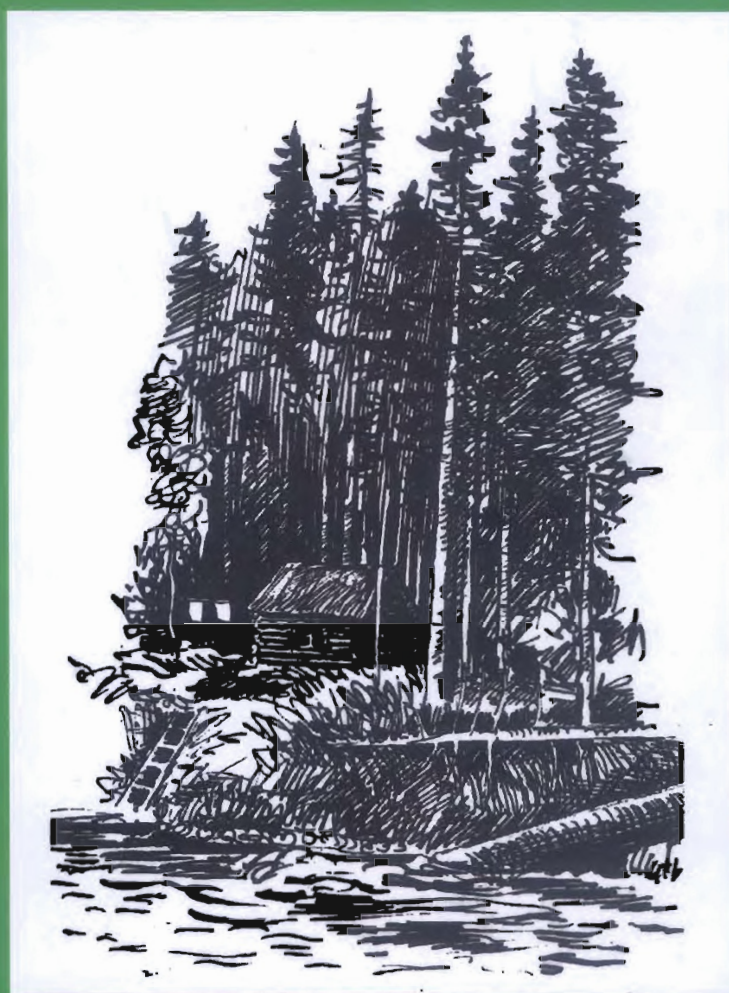


ISSN 2072-4845

# **ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ И ЛЕСОУСТРОЙСТВО**

**1(41)' 2009**

Международный научно-практический журнал



**КРАСНОЯРСК  
2009**

ШВИДЕНКО А. З.<sup>1,2</sup>,  
ЩЕПАШЕНКО Д. Г.<sup>1,3</sup>,  
НИЛЬССОН С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

<sup>2</sup> Международный институт прикладного системного анализа, Лаксенбург, Австрия

<sup>3</sup> Московский государственный университет леса, г. Мытищи Московской области

## ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ДРЕВЕСНОГО ДЕТРИТА В ЛЕСАХ РОССИИ

### Введение

Древесный детрит (от лат. *detritus* – истертый, измельченный) является важным компонентом лесных экосистем, особенно естественных лесов умеренной и бореальных зон. Он часто упоминается как важный аспект биоразнообразия, формируя среду обитания для многих видов; пни и упавшие древесные стволы служат местом интенсивного возобновления для ряда важных бореальных пород; влияют на микроклимат и служат специфическим водозапасающим элементом лесных экосистем; являются важным источником питательных веществ и накапливают значительное количество углерода. Процесс разложения детрита обеспечивает постоянное поступление питательных веществ в почву и углекислого газа в атмосферу. С другой стороны, накопление древесного детрита существенно усиливает пожарную опасность и интенсивность пожаров, особенно в лесах таежной зоны.

Древесный детрит включает древесные остатки, сохранившие на момент учета свою морфологическую форму и состоящие из сухостоя (*snags*), валежа (*logs*), пней, сухих ветвей живых деревьев, отмерших корней, а также остатков, погребенных в почвенной толще. Обычно древесный детрит объединяют в две обобщенные группы: наземные и надземные крупные древесные остатки (КДО, иногда в отечественной литературе называемые крупным древесным дебрисом от английского *coarse woody debris*) и подземный детрит. Единого подхода к классификации и количественному определению составных компонентов древесного детрита не существует. Так, в исследованиях в Северной Америке [29] в качестве КДО учитывали все мертвые древесные части, включая крупные корни диаметром  $d > 2.5$  см. Позже, в методическом руководстве по учету древесного детрита североамериканские ученые [30] рекомендовали выделять тонкий древесный детрит (*fine woody debris* – FWD) и крупные древесные остатки (CWD) с диаметром толстого конца более 10 см. Для обломков тоньше 1 см они предложили термин

«тонкий опад» (*fine litter*). В современных исследованиях Федеральной лесной службы США КДО учитываются, начиная от 7.62 см, а тонкий древесный детрит – от 0.01 до 7.62 см [53]. В обзорах [29, 52] отмечается, что минимальный диаметр в исследованиях обычно варьирует от 1 до 25 см. Исследования разных авторов, проведенные в буковых древостоях 86 лесных заповедников Европы, учитывали КДО с минимальным диаметром (в толстом конце) от 1 до 30 см, хотя в подавляющем большинстве исследований минимальный диаметр находился в пределах 5–8 см [25]. Методика учета древесного детрита при лесоустройстве, утвержденная Министерством природных ресурсов РФ в 2002 году, определила КДО как мертвые надземные древесные остатки всех стадий разложения диаметром в толстом конце  $> 10$  см [11]. Насколько нам известно, эта методика не применялась в практических лесоустроительных работах. Временные рабочие правила проведения полевых работ при Государственной инвентаризации лесов Российской Федерации [4] включают сухостой и – как отдельную категорию – «детрит», который состоит из 3 категорий (хворост – диаметром до 6 см и длиной до 6 м; валеж – от 6 см в тонком конце и длиной более 0.5 м; пни диаметром более 12 см). В некоторых оценках древесного детрита численного определения этому термину не дается [13]. В принципе, различия в количественных придержках различных определений КДО не создают непреодолимых затруднений для сравнительных оценок, поскольку имеющегося экспериментального материала обычно бывает достаточно для внесения эмпирических поправок на переход от одного минимального размера учитываемых КДО к другому [25].

В настоящей работе КДО определены как все надземные и наземные древесные остатки диаметром  $d > 1$  см в тонком конце, разделенные, для некоторых задач, на две части – от 1 до 8 см и свыше 8 см, что позволяет рассматривать два резервуара КДО с разными скоростями разложения. Мелкие остатки (диаметром меньше 1 см) относятся нами к подстилке, которая рассматривается как почвенное тело.

Ниже, в сухостой мы включаем также сухие ветви крон живых деревьев, а в валеж – надземную часть шпей.

Запасы и размерная структура КДО зависят от категории лесных земель (покрытые лесом земли, гари, погибшие насаждения и т. д.), района произрастания, уровня продуктивности древостоев, структуры и интенсивности природных и антропогенных нарушений, периода времени после последнего нарушения. На покрытых лесом землях, основными факторами, определяющими количество КДО, являются состав древостоя, возраст и тип возрастной структуры, запас, предыдущая история нарушений (естественно, тех, которые не уничтожают древостой полностью), наличие и интенсивность ухода за лесом. Динамика и изменчивость запасов КДО высоки и ассоциируются с сезонными, годичными и сукцессионными временными шкалами [29].

Три главнейших процесса определяют наличие и динамику КДО в лесных экосистемах: отпад, разложение и нарушения. Как показывает недавняя детальная оценка продуктивности [17], отпад в лесах России значителен и составил на начало нынешнего тысячелетия  $742 \times 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$  или  $0.96 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ . Согласно второй оценке (сделанной только для лесов Министерства природных ресурсов РФ площадью  $733.1 \times 10^6 \text{ га}$ ) среднее составило  $0.92 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$  [13], т. е. примерно на 2 % меньше. Изменчивость величины отпада в лесах России велика и зависит от сложного взаимодействия специфики лесного покрова (возраст, состав, степень трансформации, жизненное состояние) с влиянием разнообразных экзогенных и эндогенных катастрофических и не-катастрофических агентов. Скорость разложения определяется географической зональностью, древесной породой, спецификой местообитаний, размерами КДО [29, 31]. Нарушения играют двоякую роль. С одной стороны, они способствуют накоплению КДО, поскольку ведут к значительному отпаду (например, до 50–80 % исходного запаса после устойчивых низовых пожаров). С другой – лесные пожары удаляют значительную часть КДО. Исследования показывают, что в среднем сгораемая часть наземных растительных горючих материалов составляет 20–60 % [3, 14].

