

DOI: 10.31509/2658-607x-202584-178  
УДК 630\*232

## УГЛЕРОДНЫЙ ПУЛ ДРЕВОСТОЕВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

© 2025     А. Н. Борисов\*, В. В. Иванов, С. К. Фарбер, Н. С. Кузьмик

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО  
РАН, Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/28*

\*E-mail: alnik\_borisov@mail.ru

Поступила в редакцию: 04.10.2024

После рецензирования: 24.11.2024

Принята к печати: 27.05.2025

Произведена оценка углеродного пула репрезентативных древостоев в северной, средней и южной подзонах тайги Средней Сибири на территории Красноярского края. Площадь этих таежных регионов составляет 87.5% от всей территории Средней Сибири, и они вносят основной вклад в депонирование углерода на этой территории. Содержание углерода в древесине определено методом конверсионных коэффициентов. Суммарная масса депонированного углерода в репрезентативных древостоях северной тайги равна 73970 тыс. т., в древостоях средней тайги эта величина равна 1257101 тыс. т., а для южной тайги – 2766554 тыс. т. Среднее значение массы депонированного углерода для зоны северной тайги составляет 13.2 т га<sup>-1</sup>, для средней тайги эта величина равна 44.6 т га<sup>-1</sup>, а для южной тайги – 64.5 т га<sup>-1</sup>. Такие различия обусловлены особенностями природно-климатических условий и, как следствие, разной продуктивностью древостоев, формируемых в рассматриваемых подзонах таежной зоны Средней Сибири. Фракционный состав углеродного пула зависит от многих показателей, прежде всего от класса бонитета, полноты и густоты древостоя. Для всех рассмотренных репрезентативных древостоев основной вклад в депонирование углерода приходится на ствол и корни деревьев. Для северной тайги на долю стволов приходится от 49.9% до 66.7% депонированного углерода, а на корни от 18.1% до 34.8%. Для средней тайги эти значения составляют от 53.8% до 70.4% для стволов и от 13.2 до 33.4% для корней. Для южной тайги доля депонированного углерода в стволах составляет от 53.4% до 69.6%, а в корнях от 17.7% до 31.9%. Полученные данные по углеродному пулу древостоев таежной зоны Средней Сибири важны для понимания процессов углеродного обмена в лесных экосистемах, а также для разработки эффективных стратегий по сохранению и управлению лесными массивами в контексте изменения климата.

**Ключевые слова:** *Средняя Сибирь, углеродный пул древостоев, фракционный состав углеродного пула*

Углеродный цикл – это сложный процесс обмена углеродом между атмосферой, океанами, наземными экосистемами, который имеет огромное значение для поддержания устойчивости климата и биоразнообразия нашей планеты. Одним из ключевых компонентов углеродного цикла являются лесные экосистемы, способные поглощать и удерживать значительные объемы углерода. Леса играют важную роль в смягчении эффектов изменения климата, поскольку способны поглощать углерод из атмосферы в процессе фотосинтеза и удерживать его в биомассе и почвах. Наряду с регулированием цикла углерода, леса выполняют другие экосистемные функции - обеспечение древесиной, создание и поддержание биологического разнообразия и др. Однако изменения в использовании земель, а также климатические факторы могут существенно влиять на углеродный пул древостоев и привести к его деградации или утрате. Сибирь, как один из крупнейших регионов мира, занимает огромную территорию с богатыми лесными ресурсами. Древостои Средней Сибири, с их большими площадями тайги, могут значительно влиять на глобальный углеродный баланс. Изучение углеродного пула древостоев

Средней Сибири имеет важное значение для научного понимания процессов углеродного обмена в лесных экосистемах.

Данные по структуре углеродного пула по таким фракциям, как ствол, корни, ветки, хвоя и листва важны для понимания роли лесных экосистем в углеродном обмене. Каждая из этих фракций вносит свой вклад в общий углеродный баланс древостоев и имеет свои особенности в цикле углерода. Корни являются ключевым элементом для поставки необходимых питательных веществ деревьям и обеспечивают устойчивость лесных экосистем. Изучение содержания и запасов углерода в корнях позволяет оценить их вклад в общий углеродный пул древостоев. Ветви, хвоя и листья также играют важную роль в углеродном обмене лесных экосистем. Изучение структуры углеродного пула по различным фракциям позволяет не только оценить общий объем углерода, накапливающегося в лесах Сибири, но и выявить особенности его распределения по фракциям. Анализ соотношения между различными компонентами древостоев помогает лучше понять процессы углеродного обмена и разработать эффективные стратегии по сохранению и управлению лесными ресурсами. Таким образом, изу-

чение структуры углеродного пула по различным фракциям древостоев Сибири является необходимым шагом для полного понимания углеродного цикла в лесных экосистемах этого региона.

