УДК 630*237

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА СОСНОВЫМИ ДРЕВОСТОЯМИ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ ПРИ РУБКАХ УХОДА ЗА ЛЕСОМ

В. В. Иванов, А. Н. Борисов*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: viktor_ivanov@ksc.krasn.ru, alnik_borisov@mail.ru

Поступила в редакцию 13.02.2024 г.

Изучена структура углеродного пула в средневозрастных и спелых сосновых древостоях Красноярской лесостепи при рубках ухода за лесом. В соответствии с методом конверсионных коэффициентов на основе данных по объемным запасам насаждений рассчитана фитомасса фракций (ствола, коры, ветвей и хвои), которая затем пересчитана в запасы углерода. Установлено, что основной вклад в углеродный пул сосновых древостоев вносит стволовая древесина. В средневозрастных сосняках доля стволов в коре составляет 66–70 % от общей фитомассы, а для спелых древостоев – 76–80 %. Вклад корней в средневозрастных древостоях – около 20 %, а в спелых – 14–16 %. На ветви и хвою приходится соответственно около 6.5 и 5.5 %, а в спелых древостоях – 4.5–6.0 и 1.5–1.8 %. Порубочные остатки составляют в средневозрастных древостоях около 13 %, в спелых – около 9 %. В средневозрастных и спелых древостоях при рубке интенсивностью 15–20 % для восстановления пула углерода до дорубочного уровня требуется около 10 лет. Порубочные остатки в количествах, пропорциональных интенсивности рубки, остаются на местах проведения рубок, и углерод, депонированный в этих фракциях, составляет часть пула экосистемы. В целях получения наибольшего прироста фитомассы сосновых древостоев и минимизации эмиссии углерода при рубках наиболее целесообразны выборочные рубки с применением современных технологий по очистке лесосек и переработке лесосечных отходов.

Ключевые слова: *сосняки, рубки ухода, углеродный пул, фракционный состав фитомассы.*

DOI: 10.15372/SJFS202403010

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия растет понимание роли лесов в глобальном углеродном цикле. В ежегодном объеме углерода, циркулирующего между растительностью, почвой и атмосферой, участие лесных экосистем составляет около 80 %. Сплошная вырубка лесов способствует потеплению климата и часто называется одной из главных причин усиления парникового эффекта (Stoffel et al., 2005; Colombo et al., 2012; Chen et al., 2013). Осуществление рубок ухода за лесом по технологии лесосечных работ с нарушением лесоводственных требований нередко приводит к результатам, не соответствующим научно обоснованным видам выборочных рубок, сохраняющим природоохранные и защитные функции лесов (Желдак и др., 2023).

Густота древесных ценозов – объективный показатель, отражающий структуру и про-

дукционный процесс древостоев. Выявление ценотических и экологических эффектов разнотипных ценозов позволяет установить оптимальные параметры сосновых древостоев на разных этапах формирования насаждений с высокими природоохранными свойствами (Бузыкин и др., 2002), а также такой важной экологической функцией, как депонирование углерода. В защитных лесах весьма актуальна разработка параметров проведения рубок обновления и переформирования с сохранением углероддепонирующих функций лесов зеленой зоны. Для оценки углеродного баланса лесных экосистем необходимы научные исследования динамики их фитомассы при лесопользовании. Одной из эффективных мер, направленных на компенсацию воздействия разреживания древостоев при рубках ухода за лесом на окружающую среду, является определение оптимальных параметров рубок, обеспечивающих получение дополни-

тельного прироста древесины и сохранение пула углерода в компонентах насаждений различного возраста. Снижение объемов выбросов углекислого газа, вызванное обезлесением и деградацией лесов, и увеличение поглощения углерода с помощью эффективного лесовыращивания и устойчивого лесопользования является важной задачей лесной отрасли.

