

О поглощении антропогенного диоксида углерода лесами и степной растительностью Республики Тыва

М.П. Куликова✉, Л.Х. Тас-оол

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кызыл, Российская Федерация

✉ mpkulikova@mail.ru

Резюме: АКТУАЛЬНОСТЬ. В настоящее время в Республике Тыва формируется углепромышленная территория, возрастает объем добычи угля, «углеродоёмкость» производства, эмиссия CO₂ в атмосферу. Выбросы антропогенного CO₂ в атмосферу при сжигании углеводородного топлива, пожарах, вырубках лесов и развитии землепользования изменяют равновесное содержание природного CO₂ в атмосфере, появляющегося в процессах фотосинтеза и дыхания растений с формированием природных поглотителей углерода.

ЦЕЛЬ. Соотнесение расчетных данных по степени загрязнения атмосферы выбросами диоксида углерода от стационарных и передвижных источников с ассимиляционным (к CO₂) потенциалом лесных и степных экосистем Республики Тыва. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Ассимиляционный потенциал экосистем Республики Тыва позволяет депонировать и собственные выбросы диоксида углерода (сжигание топлива), и привнесенные из других регионов.

ВЫВОДЫ. Суммарная нагрузка антропогенного воздействия CO₂ на атмосферу в г. Кызыле относительно других регионов невысокая, составляет 1,41 млн т-экв CO₂/год; в настоящее время территория Республики Тыва характеризуется превышением поглощающей способности антропогенного CO₂ (7,46 млн т-экв CO₂/год).

Ключевые слова: эмиссия антропогенных выбросов CO₂, антропогенный CO₂, диоксид углерода, поглотительная способность, Республика Тыва

Для цитирования: Куликова М.П., Тас-оол Л.Х. О поглощении антропогенного диоксида углерода лесами и степной растительностью Республики Тыва. *Горная промышленность*. 2024;(2):147–150. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-147-150>

On sequestration of man-made carbon dioxide by forests and steppe vegetation of the Republic of Tyva

M.P. Kulikova✉, L.Kh. Tas-ool

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kyzyl,
Russian Federation

✉ mpkulikova@mail.ru

Abstract: INTRODUCTION. Currently, a coal mining territory is being formed in the Republic of Tyva, the volume of coal mining, the “carbon intensity” of production, and CO₂ emissions into the atmosphere are increasing. Emissions of the man-made CO₂ into the atmosphere caused by combustion of hydrocarbon fuels, wildfires, deforestation and land use development change the natural CO₂ balance in the atmosphere, which is manifested in the photosynthesis and respiration processes of plants with the formation of natural carbon sinks.

OBJECTIVES. The research aims to correlate the calculated data on the degree of atmospheric pollution by carbon dioxide emissions from stationary and mobile sources with the sequestration potential (with respect to CO₂) of the forest and steppe ecosystems of the Republic of Tyva.

RESULTS. The sequestration potential of the ecosystems of the Republic of Tyva makes it possible to capture both its own carbon dioxide emissions (fuel combustion) and those introduced from other regions.

CONCLUSIONS. The total impact of the man-made CO₂ on the atmosphere in the city of Kyzyl relative to other regions is low, amounting to 1,41 million t-eq CO₂/year; currently, the territory of the Republic of Tyva is characterized by an excess of the sequestration capacity of man-made CO₂ (7,46 million t-eq CO₂/year).

Keywords: emission of man-made CO₂, man-made CO₂, carbon dioxide, sequestration capacity, Republic of Tyva

For citation: Kulikova M.P., Tas-ool L.Kh. On sequestration of man-made carbon dioxide by forests and steppe vegetation of the Republic of Tyva. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):147–150. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-147-150>

Введение

Содержание диоксида углерода в атмосфере динамически изменяется естественным образом в процессах фотосинтеза и дыхания наземных и водных растений с формированием природных поглотителей углерода (углеродный пул), способных накапливать и хранить определенное ко-

личество углеродсодержащих соединений в течение неопределенного периода. И природный, и антропогенный CO₂ равномерно нагружают поверхность земного шара, часть потока задерживается в атмосфере (атмосферное накопление), другая часть поглощается биомассами суши (контин-

нентальный поток) и океана (океанический поток); в 1990-е годы вектор направленности баланса глобального распределения антропогенных потоков углерода отображал методический принцип – океан поглощает 27%, биомы суши 23% и в атмосфере остается 50% от поступивших в атмосферу выбросов. Известен доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК ООН) о наблюдаемом с середины XX столетия среднегодовом повышении глобальных средних температур на 0,75°C, вызванном увеличением концентрации антропогенного CO₂ и других парниковых газов (ПГ)¹.

