

УДК 630\*181.9(470.22)

## ОЦЕНКА ЗАПАСОВ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ КАРЕЛИИ<sup>1</sup>

© 2019 г. С. А. Мошников<sup>a, \*</sup>, В. А. Ананьев<sup>a</sup>, В. А. Матюшкин<sup>a</sup><sup>a</sup>ИЛ КарНЦ РАН, Россия, 185910 Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

\*E-mail: moshniks@krc.karelia.ru

Поступила в редакцию 26.02.2016 г.

После доработки 15.05.2018 г.

Принята к публикации 03.04.2019 г.

По результатам обработки данных более чем 250 пробных площадей определены запасы крупных древесных остатков (КДО) в сосновых лесах среднетаежной подзоны. Обнаружено, что запасы КДО в сосновых насаждениях варьируют в широких пределах (от 0 до 190 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>), в среднем постепенно увеличиваются с 23 м га<sup>-1</sup> в молодняках первого класса возраста (1–20 лет) до 66 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup> – в насаждениях восьмого класса возраста и старше (141 год и более). Выявлены статистически достоверные связи запаса КДО с основными таксационными показателями насаждений – возрастом, запасом, суммой площадей сечений, средними диаметром и высотой и т.д. Зависимости характеризуются высокой теснотой связи – коэффициенты корреляции с возрастом достигают 0.86, с запасом – 0.89. Связи между запасом КДО и долей участия главной породы в составе не отмечено. Выявлены динамика численности стволов и объема среднего дерева, а также возрастное изменение структуры КДО (соотношения “сухостой/валеж”). Полученные результаты могут быть применены для оценки запасов КДО сосняков средней тайги, при этом наиболее точным представляется метод, основанный на зависимости изучаемого показателя от запаса древостоя.

*Ключевые слова:* крупные древесные остатки, возраст, запас, сосновые леса, средняя тайга, Республика Карелия.

DOI: 10.1134/S0024114819040041

Известно, что на всем протяжении существования насаждения происходит отмирание древесных растений, и это одна из важнейших составных частей процесса развития лесного биогеоценоза. Причины этого явления различны – конкуренция, механические повреждения, болезни, насекомые, естественное старение и т.д. Существует определение всех компонентов мертвой древесины насаждения – “крупные древесные остатки” (КДО) (Замолдчиков, Уткин, 2005). Используется также термин “крупный древесный детрит”, по существу имеющий то же значение (Трейфельд, 2001). К КДО относят сухостой, валеж, пни, а также их обломки, т.е. мертвое древесное вещество (морт-масса) всех стадий разложения до перехода в гумус. Крупные древесные остатки представляют собой важный структурный компонент экосистемы, они являются местом обитания многих видов животных, растений и грибов (Meuser, 1999), а валеж и пни, кроме этого, участвуют в формировании мозаичного строения фитоценоза. Кроме того, сухостой может иметь вполне определенное

хозяйственное значение, к примеру, стоимость строительной древесины сухостойной сосны значительно превышает стоимость древесины, заготовленной в растущем виде.

Общепризнанным является также значение КДО для круговорота углерода наземных экосистем (Harmon et al., 1986; Карелин, Уткин, 2005), где древесный детрит является весьма важным звеном. Так, по данным Д.Г. Замолдчикова с соавт. (2007), вклад пула мертвой древесины лесов может достигать 8% общей величины стока углерода. При этом информации о запасах КДО в лесах России недостаточно, что, по мнению Р.Ф. Трейфельда и О.Н. Кранкиной (2001) является одной из основных причин расхождений в существующих оценках общих запасов и потоков углерода в лесах России. На необходимость уточнения запасов детрита в аспекте изучения баланса CO<sub>2</sub> лесных экосистем указывают и многие другие исследователи (Kurbanov, Krankina, 2000; Тарасов и др., 2000; Моисеев и др., 2001; Воробьев, 2006; Гитарский и др., 2006; Капица и др., 2012; и др.). Вопрос приобретает особую важность, учитывая возросшую частоту экстремаль-

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН.

но теплых лет (Чертов и др., 2012) и связанные с этим число и площадь лесных пожаров.

