма разнообразны: от вторичных дубняков (доминирует *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) до многопородных чернопихтарников (доминирует *Abies holophylla* Maxim.) и кедровников (доминирует *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) [15]. Пересеченный рельеф, близость гор Пржевальского (перепасы высоты 100–500 м над ур. м.) формируют здесь как пойменные, так и горные типы лесов. Климат района типично муссонный, с преобладанием солнечной морозной погоды зимой, пасмурной и влажной – летом. Среднегодовая температура воздуха колеблется от 3 до 5°C, годовая сумма осадков – от 637 до 894 мм.

Площадь поверхности листьев определяли как произведение удельной листовой поверхности *SLA* (specific leaf area) и фитомассы листвы в сухом состоянии для каждой породы на пробной площади; площадь листвы для пород древостоя получали суммированием площадей листовой поверхности всех деревьев ( $d_{1,3} > 6$  см).

**Определение удельной листовой поверхности.** *SLA* представляет собой отношение площади поверхности листьев к их массе в абсолютно сухом состоянии и имеет размерность см<sup>2</sup>/г [4]. Удельная листовая поверхность была определена для 19 пород, формирующих древостой в условиях южного Сихотэ-Алиня: бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), береза ребристая (*Betula costata* Trautv.), береза плосколистная (*B. platyphylla* Sukaczew), береза даурская (*B. dahurica* Pall.), граб сердцелистный (*Carpinus cordata* Blume), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), ильм японский (*Ulmus japonica* Sarg.), кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum* Kom.), клен маньчжурский (*A. mandshuricum* Maxim.), клен мелколистный (*A. mono* Maxim.), липа амурская (*Tilia amurenensis* Rupr.), липа маньчжурская (*T. mandshurica* Rupr. & Maxim.), маакия амурская (*Maackia amurenensis* Rupr.), ольха волосистая (*Alnus hirsuta* Rupr.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*

Maxim.), пихта цельнолистная (*Abies holophylla* Maxim.), осина (*Populus tremula* L.), ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.).

Для каждого вида было выбрано по 10 модельных деревьев, у которых в нижней части крон с помощью секатора на штанге срезали модельные ветви в зоне 3–6 м от поверхности почвы. Растения выбирали на трансекте длиной 5 км, включающей пойменные и горные участки. Известно, что деревьям в лесном пологе присуща изменчивость индекса *SLA* по вертикальному профилю. Задача по выявлению вертикальной изменчивости этого показателя весьма затруднительна в связи с действующим законодательным запретом на рубку некоторых видов деревьев. Поэтому полученные результаты ценны из-за сравнения *LAI* между древостоями разных насаждений, и в дальнейшем могут быть уточнены с применением лазерного сканирования.

У лиственных пород сбор листьев выполняли в начале июля 2018 г., у хвойных – в конце августа. Листья с каждого дерева складывали отдельно и затем сканировали с пространственным разрешением 300 пикселей/дюйм (dpi). В программе ImageJ (версия 1.50d, разработчик National Institutes of Health) после обработки скана определяли площадь листьев (по соотношению черных и белых пикселей). После сканирования листья высушивали в сушильном шкафу при температуре 101°C. Для каждого дерева были получены отношения площади листьев к абсолютно сухой массе – удельные листовые поверхности *SLA*. При этом для лиственных пород использовали одностороннюю площадь листьев, а для хвойных – удвоенную площадь проекции хвоинок [4]. Так, каждая древесная порода характеризовалась средним значением *SLA* по 10 деревьям.

**Определение фитомассы листьев.** Рубка модельных деревьев и определение их надземной фитомассы по фракциям (ствол, кора, ветви и листья) были осуществлены на лесном участке ПГСХА в 2015 и 2016 гг. Подробно методы и результаты этих работ описаны в публикациях [16–19], здесь мы ограничимся описанием методических приемов, относящихся к определению фитомассы листьев.

