

УДК 504.7:630

АССИМИЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСАМИ КАК ЭКОСИСТЕМНАЯ УСЛУГА: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НА ПРИМЕРЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ И НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЧИКОЙ»

В. С. Брезгин^{а,*}, Г. М. Агафонов^{б,**}

^а *Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия*

^б *Национальный парк «Чикой»*

* *E-mail: monmanage@bk.ru*

** *E-mail: agmles51@gmail.com*

В статье представлены результаты оценки роли лесов Забайкальского края и национального парка «Чикой» в поглощении атмосферного углерода. Расчеты выполнены на основе данных государственного лесного реестра о породном и возрастном составе лесных насаждений за 2005–2021 гг. с использованием методики, учитывающей коэффициенты прироста. Полученные количественные оценки роли лесов региона в депонировании углерода подтверждают необходимость расширения площади ООПТ и обеспечения рационального лесопользования для сохранения данной экосистемной функции лесов Забайкалья.

Ключевые слова: CO₂, двуокись углерода, эмиссия двуокиси углерода, поглощение парниковых газов, ассимиляционный потенциал, Забайкальский край, климатическая политика, национальный парк «Чикой»

DOI: 10.31857/S0869607124030035, **EDN:** LLSTCO

ВВЕДЕНИЕ

Леса играют ключевую роль в регулировании состава атмосферы и смягчении последствий изменения климата. Они выступают как естественные накопители углерода, поглощая и депонируя атмосферный CO₂.

В последние десятилетия исследование роли лесов в глобальном углеродном цикле стало одним из приоритетных направлений в экологии и климатологии. Современные исследования в этой области можно разделить на несколько ключевых направлений.

Уточнение методов оценки углеродного баланса лесов [Замолодчиков и др., 2017; Röhling et al., 2016] предлагают усовершенствованные методики оценки запасов и потоков углерода в лесных экосистемах.

Роль бореальных лесов в глобальном углеродном цикле [Gauthier et al., 2015] подчеркивают особую роль северных лесов, к которым относятся и леса Забайкалья, в регулировании климата.

Исследования по оценке влияния лесопользования на углеродный баланс [Giasson et al., 2023] демонстрируют, как различные практики лесопользования могут влиять на способность лесов поглощать и удерживать углерод.

В контексте этих глобальных исследований особую актуальность приобретает оценка роли региональных лесных экосистем, таких как леса Забайкалья, в поглощении атмосферного углерода.

Цель данного исследования – оценить вклад лесов Забайкальского края и национального парка «Чикой» в ежегодное накопление углерода в биомассе по данным государственного лесного реестра за период с 2005 по 2021 гг. Особый интерес представляет сравнение поглотительной способности лесов ООПТ (на примере национального парка «Чикой») и лесов Забайкальского края в целом. Полученные результаты важны для обоснования мер по сохранению и расширению величины поглощения углерода лесами региона в условиях изменения климата [Пыжева Ю.И., Пыжев А.И., Зандер Е.В., 2019].

МЕТОДЫ

В данном исследовании мы оцениваем нетто-первичную продукцию (NPP) древостоев, которая, хотя и связана с поглощением CO_2 , не является прямым эквивалентом потока углерода. Наш подход основан на использовании данных государственного лесного реестра и коэффициентов прироста, что позволяет провести оценку на большой территории и за длительный период времени.

Расчет величины поглощения углерода растущими древостоями осуществлен на основе методики, использующей коэффициенты прироста [Исаев, Коровин и др., 1995].

Оценка была произведена с учетом породного и возрастного состава в соответствии с данными государственного лесного реестра [Брезгин В.С., Глазырина И.П., 2023].

В расчеты принималась исключительно лесопокрытая площадь, характеризующаяся наличием основных лесообразующих пород. Площади, покрытые преимущественно кустарниками, в расчет не принимались и были исключены из оценки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 представлены площади по возрастным группам и типам хозяйства. Как видно по данным государственного лесного реестра, имеет место динамика площадей, связанная с постепенным переводом древостоев в различные возрастные категории по данным лесного учета, а также с текущей деятельностью по рубкам и соответствующему лесовосстановлению, обеспечивающему поддержание породного и возрастного состава в долгосрочной перспективе.