В настоящее время существуют несколько методик расчета основных пулов углерода лесов, в т.ч. разработанная в России – РОБУЛ (Замолотчиков, 2012), однако их региональная точность определения запасов КДО на фоне заметных различий в географических и климатических условиях неочевидна. В частности в Карелии ранее масштабных работ по учету КДО не осуществлялось, а запасы исследуемого пула углерода сосняков республики, рассчитанные с применением методики РОБУЛ, подходов Р.Ф. Трейфельда (2001) и наших данных (Мошников, Ананьев, 2013), существенно различаются (Ананьев и др., 2015). Поэтому для актуализации данных необходимы дополнительные исследования, проводимые на региональном уровне. Детализация позволит создать более целостную картину для лесов Российской Федерации и, в конечном итоге, повысить точность оценки пула в целом. Важным теоретическим элементом исследования является также установление связей исследуемого показателя с основными таксационными характеристиками насаждений, что упростит перенос (экстраполяцию) полученных результатов на данные Государственного лесного реестра. Таким образом, целью настоящего исследования явилось определение общих запасов КДО в среднетаежных сосновых лесах на территории Республики Карелия, выявление закономерностей, связей с таксационными показателями насаждений и их тесноты для оценки запасов КДО и соответствующего пула углерода в дальнейшем.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Республика Карелия расположена на северо-западе Европейской части России, между 60°41' и 66°39' с.ш. и 29°19' и 37°57' в.д. Протяженность ее территории с севера на юг составляет 660 км, общая площадь – 180,5 тыс. км<sup>2</sup>. Географическое положение республики, вытянутость ее территории в широтном направлении, наличие большого числа водоемов и пересеченность рельефа определяют различия в климате, почвах и растительности отдельных ее частей.

Исследованиями охвачены восемь районов, расположенных в южной части Республики Карелия. В более широком географическом аспекте объект расположен в пределах подзоны средней тайги. Таким образом, полученные результаты предполагается использовать для уточнения пула КДО в лесах Карелии и, возможно, в регионах со сходными естественно-географическими и климатическими условиями.

Изучение проводилось на постоянных и временных пробных площадях Института леса

КарНЦ РАН. Форма пробных площадей прямоугольная или круговая, постоянного радиуса. Площадь временных пробных площадей составляла от 400 до 800 м<sup>2</sup>, постоянных – от 2000 до 4000 м<sup>2</sup>. На пробных площадях производился сплошной пересчет растущих деревьев, описание подроста, подлеска и живого напочвенного покрова. Отдельно учитывались КДО, сухостой по двухсантиметровым ступеням толщины, валеж – путем обмера длины и диаметра на верхнем и нижнем концах бревна. Минимальный диаметр учетных стволов составлял 4 см. Объем корней определялся по данным Н.И. Казиминова и А.Е. Митрукова (1978). Учет запасов КДО на пробных площадях производился с учетом класса разложения в соответствии с рекомендациями, предложенными В.Г. Стороженко (2007) и Е.В. Шороховой, А.А. Шороховым (1999). Всего учет был осуществлен на 253 пробных площадях. В целом исследованиями охвачены насаждения широкого возрастного ряда – от 15 до 280 лет, основная их часть при этом осуществлялась в насаждениях возрастом 20–140 лет (75% пробных площадей). Преобладающая часть обследованных древостоев – естественного происхождения. Лесные культуры составляют менее 10% площади и сосредоточены преимущественно в молодняках. Исследования проводились в основных типах леса сосняков (от беломошникового до осоково-сфагнового). Число пробных площадей по типам леса распределяется следующим образом: лишайниковая группа (лишайниковый тип) – 16%; зеленомошная группа (брусничные – 25%, черничные – 49%); сфагновая группа (багульниковые, осоково-сфагновые и т.п.) – 10%. В целом распределение пробных площадей по типам леса отражает структуру сосновых лесов республики (Саковец, Иванчиков, 2003). Участие главной породы в составе насаждений колебалось от 5 до 10 ед. и в среднем составило 8,2 ед., лиственных – от 0 до 3 ед. и в среднем 0,9 ед. Класс бонитета варьировал от I до V, относительная полнота – от 0,46 до 1,3.

При камеральной обработке рассчитывались основные таксационные показатели насаждения (состав, запас, полнота, бонитет и т.д.) и запас мертвой древесины. Для более детального анализа данных обработка полученных материалов проводилась двумя основными путями: по массовым материалам таксации насаждений (без группировки) и по группам, объединенным в классы возраста. С целью выявления зависимости между запасом КДО и таксационными показателями проведен корреляционный и регрессионный анализы полученных данных с использованием пакета Statistica 10.