Влияние отдельных факторов на процессы накопления и динамики КДО различно в разных регионах и лесных формациях. Наиболее существенные различия наблюдаются между лесами, подвергающимися уходу («управляемые» леса), и без такового («неуправляемые»). Так, в управляемых сосновых лесах Швеции запас КДО оценен в  $4.9 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [27], а в сосняках и ельниках бореальной зоны – около  $14 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [26]. В сред-

нем, оценки для интенсивно управляемых лесов находятся в пределах от  $6\text{--}7 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  до  $10\text{--}12 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [33, 46, 47, 50; и др.]. Наличие ухода также существенно влияет на структуру КДО. В управляемых лесах сухостой составляет небольшую часть КДО, порядка 10–20 %, в то время как в неуправляемых – 35–45 % [13, 24, 26, 45, 39, 37]. Количество валежа в северных естественных и неуправляемых лесах в основном определяется продуктивностью древостоев. При отсутствии лесного пожара в течение нескольких десятилетий в малопродуктивных лесах Европейского севера (имеющих текущий прирост  $1.5\text{--}2.0 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ ) средний отпад составляет порядка  $0.7 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ , что приводит к устойчивому образованию примерно  $30 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  валежа начальных стадий разложения (от свежеего до средней стадии разложения); в лесах более высокой продуктивности ( $4\text{--}5 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ ) объем валежа достигает  $70 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [32].

В естественных лесах при отсутствии сильных природных нарушений запас КДО может быть очень высоким и в ряде исследований для умеренной и бореальной зон варьировал от 50 до  $150 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [37, 39, 46]. В буковых лесах заповедников Западной Европы среднее количество КДО составило  $130 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ , достигая в отдельных случаях  $550 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [25].

Изменчивость запасов детрита может быть очень высока даже в пределах относительно однородных районов и лесных формаций. Например, средний запас КДО, измеренный нами на 17 пробных площадях в спелых разновозрастных без признаков пожара темнохвойных лесах центральной части Сахалина (*Picea ajanensis* – *Abies sachalinensis*) составил  $51.2 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ , коэффициент вариации был 29.6 %. Средний запас валежа и сухостоя, оцененный на 61 пробной площади в лесах *Picea ajanensis* на Камчатке [12], составил  $56.8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  или 25.5 % запаса растущего леса, и вариация обоих показателей была около 45 %. Сильно поврежденные леса накапливают огромные запасы КДО на значительных площадях. Например, количество КДО в темнохвойных лесах (*Picea ajanensis* – *Abies nephrolepis*) нижнего течения Амура, подверженных процессу усыхания [1, 5], и кедровниках (*Pinus sibirica*) Красноярского края в очагах сибирского шелкопряда составляли от 200 до  $400 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  [6]. Значительное количество КДО наблюдается также в молодняках таежной зоны, восстанавливающихся после пожаров [9].

Динамика накопления КДО в древостоях также подвержена существенной вариации. В естественных лесах, восстанавливающихся, как правило, после природных или антропогенных нарушений, обычна U-образная форма накопления КДО [38, 49], в то время как в культурах,

при интенсивной подготовке почвы, исходные запасы детрита малы, а его нарастание соответствует J-образной кривой [15, 16, 24].

Средний период существования сухостоя (с момента гибели деревьев) варьирует значительно. Так, у европейской ели (*Picea abies*) в Скандинавии его оценивают от 20 до 34 лет, а для 20 % общего числа сухостойных деревьев – от 38 до 53 лет [48]. Древостои сибирского кедра (*Pinus sibirica*) в горах Алтая, сгоревшие в 1914 году, изучались летом 1961 года. Средний запас сухостоя в 5 древостоях был оценен в  $186 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ ; при этом запас в неповрежденных аналогичных древостоях составил  $321 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ , т. е. около 58 % исходного запаса сохранилось в качестве сухостоя в течение 50 лет после пожара; средний процент не поврежденных гнилями сухих стволов составил на горях 60 % против 90 % в живых древостоях [2]. По нашим наблюдениям, около 20 % стоящих сухих стволов было отмечено в лесотундре северной Якутии на вечной мерзлоте в древостое лиственницы, погибшем в первой трети 19-го века. В то же время средний период перехода сухостоя в валеж для основных лесобразующих пород Ленинградской области оценен в 10 лет [15, 34].

Поскольку процесс вывала деревьев древостоя стохастический, для его численного описания целесообразно использовать специальные показатели. В качестве такового часто используется «половина периода существования сухостоя» (half-life), т. е. период после гибели деревьев, когда вероятность вывала деревьев сухостоя становится равной вероятности остаться в стоящем состоянии. По нашим наблюдениям в таежных лесах длина этого периода меняется от 25–30 лет в южной тайге до порядка 50 лет – в северной, хотя изменчивость его значительна даже в пределах однородных лесных районов. Близкие величины к нижнему пределу этой оценки указываются для ряда зарубежных стран. Так, в древостоях *Picea abies* в Финноскандии half-life был оценен от 22 до 26 лет [48]; сходные величины были получены для *Betula papyrifera* (16 лет) и *Picea glauca* (19 лет) в Северной Америке [36]. В ряде модельных подходов, разработанных на основе измерений в словых (*Picea mariana*) и пихтовых (*Abies balsamea*) древостоях Квебека (Канада), half-life был оценен в 30–35 лет для пихты и 35–40 лет для ели, а временной период, для которого вероятности сухостойного дерева остаться стоящим опускаются ниже 0.01, составлял 70–75 лет и свыше 115–120 лет, соответственно [22].

Лесоустройство в России учитывает запас детрита (валеж и сухостой) на каждом таксационном выделе. Однако, 1) эти глазомерные

оценки очень приближенные; 2) они не учитывают всех составляющих детрита; 3) они смещенные, поскольку минимальный размер учитываемого детрита варьирует от 5 до  $30 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$  в зависимости от региона и ценности лесов; 4) как правило, не учитывают КДО последних стадий разложения, и 5) обобщенные данные в этой части не публиковались, а приводились только в проектах организации лесного хозяйства на уровне отдельных лесных предприятий. Поэтому они могут быть использованы только в качестве приближенного контролирующего показателя, в основном, для оценки тенденций при распространении усредненных данных на регионы, в которых экспериментальные работы не проводились.

#### Материал и метод

Обычно инвентаризации древесного детрита проводятся на основе выборочных измерений на пробных площадях [13, 29, 44]. Однако этот метод имеет тот существенный недостаток, что отмеченная выше изменчивость плотности запасов КДО (т. е. количества КДО на единице площади) в зависимости от различных факторов может колебаться до 10–15 раз. Это затрудняет корректное распространение «точечных» измерений на большие площади даже при относительно большом количестве пробных площадей. Более надежным является использование отношения запаса или массы КДО к запасу растущей части древостоя [11], хотя этот подход также требует определенного районирования и, в конечном итоге, практически не учитывает влияние режима ведения лесного хозяйства в каждом отдельном древостое.

В настоящей работе мы использовали комбинированный подход к использованию различных источников информации и моделированию с тем, чтобы охватить, до возможного предела, географическое и параметрическое разнообразие лесов России. В качестве исходного материала были использованы: 1) опубликованные результаты измерений КДО на пробных площадях – 470 определений; 2) обобщенные эмпирические зависимости и обобщения из доступных публикаций, например, [11, 34, 43]; 3) данные лесоустроительных пробных площадей (свыше 2000) и 4) результаты учета валежа и сухостоя при лесоустроительных работах для 350 лесных предприятий (около 20 % от общего числа лесных предприятий России). Данные лесоустройства после необходимых модельных преобразований использовались только для независимого контроля полученных результатов.

В целом, следующие основные методические предпосылки были приняты в настоящей работе:

- оценка КДО была произведена для всех основных категорий лесных земель России (с разделением на покрытые лесом земли, редины, гари и погибшие насаждения) и биоклиматическим зонам (тундра; лесотундра, северная и редкостойная тайга; средняя тайга; южная тайга; зона умеренных лесов, включая лесостепь, степи; пустыни и полупустыни); трем объединенным группам возраста (молодняки; средневозрастные и приспевающие; спелые и перестойные); трем группам основных лесообразующих пород (хвойные леса, кроме лиственницы; лиственничные леса; лиственные леса); такая классификация была проведена для четырех секторальных подразделений России – Европейская часть, Западная Сибирь, Центральная Сибирь и Дальний Восток;

- для покрытых лесом земель были составлены индивидуальные матрицы отношений запаса валежа и сухостоя к запасу древостоя отдельно для средневозрастных и приспевающих, а также спелых и перестойных насаждений; доступные экспериментальные данные были выровнены в зональном и секторальном аспектах при помощи регрессионного анализа;

- средние объемы валежа и сухостоя на гектаре в абсолютных единицах использовались для гарей, погибших насаждений и для молодняков естественного происхождения;

- при расчетах ряд поправок к базовым матрицам был сделан для некоторых категорий древостоев и регионов; в частности, базовая плотность твердолиственных пород была увеличена по сравнению с мягколиственными породами на 30 % для сухостоя и на 20 % – для валежа; запасы КДО в хвойных лесах были увеличены по сравнению с хвойными для сухостоя (30 %) и валежа (15 %); запасы КДО в молодняках скорректированы на интенсивность лесного хозяйства (в частности, в малолесных районах);

- в силу того, что для естественных редины были доступны только фрагментарные данные, было принято экспертное решение использовать удвоенные коэффициенты, использованные для оценки наличия КДО на покрытых лесом землях;

- независимый контроль результатов произведен на основе модельной оценки скорости накопления и разложения КДО.

