

Оригинальная статья / Original article

УДК 911.12

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-10



Оценка запаса и бюджета углерода на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный»

Виталий В. Братков, Луиза Р. Бекмурзаева

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Контактное лицо

Луиза Р. Бекмурзаева, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории климатологии и метеорологии НИИ геоэкологии и природопользования, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика

М.Д. Миллионщикова; 364051 Россия, г. Грозный, пр. им. Х. Исаева, 100.

Тел. +79287851481

Email eip-eco2017@yandex.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>**Формат цитирования**

Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Оценка запаса и бюджета углерода на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный» // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 107-116. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-10

Получена 10 октября 2024 г.

Прошла рецензирование 8 ноября 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель – дать количественную оценку запаса и бюджета углерода для участка карбонового полигона Зеленая зона г. Грозный.

Оценка запаса и бюджета углерода проводилась на основе методики РОБУЛ, программное обеспечение которой находится в открытом доступе на сайте ЦЭПЛ РАН. Для оценки запаса и бюджета углерода использовались сведения Государственного лесного реестра (ГЛР) о породном составе, площадях и запасах древесины, категорий насаждений. Инструментальное измерение потоков CO₂ на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозного» проводилось методом турбулентных пульсаций.

Для участка карбонового полигона Зеленая зона г. Грозный запас углерода составил 207708 т, бюджет углерода – 267 т/год. Анализ пульсационных измерений показал, что за 8 месяцев 2023 года (апрель – ноябрь) эмиссия CO₂ превышала поглощение. Максимальное поглощение CO₂ приходится на май, что связано с сезонным ростом биомассы и процессами фотосинтеза, а максимальная эмиссия – на сентябрь.

Для участка карбонового полигона Зелена зона г. Грозный получены расчетные значения запаса и бюджета углерода по пулам. Мониторинг за потоками климатически активных газов позволит в будущем создать базу данных стока и эмиссии парниковых газов, характерных для лесостепной зоны Чеченской Республики, с возможностью последующей интерполяции данных на репрезентативные территории.

Ключевые слова

Биомасса, запас и бюджет углерода, климатические изменения, карбоновый полигон.

Assessment of the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon landfill site

Vitaly V. Bratkov and Luiza R. Bekmurzaeva

Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

Principal contact

Luiza R. Bekmurzaeva, PhD (Geography), Associate Professor and Leading Researcher, Laboratory of Climatology and Meteorology, Research Institute of Geoecology and Nature Management, M.D. Millionshchikova Grozny State Oil Technical University; 100 Kh. Isaev Ave., Grozny, Russia 364051.

Tel. +79287851481

Email eip-eco2017@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>

How to cite this article

Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. Assessment of the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon landfill site. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):107-116. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-10

Received 10 October 2024

Revised 8 November 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to quantify the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon polygon site.

The assessment of the carbon stock and budget was carried out on the basis of the ROBUL methodology, the software of which is publicly available on the website of the Centre for Environmental Problems of the Russian Academy of Sciences. To assess the carbon stock and budget, information from the State Forest Register (SFR) on species composition, areas and reserves of wood and categories of plantings was used. Instrumental measurement of CO₂ flows at the carbon polygon site was carried out using the turbulent pulsation method.

For the carbon polygon site, the carbon stock was 207708 tons, while the carbon budget was 267 tons/year. Analysis of pulsation measurements showed that for 8 months of 2023 (April–November) CO₂ emission exceeded absorption. The maximum absorption of CO₂ occurs in May. This is due to the growth of biomass and photosynthesis processes. The maximum emission occurs in September.

For a section of the site, calculated values of the carbon stock and budget for pools were obtained. Monitoring the flows of climate-active gases will make it possible in the future to create a database of runoff and emissions of greenhouse gases characteristic of the forest-steppe zone of the Chechen Republic, with the possibility of subsequent interpolation of data to representative regions.

Key Words

Biomass, carbon stock and budget, climate change, carbon landfill.

ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения являются одной из самых обсуждаемых проблем, как в научном сообществе, так и на государственном уровне. Для достижения целей Парижского соглашения к 2030 году выбросы парниковых газов в России должны сократиться на 70 % от уровня 1990 года (не более 2162,4 млн. тонн CO₂-эквивалента). В этой связи, в России проводится ряд мероприятий, включая усиление научно-технического и технологического потенциала [1]. В феврале 2021 года Министерство науки и высшего образования Российской Федерации запустило пилотный проект по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса [2], что является реализацией первого этапа плана адаптации к изменениям климата на период до 2022 г. [3]. Таким

образом, на сегодняшний день в России действует 19 карбоновых полигонов общей площадью 312`939,53 га [4]. Карбоновый полигон «WAY CARBON» расположен на территории Чеченской Республики, включает 14 участков общей площадью 1785 га. Участки расположены в природных (равнинных степных, лесостепных, а также горных) и антропогенно-измененных ландшафтах [5]. Целью настоящего исследования является количественная оценка запаса и бюджета углерода для участка карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный»

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обзор существующих методик расчета поглощения парниковых газов лесами представлен в работах [6; 7]. Преимущества и недостатки методик оценки углеродного баланса в лесах представлены в табл. 1.