Было выбрано 15 древесных пород, входящих в состав древостоев кедрово-чернопихтово-широколиственных лесов. Перед отбором модельных деревьев были определены таксационные показатели насаждения (состав, средние высоты и диаметры, полнота, запас и др.). Рубку модельных деревьев осуществляли в августе 2015 и 2016 гг. после полного формирования листьев и хвои, что соответствует рекомендациям [20]. Модельные деревья выбирали как средние по диаметру, высоте и размерам кроны для ступени толщины. У спиленного на уровне корневой шейки дерева определяли общую длину (высоту) и протяжен-

ность живой кроны, возраст дерева по числу годичных колец на пне. Живую крону хвойных пород делили на три равные по длине секции: верхнюю, среднюю и нижнюю. У лиственных пород выделяли одну секцию, так как плотность листьев на разных высотах значимо не отличается [20]. Обрезку кроны производили вдоль по стволу, каждую секцию взвешивали с точностью 50 г на электронных весах грузоподъемностью 50 кг. У отделенной от ствола кроны обрезали облиственные (охвоенные) побеги (древесная зелень). По разности общей массы кроны и скелета находили массу облиственных (охвоенных) побегов по секциям. Из обрезанных облиственных (охвоенных) побегов каждой секции формировали навеску массой 200–300 г. В камеральных условиях в навесках отделяли листву (хвою), оставшиеся побеги взвешивали. После сушки (до постоянной массы) проводили повторное взвешивание и определяли у побегов содержание сухого вещества и плотность. Полученные значения использовали для пересчета массы листвы и скелета кроны из свежего состояния в абсолютно сухое.

**Таксационное описание пробных площадей.** Исходными данными для определения *LAI* были перечетные ведомости древостоев на временных и постоянных пробных площадях (ПП), заложенных на лесном участке ПГСХА в разное время (36 ПП), в национальном парке “Бикин” (5 ПП) и Курортном участковом лесничестве (3 ПП). Перечетная ведомость древостоя представляет собой распределение числа деревьев по породам и диаметру на высоте 1.3 м над поверхностью почвы ( $d_{1.3}$ ) с шагом ступени толщины 4 см. На каждой ПП размерами от 50 × 50 м до 100 × 100 м определяли стандартный набор таксационных показателей: средний диаметр, среднюю высоту, абсолютную полноту, запас стволовой древесины в коре, густоту деревьев.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 1998 г. Л.С. Ермолова и А.И. Уткин опубликовали статью с расчетными данными *SLA* для основных пород лесообразователей СССР, дифференцированных преимущественно по родам растений [3]. Применение этих значений *SLA* для определения индексов листовой поверхности лесов юга Дальнего Востока может привести к ряду неточностей, связанных, в частности, с разнообразием видового состава древостоев. Это опасение послужило основанием для выполнения оригинальных измерений *SLA* на территории лесного участка ПГСХА, а данные из цитируемой работы использовали для сравнения. В табл. 1 приведены полученные значения *SLA*.

По данным Л.С. Ермоловой и А.И. Уткина [3], средняя *SLA* составила: кедр корейский – 152,

**Таблица 1.** Удельная листовая поверхность некоторых пород лесообразователей южной части Приморского края в июне 2018 г. ( $M$  – среднее значение,  $m$  – ошибка среднего)

Порода	$SLA$ , см <sup>2</sup> /г	
	$M$	$m$
Пихта цельнолистная	104.0	6.4
Кедр корейский	123.1	2.4
Осина	129.3	3.0
Бархат амурский	168.2	5.6
Дуб монгольский	180.3	10.3
Береза плосколистная	183.1	3.8
Орех маньчжурский	187.9	7.8
Ильм японский	191.1	12.8
Ясень маньчжурский	202.1	27.8
Береза желтая	210.1	9.5
Береза черная	210.3	13.1
Липа амурская	228.1	16.6
Липа маньчжурская	235.4	12.8
Ольха волосистая	251.8	12.7
Маакия амурская	272.3	84.0
Клен маньчжурский	285.3	18.5
Клен мелколистный	293.5	18.5
Клен ложнозибольдов	310.0	11.2
Граб сердцелистный	363.1	19.8

ясень – 176, дуб – 148, липа – 276 см<sup>2</sup>/г. Отличия с нашими оценками составляют 23.5, –12.8, –17.8 и 17.4% соответственно. Таким образом, применение обобщенных коэффициентов  $SLA$  из работы [3] для лесных насаждений юга Приморья приводит к неточностям около 20%.