Переход от объемных единиц к оценке сухой массы требует знания условной плотности древесины на разных стадиях ее разложения. Экспериментальные данные, как правило, содержат информацию о плотности КДО по 5 классам разложения, в ряде случаев по 3 или

4-м [9, 20, 33, 35, 51; и др.]. Так, ГИЛ России использует 4-классную классификацию (гниль отсутствует; слабая, средняя, сильная степени разложения). Для сухостоя обычно используется 4 класса его трансформации – от свежего сухостоя до фрагментированных стволов с разрушающейся древесиной [21].

Средние базисные плотности зависят от распределения количества КДО по классам разложения. Учитывая относительно короткое резидентное время сухостоя в первом классе, средний класс разложения в ненарушенных лесах обычно сдвигается ближе к 3-му классу. Как следует из ряда публикаций, условная плотность древесины первого класса не отличается существенно от таковой для здоровой древесины растущих стволов и даже иногда несколько ее превосходит; для второго – варьирует на уровне порядка 80–85 % исходной плотности, хотя изменчивость этого показателя по породам и регионам высока (например, в ряде исследований для таежных лесов Сибири – от 65–75 % для лиственницы и до 94 % для сосны). Значительное снижение условной плотности древесины наблюдается для третьего класса – в среднем 48 % для осины, 45–55 % для лиственницы, 68 % для пихты и 75 % для кедра (использована классификация по 3 классам) [7, 8, 11]. Для средней тайги европейской части России отношения базисной плотности 2–5 классов разложения составили (в процентах к базисной плотности первого класса): 85:66:45:20 для ели; 80:59:36:11 для березы и 69:56:37:13 для осины [20]. Средняя базисная плотность детрита сосны управляемых сосновых лесов Швеции по данным национальной инвентаризации составила 0.239 [39]. В сосновых лесах Среднего Заволжья [35], КДО которых были классифицированы по 4 классам, соотношение плотностей древесины было 80:54:34, а базисная плотность по классам составила ( $\text{Mg C m}^{-3}$ ) 0.245; 0.196; 0.131; 0.084. Цитируемая работа иллюстрирует снижение отношения объемов КДО и запаса древостоев в высокопродуктивных насаждениях: 0.052 в молодняках (возраст 20–40 лет), 0.040 (41–60), 0.042 (61–80), 0.051 (81–100) и 0.07 в спелых древостоях (101–120 лет). Средние запасы в регионе оценены от  $4.2 \text{ Mg C га}^{-1}$  в Нижегородской области до  $7.6 \text{ Mg C га}^{-1}$  в Кировской.

Матрицы средних величин условной плотности составлялись для всех тех же пространственно-параметрических подразделений, для которых составлены матрицы оценки запаса и массы КДО (табл. 1–4).

Таблица 1

Коэффициенты для оценки КДО в насаждениях хвойных пород (кроме лиственницы)

Регион и зона	Запас КДО, % к наличному запасу				Базисная плотность, Мг абс.с.в. м <sup>-3</sup>			
	средневозрастные и припевающие		спелые и перестойные		средневозрастные и припевающие		спелые и перестойные	
	сухостой	валеж	сухостой	валеж	сухостой	валеж	сухостой	валеж
Европейская часть								
Тундра	0.120	0.125	0.130	0.160	0.413	0.304	0.435	0.312
ЛТ, РТ и СТ	0.100	0.120	0.119	0.155	0.400	0.295	0.421	0.310
Сред. тайга	0.085	0.116	0.108	0.147	0.393	0.288	0.413	0.303
Южная тайга	0.080	0.107	0.100	0.132	0.390	0.278	0.410	0.293
УЛ	0.078	0.090	0.095	0.108	0.391	0.266	0.412	0.280
Степи	0.076	0.070	0.092	0.080	0.397	0.251	0.418	0.264
Западная Сибирь								
Тундра	0.160	0.155	0.138	0.220	0.396	0.288	0.425	0.303
ЛТ, РТ и СТ	0.131	0.158	0.123	0.218	0.386	0.288	0.415	0.303
Сред. тайга	0.117	0.159	0.114	0.215	0.375	0.276	0.403	0.290
Южная тайга	0.109	0.142	0.106	0.197	0.368	0.266	0.396	0.280
УЛ	0.106	0.120	0.102	0.170	0.370	0.256	0.398	0.273
Степи	0.104	0.090	0.098	0.110	0.377	0.247	0.405	0.260
Центральная Сибирь								
Тундра	0.120	0.145	0.135	0.190	0.428	0.323	0.450	0.340
ЛТ, РТ и СТ	0.105	0.146	0.130	0.192	0.414	0.318	0.436	0.335
Сред. тайга	0.095	0.137	0.125	0.190	0.399	0.308	0.420	0.324
Южная тайга	0.090	0.130	0.120	0.180	0.390	0.294	0.410	0.310
УЛ	0.085	0.116	0.115	0.165	0.391	0.277	0.412	0.292
Степи	0.082	0.090	0.110	0.110	0.397	0.258	0.418	0.272
Дальний Восток								
Тундра	0.135	0.148	0.135	0.230	0.418	0.309	0.440	0.325
ЛТ, РТ и СТ	0.137	0.159	0.140	0.245	0.406	0.305	0.427	0.321
Сред. тайга	0.137	0.168	0.145	0.256	0.395	0.300	0.416	0.316
Южная тайга	0.135	0.170	0.145	0.257	0.390	0.285	0.410	0.300
УЛ	0.130	0.140	0.135	0.225	0.391	0.272	0.412	0.286
Степи	0.120	0.090	0.120	0.140	0.397	0.255	0.418	0.268

Сокращения в таблицах 1–4: ЛТ, РТ и СТ – лесотундра, северная и редкостойная тайга; УЛ – зона умеренных лесов.

Таблица 2

Коэффициенты для оценки КДО в лиственничных насаждениях

Регион и зона	Запас КДО, % к наличному запасу				Базисная плотность, Мг абс.с.в. м <sup>-3</sup>			
	средневозрастные и припевающие		спелые и перестойные		средневозрастные и припевающие		спелые и перестойные	
	сухостой	валеж	сухостой	валеж	сухостой	валеж	сухостой	валеж
Европейская часть								
Тундра	0.100	0.114	0.110	0.130	0.432	0.264	0.457	0.310
ЛТ, РТ и СТ	0.087	0.106	0.096	0.120	0.420	0.257	0.453	0.302
Сред. тайга	0.078	0.098	0.085	0.116	0.408	0.250	0.450	0.294
Южная тайга	0.071	0.090	0.076	0.100	0.399	0.243	0.439	0.286
УЛ	0.068	0.082	0.072	0.090	0.397	0.236	0.426	0.278
Степи	0.066	0.074	0.070	0.080	0.395	0.230	0.410	0.270
Западная Сибирь								
Тундра	0.137	0.280	0.155	0.300	0.490	0.319	0.514	0.335
ЛТ, РТ и СТ	0.129	0.278	0.141	0.291	0.455	0.311	0.503	0.327
Сред. тайга	0.125	0.270	0.134	0.280	0.435	0.303	0.488	0.318
Южная тайга	0.121	0.253	0.130	0.260	0.427	0.295	0.473	0.309
УЛ	0.120	0.225	0.128	0.220	0.424	0.287	0.454	0.300
Степи	0.119	0.183	0.126	0.200	0.422	0.280	0.434	0.291

Регион и зона	Запас КДЮ, % к наличному запасу				Базисная плотность, Мг абс.с.в. м <sup>-3</sup>			
	средневозрастные и приспевающие		спелые и перестойные		средневозрастные и приспевающие		спелые и перестойные	
	сухойстой	валеж	сухойстой	валеж	сухойстой	валеж	сухойстой	валеж
Центральная Сибирь								
Тундра	0.132	0.250	0.155	0.300	0.518	0.353	0.514	0.372
ЛТ, РТ и СТ	0.121	0.242	0.127	0.273	0.495	0.346	0.511	0.364
Сред. тайга	0.109	0.230	0.113	0.248	0.480	0.339	0.508	0.356
Южная тайга	0.100	0.203	0.106	0.215	0.472	0.332	0.499	0.340
УЛ	0.095	0.155	0.102	0.170	0.463	0.325	0.491	0.332
Степи	0.093	0.110	0.100	0.120	0.461	0.318	0.480	0.324
Дальний Восток								
Тундра	0.135	0.260	0.155	0.300	0.500	0.328	0.514	0.345
ЛТ, РТ и СТ	0.126	0.257	0.131	0.284	0.470	0.320	0.506	0.337
Сред. тайга	0.115	0.250	0.122	0.265	0.450	0.312	0.495	0.329
Южная тайга	0.108	0.234	0.120	0.240	0.443	0.304	0.483	0.320
УЛ	0.105	0.194	0.117	0.200	0.441	0.296	0.470	0.312
Степи	0.104	0.145	0.115	0.150	0.439	0.288	0.451	0.301

