

УДК 630\*27

UDC 630\*27

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство  
(биологические науки, сельскохозяйственные науки)

4.1.1. General agriculture and crop production  
(biological sciences, agricultural sciences)

**КОНВЕРСИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ  
ПОГЛОЩЕНИЯ CO<sub>2</sub> ПРИ РУБКАХ УХОДА  
ЗА ЛЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В  
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

**CONVERSION COEFFICIENTS OF  
ABSORPTION OF CO<sub>2</sub> DURING THINNING  
FOR FOREST PLANTATIONS IN THE  
VORONEZH REGION**

Водолажский Алексей Николаевич  
доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и  
лесоустройства  
e-mail: vod.a@list.ru  
*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени  
Г.Ф.Морозова», 394087, Российская Федерация,  
город Воронеж, ул. Тимирязева, дом 8*

Vodolazhsky Alexey Nikolaevich  
Associate Professor of the Department of Forestry,  
Forest Taxation and Forest Inventory  
e-mail: vod.a@list.ru  
*FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry  
and technologies named after G.F. Morozov"  
394087, Russian Federation, Voronezh, Timiryazeva,  
8*

Тувышкина Маргарита Александровна  
старший преподаватель кафедры лесоводства,  
лесной таксации и лесоустройства  
e-mail: k995ma@yandex.ru  
*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени Г.Ф.  
Морозова», 394087, Российская Федерация, город  
Воронеж, ул. Тимирязева, дом 8*

Tuvyshkina Margarita Alexandrovna  
Senior Lecturer of the Department of Forestry, Forest  
Taxation and Forest Inventory  
e-mail: k995ma@yandex.ru  
*FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry  
and technologies named after G.F. Morozov"  
394087, Russian Federation, Voronezh, Timiryazeva,  
8*

Карташова Нелли Павловна  
доцент кафедры ландшафтной архитектуры и  
почвоведения  
e-mail: Kartashova\_73@mail.ru  
*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени  
Г.Ф.Морозова», 394087, Российская Федерация,  
город Воронеж, ул.Тимирязева, дом 8*

Kartashova Nelli Pavlovna  
Associate Professor of the Department of Landscape  
Architecture and Soil Science  
e-mail: Kartashova\_73@mail.ru  
*FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry  
and technologies named after G.F. Morozov"  
394087, Russian Federation, Voronezh, Timiryazeva,  
8*

Кулакова Екатерина Николаевна  
доцент кафедры ландшафтной архитектуры и  
почвоведения  
e-mail: kulakova\_92@list.ru  
*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени  
Г.Ф.Морозова», 394087, Российская Федерация,  
город Воронеж, ул.Тимирязева, дом 8*

Kulakova Ekaterina Nikolaevna  
associate professor of the Department of Landscape  
Architecture and Soil Science  
e-mail: kulakova\_92@list.ru  
*FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry  
and technologies named after G.F. Morozov"  
394087, Russian Federation, Voronezh*

Алиева Елена Сергеевна  
преподаватель СПО кафедры ландшафтной  
архитектуры и почвоведения  
e-mail: missixti.27@yandex.ru  
*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени  
Г.Ф.Морозова», 394087, Российская Федерация,  
город Воронеж, ул.Тимирязева, дом 8*

Alieva Elena Sergeevna  
Lecturer at the Department of Landscape  
Architecture and Soil Science  
e-mail: missixti.27@yandex.ru  
*FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry  
and technologies named after G.F. Morozov"  
394087, Russian Federation, Voronezh, Timiryazeva,  
8*

В процессе управления лесами, их охраны,  
защиты и воспроизводства в практике лесного  
хозяйства планируется и реализуется комплекс  
лесохозяйственных мероприятий [1,2]. Каждое из

In the process of management, protection,  
conservation, protection and reproduction of forests,  
a set of forestry measures is planned and  
implemented in forestry practice [1,2]. Each of them

них определенным образом отражается на процессе поглощения лесами парниковых газов. Нами разработаны конверсионные коэффициенты для количественной оценки роли такого мероприятия, как рубки, проводимые в целях ухода за лесными насаждениями, позволяющие определить объем поглощения или выделения парниковых газов в тоннах CO<sub>2</sub>-экв. на единицу объема выполнения данного лесохозяйственного мероприятия. Основным источником информации выступает Лесной план Воронежской области и материалы лесного реестра (Форма № 2-ГЛР). Используя метод сравнительного анализа, определены преобладающие основные лесобразующие породы и их таксационные характеристики. Расчет величин конверсионных коэффициентов выделения углекислоты при рубках ухода проводился по средним значениям бонитета, установленным ранее на основе анализа Лесного плана Воронежской области и по преобладающим породам для чистых по составу насаждений. Обработка результатов осуществлялась с использованием приложений Microsoft, используя возможности электронных таблиц, что позволяет благодаря единой методологической основе автоматизировать операции по оформлению и представлению результатов вычислений

