

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*443.3

**ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА СОСНОВЫМИ ДРЕВОСТОЯМИ  
В СВЯЗИ С ПОРАЖЕНИЕМ ИХ СОСНОВОЙ ГУБКой**

© 2013 г. **Б. П. Чураков, Т. А. Парамонова, Н. А. Митрофанова, В. А. Туманов**

*Ульяновский государственный университет*

*432000 Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42*

*E-mail: churakovbp@yandex.ru*

Поступила в редакцию 23.03.2012 г.

Определены запас, общая фитомасса, содержание углерода валежной, сухостойной и сырорастущей древесины в сосновых древостоях V и VI классов возраста, пораженных и не пораженных сосновой губкой, в трех типах леса. Проведен сравнительный анализ фитомассы и депонированного углерода здорового и зараженного сосновой губкой дерева в древостоях сосны V и VI классов возраста в различных лесорастительных условиях.

*Общая фитомасса, запас древесины, депонирование углерода, сосновая губка, типы леса, классы возраста.*

Проблема содержания и динамики углерода в наземных и водных экосистемах вызывает все больший интерес в связи с увеличением в атмосфере углекислого газа и прогнозируемым глобальным потеплением климата на нашей планете [3, 4]. Поскольку лесная растительность содержит более 75% углерода, аккумулированного наземными растениями, то вполне понятно, что леса нашей планеты являются одним из главных стабилизирующих природных механизмов, способных компенсировать возросшие выбросы углекислоты в атмосферу Земли [14]. За последние столетия концентрация углекислоты в атмосфере повысилась на 20%, что не сопровождается увеличением запасов фитомассы растительного покрова [7]. При этом площадь мировых лесов в результате рубок и пожаров ежегодно сокращается [13]. Леса России, которые составляют 22% мировых лесных ресурсов и 2/3 бореальных лесов мира, играют значительную роль в углеродном бюджете планеты. Ежегодное накопление углерода в фитомассе лесного фонда России на 2003 г. оценивалось в 0,25 млрд. т в год, что составляет от 10 до 25% мирового объема поглощения углекислого газа всеми экосистемами нашей планеты [2].

По оценке специалистов Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, из 500 млрд. т углерода, содержащегося во всей наземной биомассе, вклад российских лесов составляет 34 млрд. т, из которых более 25 млрд. т

приходится на хвойные леса. Дополнительные запасы углерода сосредоточены в мертвой древесине, лесной подстилке и корневых остатках. Общий запас сухостоя и валежа в лесах России оценивается в 2 млрд. т углерода [6]. Следовательно, леса России наряду с болотами являются крупнейшими накопителями органического углерода на планете [1]. Углеродный бюджет лесов России изучался многими отечественными учеными в разных регионах страны [5, 8–12].

Учитывая важную роль лесных экосистем в поддержании углеродного баланса Земли, изучение процессов и динамики накопления фитомассы и углерода в лесах различных лесорастительных зон нашей страны очень актуально. Данная проблема становится еще более актуальной в связи с тем, что спелые и перестойные древостои подвержены воздействию дереворазрушающих организмов, существенно изменяющих ход процессов накопления фитомассы таких насаждений.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования депонирования углерода проводились в Кузоватовском лесничестве Ульяновской области, относящемся по лесорастительному районированию к лесостепной зоне, в сосновых древостоях естественного происхождения V и VI классов возраста, III класса бонитета с полной 0.7 в трех типах леса: сосняках лишайнико-

вом (Слш), снытьево-осоковом (Ссо) и злаково-мелкотравном (Сзм).

Для определения запаса древесины здоровых и зараженных сосновой губкой деревьев, валежа и сухостоя в каждом типе леса и для каждого класса возраста закладывались по 3 пробных площади размером 20×20 м. Всего заложено 18 пробных площадей. На каждой пробной площади проводился сплошной пересчет деревьев, с подразделением их на сухостойные, зараженные и незараженные сосновой губкой. Кроме того, проводился учет свежего и старого валежа с последующим определением их запаса. Затем определялся средний запас древесины для каждой пробы в пересчете на 1 га. Среднее число деревьев для каждой из 3 проб округлялось до целого числа.