Цель настоящей работы – оценка структуры углеродного пула сосновых древостоев Красноярской лесостепи при рубках ухода за лесом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований стали средневозрастные и спелые сосняки мелкотравно-зеленомошные, широко представленные в сосновых борах Красноярской лесостепи. Средневозрастное сосновое насаждение, чистое по составу, сформировано на вырубке 1965 г. Почвенный покров сосняка представлен серыми лесными почвами. Данные по физико-химическим свойствам исследуемых объектов, полученные с использованием агрохимических методов исследования, описаны нами ранее (Шапченкова и др., 2015): гранулометрический состав почв – легкосуглинистый, реакция среды – кислая в органическом горизонте и слабокислая в минеральной части профиля, содержание гумуса – высокое.

В лесотаксационном выделе сосняка зеленомошного I класса бонитета в однородных лесорастительных условиях заложено три пробных площади (пп) размером 0.15 га. Закладка пп, на которых проводились сплошной перебор и нумерация деревьев, выполнена на участках с разными вариантами выборочных рубок по интенсивности вырубке запаса. Основные таксационные

характеристики древостоев приведены в табл. 1. Каждая пп репрезентативна для лесного участка, на котором проведена опытная рубка ухода (прореживание).

До рубки эти насаждения характеризовались высокой полнотой, густотой и интенсивными процессами дифференциации деревьев. У большинства деревьев (до 57.3 %) диаметр стволов на высоте 1.3 м был до 10 см, с явными признаками угнетения, что свидетельствует о высокой напряженности конкурентных отношений.

В чистых одноярусных хвойных насаждениях чаще всего применяется низовой метод рубок ухода. При этом в рубку преимущественно назначаются деревья угнетенные, относящиеся к 4-му и 5-му классам роста и развития по шкале Крафта. На пп проводилось равномерное прореживание, направленное на регулирование густоты древостоя и создание благоприятных условий для формирования стволов и крон лучших деревьев. Прореживание выполнено на базе трактора МТЗ-82.1 и бензопилы без прокладки трелевочных волоков. Интенсивность рубки по запасу на пп 1–3 составила от 15 до 17 %. Густота после рубки колебалась от 2280 до 2727 шт./га. Через 10 лет после рубки в возрасте 47 лет древостои имели средний диаметр от 15.8 до 17.1 см и высоту от 19 до 19.6 м. Относительная полнота составила 1.0, запас древесины – 396 м³/га и сумма площадей поперечного сечения стволов – 40.4 м²/га.

Спелые сосновые насаждения на пп 4–8 разнотравно-зеленомошной группы типов леса в возрасте 110 лет II класса бонитета характеризовались высокими таксационными показателями с относительной полнотой 1.0 и более, средними диаметром 29.7–37.1 см, высотой 23.5–27.9 м и стволовым запасом древесины

Таблица 1. Основные таксационные характеристики сосновых древостоев

Номер пп	Густота, шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечения, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га
<i>Средневозрастные древостои (41–60 лет)</i>						
1	5460	10.5	15.7	47.5	1.5	355
2	4020	12.4	17.1	48.2	1.5	388
3	5593	10.8	15.9	50.9	1.6	383
<i>Спелые древостои (101–120 лет)</i>						
4	659	29.7	27.9	45.6	1.2	487
5	462	37.1	27.6	49.9	1.3	570
6	397	36.8	26.8	42.2	1.1	500
7	388	34.5	23.5	36.3	1.0	377
8	402	36.6	25.5	42.3	1.0	489

377–570 м³/га. Около 8–12 % от общего числа стволов было представлено сухостоем. Интенсивность рубки по запасу на пп 4–7 составила от 20 до 53 %, на пп 8 рубка не проводилась.

