

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630.181.9

**ВКЛАД КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ  
В ДИНАМИКУ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА  
ПОСЛЕРУБОЧНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ\***

© 2012 г. Л. В. Мухортова, Э. Ф. Ведрова

*Институт леса им В.Н.Сукачева СО РАН*

*660036 Красноярск, Академгородок, 50/28*

*E-mail: l.mukhortova@gmail.com*

Поступила в редакцию 02.03.2012 г.

Проведена оценка запасов крупных древесных остатков (КДО) в лесных экосистемах послерубочных восстановительных сукцессий сосняков и пихтарников Восточного Прибайкалья. Установлено, что их относительный вклад в общие запасы органического вещества в контрольных вариантах сосняка и пихтарника близки и составляют 10.3–12.5%. Вклад КДО в общие запасы фитодетрита в ненарушенных пихтарниках, как и в сосняках, составляет 34–38%. На свежей пихтовой вырубке их вклад существенно увеличивается и достигает 68.6–83.2%. Рассчитана константа скорости разложения КДО в условиях сосняков и пихтарников.

*Лесные экосистемы, крупные древесные остатки, запасы, скорость разложения.*

В лесных экосистемах заметное место в общем объеме разлагающегося растительного материала могут составлять крупные древесные остатки (КДО), которые поступают на поверхность почвы в результате гибели и отпада деревьев [9]. По оценкам разных авторов запас КДО может быть эквивалентен 3–100% запаса живой фитомассы в лесных экосистемах [24]. Так, например, в бореальной и умеренной зонах Западной Европы и Северной Америки оценки запаса крупных древесных остатков варьируют незначительно и в большинстве случаев находятся в пределах 20–60 т га<sup>-1</sup>, изредка достигая 100–120 т га<sup>-1</sup> [15, 17, 22, 23, 25]. В девственных горных темнохвойных лесах северо-запада США запасы крупного древесного детрита могут составлять до 1000 т га<sup>-1</sup> в насаждениях 600–1000-летнего возраста [22, 28].

Крупные древесные остатки, являясь частью растительного материала, поступающего на поверхность почвы, играют важную роль в структуре и функционировании лесных экосистем. В биогеохимическом отношении разлагающиеся стволы представляют собой запас и источник углерода и питательных веществ, являются локусом асим-

биотической фиксации азота [16] и источником формирования органических горизонтов лесной почвы [26, 18]. Медленное высвобождение минеральных элементов из разлагающейся древесины способствует консервации питательных веществ, предотвращая их потерю в результате выщелачивания, и обеспечивает долгосрочные потребности древесных видов в макроэлементах [19].

Запасы *органического вещества* (ОВ) крупных древесных остатков определяются продуктивностью насаждений, связанной с географическим положением, возрастом древостоя и условиями разложения растительных остатков (гидротермические условия местообитания и трофность почвы) [4, 14]. Однако хозяйственная деятельность человека может существенно изменять естественный ход формирования запасов ОВ в различных компонентах лесных экосистем. Рубка леса, в частности, с одной стороны ведет к изъятию из экосистемы значительной части живой древесной фитомассы, с другой, – к поступлению свежего древесного дебриса в состав пула КДО в виде так называемых «порубочных остатков». Изменения пулов ОВ в лесных экосистемах может вести к изменениям интенсивности основных потоков и, как следствие, нарушению баланса углерода в системе.

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект № 10-04-00337-а), РФФИ-ККФПН и НТД (проекты №№ 11-04-98008 и 11-04-98089).

Целью данных исследований было установление особенностей формирования и динамики пула КДО в экосистемах послерубочных восстановительных сукцессий сосняков и пихтарников Восточного Прибайкалья и оценка их вклада в общие запасы органического вещества в естественных и нарушенных экосистемах.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Согласно системе лесорастительного районирования, исследования проводились на территории Восточно-прибайкальской горной лесорастительной провинции темнохвойных лесов Прибайкальской горной лесорастительной области [11]. Пробные площади закладывались в сосняках Улан-Бургасского лесорастительного округа подтаежных сосново-лиственничных и горно-таежных темнохвойных лесов и в пихтарниках Хамар-Дабанского лесорастительного округа таежно-черневых и горно-таежных пихтовых и кедровых лесов. Всего было заложено 6 пробных площадей: три – для изучения восстановительной динамики послерубочных сосняков и три – для восстановительного ряда пихтарников. Таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 1.

Контрольный древостой в восстановительном ряду сосновых лесов (52°32' с.ш., 107°58' в.д.) представляет собой сосняк рододендрово-бруснично-лишайниковый 180-летнего возраста, неоднократно пройденный низовыми пожарами. Он расположен на выположенной поверхности коренного склона крутизной около 20° южной экспозиции. Сомкнутость крон материнского полога древостоя 0.6–0.7. Почва – подзол грубогумусированный.