Определение общей фитомассы и размеров депонирования углерода проводилось на тех же пробных площадях. Для определения общей фитомассы использовался конверсионный коэффициент ( $K$ ), который представляет собой отношение общей фитомассы древостоя ( $M$ ) в тоннах к запасам стволовой древесины в коре ( $V$ ) в м<sup>3</sup>:  $K = M/V$  [1]. Значения конверсионных коэффициентов фитомассы для спелых и перестойных сосновых древостоев лесостепи Европейской России приведены в работе В.А. Алексеева и Р.А. Бердси [1] для спелых и перестойных сосновых древостоев лесостепи Европейской части России. В соответствии с используемой методикой общая фитомасса определялась по запасу стволовой древесины в коре.

Исходя из представленного уравнения общая фитомасса древостоя рассчитывается как  $M = K \times V$ . Конверсионный коэффициент  $K$  фитомассы спелых и перестойных древостоев сосны для лесостепи Европейской части страны равен 0.586, коэффициент перевода фитомассы в углерод равен 0.5 [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из главных задач данного исследования являлось изучение влияния заражения деревьев сосновой губкой на биологическую продукцию древостоев. Используя данные сплошного пересчета, была определена средняя зараженность изучаемых разновозрастных древостоев сосновой губкой в различных лесорастительных условиях.

Средняя зараженность деревьев для V и VI классов возраста составила: в сосняке лишайниковом по 8.3% для обоих классов возраста, в сосняке снытьево-осоковом 8.5% (8.7 и 8.3%

соответственно), в сосняке злаково-мелкотравном 10.6% (12.0 и 9.2%). Средняя зараженность деревьев для V класса возраста по трем типам леса составила 9.7%, VI класса возраста – 8,6%. Наблюдается тенденция к небольшому увеличению степени зараженности древостоев по мере улучшения лесорастительных условий.

В процессе изучения биологической продуктивности разновозрастных сосновых древостоев для каждой категории деревьев (здоровые, сухостойные и зараженные сосновой губкой) определили таксационные показатели (табл. 1).

Полученные данные свидетельствуют о том, что повышение возраста древостоев приводит к увеличению запаса здоровых, сухостойных и зараженных сосновой губкой деревьев во всех исследованных типах леса. Для V класса возраста суммарный запас древесины сухостойных деревьев в среднем по исследованным типам леса составляет 3.2%, зараженных сосновой губкой деревьев – 9.4% от общего запаса древесины на пробной площади. Для VI класса возраста эти величины составили соответственно 3.6 и 8.8%.

На основании данных табл. 1 были определены фитомасса ( $M$ ) и запас депонированного углерода ( $C$ ) для 3 категорий состояния деревьев в пересчете на 1 га площади (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что в обследованных сосновых древостоях V класса возраста запас сырораствующей древесины в пересчете на 1 га в среднем по трем типам леса составляет 288.4 м<sup>3</sup>, сухостойной – 10.7 м<sup>3</sup>, зараженной – 31.0 м<sup>3</sup>. Общая фитомасса оценивается в 193.5 т га<sup>-1</sup>, в ней накоплено 96.7 т га<sup>-1</sup> углерода.

В сосновых древостоях VI класса возраста накапливается в среднем 320 м<sup>3</sup> сырораствующей древесины, 13.0 м<sup>3</sup> сухостойной, 32.2 м<sup>3</sup> зараженной, с общей фитомассой 214.1 т, которая содержит 107.1 т углерода в пересчете на 1 га. По сравнению с древостоями V класса возраста в сосновых древостоях VI класса возраста количество депонированного углерода увеличилось на 10.4 т га<sup>-1</sup>.

В древостоях V класса возраста наибольшее количество депонированного углерода накоплено в сосняке злаково-мелкотравном (101.5 т га<sup>-1</sup>), VI класса возраста – сосняке снытьево-осоковом (113.9 т га<sup>-1</sup>). Что касается зараженных сосновой губкой деревьев, то здесь больше всего углерода депонировано в сосняке злаково-мелкотравном для обоих классов возраста.