Таблица 3

## Коэффициенты для оценки КДЮ в насаждениях мягколиственных пород

Регион и зона	Запас КДЮ, % к наличному запасу				Базисная плотность, Мг абс.с.в. м <sup>-3</sup>			
	средневозрастные и приспевающие		спелые и перестойные		средневозрастные и приспевающие		спелые и перестойные	
	сухойстой	валеж	сухойстой	валеж	сухойстой	валеж	сухойстой	валеж
Европейская часть								
Тундра	0.105	0.123	0.110	0.130	0.430	0.266	0.410	0.280
ЛТ, РТ и СТ	0.114	0.135	0.120	0.142	0.443	0.309	0.422	0.325
Сред. тайга	0.117	0.142	0.123	0.150	0.441	0.314	0.420	0.330
Южная тайга	0.106	0.142	0.112	0.150	0.434	0.297	0.413	0.313
УЛ	0.091	0.107	0.095	0.120	0.422	0.276	0.402	0.290
Степи	0.078	0.075	0.082	0.085	0.408	0.255	0.389	0.268
Западная Сибирь								
Тундра	0.120	0.140	0.120	0.147	0.430	0.266	0.410	0.280
ЛТ, РТ и СТ	0.135	0.154	0.130	0.162	0.458	0.309	0.436	0.325
Сред. тайга	0.145	0.162	0.132	0.171	0.457	0.314	0.435	0.330
Южная тайга	0.130	0.154	0.116	0.162	0.442	0.297	0.421	0.313
УЛ	0.108	0.127	0.096	0.134	0.427	0.276	0.407	0.290
Степи	0.093	0.086	0.082	0.090	0.415	0.255	0.395	0.268
Центральная Сибирь								
Тундра	0.128	0.152	0.120	0.160	0.441	0.266	0.420	0.280
ЛТ, РТ и СТ	0.150	0.168	0.140	0.177	0.462	0.314	0.440	0.330
Сред. тайга	0.160	0.179	0.150	0.188	0.463	0.326	0.441	0.343
Южная тайга	0.151	0.174	0.141	0.183	0.452	0.306	0.430	0.322
УЛ	0.132	0.147	0.123	0.155	0.436	0.282	0.415	0.297
Степи	0.097	0.091	0.090	0.095	0.420	0.257	0.400	0.270
Дальний Восток								
Тундра	0.139	0.161	0.130	0.170	0.441	0.266	0.420	0.280
ЛТ, РТ и СТ	0.155	0.185	0.145	0.195	0.470	0.319	0.448	0.336
Сред. тайга	0.168	0.194	0.157	0.204	0.467	0.326	0.445	0.343
Южная тайга	0.171	0.192	0.160	0.202	0.456	0.314	0.434	0.330
УЛ	0.143	0.181	0.134	0.190	0.442	0.289	0.420	0.304
Степи	0.110	0.110	0.100	0.120	0.431	0.261	0.410	0.275

Таблица 4

**Запасы и базисная плотность КДО в молодняках и на гарях**

Регион и зона	КДО в молодняках				КДО на гарях и в погибших насаждениях			
	Запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$		базисная плотность, $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$		Запас, $\text{Мг абс.с.в.} \cdot \text{м}^{-3}$		базисная плотность, $\text{Мг абс.с.в.} \cdot \text{м}^{-3}$	
	сухой	валеж	сухой	валеж	сухой	валеж	сухой	валеж
<b>Европейская часть</b>								
Тундра	23	21	0.382	0.272	29	23	0.450	0.340
ЛТ и Сев. тайга	33	31	0.367	0.256	42	35	0.432	0.320
Средняя тайга	37	40	0.356	0.243	62	50	0.418	0.304
Южная тайга	25	45	0.344	0.229	68	56	0.405	0.286
УЛ	9	14	0.340	0.216	79	65	0.400	0.270
Степь	7	9	0.336	0.210	69	57	0.395	0.262
<b>Западная Сибирь</b>								
Тундра	26	32	0.425	0.296	33	35	0.500	0.370
ЛТ и Сев. тайга	46	56	0.391	0.276	58	62	0.460	0.345
Средняя тайга	41	50	0.370	0.258	58	63	0.435	0.323
Южная тайга	40	52	0.357	0.243	57	66	0.420	0.304
УЛ	39	50	0.350	0.232	59	63	0.412	0.290
Степь	38	49	0.348	0.226	58	62	0.409	0.282
<b>Центральная Сибирь</b>								
Тундра	26	19	0.425	0.300	32	22	0.500	0.375
ЛТ и Сев. тайга	47	36	0.408	0.280	59	40	0.480	0.350
Средняя тайга	56	43	0.391	0.264	78	54	0.460	0.330
Южная тайга	50	42	0.378	0.254	76	53	0.445	0.318
УЛ	34	25	0.367	0.244	66	48	0.432	0.305
Степь	29	19	0.364	0.248	54	38	0.428	0.310
<b>Дальний Восток</b>								
Тундра	18	13	0.425	0.300	22	15	0.500	0.375
ЛТ и Сев. тайга	23	16	0.400	0.280	29	19	0.470	0.350
Средняя тайга	34	27	0.378	0.262	49	33	0.445	0.327
Южная тайга	46	35	0.366	0.248	65	43	0.430	0.310
УЛ	42	38	0.357	0.238	76	50	0.420	0.298
Степь	38	16	0.354	0.234	42	28	0.417	0.292

Средняя для всей страны условная плотность древесины КДО составляет  $0.364 \text{ Мг сухого вещества} \cdot \text{м}^{-3}$  с зональным градиентом от  $0.400 \text{ Мг с. в.} \cdot \text{м}^{-3}$  в лесах тундры до порядка  $0.360 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$  в южных зонах страны, что объясняется главным образом увеличением доли лиственных пород, более быстрыми темпами разложения и повышением продуктивности древостоев в южном направлении.

Составленные матрицы были применены к лесному покрову страны, представленному в базе данных гибридного земельного покрова, построенного на гармонизации результатов дистанционного зондирования и наземных данных. Детальное описание методики ГИС представления гибридного земельного покрова содержится в [41]. Здесь мы отметим только специфические черты этого продукта в части идентификации и параметризации лесов. Используя классы земельного покрова, представленные в данных дистанционного зондирования

земли из космоса GLC-2000 [23], а также MODIS VCF [28], устанавливались пространственное размещение и обобщенные классы земель, покрытых лесом (например, вечнозеленые хвойные леса). По специальному имитационному алгоритму в пределах лесных предприятий для каждого лесного предприятия размещались преобладающие породы, возрасты, запасы древостоев и другие биометрические показатели лесных экосистем (в частности, древесный детрит по компонентам) с таким расчетом, чтобы сохранить средние величины и распределение по классам возраста и уровням производительности для каждого лесного предприятия (общим количеством около 2000 для страны). Таким образом, для каждого пикселя размером  $1 \text{ км} \times 1 \text{ км}$  были параметризованы леса официально учтенного лесного фонда России и леса, не входящие в лесной фонд. В ряде регионов площади лесов на спутниковых изображениях (с данными VCF существенно



Таблица 5

## Распределение лесных земель по лесорастительным зонам, основным категориям земель и преобладающим породам

Породы	Площадь, 10 <sup>6</sup> га по биоклиматическим зонам							Итого
	Тундра	ЛТ, С и РТ	СрТ	ЮТ	УЛ	Степи	ПП	
Хвойные	7100	93643	351737	79106	8937	6148	643	547314
в т.ч. сосна	597	20972	66222	37362	2883	3000	283	131319
ель	998	20734	44991	18907	2100	301	20	88051
пихта	203	104	10906	3812	577	568	48	16217
лиственница	3757	46774	201664	12892	1397	1744	190	268419
кедр	1545	5059	27955	6133	1979	535	102	43306
Твердолиственные	421	207	8180	1419	7375	2195	571	20366
в т.ч. дуб	0	164	615	946	4904	1659	156	8445
Мягколиственные	585	10303	59160	65122	9669	4836	517	150191
в т.ч. береза	477	9385	47781	51311	5134	2915	357	117360
осина	20	690	9101	11197	1949	1161	53	24172
Прочие породы	10297	8111	54803	1172	186	538	97	75206
Всего покрытых лесом	18403	112263	473881	146819	26167	13716	1828	793077
Редины	6608	26507	40235	1136	149	169	36	74838
Гари	2736	5870	17880	709	141	136	20	27492
Всего	27746	144640	531996	148663	26457	14021	1884	895407

Сокращенные обозначения лесорастительных зон: ЛТ, С и РТ – лесотундра, северная и редкостойная тайга, СрТ и ЮТ – средняя и южная тайга, соответственно, УЛ – умеренные леса и ПП – пустыни и полупустыни.