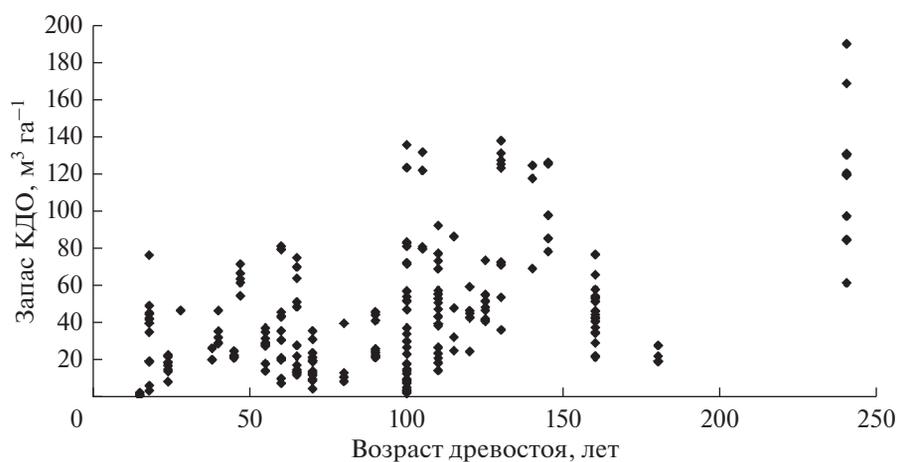


Рис. 1. Возрастная динамика запасов КДО ( $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$ ) в сосновых насаждениях средней тайги.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным данным запас крупных древесных остатков в сосняках варьирует в довольно широких пределах — от нуля до  $190 \text{ м}^3 \text{га}^{-1}$ . На величину показателя влияет ряд факторов — начиная от типа леса и возраста насаждений, заканчивая поврежденностью пожарами различной давности и ранее проведенными рубками. Последний фактор немаловажен: на пробных площадях со следами проведенных в прошлом рубок запас КДО повсеместно оказывался ниже, чем на незатронутых рубками. Сокращение запаса древесного детрита в пройденных рубками насаждениях, по-видимому, обусловлено снижением напряженности конкурентных отношений между древесными растениями, а также своевременной выборкой деревьев старшего возраста (до их естественного усыхания). Существенное влияние на исследуемый показатель также оказывают низовые пожары, с одной стороны усиливая изреживание, с другой — уничтожая значительную часть валежа в ходе непосредственного огневого воздействия.

В целом увеличение возраста и запаса насаждений сопровождается соответствующим изменением запаса КДО. Выявлены связи запаса КДО с таксационными показателями насаждений. На рис. 1 представлена зависимость запаса КДО от возраста насаждения, рассчитанная на массовом материале (без группировки данных). Несмотря на широкий диапазон разброса первичных данных, коэффициент корреляции составляет 0.63, т.е. тесноту связи можно охарактеризовать как среднюю.

Наиболее важным в аспекте оценки запасов КДО и в дальнейшем углерода, на наш взгляд, является зависимость исследуемого показателя от запаса древостоя. Это позволит если не исклю-

чить, то существенно уменьшить возможные искажения, связанные с преобладанием в составе пробных площадей средне- и высокопродуктивных насаждений, а также упростит дальнейшие расчеты (в частности при оценке запасов КДО и соответствующего пула углерода лесов Республики Карелия) на основании данных Государственного лесного реестра. На рис. 2 представлена зависимость между исследуемыми показателями. Теснота связи, также как и в предыдущем случае, характеризуется как средняя, коэффициент корреляции составляет 0.62. Прослеживается также положительная зависимость между запасом древесного детрита и суммой площадей сечений — коэффициент корреляции составляет 0.61, средними высотой и диаметром насаждения — 0.46 и 0.58 соответственно. Связи между запасом КДО и долей участия главной породы в составе не отмечено, однако не исключена ее вероятность в древостоях с большим участием лиственных (5–6 единиц). Зависимость между исследуемым показателем и классом бонитета насаждения в рамках оценки всего массива данных (т.е. без учета возраста древостоев) также не прослеживается. Однако предварительный анализ в пределах более узких возрастных диапазонов, например, классов возраста, позволяют говорить о наличии отрицательной корреляции — запас КДО уменьшается со снижением класса бонитета насаждения.

Таким образом, существует очевидная положительная связь между запасом крупных древесных остатков и таксационными показателями насаждений. Однако показатели тесноты связи недостаточны высоки и использование результатов в данном виде для аппроксимации на данные Государственного лесного реестра некорректно в виду высокой вероятности ошибки. Поэтому следующим этапом обработки была группировка данных по классам возраста. Ее цель — обобщение данных

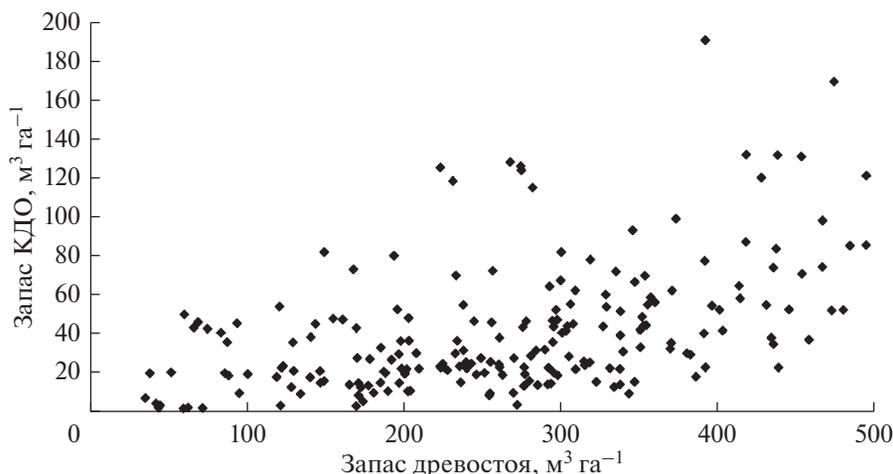


Рис. 2. Зависимость запаса КДО ( $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$ ) от запаса древостоя сосновых насаждений средней тайги.