Промежуточный этап восстановления представляет собой сосняк рододендрово-бруснично-разнотравный (52°30' с.ш., 107°59' в.д.), сформировавшийся на месте сплошной вырубki

60-летней давности на ровном склоне крутизной 25° юго-западной экспозиции. Возраст древостоя 50–55 лет. Сомкнутость крон 0.8–0.9. Число деревьев около 3 тыс. шт га<sup>-1</sup>. Почва – подзол трансформированный.

Пробная площадь, представляющая свежую вырубку сосняка рододендрово-бруснично-лишайникового, заложена на выпуклом склоне юго-западной экспозиции крутизной 10° (52°30' с.ш., 107°58' в.д.). Оставлен тонкомер сосны запасом около 15 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>, сохранность подроста – 70% (4–5 тыс. шт. га<sup>-1</sup>), 30% площади вырубki занято порубочными остатками. Почва – подзол грубогумусированный.

Контрольный древостой в восстановительном ряду пихтарников представлен 220-летним пихтарником чернично-зеленомошным (51°32' с.ш., 105°51' в.д.). Почва – подбур грубогумусированный.

Вырубка 26-летней давности расположена на пологом склоне (5°) южной экспозиции (51°32' с.ш., 105°50' в.д.) и представлена пихтарником чернично-зеленомошным в возрасте 50–55 лет, сформировавшимся из сохраненного в процессе рубки подроста предшествующей генерации. Почва – подбур оподзоленный.

Пробная площадь, заложенная на месте 3-летней вырубki с сохраненным подростом (51°33' с.ш., 105°49' в.д.), представлена вейниково-разнотравным сообществом с густым возобновлением пихты. Подрост пихты благонадежный (9.5 тыс. шт. га<sup>-1</sup>, высотой до 50 см). Склон западной экспозиции, 5°, ровный. Захламленность составляет 50%, а нарушенная поверхность почвы – 30% от общей площади вырубki. Почва – подбур грубогумусированный.

На пробных площадях был проведен учет запасов органического вещества в составе живой фитомассы древесного и травяно-кустарничкового ярусов и мохово-лишайникового покрова (общая фитомасса), и растительного детрита на

**Таблица 1.** Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях

Пробная площадь	Состав древостоя	Возраст древостоя, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Бонитет	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>
Сосняки, Улан-Бургасы, Кикинский лесхоз							
Контроль Вырубка, (60 лет)	10С+Лц	180	19.5	22.0	IV	0.7	180
	10С+ЛцедК	60	10.3	9.8	V	1.0	122
Пихтарники, Хамар-Дабан, Бабушкинский лесхоз, урочище Бушелай							
Контроль Вырубка, (26 лет)	10ПедК	220	12.4	16	Va	1.7	199.4
	10ПедК	55	4.7	6.1	Va	0.75	17.5

Примечание: С – сосна, П – пихта, Лц – лиственница, едК – единично кедр; IV, V, Va – класс бонитета

поверхности почвы (подстилка и КДО) и в ее толще (корневой детрит) [2]. К крупным древесным остаткам относили стволы валеж, пни, скелетные корни, порубочные остатки и ветви диаметром более 3 см.

На пробных площадях, характеризующих вырубку, определение запасов КДО проводили отдельно на пасаках и волоках. Ширина волока составляет 5–6 м, пасаки – 30 м. Запасы КДО определяли на площадках размером 100–200 м<sup>2</sup>, в зависимости от размера пробной площади. На площадках проводили сплошной учет всех стволов и пней с определением их линейных размеров (диаметры на противоположных концах и длина (ствола или ветви) или высота (для пней)) и отнесением к одному из 3-х классов разложения. Выделение различных классов разложения проводилось по визуальным признакам в полевых условиях. Основными признаками отнесения древесины к той или иной стадии разложения являлись ее плотность, наличие коры и ветвей: I стадия – древесина не утратила своей твердости, на стволах сохраняются кора и ветви; II стадия – древесина частично утратила твердость, кора довольно легко отслаивается, присутствуют крупные и мелкие ветви; III стадия – древесина почти полностью утратила свою твердость, на стволах в незначительном количестве имеются кора и крупные ветви [3]. Объем стволов и пней рассчитывали по формуле объема усеченного конуса. Плотность древесины для каждой из выделяемых стадий разложения определена методом измерения выталкивающей силы образцов, погруженных в воду [5]. Расчет запасов КДО в толще почвы, в виде корней оставшихся после рубки деревьев, проводили на основе запаса стволы древесины для деревьев того же диаметра, что и диаметр обнаруженных пней, с использованием конверсионных коэффициентов [8].