Цель исследования – оценка углеродного пула репрезентативных древостоев таежной зоны Средней Сибири, расположенной на территории Красноярского края и анализ его фракционной структуры.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучение растительных сообществ на уровне природных зон требует большой предварительной работы по интеграции данных массовой таксации в лесничествах. Этот подход был осуществлен в рамках международного проекта «Лесные ресурсы, проблемы окружающей природной среды и социально-экономического развития Сибири», выполненного под руководством д.б.н. А. З. Швиденко (Nilsson, Isaev, 1992). Материалы лесоустройства лесничеств содержат основные сведения о землях и растительном покрове. Растительные сообщества изучаются по данным массовой таксации путем их генерализации на уровне лесничеств. В данном случае требуется гораздо более высокий уровень

генерализации – уровень природных подзон. Обобщение характеристик растительных сообществ по подзонам произведено по укрупненным выделам. Контурное и аналитическое дешифрирование укрупненных выделов выполнено по результатам анализа данных массовой таксации лесничеств. Характеристика растительных сообществ и распределение их площадей по природным подзонам получена на основе данных экорегионов. Картографирование растительных сообществ произведено методами ГИС-технологий с помощью программы ArcGis.

Объектами настоящего исследования служат входящие в состав Средней Сибири репрезентативные древостои подзон северной, средней и южной тайги, расположенные на территории Красноярского края. Репрезентативные древостои выбраны по критерию наибольшей представленности породы и классов бонитета в пределах подзон. В лесах северной тайги представлены березовые, еловые, кедровые и лиственничные древостои. Природно-климатические условия обуславливают формирование древостоев низкой продуктивности IV–Vб классов бонитета и относительной полнотой 0.3–0.7. В подзоне средней тайги

перечень пород расширяется за счет присутствия пихтовых и сосновых древостоев. Класс бонитета репрезентативных древостоев этой зоны находится в диапазоне III–Va при относительной полноте от 0.3 до 0.8. К репрезентативным древостоям южной тайги также относятся и осинники. Древостои этой подзоны имеют более высокую продуктивность, и при относительной полноте 0.3–0.8 здесь преобладают древостои I – III классов бонитета.

Среди методов оценки углерода наиболее распространены: метод инвентаризации древесины и почв; геоинформационное моделирование; дистанционное зондирование (Филипчук и др., 2016; Birdsey et al., 2006; Salunkhe et al., 2023). Одним из ключевых подходов к определению запасов углерода в древесине является метод конверсионных коэффициентов (КК), успешно применяемый в многочисленных работах и рекомендованный руководством МГЭИК (Замолодчиков и др., 2003; Руководящие..., 2003). С этой целью в работе используются данные, полученные методом лесных инвентаризаций. Метод КК является относительно простым, широко используется при оценке углеродного пула в лесных массивах и основан на расчетах

запаса углерода в древостоях по массе стволов, коры, корней, ветвей, хвои и листвы в абсолютно сухом состоянии (Швиденко и др., 2008; Филипчук и др., 2016). В этих работах предлагаются модели для вычисления массы различных фракций, основанные на анализе большого массива региональных фактических данных. Модели учитывают: породу; запас древостоя; средний возраст древостоя; класс бонитета; относительную полноту. На первом этапе оценки пулов углерода для репрезентативных древостоев рассчитывается абсолютно сухая фитомасса древостоев, по отдельным фракциям (ствол, кора, корни, ветви и хвоя или листва). В этом случае доля углерода по отношению к массе фракций практически не меняется: для хвои – 0.45, а для остальных фракций – 0.5 (Филипчук и др., 2016; Распоряжение..., 2021).

Фитомасса фракций древостоев рассчитана посредством моделей, обладающих высоким уровнем общности и хорошо согласующихся с региональными фактическими данными. Расчеты массы фракций в абсолютно сухом состоянии для всех древостоев, за исключением сосновых, выполнены в соответствии с уравнением (Швиденко и др.,

2008):

$$M_{fr} = G \times C_0 \times A^{C_1} \times B^{C_2} \times P^{C_3} \times \exp^{(C_4 \times A + C_5 \times P)}, \quad (1)$$

где:  $M_{fr}$  – масса фракции фитомассы, т га<sup>-1</sup>;  $G$  – запас древостоя, м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>;  $A$  – средний возраст древостоя, лет;  $B$  – код класса бонитета;  $P$  – относительная полнота;  $C$  – коэффициенты.

Коды бонитета – целые числа от 3 для класса бонитета Ic до 12 для класса бонитета Vb. Коэффициенты  $C_0 - C_5$  для расчета массы фракций фитомассы меняются от вида фракции и породы древостоя. Для сосновых древостоев расчеты выполнены в соответствии с уравнением (Швиденко и др., 2008):

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Северная тайга Средней Сибири.*

Из 59100 тыс. га территории северной тайги покрытая лесом площадь составляет 30250 тыс. га (51.2%). Репрезентативные древостои северной тайги представлены берёзой, елью, кедром и лиственницей, которые имеют низкую продуктивность с классом бонитета V – Vб и невысокую относительную полноту от 0.3 до 0.7, а для редины полнота не превышает 0.2 (табл. 1).