и возможное снижение влияния разброса первичных значений. В табл. 1 приведены усредненные таксационные показатели насаждений на пробных площадях и запасы КДО в них. Следует отметить возрастные изменения в таксационных характеристиках, а именно снижение класса бонитета и запаса древостоев в возрасте 141 год и выше. Причинами данного явления видятся несколько более широкая представленность в этих классах возраста менее продуктивных насаждений, а также общая тенденция снижения класса бонитета с возрастом.

Несмотря на некоторые колебания, прослеживается очевидная тенденция увеличения запасов КДО с возрастом и запасом, а полученные результаты однозначно подтверждают целесообразность группировки данных подобным образом. Скорость накопления в насаждении древесного детрита при условии отсутствия катастрофических воздействий определяется интенсивностью изре-

живания и сроками разложения мертвой древесины. Перегушенность молодняков и, как следствие, высокая конкуренция обуславливают активную дифференциацию и усыхание большого количества отставших в росте деревьев. Однако это не приводит к быстрому увеличению запасов КДО, по-видимому, из-за малых объемов и сравнительно короткого периода разложения тонкомерных стволов. Наиболее быстро процесс накопления происходит в четвертом–шестом классах возраста. На фоне сокращения количества отпада можно предположить, что это связано с увеличением сроков разложения древесины более крупных в сравнении с молодняками стволов. Начиная с возраста 100–110 лет в насаждениях наблюдается тенденция выравнивания запасов древесного детрита (рис. 3). По-видимому, это связано с резким уменьшением интенсивности изреживания, обусловленной стабилизацией взаимоотношений в ценозе, достижением состояния динамического равновесия между поступлением свежего отпада и пе-

Таблица 1. Таксационные показатели и запасы КДО сосновых насаждений средней тайги по классам возраста

Класс возраста*	Возраст, лет	Число пробных площадей	Средние				Запас КДО, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$
			возраст, лет	доля участия сосны	класс бонитета	запас, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$	
I	0–20	18	17	8.6	I.9	64	22.5
II	21–40	17	31	8.1	I.6	157	25.0
III	41–60	30	55	9.2	II.2	264	37.2
IV	61–80	32	71	8.4	II.1	299	31.7
V	81–100	48	96	8.9	II.8	326	40.9
VI	101–120	35	111	7.1	II.8	384	63.0
VII	121–140	23	130	8.6	II.5	446	78.1
VIII	141–160	26	144	8.2	III.6	398	66.3
IX и >	161 и >	24	188	8.1	III.8	342	66.1

\* При расчетах насаждения в возрасте свыше 161 года в силу немногочисленности объединены в общую группу. Примечание. По данным обследования пробных площадей.

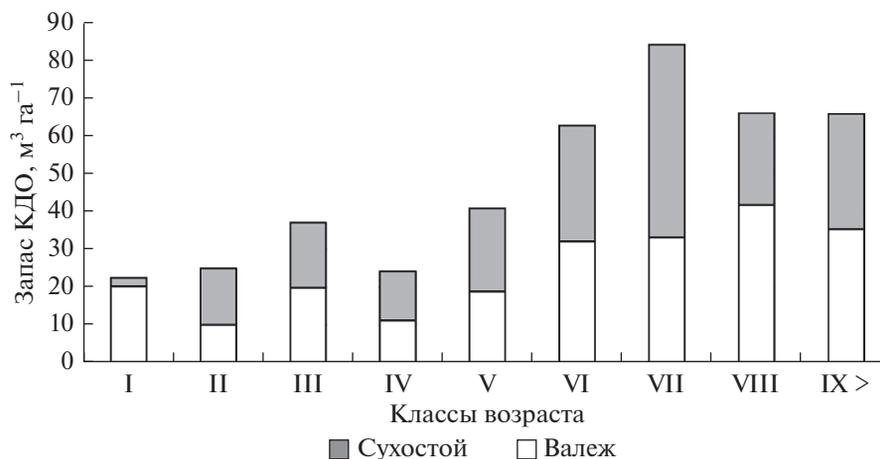


Рис. 3. Возрастная динамика запасов КДО в сосняках средней тайги.