Таблица 1. Преимущества и недостатки методик оценки углеродного баланса в лесах**Table 1.** Advantages and disadvantages of forest carbon balance assessment methods

Название методики Name of Method	Разработчик Developer	Преимущества Advantages	Недостатки Disadvantages
Методика Международного института прикладного системного анализа Methodology of the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)	Международный институт прикладного системного анализа (IIASA), Австрия International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria	Одна из первых методик по которой проведен полный учет бюджета углерода России One of the first methods by which a full accounting of Russia's carbon budget was conducted	Не ориентируется на принципы МГЭИК Does not follow IPCC principles
Модель бюджета углерода канадского лесного сектора Carbon budget model of the Canadian forestry sector (CBM-CFS3)	Лесная служба Канады (CFS) Canadian Forest Service (CFS)	Открытый доступ. Удобный интерфейс Open access. User- friendly interface	Опирается на данные Канадской статистики, тогда как данных ГЛР для этой модели недостаточно Based on Canadian statistics data, although there is insufficient GLR data for this model
Методика региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) Methodology for the regional assessment of the forest carbon budget (RAFCB)	Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН), Россия Center for Forest Ecology and Productivity (CEPF RAS), Russia	Доступность программного обеспечения Software availability	Опирается на данные ГУЛФ/ГЛР, что снижает достоверность оценок Based on data from the State University of the Russian Federation/State Research Institute of the Russian Federation, which reduces the reliability of the estimates
Система моделей лесных экосистем+ модель динамики органического вещества почвы A system of forest ecosystem models+ a model of soil organic matter dynamics (EFIMOD+ROMUL)	Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения (ИФХБП РАН), г. Пушкино, Россия Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science (IPCBS RAS), Pushchino, Russia	Можно воспроизвести сценарии влияния использования лесов на изменение баланса углерода на локальном уровне It is possible to reproduce scenarios of	Малопригодна для обобщенных региональных оценок баланса углерода Not very suitable for generalized regional carbon balance assessments

		the impact of forest use on changes in the carbon balance at the local level	
Современная обновленная версия модели углеродного бюджета лесов США Modern updated version U.S. FORest CARBon Budget Model (FORCARB2)	Лесная служба США US Forest Service	Точность метода. Учитывает все влияющие факторы, в том числе и ландшафтную нарушенность, ведение лесного хозяйства, изменения землепользования и климата Accuracy of the method. Takes into account all influencing factors, including landscape disturbance, forestry, land use and climate change	Требуется большой массив данных, в том числе и сведения об эмиссии при пожарах и изменении землепользования A large amount of data is required, including information on emissions from fires and land use changes
Леса России Forest of Russia (FORRUS)	Московский государственный университет леса (МГУЛ), г. Мытищи, Россия Moscow State Forest University (MSFU), Mytishchi, Russia		Рассматриваются различные сценарии лесопользования применительно к динамике лесотаксационных показателей, а не к подсчетам баланса углерода Various forest management scenarios are considered in relation to the dynamics of forest taxation indicators, but not to carbon balance calculations
Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода УГЛУ Information system for determining and mapping carbon deposited by forests UGLU	Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛУТ), г. Екатеринбург, Россия Ural State Forest Engineering University (USFTU), Yekaterinburg, Russia	Получена база данных продукционных характеристик лесных насаждений Северной Евразии A database of production characteristics of forest plantations in Northern Eurasia has been obtained	Не оценивается бюджет углерода Carbon budget is not estimated

Помимо вышеупомянутых методик, для оценки запаса углерода в лесных экосистемах возможно использовать данные дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии [8; 9].

Нами за основу взята методика расчета бюджета углерода лесов, разработанная Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН). На сайте ЦЭПЛ РАН представлена подробная инструкция для региональной оценки бюджета углерода лесов [10], а также программное обеспечение. Замолодчиков [11] отмечает схожесть результатов Канадской имитационной модели CBM-CFS3 и расчетов с помощью системы РОБУЛ. Методика РОБУЛ была опробована для различных регионов России [12–14] и применяется в

расчете баланса углерода для Национального кадастра парниковых газов.

Для расчета по системе РОБУЛ используются данные Государственного Лесного реестра, а именно: породный состав, данные по площадям и запасам древесины, а также категории насаждений. Насаждения идентифицируются по преобладающей породе и возрастному составу. В Государственном Лесном реестре используются 6 групп возраста: 1) молодняки 1 класса возраста, 2) молодняки 2 класса возраста, 3) средневозрастные; 4) приспевающие; 5) спелые и 6) перестойные. С точки зрения бюджета углерода, возраст — едва ли не важнейшая характеристика. Молодое насаждение растёт и активно поглощает углерод. Спелое насаждение находится в более-менее

стабильном состоянии, и его фитомасса приблизилась к своему постоянному значению [15].

М.Д. Корзухин и В.Н. Коротков [16] пытались усовершенствовать методику, однако пришли к выводу, что введенные коррекции и модификации качественно не изменили предыдущих результатов.

Таким образом, применительно для территории России, методика РОБУЛ имеет следующие преимущества: доступное программное обеспечение, соответствие требованиям МГЭИК, сопоставимость результатов с иностранными методиками.