Все пробные площади, для которых определяли индекс листовой поверхности, были разделены на три группы. Пробную площадь относили к той или иной группе исходя из истории нарушений (рубки, пожары) и лесорастительных условий: первая группа – относительно ненарушенные хвойно-широколиственные леса, сохраняющие структуру полнодревесного насаждения; вторая группа – в насаждениях проводились выборочные рубки, в пологе сохраняются большие окна, которые занимают светолюбивые виды, также сюда отнесены постпирогенные дубняки; третья группа – пойменные леса, образованные преимущественно *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus japonica*, *Populus maximoviczii*, *Juglans mandshurica*. Значения  $LAI$  для каждой пробной площади и их таксационные характеристики по трем описанным группам насаждений приведены в табл. 2.

Значения  $LAI$  на пробных площадях изменяются от 4.43 (кедровый молодняк в пойме) до 24.30 (старовозрастный кедр в национальном парке “Бикин”). Следует отметить, что лесные насаждения, имеющие запас древесины более 400 м<sup>3</sup>/га, могут считаться минимально нарушенными. Так, например, самый большой запас древесины и фитомассы зафиксирован в кедровнике в среднем течении р. Бикин, где длительное время отсутствовали лесные пожары, а рубка леса вообще никогда не проводилась. Поэтому здесь сформировался древостой, близкий по показателям к максимальной потенциально возможной для этой лесной формации продукции биомассы [19]. Этим объясняется и максимальное значение на данной пробной площади индекса  $LAI$ . При этом можно найти насаждения с одинаковыми запасами древесины, но отличающиеся по значениям  $LAI$ . Различия в средних значениях  $LAI$ , оцененные с помощью двухвыборочного  $t$ -критерия, являются значимыми между 1-й и 2-й и 1-й и 3-й группами насаждений,  $p < 0.001$  (см. табл. 2). В целом можно сказать, что насаждения 2-й группы – это деградировавшие по разным причинам насаждения 1-й группы.