Определены запас, фитомасса и величина депонированного углерода валежной древесины сосны

**Таблица 1.** Запас древесины сосновых древостоев различных категорий состояния

Тип леса	Таксационные показатели по категориям деревьев														
	здоровые деревья					сухостойные деревья					зараженные деревья				
	<i>D</i> , см	<i>H</i> , м	<i>V</i> , м <sup>3</sup>	<i>N</i> , шт.	<i>V<sub>n</sub></i> , м <sup>3</sup>	<i>D</i> , см	<i>H</i> , м	<i>V</i> , м <sup>3</sup>	<i>N</i> , шт.	<i>V<sub>n</sub></i> , м <sup>3</sup>	<i>D</i> , см	<i>H</i> , м	<i>V</i> , м <sup>3</sup>	<i>N</i> , шт.	<i>V<sub>n</sub></i> , м <sup>3</sup>
V класс возраста															
Слш	24	20	0.47	9	4.23	24	20	0.43	1	0.43	24	19	0	0	0
	26	20	0.57	6	3.42	0	0	0	0	0	26	20	0.38	1	0.38
	28	21	0.62	6	3.72	0	0	0	0	0	28	20	0.61	1	0.61
Итого Ссо				21	11.37				1	0.43				2	0.99
	24	20	0.48	7	3.36	24	21	0.46	1	0.46	24	19	0	0	0
	26	21	0.58	7	4.06	0	0	0	0	0	26	20	0	0	0
Итого Сзм				20	11.32				1	0.46				2	1.16
	24	20	0.48	7	3.36	20	20	0.37	1	0.37	24	20	0.45	1	0.45
	26	21	0.59	8	4.72	0	0	0	0	0	26	20	0.51	1	0.51
Итого Всего				62	34.61				3	1.26				7	3.72
				21	11.92				1	0.37				3	1.57
				62	34.61				3	1.26				7	3.72
VI класс возраста															
Слш	28	21	0.59	7	4.13	26	20	0.51	1	0.51	28	21	0.54	1	0.54
	30	22	0.65	8	5.20	0	0	0	0	0	30	21	0.61	1	0.61
	32	22	0.71	4	2.84	0	0	0	0	0	32	22	0	0	0
Итого Ссо				19	12.17				1	0.51				2	1.15
	28	22	0.61	7	4.27	26	21	0.54	1	0.54	28	21	0	0	0
	30	23	0.64	9	5.76	0	0	0	0	0	30	22	0.60	1	0.60
Сзм	32	24	0.74	5	3.70	0	0	0	0	0	32	22	0.69	1	0.69
				21	13.73				1	0.54				2	1.29
	28	22	0.60	6	3.60	24	22	0.53	1	0.53	28	22	0	0	0
Итого Всего	30	23	0.66	9	5.94	0	0	0	0	0	30	22	0	0	0
	32	23	0.75	4	3.00	0	0	0	0	0	32	23	0.71	2	1.42
				19	12.54				1	0.53				2	1.42
			59	38.44				3	1.58				6	3.86	

Примечание. В табл. 3–5: Слш – сосняк лишайниковый, Ссо – сосняк снытьево-осоковый, Сзм – сосняк злаково-мелкотравный; *D* – средний диаметр, *H* – средняя высота, *V* – объем среднего дерева, м<sup>3</sup>, *N* – число деревьев на пробе, *V<sub>n</sub>* – объем деревьев на пробе, м<sup>3</sup>.

в древостоях V и VI классов возраста в различных типах леса. Результаты представлены в табл. 3.

В древостоях V класса возраста в пересчете на 1 га в среднем накоплено валежной древесины 7.75 м<sup>3</sup>, VI класса возраста 10.0 м<sup>3</sup>. В сосняке снытьево-осоковом V класса возраста валежа накоплено больше, чем в остальных типах леса, в древостоях VI класса возраста больше всего валежа отмечено в сосняке злаково-мелкотравном.

В табл. 4 представлены сводные данные по запасу, фитомассе и содержанию углерода в сосновых древостоях V и VI классов возраста в пересчете на 1 га для сырорастущих, сухостойных, зараженных деревьев и валежной древесины.

Таким образом, древостои сосны V класса возраста в пересчете на 1 га по 3 типам леса имеют запас древесины (вместе с валежом и сухостоем) в

среднем 337.9 м<sup>3</sup>. Накопленная фитомасса составляет 198.0 т, содержание углерода в ней – 99.0 т. Наибольшая биологическая продуктивность отмечена в сосняке злаково-мелкотравном, в котором общая фитомасса составляет 207.6 т га<sup>-1</sup> и депонировано углерода 103.8 т га<sup>-1</sup>. В древостоях VI класса возраста запас древесины по 3 типам леса в среднем составляет 374.2 м<sup>3</sup> · га<sup>-1</sup>. На фитомассу приходится 219.2 т га<sup>-1</sup>, в ней содержится 109.6 т депонированного углерода. Наибольшее количество фитомассы накоплено в сосняке снытьево-осоковом – 232.8 т га<sup>-1</sup>, в ней депонировано 116.4 т углерода.

