

УДК 630\*232:630\*161.22

*М.А. Карасева*

Карасева Маргарита Антиповна родилась в 1941 г., окончила в 1965 г. Поволжский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Марийского государственного технического университета. Имеет более 90 печатных работ в области искусственного лесовосстановления и интродукции древесных растений.



### **ПРОДУКТИВНОСТЬ И УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩИЕ ФУНКЦИИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

Определены показатели продуктивности фитомассы и углероддепонирующих функций древостоев лиственницы сибирской. Установлена доля участия в ассимиляционном процессе углекислого газа, доставляемого водным током в крону. Приведены параметры годичной продукции фитомассы, определенные по хлорофилльному индексу.

фитомасса, лиственница сибирская, депонирование углерода, фотосинтез, хлорофилл.

В настоящее время многие ученые отмечают значительную роль лесных экосистем в регулировании содержания CO<sub>2</sub> атмосферы, что особенно важно для биосферы и человека [4, 9–12]. Увеличить депонирование атмосферного углерода, по мнению ряда авторов [4, 9], можно, сохраняя леса и повышая их продуктивность, эффективность лесовосстановления, проводя реконструкцию непродуктивных насаждений. По мнению А. И. Уткина [10], для создания углероддепонирующих насаждений наиболее перспективна лиственница, так как при выращивании за пределами естественного ареала она интенсивно растет в молодом возрасте, древесина ее стойка к гниению. Эти свойства лиственницы позволяют сочетать относительно большие объемы (по сравнению с другими породами) депонирования углерода и длительное его аккумулялирование.

Цель наших исследований – оценить продуктивность фитомассы и углероддепонирующие функции искусственных фитоценозов лиственницы сибирской в Среднем Поволжье, создать базу экспериментальных данных, характеризующих запасы и депонирование углерода.

Различные подходы к оценке депонирования углерода в лесах России были проанализированы во ВНИИЦлесресурс, для чего разработана ме-

тодика определения запаса, среднего ежегодного прироста и баланса углерода [9]. Данный методологический подход основан на анализе оценок биологической продуктивности экосистем. Сравнительная оценка депонирования углерода проводилась нами по трем различным методикам: 1) определение запасов общей фитомассы фитоценозов, расчет показателей аккумулярования углерода и его средней ежегодной продукции; 2) расчет скорости поглощения CO<sub>2</sub> листьями через устьица по экспериментальным данным [5, 6] об интенсивности фотосинтеза и дыхания хвойных древесных пород в Среднем Поволжье, размерах фотосинтетического аппарата, массе хвои на 1 га древостоя; 3) определение проективного содержания хлорофилла, или хлорофилльного индекса, так как проведенные исследования и литературные данные показывают, что продуцирование органической массы тесно связано с работой ассимиляционного аппарата, содержанием хлорофилла в хвое и массой хвои на дереве.

В чистых лиственных культурах с учетом их возраста, полноты, определяли конверсионные коэффициенты по фракциям фитомассы (стволы, ветви, корни, хвоя). Измерения проводили на 20 пробных площадях, взвешивая фракции фитомассы 120 модельных деревьев. Запас аккумуляруемого углерода рассчитывали по запасам фракций, учитывая, что в 1 кг сухой массы стволов, ветвей и корней содержится примерно 0,5 кг углерода, 0,45 кг листьев и хвои [4, 8, 11]. Данные о фитомассе в чистых культурах лиственницы сибирской, произрастающих на дерново-среднеподзолистых суглинистых почвах в условиях свежей сурамени, приведены в табл. 1.

Основные запасы углерода лесных экосистем сосредоточены в надземной фитомассе, особенно в стволовой древесине, процент которой у лиственных фитоценозов Среднего Поволжья с возрастом увеличивается до 80 %.

Для расчета запасов абс. сухой фитомассы определяли содержание сухого вещества в каждой фракции. В древесине ствола в июле – августе его было в среднем 45 ... 47, в растущих побегах – 38, в хвое – 31 %.