Ключевые слова: ЛЕСООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ, УГЛЕРОДОДЕПОНИРОВАНИЕ, КОНВЕРСИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ, ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

has a certain impact on the process of greenhouse gas absorption by forests. In order to quantitatively assess the role of such measures as harvesting of forest plantations, we have developed conversion coefficients that allow us to determine the volume of absorption or release of greenhouse gases in tons of CO<sub>2</sub>-eq. per unit volume of implementation of this forest management measure. The main source of information is the Forest Plan of the Voronezh region and forest registry materials (Form No. 2-GLR). Using the method of comparative analysis, the prevailing main forest-forming species and their taxation characteristics were determined. Values of carbon dioxide emission conversion factors during thinning were calculated using average bonitet values established earlier on the basis of the analysis of the Voronezh Oblast Forest Plan and prevailing species for pure stands. The results were processed using Microsoft application programs with the use of spreadsheet capabilities, which allows, due to a common methodological basis, to automate the design and presentation of calculation results

Keywords: FOREST FORMING SPECIES, CARBON DEPOSITION, CONVERSION FACTORS, ABSORPTION CAPACITY, FOREST MANAGEMENT MEASURES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-191-008>

Для определения параметров рубок, проводимых в целях ухода за лесными насаждениями (далее рубок ухода), в основу легли «Правила ухода за лесами» (приказ МПР России от 30.07.2020 № 534). Нами рассматривались основные виды рубок ухода, проводимые для формирования насаждений в молодняках и средневозрастных древостоях. Срок проведения каждого вида рубок ухода для осуществления расчетов брался на конец установленного Правилами возрастного периода. Для осветлений и прочисток расчет выполнен с учетом однократного проведения этих видов рубок ухода, так как при их проведении не заготавливается древесина и период рубки небольшой (10 лет). Для прореживаний и прочисток учитывалось несколько приемов рубок с

<http://ej.kubagro.ru/2023/07/pdf/08.pdf>

учетом периода повторяемости в 20 лет. Расчет проводился по среднему бонитету (II,4) для лесов Воронежской области, указанному в Лесном плане субъекта РФ.

Для чистых насаждений минимальная полнота после рубки ухода в соответствии с Правилами бралась 0,6 при осветлениях и прочистках, и 0,7 при прореживаниях и проходных рубках. Для смешанных насаждений соответственно 0,4 и 0,5. Интенсивность рубки рассчитывалась с градацией 5% для насаждений с полнотой, при которой возможно её снижение в ходе рубки хотя бы на 0,1. Дополнительно проведён расчет конверсионных коэффициентов при более низкой интенсивности рубок ухода. В этом случае снижение полноты принимается до её величины, большей на 0,1 по сравнению с первым вариантом.

Запас в необходимом возрасте определялся по таблицам хода роста для бонитета II,4 методом интерполирования между смежными значениями целых бонитетов с учетом доли породы в составе. Вырубаемый запас устанавливался на основании интенсивности от исходного запаса. Так же по таблицам хода роста определялся естественный отпад за выбранный период. Результативный баланс выбывающего запаса – это разница между вырубаемым запасом и естественным отпадом, присутствующим в насаждении в случае отсутствия рубки. Если вырубаемый запас не превышает естественного отпада, то проводимая рубка не вызывает дополнительного выброса углекислоты. Конверсионный коэффициент в этом случае равен нулю. При положительном конверсионном коэффициенте наблюдается дополнительный выброс углекислоты [3,4].

Около 25 % глобальной эмиссии углерода улавливается ландшафтами, богатыми растениями, такими как леса, луга и пастбища. Когда с растений опадают листья и ветки или они погибают, накопленный углерод либо высвобождается в атмосферу, либо переходит в почву.

Лесные пожары и деятельность человека, например, вырубка лесов, могут способствовать уменьшению площади лесов как поглотителя углерода.

Для оценки воздействия рубок ухода на выброс или поглощение углекислого газа как в краткосрочной (в течение одного или нескольких классов возраста), так и в долгосрочной (суммарный выброс или поглощение к возрасту спелости) перспективе нами были проведены расчёты для чистых и смешанных насаждений преобладающих пород Воронежской области. При этом мы исходили из определенных теоретических допущений.