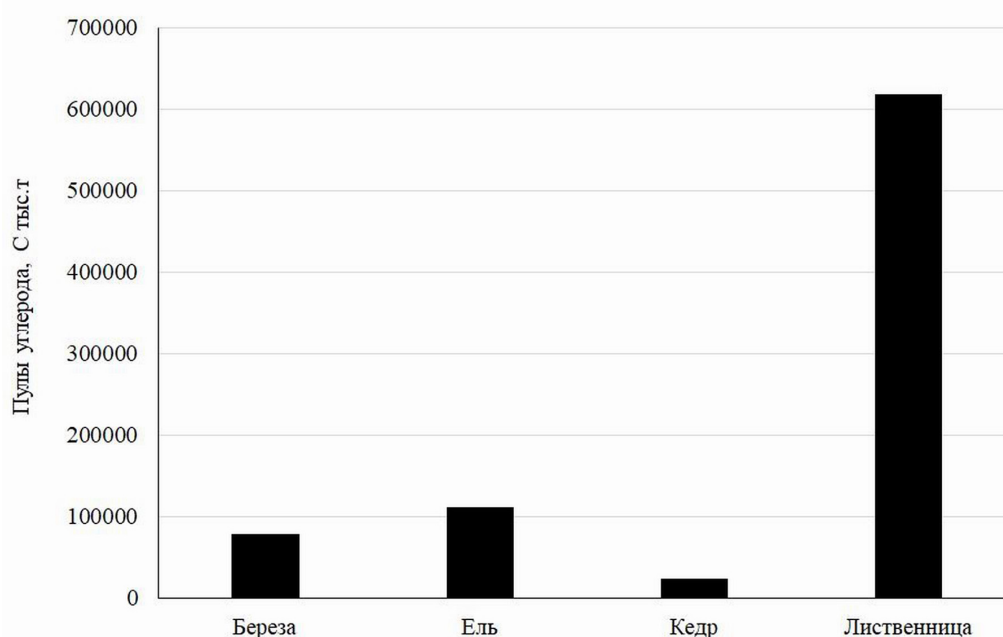
Рассчитанная величина углеродного пула на этой территории составляет 831455 тыс. т. Таким образом, в среднем

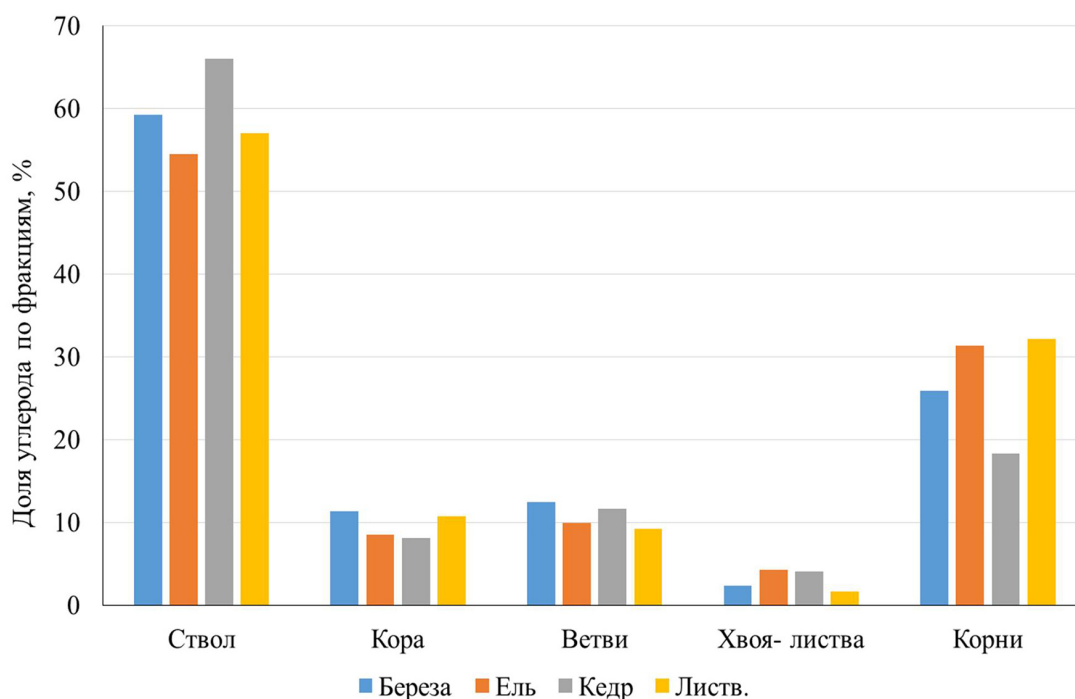
на 1 га приходится 27.5 тонн депонированного в древостое углерода. Площадь редины северной тайги составляет 5554 тыс. га. На этой территории, в соответствии с расчетами, депонировано 73970 тыс. т. углерода, что составляет в среднем 13.2 т га<sup>-1</sup>. Величины депонированного углерода по породам репрезентативных древостоев представлены на рисунке 1, а фракционный состав углеродного пула показан на рисунке 2.

На долю лиственничных древостоев приходится 74.5% от общего углеродного пула. Для березы, ели и кедра эта величина составляет 9.6%, 13.2% и 2.9% соответственно. Анализ фракционного состава углеродного пула показал, что он зависит от таксационных характеристик древостоя. Доля углерода, приходящаяся на стволовую древесину (здесь и далее приводятся данные для стволов в коре), составляет от 48.5% до 62.3% суммарной величины для всех фракций. Для крон эта величина находится в пределах от 8.5% до 14.6%, а для корней – от 17% до 31.4%.