Для оценки радиального прироста на участках, пройденных несплошной рубкой 5- и 10-летней давности и на контроле в пределах каждой пробной площади было взято по 30 кернов на высоте 1.3 м. Ширину годичных колец измеряли на микроскопе МИР-12 с точностью 0.01 мм. Высоты деревьев и протяженность крон измерялись лазерным высотомером-дальномером TtuPulse 200 не менее чем для 15 деревьев с представленностью по ступеням толщины. Для количественной оценки результативности мероприятий по компенсации воздействий на окружающую среду применяется «Методика информационно-аналитической оценки бюджета углерода лесных насаждений на локальном уровне» (2017), разработанная Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. Для оценки депонирования углерода лесов использован метод конверсионных коэффициентов (Уткин и др., 2004; Усольцев и др., 2021). Статистическая обработка данных и регрессионный анализ выполнены в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В сосновых древостоях с высокой плотностью при жесткой внутривидовой конкуренции велика вероятность потери общей производительности из-за несоответствия хода роста древостоев густотно-возрастным оптимумам продуктивности. Проведенный анализ показал, что при разреживании древостоев выборочными рубками, оставленные на дорастивание деревья эффективно используют доступный ресурс, имеют хорошо развитую крону и устойчивый рост по диаметру и объему ствола (Иванов и др., 2017).

В соответствии с методом конверсионных коэффициентов на первом этапе рассчитывается фитомасса в древостое, разделенная по фракциям (ствол, кора, ветви и хвоя). Основой для расчетов служат данные по динамике объемных запасов насаждений, оцениваемые в результате последовательных инвентаризаций (Борисов и др., 2019).

Фитомасса компонентов насаждения, приходящаяся на единицу запаса, рассчитана посредством моделей, обладающих высоким уровнем общности и хорошо согласующихся с региональными фактическими данными. Для сосно-

вых древостоев расчеты выполнены в соответствии с уравнением (Таблицы..., 2008)

$$M_{\text{фр}} = G \times C_0 \times B^{C_1} \times A^{(C_2 + C_3 \times P + C_4 \times P^2)},$$

где $M_{\text{фр}}$ – фитомасса фракций, т/га; G – Запас древостоя, м³/га; A – средний возраст древостоя, лет; B – код класса бонитета; P – относительная полнота.

Для каждого вида фракций фитомассы используется свой набор значений коэффициентов C_0 – C_4 , который зависит от лесорастительной зоны. Для расчета фитомассы фракций рассматриваемых древостоев на пп, использованы коэффициенты, полученные для лесостепной зоны (Таблицы..., 2008). Результаты расчета фитомассы фракций в абсолютно сухом состоянии приведены в табл. 2.

В рассматриваемых древостоях естественное очищение стволов от сучьев обуславливает приоритет стволов и корней в накоплении углерода при незначительном участии в этом процессе крон деревьев. Корневая система находится на втором месте после стволовой древесины по вкладу в общую фитомассу древостоя. На пп в средневозрастных древостоях отношение $M_{\text{корн}}/M_{\text{общ}}$ равно 0.20, а для крон – 0.12.

Оценка содержания углерода в абсолютно сухой фитомассе деревьев проводилась с использованием переводных коэффициентов. Для хвои установлен переводной коэффициент 0.45, а для остальных фракций – 0.50 (Операционная модель..., 2010; Филипчук и др., 2016; Методические указания..., 2017). Содержание углерода во фракциях фитомассы для пп приведены в табл. 3.

Порубочные остатки, появившиеся в процессе лесосечных работ (отходы древесины: ветки, сучки, обломки стволов, вершины, откомлевка, пни), остаются в лесной экосистеме, содержащийся в них углерод включается в углеродный пул оставшегося после выборочной рубки насаждения. Следует отметить, что порубочные остатки составляют значительную часть фракционного состава фитомассы вырубаемых деревьев. При применяемых в настоящее время технологиях из общего запаса древесного сырья используется в основном стволковая древесина, что составляет около 65 % биомассы дерева. По данным В. Г. Шатравко и Н. В. Толкачева (2011), объем порубочных остатков, оставляемых на вырубке, зависит от интенсивности рубок и технологии лесосечных работ, и на 1 м³ стволковой древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при сплошно-лесосечных рубках