реходом валежа в органическую часть почвы. Продолжительность периода составляет 40–50 лет. В насаждениях старше 180 лет проявляется закономерная склонность к увеличению запасов КДО. Математически показатели демонстрируют высокую согласованность – коэффициент корреляции составляет  $0.86 \pm 0.177$  ( $t_R = 5.0$ , достоверность на уровне значимости ( $p$ ) 0.01). Несмотря на это, использование указанной функции для расчетов не совсем корректно – из-за вероятности искажения значений запасов КДО в молодняках (в сторону занижения) и насаждениях старше 120 лет (в сторону завышения).

Зависимость запаса КДО от запаса насаждения представлена на рис. 4. Зависимость показателей можно определить как положительную достаточно высокой сопряженности ( $R = 0.89 \pm 0.176$ ,  $t_R = 5.03$ ,  $p = 0.01$ ), наиболее точно она описывается полиномиальной функцией. Применение линейной функции, несмотря на высокие показатели связи, приведет к занижению запасов древесного детрита в насаждениях с запасом менее  $50 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ .

Группировка данных существенно повышает сопряженность между исследуемым показателем и средними диаметром/высотой древостоя. Так, зависимость запаса КДО от средней высоты характеризуется коэффициентом корреляции, равным  $0.77 \pm 0.240$  ( $t_R = 3.22$ ,  $p = 0.05$ ), от среднего диаметра соответственно  $0.89 \pm 0.173$  ( $t_R = 5.15$ ,  $p = 0.001$ ). Также как и при оценке несгруппированных данных, средний диаметр демонстрирует большую согласованность показателей, чем высота. Зависимость запаса КДО от суммы площадей сечений древостоя, определенная по сгруппированным данным, тоже характеризуется весьма высоким показателем корреляции ( $R = 0.83 \pm 0.209$ ,  $t_R = 3.99$ ,  $p = 0.01$ ). Следует упомянуть, что между таксационными показателями насаждений, использованными в качестве предикторов – диаметром, высотой,

относительной полнотой и возрастом, имеется положительная связь (коэффициент корреляции для несгруппированных данных составляет 0.51 и выше, для сгруппированных – 0.78 и выше).

Важным аспектом для понимания структурных изменений не только в запасе КДО, но и в насаждении в целом является динамика численности КДО (табл. 2). Анализ полученных данных показывает, что в течение первых трех классов возраста (от 1 до 60 лет) наблюдается вполне закономерное усиление отпада, обусловленное высокой конкуренцией древесных растений в период активного роста. К возрасту 60–80 лет активная фаза изреживания заканчивается и наступает некоторая стабилизация численности стволов КДО, с колебаниями в пределах 400–800 деревьев на гектаре. Очевидное увеличение численности стволов усохших деревьев отмечается в возрасте 140 лет и старше. Возможными причинами в первую очередь видятся естественное (возрастное) отмирание и усиление меж- и внутривидовых конкурентных отношений в молодых поколениях древесных растений. Более полный ответ дает анализ возрастной динамики объема среднего дерева КДО.

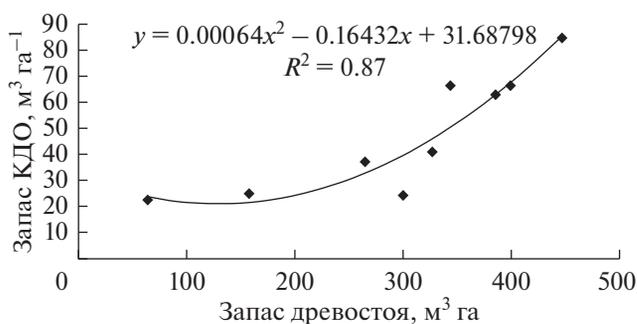


Рис. 4. Взаимосвязь между запасом насаждения и запасом КДО ( $\text{м}^3 \text{ га}^{-1}$ ) в сосняках средней тайги (данные сгруппированы по классам возраста).

**Таблица 2.** Возрастная динамика численности и объема стволов КДО в сосняках средней тайги

Класс возраста	Число стволов КДО, шт. га <sup>-1</sup>			Средний объем ствола КДО, м <sup>3</sup>		
	сухостой	валеж	всего	сухостой	валеж	всего
I	636	627	1263	0.003	0.032	0.018
II	1198	604	1802	0.013	0.017	0.014
III	710	728	1438	0.024	0.027	0.026
IV	303	395	698	0.043	0.028	0.034
V	229	217	446	0.096	0.087	0.092
VI	287	495	782	0.107	0.065	0.080
VII	160	280	440	0.330	0.119	0.195
VIII	263	448	711	0.093	0.94	0.093
IX и >	253	398	651	0.121	0.089	0.102

Изменение указанного показателя нелинейно, до возраста 120–140 лет он закономерно увеличивается – с 0.018 м<sup>3</sup> во втором классе возраста до почти 0.2 м<sup>3</sup> – в седьмом, после чего резко уменьшается, что особенно ярко прослеживается в сухостое. На фоне общего увеличения показателей древостоя такое изменение может быть обусловлено уже только одним фактором – появлением в числе КДО маломерных деревьев, вероятнее всего, подроста и тонкомера. Таким образом, причинами увеличения числа стволов КДО в возрасте 140–160 лет, по-видимому, можно считать не только изреживание основного полога в результате естественного старения, но и активное вовлечение в отпад деревьев молодого поколения, не выдержавших высокой конкуренции. Заметно больший объем среднего ствола КДО в первом классе возраста в сравнении с показателем второго класса возраста объясняется наличием на площади крупных валежных стволов дорубочного происхождения.