Показатели запаса сухой надземной фитомассы, характеризующие способность лиственницы сибирской продуцировать органические вещества

Таблица 1

Возраст, лет	Число деревьев, тыс. шт. на 1 га	Средние		Сырая надземная масса, т/га			
		H, м	D, см	стволов	ветвей	хвои	Итого
10	1,5	5,7	6,8	33,6	15,6	14,6	63,4
20	1,4	12,4	16,0	100,7	28,8	22,0	151,5
30	1,0	17,5	19,0	184,7	30,2	19,0	233,9
40	0,9	20,5	21,5	266,4	31,1	16,9	314,4

Таблица 2

Возраст, лет	Сухая фитомасса, т/га	Годичная продукция фитомассы, т/га	Запас углерода, т/га			Годичное депонирование углерода, т/га
			Ствол, ветви, корни	Хвоя	Всего	
10	39,9	10,07	15,7	3,8	19,5	1,87
20	74,6	7,81	34,2	2,7	36,9	1,81
30	116,6	8,14	55,2	2,8	58,0	1,85
40	160,2	8,60	76,7	3,0	79,7	1,93
70	315,4	13,50	152,0	5,1	157,1	2,22

в лесорастительных условиях Среднего Поволжья, а также размеры депонирования углерода приведены в табл. 2.

Фитомассу других ярусов растительности не учитывали, так как развитие ее было слабым в связи с высокой сомкнутостью полога и малым проникновением солнечной радиации (8-9 % от суммарной) под полог основного яруса.

Депонирование углерода 10-летними культурами лиственницы в Среднем Поволжье выше, чем культурами хвойных пород Европейско-Уральской части России, которое, по данным А.С. Исаева и др. [4], составляют 1,079 т/га в год. В Западной и Восточной Сибири, в ареале произрастания лиственницы сибирской, эти показатели равны соответственно 0,942 и 0,990 т/га в год, т. е. почти в два раза меньше, чем в Среднем Поволжье.

Для расчетов параметров первичной продуктивности и ежегодного прироста содержания углерода в лиственничных фитоценозах по поглощению  $\text{CO}_2$  листьями через устьица использовали экспериментальные данные об интенсивности фотосинтеза и дыхания хвойных древесных пород в Среднем Поволжье, времени работы фотосинтетического аппарата и массе хвои на 1 га древостоя. Интенсивность фотосинтеза и дыхания определяли методом ассимиляционной колбы [3] и кондуктометрическим методом с применением высокостабильного прибора [6], содержание хлорофилла в хвое находили по методу Т.Н. Годнева [2] на приборе КФК-2.

Среднегодовалые значения интенсивности нетто-ассимиляции и дыхания хвои однолетних побегов на 11...12 ч дня за период май – июль (мг/(г·ч) на сухую массу хвои) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Древесная порода	Нетто-ассимиляция			Дыхание		
	$x$	$\pm m_x$	$C, \%$	$x$	$\pm m_x$	$C, \%$
Лиственница сибирская	3,00	0,29	55,7	1,90	0,31	105,6
Ель европейская	1,09	0,18	67,0	0,75	0,09	61,2
Сосна обыкновенная	1,12	0,09	34,6	0,85	0,15	79,2

Фотосинтез и дыхание являются информационными показателями, характеризующими первичную продуктивность и жизнеспособность деревьев. У лиственницы сибирской наблюдается наибольшая по сравнению с другими хвойными породами региона интенсивность фотосинтеза.

В настоящее время недостаточно исследованы пути транспорта и реутилизация углекислого газа в пределах самого растения как биологической системы, с учетом ее термодинамических свойств. При использовании существующих методов определения интенсивности  $\text{CO}_2$ -газообмена растений учитывается только углекислый газ, поступающий из атмосферы в листья через устьица и совершенно не учитывается доля  $\text{CO}_2$ , вовлекаемая в ассимиляционный процесс и доставляемая в листья вместе с водным током. Как установлено [1 и др.], определенные количества  $\text{CO}_2$  почвы могут поглощаться корневыми системами растений и вместе с водным током транспортироваться к листьям, компенсируя их потребность в углекислоте. К этому потоку добавляется доля  $\text{CO}_2$ , образуемая живыми клетками древесины в процессе дыхания и накапливаемая в сосудах и трахеидах, поскольку камбий относительно непроницаем для газов [7]. Экспериментально доказано, что углекислый газ, транспортируемый по растению водным током, может непосредственно включаться в состав метаболитов как путем темновой фиксации, так и в результате фотосинтетического цикла восстановления [1]. Повышенная активность этого потока  $\text{CO}_2$  объясняется тем, что, растворяясь в воде, он образует угольную кислоту, молекулы которой диссоциируют в воде на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Таким образом, можно говорить по крайней мере о двух потоках  $\text{CO}_2$ , используемых в процессе фотосинтеза. Аналогичная ситуация складывается и с  $\text{CO}_2$ -газообменом при дыхании.