Таблица 2. Фитомасса фракций в абсолютно сухом состоянии

Номер пп	Состояние, интенсивность рубки по запасу	Полнота	Запас, м ³ /га	Фитомасса, т/га				
				Ствол в коре	Кора	Ветви	Хвоя	Корни
<i>Средневозрастные древостои (41–60 лет)</i>								
1	До рубки	1.5	355	144.28	17.29	14.26	13.71	45.86
	После рубки 15 %	1.1	308	125.18	15.00	12.37	11.89	39.79
	10 лет после рубки	1.4	415	167.02	16.40	15.32	12.52	47.97
2	До рубки	1.5	388	115.38	9.86	13.64	8.50	36.49
	После рубки 17 %	1.2	321	130.46	15.64	12.89	12.40	41.47
	10 лет после рубки	1.5	456	187.54	19.22	15.85	13.37	52.06
3	До рубки	1.6	383	159.78	20.09	14.59	14.32	49.21
	После рубки 16 %	1.2	323	134.75	16.94	12.31	12.07	41.50
	10 лет после рубки	1.4	431	173.46	17.03	15.91	13.01	49.82
<i>Спелые древостои (101–120 лет)</i>								
4	До рубки	1.2	487	193.65	7.93	11.15	4.73	34.12
	После рубки 20 %	1.0	389	154.68	6.34	8.91	3.78	27.25
	10 лет после рубки	1.2	462	184.31	7.12	10.08	4.07	30.98
5	До рубки	1.3	570	229.24	9.68	12.03	5.43	38.72
	После рубки 30 %	0.9	408	164.07	6.54	12.24	4.02	32.88
	5 лет после рубки	0.9	432	174.03	6.73	12.68	4.05	34.09
6	До рубки	1.1	500	198.06	7.96	12.48	4.92	36.41
	После рубки 35 %	0.8	324	132.77	5.36	10.73	3.16	27.79
	5 лет после рубки	0.8	339	139.19	5.45	10.99	3.15	28.49
7	До рубки	1.0	377	152.80	7.70	11.79	4.59	32.37
	После рубки 50 %	0.5	177	81.86	4.62	9.25	1.98	21.59
	5 лет после рубки	0.5	198	91.84	5.04	10.16	2.10	23.72
8	Контроль	1.0	489	198.19	9.99	15.30	5.96	41.98

составляет 0.121–0.175 м³. Степень изменения условий среды при рубках зависит от интенсивности рубок, применяемой техники, технологии и сезона лесозаготовок. По данным сортиментных таблиц (Сортиментные и товарные таблицы..., 2005) по сосне установлено, что отходы из деловых и дровяных древесных стволов, имеющих диаметр 12–16 см составляют в среднем около 13 % от общего объема ствола в коре, а при диаметре 28–40 см – 9 %. На пп в средневозрастных сосновых древостоях запасы углерода в порубочных остатках составили от 2.68 до 3.48 тС/га. В спелых сосновых древостоях в порубочных остатках законсервировано около 9 % углерода, т. е. от 2.54 до 7.65 тС/га. Содержание углерода во фракциях фитомассы порубочных остатков приведены в табл. 4.

При выборочных рубках в 110-летних древостоях сосны восстановление запасов углерода до его дорубочного уровня происходит быстрее за счет увеличения прироста стволовой древесины и кроны оставшейся части древостоя (Азаренок, 1998; Колтунова и др., 2010).

Исследованиями влияния выборочной рубки на рост и продуктивность сосняков установлена связь текущего периодического радиального прироста с начальной густотой и интенсивностью рубки (Борисов и др., 2019; Иванов, Семянкин, 2021).

Прирост возрастает с увеличением интенсивности рубки, причем наиболее отчетливо эта тенденция прослеживается при разреживании насаждений с высокой начальной густотой. Результаты исследований (Иванов, Семянкин, 2021) свидетельствуют о том, что за счет разреживания древостоев возможно получить дополнительный прирост порядка 1–5 м³/(га · год). При условии сохранения такого уровня прироста через 15–20 лет ко времени проведения второго приема рубки можно получить дополнительно от 15 до 100 м³ крупномерной древесины.