В табл. 5 представлены данные по объему, фитомассе и содержанию углерода в пересчете на одно здоровое и зараженное сосновой губкой дерево в древостоях сосны V и VI классов возраста.

**Таблица 2.** Общая фитомасса и депонированный углерод в древостоях сосны разных категорий состояния, т

Тип леса	Категории состояния деревьев												Всего депонировано $C$
	здоровые				сухостойные				зараженные				
	$Vn$	$V$	$M$	$C$	$Vn$	$V$	$M$	$C$	$Vn$	$V$	$M$	$C$	
V класс возраста													
Слш	11.37	284.3	166.5	83.2	0.43	10.8	6.3	3,2	0.99	24.7	14.5	7.3	93.7
Ссо	11.32	283.0	165.8	82.9	0.46	11.5	6.7	3,4	1.16	29.0	17.0	8.5	94.8
Сзм	11.92	298.0	174.6	87.3	0.37	9.3	5.4	2,7	1.57	39.3	23.0	11.5	101,5
Среднее	11.54	288.4	169.0	84.5	0.43	10.7	6.3	3,1	1.24	31.0	18.2	9.1	96.7
VI класс возраста													
Слш	12.17	304.2	178.3	89.2	0.50	12.5	7.3	3,7	1.15	28.7	16.8	8.4	101.3
Ссо	13.73	343.2	201.2	100.6	0.54	13.5	7.9	3,9	1.29	32.2	18.9	9.4	113.9
Сзм	12.54	313.5	183.7	91.9	0.53	13.3	7.8	3,9	1.42	35.5	20.8	10.4	106.2
Среднее	12.81	320.3	187.7	93.9	0.52	13.0	7.6	3,8	1.29	32.2	18.8	9.4	107.1

Примечание. Обозначения – см. табл. 1.

**Таблица 3.** Запас, фитомасса и депонированный углерод валежной древесины по типам леса

Тип леса	Показатели					
	запас свежего валежа, $m^3$	запас старого валежа, $m^3$	всего валежа, на проб. площади, $m^3$	всего валежа на 1 га, $m^3$	общая фитомасса, $t\ ga^{-1}(M)$	содержание углерода, $t\ ga^{-1}$
V класс возраста						
Слш	0.13	0.18	0.31	7.75	4.54	2.27
Ссо	0.16	0.16	0.32	8.00	4.69	2.34
Сзм	0.17	0.14	0.31	7.75	4.54	2.27
Среднее	0.15	0.16	0.31	7.75	4.54	2.27
VI класс возраста						
Слш	0.12	0.18	0.30	7.50	4.40	2.20
Ссо	0.17	0.16	0.33	8.25	4.83	2.41
Сзм	0.21	0.19	0.40	10.0	5.86	2.93
Среднее	0.17	0.18	0.35	8.75	5.13	2.56

Примечание. Обозначения см. табл. 1.

**Таблица 4.** Запас древесины, фитомасса и содержание углерода в сосновых древостоях V и VI классов возраста

Тип леса	V класс возраста			VI класс возраста		
	запас древесины, $m^3\ ga^{-1}$	общая фитомасса, $t\ ga^{-1}(M)$	содержание углерода, $t\ ga^{-1}$	запас древесины, $m^3\ ga^{-1}$	общая фитомасса, $t\ ga^{-1}$	содержание углерода, $t\ ga^{-1}$
Слш	327.5	191.8	95.9	352.9	206.8	103.4
Ссо	331.8	194.4	97.2	397.1	232.8	116.4
Сзм	354.3	207.6	103.8	372.3	218.1	109.0
Среднее	337.9	198.0	99.0	374.2	219.2	109.6

Примечание. Обозначения см. табл. 1.