Согласно данным Европейской комиссии эмиссия антропогенного углерода (CO₂-экв.) в мире выросла с ~21,5 млрд т в 1990 г. до ~55,0 млрд т в 2018 г., и хотя в 2020 г. во время распространения коронавирусной инфекции выбросы снизились до 34,9 млрд т, в 2021 г. вновь приросли на 4,9% (до 36,7 млрд т)². В списке стран с большими выбросами CO₂ числились, в % от общих выбросов: Китай (32,93), США (12,55), ЕС (7,33), Индия (7,00), Россия (5,13); основной источник выбросов (70%) – энергетический сектор (сжигание топлива в котлоагрегатах, факелах, утечки и др.).

В России, в настоящее время рост антропогенных выбросов CO₂ в атмосферу уменьшается с 1990 г.: с ~2,5 до ~1,9 млрд т, что обусловлено повышением доли природного газа (56%) в энергетике, внедрением эффективных технологий сжигания топлив, а также сокращением числа промышленных предприятий³. Так, выбросы антропогенного углерода в атмосферу Челябинской области составляют 77,35 млн т CO₂/год, на юге западной Сибири выбрасывается около 15,3 млн т CO₂/год [1; 2]. В данной работе представлен анализ объемов выбросов антропогенного CO₂ в атмосферу Республики Тыва от стационарных и передвижных источников и его депонирования крупными экосистемами (леса, степи).

Материал и методы

Для оценки нагрузки антропогенных выбросов CO₂ на атмосферу использовали данные статистики по России и г. Кызылу, методические указания по количественному определению объема выбросов парниковых газов, методику расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств, материалы Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва, Государственного лесного реестра Республики Тыва⁴.

Объём фугитивных выбросов при добыче угля подземным способом рассчитывали исходя из параметров газа угольных пластов: W_{CO2} = 10,6% об., ρ_{CO2} = 1,9768 кг/м³ и W_{CH4} = 76% об., ρ_{CH4} = 0,7170 кг/м³.

Поглощение антропогенных выбросов углерода лесными экосистемами республики оценивали по методикам И.И. Ханбекова, Г.Е. Мекуш с использованием аппроксимированных формул Б.В. Красущого [1; 2] с учетом информа-

ции о площади и возрастной структуре основных лесобразующих древесных пород:

$$AP_{\text{леса}} = \sum AP_{\text{хв}} + \sum AP_{\text{листв}} - AP_{\text{вырубл, погиб}}$$

где AP_{хв}, AP_{листв}, AP_{вырубл, погиб} – поглощательная способность хвойных и лиственных пород и вырубленной, погибшей древесины.

Поглощение антропогенных выбросов CO₂ степными экосистемами республики определяли исходя из того, что 1 км² травянистых растений степей связывает ~100 т С/год в почвенный гумус [3].

Результаты и обсуждение

Эмиссия антропогенных выбросов CO₂ в атмосферу республики. В настоящее время в Республике Тыва формируется углепромышленная территория, возрастает объем добычи угля, «углеродоёмкость» производства, эмиссия CO₂ в атмосферу. В табл. 1 представлены результаты расчётов по выбросам антропогенного CO₂ в атмосферу в г. Кызыле в 2020 г. с их изменениями в 2022 г.

Из данных табл. 1 видно, что в 2022 г. суммарная нагрузка антропогенного углерода в атмосферу региона составила 1,41 млн т-экв CO₂/год; за два года (2020–2022) выбросы возросли на 7,6%. Увеличение выбросов диоксида углерода связано с возобновлением добычи угля (766 тыс. т) на шахте «Межегейуголь» в 2022 г. и ростом числа легковых автомобилей на 242 (с 21 032 ед. до 21 274 ед.) и автобусов на 264 (с 228 до 492), количество грузового транспорта не изменилось (7300)⁵.