Мониторинг за потоками парниковых газов, в частности CO₂, на исследуемом участке осуществляется методом турбулентных пульсаций.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемый участок карбонового полигона расположен в пределах особо охраняемой природной территории (ООПТ) – «Зеленая зона г. Грозного». Это заказник, организованный в 1977 году для восстановления редких и исчезающих видов растений и животных. Общая площадь заказника – 1800 га (рис. 1).

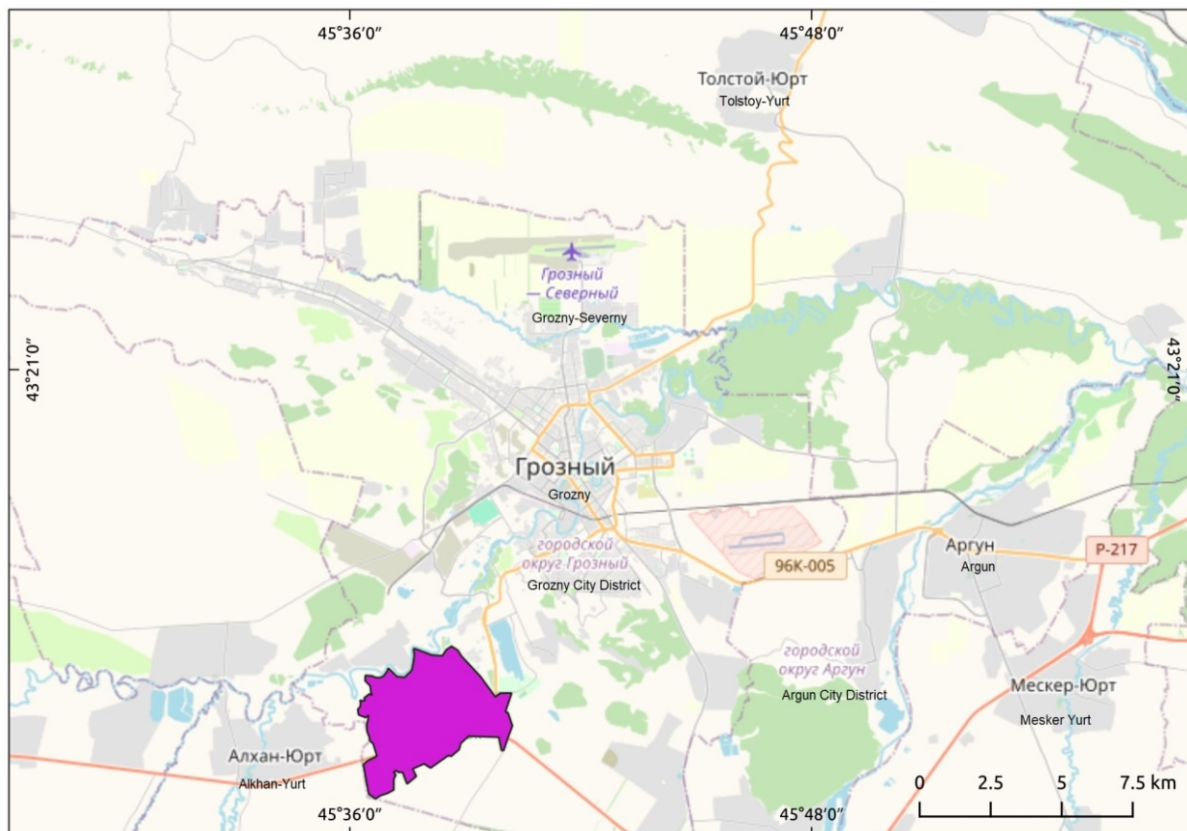


Рисунок 1. Расположение заказника «Зеленая зона г. Грозного»

Figure 1. Location of the Grozny Green Zone reserve

Заказник приурочен к лесостепной зоне. Древесная растительность представлена пойменными, малопродуктивными лесами. Они состоят из дуба черешчатого, ясеня обыкновенного, клена татарского, груши кавказской. В подлеске этих лесов кизил обыкновенный, боярышник мелколистный, слива колючая (тёрн), лещина обыкновенная, крушина Палласа, свидина южная [17].

Исследуемый участок относится к территории с умеренно-континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха за последние 30 лет составила 11,3 °С. Средняя температура января – -1,3 °С, июля – +24,1 °С. Количество осадков составляет 508 мм, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) равен 0,94. Показатель увлажнения указывает на то, что территория находится на границе таких ландшафтных зон, как степь и лесостепь (табл. 2).

Таблица 2. Климатическая характеристика заказника «Зеленая зона г. Грозного» по данным метеостанции Грозный (1994–2023 гг.)

Table 2. Climatic characteristics of the Grozny Green Zone reserve according to data of the Grozny weather station (1994–2023)

Средняя годовая температура воздуха, °С Average annual air temperature, °C	Средняя температура января, °С Average January temperature, °C	Средняя температура июля, °С Average July temperature, °C	Осадки, мм Rainfall, mm	ГТК GTK
11,3	-1,3	24,1	508	0,94

Согласно сведениям Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Чеченской Республики, основными преобладающими породами деревьев в заказнике являются дуб черешчатый, ясень обыкновенный, клен, акация белая, осина, ольха черная, тополь (рис. 2). Общий запас древесины основных лесообразующих пород составляет 180150 м³ (табл. 3). Гари, вырубki и погибшие насаждения отсутствуют. По возрастному составу преобладают средневозрастные деревья (рис. 3).