Анализ химического состава древесины проводили в среднем образце для каждой стадии разложения отдельно для каждой из исследованных пробных площадей. Содержание общего углерода, азота и минеральных элементов (Са, Mg, P и К) определялось методом инфракрасной отражательной спектроскопии с помощью аналитической системы PSCO/ICI IBM-PC 4250 [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для пробных площадей восстановительных рядов ранее [2] было установлено, что контрольный сосняк рододендрово-бруснично-лишайниковый в возрасте 180 лет накапливает в фитомассе 135 т га<sup>-1</sup> ОВ, практически полностью сосредоточенного в древостое (табл. 2). На свежей вырубке запас ОВ в оставленном подросте относитель-

но фитомассы древостоя контрольного варианта составил 11%. Общий запас ОВ фитомассы на пасеке после рубки составил 18.3 т га<sup>-1</sup>. На трелевочном волоке, укрепленном порубочными остатками, ОВ представлено травяно-кустарничковым ярусом, масса которого за счет развитого высокотравья в 1.6 раз больше, чем на пасеке. На вырубке 60-летней давности сформировался припевающий сосняк рододендрово-бруснично-разнотравного типа с запасом фитомассы, равной 92.5 т га<sup>-1</sup>, что в 1.5 раза ниже, чем в контрольном перестойном сосняке.

В контрольном пихтарнике чернично-зелено-мошном 220-летнего возраста запас фитомассы древостоя составляет 121.4 т га<sup>-1</sup> (табл. 3). Через 3 года после рубки запасы ОВ в живом растительном веществе составили всего 12 т га<sup>-1</sup> и были сосредоточены в травяно-кустарничковом ярусе. На волоке вырубки масса напочвенного покрова ниже в 2 раза.

В насаждении пихты на месте вырубки 26-летней давности (возраст древостоя 50–55 лет) в растительном блоке сосредоточено в 6.5 раз меньше ОВ, чем в контрольном пихтарнике; 60% его массы приходится на древостой (табл. 3). Волок бывшей вырубки имеет развитый напочвенный покров, по массе приближающийся к фитомассе древостоя на пасеке.

Общие запасы КДО (ствола, пни и корни мертвых деревьев) в контрольном сосняке составляют 26.6 т га<sup>-1</sup>, что очень близко запасам на пасеке свежей вырубке (25.8 т га<sup>-1</sup>), в то время как на волоке этой вырубке запас КДО не превышает 2.4 т га<sup>-1</sup>. Такие различия в запасах на пасеке и волоке объясняются тем, что именно на пасаках были устроены свалки порубочных остатков. К 60-летнему возрасту запасы КДО в послерубочном сосняке составляют 12.4 т га<sup>-1</sup>.

Общие запасы фитодетрита (подстилка, корневой детрит, КДО) на волоке свежей сосновой вырубке более чем в 2 раза ниже, чем на пасеке (табл. 2). Это обусловлено удалением слоя подстилки и существенным нарушением поверхностных слоев почвы, содержащих основные запасы органического материала, при трелевке стволов вниз по склону. На пасеке свежей вырубке масса КДО практически в 2 раза превосходит запасы живой фитомассы древостоя. К 60–180-летнему возрасту запас КДО снижается и составляет 13–18% общего запаса живой древесной фитомассы в этих сосновых древостоях.

В восстановительном ряду пихтарников волок 3-летней вырубке отличается более высокими запасами КДО (123.3 т га<sup>-1</sup> против 109.5 т га<sup>-1</sup> на пасеке этой вырубке) (табл. 3). Их вклад в общие

**Таблица 2.** Запасы органического вещества растительного происхождения в сосняках\*

Компонент органического вещества	Контроль, 180 лет	Вырубка 2 года		Вырубка 60 лет
		пасека	волок	
Фитомасса, в том числе:	<u>135.1</u>	<u>18.3</u>	<u>5.0</u>	<u>92.5</u>
	63.4	18.7	12.9	68.7
древостой	<u>132.8</u>	<u>14.8</u>		<u>90.0</u>
	62.3	15.1	0	66.8
Фитодетрит, в том числе	<u>78.01</u>	<u>79.75</u>	<u>33.72</u>	<u>42.18</u>
	36.6	81.33	87.0	31.3
крупные древесные	<u>26.61</u>	<u>25.75</u>	<u>2.42</u>	<u>12.38</u>
остатки, в том числе:	12.5	26.3	6.3	9.2
стволы и пни	<u>25.05</u>	<u>20.31</u>	<u>2.02</u>	<u>3.53</u>
	11.8	20.7	5.2	2.6
корни	<u>1.56</u>	<u>5.44</u>	<u>0.40</u>	<u>8.85</u>
	0.7	5.5	1.1	6.6
Всего	213.11	98.05	38.72	134.68