1) Естественная возрастная динамика запаса насаждений представлена в таблицах хода роста. Мы использовали общие таблицы хода роста полных насаждений по преобладающим породам, произрастающим в Воронежской области.

2) После проведения определенного вида рубок ухода насаждение возвращается к исходной линии естественного развития через определенный промежуток времени, который примерно соответствует сроку повторяемости данного вида рубок ухода.

3) Насаждения с полнотой единица ограничены в дальнейшем развитии естественной конкуренцией и полным использованием жизненного пространства при данной полноте. Древостои с более низкой полнотой имеют возможность наращивать прирост до полноты единица.

4) Рубки ухода не вызывают дополнительных выбросов углекислого газа, если вырубленный объем не превышает величины естественного отпада на определённом этапе развития или суммарно к возрасту спелости.

5) Используя таблицы хода роста оценить итоговый баланс поглощенного и выделенного углекислого газа к возрасту спелости в пределах одной полноты можно только для ее предельного значения (1,0). Насаждения с более низкой полнотой могут изменять ее в сторону повышения.

Изучая дубовые леса южной лесостепи Теллермановского опытного лесничества, Истомина Ю.Г. пришла к выводу, что общая продуктивность (включая опад и вырубленную древесину) выше в древостоях без проведения рубок ухода [5].

Рубки ухода оказывают влияние на повышение продуктивности насаждений и на поглощение или выделение атмосферного углекислого газа.

Практика управления лесным хозяйством обычно направлена на ускоренное выращивание древесины и повышение ее качества (экономический доход от выхода деловой древесины) за счет рубок ухода, прореживания древесного полога, направленного на проникновение света, почвенной влаги и питательных веществ, а не поглощению углерода. И наоборот, леса, не пройденные рубками ухода, не дают древесины, но имеют высокий показатель биомассы и, следовательно, накапливают большое количество углерода. В условиях управления накопление углерода в лесных экосистемах и естественная гибель деревьев могут уменьшаться, а рост оставшихся деревьев увеличиваться. Эти процессы воспроизводятся моделью при рубках ухода, а также подтверждаются наблюдениями.

Учитывая различные мнения ученых по поводу влияния рубок ухода на увеличение прироста насаждений и, следовательно, на дополнительное поглощение или выделение углекислого газа, мы оценивали это воздействие исходя из приведенных в методической части теоретических допущений. Результаты расчетов конверсионных коэффициентов при различной интенсивности по видам рубок ухода для Воронежской области приведены в таблице 1. Они показывают в тоннах величину поглощенного или выделенного углекислого газа на один кубический метр древесины, вырубленной в ходе проведения определённого вида рубок ухода. Положительная величина коэффициента соответствует выделению

углекислоты в результате проведения мероприятия на определённом этапе развития насаждения, а отрицательная – её поглощению. Нулевое значение коэффициента говорить о нейтральности мероприятия при соответствующих условиях.

Таблица 1- Конверсионные коэффициенты (т CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>) при рубках ухода за лесными насаждениями в Воронежской области для бонитета II,4