Согласно методике РОБУЛ, изучаемый участок относится к зонально-региональному полигону: Европейско-Уральская часть, южная тайга и более южные зоны. Зонально-региональный полигон обуславливает выбор конверсионных коэффициентов для пересчета запасов древесины в фитомассу. Конверсионные коэффициенты также представлены в описании методики [10]. Расчет запаса и бюджета углерода, согласно рекомендациям МГЭИК, производится по следующим пулам: биомасса древостоя, мертвая древесина, подстилка, почва (0–30 см).

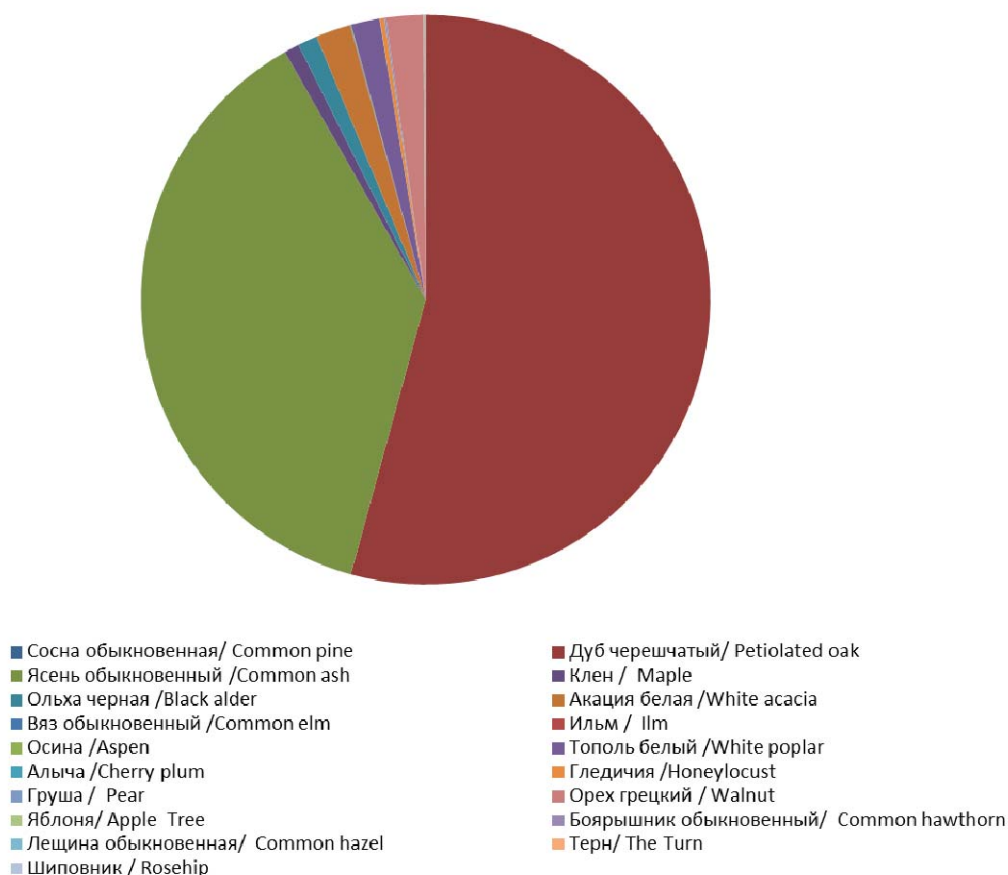


Рисунок 2. Породный состав деревьев и кустарников заказника «Зеленая зона г. Грозный»

Figure 2. Species composition of trees and shrubs of the Grozny Green Zone reserve

Таблица 3. Запас древесины основных лесообразующих пород заказника «Зеленая зона г. Грозный»

Table 3. Wood reserve of the main forest-forming species of the Grozny Green Zone reserve

Порода / Type	Запас, м ³ / Reserve, m ³
Сосна / Pine	20
Дуб высокоствольный / High-stemmed oak	97610
Ясень / Ash	67550
Клен / Maple	1550
Акация белая / White acacia	3690
Осина / Aspen	60
Ольха черная / Black alder	2000
Тополь / Poplar	2910
Прочие кустарники / Other shrubs	130
Прочие породы / Other types	4630
Итого / Total	180150