Таблица 1. Площадь лесов по типам хозяйств, по годам, по возрастному составу, тыс. га, Забайкальский край

Table 1. Forest area by type of farms, by year by, age composition, thousand hectares, Transbaikal Area

Год, тип хозяйства	Всего	в том числе			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
2005 г.					
хв хоз*	18596,5	3207,5	5426,8	2222,4	7739,8
мгл хоз**	4883,3	1462,1	2520,6	398,5	502,1
твл хоз***	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Итого	23479,8	4669,6	7947,4	2620,9	8241,9

Таблица 1. Продолжение

Год, тип хозяйства	Всего	в том числе			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
2010 г.					
хв хоз	19303,2	3458,4	5224,2	2153,7	8466,9
мгл хоз	5644,7	1493,4	2983,0	478,2	690,1
твл хоз	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Итого	24947,9	4951,8	8207,2	2631,9	9157,0
2016 г.					
хв хоз	20313,6	3612,9	5525,3	2278,1	8897,4
мгл хоз	5773,0	1540,5	3034,7	488,5	709,2
твл хоз	0,6	0,5	0,1	0,0	0,0
Итого	26087,2	5153,9	8560,1	2766,6	9606,6
2021 г.					
хв хоз	19341,4	3719,2	5147,2	2076,7	8398,3
мгл хоз	5670,8	1651,8	2875,5	455,9	687,6
твл хоз	0,5	0,4	0,1	0	0
Итого	25012,7	5371,4	8022,8	2532,6	9085,9

* хв хоз – хвойное хозяйство;

** мгл хоз – мягколиственное хозяйство;

*** твл хоз – твердолиственное хозяйство.

Подобные данные и их динамика дают возможность получить примерную оценку поглощения углекислого газа растущими древостоями (табл. 2).

Таблица 2. Величина годового поглощения CO₂ лесами по типам хозяйств, по годам, по возрастному составу, тыс. тонн CO₂, Забайкальский край

Table 2. The value of annual CO₂ absorption by forests by type of farms, by year by age composition, thousand tons of CO₂, Transbaikal Area

Год, тип хозяйства	Всего	в том числе			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
2005 г.					
хв хоз*	55920,5	10989,9	19595,5	6440,4	18894,7
мгл хоз**	13003,1	2788,2	8120,3	1161,4	933,1
твл хоз***	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Итого	68923,6	13778,2	27715,9	7601,8	19827,8
2010 г.					
хв хоз	57624,5	11849,6	18864,0	6241,3	20669,7
мгл хоз	15134,1	2847,9	9610,0	1393,7	1282,5
твл хоз	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Итого	72758,6	14697,5	28473,9	7634,9	21952,2
2016 г.					
хв хоз	60652,3	12378,8	19951,0	6601,7	21720,7
мгл хоз	15456,2	2937,8	9776,7	1423,7	1318,1

Таблица 2. Продолжение

Год, тип хозяйства	Всего	в том числе			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
твл хоз	4,3	3,9	0,4	0,0	0,0
Итого	76108,5	15316,6	29727,7	8025,4	23038,8
2021 г.					
хв хоз	57849,4	12743,2	18585,9	6018,1	20502,2
мгл хоз	15020,2	3150,0	9263,7	1328,7	1277,9
твл хоз	3,6	3,1	0,5	0,0	0,0
Итого	72869,7	15893,2	27849,6	7346,8	21780,1

* хв хоз – хвойное хозяйство;

** мгл хоз – мягколиственное хозяйство;

*** твл хоз – твердолиственное хозяйство.

Анализ динамики накопление углерода в биомассе по типам лесных насаждений Забайкальского края показывает, что за период с 2005 по 2021 гг. поглощение CO_2 хвойными лесами выросло с 55920,5 тыс. тонн в 2005 году до 57849,4 тыс. тонн в 2021 году. Абсолютный прирост составил 1928,9 тыс. тонн, что в относительном выражении составило 3,5%.

В свою очередь поглощение CO_2 мягколиственными лесами выросло с 13003,1 тыс. тонн до 15020,2 тыс. тонн за этот период. Абсолютный прирост – 2017,1 тыс. тонн, относительный – 15,5%.