Таблица 5. Биологическая продукция здорового и зараженного сосновой губкой дерева

Тип леса	V класс возраста				VI класс возраста							
	объем дерева, м <sup>3</sup>		фитомасса дерева, т		содержание С, т		объем дерева, м <sup>3</sup>		фитомасса дерева, т		содержание С, т	
	здорового	больного	здорового	больного	здорового	больного	здорового	больного	здорового	больного	здорового	больного
Слщ	0,54	0,49	0,32	0,29	0,16	0,15	0,64	0,57	0,37	0,33	0,18	0,16
Ссо	0,57	0,57	0,33	0,33	0,17	0,17	0,65	0,64	0,38	0,37	0,19	0,18
Сзм	0,56	0,52	0,33	0,30	0,17	0,15	0,66	0,71	0,39	0,42	0,20	0,21
Среднее	0,56	0,53	0,33	0,31	0,17	0,16	0,65	0,64	0,38	0,37	0,19	0,18

Примечание. Обозначения см. табл. 1.

Анализ полученных данных показывает, что заражение деревьев V класса возраста сосновой губкой приводит к снижению общего запаса, фитомассы и депонированного углерода по 3 типам леса в среднем на 6%, а в древостоях VI класса возраста – на 4%.

**Выводы. 1.** Повышение возраста древостоев приводит к увеличению суммарной биологической продукции (запаса, общей фитомассы и депонированного углерода) во всех исследованных типах леса.

**2.** В древостоях V класса возраста биологическая продукция валежной древесины в среднем по исследованным типам леса составляет 2.2%, сухостойных деревьев – 3.2%, зараженных сосновой губкой деревьев – 9.4% от общей биопродукции всех категорий деревьев. В древостоях VI класса возраста эти величины, соответственно, – 2.3, 3.6 и 8.8%.

**3.** Заражение деревьев сосновой губкой приводит к снижению общей биологической продуктивности древостоев по 3 типам леса для V класса возраста – на 6%, VI класса возраста – на 4%.

**4.** В исследованных древостоях выявлена тенденция увеличения биологической продуктивности по мере улучшения лесорастительных условий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. / Красноярск: Изд-во ИЛИД РАН, 1994. 532 с.
2. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / М.: Наука, 1993. 293 с.
3. Бudyко М.И. Изменение климата / Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 280 с.
4. Бudyко М.И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата // Метеорология и гидрология. № 4. 1991. С. 94–100.
5. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Углерод в лесах северной Евразии. Круговорот углерода на территории России. // Избранные труды. Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 63–99.
6. Карпачевский М.Л., Тепляков В.К., Яницкая Т.О., Ярошенко А.Ю. Основы устойчивого лесопользования / М.: изд-во «Альянс» 2009. 143 с.
7. Моисеев Б.Н., Алябина И.О. Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомасс России // Использование и охрана природных ресурсов России. М.: Наука, 2004. № 1. С. 61–69.

8. Усольцев В.А., Макаренко А.А. Возрастная динамика формирования наземной фитомассы сосны кустанайских боров в зависимости от густоты // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1978. № 12. С. 105–111.
9. Уткин А.И. Углеродный цикл в лесоводстве // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
10. Чураков Б.П., Парамонова Т.А., Корнилина В.В. Сравнительный анализ фитомассы и депонированного углерода в сосновых и осиновых древостоях в связи с возможной их сменой // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 3. С. 140–147.
11. Чураков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 1. С. 125–129.
12. Швиденко А.З., Нильссон С., Страхов В.В. Продуктивность лесов России // Лесохозяйственная информация. № 9–10. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. С. 5–22.
13. Щепаченко Д.Г., Швиденко А.З., Шалаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России / М.: изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2008. 296 с.
14. Sohngen B., Sedjo R. Carbon sequestration costs in global forests // Energy Journal. 2005. № 3. P. 34–38.

## **Deposition of Carbon by Pine Stands Related to Their Infestation with Red Rot**

**B. P. Churakov, T. A. Paramonova, N. A. Mitrofanova, V. A. Tumanov**

The total pool, phytomass, and the content of carbon in slash, dead and fresh wood in pine stands (age classes V and VI) infected and not infected with red rot were determined in three forest types. A comparative analysis of the phytomass and deposited carbon in a healthy and infected tree in these pine stands under different forest-growing conditions was performed.

*Total phytomass, wood reserves, carbon deposition, red rot, forest types, age classes.*