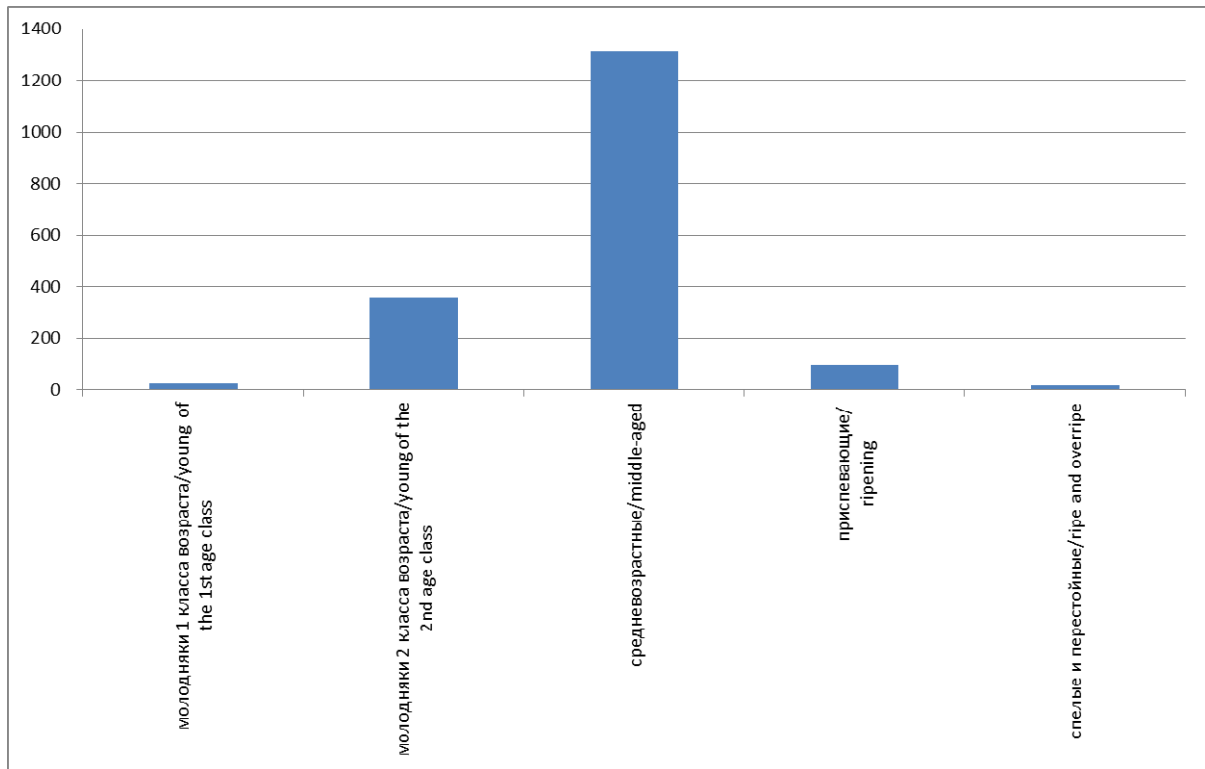


Рисунок 3. Запас древесины по возрасту пород заказника «Зеленая зона г. Грозный»
Figure 3. Wood stock by age of species of the Grozny Green Zone reserve

Согласно расчету, общий запас углерода для территории заказника Зеленая зона г. Грозный составил 207708 т. Запас углерода по пулу биомасса древостоя составил 44 % или 90978 т, мертвая древесина – 7 % или 14345 т, подстилка – 5% или 10118т, почва (0–30 см) – 44 % или 92267 т. Общий бюджет углерода составил 267 т/ год. Бюджет углерода по пулу биомасса древостоя составил 58 % или 154 т/год, мертвая древесина – 36 % или 95 т/год, подстилка – 1 % или 4 т/год, почва (0–30 см) – 5 % или 13т/год (табл. 4).

Таблица 4. Распределение запаса и бюджета углерода по пулам для заказника «Зеленая зона г. Грозный»
Table 4. Distribution of carbon stock and budget by pools for the Grozny Green Zone reserve

Пул углерода Carbon pool	Запас углерода, т Carbon stock, ton	Запас углерода, % Carbon stock, %	Бюджет углерода, т /год Carbon budget, ton/year	Бюджет углерода, % Carbon budget, %
Биомасса древостоя Biomass of the stand	90978	44	154	58
Мертвая древесина Dead wood	14345	7	95	36
Подстилка Forest floor	10118	5	4	1
Почва (0–30 см) Soil (0–30 cm)	92267	44	13	5
Итого Total	207708	100	267	100

Помимо расчетных оценок, на изучаемом участке проводятся также инструментальные наблюдения за потоками климатически активных газов. Система Eddy Covariance, позволяет измерять обмен CO₂, H₂O, CH₄ и энергии между поверхностью Земли и атмосферой [18]. Система включает в себя автоматическую метеостанцию MesoPRO, Campbell Scientific, а также оборудование, предназначенное для измерения потоков парниковых газов (CO₂, CH₄ и H₂O) (LI-COR, США) [19–21] (рис. 4). Измерение потоков CO₂ на исследуемом участке началось в апреле 2023 года. На рис. 5 представлен график осреднённых суточных измерений потоков CO₂ в

период с апреля по ноябрь 2023 г. Положительный поток – бюджет углерода в атмосферу, а отрицательный – запас углерода из атмосферы в экосистему. Изменение концентрации CO₂ зависит от активности биоты. Сокращение концентрации CO₂ в апреле и мае связано с активным ростом биомассы и усиление процессов фотосинтеза. Как отмечают [19] сезонный ход CO₂ зависит от приходящей солнечной радиации, температуры воздуха, увлажнения почвы и фенологического ритма сезонного развития растений. Анализ пульсационных измерений показал, что за 8 месяцев 2023 года (апрель – ноябрь) эмиссия CO₂ превышала поглощение.