Таблица 1
Выбросы CO₂ в атмосферу в г. Кызыле в 2020 и 2022 гг.

Table 1
CO₂ atmospheric emissions in Kyzyl in 2020 and 2022

Наименование	Количество выбросов CO ₂ , тыс. т	
	2020 г. [4]	2022 г.
Выбросы от сжигания угля	1300,29	1300,29
Фугитивные выбросы: CO ₂ , CH ₄	0,03	0,57
Выбросы от автотранспортных средств	10,64	110,29
Суммарные выбросы	1310,96	1411,15

Поглощение выбросов CO₂ лесами республики. Площадь лесного фонда Республики Тыва, в тыс. га: 10 882,9, из них эксплуатационные леса составляют 2413,9, защитные 1939,3, резервные 6529,7⁶. Распределение лесов на землях лесного фонда неравномерное, большая часть сосредоточена в восточной части: Тоджинское лесничество (S = 4480 тыс. га), Каа-Хемское лесничество, (S = 2570 тыс. га). Площадь земель, покрытых лесом, 8055,5 тыс. га, преобладают леса средневозрастные, спелые и перестойные; породный состав лесных естественных насаждений связан с климатическими и почвенными условиями районов республики: хвойные породы занимают 93,8% покрытой лесом площади, лиственные породы – 6,2%⁷ [5]. Результаты

1 Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научоёмкие технологии; 2022. 124 с.

2 CO₂ total emissions. European Commission, EDGAR. Available at: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022 (accessed: 21.02.2024).

3 Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научоёмкие технологии; 2022. 124 с.

4 Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва в 2020 г. Кызыл: Министерство природных ресурсов Республики Тыва; 2021. 163 с.; Форма №3-ГЛР. Состав земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых расположены леса на 01.01.2023; Форма №2-ГЛР. Распределение площади лесов и запасов древесины по преобладающим породам и группам возраста на 01.01.2023.

5 Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва в 2020 г. Кызыл: Министерство природных ресурсов Республики Тыва; 2021. 163 с.

6 Форма №3-ГЛР. Состав земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых расположены леса на 01.01.2023.

7 Форма №2-ГЛР. Распределение площади лесов и запасов древесины по преобладающим породам и группам возраста на 01.01.2023.

Таблица 2
Степень связывания антропогенных выбросов CO₂ лесообразующими породами

Вид насаждений	Запас, млн м ³	S, тыс. га	Запас спелых и перест. лесов, млн м ³	Древесина, выбывшая из-за вредителей		АП _{выб.} , тыс. т/год	АП, тыс. т/год
				млн м ³	S, тыс. га		
Хвойные	1102,14	7556,10	428,60	0,8022	5,50	1,742	1355,11
Лиственные	31,29	281,94	17,94	7,2100	65,00	16,970	61,12
Всего	1138,28	8055,50	446,54	8,0122	70,50	18,712	1416,23

Table 2
Degree of man-made CO₂ emissions sequestration by forest-forming species

расчетов по оценке степени связывания антропогенных выбросов CO₂ лесообразующими породами республики приведены в табл. 2.

Ассимиляционный потенциал лесных экосистем республики к поглощению антропогенных выбросов CO₂, подсчитанный с учётом вырубленной и погибшей древесины, составляет 1,39 млн т-экв CO₂/год (1355,11 + 61,12 – 27,58 = 1388,65 тыс. т/год), или 0,17 т CO₂/га. Это меньше оценочных данных Фёдорова Б.Г. [6], согласно которым на Урале лесные экосистемы депонируют 2 т CO₂/га, в Восточной Сибири – 0,7 т CO₂/га и на Дальнем Востоке – 0,45 т CO₂/га. Рассчитанный нами ассимиляционный потенциал тувинских лесов в целом согласуется с выводами исследователей сибирских лесов: лесные системы юга Сибири с преобладанием лиственных пород деревьев способны поглотить 1,74 млн т/год CO₂ (это 11,3% от годовых выбросов 15,3 млн т CO₂) [1], в Челябинской области – 1,87 млн т/год CO₂ (2,4% от 77,35 млн т годового выброса CO₂) [2].