**Таблица 1.** Запасы углерода в репрезентативных древостоях северной тайги

Класс	№	Преобладающая порода	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Площадь, тыс. га	Запасы углерода во фракциях, т С га <sup>-1</sup>				
								Ствол в коре	Кора	Ветви	Хвоя-листва	Корни
Покрытые лесом	1	Берёза	68	V	0.7	65	2812.342	16.59	3.18	3.49	0.66	7.24
	2	Берёза	36	Va	0.5	15	31.642	3.87	0.84	0.94	0.32	2.62
	3	Ель	111	IV	0.7	150	219.358	32.14	4.70	5.41	2.38	16.56
	4	Ель	122	V	0.6	105	2235.892	23.22	3.64	4.26	1.85	13.52
	5	Ель	135	Va	0.6	133	60.086	30.23	4.95	5.95	2.48	18.22
	6	Кедр	160	IV	0.6	260	167.27	58.12	7.08	9.44	3.56	15.67
	7	Кедр	190	V	0.5	129	4909.27	28.61	3.50	5.10	1.79	7.94
	8	Кедр	193	Va	0.7	92	57.429	20.34	2.70	3.32	1.19	5.62
	9	Листв.	147	IV	0.5	132	514.158	35.29	6.06	4.40	0.80	14.75
	10	Листв.	133	V	0.4	68	6189.403	18.51	3.41	2.75	0.50	9.24
	11	Листв.	166	Va	0.3	46	13695.392	12.76	2.43	2.16	0.38	7.67
	12	Листв.	152	V6	0.3	40	3926.648	11.15	2.25	2.03	0.36	7.21
Редины	13	Берёза	60	Va	0.1	6	75.885	2.10	0.17	0.67	0.80	0.98
	14	Ель	147	V	0.2	40	154.124	9.24	1.51	1.51	0.83	4.89
	15	Ель	140	Va	0.2	19	232.425	4.54	0.78	0.82	0.43	2.48
	16	Кедр	180	V	0.2	55	3.143	11.54	1.08	2.87	0.87	2.90
	17	Листв.	84	V	0.1	19	219.840	5.68	1.02	1.43	0.33	5.92
	18	Листв.	150	Va	0.2	27	2829.281	7.72	1.46	1.47	0.28	5.65
	19	Листв.	203	V6	0.2	20	2039.845	5.69	1.11	1.16	0.21	4.42

**Примечание.** Листв. – лиственница.**Рисунок 1.** Запасы углерода в древостоях преобладающих пород репрезентативных северотаежных лесов



**Рисунок 2.** Фракционный состав углеродного пула древостоев преобладающих пород северотаежных лесов

### *Средняя тайга Средней Сибири.*

Площадь территории средней тайги равна 33340 тыс. га, из которой покрытая лесом площадь составляет 28174 тыс. га (84.5%). Репрезентативные древостои средней тайги имеют бонитет III - V класса при относительной полноте до 0.8. Рассчитанная величина углеродного пула на этой территории равна 1257101 тыс. т. (табл. 2). Таким образом, в среднем на 1 га приходится 44.6 т депониро-

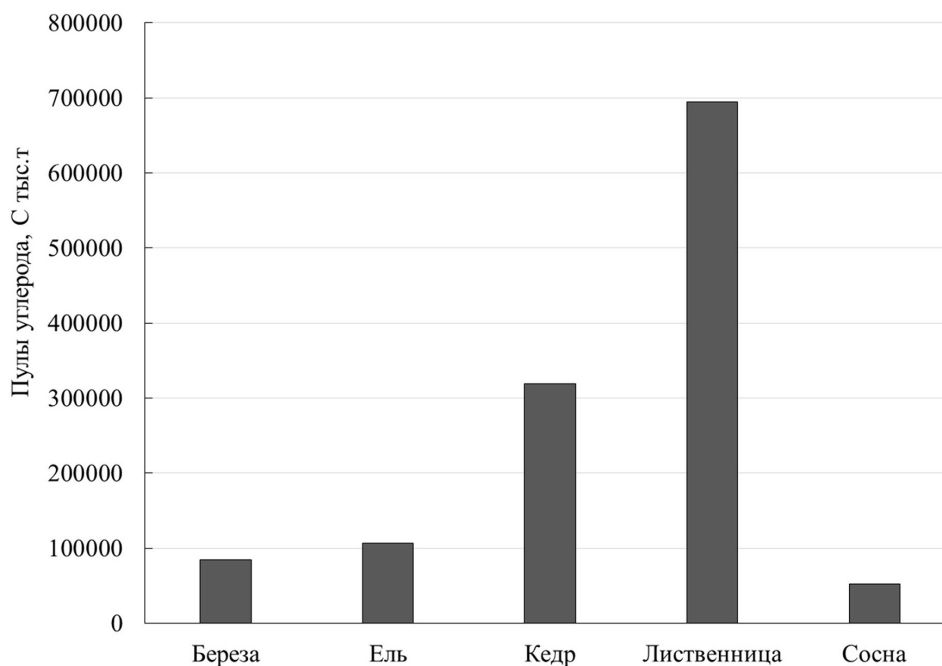
ванного углерода.

Величины депонированного углерода по породам репрезентативных древостоев представлены на рисунке 3. На долю лиственных и кедровых древостоев приходится 55.3% и 25.4% от общего углеродного пула соответственно. Вклад остальных пород составляет: 8.5% – ель; 6.7% – береза; 0.05% – пихта. Фракционный состав углеродного пула показан на рисунке 4.