Минимальная среднемесячная концентрация CO_2 за период наблюдений приходится на май и равна $-1,59 \text{ гС/м}^2\text{сут.}$ Максимальная среднемесячная концентрация CO_2 за наблюдаемый период приходится

на сентябрь и равна $+4,16 \text{ гС/м}^2 \text{ сут.}$ Баланс потоков углерода за 8 месяцев (апрель – ноябрь) составил $5,7 \text{ тС/га} \times 8 \text{ мес.}$

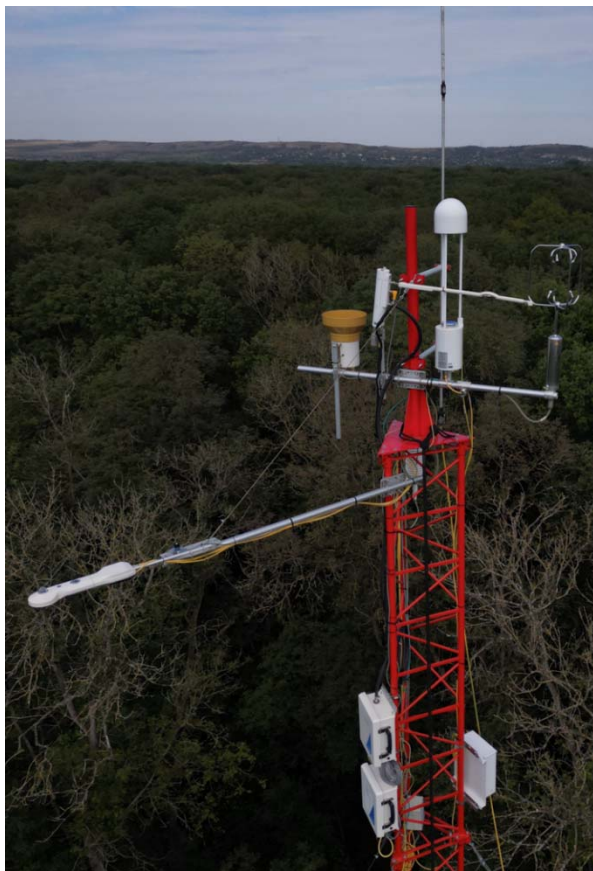


Рисунок 4. Система Eddy Covariance. Участок карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный»

Figure 4. The Eddy Covariance system. Grozny Green Zone carbon landfill site

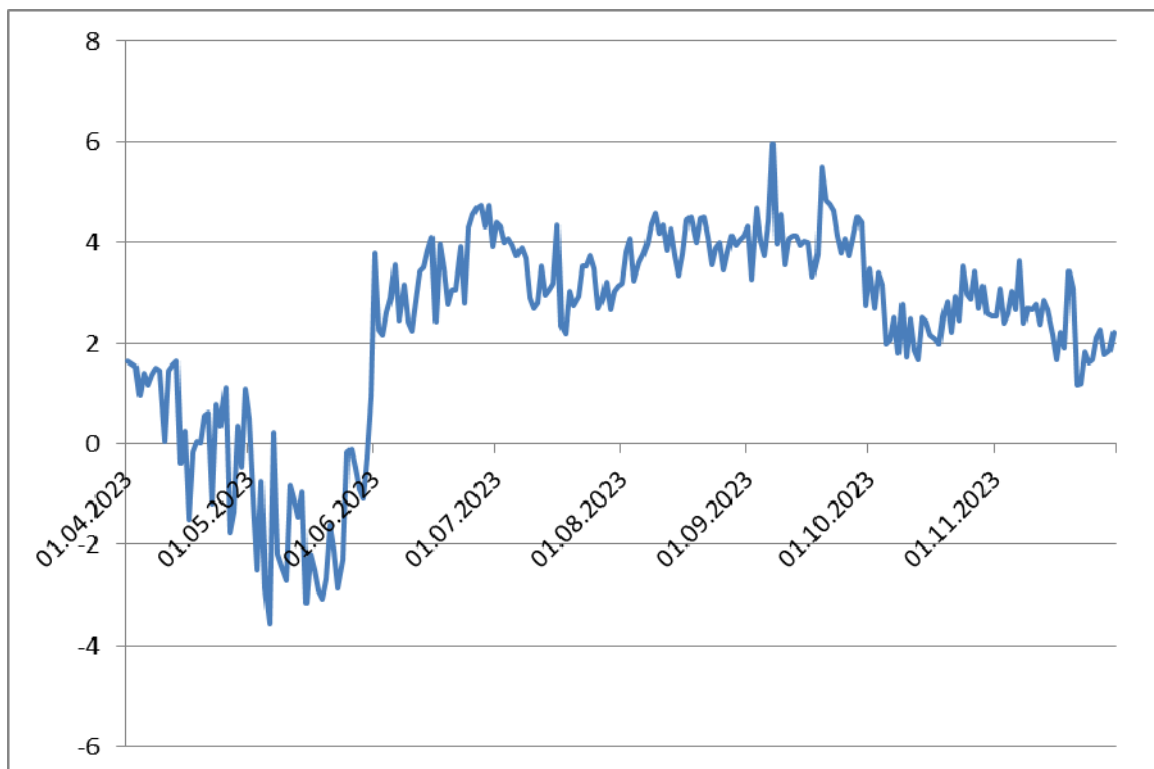


Рисунок 5. Суточные потоки CO_2 в период с апреля по ноябрь 2023 г.