выше, чем соответствующий порог для территорий, относимых к покрытым лесом землям в регионе) превышали таковые из официальных данных учета лесов страны. Причины этому мы видим в наличии лесов за северной границей лесного фонда, а также как результат двух процессов – распространения лесов в высоких широтах в силу климатических изменений и зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель на протяжении последних двух десятилетий. Такие территории тоже квалифицировались как леса и параметризовались по упомянутому выше алгоритму. Поэтому ниже приводятся данные для двух подразделений покрытых лесом земель: данные официального учета ( $776.1 \times 10^6$  га) и «дополнительные леса» ( $17.0 \times 10^6$  га), учтенные по данным дистанционного зондирования. Таким образом, приводимые ниже данные для покрытых лесом земель соответствуют площади  $793.1 \times 10^6$  га. Отдельно также учтены естественные редины ( $74.8 \times 10^6$  га), гари и погибшие насаждения ( $27.5 \times 10^6$  га), что дает общую площадь лесных земель России равной  $895.4 \times 10^6$  га. Распределение лесного покрова по основным категориям лесных земель и покрытых лесом земель по преобладающим породам представлено в таблице 5.

Была также сделана попытка оценить количество подземного древесного детрита. Экспериментальные данные такого плана крайне ограничены. Поэтому приближенный расчет был сделан по следующему алгоритму. Для

покрытых лесом земель количество углерода подземного детрита (Cdr) рассчитывалось как

$$Cdr = Csn Pro 0.6 + Clg Pro 0.3 + Cbg 0.1,$$

где Csn – углерод сухостоя, Pro – отношение углерода корней к углероду ствола живых деревьев, Clg – углерод валежа, Cbg – углерод живых корней лесной экосистемы, включая деревья, подрост, подлесок и живой напочвенный покров, а для гарей и погибших насаждений

$$Cdr = Csn Pro 0.8 + Clg Pro 0.5.$$

Отношение массы корней к массе стволов живых деревьев использовалось на основе произведенных ранее оценок как среднее по каждому лесному предприятию. Разумеется, такой подход может представить только некоторые ориентировочные данные, точность которых неизвестна.

Процентное содержание углерода в сухом веществе надземного детрита принято 0.5. Учитывая последние публикации по данному вопросу [9, 10], по-видимому, использование такого коэффициента ведет к недооценке общего запаса углерода КДО на лесных землях России на 1–2 %.

### Результаты и обсуждение

Для сопоставимости результаты расчета представлены отдельно для лесов, учтенных официальной статистикой (леса лесного фонда и леса не входящие в лесной фонд, включенные в официальный учет; ниже мы сохраняем для

Запасы крупных древесных остатков на основных категориях лесных земель России

Зоны	Крупные древесные остатки по основным категориям лесных земель									
	Запас, млн м <sup>3</sup>					Средний запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>				
	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Г и ПН	Всего	ПЛЗ	ПрЛ	Ред	Г и ПН	Всего
Сухостой										
Тундра	141.0	8.1	24.5	65.5	239.2	7.9	15.3	3.7	24.0	8.6
ЛТ, РТ и СТ	920.9	23.4	53.6	185.1	1183.1	8.3	11.6	2.0	31.5	8.2
СрТ	5749.3	57.3	124.5	994.5	6925.6	12.2	18.4	3.1	55.6	13.0
ЮТ	2233.0	159.5	7.4	47.9	2447.9	16.2	17.4	6.5	67.6	16.5
УЛ	402.0	35.2	1.1	9.7	447.9	16.4	20.4	7.1	68.5	16.9
Степи	167.1	4.9	1.1	8.2	181.3	12.4	17.8	6.7	60.2	12.9
ПП	24.3	1.9	0.3	1.3	27.7	14.2	16.7	7.2	63.0	14.7
Итого	9637.6	290.3	212.5	1312.3	11452.6	12.4	17.1	2.8	47.7	12.8
Валеж										
Тундра	211.4	10.3	41.7	45.0	308.4	11.8	19.4	6.3	16.4	11.1
ЛТ, РТ и СТ	1507.4	35.2	104.1	125.9	1772.6	13.7	17.5	3.9	21.5	12.2
СрТ	9724.4	82.1	252.3	682.8	10741.6	20.7	26.4	6.3	38.2	20.2
ЮТ	3189.6	213.6	12.1	37.6	3452.9	23.2	23.3	10.7	53.0	23.2
УЛ	511.7	43.4	1.7	8.0	564.8	20.9	25.2	11.2	56.4	21.3
Степи	166.7	4.6	1.3	7.8	180.4	12.4	16.7	7.8	57.2	12.9
ПП	24.4	1.8	0.3	1.2	27.7	14.2	15.8	9.6	57.2	14.7
Итого	15335.7	391.0	413.5	908.2	17048.4	19.8	23.1	5.5	33.0	19.0
Всего										
Тундра	352.4	18.5	66.2	110.5	547.6	19.7	34.7	10.0	40.4	19.7
ЛТ, РТ и СТ	2428.3	58.7	157.7	311.0	2955.7	22.0	29.2	5.9	53.0	20.4
СрТ	15473.7	139.4	376.8	1677.4	17667.2	32.9	44.9	9.4	93.8	33.2
ЮТ	5422.6	373.1	19.5	85.5	5900.8	39.4	40.7	17.2	120.7	39.7
УЛ	913.8	78.6	2.7	17.6	1012.7	37.4	45.6	18.4	124.9	38.3
Степи	333.8	9.4	2.5	16.0	361.6	24.8	34.5	14.6	117.5	25.8
ПП	48.7	3.6	0.6	2.4	55.4	28.4	32.5	16.8	120.2	29.4
Всего	24973.3	681.3	626.0	2220.5	28501.0	32.2	40.2	8.4	80.8	31.8

Сокращения в табл. Категории земель: ПЛЗ – покрытые лесом земли лесного фонда; ДопЛ – леса, установленные дополнительно на основы спутниковых данных, в том числе и за пределами земель лесного фонда; Ред – редины; Г и ПН – гари и погибшие насаждения. Лесорастительные зоны: ЛТ, РТ и СТ – лесотундра, редкостойная и северная тайга; СрТ – средняя тайга; ЮТ – южная тайга; УЛ – зона умеренных лесов; ПП – зона полупустынь и пустынь.

них сокращенное название «леса лесного фонда»), «дополнительных лесов» – покрытых лесом земель, дополнительно учтенных на основе спутниковых данных в рамках гибридного земельного покрова, а также для двух категорий не покрытых лесом земель (редины, гари и погибшие насаждения). Как следует из таблицы 6 общее количество КДО на лесных землях России оценено в  $28.5 \times 10^9 \text{ м}^3$  или  $31.8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ . Основная масса КДО находится на покрытых лесом землях –  $25.65 \times 10^9 \text{ м}^3$ , т. е. средний запас КДО для покрытых лесом земель лесного фонда составляет –  $32.2 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ , что составляет 30.5 % к среднему запасу в лесах страны. Из общего количества 39 % общего объема КДО содержится в сухостое и 61 % в валеже. Несколько менее одной десятой части КДО лесных земель (~8 %) находится на гарях и в по-

гибших насаждениях и незначительная часть (около 2 %) – в редирах.

Существуют заметные зональные и региональные закономерности пространственного распределения запасов КДО (рис. 1, данные приведены для всех категорий лесных земель). На покрытых лесом землях максимум КДО наблюдается в зоне средней тайги – порядка 62 % как объему, так и по запасу углерода. В среднем, наблюдается достаточно сходный зональный градиент изменения средних значений КДО – как в объемной мере, так и по запасу углерода: увеличение с севера до зоны умеренных лесов и уменьшение дальше к югу.

Запасы углерода в КДО покрытых лесом земель лесного фонда оценены в  $4.56 \text{ Пг С}$  или  $5.9 \text{ Мг С га}^{-1}$ . Из общего количество углерода на покрытых лесом землях лесного фонда  $4231 \text{ Тг С}$  сосредоточено в резервуаре «мед-