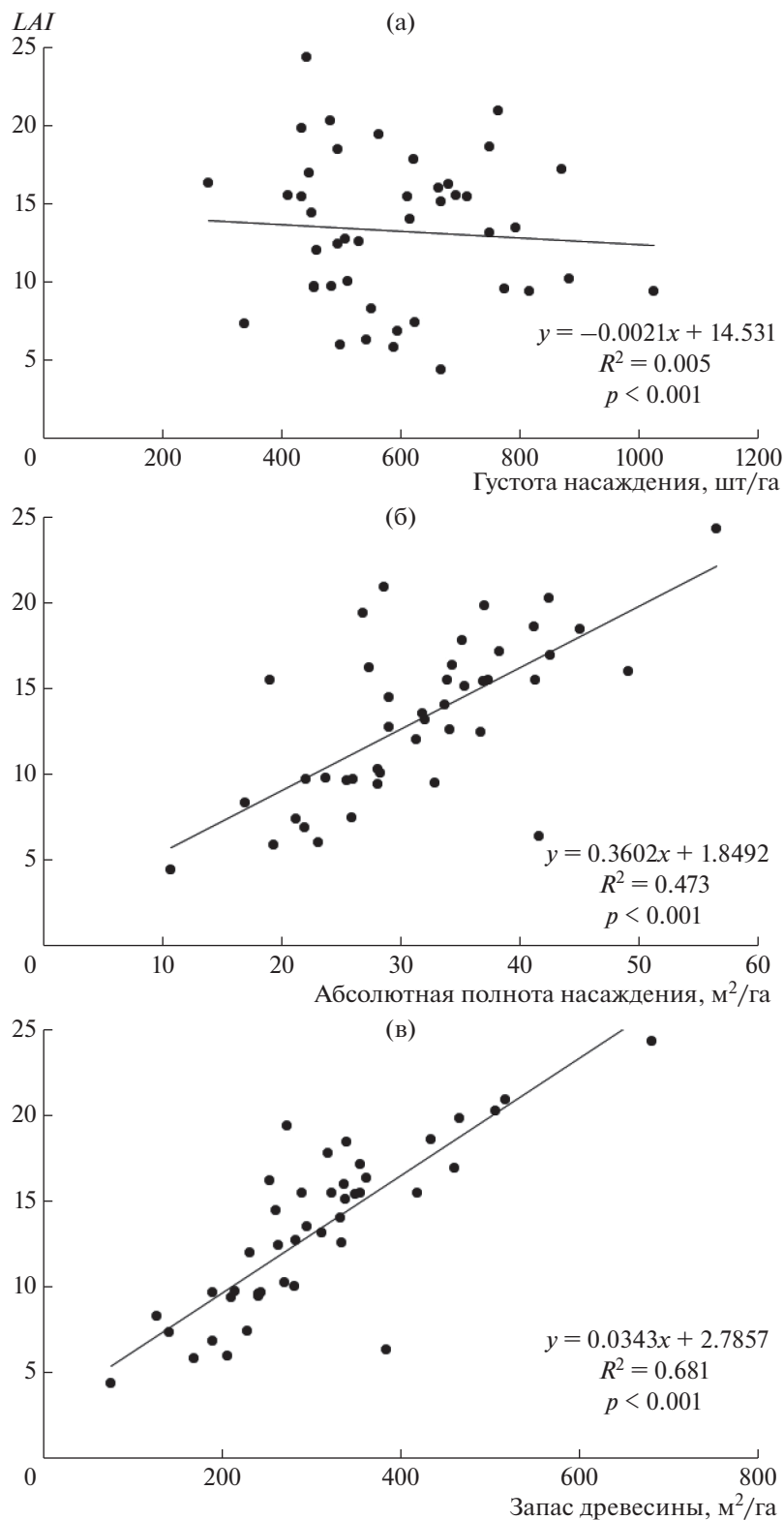
В Приморском крае в связи с развитием инфраструктуры, интенсивной работой лесной индустрии и регулярными лесными пожарами на протяжении более чем 150 лет происходит сокращение площадей коренных хвойно-широколиственных лесов и их трансформация во вторичные, как правило, с доминированием *Quercus mongolica*. Так, в Приморье зафиксировано двукратное уменьшение площадей кедровников с 4 до 2 млн га [15]. Наряду с утратой этими экосистемами своего коренного биологического разнообразия, снижения общей биомассы насаждений можно констатировать также и уменьшение  $LAI$  на 37%, что сопряжено с эквивалентным уменьшением интенсивности потоков вещества и энергии.

Относительно низкие значения индекса листовой поверхности у пойменных широколиственных видов по сравнению с хвойными, вероятно, можно объяснить особенностями распределения листвы. Листовая биомасса у ясеня, тополя, ильма преимущественно сосредоточена в верхней части дерева, и стволы в нижней части обычно хорошо очищены от сучьев, тогда как у деревьев кедр и пихты биомасса хвои находится и в средней части ствола, поэтому хвойные деревья имеют относительно большую площадь листовой поверхности.

Зависимости  $LAI$  от таксационных характеристик насаждений имеют разнообразный характер (рис. 1).  $LAI$  оказывается мало связанным с густотой леса ( $R^2 = 0$ ), поскольку основная часть листвы насаждения находится на крупных деревьях, а

Таблица 2. Индексы листовой поверхности для насаждений пробных площадей на территории Приморского края