\* в числителе – т га<sup>-1</sup>, в знаменателе – %**Таблица 3.** Запасы органического вещества растительного происхождения в пихтарниках\*

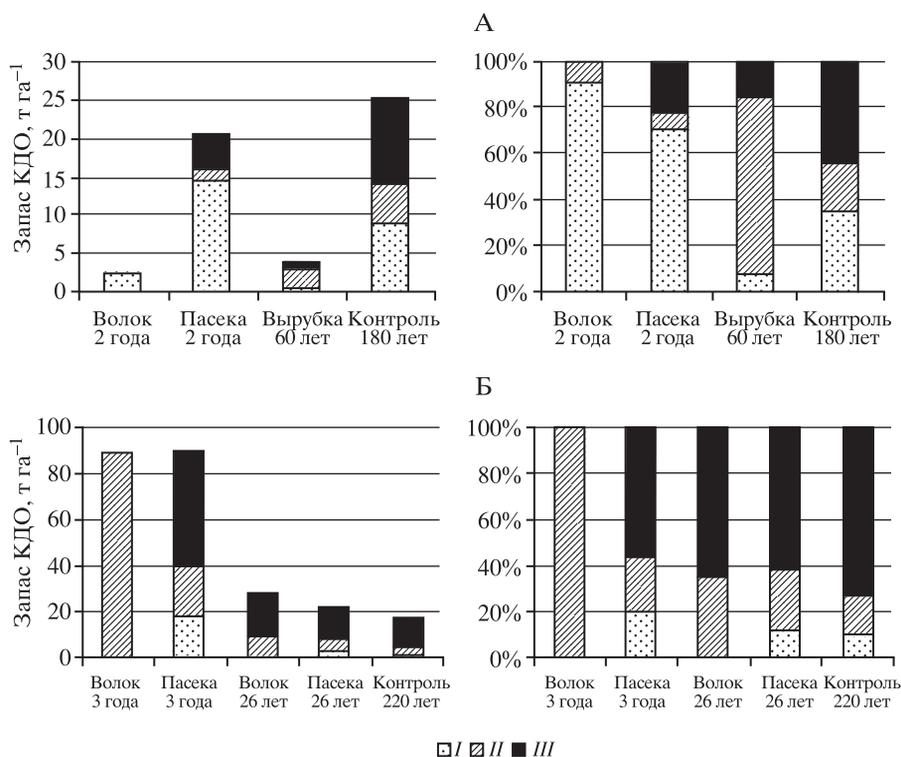
Компонент органического вещества	Контроль, 220 лет	Вырубка 3 года		Вырубка 26 лет	
		пасека	волок	пасека	волок
Фитомасса, в том числе:	<u>129.95</u>	<u>12.00</u>	<u>5.89</u>	<u>19.78</u>	<u>10.06</u>
	73.1	7.0	3.8	21.0	15.1
древостой	<u>121.35</u>	–	0	<u>11.91</u>	0
	68.2			12.6	
Фитодетрит, в том числе	<u>47.93</u>	<u>159.77</u>	<u>147.17</u>	<u>74.38</u>	<u>56.7</u>
	26.9	93.0	96.1	79.0	84.9
крупные древесные	<u>18.30</u>	<u>109.54</u>	<u>123.25</u>	<u>33.52</u>	<u>36.40</u>
остатки, в том числе:	10.3	63.8	80.5	35.6	54.5
стволы и пни	<u>16.84</u>	<u>96.02</u>	<u>100.79</u>	<u>22.08</u>	<u>27.99</u>
	9.4	55.9	65.8	23.4	41.9
корни	<u>1.45</u>	<u>13.53</u>	<u>22.45</u>	<u>11.44</u>	<u>8.42</u>
	0.8	7.9	14.7	12.1	12.6
Всего	177.88	171.77	153.06	94.16	66.76

\* в числителе – т га<sup>-1</sup>, в знаменателе – %

запасы ОВ составляет 63.8% на пасеке и 80.5% – на волоке этой вырубки. Подобные различия вклада КДО в общие запасы ОВ сохраняются и на пасеке и волоке 26-летней вырубки, соответственно, 35.6 и 54.5%. Контрольные участки сосны и пихты близки между собой по вкладу КДО в общие запасы ОВ: 10.3 и 12.5% соответственно. Вклад КДО в массу фитодетрита ненарушенных насаждений также близок 34–38%. На свежей пихтовой вырубке вклад КДО существенно увеличивается и достигает 68.6–83.2%, снижаясь к 26-летнему возрасту до 45 и 64% на пасеке и волоке соответственно.