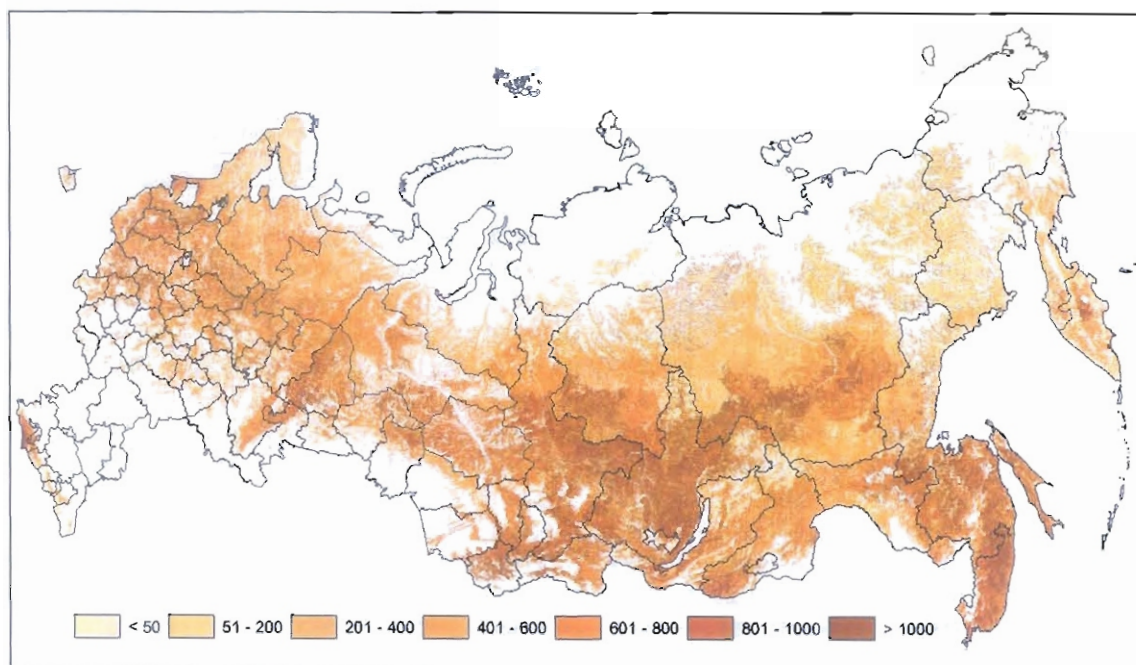
Рис. 1. Углерод крупных древесных остатков, г/м<sup>2</sup>

Таблица 7

## Запас углерода в крупных древесных остатках на лесных землях

Зона	Крупные древесные остатки по основным категориям лесных земель									
	Общая масса, Тг С					Среднее, т С га <sup>-1</sup>				
	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Г и ПН	Всего	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Г и ПН	Всего
Сухостой										
Тундра	32.6	1.8	5.9	16.4	56.7	1.82	3.36	0.89	5.99	2.27
ЛТ, РТ и СТ	206.2	5.2	13.0	43.5	267.9	1.87	2.59	0.49	7.42	1.93
СрТ	1283.4	12.1	30.1	225.1	1550.6	2.73	3.90	0.75	12.59	3.02
ЮТ	467.3	33.2	1.7	10.4	512.5	3.40	3.62	1.46	14.63	3.46
УЛ	89.9	7.9	0.2	2.0	100.1	3.68	4.60	1.65	14.22	3.80
Степи	35.5	1.1	0.2	1.7	38.5	2.64	4.00	1.40	12.34	2.78
ПП	5.4	0.4	0.1	0.3	6.1	3.14	3.74	1.53	12.79	3.28
Итого	2120.4	61.8	51.1	299.3	2532.6	2.73	3.65	0.68	10.89	2.83
Валеж										
Тундра	35.3	1.6	7.2	8.5	52.7	1.98	3.05	1.08	3.12	1.90
ЛТ, РТ и СТ	243.9	5.7	17.5	22.0	289.1	2.21	2.84	0.66	3.75	2.00
СрТ	1574.8	12.6	42.0	112.5	1741.9	3.35	4.05	1.04	6.29	3.27
ЮТ	481.6	31.7	1.9	5.8	521.0	3.50	3.45	1.70	8.15	3.50
УЛ	77.2	6.6	0.3	1.2	85.2	3.16	3.83	1.75	8.28	3.22
Степи	22.9	0.6	0.2	1.1	24.8	1.71	2.34	1.07	7.95	1.77
ПП	3.4	0.2	0.0	0.2	3.9	2.01	2.21	1.36	7.78	2.07
Итого	2439.2	59.1	69.1	151.2	2718.6	3.14	3.49	0.92	5.50	3.04
Итого										
Тундра	68.0	3.4	13.0	24.9	109.4	3.80	6.41	1.98	9.11	3.94
ЛТ, РТ и СТ	450.1	10.9	30.5	65.6	557.1	4.08	5.43	1.15	11.17	3.85
СрТ	2858.2	24.7	72.1	337.5	3292.5	6.07	7.95	1.79	18.88	6.19
ЮТ	948.9	64.9	3.6	16.1	1033.5	6.89	7.07	3.16	22.78	6.95
УЛ	167.1	14.5	0.5	3.2	185.3	6.84	8.43	3.40	22.50	7.00
Степи	58.5	1.7	0.4	2.8	63.4	4.35	6.34	2.47	20.29	4.52
ПП	8.8	0.7	0.1	0.4	10.0	5.15	5.94	2.89	20.58	5.32
Всего	4559.6	120.9	120.2	450.5	5251.1	5.87	7.14	1.61	16.39	5.86

ленной» скорости разложения КДО (с диаметром >8 см), а остальное – в резервуаре умеренной скорости (1 см < d ≤ 8 см). Соотношение по запасу углерода в сухостое и валеже отличаются от такового, выраженного в объемной мере, в силу различной базисной плотности этих категорий КДО. Как и в части объемов, средние величины углерода в КДО максимальны в центральной части лесной зоны.

Основные категории не покрытых лесом земель имеют характерные особенности. Максимальное количество КДО наблюдается на гарях и в погибших насаждениях – средняя величина составляет 80.8 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>, т. е. порядка 76 % от среднего запаса лесов страны. Редины, которые в основном представлены древостоями

низкой продуктивности, имеют невысокую пространственную плотность КДО.

Распределение КДО по зонам, группам пород и преобладающим породам приведено в таблицах 8 (объемы) и 9 (запас углерода). Как следует из приведенных данных, хвойные леса содержат наибольшее количество КДО – порядка 76 % как по объему, так и по количеству углерода. Лиственный древостой, занимающие максимальные площади в стране, содержат около 37 % общего запаса КДО.

В таблице 10 приведены результаты оценки запаса мертвых корней на рассматриваемых категориях лесных земель. Как следует из приведенных данных, общее количество подземного детрита (кроме древесины, погребенной в почве)

Таблица 8

Распределение объема крупных древесных остатков по категориям лесных земель, группам пород и основным лесобразующим породам

Древесные породы	Крупные древесные остатки, млн м <sup>3</sup> , по категориям земель								Всего
	Сухостой				Валеж				
	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Итого	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Итого	
Хвойные	7091.6	145.7	186.1	7423.3	12122.1	202.9	370.6	12695.5	20118.8
в т.ч. сосна	1785.1	57.8	9.2	1852.1	2610.5	78.3	14.3	2703.2	4555.3
ель	1244.2	53.8	20.6	1318.6	1819.1	73.0	28.5	1920.6	3239.2
пихта	411.6	3.2	2.7	417.6	537.5	2.9	3.7	544.1	961.7
лиственница	2758.3	13.9	146.6	2918.8	5898.3	29.0	313.5	6240.8	9159.5
кедр	892.4	17.0	6.9	916.3	1256.7	19.6	10.5	1286.9	2203.1
Твердолиственные	275.5	17.4	3.1	296.0	343.3	21.1	4.1	368.5	664.4
в т.ч. дуб	103.4	11.2	0.7	115.3	125.8	13.5	1.0	140.2	255.6
Мягколиственные	2050.6	127.1	3.7	2181.4	2575.9	166.9	4.7	2747.5	4928.9
в т.ч. береза	1464.6	113.3	3.4	1581.2	1834.9	148.0	4.3	1987.1	3568.3
осина	452.9	5.4	0.3	458.6	573.8	7.2	0.4	581.3	1039.9
Прочие породы	219.9	0.1	19.5	239.6	294.4	0.2	34.1	328.7	568.3
Всего	9637.6	290.3	212.4	10140.3	15335.7	391.0	413.5	16140.1	26280.4

Таблица 9

Распределение запаса углерода в крупных древесных остатках по категориям лесных земель, группам пород и основным лесобразующим породам

Древесные породы	Крупные древесные остатки, Тг С, по категориям земель								Всего
	Сухостой				Валеж				
	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Итого	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Итого	
Хвойные	1551.0	29.8	45.3	1626.1	1925.1	30.1	62.0	2017.2	3643.2
в т.ч. сосна	359.3	11.3	1.9	372.5	390.0	11.1	2.2	403.3	775.8
ель	254.8	11.1	4.4	270.3	275.9	10.9	4.6	291.4	561.8
пихта	83.6	0.7	0.6	84.9	81.4	0.4	0.6	82.3	167.2
лиственница	675.4	3.4	36.9	715.7	989.3	4.9	53.0	1047.2	1762.9
кедр	177.8	3.3	1.5	182.6	188.4	2.8	1.7	192.9	375.5
Твердолиственные	77.7	4.8	0.9	83.4	63.8	3.7	0.8	68.3	151.8
в т.ч. дуб	28.6	3.2	0.2	32.0	22.1	2.4	0.2	24.6	56.6
Мягколиственные	445.2	27.2	0.8	473.1	404.3	25.3	0.7	430.3	903.4
в т.ч. береза	319.2	24.3	0.7	344.2	288.2	22.4	0.7	311.3	655.5
осина	97.4	1.1	0.1	98.5	90.5	1.1	0.1	91.6	190.2
Прочие породы	46.5	0.0	4.1	50.7	46.0	0.0	5.5	51.6	102.2
Всего	2120.4	61.8	51.1	2233.3	2439.2	59.1	69.1	2567.4	4800.6