№ п.п.	LAI	Состав	N, шт/га	G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га
Относительно не нарушенные хвойно-широколиственные насаждения					
1	15.41	6Д2Лип1К1Кл + П,Кпн,Клз	712	37.0	350.3
2	16.24	3Я2К2Ор2Кл1Лип + Иг,Маа,Ол	680	27.4	254.6
3	15.50	3К3Лип3Д1Кл + П,Клз	692	37.4	355.2
4	15.13	7Д1К1Лип1Ил + Кл,Клз	668	35.4	339.1
5	24.30	9К1Лип + П,Е,Кл,Бб,Яс,Ос	444	56.4	680.1
6	16.96	8К1Лип1Кл + П,Е,Бб	448	42.5	460.3
7	18.58	6К1Бж1Кл1Лп1Т + П,Е,Ия,Бх,Ор,Че	749	41.2	434.2
8	15.45	4К2ЛП1П1КЛ1БЖ + Г,Ил,Бх,Яс,Тр,Чма	436	41.3	418.4
9	20.23	3П2К2ЛП1Бж1Кл1Г + Я,Ил,Тр,Чр,Мел,Ор	484	42.4	506.3
10	19.82	3П2К2Бж1Лп1Кл1Г + Ор,Д,Ил,Кол,Ма,Я,Бх,Тр	436	37.1	466.5
11	21.00	3К3Пц2Д2Лп	728	46.9	491.5
12	20.89	5Пц2К1Лп1Км1 + Д,Иг,Бб,Я,Бжр,Ор,Бч,Ос,Тм,Клжз	764	28.6	517.3
13	16.33	3К3П1Лип1Бжр1Км1Т	280	34.3	362.6
14	17.15	5Д2К1П1Лп1Кл	870	38.3	355.5
15	17.82	2К2Пц2Д1Лп1Я1Кл1Бб	622	35.2	319.7
16	15.51	5К1П3Д1Кл + Тр,Клз,Я,Г	412	19.0	289.6
17	15.96	4К1П2Лип1Я1Кл1Бж + Ия,Д,Маа,Кп,Тр,Чер	664	49.0	337.2
18	18.47	5К1П1Д1Лип1Кл1Г + Ия,Тр,Я,Бх	496	45.1	340.0
Среднее	17.82 ± 0.60		588 ± 37	38.57 ± 0.2.01	404 ± 24
Нарушенные хвойно-широколиственные и вторичные леса					
1	8.33	4Д3Кл2Лип1Ор + Ил,Маа	552	17.0	128.0
2	9.44	5Лип3Д1Кл1Ор + Ил,Я,Бх	1024	32.9	242.1
3	9.42	5Д5Лип + Ил,Кл,Маа,Ив	816	28.1	211.5
4	10.08	5К1Е1Кл1Лип1Я1Ил + П,Д,Маа,Бх	512	28.3	282.3
5	9.72	3Е2К12ЛпП1Кл1Яс1Бх + Бб,Д	456	26.1	244.5
6	12.58	4Д4ЛП1Яс1ПЦ + Кл,И,Бб,Бх,Ол,Ос	530	34.1	334.8
7	10.25	6Ос2К1Яс1Бб + Кл,Ор,Бх,Д,Пц,Лип	882	28.1	270.5
8	9.63	4Бб3Ос1К1Д1Кл + Яс,Ор,Лип, Ия,Маа,Бх	774	25.5	241.7
9	6.01	3Лп2Кл2Д1П1Кол1Гр + К,Бр,Маа,КлЛ,Бп,Яс,Ил,Бж,Мпл	500	23.1	206.7
10	12.73	6П2Д1К1ЛП + Бж,Г,Кл,Кол,Я,Бх,Тр	508	29.1	283.2
11	13.18	6П2К1Бж1КЛ + Лп,Г,Я,Бб	748	32.0	311.8
12	19.37	3К2П2Ил2Кл1Гр + Лп,Тр,Бж,Маак,Ор	564	26.8	273.0
13	13.5	6Д3К1П	792	31.9	296.3
14	14.44	5П3К1Д1Я + Лип,Кл,Клз,Бж,Маа,Г,Бб,Бх,Тр,	452	29.0	261.2
15	9.71	4П3К2Кл1Д + Лип,Я,Бх,Г,Маа,Чм	456	22.0	190.8
16	7.35	4К1П2Кл1Лип1Д1Бж + Г,Тр	340	21.2	141.3
17	12.02	3К2П3Д1Кл1Г + Бх,Лип,Тр,Ос,Бб	460	31.4	232.3
18	12.43	4К2П1Бж1Лип1Кл1Г + Ия,Тр,Я,Бх,Ос,Д,Ол,Ор	496	36.8	264.3
Среднее	11.12 ± 0.72		588 ± 44	27.97 ± 1.17	245 ± 13
Пойменные леса					
1	7.44	3Ия2Кл1Лип1Ор1К1П1Я + Д,Бх,Тр	624	25.9	228.7
2	9.74	5ЯС1И1КЛ1К1ЛП1ББ + Д,Бх,Ор,ОЛ,СА	486	23.7	214.8
3	14.00	4Д3Лп2П1Яс + Кл,П,Бч,Мпл,Бб,Ил,Ябл,Маа	616	33.7	333.1
4	15.45	3Лп2Д2Я1К1П1Бб + Кл,Ил,Бч,Ма,Мпл,Бж,Кпн,Маа,Ор	612	34.0	324.0
5	6.89	4Ор3Я2Ил1Бх + К,П,Кл,Маа,Тр,Лип,Яб	596	22.0	189.7
6	6.36	6Т1Ор1Ия1Кл1Лип + К,Ол,Бх,Я	542	41.6	383.8
7	5.86	6Ор1Ия1Клз1Лип1Тр + Бх,Маа	588	19.4	169.3
8	4.43	4К1С2Ос1Д1Лип1Ил1Ив	668	10.8	76.7
Среднее	8.77 ± 0.94		592 ± 13	26.37 ± 2.29	240 ± 24