Доля мертвых корней в массе КДО в ненарушенных древостоях как сосны, так и пихты составляет всего 6-8%. Вырубка древостоя ведет к увеличению пула мертвых скелетных корней в толще почвы. Их доля в общих запасах КДО на вырубках сосняков и пихтарников увеличилась до 21–34%.

Вырубка древостоя приводит к одновременному поступлению на поверхность почвы большого количества порубочных остатков, в результате чего запас КДО на поверхности почвы 3-летней пихтовой вырубки достигает 96 т га<sup>-1</sup>. При этом, если на пасеке относительная доля свежего древесного материала не превышает 35% общих



**Рис. 1.** Динамика запасов и структуры крупных древесных остатков на поверхности почвы в сосновых (А) и пихтовых (Б) вырубках: I, II, III – классы разложения.

запасов древесного дебриса на поверхности почвы, то на волоке той же вырубке запас КДО на 90% представлен древесиной, находящейся на I–II стадиях разложения (рис.1,Б). На 26-летней вырубке запас КДО на поверхности почвы составляет только 30 т га<sup>-1</sup>. За 26 лет свежая древесина порубочных остатков на волоке достигает II–III стадий разложения. На пасеке этой вырубке запасы КДО по своей структуре близки к таковым в контрольном, ненарушенном древостое (рис. 1, Б).

В восстановительном ряду сосняков не обнаружено подобной динамики. Запас стволового валежа в контрольном 180-летнем сосняке составляет 25 т га<sup>-1</sup>, эти запасы относительно равномерно распределены между тремя выделяемыми классами разложения (рис. 1, А). Вырубка древостоя, так же как и в пихтарниках, ведет к нарушению структуры общих запасов. На волоке 2-летней вырубке преобладают древесные остатки I–II классов разложения. На пасеке обнаружены все стадии разложения, однако общие запасы КДО здесь несколько ниже, чем в ненарушенном древостое (рис. 1, А). На вырубке 60-летней давности запас КДО все еще остается невысоким (3.5 т га<sup>-1</sup>), а в структуре запасов преобладают валеж и пни II класса разложения. На долю III стадии разложения приходится не более 16% общих запасов КДО.

Процесс разложения древесины сопровождается высвобождением углерода и минеральных элементов, что ведет к потере массы и, как следствие, к снижению плотности древесины при сохранении объема ствола. Базисная плотность живой здоровой древесины отличается для разных видов деревьев [7, 29].

По нашим данным для сосняков и пихтарников Восточного Прибайкалья плотность живой древесины сосны (*Pinus sylvestris* L) и пихты (*Abies sibirica* Ledeb.) не различается и равна, соответственно, 0.448±0.021 и 0.443±0.024 г см<sup>-3</sup>.

Плотность древесины валежа сосны на I стадии разложения составляет, соответственно, 0.468±0.020 г см<sup>-3</sup> и снижается в среднем до 0.430±0.017 г см<sup>-3</sup> на II стадии разложения и до 0.310±0.031 г см<sup>-3</sup> на III стадии разложения. Для древесины пихты характерно увеличение плотности на I стадии разложения до 0.525±0.020 г см<sup>-3</sup> с последующим снижением до 0.376±0.024 г см<sup>-3</sup> на II стадии разложения и 0.273±0.013 г см<sup>-3</sup> на III стадии. В целом плотность древесины валежа сосны находится в пределах величин, установленных для этого вида другими авторами [6].

Плотность древесины валежа пихты в горных лесах Восточного Прибайкалья несколько выше, по сравнению с данными, приведенными други-

ми авторами для этого вида в других регионах [29]. Базисная плотность стволового валежа пихты по литературным данным снижается при разложении от  $0.320 \pm 0.012$  до  $0.204 \pm 0.025$  г см<sup>-3</sup>. Относительный вес древесины валежа в сосняках изменяется в пределах от  $0.572 \pm 0.021$  до  $0.260 \pm 0.013$  г см<sup>-3</sup> [12].

Основываясь на приведенных результатах учета запасов КДО разных стадий разложения на волоках свежих вырубок сосняков и пихтарников, можно предположить, что на волоке настоящей 26-летней вырубке пихтарника изначально (сразу после проведения рубки) также преобладали свежие древесные остатки (до 97%). Однако к 26-летнему возрасту около 65% этих запасов достигло уже III стадии разложения. Поскольку на волоке поступление свежего отпада проблематично (древостой там до сих пор отсутствует), то и стволы, находящиеся еще на II стадии разложения, вероятно, также представляют собой порубочные остатки 26-летней давности. Исходя из этого, можно предположить, что запас крупных древесных остатков, обнаруженный нами на волоке 3-летней вырубке, в течение следующих 26 лет также достигнет III стадии разложения. Принимая во внимание, что при переходе от I к III-стадии разложения древесина пихты теряет до 48% своей плотности, потери органического вещества за счет разложения запаса КДО в этом пихтарнике будут составлять около 50 т га<sup>-1</sup> (65% запаса достигнет III стадии разложения с потерей 48% массы, 35% – II стадии разложения с потерей 28% массы).