Углерод мертвых корней на лесных землях России

Лесорастительная зона	Запас мертвых корней									
	Общее количество, Тг С					Среднее, т С га <sup>-1</sup>				
	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Г и ГН	Итого	ПЛЗ	ДопЛ	Ред	Г и ГН	Итого
Тундра	66.8	2.4	9.0	10.1	88.2	3.74	4.50	1.36	3.68	3.18
ЛП, РС и СТ	314.0	8.3	28.8	33.1	384.2	2.85	4.33	1.09	5.63	2.66
СрТ	1893.1	15.3	52.0	174.3	2134.9	4.02	4.82	1.29	9.75	4.01
ЮТ	563.3	38.1	2.0	6.4	609.8	4.09	4.15	1.75	9.10	4.10
УЛ	135.3	11.7	0.3	1.1	148.4	5.54	6.77	1.83	7.81	5.61
Степи	52.2	1.6	0.3	1.6	55.6	3.88	6.01	1.54	11.56	3.97
ПП	8.2	0.6	0.1	0.2	9.0	4.77	5.15	1.67	10.65	4.80
Итого	3032.8	78.1	92.4	226.8	3430.1	3.91	4.61	1.23	8.25	3.83

составляет 3.83 Пг С. Из этого количества 3.03 Пг С находится на покрытых лесом землях лесного фонда, что составляет 3.91 Мг С га<sup>-1</sup>. Приблизительный характер этой оценки мы обсуждали выше.

Существенный интерес представляет точность приведенных оценок запаса древесного детрита. Возможности непосредственно проверить полученные результаты на основе независимых экспериментальных данных не существует. Однако косвенная проверка важнейших результатов возможна, базируясь на оценке отпада и скорости его разложения. Как было показано ранее [17], ежегодный текущий отпад на покрытых лесом землях лесного фонда (выраженный в объемной мере стволовой древесины) составил в начале текущего столетия  $742 \times 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$ . В целях сравнения эта величина должна быть увеличена на запас древесины в ветвях деревьев отпада (15 % к объему стволов) и на объем сухих ветвей живых деревьев и пней (наша оценка этой добавки 4 %). Отсюда, приближенная оценка общего объема КДО, поступающего на декомпозицию, составляет  $883 \times 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$  или  $422 \times 10^6 \text{ Мг с. в. год}^{-1}$  (при средней плотности надземной древесины в лесах страны в  $0.477 \text{ Мг с. в. м}^{-3}$ ). Средневзвешенный по запасу коэффициент разложения КДО (понимаемый как константа простой экспоненциальной модели) для страны в целом оценивается в  $0.040 \pm 0.005$  [44]. Сооставление средних ежегодных количеств КДО, поступающих на разложение, и разложившейся части резервуара углерода в КДО показывает, что через 100–120 лет (в зависимости от величины константы разложения) достигается практически стабильный запас КДО (рис. 2). При коэффициенте разложения 0,04, этот запас равен около  $10.1 \times 10^9 \text{ Мг}$  древесины, или 5.0 Пг углерода, что достаточно близко к полученной нами оценке в 4.56 Пг С (+9 %). Этот подход приближенный, поскольку не учитывает потери КДО от лесных пожаров и других причин.

Несложный расчет приводит к заключению, что такое уточнение меняет величину резервуара КДО на относительно небольшую величину, в пределах нескольких процентов, сближая полученные независимые оценки.

Имеется несколько оценок запаса КДО в лесах России. В нашей ранней работе [41] общий запас углерода, аккумулированного в КДО на покрытых лесом землях лесного фонда в начале 1990-х годов, был определен в 4.4 Пг С в год или на 3.5 % меньше, что с учетом небольшого увеличения покрытых лесом земель (+1.5 %) за период 1993–2003 гг., достаточно близко к оценке для 2005 года, полученной в настоящей работе – различие в средних величинах КДО на единицу площади составляет около 2 %.

В недавней работе [13] запас древесного детрита был вычислен на основе учета лесного фонда 2003 года только для лесов, управляемых государственными органами лесного хозяйства ( $733.2 \times 10^6 \text{ га}$ ); оценка составила 5.5 Пг С, т. е. средняя величина равна  $7.50 \text{ Мг С га}^{-1}$ . Эта оценка существенно (на 27 %) выше, чем полученная в настоящей работе для всех лесов лесного фонда ( $5.87 \text{ Мг С га}^{-1}$ ). Мы объясняем эту разницу рядом недостаточно обоснованных

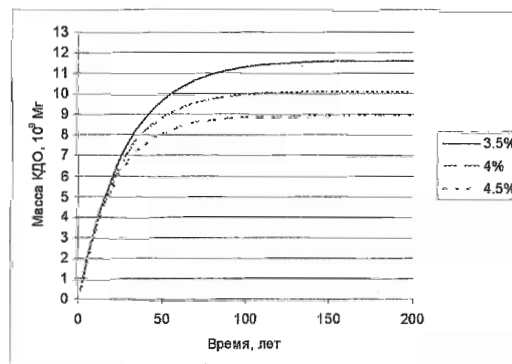


Рис. 2. Динамика накопления КДО на покрытых лесом землях России как наложение двух процессов – поступления древесины на разложение ( $442 \times 10^6 \text{ Мг с. в. год}^{-1}$ ) и разложение накопленного количества КДО при различных константах разложения, указанных на рисунке.

предшосенок, использованных в цитируемой работе (в частности, базисная плотность сухостоя была принята равной  $0.49 \text{ Mg C m}^{-3}$ , что значительно выше плотности здоровой древесины для всех хвойных пород, кроме лиственницы) и использования ряда приближенных подходов и усредненных эмпирических коэффициентов для лесов всей страны в целом.

Настоящая работа является заключительной в серии работ, посвященных оценке запаса углерода в лесных экосистемах России. В целом, лесные экосистемы покрытых лесом земель лесного фонда ( $776.1 \times 10^6$  га) содержат  $188.8 \text{ Pg C}$ , из которых 77.8 % находится в почве (в т. ч. 7.2 % в подстилке), 18.2 % – в фитомассе (органическое вещество живых растений) и 4.0 % – в древесном детрите. Отношение органического вещества почвы и растительности составляет 3.5:1. Столь высокое отношение является типичным признаком лесов бореальной зоны. Так, в США 35 % всего органического углерода лесных экосистем находится в фитомассе, 52 % – в почве и 14 % – в мертвом органическом веществе (КДО и ТДО) [54].

#### Библиографический список

1. Агеев А. С. Леса Дальнего Востока. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1969. – 287 с.
2. Баженов Б. А., Харук В. И., Вологдин А. И. Использование древесины в сторевших кедровых древостоях // Материалы исследований лесов Сибири и Дальнего Востока (докл. конф.). – Красноярск: ИЛИД СО РАН, 1963. – С. 319–337.
3. Волокитина А. В., Софронов М. А. Увлажнение, влагосодержание и интенсивность горения напочвенного покрова // Моделирование в охране лесов от пожаров. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1979. – С. 45–86.
4. Государственная инвентаризация лесов Российской Федерации. Временные рабочие правила проведения полевых работ. Редакция 5.2. – М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, ФГУП Рослесинфорг, 2008. – 74 с.
5. Душлищев И. Т. Развитие, структура и особенности таксации разновозрастных елово-пихтовых лесов низовьев Амура // Тр. ДальНИИЛХ, т. 9, 1969. – С. 46–79.
6. Исаев А. С. (ред.). Программа чрезвычайных мер биологического контроля насекомых-вредителей в лесах Красноярского края. Отчет по проекту Всемирного банка Loan 3806-RU. – М., 1997. – 151 с.
7. Исаева Л. Н. Влажность древесины растущих деревьев в различных районах произрастания // Древесина и древесные материалы. – Красноярск: ИЛИД СО РАН, 1974. – С. 18–28.
8. Исаева Л. Н. Физические свойства древесины растущих деревьев на разных стадиях гниения // Древесина и древесные материалы. – Красноярск: ИЛИД СО РАН, 1974. – С. 28–39.
9. Климченко А. В. Параметры углеродного цикла в восстановительно-возрастном ряду лиственничников кустарничково-зеленомошных северной тайги Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск: ИЛИД СО РАН, 2007. – 21 с.
10. Кошурникова Н. Н. Бюджет углерода в темнохвойных лесах южной тайги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск: ИЛИД СО РАН, 2007. – 20 с.
11. Методика оценки запаса и массы древесного детрита при лесоустройстве. – Пушкино: МПР РФ, 2002. – 45 с.
12. Манько Ю. И., Ворошилов В. П. Еловые леса Камчатки. – М.: Наука, 1978. – 256 с.
13. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Заварзин Г. А. (ред.). – М.: Наука, 2007. – 315 с.
14. Софронов М. А., Гольдаммер И. Г., Волокитина А. В., Софронова Т. М. Пожарная опасность в природных условиях. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2005. – 322 с.
15. Тарасов М. Е. Оценка скорости разложения детрита в лесах Ленинградской области // Тр. СПбНИИЛХ, 2000. – Вып. 1(2). – С. 31–45.
16. Тарасов М. Е., Алексеев В. А., Рябинин Б. Н. Оценка запаса и динамики детрита в лесах Ленинградской области // Тр. С.-Петербургского н.-и. инст. лесного хозяйства, 2000. – Вып. 1(2). – С. 46–61.
17. Швиденко А., Щепаченко Д., Нильссон С. Текущий прирост лесов России: базовая оценка на начало 3-го тысячелетия // Лесная таксация и лесоустройство. – 2008. – № 1(39). – С. 83–100.
18. Швиденко А., Щепаченко Д., Нильссон С., Булуй Ю. И. Таблицы и модели роста и биологической продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Изд. 2, доп. – М.: Федеральная служба лесного хозяйства и Международный институт прикладного системного анализа, 2008. – 886 с.
19. Шорохова Е. В., Шорохов А. А. Характеристика классов разложения древесного детрита ели, березы и осины в ельниках подзоны средней тайги // Тр. СПбНИИЛХ, 1999. – Вып. 1. – С. 17–23.
20. Шорохова Е. В. Динамика углерода в коренных ельниках средней тайги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – С.-Пб.: Гос. лесо-