Как следует из приведенных данных (табл. 3, 4), пул углерода в средневозрастных древостоях с учетом порубочных остатков, пройденных рубкой интенсивностью 15–17 %, через 10 лет увеличился и превысил дорубочный уровень в

Таблица 3. Содержание углерода во фракциях фитомассы

Номер пп	Состояние, интенсивность рубки по запасу	Запас, м ³ /га	Содержание углерода, т/га					Всего
			Ствол в коре	Кора	Ветви	Хвоя	Корни	
<i>Средневозрастные древостои (41–60 лет)</i>								
1	До рубки	355	72.1	8.6	7.1	6.2	22.9	108.4
	После рубки 15 %	308	62.6	7.5	6.2	5.4	19.9	94.0
	10 лет после рубки	415	83.5	8.2	7.7	5.6	24.0	120.8
2	До рубки	388	78.8	9.4	7.8	6.7	25.1	118.4
	После рубки 17 %	321	65.2	7.8	6.4	5.6	20.7	98.0
	10 лет после рубки	456	93.8	9.6	7.9	6.0	26.0	133.7
3	До рубки	383	79.9	10.0	7.3	6.4	24.6	118.2
	После рубки 16 %	323	67.4	8.5	6.2	5.4	20.7	99.7
	10 лет после рубки	431	86.7	8.5	8.0	5.9	24.9	125.4
<i>Спелые древостои (101–120 лет)</i>								
4	До рубки	487	96.8	4.0	5.6	2.1	17.1	121.6
	После рубки 20 %	389	77.3	3.2	4.5	1.7	13.6	97.1
	10 лет после рубки	462	92.2	3.6	5.0	1.8	15.5	114.5
5	До рубки	570	114.6	4.8	6.0	2.4	19.4	142.4
	После рубки 30 %	408	82.0	3.3	6.1	1.8	16.4	106.4
	5 лет после рубки	432	87.0	3.4	6.3	1.8	17.0	112.2
6	До рубки	500	99.0	4.0	6.2	2.2	18.2	125.7
	После рубки 35 %	324	66.4	2.7	5.4	1.4	13.9	87.1
	5 лет после рубки	339	69.6	2.7	5.5	1.4	14.2	90.7
7	До рубки	377	76.4	3.9	5.9	2.1	16.2	100.5
	После рубки 50 %	177	40.9	2.3	4.6	0.9	10.8	57.2
	5 лет после рубки	198	45.9	2.5	5.1	0.9	11.9	63.8
8	Контроль	489	99.1	5.0	7.6	2.7	21.0	130.4

Таблица 4. Содержание углерода во фракциях фитомассы порубочных остатков

Номер пп	Интенсивность рубки, %	Углерод в срубленных деревьях, т/га				Всего порубочных остатков
		Отходы древесных стволов	Ветви	Хвоя	Корни	
1	13	1.06	0.31	0.15	1.16	2.68
2	17	1.16	0.45	0.21	1.66	3.48
3	16	1.17	0.38	0.18	1.48	3.21
4	20	1.40	0.23	0.04	0.87	2.54
5	28	2.34	0.35	0.06	1.40	4.15
6	35	2.51	0.45	0.07	1.63	4.66
7	53	3.12	1.04	0.20	3.29	7.65

среднем на 13 %. В спелых сосновых древостоях запасы углерода, включая порубочные остатки, составили при интенсивности рубки 20 % на пп 4 через 10 лет 96 % от первоначального значения до рубки; при интенсивности 30–35 % через 5 лет после рубки депонировано углерода 76 и 82 % для пп 5 и 6 соответственно, при интенсивности рубки 50 % на пп 7 через 5 лет после рубки – 71 % углерода от первоначального значения до рубки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной вклад в углеродный пул сосновых древостоев вносит стволовая древесина. В средневозрастных сосняках доля стволов в коре составляет 66–70 % от общей фитомассы, а для спелых древостоев – в пределах 76–80 %. Следующий по значению вклад вносят корни, доля которых в углеродном пуле средневозрастных древостоев составляет около

20 %, а для спелых – 14–16 %. На ветви и хвою приходится около 6.5 и 5.5 % соответственно, а в спелых древостоях – 4.5–6.0 и 1.5–1.8 %. В средневозрастных сосновых древостоях запасы углерода в порубочных остатках составили от 2.68 до 3.48 тС/га, а в спелых сосновых древостоях – от 2.54 до 7.65 тС/га. Порубочные остатки в количествах, пропорциональных интенсивности рубки, остаются на местах проведения рубок, и углерод, депонированный в этих фракциях, является составной частью пула экосистемы.