В отличие от пихты древесина сосны теряет только 34% своей массы при переходе из состояния I стадии разложения к III. Особенностью структуры запасов КДО на 60-летней вырубке является также то, что I и II стадии разложения здесь представлены стволами и пнями осины, максимальный диаметр которой не превышает 5 см. Стволы и пни III стадии разложения, по видимому, являются послерубочными остатками сосны, поскольку их диаметр намного больше диаметра стволов современного древостоя. Кроме того, общие запасы КДО в сосняках на свежей вырубке намного ниже по сравнению с пихтовой вырубкой. Исходя из этого, предполагаемая потеря органического вещества в результате разложения массы КДО на свежей вырубке сосняка рододендрово-бруснично-лишайникового в последующие 60 лет может составить не более 4 т га<sup>-1</sup> (поскольку потеря плотности при переходе из состояния I стадии разложения к III составляет здесь всего 34%).

Исходя из степени трансформации древесины КДО, поступивших на поверхность почвы в результате рубки древостоя, можно рассчитать скорость

разложения валежа в сосняках и пихтарниках Восточного Прибайкалья. Рассчитанная на основании экспоненциальной модели [27], константа скорости разложения составила  $0.025$  год<sup>-1</sup> для КДО в пихтарниках и  $0.0069$  год<sup>-1</sup> для соснового валежа.

Полученная нами величина константы разложения для древесины пихты находится на нижнем пределе значений, полученных другими авторами для этой породы. По оценкам разных авторов для средней тайги России она составляет от  $0.025$  до  $0.059$  год<sup>-1</sup> [10, 21, 29]. Приводимая в литературе скорость разложения стволового валежа сосны несколько выше, по сравнению с рассчитанной в нашей работе, и составляет, по данным этих же авторов, от  $0.015$  до  $0.051$  год<sup>-1</sup> [10, 21, 29]. Наиболее близки нашим значения константы скорости разложения, полученные для сосняков среднетаежной зоны Красноярского края ( $k = 0.008$ – $0.013$  год<sup>-1</sup>) [13].

Известно, что скорость разложения любых растительных остатков, и древесного дебриса в том числе, зависит от химического состава разлагаемого субстрата и от условий, в которых это разложение протекает.

По данным Е.В. Шороховой с соавторами [14], наиболее значимым фактором, определяющим изменчивость базисной плотности разлагающейся древесины, а значит и скорость разложения, является принадлежность ствола к определенной древесной породе. Другими факторами, влияющими на скорость разложения древесины, признаны природная зона, диаметр КДО и трофность почвы [14].

Зависимость скорости ксилолиза пней и валежа от породы объясняется различием в химическом составе и анатомическом строении древесины [14]. Нами было установлено, что исходно древесина сосны отличается более низким содержанием кальция, фосфора и азота, по сравнению с древесиной пихты (рис. 2, А, Б).

С другой стороны, пихтарники на Хамар-Дабане произрастают в более влажных условиях – среднегодовое количество осадков, составляет здесь 576 мм, что почти на 130 мм больше по сравнению с количеством осадков, выпадающих ежегодно на территории сосняков Улан-Бургасского лесорастительного округа (449.7 мм). Среднегодовая температура воздуха также различается и составляет  $+0.6$  °С на Хамар-Дабане и  $-0.5$  °С на Улан-Бургасы. Кроме того, исследуемые сосняки относятся к типу лишайниковых, в то время как в пихтарниках преобладает моховый покров, и это также связано с различиями в режиме увлажнения. Для подбуров пихтарников характерно более высокое содержание гумуса в верхнем слое (11–14% углерода), в то время как

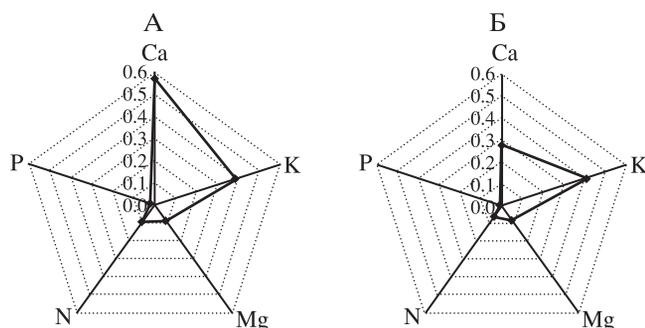


Рис. 2. Концентрация основных макроэлементов в древесине пихты (А) и сосны (Б), %.