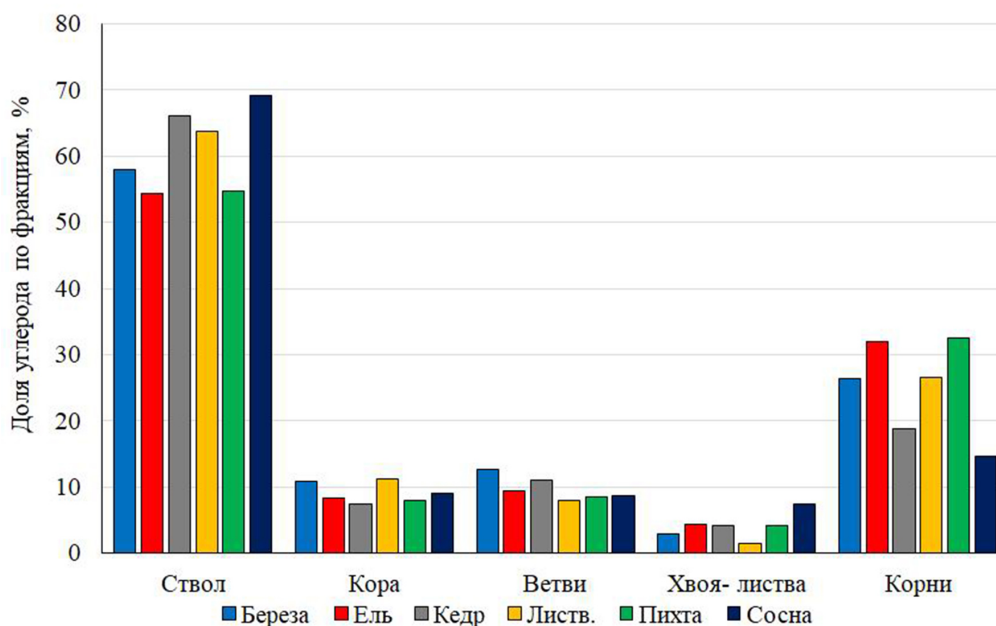


**Таблица 2.** Запасы углерода в репрезентативных древостоях средней тайги

№	Преобладающая порода	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Площадь, тыс. га	Запасы углерода во фракциях, т С га <sup>-1</sup>				
							Ствол в коре	Кора	Ветви	Хвоя-листва	Корни
1	Берёза	22	III	0.7	37	139.483	20.22	4.63	4.66	1.79	10.88
2	Берёза	84	IV	0.8	81	962.955	42.20	7.34	8.49	1.36	14.31
3	Берёза	44	V	0.5	34	2979.893	18.26	3.59	4.25	1.23	9.82
4	Ель	118	IV	0.5	123	1389.524	52.75	7.96	8.81	4.65	31.41
5	Ель	123	V	0.6	106	876.688	46.86	7.34	8.58	4.14	27.29
6	Ель	120	Va	0.3	39	69.757	17.59	2.06	4.84	2.13	5.22
7	Кедр	152	IV	0.4	174	1824.400	77.06	8.32	13.83	5.60	20.31
8	Кедр	175	V	0.4	149	3980.744	66.39	7.74	13.30	5.23	18.47
9	Кедр	164	Va	0.3	54	290.925	29.98	5.71	5.07	1.00	18.01
10	Листв.	90	III	0.7	210	2.853	109.49	18.10	12.81	2.98	39.63
11	Листв.	120	IV	0.6	123	9437.935	65.16	11.33	7.94	1.71	26.08
12	Листв.	158	V	0.5	117	4261.910	62.74	11.40	8.40	1.68	28.39
13	Листв.	99	Va	0.3	35	227.331	19.91	2.58	5.35	1.66	8.44
14	Пихта	170	IV	0.5	150	11.284	63.39	9.26	9.85	5.43	37.81
45	Сосна	20	IV	0.6	80	521.668	33.48	5.552	4.324	7.270	6.717
16	Сосна	124	V	0.6	112	1023.907	46.52	5.622	5.826	4.091	10.003
17	Сосна	160	Va	0.6	95	173.353	40.32	4.840	5.170	3.362	9.259

**Примечание.** Листв. – лиственница.**Рисунок 3.** Запасы углерода в древостоях преобладающих пород репрезентативных среднетаежных лесов





**Рисунок 4.** Фракционный состав углеродного пула древостоев преобладающих пород репрезентативных среднетаежных лесов

Доля углерода, приходящаяся на стволовую древесину в рассматриваемых древостоях, составляет от 54.7% до 68.8% суммарной величины для всех фракций. Для крон эта величина варьирует в пределах от 10.4% до 6.3%, а для корней – от 14.9% до 32.6%.

#### ***Южная тайга Средней Сибири.***

Площадь южной тайги составляет 48393 тыс. га, из них доля покрытых лесом территорий равна 88.7%, что составляет 42908 тыс. га. Репрезентативные древос-