После рубок ухода прирост стволовой древесины и кроны оставшейся части древостоя увеличивается. Прирост зависит от интенсивности рубки, и особенно ярко это проявляется при разреживании насаждений с высокой начальной густотой. Дополнительный прирост стволовой древесины вкупе с учетом вклада оставшихся после рубки фракций фитомассы приводит к достаточно быстрому восстановлению запаса углерода. Пул углерода в средневозрастных древостоях, пройденных рубкой интенсивностью 15–17 %, через 10 лет превысил дорубочный уровень. В спелых сосновых древостоях запасы углерода с учетом порубочных остатков при интенсивности рубки 20 % через 10 лет составили 96 % от значения до рубки; при интенсивности 30–35 % через 5 лет после рубки депонировано углерода 76–82 %; при интенсивности рубки 50 % через 5 лет после рубки – 71 %.

В целях получения наибольшего прироста фитомассы лесов и минимизации потерь при депонировании углерода наиболее целесообразны выборочные рубки с применением современных технологий по очистке лесосек и переработке лесосечных отходов. Это позволит в большей мере решать экологические проблемы, обеспечивая неистощимость экологического и сырьевого потенциала лесного фонда в процессе устойчивого управления лесами. Увеличить поглощение углерода и минимизировать эмиссию углекислого газа при рубках ухода за лесом в определенном возрасте можно путем определения оптимальной интенсивности разреживания древостоя с целью получения максимального прироста фитомассы и увеличения углероддепонирующих свойств насаждений.

Исследование выполнено в рамках проекта «Развитие научно-образовательного Центра мониторинга климатически активных веществ (Углерод в экосистемах: мониторинг) в рамках

Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азаренок В. А. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 100 с.
- Борисов А. Н., Иванов В. В., Петренко А. Е. Формирование пространственной структуры сосновых древостоев при рубках ухода // Лесоведение. 2019. № 1. С. 7–18.
- Бузыкин А. И., Пиеничникова Л. С., Суховольский В. Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.
- Желдак В. И., Дороженкова Э. В., Сычева А. Н., Липкина Т. В., Живаев Е. Е. Технологическая реализация лесоводственных мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение лесами функций депонирования и консервации углерода // Лесохоз. инф. 2023. № 3. С. 5–25.
- Иванов В. В., Борисов А. Н., Петренко А. Е., Семенякин Д. А., Собачкин Д. С., Собачкин Р. С. Густота сосновых древостоев при интенсивном лесовыращивании // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 102–109.
- Иванов В. В., Семенякин Д. А. Влияние выборочных рубок на продуктивность сосновых древостоев в условиях Красноярской лесостепи // Сиб. лесн. журн. 2021. № 1. С. 58–67.
- Колтунова А. И., Азаренок В. А., Усольцев В. А. Расчет приходной части углеродного баланса при постепенных рубках древостоев основных лесообразующих пород // Изв. Оренбург. гос. агр. ун-та. 2010. № 3 (27). С. 30–33.
- Методика информационно-аналитической оценки бюджета углерода лесных насаждений на локальном уровне. М.: ЦЭПЛ РАН, 2017. 15 с.
- Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Утв. распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р (ред. от 20.01.2021). М.: Минприроды России, 2017.
- Операционная модель учета углерода Канадского лесного сектора CBM-CFS3 версия 1.0: Руководство пользователя / Kull S. J., Kurz W. A., Rampley G. J., Banfield G. E., Schivatcheva R. K. (пер. с англ.) / M. J. Apps (Ed.). North. For. Centre, 2010. 112 с.
- Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири. Новосибирск, 2005. 176 с.
- Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй. Изд. 2-е, доп. М.: Фед. агентство лесн. хоз-ва; Междунар. ин-т прикл. сист. анализа (ИАСА), 2008. 886 с.
- Усольцев В. А., Ковязин В. Ф., Цепордей И. С. Текущее накопление углерода в лесах двух экорегионов России // Изв. СибЛТА. 2021. Вып. 237. С. 75–96.
- Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. Пулы углерода фитомассы и почв сосновых лесов России // Хвойные бореал. зоны. 2004. Вып. 2. С. 13–21.