подзолы сосняков содержат всего 5–6% углерода гумуса в слое 0–5 см почвы [2].

Поскольку в пихтарниках к 26-летнему возрасту вырубке большая часть (65%) образовавшегося запаса КДО достигает III-й стадии разложения, соответственно теряя до 48% своей массы, можно предположить, что поток органического вещества при разложении пула крупных древесных остатков на 3-летней вырубке за такой же период времени составит до  $50 \text{ т га}^{-1}$ , исходя из величины их запасов на волоке и пасеке этого участка. Очевидно, что это количество не может быть скомпенсировано увеличением живой фитомассы древесного и травяно-кустарничкового ярусов, поскольку за прошедший после рубки промежуток времени древесная фитомасса на 26-летней пихтовой вырубке увеличилась всего на  $4\text{--}8 \text{ т га}^{-1}$  (табл. 3).

Совершенно иная картина наблюдается в восстановительном ряду сосняков. Наиболее высокими запасами КДО здесь характеризуется нарушенный древостой. За 60 лет формирования нового древостоя на месте сплошной вырубке не происходит поступления свежего отпада деревьев сосны, а пул КДО формируется за счет отпада осины и послерубочных остатков сосны III стадии разложения. Скорость разложения КДО в менее влажных таежных сосняках значительно ниже, чем в пихтарниках. Исходя из запасов КДО на волоке и пасеке этой вырубке, поток органического вещества из разлагающейся древесины на свежей сосновой вырубке может составить не более  $4 \text{ т га}^{-1}$ . Это значительно ниже прироста фитомассы за этот же промежуток времени, поскольку на сосновой вырубке увеличение фитомассы за 60 лет может составлять от  $76$  до  $87 \text{ т га}^{-1}$  (по сравнению с пасекой и волоком свежей вырубке) (табл. 2).

**Заключение.** Таким образом, вырубка древостоя приводит к существенному увеличению пула крупных древесных остатков как на поверхности почвы (в виде порубочных остатков и пней), так и в ее толще в виде скелетных корней срубленных деревьев.

Скорость разложения КДО в таежных сосняках значительно ниже по-сравнению с пихтарниками, что обусловлено целым комплексом факторов, включая качественный состав древесины этих видов, гидротермические условия произрастания и почвенные условия.

Медленное восстановление фитомассы древесного и травяно-кустарничкового ярусов в экосистемах пихтарников после рубки предполагает преобладание потока углерода, высвобождающегося при разложении КДО, над его аккумуляцией в живой фитомассе. Относительно невысокие запасы КДО, низкая скорость их разложения и высокая энергия роста сосны, напротив, способствуют тому, что в послерубочных экосистемах сосняков аккумуляция углерода в живой фитомассе существенно выше предполагаемого потока углерода от разложения запасов КДО.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борцов В.С. Использование автоматизированной аналитической системы на базе отражательной спектроскопии в исследованиях агроценозов // Автореф. дис. ... канд.техн. наук: 03.00.16. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2002. 24 с.
2. Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Иванов В.В., Кривобоков Л.В., Болонева М.В. Восстановление запасов органического вещества после рубок в лесных экосистемах Восточного Прибайкалья // Известия РАН. Сер. биол. 2010. № 1. С. 83–94
3. Климченко А.В. Аккумуляция углерода в валежнике лиственничников северной тайги, Средней Сибири // Лесн. хоз-во. 2005. № 5. С. 33–34.
4. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Под ред. Заварзина Г.А. М.: Наука. 2007. 315 с.
5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 200 с.
6. Пчелин В.И., Газизуллин А.Х., Патрикеев Е.И. Влияние типа лесорастительных условий на качество древесины сосны обыкновенной в насаждениях Среднего Поволжья // Лесн. журн. , 2003. № 1. С. 5–8.
7. Рабинович М.Л., Болибова А.В., Кондрашенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. I. Древесина и разлагающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
8. Стаканов В.Д., Алексеев В.А., Коротков И.А., Климушин Б.Л. Методика определения запасов фитомассы и углерода лесных сообществ // Углерод