Известно также [7; 8], что в последнее десятилетие (2010–2019) сибирские леса стали поглощать меньше углерода, углеродный баланс близок к нейтральному, поглощение составило 0,02 Пг С/год (73,33 млн т-экв CO₂/год). Уменьшение поглощения углерода авторы связывают с потерями лесов в результате участвовавших пожаров и засух, массовых нашествий насекомых, а также с уменьшением покрытой лесом площади в результате рубок и подчёркивают уязвимость крупных запасов углерода в лесах Сибири к климатическим воздействиям.

Поглощение выбросов CO₂ степной растительностью. Естественные степные экосистемы Республики Тыва распространены на ландшафтах Тувинской (Хемчикская и Улуг-Хемская) и Убсунурской котловин, в межгорных впадинах (Эдегейская, Карахольская, Турано-Уюкская), на южных склонах горных систем и занимают 2811 тыс. га (16,5% от общей площади земель) [9]. Площадь степных экосистем в России 34–86 млн га, ими ежегодно депонируется 111 ± 97 Мт С (407–355 млн т-экв CO₂/год) с обеспечением 8–19% наземного стока атмосферного углерода [3].

На основании сведений о прорастании древесно-кустарниковой и травянистой растительности на территории Республики Тыва ассимиляционный потенциал степной экосистемы в форме гумуса в 50-км зоне от угольных месторождений составляет 590 тыс. т С/год (2163 тыс. т-экв CO₂/год). В течение вегетационного сезона степные сообщества республики способны поглощать 1655 тыс. т С/год (6,07 млн т-экв CO₂/год). Вклад степной системы в связывание углерода больше, чем вклад лесов (1,39 млн т-экв CO₂/год). Согласно исследованиям И.Н. Кургановой, В.О. Лопес де Гереню и др., степные экосистемы России могут поглощать ежегодно 82-148 Мт С (мегатонны) (300–542 млн т-экв CO₂). Микрометеорологическим мето-

Таблица 3
Сведения о площади древесно-кустарниковой и травянистой растительности в 50 км от угольных месторождений

Вид растительности	Площадь, тыс. га
Лес густой	464,85
Луг	41,66
Кустарник	12,32
Мхи	35,97
Поросль	1,68
Степи	590,23
Ягодные сады	0,67

Table 3
Information on the area of tree, shrub and grass vegetation within 50 kilometres from coal deposits

дом было определено, что степная экосистема Хакасии в течение вегетационного сезона поглощает 152 ± 37 г С/м², что соответствует 5,57 ± 1,35 т-экв CO₂/га, залежные земли в степной зоне за вегетацию поглощают 114–201 г С/м² (4,18–7,37 т-экв CO₂/га) [10]. Степные экосистемы Казахстана в течение вегетационного сезона поглощают от 43 до 173 г С/м², что соответствует 1,57–6,31 т-экв CO₂/га [3].

Суммарно способность двух видов природных поглотителей Тувы – лесных экосистем и степных сообществ – нами оценивается в 7,46 млн т-экв CO₂/год, этот показатель превышает количество антропогенных выбросов CO₂ в атмосферу республики (1,41 млн т/год) более чем в пять раз. На данном основании можно сделать вывод, что ассимиляционный потенциал экосистем Республики Тыва позволяет депонировать и собственные выбросы диоксида углерода (сжигание топлива), и привнесенные из других регионов.

Заключение

Оценка способности лесных экосистем Республики Тыва поглощать антропогенную эмиссию CO₂ позволяет сделать следующие выводы:

1. В настоящее время в Туве суммарная нагрузка антропогенного воздействия CO₂ на атмосферу в г. Кызыле относительно других регионов (юг Западной Сибири, Челябинская область) невысокая и составляет 1,41 млн т/год.