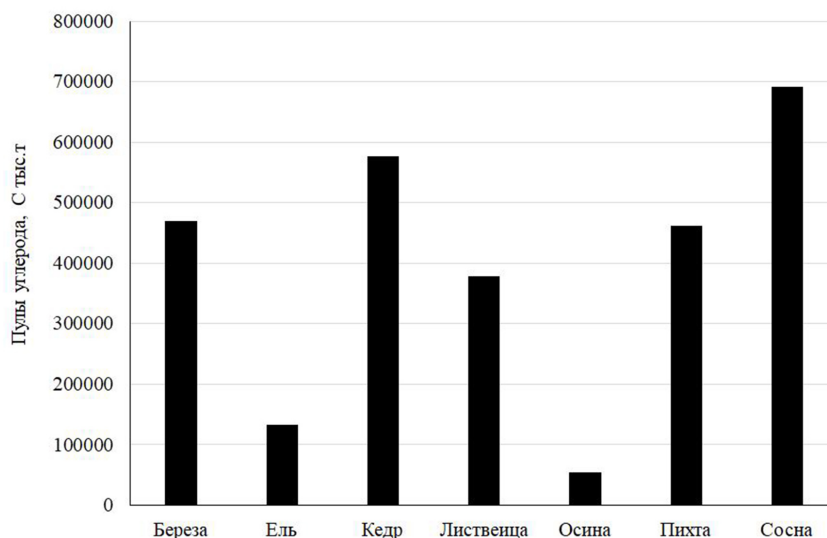
той южной тайги характеризуются высокой продуктивностью. В основном это древостои I–IV классов бонитета с относительной полнотой 0.6–0.7 (табл. 3).

Рассчитанная величина углеродного пула на этой территории равна 2766554 тыс. т. Таким образом, в среднем на 1 га приходится 64.5 т. депонированного углерода. Величины депонированного углерода по породам представлены на рисунке 5, а фракционный состав углеродного пула показан на рисунке 6.

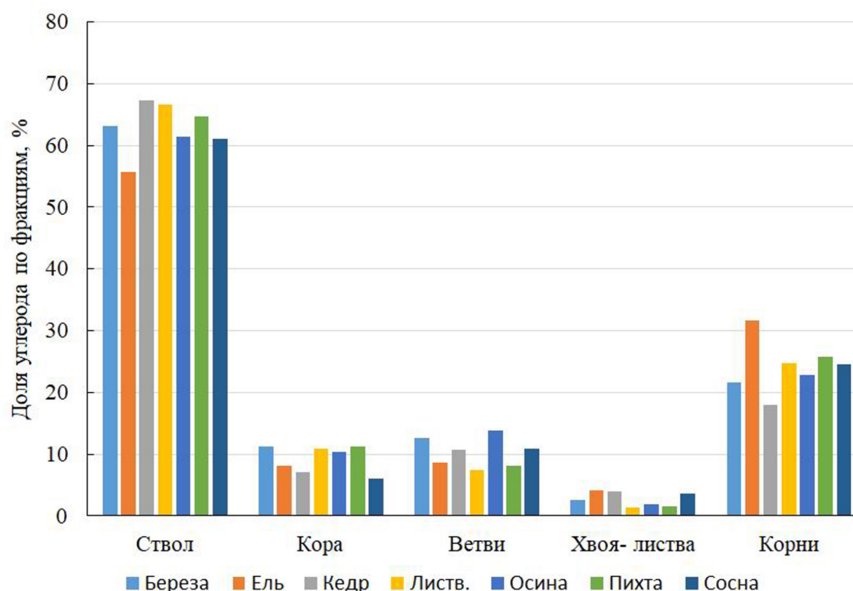
**Таблица 3.** Запасы углерода в репрезентативных древостоях южной тайги

№	Преобладающая порода	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Площадь, тыс. га	Запасы углерода во фракциях, т С га <sup>-1</sup>				
							ствол в коре	кора	ветви	хвоя-листва	корни
1	Берёза	20	I	0.6	25	6.070	7.82	1.52	1.80	0.73	2.95
2	Берёза	59	II	0.7	135	1200.309	39.53	6.61	7.71	1.37	11.08
3	Берёза	59	III	0.7	125	5937.259	34.75	6.21	6.98	1.17	11.77
4	Берёза	63	IV	0.7	89	1615.338	23.65	4.40	4.86	2.00	10.15
5	Берёза	58	V	0.6	48	354.071	12.54	2.42	2.74	1.32	6.45
6	Ель	40	II	0.3	70	0.361	14.63	2.00	3.09	2.31	8.11
7	Ель	125	III	0.5	192	838.857	39.51	5.58	5.76	2.90	22.53
8	Ель	132	IV	0.6	177	1010.549	37.68	5.55	6.09	2.79	21.12
9	Ель	171	V	0.5	138	85.427	30.19	4.66	5.21	2.46	18.71
10	Ива	40	I	0.6	40	0.559	9.49	1.36	1.73	0.34	3.51
11	Кедр	173	III	0.6	277	1362.908	60.87	6.13	8.81	3.18	15.68
12	Кедр	163	IV	0.6	219	3959.906	48.88	5.22	7.88	2.95	13.15
13	Кедр	200	V	0.6	171	2974.844	37.57	4.04	6.08	2.36	10.29
14	Кедр	140	Va	0.6	115	2.539	25.93	2.87	4.43	1.77	7.14
15	Листв.	60	I	0.8	250	2.093	63.28	9.10	7.04	1.62	18.95
16	Листв.	219	II	0.5	233	93.797	60.95	8.80	6.38	1.09	20.68
17	Листв.	143	III	0.6	207	2970.830	54.58	8.74	5.83	1.10	19.56
18	Листв.	147	IV	0.6	182	1585.158	48.18	8.24	5.60	1.05	18.93
19	Листв.	143	V	0.6	149	187.312	39.60	7.22	5.01	0.94	16.96
20	Листв.	170	Va	0.5	100	8.207	26.86	5.13	3.85	0.68	13.07
21	Осина	83	I	0.6	260	9.228	60.58	6.97	10.53	1.15	18.11
22	Осина	58	II	0.7	175	459.839	39.16	5.78	7.58	1.01	13.73
23	Осина	60	III	0.6	136	510.450	30.59	4.89	6.75	0.97	10.82
24	Осина	35	IV	0.7	69	20.340	14.85	3.23	3.66	0.79	6.48
25	Пихта	51	II	0.7	145	153.834	36.87	5.94	5.47	1.22	13.35
26	Пихта	93	III	0.6	184	1704.066	48.37	8.02	5.95	1.20	18.23
27	Пихта	112	IV	0.6	166	4243.125	43.95	7.68	5.48	1.07	17.74
28	Пихта	121	V	0.6	127	712.458	33.77	6.24	4.45	0.86	14.69
29	Пихта	170	Va	0.4	60	1.120	16.33	3.12	2.53	0.44	8.66
30	Сосна	49	I	0.6	178	34.861	35.09	3.82	6.20	2.78	9.45
31	Сосна	71	II	0.6	189	535.825	39.08	4.10	6.97	2.75	12.50
32	Сосна	102	III	0.6	181	4266.703	39.08	3.92	6.99	2.40	14.50
33	Сосна	146	IV	0.6	176	4994.775	39.55	3.77	7.06	2.10	16.70
34	Сосна	127	V	0.6	146	1063.313	33.31	3.46	6.30	2.21	15.98
35	Сосна	140	Va	0.6	110	1.460	25.69	2.70	4.98	1.75	13.75