Первоначальный состав	Полнота	Осветление (10 лет)		Прочистка (20 лет)		Прореживание (40 -60 лет)		Проходная рубка (до 50, от 50 до 120 лет)		Состав к возрасту спелости	Конверсионный коэффициент выделения CO <sub>2</sub> , тCO <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>
		Интенсивность, %	Конверсионный коэффициент выделения CO <sub>2</sub> , тCO <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>	Интенсивность, %	Конверсионный коэффициент выделения CO <sub>2</sub> , тCO <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>	Интенсивность, %	Конверсионный коэффициент выделения CO <sub>2</sub> , тCO <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>	Интенсивность, %	Конверсионный коэффициент выделения CO <sub>2</sub> , тCO <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>		
10С	1	40	0	40	0,182	30	0	30	0,579	10С	0,163
	0,9	35	0	35	0	20	0	20	0,224		
	0,8	30	0	30	0	20	0	20	0,224		
10Дс	1	40	1,151	40	1,228	30	0,683	30	1,006	10Дс	0,776
	0,9	35	0,993	35	1,081	20	0,125	20	0,609		
	0,8	25	0,486	25	0,609	15	0	15	0,212		
10Дс	1	30	0,782	30	0,884	20	0,125	20	0,609	10Дс	0,304
	0,9	20	0,043	20	0,197	10	0	10	0		
	0,8	20	0,043	20	0,197	10	0	10	0		
10Дп	1	40	0,929	40	1,275	30	0,196	30	0,765	10Дп	0,450
	0,9	35	0,645	35	1,040	20	0	20	0,155		
	0,8	25	0	25	0,289	15	0	15	0		
10Дп	1	30	0,266	30	0,727	20	0	20	0,155	10Дп	0
	0,9	40	0,740	40	0,746	30	0,189	30	0,918		
	0,8	35	0,617	35	0,624	20	0	20	0,651		
10Б	1	40	0,740	40	0,746	30	0,189	30	0,918	10Б	0,373
	0,9	35	0,617	35	0,624	20	0	20	0,651		
	0,8	25	0,222	25	0,232	15	0	15	0,383		
10Б	1	30	0,452	30	0,460	20	0	20	0,651	10Б	0
	0,9	55	0,987	55	1,158	45	0,802	45	1,181		
	0,8	50	0,907	50	1,092	40	0,701	40	1,118		
	0,7	45	0,809	45	1,010	30	0,399	30	0,929		
	0,6	35	0,530	35	0,776	15	-0,598	15	0,213		
6Д4Лп	1	50	0,907	50	1,092	40	0,701	40	1,118	8Д2Лп	1,054
	0,9	45	0,809	45	1,010	35	0,572	35	1,037		
	0,8	40	0,687	40	0,907	25	0,158	25	0,777		
	0,7	30	0,321	30	0,601	15	-0,598	15	0,213		
	0,6	15	0	15	-0,205						
2Д8Лп	1	60	0,794	60	1,082	50	0,755	50	0,904	6Д4Лп	0,798
	0,9	55	0,731	55	1,030	45	0,671	45	0,836		
	0,8	50	0,656	50	0,968	40	0,565	40	0,751		
	0,7	45	0,564	45	0,891	30	0,248	30	0,496		
	0,6	35	0,301	35	0,673	15	-0,649	15	-0,525		
2Д8Лп	1	50	0,656	50	0,968	40	0,565	40	0,751	6Д4Лп	0,628
	0,9	45	0,564	45	0,891	35	0,429	35	0,641		
	0,8	40	0,449	40	0,796	25	-0,006	25	0,292		
	0,7	30	0,104	30	0,509	15	-0,649	15	-0,525		
	0,6	15	0	15	-0,373						

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что отрицательные значения конверсионных коэффициентов, показывающие поглощение углекислого газа из атмосферы, встречаются редко, и только в смешанных насаждениях с низкой полнотой, где предусмотрена слабая интенсивность рубки. Зная, что прореживание обычно используется для перераспределения пространства между оставшимися деревьями, что приводит к снижению конкуренции между деревьями за доступные ресурсы. Прореживание может привести к увеличению товарного объема древесины и получения дохода. Общее предположение состоит в том, что за счет перераспределения пространства для роста и снижения конкуренции за ресурсы прореживание повышает эффективность роста оставшихся деревьев. Результаты широкого спектра экспериментов по прореживанию в целом подтверждают это предположение. Однако есть и ряд результатов, в которых прореживание привело к увеличению гибели растений и замедления роста оставшихся деревьев. Таким образом, обобщить реакцию на прореживание очень сложно, поскольку реакция отдельных деревьев на прореживание может варьировать в зависимости от характеристик древостоя, участка, породы и метода прореживания.

Кроме того, на рост оставшихся после рубки деревьев могут влиять условия, созданные рубкой, включая начальный размер деревьев и скорость их роста до рубки.

Так, например, поглощение  $\text{CO}_2$  наблюдается при прореживаниях в смешанных дубово-липовых насаждениях с полнотой 0,6-0,7 при интенсивности рубки 15%, и практически незначительно при полноте 0,8 с интенсивностью 25%.

При прочистках положительный результат в депонировании углерода наблюдается только при полноте смешанных насаждений 0,5 и 0,6 при интенсивности рубки 20% и 15% соответственно. При проходных рубках – при полноте 0,6-0,7 и интенсивности 15%. При остальных

условиях в смешанных насаждениях в результате рубок ухода наблюдается только увеличение выделения  $\text{CO}_2$  или нейтральный результат.

В смешанном дубово-липовом насаждении исходный состав 6Д4ЛП в ходе осветления корректируется. В результате к моменту проведения прочистки доля дуба возрастает, а липы уменьшается. Таким образом, к 20 годам состав будет 7Д3Лп. При сравнении изменившегося в результате рубки запаса по новому составу с запасом при исходном составе, мы имеем его увеличение для дуба и уменьшение для липы. Изменение состава вызывает увеличение поглощения углекислого газа дубом и выделение его за счет уменьшения запаса липы. В сумме преобладает поглощение  $\text{CO}_2$ . Конверсионный коэффициент складывается из баланса поглощения углекислого газа за счет изменения состава и его выделения за счет вырубаемой древесины в объеме, превышающем естественный отпад.