**Рис. 1.** Связь между  $LAI$  и таксационными показателями насаждений: а – густотой; б – абсолютной полнотой; в – объемным запасом древесины.

размер деревьев мало зависит от густоты их размещения в насаждении.

Абсолютная полнота и запас насаждения демонстрируют значимую линейную связь с индексом  $LAI$ . Запас древесины вычисляется на основе данных о диаметрах и высотах деревьев на пробной площади, поэтому коэффициент детерминации в уравнении, связывающем  $LAI$  с запасом древесины ( $R^2 = 0.473$ ), выше, чем в уравнении связи с абсолютной полнотой ( $R^2 = 0.681$ ), которая определяется только диаметрами деревьев (в обоих случаях  $p < 0.001$ ).

Несмотря на достаточно высокое значение (0.68) коэффициента детерминации линейного уравнения связи между  $LAI$  и запасом насаждения, в исходном массиве данных имеются примеры значительных расхождений  $LAI$  при одном и том же запасе насаждения. Так, при запасе около 240 м<sup>3</sup>/га  $LAI$  на пяти пробных площадях меняется от 10 до 20. Можно согласиться с положением А.И. Уткина [4] о том, что  $LAI$  является самостоятельным независимым показателем, который невозможно определить по стандартным таксационным параметрам насаждения, поэтому он требует отдельного определения.

Полученные в ходе настоящего исследования значения  $LAI$  для древостоев пробных площадей на территории Приморского края в дальнейшем планируется использовать для верификации оптического и лазерного методов определения  $LAI$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование по оценке индексов листовой поверхности древостоев лесных насаждений Приморского края является одним из шагов к оценке экосистемных функций этих лесов, отличающихся максимальным для территории России биологическим разнообразием. Объемный материал с 44 пробных площадей позволил выявить закономерности изменения  $LAI$  в зависимости от типа насаждения и истории нарушений его структуры. Из всего массива данных минимальные значения  $LAI$  оказались присущи древостоям в поймах рек, максимальные свойственны высокополнотным, сложным по форме хвойно-широколиственным насаждениям с доминированием в составе древостоев хвойных пород.

Результаты нашей работы подтвердили негативное влияние нарушающих факторов – рубок и пожаров – на индекс листовой поверхности древостоев хвойно-широколиственных лесов. В среднем в результате нарушений площадь листы на единице площади уменьшается на 37%. Если после выборочных рубок структура леса и  $LAI$  относительно быстро восстанавливаются, то регулярные лесные пожары, трансформирующие, в частности, кедровые насаждения в дубняки, уменьшают  $LAI$

необратимо. В масштабах региона вторичные леса могут рассматриваться как источник возобновляемой древесины, пусть и низкого качества. Однако многолетний процесс антропогенного преобразования коренных хвойно-широколиственных лесов во вторичные на обширных площадях ведет к изменению показателя  $LAI$ , что отражается на потоках вещества и энергии в лесных экосистемах.