Данная динамика обусловлена изменением структуры насаждений как с точки зрения возрастного, так и породного состава. В частности, «замещением» гарей мягколиственными молодняками.

Сопоставление вклада различных возрастных групп лесов Забайкальского края в поглощение CO_2 показывает, что наибольшее количество CO_2 поглощают средневозрастные и спелые/перестойные леса (2021 год – 18585,9 и 20502,2 тыс. тонн соответственно).

Однако с точки зрения удельного показателя (на 1 га) наиболее эффективны молодняки и средневозрастные древостои.

Проведем анализ ассимиляционного потенциала национального парка «Чикой».

Таблица 3. Площадь лесов по типам хозяйств, по годам, по возрастному составу, тыс. га, 1999 г. территория национального парка «Чикой»

Table 3. Forest area by type of farms, by year, by age composition, thousand hectares, 1999, territory of the national park "Chikoy"

Тип хозяйства	Всего	в том числе			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
хв хоз*	551,0	50,9	159,8	87,6	252,7
мгл хоз**	46,2	2,4	23,5	8,8	11,5
твл хоз***	0	0	0	0	0
итого	597,3	53,3	183,3	96,4	264,3

* хв хоз – хвойное хозяйство;

** мгл хоз – мягколиственное хозяйство;

*** твл хоз – твердолиственное хозяйство.

Таблица 4. Величина годового поглощения CO₂ лесами по типам хозяйств, по годам, по возрастному составу, тыс. тонн CO₂, территория национального парка «Чикой»

Table 4. The value of annual CO₂ uptake by forests by type of farms, by year, by age composition, thousand tons of CO₂, the territory of the national park “Chikoy”

Тип хозяйства	Всего	в том числе			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные
хв хоз*	1622,20	174,35	576,88	253,97	616,99
мгл хоз**	127,37	4,60	75,77	25,56	21,43
твл хоз***	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
итого	1749,57	178,95	652,66	279,54	638,43

* хв хоз – хвойное хозяйство;

** мгл хоз – мягколиственное хозяйство;

*** твл хоз – твердолиственное хозяйство.

Как видно из таблицы, поглощение CO₂ лесами на территории национального парка «Чикой» в 1999 г. составляло 1,75 млн тонн в год. Основной вклад также вносят хвойные леса – 1,62 млн тонн CO₂ в год.

В возрастной структуре поглощения CO₂ преобладает доля «средневозрастных» и «спелых и перестойных» в силу структуры площадей. Однако с точки зрения коэффициентов прироста, спелые и перестойные не дают столь существенного вклада, как остальные возрастные группы.

Проведем сравнение «эффективной» площади территории национального парка с точки зрения поглощения углекислого газа и сопоставим с аналогичными расчетами по Забайкальскому краю в целом.

В расчеты принималась исключительно лесопокрытая площадь, характеризующаяся наличием основных лесообразующих пород, что при сопоставлении с данными общей площади земель лесного фонда в целом (в частности по Забайкальскому краю), приведет к их несовпадению. Так, по данным государственного лесного реестра на 2021 г., лесопокрытая площадь, соответствующая всем группам леса по всем типам хозяйств в Забайкальском крае, составляет 25,01 млн га (табл. 1), что отличается от общей площади земель лесного фонда – 32,6 млн га.

В расчет при оценке годового поглощения углерода принимались только растущие древостои, соответствующие основным лесообразующим породам и возрастным группам.

Таблица 5. Соотношение площади Национального парка «Чикой» и Забайкальского края, содержащей основные лесообразующие породы, обеспечивающие поглощение углекислого газа, тыс. га

Table 5. The ratio of the area of the National Park “Chikoy” and of the area of the Trans-Baikal Territory, the forested area containing the main forest-forming rocks that ensure the absorption of carbon dioxide, thousand hectares

Показатель	Национальный парк «Чикой»	Забайкальский край
Площадь всего	666,5	43190
Площадь лесопокрытая	597,3	25012
Процент лесопокрытой площади в общей площади	89,6	57,9

Как видно из полученных данных, леса национального парка «Чикой» отличаются более высокой долей покрытых лесом земель (почти 90% против 58% в среднем по краю), что обеспечивает более высокую эффективность поглощения лесами национального парка CO_2 на единицу площади.