К возрасту рубки состав насаждения будет 8Д2Лп. Но, не смотря на значительное увеличение доли дуба в составе, этого не хватит чтобы превысить выброс углекислого газа в результате значительного объема вырубленной древесины. Основная причина этого в большей величине интенсивности рубок ухода в смешанных насаждениях.

В чистых насаждениях смены пород не происходит и оценить влияние рубок ухода на баланс углерода при принятых условиях расчетов можно только сравнением объемов изымаемой в ходе рубок древесины с естественным отпадом при их отсутствии. В чистых сосновых древостоях дополнительный выброс  $\text{CO}_2$  наблюдается в результате проходных рубок интенсивностью 30-40 % и прочистки с 40%-ной интенсивностью. В дубовых насаждениях доля естественного отпада меньше, поэтому при интенсивности рубки 30-40% практически постоянно наблюдается дополнительная эмиссия углекислого газа с величиной конверсионного коэффициента от 0,155 до 1,275. При интенсивности 10-20% значение коэффициента поднимается максимально до 0,609 (при 20%), а в половине



случаев равно нулю. При более низкой интенсивности рубок в большинстве случаев дополнительного выброса углекислоты не происходит.

Проведённые расчёты конверсионных коэффициентов для рубок ухода различной интенсивности на территории Воронежской области показывают отрицательное влияние этих лесохозяйственных мероприятий на депонирование углекислого газа.

Отрицательные значения конверсионных коэффициентов, которые соответствуют поглощению углекислого газа из атмосферы, встречаются только в смешанных насаждениях с низкой полнотой где предусмотрена слабая интенсивность рубок ухода. При остальных условиях в смешанных насаждениях в результате рубок ухода наблюдается только увеличение выделения  $\text{CO}_2$  или нейтральный результат.

Полученные конверсионные коэффициенты дают возможность определить объемы выделения углекислого газа в результате проведения рубок ухода в чистых и смешанных насаждениях основных лесобразующих пород в Воронежской области при различных значениях исходной полноты, зная объемы проведенных или планируемых рубок. Это позволяет в зависимости от приоритетных целей лесного хозяйства устанавливать баланс между лесохозяйственными требованиями, направленными на получение высококачественной древесины, и экологическими устремлениями к повышению углерод депонирующей роли лесных насаждений.

#### Список литературы

1. Ананьев В.А., Асикайнен А., Вяльккю Э., Герасимов Ю.Ю., Демин К.К., Сиканен Л., Сюнев В.С., Тюкина О.Н., Хлюстов В.К., Ширнин Ю.А. Промежуточное пользование лесом на Северо-западе России: учебное пособие / Йёнсуу: НИИ леса Финляндии. 2005. 150 с.
2. Георгиевский Н.П. Рубки ухода за лесом / М : Гослесбуиздат, 1957. – 142 с.

3. Гергардт Интенсивность прореживаний в целях повышения массы и качества прироста // «Лесное хозяйство и охота», вып. I, 1931.
4. Давыдов А.В. Рубки ухода за лесом / М.: Лесная промышленность, 1971. — 184 с.
5. Истомина Я.Г., Каплина Н. Ф. Многолетняя динамика нагорных дубрав южной лесостепи, сформированных рубками ухода (Теллермановское опытное лесничество) // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. С. 66-68

### References

1. Anan'ev V.A., Asikajnen A., Vjal'kkju Je., Gerasimov Ju.Ju., Demin K.K., Sikanen L., Sjunev V.S., Tjukina O.N., Hljustov V.K., Shirnin Ju.A. Promezhutochnoe pol'zovanie lesom na Severo-zapade Rossii: uchebnoe posobie / Joensuu: NII lesa Finljandii. 2005. 150 s.
2. Georgievskij N.P. Rubki uhoda za lesom / M : Goslesbumizdat, 1957. – 142 s.
3. Gergardt Intensivnost' prorezhivanij v celjah povyshenija massy i kachestva prirosta // «Lesnoe hozjajstvo i ohot», vyp. I, 1931.
4. Davydov A.V. Rubki uhoda za lesom / M.: Lesnaja promyshlennost', 1971. — 184 s.
5. Istomina Ja.G., Kaplina N. F. Mnogoletnjaja dinamika nagornyh dubrav juzhnoj lesostepi, sformirovannyh rubkami uhoda (Tellermanovskoe opytное lesничество) // Nauchnye osnovy ustojchivogo upravlenija lesami: Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii. – М.: CJePL RAN, 2014. S. 66-68