Из расчетов, выполненных на основе данных А.В. Веретенникова [1], следует, что доля  $\text{CO}_2$ , доставляемого водным током в хвою сосны обыкновенной, оценивается на уровне 0,97 ... 2,17 мг/(г·ч). Для лиственницы сибирской, по нашим данным, эта цифра достигает в среднем 4,0 ... 7,5 мг/(г·ч), что сопоставимо с результатами расчетов для сосны обыкновенной. В зависимости от конкретных экологических условий и внутренних факторов доля  $\text{CO}_2$ , доставляемого водным током в крону (листья), может достигать конкретных реальных значений, устанавливаемых экспериментально.

Для оценки первичной продуктивности несомкнувшихся ценозов лиственницы сибирской использовали методику расчета годичной продукции по хлорофилльному индексу (проективному покрытию хлорофилла). Последний показатель корреляционно тесно связан с годичной продукцией и годичным депонированием углерода. Среднее содержание хлорофилла в хвое лиственницы составляло 3,75 ... 4,20 мг/г сухой хвои [6]. Хлорофилльный индекс у 10-летних культур изменялся от 11 до 35 кг на 1 га. С помощью световой энергии, поглощенной 1 кг хлорофилла, связывается в среднем 110 ... 128 кг углерода. Годичная продукция сухого вещества, опреде-

ленная по фракциям фитомассы, составляет в среднем 3,46 т/га в год, по хлорофилльному индексу 3,38 т/га в год.

Данная методика позволяет сравнивать различные технологии, применяемые для создания углерододепонирующих насаждений, и определять размеры продуцирования углерода фитоценозами в фазе их индивидуального роста с меньшими затратами времени по сравнению с другими методами. При оценке продуктивности и фотосинтетического стока искусственных фитоценозов в фазе формирования древостоя хлорофилльный индекс обладает меньшей информативностью, что обусловлено различным световым довольствием и разнокачественностью хвои.

Проведенные исследования показали, что депонирование углерода 20–40-летними лиственными фитоценозами в Среднем Поволжье составляет 2,0 ... 2,5 т/га в год, а аккумуляция углерода в наиболее продуктивных 70-летних насаждениях достигает 150 т/га.

При глобальных расчетах объемов депонирования углерода методом расчета скорости поглощения CO<sub>2</sub> через устья для получения более точных данных необходимо учитывать участие в ассимиляционном процессе углекислого газа, доставляемого водным током в крону, реальные конкретные значения которого устанавливаются в зависимости от экологических условий, вида древесных растений и других факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веретенников А.В.* Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. – М.: Наука, 1968. – 215 с.
2. *Годнев Т.Н.* Строение хлорофилла и методы его количественного определения. – Минск, 1952. – 327 с.
3. *Иванов Л.А., Коссович Н.А.* Полевой метод определения фотосинтеза в ассимиляционной колбе // Ботан. журн. – 1946. – Т. 31, № 5. – С. 3–12.
4. *Исаев А.С.* и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих и др. – М., 1995. – 148 с.
5. *Карасева М.А.* Лесные культуры лиственницы: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1996. – 66 с.
6. *Карасев В.Н.* Физиология растений: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 304 с.
7. *Крамер П. Д., Козловский Т.Т.* Физиология древесных растений / Пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.
8. *Лархер В.* Экология растений / Пер. с нем. – М.: Мир, 1978. – 382 с.
9. *Писаренко А.И.* и др. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты и проблема лесовосстановления / А.И. Писаренко, В.В. Страхов, Б.Н. Моисеев, А.М. Алферов // Использование и охрана природных ресурсов России. – М.: Ежемес. бюл. – 2000. – № 6. – С. 54–66.
10. *Уткин А.И.* Углеродный цикл и лесоводство. – М.: Лесоведение, 1995. – № 5. – С. 3–4.
11. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В.А. Алексева, Р.А. Бердси. – Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994 (1995). – 224 с.

---

12. Усольцев В.А., Колтунова А.И. Оценка запасов углерода в фитомассе лиственных экосистем Северной Евразии // Экология. – 2001. – № 4. – С. 258–266.

*M.A. Karaseva*

**Productivity and Carbon Storage Functions of Larch Phytocenoses in the Middle Volga Region**

Productivity indices of phytomass and carbon storage functions of Siberian larch stands are determined. The share of participation in the assimilation process of carbonic acid gas brought by the water current to the crown is established. The examples of annual phytomass production determined according to chlorophyll index are given.

---