Проведенная оценка поглотительной способности лесов Забайкальского края и национального парка «Чикой» показала их существенное значение для связывания атмосферного углерода.

Оценим эффективность поглощающей способности с позиции среднего объема поглощения CO_2 на единицу лесопокрытой площади (табл. 6).

Таблица 6. Средний объем поглощения CO_2 одним гектаром лесопокрытой площади, тонн $\text{CO}_2/\text{га}$

Table 6. The average volume of CO_2 absorption per hectare of forested area, tons of CO_2/ha

Тип хозяйства	Забайкальский край в целом			Национальный Парк «Чикой»		
	Объем поглощения, тыс. тонн CO_2	Лесопокрытая площадь края, тыс. га	Средний объем поглощения, тонн $\text{CO}_2/\text{га}$	Объем поглощения, тыс. тонн CO_2	Лесопокрытая площадь Парка, тыс. га.	Средний объем поглощения, тонн $\text{CO}_2/\text{га}$
хв хоз*	57849,4	19341,4	2,99	1622,2	551	2,94
мгл хоз**	15020,2	5670,8	2,65	127,37	46,2	2,76
твл хоз***	3,6	0,5	7,20	0	0	—
Итого	72869,7	25012,7	2,91	1749,57	597,3	2,93

* хв хоз — хвойное хозяйство;

** мгл хоз — мягколиственное хозяйство;

*** твл хоз — твердолиственное хозяйство.

На основе расчетных данных, представленных в таблице 6, видно, что средний объем накопления углерода в биомассе на единицу лесопокрытой площади в Забайкальском крае и национальном парке «Чикой» очень близок: 2,91 и 2,93 тонн $\text{CO}_2/\text{га}$ соответственно. В свою очередь, хвойные леса по сравнению с мягколиственными демонстрируют наибольшую эффективность накопления углерода в биомассе как в Забайкальском крае, так и в национальном парке «Чикой» (2,99 и 2,94 тонн $\text{CO}_2/\text{га}$ соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

В целом, по Забайкальскому краю ежегодное поглощение CO_2 лесами составляет порядка 70–75 млн тонн. Преобладающий вклад вносят хвойные леса (60–65 млн тонн/год). На долю мягколиственных приходится 15–16 млн тонн CO_2 в год.

Наиболее эффективными с точки зрения удельного поглощения CO_2 являются молодняки и средневозрастные древостои. Однако из-за больших площадей, занимаемых приспевающими и спелыми лесами, именно они обеспечивают основной объем секвестрации углерода в абсолютном выражении.

Леса ООПТ, в частности национального парка «Чикой», фактически характеризуются такими же удельными показателями поглощения CO_2 на единицу площади, как и леса края в целом. Однако территория ООПТ характеризуется меньшим про-

центом горимости и с точки зрения баланса углерода бóльшим вкладом в поглощении углекислого газа.

За период с 2005 по 2021 гг. наблюдался рост поглощения CO_2 как хвойными, так и мягколиственными лесами. Данная динамика обусловлена изменением структуры насаждений вследствие естественных процессов, а также процессов искусственного лесовосстановления на пройденных пожарами территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать ряд важных выводов о роли лесов Забайкальского края и национального парка «Чикой» в поглощении атмосферного углерода.

С позиций масштаба ежегодное поглощение CO_2 лесами Забайкальского края составляет значительную величину – порядка 70–75 млн тонн. Это подчеркивает ключевую роль региональных лесных экосистем в глобальном углеродном цикле.

Роль хвойных лесов, с учетом преобладающего вклада в поглощении CO_2 (60–65 млн тонн/год), указывает на их особую ценность с точки зрения климатической политики и необходимость их сохранения.

Несмотря на то, что молодняки и средневозрастные древостои наиболее эффективны в удельном поглощении CO_2 , припевающие и спелые леса обеспечивают основной объем секвестрации углерода из-за занимаемых ими больших площадей. В данном случае мы не рассматриваем и не делаем упор на иные экосистемные составляющие, обеспечивающие экосистемную устойчивость.