техническая академия им. С. М. Кирова, 2000. – 19 с.

21. **Aakala T., Kuuluvainen T., Gauthier S., De Grandpre L.** Trees dying standing in the northeastern boreal forests of Quebec: spatial patterns, rates and temporal variation // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2007. – Vol. 37. – P. 50–61.

22. **Aakala T., Kuuluvainen T., Gauthier S., De Grandpre L.** Standing trees and their decay-class dynamics in the Northeastern boreal old-growth forests of Quebec // *Forest Ecology and Management*. – 2008. – Vol. 255. – P. 410–420.

23. **Bartholome E., Belward A.S.** GLC2000: A new approach to global land cover mapping from earth observation data // *International Journal of Remote Sensing*. – 2005. – Vol. 26. – P. 1959–1977.

24. **Brin A., Meredieu C., Piou D. et al.** Changes in quantitative patterns of dead wood in maritime pine plantations over time. *Forest Ecology and Management*. – 2008. – Vol. 256. – P. 913–921.

25. **Christensen M., Hahn K., Mountford E.P. et al.** Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*. – 2005. – Vol. 210. – P. 267–282.

26. **Ekbom B., Schroeder L.M., Larson S.** Stand specific occurrence of coarse woody debris in a managed boreal forest landscape on central Sweden // *Forest Ecology and Management*. – 2006. – Vol. 221. – P. 2–12.

27. **Fridman J., Walheim M.** Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden // *Forest Ecology and Management*. – 2000. – Vol. 131. – P. 23–36.

28. **Hansen M. C., Defries R. S., Townshend J. R. G. et al.** Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data // *Remote Sensing of Environment*. – 2003. – Vol. 83. – P. 303–319.

29. **Harmon N. E., Franklin J. F., Swanson F. J. et al.** Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems // *Advance in Ecological Research*. – 1986. – Vol. 15. – P. 133–302.

30. **Harmon M. E., Sexton J.** 1996. Guidelines for measurements of woody debris in forest ecosystems. – Washington, Seattle, publication No 20, LTER Network Office, 1996. – 73 pp.

31. **Harmon M. E., Krankina O. N., Sexton J.** Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2000. – Vol. 30. – P. 76–80.

32. **Jonsson B. G.** Modeling the temporal availability of decaying logs under different management scenarios // *Nordic Symposium on the*

*Ecology of Coarse Woody Debris in Boreal Forests*, 31 May – 3 June 1999, Umea University, Sweden, 1999. – P. 10–11.

33. **Karjalainen L., Kuuluvainen T.** Amount, quality, and variability of coarse woody debris within a natural pine-dominated forest landscape // *Nordic Symposium on the Ecology of Coarse Woody Debris in Boreal Forests*, 31 May – 3 June 1999, Umea University, Sweden. – P. 12.

34. **Krankina O. N., Harmon N. E., Kukev Y. A. et al.** Coarse woody debris in forest regions of Russia // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2002. – Vol. 32. – P. 768–778.

35. **Kurbanov E., Krankina O. N.** Woody detritus in temperate pine forests of Western Russia. *World Resource Review*. – Vol. 12. – No 4. – P. 741–752.

36. **Lee Ph.** Dynamics of snags in aspen-dominated midboreal forests // *Forest Ecology and Management*. – 1998. – Vol. 105. – P. 263–272.

37. **Norden B., Gotmark F., Tonneberg M., Ryberg M.** Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps // *Forest Ecology and Management*. – 2004. – Vol. 194. – P. 235–248.

38. **Ranius T., Kindvall O., Kryus N., Jonsson B. G.** Modeling dead wood in Norway spruce stands subject to different management regimes // *Forest Ecology and Management*. – 2003. – Vol. 182. – P. 13–29.

39. **Rouvinen S., Kuuluvainen T., Karjalainen L.** Coarse woody debris in old Pinus sylvestris dominated forests along a geographic and human impact gradient in boreal Fennoscandia // *Canadian Journal of Forest Resources*. – 2002. – Vol. 32. – P. 2184–2200.

40. **Sandstroma F., Peterssona H., Krusob N., Stahla G.** Biomass conversion factors (density and carbon concentration) by decay classes for dead wood of Pinus sylvestris, Picea abies and Betula spp. in boreal forests of Sweden // *Forest Ecology and Management*. – 2007. – V. 243. – P. 19–27.

41. **Schepaschenko D., McCallum L., Shvidenko A. et al.** Hybrid land cover data set for Russia: methodology for merging statistics, remote sensing and in-situ information // *Remote Sensing for Environment*, 2009 (submitted).

42. **Shvidenko A. Z., Nilsson S., Stolbovoi V. S. et al.** Aggregated estimation of the basic parameters of biological production and the carbon budget of Russian terrestrial ecosystems: 1. Stocks of plant organic mass // *Russian Journal of Ecology*. – 2000. – Vol. 31. – P. 403–410.

43. **Shvidenko A., Nilsson S.** Dynamics of Russian forests in 1961–1998 and carbon budget: An assessment based on long-term forest inventory

date // *Climatic Change*. – 2002. – Vol. 55 – № 1–2. – P. 5–37.

44. **Shvidenko A., Nilsson S.** A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998 // *Tellus* 55B. – 2003. – P. 391–415.

45. **Sippola A. L., Sittonen J., Kallio R.** 1998. Amount and quality of coarse woody debris in natural and managed coniferous forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 1998. – Vol. 13. – P. 204–214.

46. **Sitonen J.** Forest management, coarse woody debris and species richness of saproxylic organisms: Finnish boreal forests as an example // *Nordic Symposium on the Ecology of Coarse Woody Debris in Boreal Forests*, 31 May–3 June 1999, Umea University, Sweden. – P. 36–37.

47. **Stockland J. N.** The amount and continuity gaps of woody debris in boreal forests: effects on the species richness of wood-inhabitant fungi. *Nordic Symposium on the Ecology of Coarse Woody Debris in Boreal Forests*, 31 May–3 June 1999, Umea University, Sweden. – P. 41–42.

48. **Storaunet K. O., Rolstand J.** How long do Norway spruce snags stand? Evaluating four estimation methods // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2004. – Vol. 34(2). – P. 176–183.

49. **Sturtevant B. R., Bissonette J. A., Long J. N., Roberts D. W.** Coarse woody debris

as a function of age, stand structure, and disturbance in boreal Newfoundland // *Ecol. Applications*. – 1997. – Vol. 7. – P. 702–712.

50. **Syranen K., Kuuluvainen T., Kallio R.** Logs in a pristine *Picea abies* forest: amount, decay stage distribution and spatial pattern // *Nordic Symposium on the Ecology of Coarse Woody Debris in Boreal Forests*, 31 May–3 June 1999, Abstracts from Posters and Presentations, Kronun Field Station, Umea, Sweden, 1999. – P. 43–44.

51. **Vanderwel M. C., Malcolm J. R., Smith S.** An integrated model for snag and downed woody debris decay class transitions // *Forest Ecology and Management*. – 2006. – Vol. 234. – P. 48–59.

52. **Woldendorp G., Keenan R. J., Barry S., Spencer R. D.** Analysis of sampling methods for coarse woody debris // *Forest Ecology and Management*. – 2004. – Vol. 198. – P. 133–148.

53. **Woodall C. W., Williams M. S.** Sampling, estimation, and analysis procedures for the down woody materials indicator. – St. Paul, MN: USDA Forest Service. General Technical Report, 2005. – NC-256. – P. 71.

54. **Woodall C. W., Likens G. C.** Relationships between forest fine and coarse woody debris carbon stocks across latitudinal gradients in the United States as an indicator of climate change effects // *Ecological Indicators*. – 2008. – Vol. 8. – P. 686–690.