2. Лесными экосистемами в регионе поглощается 1,39 млн т-экв CO₂/год, кроме этого, по нашей оценке, степными экосистемами может связываться в форме гумуса 6,07 млн т-экв CO₂/год (в вегетационный сезон), что превышает количество антропогенных выбросов CO₂. Ассимиляционный потенциал экосистем Республики Тыва позволяет депонировать не только собственные выбросы диоксида углерода (сжигание топлива), но и привнесенные из других регионов.

Список литературы / References

1. Мекуш Г.Е. Опыт оценки ассимиляционного потенциала лесов Кемеровской области. *На пути к устойчивому развитию России*. 2010;(51):43–48.
Mekush G.E. The Experience in assessing the assimilation potential of forests in the Kemerovo region. *Na Puti k Ustoichivomu Razvitiyu Rossii*. 2010;(51):43–48. (In Russ.)
2. Красуцкий Б.В. Поглощение углекислого газа лесами Челябинской области: современные эколого-экономические аспекты. *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2018;4(3):57–68. <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2018-4-3-57-68>
Krasutsky B.V. Absorption of carbon dioxide woods of Chelyabinsk region: Modern ecological and economical aspects. *Tumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*. 2018;4(3):57–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2018-4-3-57-68>
3. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жиенгалиев А.Т., Кудеяров В.Н. Углеродный бюджет степных экосистем России. *Доклады Академии наук*. 2019;485(6):732–735. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524856732-735>
Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhiengaliyev A.T. Carbon budgets in the steppe ecosystems of Russia. *Doklady Earth Sciences*. 2019;485(2):450–452. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19040238>
4. Куликова М.П., Тас-оол Л.Х., Балакина Г.Ф. Направления снижения антропогенной нагрузки от выбросов парниковых газов на окружающую среду в контексте устойчивого развития Республики Тыва. *Экономика. Профессия. Бизнес*. 2022;(4):69–77. <https://doi.org/10.14258/epb202259>
Kulikova M.P., Tas-ool L.H., Balakina G.F. Directions for reducing the anthropogenic load from greenhouse gas emissions on the environment in the context of the sustainable development of the Republic of Tyva. *Economics. Profession. Business*. 2022;(4):69–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/epb202259>
5. Самбуу А.Д., Красноборов И.М., Севастьянов В.В., Севастьянова М.Г., Сухова М.Г., Андрейчик М.Ф. и др. *Природные ресурсы Республики Тыва*. Новосибирск: Изд-во Гарамонд; 2018. Т. 1. 488 с.
6. Федоров Б.Г. Экономико-экологические аспекты выбросов углекислого газа в атмосферу. *Проблемы прогнозирования*. 2004;(5):86–101.
Fedorov B.G. Economic and ecological aspects of carbon dioxide discharge into the air. *Studies on Russian Economic Development*. 2004;15(5):506–516.
7. Fan L., Wigneron J.-P., Fensholt R., Chave J., Brandt M., Sitch S. et al. Siberian carbon sink reduced by forest disturbances. *Nature Geoscience*. 2023;16:56–62. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-01087-x>
8. Harris N.L., Gibbs D.A., Vaccini A., Birdsey R.A., de Bruin S., Farina M., et al. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*. 2021;11(3):234–240. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>
9. Ершова Е.А., Намзалов Б.Б. Степи. В кн.: Коропачинский И.Ю. (ред.) *Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд.; 1985. С. 119–154.
10. Belelli Marchesini L., Papale D., Reichstein M., Vuichard N., Tchebakova N., Valentini R. Carbon balance assessment of a natural steppe of southern Siberia by multiple constraint approach. *Biogeosciences*. 2007;4(4):581–595. <https://doi.org/10.5194/bg-4-581-2007>

Информация об авторах

Куликова Марина Петровна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, доцент, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2963-814X>; e-mail: mpkulikova@mail.ru

Тас-оол Любовь Хертековна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, доцент, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-5367-133X>

Information about the authors

Marina P. Kulikova – Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, Associate Professor, Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2963-814X>; e-mail: mpkulikova@mail.ru

Lyubov Kh Tas-ool – Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Associate Professor, Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5367-133X>

Article info

Received: 09.02.2024

Revised: 04.03.2024

Accepted: 06.03.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 09.02.2024

Поступила после рецензирования: 04.03.2024

Принята к публикации: 06.03.2024