Леса национального парка «Чикой» демонстрируют схожую эффективность накопления углерода в биомассе на единицу площади с лесами края в целом. Однако более высокая доля лесопокрываемых земель в национальном парке (90% против 58% в среднем по краю) обеспечивает более высокую эффективность накопления углерода в биомассе на единицу общей площади.

Территории ООПТ, в частности национального парка «Чикой», характеризуются меньшим процентом горимости, что повышает их значимость с точки зрения баланса углерода.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости расширения площади особо охраняемых территорий и обеспечения рационального лесопользования для сохранения функции лесов Забайкалья как важного естественного механизма поглощения парниковых газов [Брезгин В.С., Глазырина И.П., 2023]. Это имеет особое значение в условиях глобальных климатических изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брезгин В.С., Глазырина И.П. Углеродный баланс региона и климатическая политика // ЭКО. 2023. № 11. С. 25–42. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2023-11-25-42>
2. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолдчиков Д.Г., Пращников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики России, 1995.
3. Пыжжева Ю.И., Пыжжев А.И., Зандер Е.В. Перспективы решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха регионов России // Экономический анализ: теория и практика. 2019. Т. 18. № 3 (486). С. 496–513. <https://doi.org/10.24891/ea.18.3.496>
4. Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A. Z., Schepachenko D. G. Boreal forest health and global change // Science. 2015. V. 349. Iss. 6250. P. 819–822

5. Giasson L-A., Thiffault E., Lebel L. and Carle J-F. (2023) Carbon balance of forest management and wood production in the boreal forest of Quebec (Canada). *Front. For. Glob. Change*. 6:1242218. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1242218>
6. Röhling S., Dunger K., Kändler G. et al. Comparison of calculation methods for estimating annual carbon stock change in German forests under forest management in the German greenhouse gas inventory. *Carbon Balance Manage* 11, 12 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0053-x>

Carbon Assimilation by Forests as an Ecosystem Service: Quantitative Assessment on the Example of the Trans-Baikal Territory and the Chikoy National Park

V. S. Brezgin ^{a,*}, G. M. Agafonov ^{b,**}

^a *Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia*

^b *National Park “Chikoy”*

* *E-mail: monmanage@bk.ru*

** *E-mail: agmles51@gmail.com*

Abstract. The article presents the results of assessing the role of the forests of the Trans-Baikal Territory and the National Park “Chikoy” in the absorption of atmospheric carbon. The calculations were performed based on the data of the state forest registry on the species and age composition of forest stands for 2005–2021 using a technique that takes into account growth coefficients. The obtained quantitative estimates of the role of the region’s forests in carbon sequestration confirm the need to expand the area of protected areas and ensure sustainable forest management in order to preserve this ecosystem function of the forests of Transbaikalia.

Keywords: CO₂, carbon dioxide, carbon dioxide emissions, greenhouse gas absorption, assimilation potential, Zabaykalsky Krai, climate policy, Chikoy National Park

REFERENCES

1. Brezgin V.S., Glazyrina I.P. (2023). Regional Carbon Balance and Climate Policy. *ECO*. No. 11. Pp. 25–42. (in Russ.). <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2023-11-25-42>
2. Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A. Z., Schepachenko D. G. Boreal forest health and global change // *Science*. 2015. V. 349. Iss. 6250. P. 819–822.
3. Giasson L-A. Thiffault E. Lebel L. and Carle J-F. (2023) Carbon balance of forest management and wood production in the boreal forest of Quebec (Canada). *Front. For. Glob. Change*. 6:1242218. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1242218>
4. Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. (1995). *Ecological issues of carbon dioxide absorption through afforestation and reforestation in Russia*. Moscow: Center for Environmental Policy of Russia. (in Russ.)
5. Pyzheva Yu.I., Pyzhev A.I., Zander E.V. (2019). Prospects for solving the problem of atmospheric air pollution in Russian regions. *Economic Analysis: Theory and Practice*. Vol. 18. No. 3 (486). Pp. 496–513. (in Russ.). <https://doi.org/10.24891/ea.18.3.496>
6. Röhling S., Dunger K., Kändler G. et al. Comparison of calculation methods for estimating annual carbon stock change in German forests under forest management in the German greenhouse gas inventory. *Carbon Balance Manage* 11, 12 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0053-x>