Figure 5. Daily CO_2 fluxes in the period from April to November 2023

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих методик оценки запаса и бюджета углерода показал, что для территории России методика РОБУЛ имеет ряд преимуществ: доступное программное обеспечение, соответствие требованиям МГЭИК, сопоставимость результатов с иностранными методиками. Используя методику РОБУЛ, был рассчитан запас и бюджет углерода для участка карбонового полигона Зеленая зона г. Грозный. На участке в 1800 га запас углерода составляет 207708 т, по пулам основной запас сосредоточен в почве и биомассе древостоя (44 %). Бюджет углерода составил 267 т/год, по пулам основной бюджет углерода приходится на биомассу древостоя (58%). Инструментальные наблюдения за потоками парниковых газов, в том числе и CO₂, проводимые на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозного», позволяют отследить дыхание биоты в течение года. Однако, имеющийся ряд данных носит предварительный характер, в связи с чем необходимо продолжение исследований в том числе для повышения их точности. Мониторинг за потоками климатически активных газов позволит в будущем создать базу данных стока и эмиссии парниковых газов, характерных для лесостепной зоны Чеченской Республики, с возможностью последующей интерполяции данных на репрезентативные территории.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках Госзадания ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2024-0001 «Оценка влияния современных климатических изменений на природные и природно-антропогенные комплексы (на примере Чеченской Республики)».

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the State Task of the M.D. Millionshchikov GGNTU FZNU-2024-0001: Assessment of the Impact of Modern Climatic Changes on Natural and Natural-Anthropogenic Complexes (the example of the Chechen Republic).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климатическая доктрина Российской Федерации. URL:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://meteo.info.ru/images/media/books-docs/FEDERAL/climatedoctrine-2023.pdf (дата обращения 15.09.2024)
2. Сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. URL:https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/ (дата обращения: 15.09.2024)
3. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Козлов Д.Н. Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 175–218. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218
4. Сайт Карбоновые полигоны Российской Федерации. URL: https://carbon-polygons.ru/polygons/ (дата обращения: 15.09.2024)
5. Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики: I. Ландшафтные особенности и структура // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Т. 6. N 3(25). С. 35–47.

6. Сорокина Д.Д., Птичников А.В., Романовская А.А. Сравнительный анализ и оценка методик расчета поглощения парниковых газов лесными экосистемами, применяемых в Российской Федерации // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. N 4. С. 1–15. DOI: 10.31857/S2587556623040131
7. Филиппук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2016. N 3. С. 36–85. URL: http://lhi.vniilm.ru
8. Булаева Н.М., Бекмурзаева Р.Х., Гаджиханов А.С. Региональная система учета и контроля парниковых газов на основе геоинформационных технологий на карбоновом полигоне ЧГУ им. А.А. Кадырова // Экология промышленного производства. 2023. N 3 (123). С. 43–47.
9. Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests – A Review // J Ecosyst Ecogr. 2012. V. 2. Article id: 116. DOI: 10.4172/2157-7625.1000116
10. Сайт Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов. URL: http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm (дата обращения: 15.09.2024)
11. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Курц В.А. Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3 // Тр. СПбНИИЛХ. 2014. N 1. С. 5–18.
12. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1 (1). С. 1–24.
13. Kaganov V.V., Zamolodchikov D.G., Mostovaya, A.S. Climate Effect on Carbon, Phytomass, and Litter Stocks in Forest Stands in the South of European Russia // Contemp. Probl. Ecol. 2023. V. 16. P. 994–1006. https://doi.org/10.1134/S1995425523070053
14. Замолотчиков Д.Г., Иванов А.В., Мудрак В.П. Запасы и потоки углерода на землях лесного фонда Приморского края при оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2018. N 2 (10). С. 46–50.
15. Замолотчиков Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергосбережение. 2021. N 2. С. 53–69.
16. Корзухин М.Д., Коротков В.Н. модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. N 3. С. 30–53. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-3-30-53
17. Гайрабеков У.Т. Техногенная трансформация ландшафтной среды г. Грозный в связи с функционированием нефтяного комплекса // Перспективы науки. 2011. N 12 (27). С. 166–169.
18. Сайт компании Li-Cor. URL: https://www.licor.com/env/products/eddy-covariance/ (дата обращения: 28.09.2024)
19. Сатосина Е.М., Мамадиев Н.А., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В. Карбоновый полигон Чеченской Республики: IV пилотные измерения потоков парниковых газов // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2023. Т. 8. N 2 (32). С. 53–64. DOI: 10.25744/genb.2023.97.15.008
20. Burba G.G., Kurbatova Yu.A., Kuricheva O.A. Turbulent Pulsation Method Brief Practical Guide. Moscow, 2016. 231 p.
21. Aubinet M., Vesala T., Papale D., eds. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer Atmospheric Sciences. Dordrecht, The Netherlands: Springer Verlag. 2012. 438 p.