**Примечание.** Листв. – лиственница.



**Рисунок 5.** Запасы углерода в древостоях преобладающих пород репрезентативных южнотаежных лесов



**Рисунок 6.** Фракционный состав углеродного пула древостоев преобладающих пород репрезентативных южнотаежных лесов

Наибольший вклад в углеродный пул вносят сосновые и кедровые древостои, на которые приходится соответственно 25% и 20.9% от общей величины. На березу, пихту и лиственницу приходится 17%, 16.7% и 13.4% соответственно. Вклад еловых древостоев в углеродный пул составляет 4.8%, а осино-

вых – 2%. Доля углерода, приходящаяся на стволовую древесину в репрезентативных древостоях южной тайги, составляет от 53.4% до 69.6% суммарной величины для всех фракций. Для коры эта величина находится в пределах от 5.8% до 12.5%, для крон – от 8.4 до 19.2, а для корней – от 17.7% до 33.1%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бореальные леса могут существенно влиять на глобальный углеродный баланс. Средняя Сибирь занимает значительную территорию, охватывающую разные подзоны тайги с разнообразными природно-климатическими условиями, влияющими на характеристики лесов. Это в первую очередь сказывается на характеристиках лесного фонда. Основной вклад в депонирование углерода вносят древостои лесов северной, средней и южной тайги, площадь которых составляет 87.5% от всей территории Средней Сибири. В связи с этим таежные леса Средней Сибири играют важнейшую экосистемную роль в поглощении и удерживании значительных объемов углерода. В результате особенностей природно-климатических условий на территории этих подзон сформировались древостои, значительно различающиеся по продуктивности. При классе бонитета IV–Vб древостоев подзоны северной тайги их относительная полнота составляет 0.3–0.7. Класс бонитета репрезентативных древостоев подзоны средней тайги варьирует в диапазоне III–Va при относительной полноте от 0.3 до 0.8. Древостои южной тайги обладают более высокой продуктивностью: при

относительной полноте 0.3–0.8 они характеризуются I–III классами бонитета. Запасы углерода в древостоях, соответственно, закономерно возрастают от 27.5 т га<sup>-1</sup> в северной, до 44.6 т га<sup>-1</sup> и 64.5 т га<sup>-1</sup> в средней и южной тайге. Различия в продуктивности древостоев этих подзон приводят к соответствующим различиям запасов углерода в стволах, кронах и корнях. Большой разброс запасов углерода во фракциях в пределах одной подзоны обусловлен различиями таксационных показателей для рассматриваемой территории. Тем не менее, вследствие законов аллометрии распределение углерода по фракциям в репрезентативных древостоях для рассмотренных таежных подзон близко: на долю стволов в северной тайге приходится от 49.9% до 66.7%, в средней тайге – от 53.8% до 70.4%, а для южной – от 53.4% до 69.6%, на долю корней в северной тайге приходится от 18.1% до 34.8%, в средней – от 13.2 до 33.4%, в южной – от 17.7% до 31.9%.

Оценка пулов углерода на уровне формаций основных лесообразующих пород позволяет анализировать продукционный процесс и углеродный цикл таежной зоны Средней Сибири. Полученные данные по углеродному пулу древостоев

важны не только для понимания процессов углеродного обмена в лесных экосистемах, но и для разработки эффективных стратегий по сохранению и управлению лесами в условиях изменения климата.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания № FWES-2024-0023 и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И., Честных О. В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесообразующих пород России // Лесная таксация и лесостроительство. 2003. № 1. С. 119–127.

Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20 (ред. от 20.01.2021). 137 с.

Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК. 2003. URL: [clck.ru/3Q2Kmm](http://clck.ru/3Q2Kmm) (дата обращения: 01.06.2024).

Таблицы для таксации фитомассы сосновых древостоев Сибири (проект нормативного документа). Красноярск, 1987. 15 с.

Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Моисеев Б. Н., Страхов В. В. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохозяйственная информация. 2016. № 3. С. 36–85.

Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Нильсон С., Булуй Ю. И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. Москва: Рослесхоз, 2008. 886 с.

Birdsey R., Pregitzer K., Lucier A. Forest Carbon Management in the United States // Journal of environmental quality. 2006. Vol. 35(4). P 1461–1469.

Nilsson S., Isaev A. Forest Resources, Environment and Socio-Economic Development of Siberia. A research pro-

posal. IIASA, Laxenburg, Austria. 1992. 46 p.

Salunkhe O. R., Valvi G. R., Singh S., Rane G. M., Khan M. L., Saxena V., Khare P. K. Forest carbon stock and biomass estimation in West Central India using two allometric models // Carbon Research. 2023. Vol. 2. Article number 9. DOI: 10.1007/s44246-023-00039-3.

### REFERENCES

Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Moiseev B. N., Strahov V. V., Analiticheskij obzor metodik ucheta vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovyh gazov iz atmosfery (Analytical review of methods for accounting for emissions and uptake of greenhouse gases from the atmosphere by forests), *Lesohozyajstvennaya informaciya*, 2016, No 3, pp. 36–85.

Nilsson S., Isaev A., Forest Resources, Environment and Socio-Economic Development of Siberia. A research proposal, IIASA, Laxenburg, Austria, 1992, 46 p.

*Rasporyazhenie Minprirody Rossii* (Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation), 30 June 2017, 137 p.

*Rukovodyashchie ukazaniya po effektivnoj praktike dlya zemlepol'zovaniya, izme-*

*nenij v zemlepol'zovanii i lesnogo hozyajstva, Programma MGEIK po nacional'nym kadastram parnikovyh gazov* (Good practice guidelines for land use, land-use change and Forestry, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program), MGEIK, 2003, URL: [clck.ru/3Q2Kmm](http://clck.ru/3Q2Kmm) (2024, 01 June).

Salunkhe O. R., Valvi G. R., Singh S., Rane G. M., Khan M. L., Saxena V., Khare P. K., Forest carbon stock and biomass estimation in West Central India using two allometric models, *Carbon Research*, 2023, Vol. 2, Article number 9, DOI: 10.1007/s44246-023-00039-3.

Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nil'son S., Buluj Yu. I., *Tablicy i modeli hoda rosta i produktivnosti nasazhdenij osnovnyh lesoobrazuyushchih porod Severnoj Evrazii* (Tables and models of the course of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia), Moscow: Rosleskhoz, 2008, 886 p.

*Tablicy dlya taksacii fitomassy sosnovyh drevostoev Sibiri, projekt normativnogo dokumenta* (Tables for the taxation of phytomass of Siberian pine stands, draft regulatory document), Krasnoyarsk, 1987, 15 p.

Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Chestnyh O. V., Koefficienty konversii zapasov nasazhdenij v fitomassu osnovnyh lesoobrazuyushchih porod Rossii (Conversion coefficients of plantings

stocks into phytomass of the main forest-forming species of Russia), *Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo*, 2003, No 1, pp. 119–127.

## CARBON POOL OF STANDS OF CENTRAL SIBERIA

**A. N. Borisov\*, V. V. Ivanov, S. K. Farber, N. S. Kuzmik**

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

\*E-mail: alnik\_borisov@mail.ru

Received: 04.10.2024

Revised: 24.11.2024

Accepted: 27.05.2025

The assessment of the carbon pool in representative forest stands of the northern, middle, and southern taiga subzones of Central Siberia, located in the territory of the Krasnoyarsk Krai, has been conducted. The area of these taiga regions accounts for 87.5% of the total territory of Central Siberia, and they make the main contribution to carbon deposition in this area. The total mass of deposited carbon in the representative stands of the northern taiga is 73970 thousand tons, in the stands of the middle taiga this value is 1257101 thousand tons, and for the southern taiga, it is 2766554 thousand tons. The average mass of deposited carbon for the northern taiga subzone is 13.2 tons per hectare, for the middle taiga it is 44.6 tons per hectare, and for the southern taiga, it is 64.5 tons per hectare. Such differences are due to the zonal characteristics of the natural and climatic conditions in these areas and, consequently, the varying productivity of the forest stands formed in these taiga subzones. The fractional composition of the carbon pool depends on many indicators, primarily on the bonitet (site quality), density, and fullness of the forest stand. For all the considered representative forest stands, the main contribution to carbon deposition comes from the trunks and roots of trees. In the northern taiga, the share of trunks accounts for 49.9% to 66.7% of the deposited carbon, while roots account for 18.1% to 34.8%. For the middle taiga, these val-



ues range from 53.8% to 70.4% for trunks and from 13.2% to 33.4% for roots. For the southern taiga, the share of deposited carbon in trunks is from 53.4% to 69.6%, and in roots, it is from 17.7% to 31.9%. The obtained data on the carbon pool of forest stands in the taiga zone of Central Siberia are important for understanding carbon exchange processes in forest ecosystems, as well as for developing effective strategies for the conservation and management of forest areas in the context of climate change.

**Keywords:** *Central Siberia, carbon pool in forest stands, fractional composition of the carbon pool*

**Рецензент:** к. б. н., с. н. с. Ромашкин И. В.