Шапченко О. А., Ковалева Н. М., Иванов В. В., Собачкин Р. С., Собачкин Д. С., Петренко А. Е. Влияние азотных удобрений на свойства подстилки и живой почвенный покров в сосновых насаждениях Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2015. № 1. С. 44–51.

Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Мусеев Б. Н., Стрехов В. В. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохоз. инф. 2016. № 3. С. 36–85.

Chen B., Arain M. A., Khomik M., Trofymow J. A., Grant R. F., Kurz W. A., Yeluripati J., Wang Z. Evaluating the impacts

of climate variability and disturbance regimes on the historic carbon budget of a forest landscape // Agr. For. Meteorol. 2013. V. 180. P. 265–280.

Colombo S. J., Chen J., Ter-Mikaelian M. T., McKechnie J., Elkie P. C., MacLean H. L., Heath L. S. Forest protection and forest harvest as strategies for ecological sustainability and climate change mitigation // For. Ecol. Manag. 2012. V. 281. P. 140–151.

Stoffel J. L., Gower S. T., Plaut J., Holmes B. Carbon pools in a boreal mixed wood logging chronosequence // Glob. Change Biol. 2005. V. 11. Iss. 11. P. 1883–1894.

CARBON DEPOSITION BY PINE STANDS OF THE KRASNOYARSK FOREST STEPPE DURING CARE LOGGING

V. V. Ivanov, A. N. Borisov

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: viktor_ivanov@ksc.krasn.ru, alnik_borisov@mail.ru

The structure of the carbon pool in the middle-aged and mature pine stands of the Krasnoyarsk forest-steppe during care logging has been studied. The basis for calculations is data on the dynamics of the volume stocks of the stands. In accordance with the method of conversion coefficients, the phytomass of fractions (stem, bark, branches and needles) was calculated, which was then converted into carbon stocks. It has been established that the main contribution to the carbon pool of pine stands is made by stem wood. In medium-aged pine stands, the proportion of stems in the bark is 66–70 % of the total phytomass, and for mature stands this value is in the range of 76–80 %. The contribution of roots in medium-aged stands is about 20 %, and in mature stands 14–16 %. Branches and needles account for about 6.5 and 5.5 %, respectively, and in mature stands – 4.5–6.0 and 1.5–1.8 %. Felling residues account for about 13 % in medium-aged stands, and about 9 % in mature stands. In medium-aged and mature stands, when felling with an intensity of 15–20 %, it takes about 10 years to restore the carbon pool to the pre-cutting level. Felling residues in quantities proportional to the intensity of logging remain at the logging sites, and the carbon deposited in these fractions is an integral part of the ecosystem pool. In order to obtain the greatest increase in the phytomass of pine stands and minimize carbon losses during felling, selective logging using modern technologies for clearing felling areas and processing logging waste is most appropriate. It is possible to increase carbon absorption and minimize carbon dioxide emissions during felling of forest care by determining the intensity of optimal thinning of the tree stand.

Keywords: *pine forests, care logging, carbon pool, fractional composition of phytomass.*

How to cite: *Ivanov V. V., Borisov A. N. Carbon deposition by pine stands of the Krasnoyarsk forest steppe during care logging // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 3. P. 103–109 (in Russian with English abstract and references).*