Довольно интересно возрастное изменение структуры КДО. Максимальное число стволов древесного детрита отмечено во втором классе возраста (21–40 лет). Здесь же наблюдается наибольшее преобладание численности сухостоя над валежом – почти двукратное. Далее ситуация меняется, уже в третьем классе возраста соотношение выравнивается, а к 120-летнему возрасту число стволов валежа превышает сухостой в 1.7 раза. Далее эта тенденция сохраняется, лишь несколько сглаживаясь в девятом и старшем классах возраста. Возрастная динамика компонентов КДО по запасу несколько отличается (рис. 3). В первом классе возраста наблюдается подавляющее преобладание доли валежа, составляющей почти 90% общего запаса. В дальнейшем соотношении “сухостой/валеж” относительно выравнивается, но начиная со 140-летнего возраста доля сухостоя опять начинает сокращаться. По-видимому, это обусловлено постепенным переходом части деревьев из категории “сухостой” в категорию “валеж”, а

также длительным сроком разложения крупномерных стволов.

**Заключение.** Запасы КДО в сосновых насаждениях средней тайги колеблются в довольно широких пределах – от нуля до 190 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>. С увеличением возраста запасы КДО в насаждениях закономерно растут – в среднем с 23 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup> в молодняках первого класса возраста (1–20 лет) до 66 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup> – в древостоях восьмого класса и выше (141 год и старше).

Максимальное число стволов древесного детрита наблюдается во втором классе возраста (21–40 лет), затем интенсивность изреживания древостоя снижается. Наименьшее количество сухостоя и валежа отмечено в возрасте 100–140 лет. В насаждениях старшего возраста отмечается некоторое увеличение числа усохших деревьев, по-видимому, из-за вовлечения в отпад представителей более молодых поколений.

Установлена статистически достоверная связь между запасом КДО и основными таксационными показателями насаждения – возрастом, запасом, суммой площадей сечений, средними диаметром и высотой. Наиболее важными с точки зрения дальнейшего применения являются зависимости исследуемого показателя от возраста и запаса насаждения. Связи характеризуются высокой теснотой – в сгруппированных по классам возраста данных коэффициент корреляции составляет 0.86 и 0.89 соответственно. Полученные результаты являются вполне применимыми для оценки запасов КДО сосняков средней тайги. Наиболее точным является метод, основанный на математической модели связи изучаемого показателя с запасом древостоя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ананьев В.А., Мошников С.А., Шорохова Е.В. Ресурсный и функциональный потенциал таежных ландшафтов. Углерод // Леса и их многоцелевое использование на Северо-Западе Европейской части таежной зоны России. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2015. С. 96–112.