Исследование выполнено в рамках темы ГЗ ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052590019-7 “Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем” (полевые работы) и при поддержке проекта Российского научного фонда № 19-77-30015 “Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата” (анализ данных).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М. и др. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243–254.
2. Lähinen K., Guan Y., Li N., Toppinen A. Biodiversity and ecosystem services in supply chain management in the global forest // Ecosystem Services. 2016. V. 21. P. 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.006>
3. Ермолова Л.С., Уткин А.И. Удельная листовая поверхность основных лесообразующих пород России // Экология. 1998. № 3. С. 178–183.
4. Уткин А.И., Ермолова Л.С., Уткина И.А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 292 с.
5. Грабовский В.И., Зукерт Н.В., Корзухин М.Д. Оценка индекса листовой поверхности для территории России по данным государственного лесного реестра // Лесоведение. 2015. № 4. С. 255–259.
6. Glatthorn J., Pichler V., Hauck M., Leuschner Ch. Effects of forest management on stand leaf area: Comparing beech production and primeval forests in Slovakia // Forest Ecology and Management. 2017. V. 389. P. 76–85.
7. Nock C.A., Caspersen J.P., Thomas S.C. Large ontogenetic declines in intra-crown leaf area index in two temperate deciduous tree species // Ecology. 2008. V. 89. P. 744–753.
8. Liu Z., Jiang F., Zhu Yu. et al. Spatial heterogeneity of leaf area index in a temperate old-growth forest: Spatial autocorrelation dominates over biotic and abiotic factors // Science of the Total Environment. 2018. V. 634. P. 287–295.
9. Chen Y., Zhang W., Hu R. et al. Estimation of forest leaf area index using terrestrial laser scanning data and path length distribution model in open-canopy forests // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 263. P. 323–333.

10. *Xin Q., Dai Y., Li X.* et al. A steady-state approximation approach to simulate seasonal leaf dynamics of deciduous broadleaf forests via climate variables // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. V. 249. P. 44–56.
11. *Konôpka B., Pajtk J., Marušák R.* et al. Specific leaf area and leaf area index in developing stands of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* Karst. // *Forest Ecology and Management*. 2016. V. 364. P. 52–59.
12. *Leuschner C., Voß S., Foetzki A., Clases Y.* Variation in leaf area index and stand leaf mass of European beech across gradients of soil acidity and precipitation // *Plant Ecology*. 2006. V. 186. P. 247–258.
13. *Calders K., Origo N., Disney M.* et al. Variability and bias in active and passive ground-based measurements of effective plant, wood and leaf area index // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. V. 252. P. 231–240.
14. *Zhu X., Skidmore A.K., Wang T.* et al. Improving leaf area index (LAI) estimation by correcting for clumping and woody effects using terrestrial laser scanning // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. V. 263. P. 276–286.
15. *Иванов А.В., Гамаева С.В., Панфилова Е.В.* Оценка видового разнообразия растений и жужелиц на пробных площадях в кедрово-широколиственных насаждениях постпирогенного происхождения // *Сибирский лесн. журн.* 2018. № 3. С. 73–82.
16. *Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Акимов Р.Ю.* и др. Надземная фитомасса и квалиметрия некоторых древесных пород южного Сихотэ-Алиня // *Эко-потенциал*. 2015. № 1(9). С. 41–50.
17. *Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Иванов А.В.* и др. Надземная фитомасса деревьев в лесах южного Сихотэ-Алиня. Сообщ. 3 // *Эко-потенциал*. 2016. № 1(13). С. 32–36.
18. *Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Пауков Д.В.* и др. Надземная фитомасса деревьев в лесах южного Сихотэ-Алиня. Сообщ. 2 // *Эко-потенциал*. 2015. № 4(12). С. 28–31.
19. *Иванов А.В., Касаткин А.С., Мудрак В.П., Замолотчиков Д.Г.* Надземная фитомасса древостоев хвойно-широколиственных лесов южного Приморья // *Лесоведение*. 2018. № 6. С. 454–463.
20. *Усольцев В.А., Залесов С.В.* Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.