REFERENCES

1. *Klimaticheskaya doktrina Rossiiskoi Federatsii* [The Climate Doctrine of the Russian Federation]. Available at: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://meteo.info.ru/images/media/books-docs/FEDERAL/climatedoctrine-2023.pdf (accessed 09.10.2024) (In Russian)
2. *Sait Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Rossiiskoi Federatsii* [Website of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation]. Available at: https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/ (accessed 09.10.2024) (In Russian).
3. Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Dukhanin Yu.A., Kozlov D.N. Methodological approaches to the formation of a unified national system for monitoring and accounting for carbon balance and greenhouse gas emissions on the lands of the Agricultural Fund of the Russian Federation. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*, 2021, vol. 108, pp. 175–218. (In Russian) DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218
4. *Sait Karbonovye poligony Rossiiskoi Federatsii* [The Carbon polygons of the Russian Federation website]. Available at: https://carbon-polygons.ru/polygons/ (accessed 09.10.2024) (In Russian)
5. Kerimov I.A., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Carbon landfill of the Chechen Republic: I. Landscape features and structure. *Groznenskiy yestestvennonauchnyy Byulleten* [Grozny Natural Science Bulletin]. 2021, vol. 6, no. 3(25), pp. 35–47. (In Russian)
6. Sorokina D.D., Ptichnikov A.V., Romanovskaya A.A. Comparative Analysis and Assessment of Methodologies Applied in the Russian Federation for Calculating Greenhouse Gas Absorption by Forest Ecosystems. *Izvestiâ Rossijskoj akademii nauk. Seriâ geografičeskââ*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 497–511. doi: 10.31857/S2587556623040131
7. Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseyev B.N., Strakhov V.V. [Analytical review of methods for accounting for emissions and absorption of greenhouse gases from the atmosphere by forests] *Lesokhoz. inform.: elektron. setevoj zhurn*, 2016, no. 3, pp. 36–85. (In Russian). Available at: URL: http://lhi.vniilm.ru (accessed 09.10.2024)
8. Bulaeva N.M., Bekmurzaeva R.H., Gadzhikhanov A.S. Regional system of accounting and control of greenhouse gases based on geoinformation technologies at the carbon landfill of the A.A. Kadyrov ChSU. *Ehkologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2023, no. 3 (123), pp. 43–47. (In Russian)
9. Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *J Ecosyst Ecogr*, 2012, vol. 2, article id: 116. DOI: 10.4172/2157-7625.1000116
10. *Sait Tsentra po problemam ehkologii i produktivnosti lesov* [Website of the Center for Ecology and Forest Productivity]. Available at: http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm (accessed 09.10.2024) (In Russian)
11. Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kurts V.A. The impact of forest management volumes on the carbon balance of Russian forests: a predictive analysis using the CBM-CFS3 model. *Trudy SPNIIH* [Trudy SPNIIH]. 2014, no. 1, pp. 5–18. (In Russian)
12. Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Honest O.V. Dynamics of carbon balance in forests of federal districts of the Russian Federation. *Voprosy lesnoy nauki* [Questions of Forest Science]. 2018, vol. 1 (1), pp. 1–24. (In Russian)
13. Kaganov V.V., Zamolodchikov D.G., Mostovaya, A.S. Climate Effect on Carbon, Phytomass, and Litter Stocks in Forest Stands in the South of European Russia. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2023, vol. 16, pp. 994–1006. https://doi.org/10.1134/S1995425523070053
14. Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V., Mudrak V.P. Carbon stocks and flows on the lands of the Primorsky Krai forest fund when assessed using the ROBUL system. *Agrarnyy vestnik Primorya* [Agrarian Bulletin of Primorye]. 2018, no. 2 (10), pp. 46–50. (In Russian)
15. Zamolodchikov D.G. Carbon cycle and climate change. *Okruzhayushchaya sreda i ehnergovedenie* [Journal of Environment and Energy Science]. 2021, no. 2, pp. 53–69. (In Russian)
16. Korzukhin M.D., Korotkov V.N. Modification of the ROBUL model for calculating the carbon balance of forests in Russia. *Fundamental and Applied Climatology*, 2018, no. 3, pp. 30–53. (In Russian) DOI: 10.21513/2410-8758-2018-3-30-53
17. Gayrabekov U.T. Technogenic transformation of the landscape environment of Grozny in connection with the functioning of the oil complex. *Perspektivy nauki* [Prospects of science]. 2011, no. 12 (27), pp. 166–169. (In Russian)
18. *Sait kompanii Li-Cor* [Li-Cor company website]. Available at: https://www.licor.com/env/products/eddy-covariance/ (accessed 09.10.2024). (In Russian)
19. Savosina E.M., Mamadiev N.A., Makhmudova L.Sh., Kerimov I.A., Kurbatova Yu.A., Olchev A.V. Carbon landfill of the Chechen Republic: IV pilot measurements of greenhouse gas fluxes. *Grozny Natural Science Bulletin*, 2023, vol. 8, no. 2 (32), pp. 53–64. (In Russian). DOI: 10.25744/genb.2023.97.15.008
20. Burba G.G., Kurbatova Yu.A., Kuricheva O.A. *Turbulent Pulsation Method Brief Practical Guide*. Moscow, 2016, 231 p.
21. Aubinet M., Vesala T., Papale D., eds. *Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*. Springer Atmospheric Sciences. Dordrecht, The Netherlands: Springer Verlag, 2012, 438 p.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Луиза Р. Бекмурзаева провела статистическую обработку материалов, проанализировала данные. Виталий В. Братков написал рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Luiza R. Bekmurzaeva undertook statistical processing of the material and data analysis. Vitaly V. Bratkov wrote the manuscript. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Виталий В. Братков / Vitaly V. Bratkov <https://orcid.org/0000-0001-5072-1859>

Луиза Р. Бекмурзаева / Luiza R. Bekmurzaeva <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>