- Воробьев О.Н. Структура, пространственное распределение и депонирование углерода в древесном детрите сосняков Марийского Заволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук (06.03.02). Йошкар-Ола: Марийский гос. тех. университет, 2006. 24 с.
- Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карabanь Р.Т. Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесах России в связи с выполнением обязательств по климатической конвенции ООН // Лесоведение. 2006. № 6. С. 34–44.
- Замолодчиков Д.Г. Система оценки бюджета углерода в лесах. 2012. URL: <http://old.cepl.rssi.ru/estimations.pdf> (дата обращения 06.02.2016).
- Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Запасы дегри и его деструкция в лесных экосистемах: обоснование модели для вычисления пулов и потоков углерода // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. Матер. 6 междунар. конф. г. Москва – г. Петрозаводск, 18–22 сентября 2005 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. С. 134–138.
- Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение. 2007. № 6. С. 23–34.
- Казимиров Н.И., Митруков А.Е. Изменчивость и математическая модель фитомассы сосновых деревьев и древостоев // Формирование и продуктивность сосновых насаждений Карельской АССР и Мурманской области: Сб. статей. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1978. С. 142–149.
- Капица Е.А., Шорохова Е.В., Кузнецов А.А. Пул углерода крупных древесных остатков в коренных лесах северо-запада Русской равнины // Лесоведение. 2012. № 5. С. 36–43.
- Карелин Д.В., Уткин А.И. Скорость и параметры разложения древесного дегри в лесных экосистемах: результаты анализа базы данных // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. Матер. 6 междунар. конф. г. Москва–г. Петрозаводск, 18–22 сентября 2005 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. С. 134–138.
- Моисеев Б.Н., Алферов А.М., Страхов В.В. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России // Лесное хоз-во. 2001. № 4. С. 18–20.
- Мошников С.А., Ананьев В.А. Запас древесного детрита в основных насаждениях Южной Карелии // Труды СПбНИИ лесн. хоз-ва. 2013. № 2. С. 22–28.
- Саковец В.И., Иванчиков А.А. Современное состояние лесного покрова // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. С. 43–48.
- Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. М.: ЗАО “Гриф и К”, 2007. 190 с.
- Тарасов М.Е., Алексеев В.А., Рябинин Б.Н. Оценка запаса и динамики детрита в лесах Ленинградской области // Труды СПбНИИ лесн. хоз-ва. 2000. Вып. 1 (2). С. 46–61.
- Трейфельд Р.Ф. Запасы и масса крупного древесного детрита (на примере Ленинградской области): Автореф. дис. ... канд. с.-х.н. (06.03.02). С-Пб.: Гос. лесотехническая академия им. С.М. Кирова, 2001. 24 с.
- Трейфельд Р.Ф., Кранкина О.Н. Определение запасов и фитомассы древесного детрита на основе данных лесостроительства // Лесное хоз-во. 2001. № 4. С. 23–26.
- Шорохова Е.В., Шорохов А.А. Характеристика классов разложения древесного детрита ели, березы и осины в ельниках подзоны средней тайги // Труды СПбНИИ лесн. хоз-ва, 1999. Вып. 1 (2). С. 17–23.
- Чертов О.Г., Комаров А.С., Грязькин А.В., Смирнов А.П., Бхатти Д.С. Имитационное моделирование влияния лесных пожаров на пулы углерода в хвойных лесах Европейской России и центральной Канады // Лесоведение. 2012. № 2. С. 2–11.
- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack K., Cummins Jr. K.W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems // Advances in Ecological Research. 1986. V. 15. P. 133–202.
- Kurbanov E., Krankina O. Woody detritus in temperate pine forests of Western Russia // World Resource Review. 2000. V. 12. № 4. P. 741–752.
- Meyer P. Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse // Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch Forstwiss Centralbl. 1999. V. 118. P. 167–180.

## Storages of Coarse Woody Debris in Pine Forests of Middle Taiga of Northwestern Russia (Case Study in Karelia)

S. A. Moshnikov<sup>1,\*</sup>, V. A. Anan'ev<sup>1</sup>, and V. A. Matyushkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forest Research Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences  
Pushkinskaya st. 11, Petrozavodsk, 185910 Russia

\*E-mail: moshniks@krc.karelia.ru

Received 26 February 2016

Revised 15 May 2018

Accepted 3 April 2019

Storages of coarse woody debris (CWD) were studied based on data of more than 250 sampling plots in pine forest of middle taiga. The CWD storages were found to vary from 0 to 190 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. They consequently increased from 23 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> in young-growth of the first age class (1–20 years old) to 66 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> in forests of eighth age class and older (more than 141 years). Statistically sound relationships between CDW storages and taxation indicators (age, stock, mean diameter and height, sum of basal areas etc.) were found. High correlations coefficients were found for relationships with age (0.86) and stock (0.89). Linkage between CDW storage and the share of the main specie in forest composition was not found. Dynamics of the number of trees and average volume of tree as well as changes in CDW structure (dead-standing/dead-down) were found. The

results could be applied in assessment of CDW storages of pine forests of middle taiga. The most accurate method would be based on the relationship with stand stock.

*Keywords: coarse woody debris, age, storages, pine forests, middle taiga, Republic of Karelia.*

**Acknowledgements:** This study was held in the framework of the state assignment to Forest Research Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences.