- в экосистемах лесов и болот / Под ред. Алексева В.А., Бердси Р.А. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. С. 48–66.
9. *Стороженко В.Г.* Датировка разложения крупных древесных остатков в лесах различных природных зон / Лесоведение. 2001. № 1. С. 49–53.
  10. *Тарасов М.Е.* Оценка скорости разложения детрита в лесах Ленинградской области // Тр. Санкт-Петербургского НИИ лесн. хоз-ва, Т. 1 (2), 2000. С. 31–45.
  11. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.
  12. *Трефилова О.В.* Формирование запасов грубых древесных остатков на поверхности и в толще почвы сосняков средней тайги Приенисейской Сибири // Природная и антропогенная динамика наземных экосистем: Матер. Всерос. конф. (Иркутск, 11–15 октября, 2005). Иркутск: Изд-во Иркутского гос. технического университета, 2005. С. 249–252.
  13. *Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Оскорбин П.А.* Запас и структура крупных древесных остатков в сосняках Енисейской равнины // Лесоведение. 2009. № 4. С. 16–24.
  14. *Шорохова Е.В., Капица Е.А., Кузнецов А.А.* Микогенный ксиллиз пней и валежа в таежных ельниках // Лесоведение. 2009. № 4. С. 24–33.
  15. *Chambers J.Q., Higuchi N., Schimel J.P., Ferreira L.V., Melack J.M.* Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the Central Amazon // *Oecologia*. 2000. V. 122. P. 380–388.
  16. *Crawford R.H., Li C.Y., Floyd M.* Nitrogen fixation in root-colonized large woody residues of Oregon coastal forests // *For. Ecol. Management*. 1997. V. 92. P. 229–234.
  17. *Feller M.C.* Coarse woody debris in the old-growth forests of British Columbia // *Environ. Res.* 2003. V. 11, N 2. P. 135–157.
  18. *Fox C.A., Preston C.M., Fyle C.A.* Micromorphological and <sup>13</sup>C-NMR characterization of a Humic, Lignic and Hastic Folisol from British Columbia // *Can. J. Soil Sci.* 1994. V. 74. P. 1–15.
  19. *Ganjegunte G.K., Condon L.M., Clinton P.W., Davis M.R., Mahieu N.* Decomposition and nutrient release from radiate pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris // *Forest Ecol. Management*. 2004. V. 187. P. 197–211.
  20. *Gore J.A., Patterson W.A. III.* Mass and downed wood in northern hardwood forests in New Hampshire: potential effects of forest management // *Canad. J. For. Res.* 1986. V. 16, N 2. P. 335–339.
  21. *Harmon M.E., Krankina O.N., Sexton J.* Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics // *Can. J. For. Res.* 2000. N 30. P. 74–84.
  22. *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 K.W.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems // *Adv. Ecol. Res.* 1986. V. 15. P. 133–302.
  23. *Hely C., Bergeron Y., Flanigan M.D.* Coarse woody debris in the southeastern Canadian boreal forest: composition and load variations in relation to stand placement // *Can. J. For. Res.* 2000. V. 30. P. 674–687.
  24. *Krankina O.N., Harmon M.E.* Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests // *Water Air Soil Pollut.* 1995. V. 82. P. 227–238.
  25. *McCarthy B.C., Bailey R.R.* Distribution and abundance of coarse woody debris in a managed forest landscape of the central Appalachians // *Ibid.* 1984. V. 24, N 7. P. 1317–1329.
  26. *De Montigny L.E., Preston C.M., Hatcher P.G., Kogel-Knabner I.* Comparison of humus horizons from two ecosystem phases on northern Vancouver Island using <sup>13</sup>C-CPMAS-NMR spectroscopy and CuO oxidation // *Can. J. Soil. Sci.* 1993. V. 73. P. 9–25.
  27. *Olson J.S.* Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems // *Ecology*. 1963. V. 44. P. 332–341.
  28. *Vogt R.A., Grier C.C., Vogt D.J.* Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and below-ground detritus of world forest // *Adv. Ecol. Res.* 1986. V. 15. P. 303–373.
  29. *Yatskov M., Harmon M.E., Krankina O.N.* A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia // *Can. J. For. Res.* 2003. V. 33. P. 1211–1226.

## Contribution of Coarse Woody Debris to Organic Matter Reserves in Forest Ecosystems of Secondary Successions after Cuttings

L. V. Mukhortova, E. F. Vedrova

A stock of coarse woody debris (CWD) in forest ecosystems of secondary successions in pine and fir stands of eastern Lake Baikal basin was estimated. In the control variants of the pine and fir forests, a relative contribution of coarse woody debris to the total organic matter pool was found to amount to 10.3–12.5%. In the undamaged forests studied, the CWD contribution to the total phytodetritus reserves is 34–38%. On the fresh felled area in the fir forest, their contribution was greater (68.6–83.2%). A rate constant for CWD decomposition in pine and fir forests was determined.

*Forest ecosystems, coarse woody debris, stock, decomposition rate.*