## REFERENCES

- Anan'ev V.A., Moshnikov S.A., Shorokhova E.V., Uglyerod (Carbon), In: *Lesnaya i ikh mnogotselevoe ispol'zovanie na severo-zapade evropeiskoi chasti taizhnoi zony Rossii (Forests and their multipurpose use in the north-west of the boreal zone of European Russia)* Petrozavodsk: Izd-vo KarNTs RAN, 2015, pp. 96–111 (188 p.).
- Gitar'skiy M.L., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Karaban R.T., Emissiya i pogloshchenie parnikovykh gazov v lesakh Rossii v svyazi s vypolnieniem obyazatel'stv po klimaticheskoi konventsii OON (Emission and absorption of greenhouse gases in forests of Russia related to the implementation of obligations under the U.N.O. climate convention), *Lesovedenie*, 2006, No. 6, pp. 34–44.
- Gromtsev A.N., Kitaev S.P., Krutov V.I., Kuznetsov O.L., Lindholm T., Yakovlev E.B., *Raznoobrazie bioty Karelii: usloviya formirovaniya, soobshchestva, vidy* (Diversity of Karelian biota: conditions, communities, species), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2003, 261 p.
- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Ammen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack Jr. K., Cummins K.W., Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems, In: *Advances in ecological research* Orlando: Academic Press, 1986, Vol. 15, pp. 133–302 (343 p.). <http://old.cepl.rssi.ru/estimations.pdf>, (06 February 2016).
- Kapitsa E.A., Shorokhova E.V., Kuznetsov A.A., Pul'ugleroda krupnykh drevesnykh ostatkov v korennykh lesakh severo-zapada Russkoi ravniny (Carbon pool of large wood residues in native forests of the Northwestern Russian Plain), *Lesovedenie*, 2012, No. 5, pp. 36–43.
- Karelin D.V., Utkin A.I., Skorost' i parametry razlozheniya drevesnogo debriisa v lesnykh ekosistemakh: rezul'taty analiza bazy dannykh (Rates and parameters of destruction of woody debris in forest ecosystems: results of database analysis), *Problems of forest phytopathology and mycology*, Moscow – Petrozavodsk, 18–22 September 2005, Petrozavodsk: Izd-vo KarelNTs RAN, 2005, pp. 173–178.
- Kazimirov N.I., Mitrukov A.E., Izmenchivost' i matematicheskaya model' fitomassy sosnovykh derev'ev i drevo-stoev (Variability and mathematical model of phytomass of pine trees and stands), In: *Formirovanie i produktivnost' sosnovykh nasazhdenii Karel'skoi ASSR i Murmanskoi oblasti (Development and productivity of pine forests of Karelian ASSR and Murmans Oblast)*: 1978, pp. 142–149 (152 p.).
- Meyer P., Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse, *Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch*, 1999, Vol. 118, No. 1–6, pp. 167–180.
- Moiseev B.N., Alferov A.M., Strakhov V.V., Ob otsenke zapasa i prirosta ugleroda v lesakh Rossii (Assessment of storage and increment of carbon in forests of Russia), *Lesnoe khozyaistvo*, 2000, No. 4, pp. 18–20.
- Moshnikov S.A., Ananyev V.A., Zapas drevesnogo detrita v osnovnykh nasazhdeniyakh Yuzhnoi Karelii (Coarse woody debris stock in the pine forests of South Karelia), *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva*, 2013, No. 2, pp. 22–28.
- Shorokhova E.V., Shorokhov A.A., Kharakteristika klassov razlozheniya drevesnogo detrita eli, berezy i osiny v el'nikakh podzony srednei taigi (Features of the woody debris decomposition classes of spruce, birch and aspen in spruce forests of subdomain of middle taiga), *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva*, 1999, No. 1, pp. 17–23.
- Storozhenko V.G., Ustoichivye lesnye soobshchestva: teoriya i eksperiment (Sustainable forest communities: theory and experiment), Moscow: Grif i K, 2007, 190 p.
- Tarasov M.E., Alekseev V.A., Ryabinin B.N., Otsenka zapasa i dinamiki detrita v lesakh Leningradskoi oblasti (Assessment of storage and dynamics of litter in forests of Leningrad Oblast), *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva*, 2000, No. 1 (2), pp. 46–61.
- Treifel'd R.F., *Zapasy i massa krupnogo drevesnogo detrita (na primere Leningradskoi oblasti). Avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk* (Storages and mass of coarse woody debris (case study in Leningrad Oblast). Extended abstract of Candidate's agr. sci. thesis), Saint-Petersburg: SPbGLTA, 2001, 24 p.
- Treifel'd R.F., Krankina O.N., Opredelenie zapasov fitomassy drevesnogo detrita na osnove dannykh lesoustroistva (Estimation of storages of phytomass of tree litter based on forest planning data), *Lesnoe khozyaistvo*, 2001, No. 4, pp. 23–26.
- Vorob'ev O.N., *Struktura, prostranstvennoe raspredelenie i deponirovanie ugleroda v drevesnom detrite sosnyakov Mariiskogo Zavolzh'ya. Avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk* (Structure, spatial patterns and deposition of carbon in woody debris in pine forests of Mari Transvolga region. Extended abstract of Candidate's agr. sci. thesis), Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006, 24 p.
- Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Gitar'skiy M.L., Byudzhet ugleroda upravlyaemykh lesov Rossiiskoi Federatsii (Carbon budget of the managed forests of the Russian Federation), *Lesovedenie*, 2007, No. 6, pp. 23–34.
- Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Zapasy debriisa i ego destruktivnaya v lesnykh ekosistemakh: obosnovanie modeli dlya vychisleniya pulov i potokov ugleroda (Storages and destruction of debris in forest ecosystems: basis of modeling of pools and fluxes of carbon), *Problems of forest phytopathology and mycology*, Moscow – Petrozavodsk, 18–22 September 2005, Petrozavodsk: Izd-vo KarelNTs RAN, 2005, pp. 134–138.